

ВИКОРИСТАННЯ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ҐРУНТОВИХ РЕСУРСІВ ТА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТУ

Резніченко Віта Петрівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
ORCID: 0000-0001-5693-0942
vita.micenko16@gmail.com

Коломієць Людмила Василівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
ORCID: 0000-0002-6410-1762
lyudkolomiec11@meta.ua

Чередниченко Ірина Василівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Луганський національний університет імені Тараса Григоровича Шевченка, м. Полтава, Україна
ORCID: 0009-0005-6325-4870
soil911@ukr.net

В статті досліджено основні причини деградації ґрунту, включаючи ерозію, виснаження та забруднення. Визначено, що виснаження ґрунту виникає внаслідок інтенсивного використання землі без належного відновлення її родючості. Постійне вирощування монокультур, надмірне застосування хімічних добрив та пестицидів призводять до зниження вмісту органічних речовин у ґрунті, погіршення його структури та зменшення здатності утримувати вологу, що робить ґрунт менш продуктивним і вразливим до ерозії. Виділено, що забруднення ґрунту є результатом антропогенної діяльності, такої як промислове виробництво, неправильне зберігання відходів, надмірне застосування хімікатів та пестицидів. Деградація ґрунту призводить до зниження його родючості, що, своєю чергою, впливає на врожайність сільськогосподарських культур. Рослини не отримують достатньої кількості поживних речовин, що призводить до їх слабого росту та розвитку. Крім того, деградовані ґрунти менш здатні утримувати вологу, що особливо критично в умовах змін клімату та частих посух. Це змушує фермерів збільшувати витрати на іригацію, добрива та пестициди, що підвищує вартість виробництва та знижує економічну ефективність сільського господарства. В статті обґрунтовано ряд провідних технологій збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту. Консерваційні методи обробки ґрунту, зокрема мінімальний та нульовий обробіток, стали важливою частиною сучасного сільського господарства. Мінімальний обробіток ґрунту передбачає зменшення кількості обробітків ґрунту, що знижує механічний вплив на нього, сприяє збереженню рослинних залишків, збільшенню вмісту органічних речовин та збереженню вологи. Нульовий обробіток ґрунту передбачає повну відмову від механічного обробітку ґрунту, що дозволяє зберігати природну структуру ґрунту, покращувати його водо- та повітропроникність, збільшувати кількість корисних мікроорганізмів та знижувати викиди парникових газів. Також у статті розглянуто впровадження сівозміни та покривних культур як ефективних методів збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту. Сівозмінна допомагає покращити структуру ґрунту, зменшити ризик ерозії, контролювати шкідників та збудників хвороб, а також забезпечити збалансоване використання поживних речовин. Покривні культури створюють захисний шар на поверхні ґрунту, покращують його структуру, збагачують ґрунт органічними речовинами та допомагають зберігати вологу. Впровадження цих технологій дозволяє забезпечити сталий розвиток сільського господарства, підвищити ефективність аграрного сектору та зменшити негативний вплив на довкілля.

Ключові слова: ґрунтові ресурси, агротехнології, консерваційні методи обробки ґрунту, покривні культури, органічні та мінеральні добрива, вермікомпостування.

DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.2.7>

Вступ. Збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту є однією з найважливіших проблем сучасного сільського господарства та екології. У зв'язку зі зростанням населення планети та інтенсивним розвитком аграрного сектору, навантаження на ґрунти значно зросло, що призводить до їх деградації, виснаження та забруднення, саме ці процеси негативно впливають на продуктивність сільськогосподарських угідь, спричи-

няють зниження врожайності та якості продукції, а також погіршують екологічний стан навколишнього середовища (Kalina, 2019; Sitkovska & Masliaieva, 2023).

Використання сучасних агротехнологій стає критично важливим для забезпечення сталого розвитку сільського господарства. Інноваційні методи обробки ґрунту, впровадження сівозміни, використання органічних добрив та мікробних інокулянтів дозволяють зменшити

негативний вплив на ґрунт, підвищити його родючість та зберегти екосистемні функції, окрім цього, технології розумного землеробства та використання дронів і GPS для моніторингу стану ґрунтів дозволяють оптимізувати використання ресурсів і підвищити ефективність аграрного виробництва (Khan, 2020; Makedon & Chabanenko, 2022). Дослідження у сфері агротехнологій має велике значення для формування науково обґрунтованих підходів до збереження ґрунтових ресурсів, розробки ефективних методів боротьби з деградацією ґрунту та підвищення його якості, що дозволить не лише забезпечити стабільне виробництво сільськогосподарської продукції, але й сприятиме збереженню біорізноманіття, поліпшенню екологічного стану довкілля та забезпеченню продовольчої безпеки.

У своєму дослідженні (Andryeyeva et al., 2019; Kharchenko & Nasyuk, 2022) описують вплив збереження вуглецю в ґрунті на глобальні кліматичні зміни та продовольчу безпеку. Автори підкреслюють важливість агротехнологій у підтриманні родючості ґрунту та зменшенні викидів парникових газів. Дослідження від (Amons & Krasnyak, 2023; Khvesyk, Holyan, 2006; Nebrat, 2023) пропонує огляд концепцій і принципів стійкого сільського господарства, зокрема використання агротехнологій для збереження ґрунтових ресурсів та покращення їх якості. Дослідники (Ozdogan et al., 2017; Reznichenko, et al., 2019; Tretiak et al., 2021) обговорюють баланс між інтенсивним сільським господарством і збереженням природних ресурсів, акцентуючи на ролі агротехнологій у досягненні стійкості. Наукові пошуки і результати від (Krishna, et al., 2021; Makedon et al., 2021; Semenyuk, et al., 2023) визначають економічні та екологічні витрати від ерозії ґрунту та переваги консерваційних методів обробітки, таких як мінімальний та нульовий обробіток.

ґрунтове дослідження (Kosarev & Yasenev, 2014; Yamelynets, 2022) надає вичерпну інформацію про властивості ґрунту, його структуру та методи управління, зокрема використання органічних і мінеральних добрив, автор розглядає наукові основи агроєкології та практичні методи стійкого сільського господарства, включаючи сівозміну та покривні культури.

Статті під авторством (Pylypiv et al., 2021; Villanueva, & Blanco, 2019; Wang & Dong, 2019) обговорює впровадження консерваційного землеробства в малих фермерських господарствах, аналізуючи ефективність різних агротехнологій і пропонує рішення для глобального сільського господарства, які включають використання інноваційних агротехнологій для збереження ґрунтових ресурсів. В роботах (Danko & Nifatova, 2022; Lupenko & Malik, 2020) досліджується ефективність систем вирощування, заснованих на використанні бобових культур, для зниження втрат вуглецю та азоту в ґрунті, підкреслюючи важливість сівозміни. Ці джерела надають комплексний огляд різних аспектів використання агротехнологій для збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту. Отже, дослідження використання агротехнологій для збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту є актуальним та важливим напрямком сучасної агроєкологічної науки й практики, який сприятиме ста-

лому розвитку сільського господарства та збереженню природних ресурсів для майбутніх поколінь.

Матеріали і методи досліджень. 1. Метод діалектики використано для аналізу протиріч, що виникають у процесі використання агротехнологій для збереження ґрунтових ресурсів та покращення їх якості. Цей метод дозволяє виявити і дослідити взаємозв'язки та взаємодії між різними аспектами агротехнологічних процесів. За допомогою діалектичного методу обґрунтовано, що ефективно вирішення цих протиріч можливе через впровадження комплексного підходу, що враховує всі аспекти і дозволяє знайти баланс між продуктивністю та збереженням природних ресурсів.

2. Метод технологічної раціональності використовується для оптимізації агротехнологічних процесів, спрямованих на збереження ґрунтових ресурсів та покращення їх якості, і він дозволяє визначити найбільш ефективні та економічно доцільні технології та практики. Застосування методу технологічної раціональності дозволить виявити найбільш ефективні агротехнології та обґрунтувати їх доцільність з погляду економічних та екологічних показників (Woo & Worboys, 2019).

3. Метод системних результатів дослідження спрямований на інтеграцію всіх отриманих даних та висновків у єдину систему, яка дозволяє отримати цілісну картину використання агротехнологій для збереження ґрунтових ресурсів та покращення їх якості. Метод системних результатів дозволить отримати узагальнені висновки щодо комплексного впливу агротехнологій на ґрунтові ресурси та розробити рекомендації для їх ефективного впровадження з урахуванням усіх взаємозалежностей та системних ефектів.

Результати. Деградація ґрунту є однією з найсерйозніших екологічних проблем сучасності, яка має значні наслідки для сільського господарства та довкілля. Вона проявляється у зниженні родючості ґрунтів, втраті біорізноманіття та погіршенні екологічного стану регіонів. Основними причинами деградації ґрунту є ерозія, виснаження та забруднення. Основні причини деградації ґрунту:

1. Ерозія ґрунту є процесом його руйнування під впливом води, вітру або людської діяльності, вона може бути водною, вітровою або антропогенною. Водна ерозія виникає під час сильних дощів, коли великі потоки води змивають верхній шар ґрунту. Вітрова ерозія відбувається на відкритих ділянках, де сильні вітри підіймають та переносять частинки ґрунту на значні відстані. Антропогенна ерозія спричиняється діяльністю людини, такою як будівництво, вирубка лісів та неправильне використання сільськогосподарських угідь (Dankevich & Dankevich, 2019).

2. Виснаження ґрунту виникає внаслідок інтенсивного використання землі без належного відновлення її родючості. Постійне вирощування монокультур, надмірне застосування хімічних добрив та пестицидів призводять до зниження вмісту органічних речовин у ґрунті, погіршення його структури та зменшення здатності утримувати вологу і в результаті ґрунт стає менш продуктивним і вразливим до ерозії (Вассо, 2019).

3. Забруднення ґрунту є результатом антропогенної діяльності, такої як промислове виробництво, неправильне зберігання відходів, надмірне застосування хімікатів та пестицидів. Забруднені ґрунти містять токсичні речовини, важкі метали, радіоактивні елементи та інші шкідливі компоненти, які негативно впливають на здоров'я рослин, тварин і людей (Takahashi, 2011).

Деградація ґрунту призводить до зниження його родючості, що, своєю чергою, впливає на врожайність сільськогосподарських культур. Рослини не отримують достатньої кількості поживних речовин, що призводить до їх слабкого росту та розвитку. Крім того, деградовані ґрунти менш здатні утримувати вологу, що особливо критично в умовах змін клімату та частих посух, що змушує фермерів збільшувати витрати на іригацію, добрива та пестициди, що підвищує вартість виробництва та знижує економічну ефективність сільського господарства (Makedon et al., 2019). Ерозія та виснаження ґрунту спричиняють втрату біорізноманіття, оскільки багато видів рослин і тварин втрачають своє природне середовище існування (FiBL & IFOAM – Organics International. The World of Organic Agriculture. Statistics & emerging trends, 2022). В нашому дослідженні визначимо ряд провідних технологій збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості.

1. Консерваційні методи обробітку ґрунту, зокрема мінімальний та нульовий обробіток, стали важливою частиною сучасного сільського господарства.

1.1. Так мінімальний обробіток ґрунту передбачає зменшення кількості обробітків ґрунту, що зменшує механічний вплив на нього, що досягається шляхом використання спеціальних технік і обладнання, які дозволяють здійснювати лише поверхневий обробіток ґрунту. Базовими біологічними перевагами мінімального обробітку ґрунту є (Amons, 2021; Bahorka & Serhiyenko, 2021):

- збереження рослинних залишків на поверхні ґрунту допомагає зменшити водну та вітрову ерозію;
- мінімальний обробіток сприяє збереженню та збільшенню вмісту органічних речовин у ґрунті, що підвищує його родючість;
- менше розпушування ґрунту сприяє збереженню вологи, що є важливим в умовах посух;
- менша кількість обробітків ґрунту знижує витрати на паливо та робочу силу, що робить цей метод економічно вигідним.

1.2. Нульовий обробіток ґрунту передбачає повну відмову від механічного обробітку ґрунту, так замість цього використовується прямий посів у непідготовлений ґрунт з мінімальним порушенням його структури. Основні переваги нульового обробітку визначимо такі:

- наявність рослинних залишків на поверхні ґрунту створює захисний шар, який ефективно запобігає ерозії;
- відсутність механічного обробітку сприяє збереженню природної структури ґрунту, що покращує його водо- та повітропроникність;
- нульовий обробіток сприяє збільшенню кількості та різноманітності мікроорганізмів і інших ґрунтових організмів, які відіграють важливу роль у підтриманні родючості ґрунту;

– відмова від механічного обробітку знижує викиди вуглекислого газу та інших парникових газів, що сприяє боротьбі зі зміною клімату.

Мінімальний і нульовий обробіток ґрунту мають багато спільних переваг, проте існують і певні відмінності. Мінімальний обробіток є менш радикальним методом, що дозволяє зберігати деякі традиційні практики, тоді як нульовий обробіток вимагає повної перебудови агротехнічних підходів, і саме впровадження нульового обробітку вимагає значних початкових інвестицій у спеціальне обладнання (Furdychko, 2022).

Консерваційні методи обробітку ґрунту, такі як мінімальний та нульовий обробіток, мають значний потенціал для підвищення сталості сільського господарства, які сприяють збереженню ґрунтових ресурсів, покращенню їх якості та зменшенню негативного впливу на довкілля. Впровадження цих методів потребує певних зусиль та інвестицій, але довгострокові переваги роблять їх перспективними для майбутнього розвитку аграрного сектору (Makedon & Bailova, 2023).

2. Впровадження сівозміни та покривних культур для збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту. У сучасному сільському господарстві впровадження сівозміни та покривних культур стало невід'ємною частиною стратегії збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту.

2.1. Сівозміна полягає у чергуванні різних культур на одній і тій самій ділянці землі протягом певного періоду, і такий підхід дозволяє зменшити виснаження ґрунту та підвищити його родючість (de Marco, 2019; Hunko, 2022). Виділимо визначальні переваги технології сівозміни:

- різні культури мають різні кореневі системи, які сприяють покращенню структури ґрунту, зменшенню ущільнення та підвищенню його водо- та повітропроникності;
- чергування культур з різними потребами у покриві ґрунту та залишках допомагає зменшити ризик водної та вітрової ерозії;
- різноманітність культур у сівозміні допомагає розривати життєві цикли шкідників та збудників хвороб, зменшуючи їх чисельність і поширення;
- чергування культур з різними поживними потребами сприяє рівномірнішому використанню поживних речовин з ґрунту та зменшенню потреби у мінеральних добривах.

2.2. Покривні культури – це рослини, які висіваються для покриття ґрунту між основними сільськогосподарськими культурами, вони не призначені для збору врожаю, але виконують важливі екологічні та агротехнічні функції (Andryeyeva et al., 2019). Головними результатами використання покривних культур мають бути:

- покривні культури створюють захисний шар на поверхні ґрунту, що допомагає зменшити водну та вітрову ерозію;
- кореневі системи покривних культур сприяють покращенню структури ґрунту, підвищенню його водо- та повітропроникності;

– покривні культури збагачують ґрунт органічними речовинами, підвищуючи його родючість та біологічну активність;

– покривні культури допомагають зберегти вологу в ґрунті, що є важливим для забезпечення стабільних умов для росту основних культур;

– покривні культури створюють конкуренцію бур'янам, зменшуючи їх чисельність та пригнічуючи їхній біологічний ріст.

2.3. Впровадження сівозміни та покривних культур у поєднанні створює потужний інструмент для збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту, що забезпечує різноманітність культур, що сприяє збалансованому використанню поживних речовин та контролю за шкідниками, тоді як покривні культури надають додатковий захист ґрунту та збільшують його родючість. Так практика чергування культур і використання покривних культур дозволяють зменшити потребу в мінеральних добривах та пестицидах, що знижує витрати на виробництво та зменшує екологічне навантаження. Сівозміна та покривні культури сприяють підвищенню стійкості агроєкосистем до екстремальних погодних умов, таких як посухи та повені, також впровадження різноманітних культур сприяє збереженню та підвищенню біорізноманіття, що є важливим для стійкості екосистем та забезпечення екологічних послуг (Orghanicna platforma znanj, 2023).

Впровадження сівозміни та покривних культур є ефективними методами збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту, їхнє застосування в поєднанні створює синергічний ефект, який дозволяє забезпечити сталий розвиток сільського господарства та збереження довкілля. Завдяки цьому, сівозміна та покривні культури стають ключовими елементами сучасного аграрного виробництва, спрямованого на збереження природних ресурсів та підвищення ефективності аграрного сектору (Qin et al., 2022).

3. Збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту є одними з ключових завдань сучасного сільського господарства. Одним зі способів досягнення цих цілей є використання органічних та мінеральних добрив (Bilinska, 2015).

3.1. Органічні добрива є природними продуктами, що утворюються в результаті розкладання рослинних або тваринних матеріалів. Вони включають компост, гній, торф, зелені добрива (сидерати) та інші біологічні матеріали. Так Органічні добрива сприяють формуванню стабільної грудкової структури ґрунту, що підвищує його водо- та повітропроникність, вони збагачують ґрунт органічними речовинами, які є джерелом поживних елементів для рослин та мікроорганізмів. Органічні речовини стимулюють розвиток ґрунтових мікроорганізмів, які відіграють важливу роль у мінералізації поживних речовин та покращенні родючості ґрунту та, власне, допомагають зберегти структуру ґрунту та зменшити ризик ерозії (Orsini et al., 2018).

3.2. Мінеральні добрива є синтетичними або природними продуктами, що містять поживні речовини у доступній для рослин формі і включають азотні, фосфорні,

калійні та інші добрива. До визначальних переваг віднесемо те, що мінеральні добрива забезпечують швидке надходження поживних речовин до рослин, що дозволяє оперативно коригувати дефіцит елементів живлення, вони дозволяють точно контролювати кількість внесених поживних речовин, що сприяє оптимальному живленню рослин, а також, завдяки високій концентрації поживних елементів, мінеральні добрива є ефективними навіть у невеликих дозах (Hablovskiy et al., 2023).

3.3. Використання органічних та мінеральних добрив у поєднанні забезпечує оптимальні умови для збереження ґрунтових ресурсів та підвищення їх родючості. Так органічні добрива покращують структуру ґрунту, тоді як мінеральні добрива забезпечують швидке надходження поживних речовин, вони забезпечують тривалий ефект, тоді як мінеральні добрива діють швидко, що дозволяє досягти збалансованого живлення протягом всього вегетаційного періоду. Сам формат поєднання органічних і мінеральних добрив дозволяє зменшити загальні витрати на добрива, оскільки органічні матеріали можуть бути отримані з відходів сільськогосподарського виробництва (Adam et al., 2020).

Все визначені методи доцільно порівняти за рядом параметрів (табл. 1).

Покращення якості ґрунту є ключовою задачею для забезпечення стійкого розвитку сільського господарства і серед численних агротехнологій, що сприяють цьому процесу, особливе місце займають мікробні інокулянти, компостування та вермікомпостування. Саме виділені методи дозволяють значно підвищити родючість ґрунту, покращити його структуру та збалансувати поживний режим. Дослідимо їхнє використання більш розлого (Bhunia et al., 2021).

1. Мікробні інокулянти – це препарати, що містять корисні мікроорганізми, які позитивно впливають на ріст і розвиток рослин, вони містять бактерії, гриби та інші мікроорганізми, які покращують доступність поживних речовин для рослин, стимулюють їх ріст та захищають від хвороб. Саме такі мікроорганізми здатні розкладати органічні речовини та перетворювати їх у доступні для рослин форми, покращуючи їх живлення. Деякі бактерії, такі як ризобії, здатні фіксувати атмосферний азот, забезпечуючи рослини цим важливим елементом. Також важливим фактом є те, що мікробні інокулянти можуть пригнічувати розвиток патогенних мікроорганізмів, зменшуючи ризик захворювань рослин, також ряд мікроорганізмів виділяють фітогормони, які стимулюють ріст і розвиток рослин. Ми можемо навести як приклад бактерію роду «Rhizobium», яка використовується для інокуляції бобових культур, забезпечуючи їм додатковий азот, також «Mycorrhiza», це гриби, які вступають у симбіоз із корінням рослин, покращуючи поглинання фосфору та інших мікроелементів. Бактерії роду «Pseudomonas», що виділяють антибіотичні речовини, захищаючи рослини від патогенів (Santi et al., 2021).

2. Компостування – це процес біологічного розкладання органічних відходів у контрольованих умовах для отримання компосту, стабілізованого органічного матеріалу, який використовується як добриво. Важливим є те,

Порівняльний аналіз провідних технологій збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту

Назва методу	Короткий опис	Визначальна перевага	Вплив на ґрунт	Технологічна легкість
1. Мінімальний обробіток ґрунту	Зменшення кількості обробітків ґрунту за допомогою спеціальних технік та обладнання	Зменшення водної та вітрової ерозії	Збільшення вмісту органічних речовин, збереження вологи	Вимагає спеціального обладнання
2. Нульовий обробіток ґрунту	Повна відмова від механічного обробітку, прямих посів у непідготовлений ґрунт	Збереження природної структури ґрунту, запобігання ерозії	Покращення водо- та повітропроникності, збільшення кількості мікроорганізмів	Вимагає значних початкових інвестицій
3 Сівозміна	Чергування різних культур на одній ділянці землі протягом певного періоду	Зменшення виснаження ґрунту, контроль за шкідниками та хворобами	Покращення структури ґрунту, зменшення ущільнення, підвищення водо- та повітропроникності	Помірна, залежить від планування
4. Покривні культури	Рослини, які висіваються між основними культурами для покриття ґрунту	Створення захисного шару, зменшення ерозії	Збагачення ґрунту органічними речовинами, покращення структури, збереження вологи, зменшення бур'янів	Відносно легка, залежить від видів культур
5. Органічні добрива	Природні продукти розкладання рослинних або тваринних матеріалів	Збагачення ґрунту органічними речовинами, покращення структури ґрунту	Підвищення родючості, стимулювання мікроорганізмів, зменшення ризику ерозії	Помірна, доступність залежить від джерел
6. Мінеральні добрива	Синтетичні або природні продукти, що містять поживні речовини у доступній для рослин формі	Швидке надходження поживних речовин, точний контроль кількості внесених речовин	Підвищення врожайності, оперативне коригування дефіциту поживних елементів	Відносно легка, доступність залежить від постачальників
7. Комбіноване використання добрив	Поєднання органічних і мінеральних добрив для оптимальних умов збереження та родючості ґрунту	Збалансоване живлення, зменшення загальних витрат на добрива	Покращення структури ґрунту, тривалий ефект від органічних добрив, швидке діяння мінеральних добрив	Помірна, потребує планування та управління

Джерело: розроблено авторами

що компост містить високий рівень органічних речовин, які покращують структуру ґрунту та його родючість та покращує фізичні властивості ґрунту, збільшуючи його водо- та повітропроникність (Vasylenko et al., 2019). Застосування компосту допомагає знижувати ризик водної та вітрової ерозії та дозволяє переробляти органічні відходи, зменшуючи їх кількість на звалищах.

3. Вермікомпостування – це процес розкладання органічних відходів за допомогою дощових черв'яків, які перетворюють їх у високоякісний компост, який отримав назву «вермікомпост». «Ноу-хау» технології є те, що вермікомпост містить багато поживних речовин та мікроорганізмів, які покращують родючість ґрунту і потім дощові черв'яки значно прискорюють процес розкладання органічних відходів (Borodina, 2022). Вермікомпост покращує структуру ґрунту, підвищуючи його водо- та повітропроникність а вже саме вермікомпостування дозволяє ефективно переробляти органічні відходи, зменшуючи їх кількість на звалищах (Carolan, 2020; Scholtens, 2017).

Мікробні інокулянти, компостування та вермікомпостування є ефективними агротехнологіями для покращення якості ґрунту та збереження його ресурсів. Використання мікробних інокулянтів підвищує доступність поживних речовин, стимулює ріст рослин та захищає їх від хвороб. Компостування та вермікомпостування забезпечують ґрунт органічними речовинами, покращують його структуру та знижують ризик ерозії.

Обговорення. Використання агротехнологій для збереження ґрунтових ресурсів та покращення їх якості є критично важливим аспектом сучасного сільського господарства. Дослідження показало, що впровадження таких методів, як мінімальний та нульовий обробіток ґрунту, сівозміна, покривні культури та поєднання органічних і мінеральних добрив, має значний потенціал для підвищення сталості аграрного сектору. Важливо зазначити, що успішне впровадження вказаних агротехнологій потребує системного підходу, кожен метод має свої унікальні переваги, але їх поєднання створює синергійний ефект, який значно підвищує загальну ефективність збереження ґрунтових ресурсів та покращення їх якості (Makedon & Ilchenko, 2021; Zhang et al., 2021). Застосування системного підходу дозволяє врахувати всі аспекти агротехнічних процесів, знизити негативний вплив на довкілля та підвищити стійкість сільського господарства до змін клімату.

Застосування агротехнологій для збереження ґрунтових ресурсів та покращення якості ґрунту є ключовим фактором для забезпечення стійкого розвитку сільського господарства, дослідження підтверджує, що комплексний підхід до використання мінімального та нульового обробітку, сівозміни, покривних культур та добрив є найбільш ефективним способом досягнення цих цілей (Chabaniuk & Polyvach, 2020; Zghurska et al., 2022). Впровадження таких методів потребує певних зусиль та інвес-

тицій, але їх довгострокові переваги забезпечують значний позитивний вплив на агроєкосистеми та економічну ефективність аграрного виробництва.

Висновки. Визначено, що мінімальний та нульовий обробіток ґрунту значно знижують ризик ерозії, покращують структуру ґрунту та зберігають його вологість. Доведено, що чергування різних культур та використання покривних культур допомагають зберігати та покращувати структуру ґрунту, знижувати ризик захворювань та шкідників, а також підвищувати вміст органічних речовин. Покривні культури зменшують ерозію, зберігають вологість ґрунту та покращують його родючість, створюючи умови для більш стійкого сільського господарства. Обґрунтовано, що органічні добрива, такі як компост та гній, збагачують ґрунт органічними

речовинами, покращуючи його структуру та біологічну активність. Мінеральні добрива забезпечують рослини необхідними поживними речовинами у доступній формі, підвищуючи врожайність. Поєднання органічних та мінеральних добрив дозволяє досягти оптимальних результатів, забезпечуючи збалансоване живлення рослин та збереження ґрунтових ресурсів. Мікробні інокулянти, що містять корисні мікроорганізми, покращують доступність поживних речовин для рослин, стимулюють їх ріст та захищають від хвороб. Вони сприяють підвищенню родючості ґрунту та його біологічної активності, що є важливим для підтримання стійких агроєкосистем. Ці методи дозволяють створити стійкі агроєкосистеми, забезпечуючи стабільне та ефективне сільське господарство для майбутніх поколінь.

Бібліографічні посилання:

1. Adam, D. H., Supriadi, Y. N., & Ende Siregar, Z. M. E. (2020). Green Manufacturing, Green Chemistry And Environmental Sustainability: A Review. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9(04), 2209–2211.
2. Andryeyeva, N., Khumarova, N., & Nikolaychuk, T. (2019). Aligning the social, environmental, and economic interests of “green growth” of the Ukrainian nature reserve fund objects. *Environmental Economics*, 10(1), 93–104. doi:10.21511/ee.10(1).2019.07
3. Amons, S. E. (2021). Stan ta perspektyvy rozvytku vyrobnytstva orghanichnoji produkciji v Ukraini [State and prospects for the development of organic production in Ukraine]. *Siljsjke ghospodarstvo ta lisivnyctvo – Agriculture and forestry*, 3 (22), 221236 (in Ukrainian).
4. Amons, S., & Krasnyak, O. (2023). Ecologization of agricultural production as the basis of the formation of the food security system of Ukraine. *Economy and Society*, 47 (in Ukrainian). doi: 10.32782/2524-0072/2023-47-41
5. Bacco, M., Barsocchi, P., Ferro, E., Gotta, A., & Ruggeri, M. (2019). The Digitisation of Agriculture: A Survey of Research Activities on Smart Farming. *Array*, 3–4. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/>
6. Bahorka, M. O., & Serhiyenko, A. A. (2021). Ekolohizatsiya vyrobnytstva ahrarnykh pidpryyemstv yak innovatsiyna skladova yikh rozvytku. [Greening of the production of agricultural enterprises as an innovative component of their development]. *Ekonomichni studiyi*, 3(33), 10–16. (in Ukrainian).
7. Bilinska, V. (2015). Modern innovative technologies in agriculture: the main characteristics and prospects of implementation. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv Economics*, 7, 74–80. doi: 10.17721/1728-2667.2015/172-7/11.
8. Bhunia, G. S., Shit, P. K., & Sengupta, D. (2021). Free-open access geospatial data and tools for forest resources management. In: *Spatial modeling in forest resources management: rural livelihood and sustainable development* (651–675). Springer, Cham.
9. Borodina, O. (2022). Bazovi trendy povoyennoyi transformatsiyi ekonomiky Ukrayiny: byudzhetna detsentralizatsiya, industriya 4.0, rehional'nyy enerhomenedzhment [Basic trends of postwar transformation of Ukraine's economy: industry 4.0, budgetary decentralization, regional energy management]. *Journal of Innovations and Sustainability*, 6(1) doi: 10.51599/is.2022.06.01.04 (in Ukrainian).
10. Carolan, M. (2020). Automated agrifood futures: robotics, labor and the distributive politics of digital agriculture. *Journal of Peasant Studies*, 47, 184–207, doi: 10.1080/03066150.2019.1584189
11. Chabaniuk, V., & Polyvach, K. (2020). Critical properties of modern geographic information systems for territory management. *Cybernetics and Computer Engineering*, 3(201), 5–32. doi:10.15407/kvt201.03.005
12. Dankevich, V. E., & Dankevich, E. M. (2019). Monitoring of agricultural lands using remote land sensing systems. *Economy of agro-industrial complex*, 8, 27.
13. Danko, Y., & Nifatova, O. (2022). Agro-sphere determinants of green branding: eco-consumption, loyalty, and price premium. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9(1), 1–9.
14. de Marco, B. A., Rechelo, B. S, Tótolí, E. G., Kogawa, A. C., & Salgado, H. R. N. (2019). Evolution of green chemistry and its multi dimensional impacts: A review. *The Saudi Pharmaceutical Journal*, 27(1), 1–8. doi: 10.1016/j.jsps.2018.07.011
15. FiBL & IFOAM – Organics International. *The World of Organic Agriculture. Statistics & emerging trends* (2022). Access mode: <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1344-organic-world-2022.pdf>
16. Furdychko, O. I. (Ed.). (2022). Ekoloho-ekonomichni zasady zbalansovanoho ahrarnoho vyrobnytstva ta vykorystannya pryrodnykh resursiv ahrsferi: monohrafiya [Ecological and economic principles of balanced agricultural production and use of natural resources of the agrosphere: monograph]. DIA, Kyiv (in Ukrainian)
17. Hablovskiy, B., Hablovska, N., Shtohryn, L., Kasiyanchuk, D., & Kononenko, M. (2023). The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 24(7), 254–262. doi: 10.12911/22998993/164753
18. Hunko, L. (2022). Formuvannya staloho (zbalansovanoho) zemlekorystuvannya – bazova osnova rozvytku ekonomiky zemlevporyadkuvannya v Ukraini [Formation of sustainable (balanced) land use – basis of economic development of land planning in Ukraine], *Agrosvit*, 9–10, 51–61 (in Ukrainian). doi: 10.32702/2306-6792.2022.9-10.51

19. Kalina, I. (2019). Conceptual principles of construction of digitalization of agricultural sector. *Efektivna ekonomika*, [Online], 10. Access mode: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8232>. doi: 10.32702/2307-2105-2019.10.82.
20. Khan, K. Y., Ali, B., Stoffella, P. J., Feng, Y., Cui, X., Guo, Y. & Yang, X., (2020). Bioavailability and bioaccessibility of Cd in low and high Cd uptake affinity cultivars of *Brassica rapa ssp. Chinensis* L. (Pakchoi) using an In vitro gastrointestinal and physiologically-based extraction test. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(1), 28-37.
21. Kharchenko, T. O., & Hasyuk, R. Y. (2022). Otsinka rezul'tatynosti stratehichnoho planuvannya yak skladovoyi orhanizatsiynoho mekhanizmu derzhavnoho rehulyuvannya rozvytku terytorial'nykh hromad [Evaluation of the effectiveness of strategic planning as a component of the organizational mechanism of state regulation of the development of territorial communities]. *Dniprovs'kyi naukovy chasopys publichnoho upravlinnya, psykholohiyi, prava*, 4, 67–72 (in Ukrainian). doi: 10.51547/ppp.dp.ua/2022.4.9
22. Khvesyuk, M. A., & Holyan, V. K. (2006). Instytutsional'ne zabezpechennya zemlekorystuvannya: teoriya i praktyka: monohrafiya, [Institutional provision of land use: theory and practice: monograph] NAN Ukrayiny (in Ukrainian).
23. Kosarev, M. V., & Yasenev, S. O. (2014). Kosmichni znimky yak fundamental'na osnova kartohrafichnykh materialiv ta heoinformatsiynykh system [Space images as a fundamental basis of cartographic materials and geoinformation systems]. *Problems of continuous geographical education and cartography. Collection of scientific works*, 19, 42–45 (in Ukrainian).
24. Krishna, N. Ganesh, Deqing, Zhang, Scott, J. Miller, Kai, Rossen, Paul J. Chirik, Marisa C. Kozlowski, Julie, B. Zimmerman, Bryan, W. Brooks, Phillip, E. Savage, David, T. Allen, & Adelina, M. Voutchkova-Kostal. (2021). Green Chemistry: A Framework for a Sustainable Future Environmental. *Science & Technology*, 55(13), 8459–8463. doi: 10.1021/acs.est.1c03762
25. Lupenko, Yu. O. & Malik, M. Y. (2020). Strategichni napryamy stalogo rozvytku silskih teritoriy na period do 2030 roku [Strategic directions of sustainable development of rural areas for the period up to 2030], NNC, IAE. Ukraine (in Ukrainian).
26. Makedon, V.V., & Bailova, O.O. (2023). Planuvannya i orhanizatsiya vprovadzhennya tsyfrovyykh tekhnolohiy v diyal'nist' promyslovykh pidpryyemstv. [Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises]. *Naukovy visnyk Kherson's'koho derzhavnoho universytetu. Seriya «Ekonomichni nauky» [Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences"]*, 47, 16–26 (in Ukrainian). doi: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3.
27. Makedon, V. V., & Chabanenko, A. V. (2022). Faktorni skladovi tsyfrovizatsiyi hlobal'noyi ekonomiky ta makroekonomichnykh system krainy svitu [Factor components of digitalization of the global economy and macroeconomic systems of the countries of the world.]. *Efektivna ekonomika*, 1. (in Ukrainian). Access mode: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9875> doi: 10.32702/2307-2105-2022.1.11.
28. Makedon, V., Dzeveluk, A., Khaustova, Y., Bieliakova, O., & Nazarenko, I. (2021). Enterprise multi-level energy efficiency management system development. *International Journal of Energy, Environment, and Economics*, 29(1), 73–91.
29. Makedon, V. and Ilchenko, N. (2021). Kon'yunktura svitovoho rynku IT-posluh v umovakh Ekonomiky 4.0 [World market of it services in the languages of economy 4.0]. *Efektivna ekonomika*, [Online], 1, Access mode: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8525>. doi: 10.32702/2307-2105-2021.1.8. (in Ukrainian).
30. Makedon, V. V., Valikov, V. P., & Fedyora, S. S. (2019). Udoskonalennya upravlinnya promyslovyimi pidpryyemstvami na osnovi stratehiy innovatsiynoho rozvytku [Improving the management of industrial enterprises based on innovative development strategies]. *Yevropeys'kyi vektor ekonomichnoho rozvytku [European vector of economic development]*, 1, 108–125 (in Ukrainian).
31. Nebrat, V. V. (2023). Vidbudova dlya rozvytku: zarubizhnyy dosvid ta ukrayins'ki perspektyvy: mizhnarodna kolektyvna monohrafiya [Reconstruction for development: foreign experience and Ukrainian perspectives: an international collective monograph]. National Academy of Sciences of Ukraine, Electron, Kyiv (in Ukrainian).
32. Orhanichna platforma znanj (2023). Biodynamichne sil'ske gospodarstvo v Ukraini. Oghljad rozvytku ta potochnoji sytuaciji [Biodynamic agriculture in Ukraine. Overview of development and current situation]. Access mode: https://organic-platform.org/top_news/biodynamichne-sil'ske-gospodarstvo-v-ukrayini-oglyad-rozvytku-ta-potochnoyi-sytuaciyi/ (in Ukrainian).
33. Orsini, S., Padel, S., & Lampkin, N. Labour. (2018). Use on Organic Farms: a Review of Research since 2000. *Organic Farming*, 4(1), 7–15. doi: 10.12924/of2018.04010007.
34. Ozdogan, B., Gacar, A., & Aktas, H. (2017). Digital Agriculture Practices in the Context of Agriculture 4.0. *Journal of Economics, Finance and Accounting*, 4(2), 184–191. doi: 10.17261/Pressacademia.2017.448.
35. Pylypiv, N. I., Pyatnychuk, I. D., & Sologub, S. I. (2021). Rol' stratehiy sotsial'no-ekonomichnoho rozvytku OTH v konteksti zminy pidkhodiv do rehional'noho rozvytku v Ukraini [The role of the strategy of socio-economic development of OTG in the context of changing approaches to regional development in Ukraine]. *Herald. Mykolayiv National Agrarian University*. Access mode: [dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/10259/1/53-55.pdf](https://space.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/10259/1/53-55.pdf). (in Ukrainian).
36. Qin, T., Wang, L., Zhou, Y., Guo, L., Jiang, G., & Zhang, L. (2022). Digital Technology-and-Services-Driven Sustainable Transformation of Agriculture: Cases of China and the EU. *Agriculture*, 12, 297. doi: 10.3390/agriculture12020297.
37. Reznichenko, V.P., Koval'ov, M.M. & Kulyk, H.A. (2019). Obgruntuvannya zamknenoho resursozberihayuchoho vyrobnytstva ekolohichno bezpechnoyi sil'skohospodars'koyi produktsiyi u suchasnykh enerhonezaleznykh ahroekokompleksakh [Justification of closed resource-saving production of ecologically safe agricultural products in modern energy-independent agro-ecocomplexes]. *Tavriys'kyi naukovy visnyk [Taurian Scientific Herald]*, 109 (1), 109–114 doi: 10.32851/2226-0099.2019.109-1.17 (in Ukrainian).

38. Semenyuk, I., Ivanchenko, H., & Veslova, YA. (2023). Stratehichnyy rozvytok hromad v umovakh podolannya voyennykh vyklykiv: proyektnyy pidkhid [Strategic development of communities in the conditions of overcoming military challenges: a project approach]. *Ekonomika ta suspil'stvo*, (55). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-5> (in Ukrainian).
39. Takahashi, K., Preetz, H., & Igel, J., (2011). Soil properties and performance of landmine detection by metal detector and ground-penetrating radar – soil characterisation and its verification by a field test. *The Journal of Applied Geophysics*, 73, 368–377.
40. Tretiak, A. Tretiak, V. Kuriltsiv, R. Priadka, T. & Tretiak, N. (2021). Upravlinnia zemel'nymy resursamy ta zemlekorystuvanniam: bazovi zasady teorii, instytutiolizatsii, praktyky [Management of land resources and land use: basic principles of theory, institutionalization, practice], Belotserkivdruk LL, Bila Tserkva, Ukraine (in Ukrainian).
41. Santi, M., Sancineto, L., Nascimento, V., Azeredo, J. B., Orozco, E. V. M., Andrade, L. H., Gröger, H., & Santi, C. (2021). Flow Biocatalysis: A Challenging Alternative for the Synthesis of APIs and Natural Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), 990. doi: 10.3390/ijms22030990, PMID:33498198 PMCID:PMC7863935.
42. Sitkovska, A. O., & Masliaieva, O. O. (2023). Zemel'no-resursnyy potentsial aharnoho sektoru: stan ta osoblyvosti vykorystannya [Land and resource potential of the agricultural sector: state and features of use]. *Agrosvit*, 9–10, 77–81 (in Ukrainian).
43. Scholtens, B. (2017). Why Finance Should Care about Ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 32. doi: 10.1016/j.tree.2017.03.013/
44. Vasylenko, I. A., Chuprinov, E. V., Ivanchenko, A. V., Skyba, M. I., Vorobyova, V. I., & Galish, V. V. (2019). Zeleni tekhnolohiyi u promyslovosti: Monohrafiya [Green technologies in industry]. Dnipro (in Ukrainian).
45. Villanueva, J. K. S., & Blanco, A. C. (2019). Optimization of ground control point (GCP) configuration for unmanned aerial vehicle (UAV) survey using structure from motion (SfM). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 167–174. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W12-167-2019.
46. Wang, C., & Dong, G. (2019). Research on Green Financial Ecology Construction Based on Low Carbon Economy. *Ekoloji*, 107, 3635–3641 URL: <http://www.ekolojidergisi.com/article/research-on-green-financial-ecology-construction-based-on-low-carbon-economy-6006>.
47. Woo, K. S., & Worboys, G. (2019). Geological monitoring in protected areas, *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4), 218–225. doi: 10.1016/j.ijgeop.2019.12.004.
48. Yamelynets, T. (2022). Informatsiyne gruntoznavstvo: monohrafiya [Informational soil science: monograph]. LNU named after Ivan Franko, Lviv (in Ukrainian).
49. Zhang, X., Yao, G., Vishwakarma, S., Musumba, M., Heyman, A. & Eric A., Davidson (2021). Quantitative assessment of agricultural sustainability reveals divergent priorities among nations. *One Earth*, 4, 1262–1277.
50. Zghurska, O., Korchyńska, O., Rubel, K., Kubiv, S., Tarasiuk, A., & Holovchenko, O. (2022). Digitalization of the national agro-industrial complex: new challenges, realities and prospects. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 6(47), 388–399. doi: 10.55643/fcaptp.6.47.2022.3929.

Reznichenko V. P., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Kolomiets L. V., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Cherednychenko I. V., PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Luhansk National University named after Taras Hryhorovych Shevchenko, Poltava, Ukraine

Use of agricultural technologies to preserve soil resources and improve soil quality

The article examines the main causes of soil degradation, including erosion, depletion and pollution. It was determined that soil depletion occurs as a result of intensive use of land without proper restoration of its fertility. Continuous cultivation of monocultures, excessive use of chemical fertilizers and pesticides lead to a decrease in the content of organic substances in the soil, deterioration of its structure and a decrease in the ability to retain moisture, which makes the soil less productive and vulnerable to erosion. It is highlighted that soil pollution is the result of anthropogenic activities, such as industrial production, improper storage of waste, excessive use of chemicals and pesticides. Soil degradation leads to a decrease in its fertility, which, in turn, affects the yield of agricultural crops. Plants do not receive enough nutrients, which leads to their weak growth and development. In addition, degraded soils are less able to retain moisture, which is especially critical in conditions of climate change and frequent droughts. This forces farmers to spend more on irrigation, fertilizers and pesticides, which increases the cost of production and reduces the economic efficiency of agriculture. The article substantiates a number of leading technologies for preserving soil resources and improving soil quality. Conservation tillage methods, including minimum and zero tillage, have become an important part of modern agriculture. Minimal tillage involves reducing the amount of soil tillage, which reduces the mechanical impact on it, helps to preserve plant residues, increase the content of organic substances and conserve moisture. Zero tillage involves the complete rejection of mechanical tillage, which allows preserving the natural structure of the soil, improving its water and air permeability, increasing the number of beneficial microorganisms and reducing greenhouse gas emissions. The article also discusses the implementation of crop rotation and cover crops as effective methods of preserving soil resources and improving soil quality. Crop rotation helps improve soil structure, reduce the risk of erosion, control pests and diseases, and ensure a balanced use of nutrients. Cover crops create a protective layer on the surface of the soil, improve its structure, enrich the soil with organic substances and help retain moisture. The implementation of these technologies allows to ensure the sustainable development of agriculture, increase the efficiency of the agricultural sector and reduce the negative impact on the environment.

Key words: soil resources, agricultural technologies, conservation methods of soil treatment, cover crops, organic and mineral fertilizers, vermicomposting.