

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

**СУЧАСНІ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ В
ІНТЕНСИВНОМУ І ВІДНОВЛЮВАНОМУ
ЗЕМЛЕРОБСТВІ**

Науково-методичні рекомендації

За редакцією С.Е. Дегодюка

Вінниця

2025

УДК 504:631;631.4;631.8
С 89

*Рекомендовано до друку рішенням
Вченої ради ННЦ «ІЗ НААН»
(протокол №10 від 6 жовтня 2025 р.)*

Рецензенти:

Д.В. Літвінов – доктор с.-г. наук, професор, завідувач кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О.К. Душечкіна, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

І.В. Мартинюк – доктор с.-г. наук, с.н.с., головний науковий співробітник відділу сівозмін і землеробства на меліорованих землях ННЦ «ІЗ НААН»

С 89 Сучасні системи удобрення в інтенсивному і відновлюваному землеробстві: наук.-метод. реком. / С. Е. Дегодюк, А. О. Мулярчук, В. М. Штакал, І. В. Худолеєв, В. В. Вельгас / за редакцією С. Е. Дегодюка. – Вінниця : ТВОРИ, 2025. – 88 с.

ISBN 978-617-8835-87-3

У науково-методичних рекомендаціях теоретично обґрунтовано ефективність еколого-збалансованих систем удобрення в короткоротаційних сівозмінах Правобережного Лісостепу України. Розроблено концептуальні засади еколого-біосферної системи відновлюваного земле- і природокористування.

Призначені для керівників науково-дослідних закладів аграрного спрямування, виробничих агроформувань різних форм власності, а також студентів, аспірантів і викладачів навчальних закладів сільськогосподарського профілю.

УДК 504:631;631.4;631.8

ISBN 978-617-8835-87-3

© ННЦ «ІЗ НААН», 2025

© ТОВ «ТВОРИ», 2025

Зміст

Вступ	4
1. Сучасні системи землеробства в Україні	6
1.1 Інтенсивна (промислова система землеробства)	6
1.2. Еколого-біосферна система відновлюваного земле- і природокористування	7
1.2.1. Відновлювана система землеробства	9
1.2.2. Перспективи застосування органо-мінеральних біоактивних добрив у відновлюваній системі землеробства	12
2. Експериментальна частина рекомендацій	19
2.1. Умови і методика проведення досліджень	19
2.2. Погодні умови проведення досліджень	24
3. Теоретичні основи оптимізації мінерального живлення рослин за еколого-збалансованих систем удобрення	30
3.1. Вплив застосування добрив на фізико-хімічні і агрохімічні показники родючості сірого лісового ґрунту	30
3.2. Вплив еколого-збалансованих систем удобрення на мікробний ценоз та біологічну активність сірого лісового ґрунту	37
3.2.1. Мікробний ценоз ґрунту у посівах вівса	38
3.2.2. Мікробний ценоз ґрунту у посівах гороху	41
3.2.3. Мікробний ценоз ґрунту у посівах пшениці озимої	43
3.3. Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті за вирощування вівса, гороху і пшениці озимої	50
4. Біологічна активність сірого лісового ґрунту	54
5. Вплив традиційних і новітніх видів добрив на вміст мікроелементів і важких металів у сірому лісовому ґрунті	58
6. Урожайність культур ланки польової сівозміни за еколого-збалансованих систем удобрення	62
7.1. Продуктивність культур польової сівозміни за 2021–2025 рр.	67
7.2. Якість основної продукції в польовому досліді за органо-мінеральної системи удобрення, 2021–2025 рр.	70
8. Економічна ефективність застосування добрив у польовій сівозміні, 2021–2025 рр.	75
Список літератури	83

Вступ

Інтенсивне ведення землеробства, набравши обертів із середини XX ст., знаменувало собою новий етап у системах ведення сучасного землеробства, забезпечивши якісний стрибок у вирощуванні сільськогосподарських культур, що у 5–10 разів перевищило продуктивність попередніх екстенсивних систем ведення господарства. Це відповідає потребам індустріального суспільства в умовах сучасного демографічного вибуху на планеті. Інтенсивні системи землеробства включають просапну, зерно-просапну, зерно-парову, зерно-трав'яну, плодозмінну та інші сівозміни, що адаптуються до місцевих ґрунтово-кліматичних умов. Передбачається обов'язкова меліорація земель із кислою або лужною реакцією ґрунтового розчину. Вперше хімізація поєднала в єдиний комплекс засоби удобрення та захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб, що передбачало широке використання мінеральних добрив, інсектицидів, фунгіцидів і гербіцидів. Основною метою інтенсивного землеробства є отримання максимальної продукції на одиницю площі, що забезпечує економічну ефективність господарства та задоволення потреб населення в продовольстві.

Однак, вистачило небагато часу за тотального поширення інтенсивних технологій в Україні стало зрозумілим, що бумеранг хімізації повертається деградацією земельного покриву і погіршенням стану навколишнього природного середовища [4]. Внаслідок надмірного внесення мінеральних азотних добрив посилилась декальцинація ґрунтів, що призвело до їх дегуміфікації. Вміст пестицидів у ґрунтах багатьох регіонів сягнув критичних значень. Виникли проблеми глобального хімічного забруднення басейнів малих річок і питної води. Зросли втрати із педосфери органічного вуглецю, що призводить до деградації ґрунтового покриву. Негативний вплив посилюється накладанням на ґрунтовий покрив важких металів аерозольного походження з промислових центрів України.

Як вихід із загрозливого становища на початку XXI ст. почали виникати альтернативні системи землеробства, покликаних зняти антропогенний тиск

на навколишнє природне середовище. Серед них найпоширенішими є еколого-зберігаючі (еколого-збалансовані) системи землеробства, що передбачають застосування комплексу технологічних, організаційних та біологічних заходів, спрямованих на забезпечення сталого сільськогосподарського виробництва з мінімальним антропогенним навантаженням на довкілля. Їх формування обумовлено деградацією ґрунтів, скороченням біорізноманіття, зміною клімату, зниженням ефективності традиційних інтенсивних агротехнологій. Головною метою ЕЗСЗ є досягнення продуктивності агроєкосистем за одночасного збереження природних ресурсів та встановлення екологічної рівноваги.

Еколого-збалансовані системи удобрення відповідають ідеології відновлюваного землеробства, концептуальна модель якої полягає в комплексі організаційних і агротехнічних заходів, щодо збалансованого та ощадливого ведення сільського господарства з максимальним залученням і оптимальним використанням місцевих органічних і мінеральних ресурсів, відходів тваринництва і вторинної продукції рослинництва, а також застосуванням водних розчинів макро- і хелатних форм мікроелементів, антистресантів і гуматних добрив [37].

Перспективним напрямом у розвитку еколого-збалансованих систем удобрення є впровадження органо-мінеральних біоактивних добрив отриманих шляхом біоконверсії відходів тваринництва і птахівництва разом із органічними добривами природного походження (торфи, сапропелі озерні, леонардит). ОМБД мають удобрювальні меліоративні, іонообмінні біотичні властивості і розробляються з урахуванням особливостей конкретної культури залежно від ґрунтово-кліматичної зони їх вирощування.

1. СУЧАСНІ СИСТЕМИ ЗЕМЛЕРОБСТВА В УКРАЇНІ

Еволюційну зміну систем землеробства пов'язано з технічним і технологічним забезпеченням, що розвивалось у єдності із поступом людської спільноти. На сьогодні в Україні набувають подальшого розвитку такі сучасні системи землеробства: інтенсивна, відновлювана, еколого-зберігаюча, біологічна, органічна та ін.

1.1 Інтенсивна (промислова система землеробства)

Інтенсивна або промислова система землеробства — це форма організації сільськогосподарського виробництва, орієнтована на максимізацію врожайності та продуктивності земельних ресурсів за рахунок високого рівня механізації, хімізації, застосування сучасних агротехнологій і науково обґрунтованого управління виробничими процесами.

Ця система передбачає високопродуктивне використання всіх придатних земель для вирощування найцінніших і високоврожайних культур, їхніх сортів і гібридів, широке запровадження ефективних заходів і методів підвищення родючості ґрунту на основі досягнень аграрної науки, передового досвіду. Інтенсивна система базується на широкому застосуванню засобів промислового виробництва органічних і мінеральних та бактеріальних добрив, стимуляторів росту, хімічних засобів захисту рослин від шкідливих організмів (пестицидів), меліорантів, полімерних матеріалів.

Однак потрібно пам'ятати, що інтенсивна система можлива за високої технічної оснащеності господарства, достатньої кількості органічних і мінеральних добрив та інших засобів хімізації, високоякісного насіння сортів і гібридів польових культур. Застосування промислових засобів у максимально доступних нормах мають забезпечити врожайність зернових колосових культур (озима та яра пшениця, озиме жито, тритикале, ячмінь, овес) на рівні 6-7 т/га, зерна кукурудзи – 10–12 т/га, сої, гороху, ріпаку озимого, соняшника – 4-5 т/га, буряків цукрових – 60–70 т/га. Вирощена продукція має піддаватися глибокій і широкій переробці. Зокрема, на технічні

(біоетанол, дизельне паливо), продовольчі (цукор, олія, макаронні та хлібобулочні вироби) й кормові (комбікорм для тварин, сіно, вітамінні добавки) цілі. З урахуванням ґрунтово-кліматичних зон такі системи в Україні мають займати близько 50–60% ріллі.

Інтенсивна система землеробства є потужним інструментом для забезпечення продовольчої безпеки та підвищення економічної ефективності сільськогосподарського виробництва. Проте її застосування вимагає ретельного балансування між високою продуктивністю та збереженням екологічної стійкості. Відомо, що за промислової системи землеробства зростають витрати ресурсів і енергії, а також виникає низка екологічних проблем, пов'язаних із підтриманням і поліпшенням родючості ґрунтів, забрудненням сільськогосподарської продукції та довкілля. Тому у світовій практиці розробляються кілька напрямів альтернативного землеробства, де поєднуються агрономічні, екологічні і економічні ознаки галузі з визначенням і впровадженням у виробництво зональних і адаптивних систем з різним рівнем інтенсифікації.

1.2. Еколого-біосфена система відновлюваного земле- і природокористування

Послідовний розвиток ідеології контурно-меліоративного землеробства та ландшафтного підходу до ведення землеробства і природокористування привів до розуміння того, що основною таксономічною одиницею у регулюванні потоками антропогенної енергії повинен бути басейн малої річки, як цілісної гетерогенної системи і водночас замкненої на себе водозбірною площею в межах басейну. Цей басейн є межею і мірою антропогенного впливу і його найлегше підпорядкувати усвідомленому екологічно врівноваженому функціонуванню.

Концептуальні засади природоохоронної діяльності в басейнах малих річок висвітлені в монографії С.Е. Дегодюка, Е.Г. Дегодюка «Еколого техногенна безпека України», а також у наукових працях. Автори дійшли

висновку, що модель заслуговує на назву «біосферна» у зв'язку з системним підходом до відтворення всуціль деградованих басейнів малих річок і через них необхідно здійснювати значний обсяг відновлювальних робіт, що поверне екологічну рівновагу біосфері. Її побудовано не всупереч, а в поєднанні і в доповнення до існуючих прогресивних систем землеробства, контурно-меліоративного упорядкування територій, адаптивно-ландшафтного і біосферно-ландшафтного ведення господарства. Відмінною рисою цієї ідеї є систематизація технологій в агро- і біоценозах в єдиний природно-господарський комплекс у межах басейну малої річки.

Еколого-біосферна система відновлюваного земле- і природокористування – це всеохоплююча модель господарювання у басейнах малих, середніх і великих річок, як основи аграрних, селітебних і природних ландшафтів, що базується на принципах рівнозначності всіх форм рельєфу, які вважаються землями в обробітку і поза ним – ярами і балками, лісами і лісонасадженнями, луками, болотами, заплавами і руслами річок. У цій системі людина має взяти на себе всю відповідальність за продуктивне й екологічно врівноважене функціонування всіх складових ландшафту, незважаючи на відсутність отримання в найближчій перспективі певного зиску від експлуатації землі або водних ресурсів. У майбутньому гармонізація природних ландшафтів і агроєкосистем та поверхневих вод віддасть високою продуктивністю і біологічним різноманіттям тваринного і рослинного світу, що за своєю корисною біомасою буде рівнозначне або перевершить усі землі в обробітку. Останні позбудуться ознак деградації та підвищать свою продуктивність удвічі або й утричі. Георегіональна біосферна політика зменшить ступінь екологічного ризику і вплив руйнівних абіотичних чинників на навколишнє природне середовище.

Основна мета системи природокористування – глобальне поліпшення біосфери через гармонізацію відносин у системі людина–навколишнє природне середовище, покращання кругообігу води в біогеоценозах та агроландшафтах, максимальне наближення функціонування земель в

обробітку та поза ним до характерних для природних систем біогеохімічних циклів. Основною ознакою поліпшення природних біогеоценозів буде оптимальне співвідношення земель в обробітку і тих, що є і будуть вилучені з обороту для постійного залуження та заліснення.

Реальне втілення у життя ідеології еколого-біосферної концепції приведе до обов'язкової зміни стереотипу мислення, побудованого на антропоцентризмі та спрямованого на біосфероцентризм і басейноцентризм. Неминучою стане переорієнтація екологічної безпеки, що визначить розвиток вітчизняної промисловості для відтворення басейнів малих річок, а разом із цим потенційної і ефективної родючості ґрунтового покриву, оздоровлення гідросфери та атмосфери. Для цього потрібна буде мобілізація фізичних і духовних сил нації, підпорядкування ідеї відновлення природи урядових, політичних і наукових структур України. Має пройти адміністративна реформа, але не за територіальним, а за басейновим принципом. Беручи до уваги системні загрози природного характеру пов'язані із зміною клімату (повені, зсуви, посухи, екстремальні температурні аномалії, весь комплекс природно-відновлюваних робіт буде побудовано на засадах проведення інженерних, культурно-технічних робіт та здійснення агро-, хемо-, біо- і фітомеліорацій.

1.2.1. Відновлювана система землеробства

З огляду на критерії сучасного розвитку суспільства, на нашу думку, найперспективнішою є відновлювана система землеробства, концептуальна модель якої полягає в комплексі організаційних і агротехнічних упорядкованих басейнів малих річок, заходів щодо екологічно збалансованого й ощадливого ведення сільського господарства з максимальним залученням і оптимальним застосуванням природних місцевих органічних і мінеральних ресурсів, відходів тваринництва і побічної продукції рослинництва та «тонких» технологій – фіксації атмосферного азоту для живлення рослин за рахунок бобових і зернових культур, за рахунок симбіотичної й асоціативної

дії культивованих штамів ґрунтової мікрофлори, біопрепаратів фосформобілізивної, а також захисної дії стимуляторів росту росли та антистресантів, внесення ощадних доз мінеральних добрив із поступовою значною заміною їх орґано-мінеральними біоактивними добривами та інтегрованим захистом рослин із переважанням біопрепаратів захисної дії та агротехнічних методів.

Тому, запропонована нами відновлювана система землеробства побудована не на заборонних засобах, а на можливості самодостатнього і економного застосування у біологічному кругообігу відновлюваних і невідновлюваних ресурсів. Із кожної найпоширенішої системи ведення аграрного виробництва використано найраціональніше. Водночас, розроблена відновлювана система ведення господарства докорінно відрізняється від попередніх своєю комплексністю, створенням оптимальних умов мінерального живлення рослин за рахунок поєднання в орґано-мінеральних біоактивних добривах фізичних, фізико-хімічних, мінеральних і біологічних властивостей, зібраних «в одній гранулі», що проявляють свою стабілізувальну дію як на окультурених, так і на малопродуктивних та порушених землях.

В основу відновлюваного землеробства покладено принципи відновлюваності природного потенціалу агроєкосистем. Його суть полягає в тому, що будь-яке втручання людини в агроєкосистему має супроводжуватися відновлювальними процесами, що забезпечують стійкість ґрунтових, водних, біологічних та енергетичних ресурсів. Відновлюваність розглядається не лише як відновлення продуктивності ґрунту, а як збереження структурної та функціональної цілісності екосистеми загалом.

Під час переходу на ведення сучасного землеробства потрібно у відновлюваних системах удобрення якнайширше залучати в біологічний кругообіг відновлювані місцеві ресурси (побічну продукцію рослинництва, сидерати, гній тощо) з розширенням внесення, в перспективі, орґано-мінеральних біоактивних добрив. Комплексний підхід забезпечить

застосування таких доз мінеральних добрив, які до 50% будуть нижчими від тих, які вносять за традиційних технологій.

Відновлювана система удобрення має ширший, але енергетично і екологічно ощадливіший діапазон технологій за умови ландшафтно-адаптивного облаштування територій:

1. Оброблення насіння бобових і не бобових культур біопрепаратами захисної і удобрювальної, симбіотичної й асоціативної дії.

2. Внесення підстилкового гною у рекомендованих дозах, рівномірний розподіл по полю подрібненої соломи, стебел кукурудзи і соняшнику, гички буряків цукрових та інших рослинних решток із неглибоким загортанням у ґрунт і ком пенсійної дози азоту (10 кг/т азоту мінеральних добрив або 7–8 т рідкого гною на 1 т соломи) обов'язкове введення сидеральної культури та введення бобового компоненту в сівозмінах будь-якої спеціалізації.

3. Проведення хімічної меліорації земель із кислою або лужною реакцією ґрунтового розчину, внесення мінеральних фосфорних і калійних добрив в основне удобрення у помірних дозах (до 40–60 кг/га NPK), підтримуюче вапнування.

4. Поступова заміна мінерального удобрення на основне внесення органо-мінеральних біоактивних добрив (марки $N_4P_4K_4$) врозкид у дозах під зернові культури (в сухій речовині) 0,5–0,8 т/га, під просапні 1,0–1,2 т/га, врозкид або локально – 0,4–0,6 т/га ОМБД + N_{50-60} , в рядки за посіву – 0,125–0,3 т/га.

5. Подрібнене внесення азоту за етапами органогенезу зернових культур (N_{30-60}).

6. Позакореневе підживлення посівів стимуляторами росту, антистресантами і водними розчинами макро- і хелатних форм мікроелементів у бакових сумішах за внесення пестицидів.

7. Виготовлення компостів в умовах господарства для виробництва органо-мінеральних біоактивних добрив.

8. Поступова заміна хімічних засобів захисту рослин на механічні і біологічні.

Виходячи з рівня фінансового забезпечення, значна частина господарств на перших етапах впровадження буде неспроможна забезпечити весь комплекс згідно з новою технологією. У таких випадках обов'язковим буде виконання тих заходів, що є доступними на цей час – застосування побічної продукції рослинництва з компенсаційною дозою азоту, сидератів, біопрепаратів і стимуляторів росту, водних розчинів сполук макро- і хелатних форм мікроелементів.

Визначальним критерієм ефективності вибраної системи удобрення є вартість добрив, внесених на одиницю сівозмінної площі і додатково одержаного продукту. Для порівняння визначено систему удобрення за ведення традиційного (інтенсивного) і відновлюваного землеробства в короткоротаційній 5-пільній польовій сівозміні, характерній для зони Лісостепу. Загальна маса органічних добрив відповідно зменшується від 12 т/га за традиційної системи удобрення до 6 т на 1 га сівозмінної площі за відновлювальної без істотного зменшення надходження до ґрунту органічної речовини. Крім того, збільшення операцій від 3 за традиційною системою удобрення до 5 за відновлювальної не відбувається за рахунок додаткових витрат, позаяк вони проводяться в одному комплексі разом із протруюванням посівного матеріалу, або в бакових сумішах за внесення пестицидів разом зі стимуляторами росту й мікроелементами за позакореневого оброблення посівів.

Розрахунки показують, що вартість агрохімікатів удобрювальної дії, за відновлювальної системи удобрення знижується у 1,5 раза, транспортні витрати – у 7,6, а пального – в 3,1 раза порівняно з традиційною системою удобрення.

1.2.2. Перспективи застосування органо-мінеральних біоактивних добрив у відновлюваній системі землеробства

Нові часи екологізації навколишнього природного середовища вимагають відповідних змін і в принципах застосування засобів хімізації для регулювання мінерального живлення рослин. Історія землеробства налічує

тисячі років застосування на добрива гною і сидератів та 150 років промислових хімічних добрив, які не є притаманними для живої природи. За застосування їх у невеликих кількостях і на обмежених площах ефективність засобів хімізації була незначною. За інтенсивного і глобального внесення штучних добрив і пестицидів виникло незнане раніше хімічне забруднення довкілля, що призводить до дегуміфікації і денітрифікації земель в обробітку. Настає час розуміння того, що за надмірної концентрації тварин на промислових комплексах і птахофабриках неможливо раціонально утилізувати їх відходи на обмеженій території без шкоди для навколишнього природного середовища в обмеженій зоні їх діяльності. Адже нативні відходи економічно вигідно вивозити на відстань не більше 5–15 км. Єдино доцільний економічний і екологічний вихід – біоконверсія твердої або напіврідкої їх консистенції, що забезпечує знезараження від патогенів, з подальшим створенням органо-мінеральних біоактивних добрив (ОМБД).

Відділом агрохімії ННЦ «ІЗ НААН» розроблено методологію і методику виробництва ОМБД та проведено біологічну оцінку в польових дослідях і виробничих випробуваннях із польовими, овочевими, кормовими і садовими культурами в межах України.

Більше ніж 25-річний досвід наукової і виробничої роботи показав, що внаслідок проведення біоконверсії для виробництва ОМБД є придатними природні поклади органічної речовини – сапропелі озерні, торф верховий, перехідний і низинний, буре вугілля, а також відкладення глибоководної зони Чорного моря – коколітові та сапропелевидні мули.

Доведено високу ефективність залучення до складу ОМБД як органічної її частини (до 50%) відходів сучасного тваринництва і птахівництва – підстилкового гною, твердих фракцій безпідстилкового гною тваринницьких комплексів та різних видів пташиного посліду промислових птахофабрик (нативного і підстилкового), а також дигестату біогазових установок. Посилення сорбційних, іонообмінних, меліоративних та біотичних властивостей добрив забезпечує високий ефект у відтворенні потенційної

родючості ґрунту і стабілізує врожайність на рівні традиційного органіно-мінерального удобрення.

Одним із найважливіших завдань в охороні навколишнього природного середовища є визначення шляхів утилізації осадових стічних вод очисних споруд та органічної частини сміттєзвалищ, які на сьогодні потребують додаткової переробки для її вилучення. Процеси кавітації стоків і біоконверсії твердих відходів – реальний шлях до створення нового покоління органіно-мінеральних біоактивних добрив, що знайдуть своє застосування у рілльництві, зеленому та лісовому господарствах.

Науковою основою технологічних рішень за виробництва ОМБД є взаємодія в процесі біоконверсії між органічною і мінеральною частинами, внесених до їхнього складу компонентів. Органічна частина піддається мінералізації і гуміфікації з утворенням доступних для мінерального живлення рослин елементів та лабільних форм гумусу. Мінеральна частина привнесених промислових добрив (азотних, фосфорних і калійних), вступаючи у взаємодію з органічною, сприяє утворенню органіно-мінеральних комплексів, що є притаманним для живої природи. Сорбційні властивості добрив запобігають непродуктивній мінералізації сполук азоту і вуглецю до простих елементів, що звіряються.

Основною функцією ОМБД за внесення їх у ґрунт є створення «зони комфорту» для кореневої системи рослин, що зумовлює оптимізацію фізико-хімічних властивостей ґрунтового розчину, поживного режиму, біологічної його активності, значного ефекту гуматної і ферментативної частини добрив. Цією полікомпонентністю дії на ґрунт і рослину пояснюється висока ефективність застосування органіно-мінеральних біоактивних добрив у низьких дозах.

Визначальною ознакою ОМБД є збагачення їх у процесі біоконверсії комплексними бактеріальними препаратами, що забезпечують активні та врівноважені процеси амоні-, нітри- і денітрифікації, посилюють фосфатмобілізувальну здатність завдяки нерозкладеній органічній речовині поживних решток, підвищують фіксацію атмосферного азоту кореневою

системою сільськогосподарських культур. Завдяки біоконверсії в процесі виготовлення добрив втрачається токсичність (меркаптани, скатол, індол) та зникає неприємний запах, характерний для свіжої органічної маси птишиного посліду або гною.

Полікомпонентні органо-мінеральні біоактивні добрива мають комплексну дію на поживний режим ґрунту: поліпшують вуглецеве і мінеральне живлення рослин; підвищують коефіцієнт використання основних поживних речовин як шляхом надходження їх з добривами, так і внаслідок біологічної трансформації органічних решток у ґрунті впродовж одного вегетаційного періоду завдяки урівноваженню процесів синтезу-деструкції, включеної до складу ОМБД біоти; покращують водно-фізичні та іонообмінні властивості ґрунту. Органо-мінеральні біоактивні добрива найефективніші за внесення їх у рядки під час сівби або в лунки за садіння сільськогосподарських культур. Тому прирівнювання діючої речовини NPK у складі ОМБД до простих мінеральних добрив є некоректним відносно їхньої ефективності.

На рис. 1 представлено принципову схему компостування органічної речовини тваринного і антропогенного походження, що передбачає формування буртів із застосуванням підстилкового гною великої рогатої худоби [15], твердої фракції свиней, птишиного посліду разом із органічною масою природного походження – торфу, сапропелю озерного, бурого вугілля, дигестату біогазових установок із додаванням мінеральних компонентів (мінеральних добрив, сорбентів, меліорантів і іонообмінників). Після проведення формування бурту, до нього додається біологічно активна компонента – біота із доведенням компосту до вологості 60%. Періодично, під час проходження біоконверсії, через 7–10 днів проводиться активна аерація органічної маси самохідним або причепним аератором. Термін компостування становить 35–45 днів. Основний продукт – органо-мінеральне біоактивне добриво в сипучій формі пакується в біг-беги.

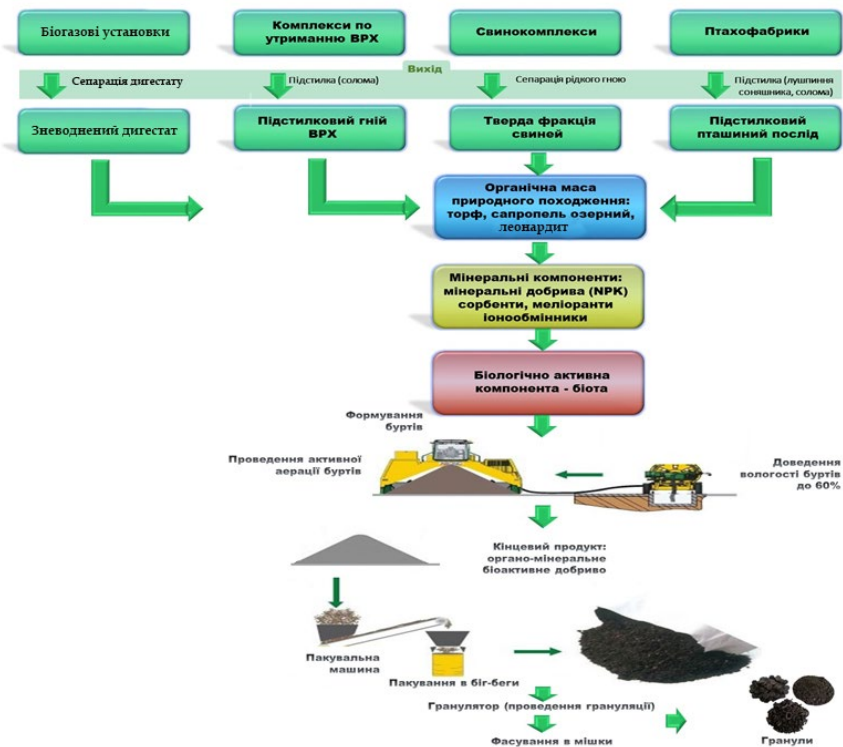


Рис. 1. Принципова схема компостування органічної речовини антропогенного походження

Перспективним напрямом у виробництві органо-мінеральних біоактивних добрив є застосування зневодненого дигестату біогазових установок. У 2025 р. за альтернативного виробництва зеленої енергетики в Україні вироблено близько 1,5–2 млн т дигестату на рідкій органічній основі.

Дигестат – продукт біоконверсії органічних відходів в анаеробних умовах, що супроводжується утворенням біогазу – відновлюваного енергетичного ресурсу придатного для виробництва електричної і теплової енергії.

У 2023–2025 рр. відділом агрохімії ННЦ «ІЗ НААН» розроблена технологія біоконверсії відходів біогазових установок на базі ТОВ «КАЛПСО Біогаз» із загальним виробництвом біогазу 11 млн м³, та електроенергії –

1,1 ГВт за рік. Для виробництва біогазу використовується кукурудза на силос. Вихід рідкого дигестату 25 тис м³ за рік.

Створено дві композиції органо-мінеральних біоактивних добрив:

- 1) для інтенсивного землеробства ОМБД-інтенсив на основі зневодненого дигестату із додаванням мінеральних добрив (NPK), сорбенту і меліорантів та агрономічно цінної біоти. Співвідношення речовин у продукті $N_{4,2}P_{5,1}K_{4,1}$.
- 2) для органічного землеробства ОМБД-органік на основі зневодненого дигестату із додаванням мінеральних компонентів, дозволених для органічного землеробства (IFOAM); екоплант, природнє фосфорно-калійне добриво, сорбенту, меліоранту та комплексу біопрепаратів (агрономічно цінної біоти). Співвідношення поживних речовин у ОМБД-органік $N_{1,8}P_{1,9}K_{3,5}$.

Агробіологічну експертизу біоактивних добрив проводили у тривалих, напівстаціонарних і короткотривалих дослідях у 2001–2025 рр. на основних відмінах ґрунтів, характерних для зон Лісостепу, Полісся і Степу.

Установлено, що ОМБД є універсальними для ефективного застосування у польовому землеробстві, кормовиробництві, виноградарстві, зеленому господарстві міст, лісівництві та в тепличному господарстві. У зв'язку з тим, що ОМБД є активний носій ґрунтової біоти, перспективним є застосування його для відновлення порушених і рекультивованих земель. Найефективнішою галуззю для застосування ОМБД є землеробство.

Шляхом проведення польових наукових дослідів і виробничих випробувань установлено, що внесення ОМБД є ефективним за вирощування культур просапних і суцільної сівби, включаючи і зернову групу.

Визначено, що оптимальні дози внесення органо-мінеральних біоактивних добрив становлять для зернових культур 1,0–1,5 т/га, для просапних – 2-3 т/га гранульованих або сипучих форм. При цьому з такою дозою ОМБД до ґрунту потрапляє $N_{40-50}P_{40-50}K_{40-50}$ у складі органо-мінеральних комплексів.

Рекомендована доза органо-мінеральних біоактивних добрив, виготовлених на основі зневодненого дигестату у сипучій формі для ОМБД-інтенсив, становить – 2 т/га, для ОМБД-органік – 4 т/га.

За несприятливих погодних умов вегетаційних періодів, характерних для останніх десятиріч, коли початок вегетації супроводжується посушливими явищами з повторенням їх у літній період, ефективність 2 т/га ОМБД і підвищених доз NPK може бути нестабільною. Це пов'язано з тим, що за нестачі вологи зростає концентрація солей у ґрунтового водному розчині, що спричиняє активну сорбцію катіонів і аніонів кореневою системою з подоланням енергетичних бар'єрів. Для нестабільних і сприятливих погодних умов визначено універсальну модель застосування органо-мінеральних біоактивних добрив, яка полягає у внесенні врозкид або локально під основний обробіток ґрунту невисоких їхніх доз у гранульованій формі, що становлять 0,5 т/га з додаванням 50–60 кг/га азоту мінеральних туків. Доповнення ОМБД мінеральним азотом забезпечує активне мінеральне живлення на стартових етапах розвитку рослин і пролонгованість дії азоту органо-мінеральних комплексів ОМБД.

Перспективною для будь-яких погодних умов є технологія внесення ОМБД в рядки під час сівби або в лунки за садіння сільськогосподарських культур. Для польових культур визначено оптимальні параметри рядкового внесення ОМБД у межах від 0,125 до 0,300 т/га залежно від строків сівби та інтенсивності живлення рослин: під ярими зерновими культурами вона може бути нижчою, під просапними і озимими культурами – вищою.

Компостування (біоконверсія) органічної маси є одним із основних джерел розв'язування енергетичної проблеми у живленні рослин. У процесі виготовлення органо-мінеральних біоактивних добрив біоконверсія є обов'язковою проміжною стадією технологічного процесу.

З розширенням виробництва ОМБД на природній і антропогенній органічній основі в традиційному, відновлюваному і точному землеробстві та за нульового обробітку ґрунту поступово буде звужуватись сегмент застосування чисто мінеральних туків. Їх буде включено до складу ОМБД, де вони набудуть ознак не чисто хімічних, а органо-мінеральних комплексів. За будь-якої органічної основи вміст поживних речовин у них буде у межах до співвідношення (%) – $N_4P_4K_4$ або $N_0P_4K_4$ (для озимих культур).

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РЕКОМЕНДАЦІЙ

Для підтвердження теоретичної частини рекомендацій нижче наводимо результати 5-річних досліджень, проведених відділом агрохімії «ІЗ НААН» впродовж 2021-2025 рр. в тривалому досліді і в його запільному клину на сірому лісовому ґрунті. В польових дослідях проводили вивчення ефективності застосування добрив за екстенсивної (без добрив), органічної, мінеральної, органо-мінеральної та відновлюваної систем удобрення. Дослідження стосуються зміни потенційних показників родючості ґрунті, емісії вуглекислого газу, мікробіологічної діяльності ґрунтової біоти, визначень впливу добрив на урожайність культур 5-пільної короткоротаційної сівозміни, продуктивність її за III ротацію, якості продукції і економічної ефективності застосування традиційних і новітніх видів добрив в традиційному, відновлюваному землеробстві. Наведені дослідження свідчать, що пошук аграрної науки наближає аграріїв до раціонального використання землі, застосування ресурсів і підвищення рентабельності виробництва.

2.1. Умови і методика проведення досліджень

Дослідження проводили в тривалому польовому закладеному у 2011 р. досліді відділом агрохімії ННЦ «ІЗ НААН» на сірому лісовому крупнопилуватому легкосуглинковому ґрунті.

Дослідження на сірому лісовому ґрунті виконано в п'ятипільній польовій сівозміні: овес, ячмінь ярий, гречка, горох, пшениця озима у 2025 р. Схема досліду включає 11 варіантів удобрення по кожній культурі, спрямованих на застосування традиційних мінеральних добрив і органічних (гною ВРХ) в різних дозах і співвідношеннях, а також нового покоління органо-мінеральних біоактивних добрив. (табл.).

Спосіб розміщення варіантів і повторень систематичний, площа посівної ділянки 50 м², облікової – 22 м², повторення – чотириразове. Дослід у натурі розгорнуто на 3-х полях. Мінеральні добрива (аміачна селітра, амофос, калійна сіль) вносили під час основного обробітку ґрунту, аміачну селітру – за схемою

роздрібно під культивуацію і за фазами органогенезу рослин, побічну продукцію – після збирання врожаю культури згідно з програмами досліджень. Підстилковий гній великої рогатої худоби, і дефекаст застосовано в основне внесення під овес.

У досліді вивчали ефективність органо-мінерального біоактивного добрива (ОМБД), виготовленого на основі гною великої рогатої худоби і твердої фракції відходів свинокомплексів, мінеральних компонентів (сорбентів, іонообмінників, меліорантів) та агрономічно цінного комплексу мікроорганізмів із співвідношенням $N_4P_4K_4$ (по 40 кг д.р. у 1 т), далі по тексту – ОМБД – 4-4-4.

Позакореневе підживлення рослин рідкими комплексними добривами ТМ «Ярило» у дозі 0,5-2,0 л/га проводили в основні фази вегетації культур: горох (5-6 листків, бутонізація), овес (кущіння і вихід у трубку), гречка (4 листки, початок цвітіння), горох (5-6 листків, бутонізація), пшениця озима (вихід в трубку, прапорцевий листок), (табл. 1).

Склад препаратів ТМ «Ярило» такий:

- *ПРОуніверсал*, г/л: $N_{\text{заг.}}$ – 184; P_2O_5 – 90; Fe (EDTA) – 6; Mn (EDTA) – 10; Cu (EDTA) – 10; Zn (EDTA) – 11; B (EDTA) – 6; Mo (EDTA) – 0,1.
- *Аміно мікс* (концентрація діючої речовини, % маси): N – до 35,0, P_2O_5 – до 35,0, K_2O – до 35,0, S – до 10,0, Ca – до 10,0, Mg – до 10,0, B – до 15,0, Cu (EDTA) – до 10,0, Fe (EDTA) – до 10,0, Mn (EDTA) – до 10,0, Zn (EDTA) – до 10,0, Mo (EDTA) – до 5,0, і – до 2,0, Co (EDTA) – до 0,01, органічні кислоти – до 30,0 %, фітогормони – до 0,5 %, ПАР – до 10%.
- *Ярило Бор ЕКСТРА*, г/л: N-68, B-150, Mo-0,1, амінокислоти, цитокінін, ад'ювант.

- *Продуктивний ріст*, г/л: N – 164, P₂O₅ – 85, K₂O – 110, SO₃ – 5,3, Ca – до 10,0, Mg – до 10,0, B – 1,0, Cu (EDTA) – 0,6, Fe (EDTA) – 0,5, Mn (EDTA) – 2,0, Zn (EDTA) – 0,6, Mo (EDTA) – 0,05.
- *Активний старт ПРО*, г/л: N – 60, P₂O₅ – 160, K₂O – 60, SO₃ – 5,2, B – 0,5, Cu (EDTA) – 0,5, Fe (EDTA) – 1, Mn (EDTA) – 0,5, Zn (EDTA) – 1,0, Mo (EDTA) – 0,05.
- *Зерновий*, г/л: N – 80, Mg – 52; SO₃ – 38, B – 4, Cu (EDTA) – 15, Fe (EDTA) – 1,4, Mn (EDTA) – 10, Zn (EDTA) – 2,0, Mo (EDTA) – 0,05.
- *Марганець* – Mn (EDTA) – 100.

Таблиця 1. Схема позакореневого внесення добрив ТМ «Ярило»

Овес	Кущення ПРОуніверсал, 1,0 л/га + Марганець, 0,5 л/га	Вихід у трубку Зерновий, 2,0 л/га + Аміно Мікс, 1,0 л/га
Ячмінь ярий	Кущення ПРОуніверсал, 1,0 л/га + Марганець, 0,5 л/га	Вихід у трубку Зерновий, 2,0 л/га + Аміно Мікс, 1,0 л/га
Гречка	4 листки Продуктивний ріст, 1,0 л/га + ПРОуніверсал, 1,0 л/га + Сірка, 2,0 л/га	Початок цвітіння Ярило Бор, 2,0 л/га + Аміно Мікс, 1,0 л/га
Горох	5-6 листків Активний старт ПРО, 1,5 л/га + Аміно Мікс, 1,0 л/га	Бутонізація Соя, 2,0 л/га + Бор Екстра, 1,0 л/га
Пшениця озима	Вихід у трубку Продуктивний ріст, 1,0 л/га + ПРОуніверсал, 1,0 л/га + Сірка, 2,0 л/га	Прапорцевий листок Зерновий, 2,0 л/га + Аміно Мікс, 1,0 л/га

Орґано-мiнеральний блок дослiду включає рiзні системи удобрення iз залученням традицiйних органiчних i мiнеральних добрив та орґано-мiнеральних бiоактивних добрив – iз застосуванням традицiйних видiв

У дослiдi вирощували внесенi до Державного реєстру сорти i гiбриди сiльськогосподарських культур: овес – Парламентський, ячмiнь ярий – Сонцедар, гречка – Син 3/02, пшениця – Спiванка Пiлська, горох – рядовий.

Вiдбiр проб ґрунту проводили в кiнцi вегетацiї перед збиранням сiльськогосподарських культур на глибину орного (0–20 см) шару, середнiй змiшаний зразок готували iз проб вiдбiраних у 3-х повтореннях кожного варiанта.

Таблиця 2. Схема тривалого дослiду по вивченню ефективностi рiзних систем удобрення в коротко ротацiйній польовiй сiвозмiнi

Удобрення на 1 га сiвозмiнної площi		Культура				
Гнiй, т	НРК, кг	Овес	Ячмiнь	Гречка	Горох	Пшениця
Без добрив (контроль)						
Орґано-мiнеральна система удобрення						
12	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₄	N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₂₀ P ₃₀ K ₂₀	N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀
12	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀
6	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀
Органiчна система удобрення						
12		-	-	-	-	-
6		-	-	-	-	-
Мiнеральна система удобрення						
-	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₄	N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀
-	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀
-	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₀₂	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₆₀ P ₉₀ K ₆₀	N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₅₀
Вiдновлювана система удобрення						
ОМБД 4-4-4 – 1,0 т/га		1,0 т/га	1,0 т/га	1,0 т/га	1,0 т/га	1,0 т/га
ОМБД 4-4-4 – 0,5 т/га + N ₄₀		0,5 т/га + N ₄₀	0,5 т/га + N ₄₀	0,5 т/га + N ₄₀	0,5 т/га + N ₄₀	0,5 т/га + N ₄₀

Агрохiмiчний аналiз зразкiв ґрунту проведено за методами, що вiдповiдають нормативнi базi України: визначення рН_{сол.} згiдно (ISO

10390:2019, IDT); активної кислотності $pH_{\text{водн.}}$ (ДСТУ 7862:2015); гідролітичної кислотності (ДСТУ 7537:2014); суми вбирних основ (ГОСТ 27821-88); органічної речовини в перерахунку на гумус (ДСТУ 4289:2004; ДСТУ 7632:2014); обмінних кальцію і магнію (ДСТУ 7861:2015); азоту легкогідролізованого (ДСТУ 7863:2015); рухомих сполук фосфору і калію (ДСТУ 4115-2002); рухомих форми важких металів і мікроелементів у ґрунті (Pb, Ni, Cd, Zn, Cu, Fe, Mn) в буферній ацетатно-амонійній витяжці (ДСТУ 4770.1:2007; ДСТУ 4770.2:2007; ДСТУ 4770.3:2007; ДСТУ 4770.4:2007; ДСТУ 4770.6:2007; ДСТУ 4770.7:2007; ДСТУ 4770.9:2007) [5].

Інтенсивність розкладу лляного полотна оцінювали аплікаційним методом. Інтенсивність дихання ґрунтів виявляли за допомогою польового методу Штатного у модифікації Б.Н. Макарова [1].

Визначення чисельності мікроорганізмів основних фізіологічних груп здійснювали методом мікробіологічного посіву ґрунтової суспензії відповідного розведення на живильні середовища поверхнево та глибинно: м'ясо-пептоновий агар – для визначення амоніфікувальних мікроорганізмів; крохмале-аміачний агар – мікроорганізмів, що засвоюють азот мінеральних сполук і актиноміцетів; середовище Чапека – мікроміцетів; голодний агар – оліготрофів; ґрунтовий агар – педотрофів; середовище Ешбі – олігонітрофілів та бактерій роду *Azotobacter*; середовище Менкінної – мікроорганізмів, що мобілізують органічні фосфати; середовище Гетчинсона – целюлозоруйнівних мікроорганізмів; нітратний агар (з додаванням гуматів) – мікроорганізмів, що перетворюють гумусові речовини [12, 13, 16, 24]. Результати чисельності мікроорганізмів представляли кількістю колонієутворюючих одиниць в 1 г абсолютно сухого ґрунту (КУО/г ґрунту), враховуючи коефіцієнт вологості ґрунту.

Розрахункові показники, зокрема мінералізації-іммобілізації, оліготрофності, педотрофності та мікробної трансформації органічної речовини ґрунту, які характеризують напруженість мінералізаційних процесів і трофічний режим ґрунту, визначали за співвідношенням окремих груп мікроорганізмів.

Облік урожаю та показники його структури проводили згідно з «Методикою державного сортовипробування сільськогосподарських культур» 2001 р. Якість зерна (ДСТУ4117:2007) визначали за методом спектроскопії на інфрачервоному аналізаторі NIR SYSTEMS 4500. Дисперсійний аналіз експериментальних даних здійснювали з використанням програми EXSEL 2010 р.

2.2. Погодні умови проведення досліджень

Погодні умови упродовж 2021–2025 рр. на території України, зокрема в зоні Лісостепу є невід’ємною частиною тих кліматичних змін, які мають всепланетарне значення, зокрема спостерігається чітко виражена тенденція до підвищення середньорічних температур, збільшення частоти екстремальних погодних явищ та зміни режиму опадів, що свідчить про поступову аридизацію клімату. Агрометеорологічні умови вегетаційних періодів стали більш контрастними й менш передбачуваними. В період з 2021 р. кожен наступний рік загалом був теплішим за попередній, а 2024 р. став найтеплішим за весь період спостережень.

Таблиця 2.1. Температура повітря та кількість опадів за даними метеостанції «Чабани» 2021 – 2025 рр.

Місяць	Середньодобова температура повітря, °C						Опади, мм					Норма
	2021	2022	2023	2024	2025	Норма	2021	2022	2023	2024	2025	
Січень	-2,4	-2,1	-2,1	-4,0	3,5	-5,6	49	52	5	40	17	48
Лютий	-3,8	-2,0	-0,1	-1,7	-3,2	-4,2	61	11	15	30	4	46
Березень	1,6	0,1	3,4	3,8	7,5	0,7	12	8	31	39	19	36
Квітень	8,1	8,3	9,7	12,9	11,3	8,7	37	25	75	67	32	49
Травень	14,7	14,3	16,5	16,3	13,6	15,2	63	28	0	15	34	53
Червень	21,5	21,8	20,2	22,4	19,0	18,2	20	30	51	126	61	73

Липень	24,4	20,2	20,1	25,4	21,1	19,3	48	41	118	57	106	88
Серпень	21,3	21,9	25,0	24,5	19,9	18,6	85	33	14	37	17	69
Вересень	11,9	11,5	18,6	19,3	16,9	13,9	16	65	10	14	13	47
Жовтень	8,3	—	—	10,1	—	8,6	0	—	—	53	56	46
Середня	10,6	10,4	12,4	12,9	—	—	39	33	35	48	—	—

Вегетаційний період 2021 р. характеризується продовженням тих кліматичних змін, які мають всепланетарне значення – відбувається нарощення температур повітря у літні місяці на фоні зменшення кількості опадів, що свідчить про поступову аридизацію клімату в Україні [6]. Проте погодні умови вегетаційного періоду 2021 р. мають свої особливості, що полягають у певній їх стабілізації в північній частині зони Лісостепу.

Так за температурним режимом зимовий період (січень-лютий) і початок березня були теплішими порівняно з багаторічними даними, що сприяло добрій перезимівлі пшениці озимої. У квітні й травні температура повітря наблизилась до норми і за літні місяці (червень–серпень) вона була на 15–26 % вищою від норми, наближаючись до багаторічних значень у вересні і жовтні. За кількістю опадів вегетаційний період 2021 р. визначався як помірно-посушливий, адже загальна кількість опадів становила в середньому 39 мм за норми 54 мм або 72% до неї. Втім зволоження у критичні періоди для росту і розвитку сільськогосподарських культур було сприятливим – зимові опади компенсували нестачу вологи у березні (30 %) і квітні (76 %) до норми. Особливо сприятливими були травневі опади (+19 % до норми), що певною мірою компенсували їх нестачу у липні (28–55 % до норми). Серпневі опади (+23 %) послабили посушливість у вересні (35 %), які зрівнялись із багаторічними даними у жовтні, що було сприятливим для посіву озимих культур, оптимальні строки посіву яких змістились з вересня на жовтень.

Застосування добрив у польовому досліді стабілізувало формування урожайності сільськогосподарських культур.

Вегетаційний період 2022 р. характерний продовженням тих кліматичних змін, які мають всепланетарне значення – відбувається нарощення температур повітря у літні місяці на фоні зменшення кількості опадів, що свідчить про поступову аридизацію клімату в Україні. Втім погодні умови вегетаційного періоду 2022 р. мають свої особливості, що полягають у певній їх стабілізації в північній частині зони Лісостепу. Так, за температурним режимом зимовий період (січень-лютий) були теплішими порівняно з багаторічними даними, що сприяло добрій перезимівлі пшениці озимої але березня.

За період з січня по вересень 2022 р. температурний режим відрізнявся великою неоднорідністю, так січень і лютий були значно тепліші від норми, $-2,1$, $-2,0^{\circ}\text{C}$ (162 і 152%) що забезпечило сприятливі умови перезимівлі. Весняні місяці характеризувалися значно нижчим показниками температури: характеризувалися березень, квітень і травень 14, 94 і 95% від норми, що гальмувало появу сходів ярих культур і процеси кущення, виходу в трубку в озимих. Літні місяці видалися жаркими, що негативно позначилося на рості й розвитку сільськогосподарських культур. Місяць червень найбільше відхилявся від норми перевищуючи її на $3,6^{\circ}\text{C}$, або 120 %

За кількістю опадів вегетаційний період 2022 р. визначався як посушливий, адже загальна кількість опадів становила в середньому 33 мм за норми 54 мм або 61% до неї. Зволоження ґрунту у критичні періоди для росту і розвитку сільськогосподарських культур було сприятливим – зимові опади компенсували нестачу вологи у березні (22%) і квітні (51%) до норми. В літні місці нестача опадів призвела до значного зниження продуктивності культур їх кількість від о червня о серпень слали лише від 41–48% від норми.

Застосування добрив у польовому досліді стабілізувало формування урожайності сільськогосподарських культур за рахунок зниження транспірації і більш продуктивного використання вологи.

Вегетаційний період 2023 р. характерний продовженням тих кліматичних змін, які мають всепланетарне значення – відбувається

нарощення температур повітря у літні місяці на фоні зменшення кількості опадів, що свідчить про поступову аридизацію клімату в Україні. Однак погодні умови вегетаційного періоду 2023 р. мають свої особливості, що полягають у певній їх стабілізації в північній частині зони Лісостепу. Так, за температурним режимом зимовий період (січень-лютий) були теплішими порівняно з багаторічними даними, що сприяло добрій перезимівлі пшениці озимої.

Температурний режим повітря за період з січня по вересень 2023 р. відрізнявся значною неоднорідністю, оскільки січень і лютий були значно теплішими від норми: $-2,1$, $-0,1^{\circ}\text{C}$ (162 і 4200 %), що забезпечило сприятливі умови перезимівлі. Весняні місяці характеризувалися помітно вищими показниками температури: у березні, квітні і травні 485, 112 і 108 % від норми, що пришвидшувало появу сходів ярих культур і процеси кущення та виходу в трубку в озимих. Літні місяці були спекотними, що негативно позначилося на рості і розвитку сільськогосподарських культур. Найбільше відхилення від норми визначено у серпні: перевищення середньомісячних показників на $6,4^{\circ}\text{C}$, або на 134 %.

За кількістю опадів вегетаційний період 2023 р. визначався як посушливий і нерівномірним зволоженням, адже загальна кількість опадів становила в середньому 35 мм за норми 54 мм, або 65 % до неї. За 9 міс. спостережень тільки у квітні і липні кількість опадів на 53 і 34 % перевищувала норму. За критичний квітень-серпень кількість опадів становила 75 % до норми, що свідчить про стійку тенденцію аридизації клімату, яка прогресує останні 20 років.

Встановлено, що застосування добрив у польовому досліді стабілізувало формування урожайності сільськогосподарських культур за рахунок зниження транспірації і більш продуктивного використання вологи.

Веgetаційний період 2024 р. характерний продовженням тих кліматичних змін, які мають всепланетарне значення – відбувається нарощення температур повітря впродовж усього року на фоні зменшення і нерівномірності випадання

опадів, що свідчить про поступову аридизацію клімату в Україні. Втім погодні умови вегетаційного періоду 2024 р. мають свої особливості, що полягають у певній їх стабілізації в північній частині зони Лісостепу. Так, за температурним режимом зимовий період (січень-лютий) був теплішими порівняно з багаторічними даними, де відхилення від норми склали 28,6%, 59,5, і 443%, що сприяло добрій перезимівлі озимих культур.

Весняні місяці характеризувалися помітно вищими показниками температури: у березні, квітні і травні 543, 148 і 107 % від норми, що пришвидшувало появу сходів ярих культур і процеси кушення та виходу в трубку в озимих. Літні місяці були екстремально спекотними, що негативно позначилося на рості й розвитку сільськогосподарських культур, особливо негативно реагували посіви гречки, через стерильність пилку і абортацию зав'язі. Найбільші відхилення від норми визначено у липні серпні: перевищення середньомісячних показників на 6,4 і 5,9°C, або на 132 % відповідно.

За кількістю опадів вегетаційний період 2024р. визначався як посушливий і нерівномірним зволоженням, адже загальна кількість опадів становила в середньому 48 мм за норми 56 мм, або 86 % до неї. За 10 міс. спостережень тільки у квітні, червні і жовтні кількість опадів на 37%, 73 і 15 % перевищувала норму. За критичний квітень-серпень кількість опадів становила 91 % до норми, але через високу інтенсивність випаровування дані опади були малоефективними для забезпечення проходження процесів росту і життєдіяльності.

Встановлено, що застосування добрив у польовому досліді стабілізувало формування урожайності сільськогосподарських культур за рахунок підвищення стійкості до несприятливих абіотичних умов і більш продуктивного використання вологи.

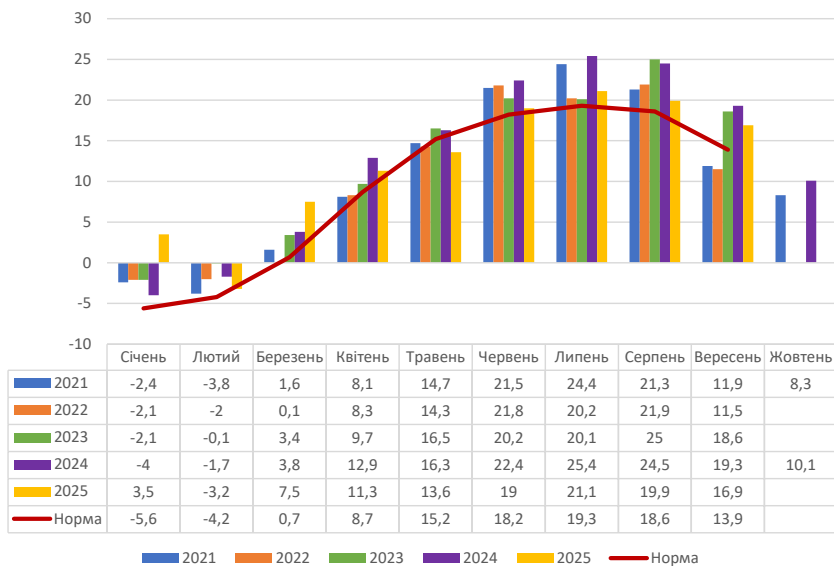


Рис. 2.1. Температура повітря за січень-жовтень 2021–2025 рр. за даними метеостанції «Чабани», °С

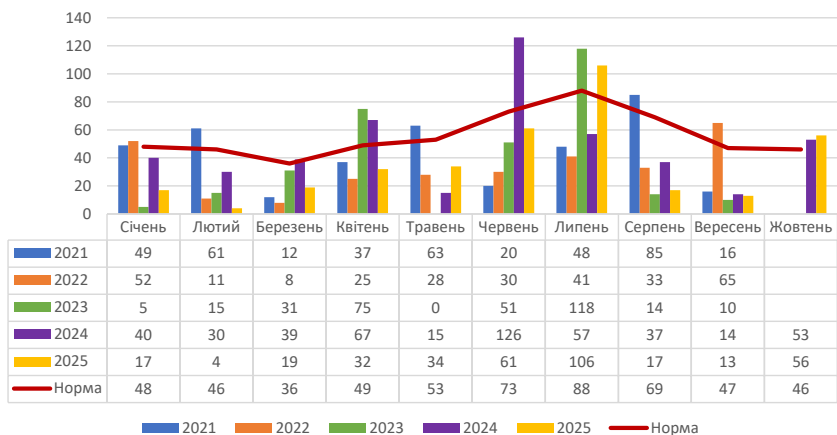


Рис. 2.2. Кількість опадів за січень-жовтень 2021–2025 рр., за даними метеостанції «Чабани», мм

3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН ЗА ЕКОЛОГО-ЗБАЛАНСОВАНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

3.1. Вплив застосування добрив на фізико-хімічні і агрохімічні показники родючості сірого лісового ґрунту

Фізико-хімічні показники ґрунту. Тривале застосування різних видів добрив протягом трьох ротацій 5-пільної сівозміни (2011–2025 рр.) призвело до диференціації фізико-хімічних показників сірого лісового ґрунту [10]. Встановлено, що в третій ротації (2021–2025 рр.) польової сівозміни реакція ґрунтового розчину за органо-мінеральної і органічної систем удобрення наближалась до слабокислої ($\text{pH}_{\text{сол.}} - 5,1-5,3$), а за мінеральної – до сильнокислої ($\text{pH}_{\text{сол.}} 4,3-4,7$). Тобто чітко простежується підкислена дія фізіологічно-кислих форм зростаючих доз мінеральних добрив від одинарної – $\text{N}_{30}\text{P}_{30}\text{K}_{34}$ до потрійної $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{102}$. Відповідно і підвищуються показники гідролітичної кислотності ґрунту, що становлять 1,81 м-екв/100 г ґрунту за органо-мінеральної (12,0 т гною великої рогатої худоби на 1 га ріллі + $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{68}$), 1,44 – за органічної (12,0 т/га гною великої рогатої худоби) та 2,45 м-екв/100 г ґрунту – за мінеральної ($\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{68}$) систем удобрення (табл. 3.1). Ця закономірність пов'язана з тим, що у процесі застосування органічно і хімічно кислих добрив відбувається витіснення із ГВК двовалентних катіонів кальцію і магнію та заміна їх іонами водню і алюмінію, що підвищує їх гідролітичну кислотність і змінює реакцію ґрунтового розчину у бік його підкислення [11].

Стабілізувальну роль у формуванні суми увібраних основ сірого лісового ґрунту відіграє сумісне застосування органічних і мінеральних добрив, так за органо-мінеральної помірної (12 т/га гною великої рогатої худоби + $\text{N}_{30}\text{P}_{30}\text{K}_{34}$) і насиченої 12 т/га гною великої рогатої худоби + $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{64}$ системи удобрення їх показники становили 6,4–7,1 м-екв./100 г ґрунту із перевищенням контролю на 8–20% тоді, як за мінеральної потрійної $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{102}$ відбулось зниження суми на 10% порівняно з контролем.

За органічної системи удобрення показники суми вбирних основ підвищувались по мірі зростання доз внесення гною великої рогатої худоби від 6 до 12 т на 1 га ріллі і становили 6,8-7,3 м-екв/100 г ґрунту із перевищенням контролю без добрив відповідно на 15–24%.

Відомо, що всі ґрунти легкого механічного складу, зокрема і сірі лісові крупнопилувато-легкосуглинкові, характеризуються низьким умістом обмінних форм кальцію і магнію [21].

Таблиця 3.1. Фізико-хімічні показники орного (0–20 см) шару сірого лісового ґрунту у польовій сівоzmіні, середнє 2021–2025 рр.

Удобрєння на 1 га ріллі		рН вод.	рН сол.	Гідролітич на кислот- ність	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сума увібраних основ
гній, т/га	НРК, кг			мг-екв100 г ґрунту			
контроль (без добрив)		6,2	5,3	1,38	5,7	1,0	5,9
12	N ₃₄ P ₃₀ K ₃₄	5,9	5,0	1,58	6,2	1,1	6,4
12	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	5,7	5,0	1,81	6,3	1,1	7,1
12	-	6,1	5,3	1,44	6,8	1,2	7,3
6	-	6,0	5,1	1,75	6,5	1,1	6,8
6	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	5,6	4,6	1,92	6,2	1,0	6,9
-	N ₃₄ P ₃₀ K ₃₄	5,7	4,7	2,03	5,9	1,1	6,5
-	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	5,4	4,6	2,01	5,5	1,1	6,1
-	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₀₂	5,4	4,3	2,45	5,2	0,9	5,3
ОМБД 1,0		5,8	4,9	1,67	6,2	1,0	6,9
ОМБД 0,5 + N ₄₀		5,8	4,9	1,72	6,0	1,0	6,3
НІР ₀₅		0,27	0,3	0,15	0,28	0,08	0,32

За систематичного застосування мінеральних добрив тут відбуваються деструктивні зміни у зв'язку із посиленням процесів мінералізації, що призводить до вилугування, опідзолення що пов'язано з кислотним гідролізом глинистих мінералів орного шару ґрунту. Так, за внесення потрібної дози мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{102}$ визначено найнижчий вміст обмінного кальцію і магнію 5,2 і 0,9 м-екв/100 г ґрунту, порівняно з контролем без добрив, за вмісту Ca^{2+} – 5,7 і Mg^{2+} – 1,0 м-екв/100 г ці показники за інтенсивної мінеральної системи знизились відповідно на 8,8 і 10 %. Визначено, що зростання вмісту обмінних катіонів сірого лісового ґрунту в польовій сівозміні можливо отримати за застосування органічних добрив. Так, за орґано-мінеральної системи удобрення (12,0 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{60}P_{60}K_{60}$) відбулось підвищення обмінного Ca^{2+} на 1,1 м-екв/100 г ґрунту (17 %) порівняно із мінеральною системою – $N_{100}P_{60}K_{100}$. Найвищий вміст обмінного кальцію (6,5-6,8 м-екв/100 г ґрунту) досягнуто за органічної системи удобрення (6 і 12 т/га гною великої рогатої худоби) із перевищенням контролю на 14 і 19 %. Вміст обмінного маґнію не залежав від систем удобрення та був у межах контролю (1 м-екв/100 г ґрунту) із підвищенням на 20 % за органічної системи удобрення.

Визначено, що за відновлюваної системи удобрення із застосуванням орґано-мінеральних біоактивних добрив у дозах 1 т/га і 0,5 т/га + N_{40} фізико-хімічні показники орного шару сірого лісового ґрунту відповідали значенням помірної орґано-мінеральної системи (12,0 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{30}P_{30}K_{34}$) і знаходились у межах: $pH_{вод.}$ – 5,8, $pH_{сол.}$ – 4,9, $Hг$ – 1,67–1,72 мг-еквівалент 100 г ґрунту, обмінних катіонів Ca^{2+} – 6,0-6,2 і Mg – 1,0 і сума вбирних основ 6,3-6,9 мг-еквівалент 100 г ґрунту.

Зниження показників кислотності ґрунту порівняно з мінеральною системою удобрення обумовлюється меліорувальним ефектом за застосування ОМБД 4-4-4 у зв'язку з тим, що до їх складу входить меліорант кальцієво-магній меліорант – доломіт із вмістом $CaCO_3$ + $MgCO_3$ – 95%, який в невисоких дозах (40 кг на 1 т) відіграє роль підтримуючого вапнування за

цілорічного внесення органо-мінеральних біоактивних добрив у польовій сівозміні (табл. 3.1).

Агрохімічні показники ґрунту. Систематичне застосування зростаючих доз органічних і мінеральних добрив протягом 15 років в тривалому досліді істотно вплинуло на показники потенційної родючості сірого лісового ґрунту [17, 32]. У зв'язку із легким гранулометричним його складом, вміст гумусу в орному шарі ґрунту на контролі без добрив становив 0,98 %, досягаючи найвищих показників 1,35–1,38 % за органо-мінеральної (12,0 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{60}P_{60}K_{68}$) і органічної (12,0 т/га гною великої рогатої худоби) систем удобрення. За застосування мінеральних добрив уміст гумусу знижувався на 6 абсолютних % порівняно з органо-мінеральною системою удобрення і становив по варіанту $N_{34}P_{30}K_{34}$ – 1,20 %, по $N_{60}P_{60}K_{68}$ – 1,18 %.

За третю ротацію п'ятипільної короткоротаційної сівозміни (2021–2025 рр.) встановлено, що ефективне нагромадження гумусу в ґрунті відбулось за органо-мінеральної (12,0 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{60}P_{60}K_{68}$) і органічної (12,0 т/га гною великої рогатої худоби) систем удобрення, із підвищенням запасів загального гумусу в орному шарі ґрунту, відповідно, до 37,3 і 36,4 т/га або на 38 і 41 % вище порівняно з контролем без добрив (26,5 т/га). За мінеральної системи удобрення відбулось посилення процесів мінералізації органічної речовини у сірому лісовому ґрунті, що призводить до зменшення запасів гумусу на 2-4,5% порівняно з вихідним рівнем – 32,4 т/га. Перспективним напрямом у збереженні потенційної родючості ґрунту є застосування ОМБД, виготовленого на основі гною великої рогатої худоби і твердої фракції відходів свинокомплексів, мінеральних компонентів (сорбентів, іонообмінників, меліорантів) та агрономічно цінного комплексу мікроорганізмів за відновлюваної системи удобрення. (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Вплив добрив на зміну вмісту органічної речовини в орному (0–20 см) шарі сірого лісового ґрунту у польовій сівозміні, середнє 2021–2025 рр.

Удобрєння		Загальний гумус, %	Запаси гумусу, т/га	Приріст $\pm$ до контролю	
Гній, т/га	НРК, кг			т/га	%
Без добрив (контроль)		0,98	26,4	–	–
12	N ₃₄ P ₃₀ K ₃₄	1,27	34,2	7,7	29
12	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	1,35	36,4	10,0	38
12	-	1,38	37,3	10,9	41
6	-	1,25	33,7	7,3	28
6	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	1,28	34,8	8,3	32
-	N ₃₄ P ₃₀ K ₃₄	1,20	32,4	6,0	23
-	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	1,18	31,8	5,4	20
-	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₀₂	1,15	31,0	4,5	17
ОМБД – 1т/га		1,29	35,0	8,5	32
ОМБД – 0,5т/га + N ₄₀		1,21	32,9	6,5	25
НІР ₀₅		0,1	2,8	0,35	2,4

Так, щорічне внесення 1,0 т ОМБД (N₄P₄K₄) забезпечило підвищення запасів загального гумусу в орному шарі сірого лісового ґрунту до 33,8 т/га, що відповідає рівню варіанта із внесенням мінеральних добрив у дозі N₃₀P₃₀K₃₄. Поживний режим сірого лісового ґрунту в тривалому досліді помітно залежав від інтенсивності та рівня навантаження агрохімікатами. Гідролізований азот – найближчий резерв мінерального живлення рослин, що підлягає в ґрунті меншим змінам, ніж мінеральні форми азоту (нітратний і амонійний).

Поживний режим за вмістом гідролізного азоту визначався низьким рівнем забезпеченості – 51,9–64,9 мг/кг, але на 2,0–13,0 мг/кг перевищував контроль без добрив. Найменший вміст гідролізного азоту (51,9 мг/кг) встановлено на контролі і за мінеральної системи удобрення ($N_{34}P_{30}K_{34}$), що очевидно, пов'язано із вимиванням його в нижчі шари ґрунту та інтенсивним використанням його запасів сільськогосподарськими культурами (табл. 3.3).

Таблиця 3.3. Вміст легкогідролізного азоту в орному шарі (0–20 см) сірого лісового ґрунту за різних систем удобрення мг/кг, середнє за 2021–2025 рр.

Удобрєння на 1 га рїлї		Легкогідролїзний азот	Приріст до контролю	
гній, т/га	НРК, кг		мг/га	%
контроль (без добрив)		51,9	-	-
12	$N_{30}P_{30}K_{34}$	61,5	9,6	18
12	$N_{60}P_{60}K_{68}$	64,9	13,0	25
12	$N_0P_0K_0$	59,0	7,1	14
6	$N_0P_0K_0$	55,3	3,3	6
6	$N_{60}P_{60}K_{68}$	59,0	7,1	14
-	$N_{30}P_{30}K_{34}$	53,9	2,0	4
-	$N_{60}P_{60}K_{68}$	55,3	3,4	7
-	$N_{90}P_{90}K_{102}$	57,9	6,0	12
ОМБД – 1т/га		56,6	4,7	9
ОМБД – 0,5т/га + N_{40}		54,8	2,8	5
НІР ₀₅		3,1	2,2	3,8

Найвищий вміст $N_{гїдр.}$ (64,9 мг/кг) із приростом 13,0 мг/кг, або 20 % порівняно з контролем визначено за орґано-мінеральної системи 12 т/га гною + $N_{60}P_{60}K_{68}$. Внесення 1 т/га ОМБД (4-4-4) відповідало рівню забезпечення легкогідролізованого азоту за мінеральної системи удобрення і становила – 56,6 мг/кг

Відомо, що систематичне внесення фосфорних добрив створює умови для стабільного підвищення вмісту рухомих форм в орному шарі ґрунту. Встановлено, що з урахуванням середнього рівня забезпечення рухомих фосфором перед закладанням досліду, відбулось його накопичення прямо

пропорційно кількості фосфору, внесеного у складі органічних і мінеральних добрив. Порівняно з контролем без добрив (172 мг/кг) вміст рухомих форм P_2O_5 істотно підвищився за мінеральної системи удобрення ($N_{60}P_{60}K_{68}$) на 79 мг/кг (46 %), за органічної (12,0 т/га гною великої рогатої худоби) – 85 мг/кг (49 %) і органо-мінеральної (12 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{60}P_{60}K_{68}$) – 127 мг/кг (74 %) та досягав значень 225–299 мг/кг, що відповідає рівню високого і дуже високого забезпечення фосфором у ґрунті (табл.3.4).

Таблиця 3.4. Вміст рухомих форм P_2O_5 в орному шарі (0–20 см) сірого лісового ґрунту за різних систем удобрення мг/кг, середнє за 2021–2025 рр.

Удобрєння на 1 га рїлї		рухомї форми P_2O_5	Прирїст до контролю	
гнїй, т/га	НРК, кг	мг/кг	мг/га	%
контроль (без добрив)		172,2	-	-
12	$N_{30}P_{30}K_{34}$	251,8	79,6	46
12	$N_{60}P_{60}K_{68}$	299,0	126,8	74
12	$N_0P_0K_0$	256,8	84,6	49
6	$N_0P_0K_0$	243,4	71,2	41
6	$N_{60}P_{60}K_{68}$	273,6	101,4	59
-	$N_{30}P_{30}K_{34}$	224,8	52,6	31
-	$N_{60}P_{60}K_{68}$	250,6	78,4	46
-	$N_{90}P_{90}K_{102}$	271,2	99,0	57
ОМБД – 1т/га		222,8	50,6	29
ОМБД – 0,5т/га + N_{40}		199,0	26,8	16
НІР ₀₅		35	3,5	2,6

Калїйний режим сірого лісового ґрунту характеризувався високим умістом його рухомих форм та становив за мінеральної системи удобрення – 218–260 мг/кг, органічної – 220–241 мг/кг і органо-мінеральної – 237–270 мг/кг, за вмісту K_2O на контролї – 175 мг/кг (табл. 3.5).

Аналізуючи агрохімічні показники сірого лісового ґрунту за застосування органо-мінеральних біоактивних добрив у дозі 1,0 т/га необхідно зазначити, що вони досягали значень родючості ґрунту за внесення 6,0 т гною великої рогатої худоби на 1 га рїлї або 30 т/га за п'ять років, при цьому вміст

гідролізованого азоту становив 56,6 мг/кг, а рухомих форм P_2O_5 – 223 мг/кг і K_2O – 206мг/кг.

Таблиця 3.5. Вміст рухомих форм K_2O в орному шарі (0–20 см) сірого лісового ґрунту за різних систем удобрення мг/кг, середнє за 2021–2025 рр.

Удобрєння на 1 га рїлї		рухомї форми K_2O	Прирїст до контролю	
гнїй, т/га	NPK, кг	мг/кг	мг/га	%
контроль (без добрив)		175,4	-	-
12	$N_{30}P_{30}K_{34}$	237,4	62,0	35
12	$N_{60}P_{60}K_{68}$	269,8	94,4	54
12	$N_0P_0K_0$	241,4	66,0	38
6	$N_0P_0K_0$	220,4	45,0	26
6	$N_{60}P_{60}K_{68}$	235,0	59,6	34
-	$N_{30}P_{30}K_{34}$	198,0	22,6	13
-	$N_{60}P_{60}K_{68}$	217,8	42,4	24
-	$N_{90}P_{90}K_{102}$	260,0	84,6	48
ОМБД – 1т/га		205,6	30,2	17
ОМБД – 0,5т/га + N_{40}		186,2	10,8	6
НР ₀₅		32	3,2	1,5

Отже, результати дослїдженєв поживного режиму сїрого лїсового ґрунту свїдчать, що розширеного вїдтворення його родючостї за систематичного (протягом 15 рокїв) застосування рїзних вїдїв добрив можна досягти за органо-мїнеральної (12,0 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{60}P_{60}K_{68}$ – в середньому по сївозмїні), органїчної (12,0 т/га гною великої рогатої худоби) і вїдновлюваної (1 т/га ОМБД 4-4-4) систем удобрення.

3.2. Вплив еколого-збалансованих систем удобрення на мїкробний ценоз та бїологїчну активнїсть сїрого лїсового ґрунту

Родючїсть ґрунту формується пїд впливом складної системи екологїчних чинникїв, серед яких провїдна роль належить бїохїмїчної дїяльностї мїкроорганїзмїв, що обумовлює кругообїг і трансформацїю речовин

та енергії педосфери, а також постійне функціонування і гомеостаз екосистеми [22, 36]. Одним із основних факторів регулювання біохімічної діяльності мікроорганізмів ґрунту є агрозаходи, які, завдяки безпосередньому впливу на фізичні властивості та водний режим ґрунту, зумовлюють характер і напрям біологічних процесів у ньому, регулюють розклад та синтез органічної речовини, темпи її мінералізації. На сьогодні залишається дискусійним питання щодо впливу різних систем удобрення на функціонування мікробіому ґрунту [7]. Тому дослідження мікробних комплексів ґрунтових екосистем за дії різних агрозаходів є актуальним і дає повне уявлення та розкриває механізми функціонування біологічної складової ґрунту, а також дозволяє оцінити і спрогнозувати загальний напрям ґрунтоутворення, стан екосистем загалом із метою збереження та відтворення родючості, забезпечення екологічної рівноваги агроекосистем [28].

3.2.1. Мікробний ценоз ґрунту у посівах вівса

Чисельність мікроорганізмів в орному шарі (0–20 см) сірого лісового ґрунту за вирощування вівса (фаза цвітіння) також змінювалась залежно від застосовуваної системи удобрення. Як видно з табл. 3.2.1, чисельність бактерій була невисокою і варіювала від 3,63 млн КУО/г ґрунту (контроль) до 5,1 млн КУО/г ґрунту (12 т гною великої рогатої худоби), актиноміцетів – 1,54–3,77 млн, мікроміцетів – 48,7–97,2 тис. КУО/г ґрунту відповідно. Застосування мінеральної системи удобрення ($N_{80}P_{60}K_{80}$) зумовлювало збільшення чисельності актиноміцетів у ґрунті у 1,5–2,4 раза порівняно з іншими варіантами досліджу, а органічної (12 т гною) – мікроміцетів (на 12,3–61,0 %).

Таблиця 3.2.1. Чисельність бактерій, мікроміцетів і актиноміцетів в орному (0-20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування вівса, 2022 р.

Удобрєння на 1 га рїлї		Бактерїї	Актиномїцет и	Мїкромїцети
гнїй, т/га	НРК	млн КУО/г ґрунту		тис. КУО/г ґрунту
контроль (без добрив)		3,63±0,07	1,93±0,04	48,7±2,7
12	-	5,10±0,11	1,81±0,07	97,2±4,9
12	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	4,76±0,14	2,58±0,12	58,1±14,7
-	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	4,52±0,13	3,77±0,21	74,0±7,8
ОМБД – 1 т/га		5,36±0,21	1,54±0,06	40,7±6,8

Ступїнь насичення мїкроорганїзмами у ґрунтах був вїд бїдного до багатого. Так, чисельнїсть мїкроорганїзмїв дослїджуваних фїзїологїчних груп була невисокою: амонїфїкувальних – 3,94–8,13 млн КУО/г ґрунту, нїтрифїкувальних – 6,1–17,76, педотрофних – 8,75–15,74, оліготрофних – 5,93–10,79, олігонїтрофїльних – 5,80–13,77, фосфатмобїлізивних – 5,70–10,40, та бактерїй роду *Azotobacter* – 0,93–4,49, гумусотрансформуючих – 2,14–5,45, целюлозоруйнївних – 0,12–0,19 млн КУО вїдповїдно (рис. 3.1).

Внесення мїнеральних добрив у дозї N₈₀P₆₀K₈₀ зумовило збїльшення у 1,6–2,9 рази чисельностї мїкроорганїзмїв, якї використовують у своєму метаболїзмі переважно мїнеральнї сполуки азоту (що пов'язано з надходженням мїнеральних сполук азоту у ґрунт разом із мїнеральними добривами) та оліготрофїв (у 1,8–2,1 рази), що свїдчить про нестачу доступних для мїкроорганїзмїв поживних елементїв у ґрунтовому розчинї для функцїонування мїкроорганїзмїв.

Також за цієї системи удобрення у 1,5–2,5 раза підвищувалась чисельність мікроорганізмів, які беруть участь у трансформації гумусових сполук (як синтезі, так і деструкції).

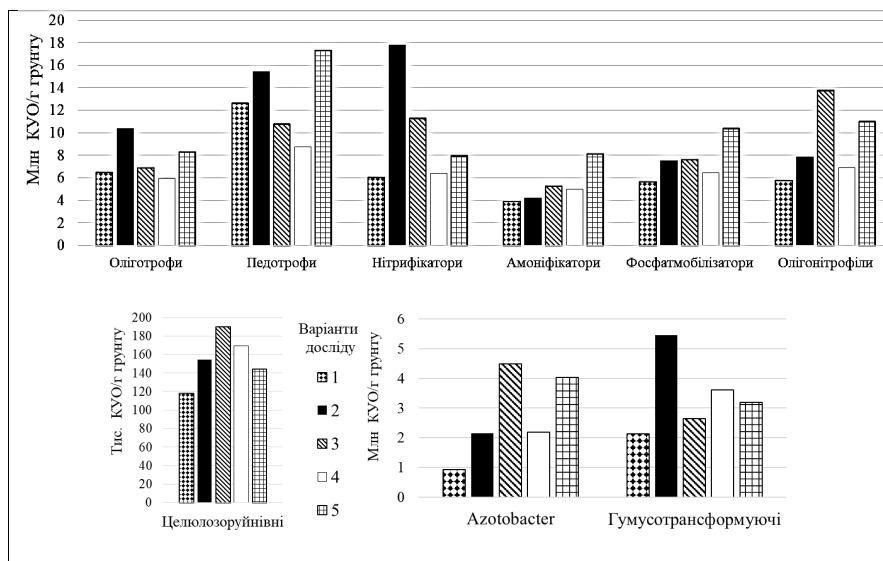


Рис. 3.2.1. Чисельність мікроорганізмів різних фізіологічних груп в орному (0-20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування вівса: 1 – контроль (без добрив); 2 - $N_{80}P_{60}K_{80}$; 3 – гній великої рогатої худоби (12,0 т/га) + $N_{80}P_{60}K_{80}$; 4 – гній великої рогатої худоби (12,0 т/га); 5 – ОМБД (1 т/га), 2022 р.

Застосування орно-мінеральної системи удобрення сприяло підвищенню порівняно з іншими системами чисельності олігонітрофілів, бактерій роду *Azotobacter* та целюлозоруйнівних мікроорганізмів у 1,1–4,8 раза, а орно-мінеральних біоактивних добрив – педотрофів, амоніфікаторів і фосфатмобілізаторів – у 1,1–2,1 раза відповідно, що свідчить про різну спрямованість процесів перетворення органічних сполук у ґрунті.

Порівнюючи показники чисельності мікробіоти у ґрунтах за застосування різних систем удобрення виявлено, що гірші умови для їх функціонування склалися у ґрунті, де удобрення не використовували – на

контролі, що підтверджується найменшою чисельністю мікроорганізмів більшості фізіологічних груп (0,93–6,1 млн КУО/г ґрунту), крім оліготрофів і педотрофів – найнижча їх чисельність (5,93 і 8,75 млн КУО/г ґрунту) виявлена за органічної системи удобрення.

3.2.2. Мікробний ценоз ґрунту у посівах гороху

Мікробіологічні дослідження орного (0–20 см) шару ґрунту в агроценозі гороху (фаза початку наливу бобів) показали, що чисельність мікроорганізмів різних таксономічних груп змінювалась залежно застосовуваної системи удобрення і варіювала у межах: бактерій 8,7–26,1 млн КУО/г абсолютно сухого ґрунту (далі КУО/г ґрунту), актиноміцетів – 1,0–1,5 млн, мікроміцетів – 48,2–103,2 тис. КУО/г ґрунту (табл. 3.2.2). Найнижча чисельність зазначених груп мікробіоти виявлена у варіанті контролю (без добрив), тоді як застосування органічної системи удобрення сприяло зростанню чисельності бактерій у 1,5–3,0 рази порівняно з рештою варіантів досліду, а мінеральної системи – мікроміцетів (у 1,2–2,1 раза відповідно), серед яких зростала частка токсиноутворюваних видів, що може призвести до мікробного токсикозу ґрунту. Чисельність актиноміцетів була на одному рівні.

Таблиця 3.2.2. Чисельність бактерій, мікроміцетів і актиноміцетів в орному (0–20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування гороху, 2022 р.

Удобрення на 1 га ріллі		Бактерії	Актиноміцети	Мікроміцети
гній, т/га	НРК	млн КУО/г ґрунту		тис. КУО/г ґрунту
контроль (без добрив)		8,7±0,39	1,0±0,05	48,2±2,3
12	-	26,1±1,29	1,3±0,07	76,8±3,7
12	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	12,5±0,63	1,1±0,06	89,4±4,6
-	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	10,1±0,51	1,5±0,08	103,2±5,9
12	N ₄₀	15,6±0,78	1,5±0,09	89,5±4,4
ОМБД – 1 т/га		16,9±0,81	1,2±0,07	83,2±4,1

Чисельність мікроорганізмів решти досліджуваних фізіологічних груп коливалась у широких межах: від 33,9–58,1 тис. КУО/г ґрунту (целюлозоруйнівні) до 23,8–30,0 млн КУО/г ґрунту (педотрофи). При цьому всі зразки ґрунту характеризувались високим ступенем збагачення педотрофами (23,8–30,0 млн КУО/г ґрунту), нітрифікаторами (14,0–21,6 млн), амоніфікаторами (13,2–18,7 млн) і олігонітрофілами (11,9–19,6 млн), (рис. 3.2.2).

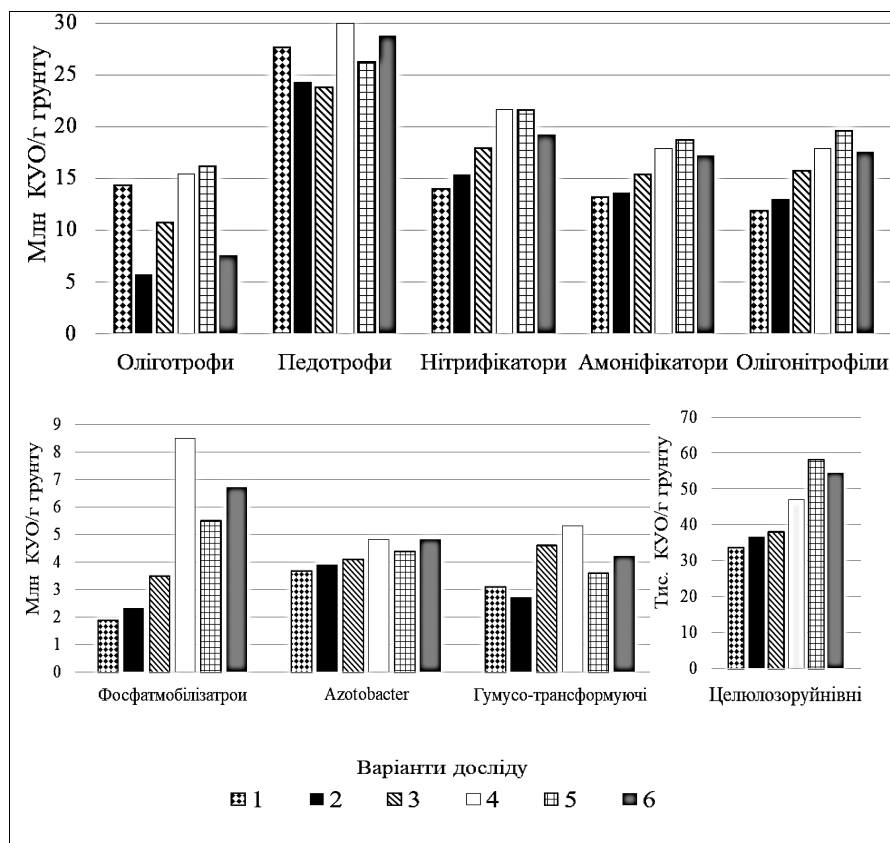


Рис. 3.2.2. Чисельність мікроорганізмів різних фізіологічних груп в орному (0-20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування гороху: 1 – контроль (без добрив); 2 - $N_{40}P_{60}K_{60}$; 3 – гній великої рогатої худоби (12,0 т/га) + $N_{40}P_{60}K_{60}$; 4 – гній великої рогатої худоби (12,0 т/га); 5 – гній великої рогатої худоби (12,0 т/га) + N_{40} ; 6 – ОМБД (1 т/га), 2022 р.

Сумісне застосування органічних добрив із мінеральним азотом у дозі N_{40} сприяло активізації функціонування мікробіоти, що супроводжувалось зростанням їх чисельності, а саме: нітрифікувальної (до 21,6 млн КУО/г ґрунту), амоніфікуючої (18,7 млн), олігонітрофільної (19,6 млн), оліготрофної (16,2 млн) і целюлозоруйнівної (58,1 тис. КУО/г ґрунту), а також за внесення лише гною великої рогатої худоби – педотрофної (до 30 млн КУО/г ґрунту) нітрифікувальної (21,6 млн), фосфатмобілізівної (8,5 млн), гумусотрансформуючої мікробіоти (5,3 млн) та бактерій роду *Azotobacter* (4,8 млн КУО/г ґрунту).

Варто зазначити, що внесення ОМБД у дозі 4-4-4 також сприяло активізації бактерій роду *Azotobacter* (4,8 млн КУО/г ґрунту). Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{40}P_{60}K_{60}$ спричинило зниження чисельності оліготрофів, мікроорганізмів, які беруть активну участь у трансформації гумусових сполук, а також педотрофів (як і за застосування органо-мінеральної системи удобрення) – у 1,2–2,1 рази порівняно з іншими варіантами досліджу. Чисельність решти груп мікроорганізмів найнижчою була у контролі, що зумовлене відсутністю надходження поживних елементів у ґрунт і, як результат, створенням умов конкуренції між рослинами і мікроорганізмами за доступні вуглець- і азотвмісні сполуки [30].

3.2.3. Мікробний ценоз ґрунту у посівах пшениці озимої

Відомо, що чисельний і якісний склад мікробіоти різних агроценозів суттєво відрізняється, визначається видом рослин та залежить від стадії їх розвитку, ґрунтових умов, біотичних і абіотичних факторів [2, 29].

Мікробіологічні дослідження орного (0–20 см) шару пшениці озимої (фаза молочно-воскової стиглості) показали, що чисельність мікроорганізмів різних фізіологічних груп змінювалась залежно від системи удобрення. Так, чисельність бактерій у сірому лісовому ґрунті варіювала у межах 15,03–26,63 млн КУО/г абсолютно сухого ґрунту (далі КУО/г ґрунту), мікроміцетів – 0,49–1,00 млн КУО, актиноміцетів – 3,19–7,30 млн (табл. 3.2.3).

Таблиця 3.2.3. Чисельність бактерій, мікроміцетів і актиноміцетів в орному (0–20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої, 2021 р.

Удобрення на 1 га ріллі		Бактерії	Мікроміцети	Актиноміцети
ґній, т/га	НРК			
контроль (без добрив)		18,64±0,63	1,00±0,12	7,30±0,34
12	-	23,82±1,42	0,70±0,04	4,79±0,13
12	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	25,15±1,66	0,71±0,02	4,05±0,09
-	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	15,03±0,28	0,73±0,08	3,19±0,07
ОМБД – 1 т/га		26,63±1,72	0,49±0,01	3,99±0,17

Застосування органічної, органо-мінеральної систем удобрення та внесення ОМБД у дозі 1 т/га сприяло зростанню чисельності бактеріальної мікробіоти на 27,8–42,9 % порівняно з контролем (без добрив), тоді як мінеральна система удобрення зумовлювала зниження чисельності бактерій на 21,8 % на фоні зростання кількості мікроміцетів та актиноміцетів, серед яких, відповідно, зростала частка фітопатогенних і токсиноутворювальних видів, що може призвести до мікробного токсикозу ґрунту.

Встановлено, що чисельність мікроорганізмів різних досліджуваних фізіологічних груп у сірому лісовому ґрунті коливалась залежно від застосовуваних агрозаходів: амоніфікувальних – 15,72–25,79 млн КУО/г ґрунту, нітрифікувальних – 19,70–27,49, педотрофних – 17,69–26,72, оліготрофних – 14,88–25,09, олігонітрофільних – 9,81–19,90, фосфатмобілізуючих – 9,57–20,53, спороутворювальних – 0,8–2,78, целюлозоруйнівних – 0,49–1,17 млн КУО відповідно.

Внесення мінеральних добрив у дозі N₁₀₀P₆₀K₁₀₀ спричинило зниження чисельності мікроорганізмів всіх фізіологічних груп порівняно з іншими системами удобрення на 6,3–349,2 %, що зумовлено погіршенням ґрунтових умов у результаті зниження доступності легкозасвоюваних поживних речовин. Також на недостатню забезпеченість мікроорганізмів доступними вуглець- і

азотвмісними поживними речовинами, активну мінералізацію складних органічних сполук у ґрунті контролю вказувало збільшення чисельності оліготрофів, педотрофів і нітрифікаторів. Внесення ОМБД у дозі 1 т/га, гною великої рогатої худоби, а також сумісного внесення гною великої рогатої худоби із мінеральними добривами у дозі $N_{100}P_{60}K_{100}$ сприяло оптимізації функціонування ґрунтової мікробіоти, що супроводжувалось зростанням її чисельності до 2,2 і 3,5 разів порівняно з контролем і мінеральною системою удобрення. Так, чисельність фосфатмобілізівних, спороутворювальних і целюлозоруйнівних мікроорганізмів зростала за внесення гною великої рогатої

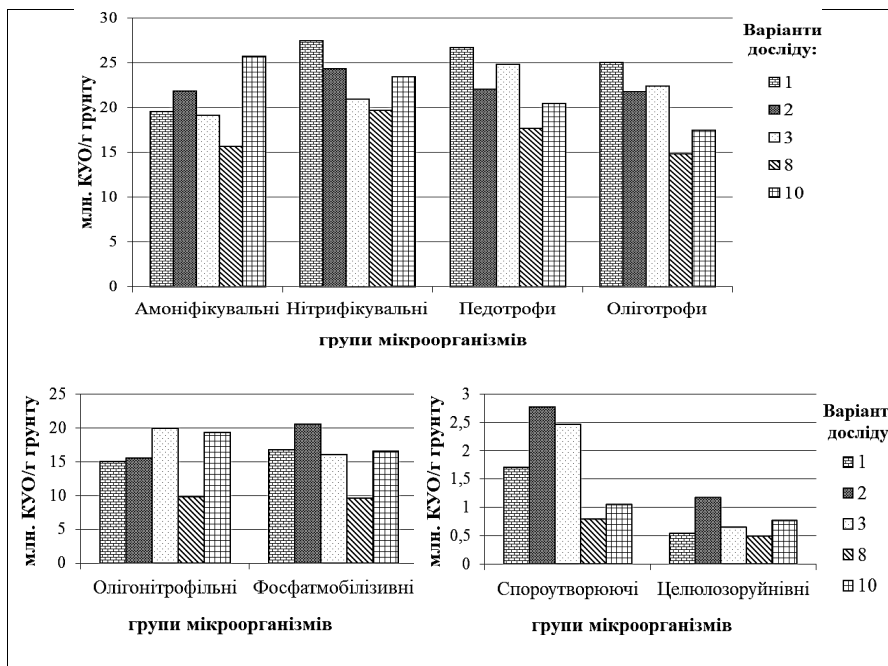


Рис. 3.2.3. Чисельність мікроорганізмів різних фізіологічних груп в орному (0-20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої: 1 – контроль (без добрив); 2 – гній великої рогатої худоби (12 т/га); 3 – гній великої рогатої худоби (12 т/га) + $N_{100}P_{60}K_{100}$; 8 – $N_{100}P_{60}K_{100}$; 10 – ОМБД (1 т/га), 2021 р.

худоби, амоніфікувальних – за внесення ОМБД, олігонітрофільних – за сумісного застосування гною великої рогатої худоби і $N_{100}P_{60}K_{100}$, що свідчить про різну направленість процесів перетворення органічних сполук у ґрунті. Чисельність мікроорганізмів, які трансформують гумусові сполуки варіювала у межах 6,37–10,90 млн КУО/г ґрунту (рис. 3.2.3).

При цьому внесення мінеральних добрив у дозі $N_{100}P_{60}K_{100}$, а також ОМБД зумовлювало зниження чисельності мікроорганізмів на 38,8 і 15,3 %, тоді як внесення гною великої рогатої худоби, сумісне внесення гною та $N_{100}P_{60}K_{100}$ сприяли активізації ґрунтової мікробіоти, що супроводжувалось зростанням їх чисельності на 23,2 і 9,8 % порівняно з контролем. Варто зазначити, серед мікроорганізмів цієї групи значну частку становили представники родів *Arthrobacter* (2,3–28,9 %), *Micromonospora* (2,6–21,4 %), *Bactoderma* (2,4–3,4 %), які відіграють важливу роль у розкладі гумінових і фульвокислот гумусу (рис. 3.2.4).

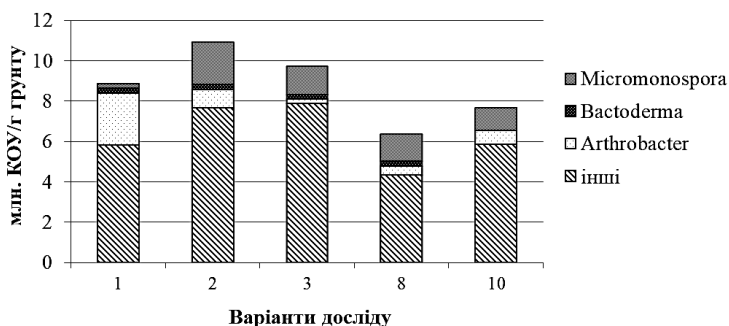


Рис. 3.2.4. Чисельність мікроорганізмів, які беруть активну участь у трансформації гумусових речовин, в орному (0-20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої: 1 – контроль; 2 – гній (12 т/га); 3 – гній (6 т/га) + $N_{100}P_{60}K_{100}$; 8 – $N_{100}P_{60}K_{100}$; 10 – ОМБД, 2021 р.

Аналіз якісного складу мікробіоти сірого лісового ґрунту на основі опису морфолого-культуральних властивостей мікроорганізмів показав, що мікробні комплекси відрізняються між собою як за кількістю виявлених

морфотипів, так і за структурою розподілу домінуючих форм бактерій, актиноміцетів та мікроміцетів. Так, кількість морфотипів бактерій залежно від варіанта досліду варіювала у межах 35–46 КУО, мікроміцетів – 16–21, актиноміцетів – 20–25 КУО з насиченістю 0,62–16,36 %. Найбільше різноманіття бактерій і актиноміцетів виявлено у зразках ґрунту, де вносили ОМБД, що свідчить про позитивний вплив органо-мінеральних біоактивних добрив на мікробний пул ґрунту. Найменшу кількість морфотипів бактерій і актиноміцетів виявлено за внесення $N_{100}P_{60}K_{100}$, мікроміцетів – ОМБД.

За показниками індексу Шеннона ($I_{Ш.} = 1,107\text{--}1,510$) встановлено, що ґрунт, відібраний з агроценозу пшениці озимої характеризувався сприятливими умовами для функціонування мікробіоти (табл. 3.2.4).

Таблиця 3.2.4. Екологічні індекси різноманіття та домінування мікробіоти в орному (0–20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої, 2021 р.

Група мікроорганізмів	Удобрення на 1 га ріллі		Індекси	
	гній, т/га ріллі	НРК	Шеннона	Сімпсона
Бактерії	контроль (без добрив)		1,458	0,044
	12	-	1,510	0,041
	12	$N_{100}P_{60}K_{100}$	1,483	0,043
	-	$N_{100}P_{60}K_{100}$	1,443	0,046
	ОМБД 4-4-4 – 1 т/га		1,505	0,041
Мікроміцети	контроль (без добрив)		1,274	0,068
	12	-	1,301	0,058
	12	$N_{100}P_{60}K_{100}$	1,262	0,067
	-	$N_{100}P_{60}K_{100}$	1,226	0,073
	ОМБД 4-4-4 – 1 т/га		1,173	0,083

Актиноміцети	контроль (без добрив)		1,165	0,074
	12	-	1,258	0,064
	12	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	1,140	0,082
	-	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	1,107	0,089
	ОМБД 4-4-4 – 1 т/га		1,166	0,084

Водночас найбільшим різноманіттям характеризувалась бактеріальна мікрофлора. Найвище різноманіття бактерій, мікроміцетів і актиноміцетів виявлено за внесення гною великої рогатої худоби, тоді ж як різноманіття бактерій і актиноміцетів знижувалось за внесення мінеральних добрив у дозі N₁₀₀P₆₀K₁₀₀, мікроміцетів – за внесення ОМБД. Показники індексу Сімпсона (I_c) варіювали у межах 0,41-0,89 і вказували на рівномірний розподіл представників бактерій у складі мікробного комплексу ґрунту та зниження різноманіття мікроміцетів і актиноміцетів порівняно з бактеріями, особливо за внесення ОМБД та мінеральних добрив у дозі N₁₀₀P₆₀K₁₀₀ (табл. 3.2).

Для оцінки спрямованості мікробіологічних процесів в агроценозі пшениці озимої розраховано коефіцієнти мінералізації-іммобілізації, педотрофності, оліготрофності та мікробної трансформації органічної речовини ґрунту (табл. 3.2.5).

Встановлено, що у сірому лісовому ґрунті за внесення ОМБД, незважаючи на дещо нижчу чисельність і різноманіття мікроорганізмів порівняно з органічною і органо-мінеральною системами удобрення, процеси синтезу органічної речовини переважали над її деструкцією (K_{М-І} = 0,96). За решти систем удобрення процеси мінералізації переважали над іммобілізацією у зростаючому напрямі: гній великої рогатої худоби + N₁₀₀P₆₀K₁₀₀ → гній великої рогатої худоби → N₁₀₀P₆₀K₁₀₀ → контроль.

Коефіцієнт оліготрофності (K_О = 0,35-0,56) вказує на достатню забезпеченість ґрунтової мікробіоти елементами живлення у всіх досліджуваних зразках ґрунту, особливо за внесення ОМБД.

Таблиця 3.2.5. Коефіцієнти спрямованості мікробіологічних процесів в орному (0–20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої, 2021 р.

Удобрєння на 1 га ріллі		Коефіцієнти			
ґній, т/га	NPK	К _{м.л.}	К _{п.}	К _{о.}	К _{м.т.р.}
контроль (без добрив)		1,41	1,37	0,53	33,48
12	-	1,11	1,01	0,47	41,53
12	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	1,09	1,30	0,56	36,75
-	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	1,25	1,13	0,42	28,26
ОМБД 4-4-4 – 1 т/га		0,96	0,79	0,35	52,66

Коефіцієнт педотрофності (К_{п.} = 0,79) свідчить про збереження органічної речовини ґрунту за внесення ОМБД, тоді як величини цього показника (К_{п.} = 1,01-1,37) решти досліджуваних зразків ґрунту вказують на активізацію розвитку автохтонної мікробіоти та підвищення рівня асиміляції мікроорганізмами поживних речовин із запасів ґрунту.

Інтенсивність трансформації органічної речовини ґрунту (за показниками коефіцієнта мікробної трансформації органічної речовини (К_{м.т.р.})) зростала у напрямі: N₁₀₀P₆₀K₁₀₀ → контроль → ґній великої рогатої худоби + N₁₀₀P₆₀K₁₀₀ → ґній великої рогатої худоби → ОМБД. Тобто, у сірому лісовому ґрунті внесення ОМБД сприяло активізації метаболічних процесів перетворення мікроорганізмами органічних сполук – на 26,8–86,3 % порівняно з іншими варіантами дослідіу.

Варто додати, що нами виявлено тісний кореляційний зв'язок між коефіцієнтами мікробної трансформації органічної речовини, оліготрофності, педотрофності та чисельністю оліготрофних, педотрофних, фосфатмобілізівних, целюлозолітичних, амоніфікувальних, гумусоутворювальних мікроорганізмів (r = 0,56–0,98), що свідчить про взаємозв'язок між функціональною активністю

мікробного комплексу сірого лісового ґрунту та мікробіологічними процесами перетворення органічної речовини у ньому.

3.3. Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті за вирощування вівса, гороху і пшениці озимої

Для оцінки спрямованості мікробіологічних процесів в агроценозі гороху, вівса і пшениці озимої розраховано коефіцієнти мінералізації-імобілізації, педотрофності, оліготрофності та мікробної трансформації органічної речовини ґрунту.

Встановлено, що у сірому лісовому ґрунті за вирощування гороху як за внесення добрив, так і без них переважали процеси трансформації мінеральних сполук азоту над органічними ($K_{M-I} = 1,06-1,21$) з дещо нижчою інтенсивністю на контролі (табл. 3.3.1).

Таблиця 3.3.1. Коефіцієнти спрямованості мікробіологічних процесів в орному (0–20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування гороху, 2022 р.

Удобрення на 1 га ріллі		Коефіцієнти			
гній, т/га	NPK	K_{M-I}	K_{II}	K_O	K_{TOP}
контроль (без добрив)		1,06	2,09	1,08	25,6
12	-	1,21	1,68	0,86	32,7
12	$N_{40}P_{60}K_{60}$	1,16	1,55	0,69	28,6
-	$N_{40}P_{60}K_{60}$	1,13	1,79	0,42	25,7
12	N_{40}	1,16	1,40	0,87	34,9
ОМБД 4-4-4 – 1 т/га		1,12	1,67	0,44	32,6
$НР_{05}$		0,07	0,35	0,39	5,86

Крім того, всі ґрунтові зразки, окрім контролю, характеризувались достатньою забезпеченістю ґрунтової мікробіоти елементами живлення ($K_O =$

0,42–0,87), особливо за внесення мінеральних добрив та ОМБД ($K_o = 0,42$ і $0,44$) та підвищенням рівня асиміляції мікроорганізмами поживних речовин із запасів ґрунту ($K_{п.} = 1,40$ – $2,09$), що у варіанті контролю на фоні зниження запасів поживних речовин у ґрунті може свідчити про процеси деструкції гумусових сполук. Інтенсивність трансформації органічної речовини ґрунту варіювала у невеликих межах ($K_{тор} = 25,6$ – $34,9$) і зростала у напрямі: → контроль, $N_{40}P_{60}K_{60}$ → гній великої рогатої худоби + $N_{40}P_{60}K_{60}$ → ОМБД, гній великої рогатої худоби → гній великої рогатої худоби + N_{40} .

За вирощування вівса у ґрунті, де добрива не вносили, а також за органічної, орґано-мінеральної і мінеральної систем удобрення активно відбувались процеси іммобілізації мінеральних сполук азоту ($K_{м.-л.} = 1,28$ – $4,21$), особливо за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{80}P_{60}K_{80}$ ($K_{м.-л.} = 4,21$), про що свідчить активний розвиток нітрифікаторів, які розкладають безазотні органічні речовини із групи олігосахаридів і крохмалю (табл. 3.3.2).

Таблиця 3.3.2. Коефіцієнти спрямованості мікробіологічних процесів в орному (0–20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування вівса, 2022 р.

Удобрення на 1 га ріллі		Коефіцієнти			
гній, т/га	НРК	$K_{м.-л.}$	$K_{п.}$	K_o	$K_{тор}$
контроль (без добрив)		1,55	3,21	1,65	6,5
12	-	1,28	1,75	1,19	8,9
12	$N_{80}P_{60}K_{80}$	2,13	2,04	1,31	7,8
-	$N_{80}P_{60}K_{80}$	4,21	3,66	2,46	5,2
ОМБД 4-4-4 – 1 т/га		0,98	2,13	1,03	16,4
$ННР_{05}$		2,10	1,23	0,84	6,51

Внесення ОМБД сприяло зрівноваженню процесів мінералізації-імобілізації ($K_{M-I} = 0,98$) з незначним зміщенням у бік трансформації органічних сполук. Показники коефіцієнтів оліготрофності і педотрофності свідчать про збіднення ґрунту усіх варіантів дослідів легкозасвоюваними поживними речовинами ($K_O = 1,03-2,46$, у незначній мірі за внесення ОМБД - $K_O = 1,03$), на фоні їх активного використання мікробіотою ґрунту у своєму метаболізмі ($K_{П.} = 1,75-3,66$). Збільшення показників коефіцієнтів мінералізації-імобілізації, оліготрофності та педотрофності за внесення мінеральних добрив може свідчити про підвищення швидкості розкладу специфічної органічної речовини – гумусу. Варто сказати і про низьку інтенсивність процесів трансформації органічних сполук мікроорганізмами у ґрунтах ($K_{ТОР} = 5,2-16,4$), хоча активність мікробіологічних процесів за внесення ОМБД була у 1,8–3,2 рази вищою.

Таблиця 3.3.3. Коефіцієнти спрямованості мікробіологічних процесів в орному (0–20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої, 2022 р.

Удобрення на 1 га ріллі		Коефіцієнти			
ґній, т/га	НРК	K_{M-I}	$K_{П.}$	K_O	$K_{ТОР}$
контроль (без добрив)		0,67	1,42	1,12	38,4
12	-	0,68	1,59	0,51	40,4
12	$N_{100}P_{60}K_{100}$	0,87	1,14	0,69	47,2
-	$N_{100}P_{60}K_{100}$	0,82	1,34	0,58	45,5
ОМБД 4-4-4 – 1 т/га		0,70	1,31	0,47	54,5
$ННР_{05}$		0,15	0,24	0,39	9,38

В агроценозі пшениці озимої в усіх варіантах дослідів переважали процеси мінералізації органічної речовини у ґрунті ($K_{M-I} = 0,68-0,87$) та активно відбувалась асиміляція мікроорганізмами поживних речовин із запасів ґрунту, в т.ч. гумусу ($K_{П.} = 1,14-1,59$). Водночас, варіанти, де вносили

добрива, характеризувались достатнім забезпеченням ґрунтової мікробіоти елементами живлення ($K_o = 0,47-0,69$), на відміну від варіанту контролю ($K_o = 1,12$), де добрива не вносили.

Процеси трансформації органічної речовини у ґрунті відбувались інтенсивніше порівняно з ґрунтами під посівами гороху і вівса ($K_{top} = 38,4-54,5$) і найменш активними були на контролі, а найбільш інтенсивними – за внесення ОМБД.

4. БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ

Біологічна активність ґрунту – це сукупність біологічних процесів, які відбуваються у ґрунті внаслідок життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів [19, 23]. Вивчення біологічної активності ґрунту дає змогу більш розширено зрозуміти й виявити закономірності в процесах перетворення органічної речовини, враховуючи антропогенний вплив на ґрунт і його властивості [20, 26, 27, 35].

Важливим показником біологічної активності ґрунту є інтенсивність розкладу органічної речовини. Її оцінювали шляхом визначення ступеня розкладу лляної тканини (у період активної вегетації культури, час експозиції – 60 днів – горох, овес і 40 днів – пшениця озима). Встановлено, що розклад целюлози відбувався з різною інтенсивністю залежно від культури, шару ґрунту та дії добрив. Целюлозолітична активність у шарі ґрунту 0–30 см під посівами гороху варіювала у межах 19,1–31,0 %, вівса – 21,4–28,0 %, пшениці озимої – 20,5–23,8 % (табл. 5.1). При цьому найвищою вона була за використання органічних добрив (31,0 % у ґрунті під посівами гороху, 28,0 % – вівса, 23,8 % – пшениці озимої), тоді як найнижчою (21,4 %) – під посівами вівса на контрольному варіанті, а під посівами гороху (19,1 %) і пшениці озимої (18,7 %) – за внесення мінеральних добрив. Найвищу целюлозолітичну активність сірого лісового ґрунту за вирощування усіх культур виявлено у шарі 0–10 см (23,8–40,9 %), тоді як у шарах 10–20 см та 20–30 см інтенсивність розкладу клітковини знижувалась в 1,1–1,5 та в 1,5–3,1 рази відповідно. Варто зазначити, що в агроценозі усіх культур у шарі ґрунту 0–10 см активність розкладу лляного полотна була найнижчою (23,8–28,3 %) на контролі і за внесення мінеральних добрив, у шарі 10–20 см - на контролі без добрив – у посівах гороху і вівса (18,4 і 23,4 % відповідно), за мінерального удобрення – у ґрунті під пшеницею озимою (17,5 %), а у шарі 20–30 см – у посівах вівса – на контрольній ділянці (12,5 %) та за мінерального удобрення (12,3 %), у посівах гороху і пшениці озимої – лише за внесення мінеральних добрив (9,3 та 14,9 %).

Таблиця 4.1. Інтенсивність розкладу лляного полотна у сірому лісовому ґрунті за різних систем удобрення, 2022 р., %

Удобрєння на 1 га ріллі		Шар ґрунту, см			
ґній, т/га	NPK	0–10	10–20	20–30	0–30 (середнє)
Овес					
контроль (без добрив)		28,1	23,4	12,5	21,4
12	-	38,8	25,6	19,7	28,0
12	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	33,9	28,1	16,5	26,2
-	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	28,3	26,1	12,3	22,2
ОМБД 4-4-4 – 1 т/га		33,9	28,7	17,4	26,7
НР ₀₅		3,29	1,74	2,77	
Горох					
контроль (без добрив)		28,1	18,4	14,2	20,2
12	-	40,9	30,8	21,4	31,0
12	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	35,2	25,5	11,5	24,0
-	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	27,9	20,0	9,3	19,1
ОМБД 4-4-4 – 1 т/га		40,0	27,7	15,4	27,7
НР ₀₅		4,67	3,89	2,82	
Пшениця озима					
контроль (без добрив)		25,8	19,2	16,4	20,5
12	-	29,6	22,1	19,6	23,8
12	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	28,1	21,2	17,8	22,4
-	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	23,8	17,5	14,9	18,7
ОМБД 4-4-4 – 1 т/га		29,0	21,3	18,2	22,8
НР ₀₅		2,68	1,41	1,12	2,2

Найвищі показники целюлозолітичної активності ґрунту при вирощуванні гороху, вівса і пшениці озимої у шарах 0–10, 10–20 і 20–30 см отримано за внесення гною великої рогатої худоби. Виняток становив лише показник у шарі ґрунту 10–20 см у посівах гороху – найвищий він був за внесення ОМБД (28,7 %). Також виявлено, що за внесення ОМБД у дозі 1 т/га целюлозолітична активність ґрунту у шарі 0–10 см за вирощування гороху і пшениці озимої прирівнювалась до органо-мінеральної системи (33,9 і 29,0 % відповідно), а за вирощування вівса – органічної 40,0 % (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Інтенсивність емісії CO₂ у сірому лісовому ґрунті за різних систем удобрення, 2022 р.

Удобрєння на 1 га ріллі		Інтенсивність дихання, кг/га СО ₂ за 1 год			Виділення СО ₂ кор. системою від заг. к-сті виділеного ґрунтом, %
ґній, т/га	НРК	всього	ґрунт у	кореневою системою	
Овес					
контроль (без добрив)		8,72	4,36	4,36	50,0
12	-	11,56	5,93	5,63	48,7
12	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	12,43	6,42	6,01	48,4
-	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	8,48	4,67	3,81	44,9
ОМБД – 1 т/га		9,66	5,01	4,65	48,1
НІР ₀₅		0,82	0,44	0,69	
Горox					
контроль (без добрив)		7,20	3,46	3,74	51,9
12	-	8,25	4,22	4,03	48,8
12	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	8,49	4,20	4,29	50,5
-	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	7,07	3,44	3,63	51,3
ОМБД – 1 т/га		7,83	4,17	3,66	46,7
НІР ₀₅		0,71	0,56	0,42	
Пшениця озима					
контроль (без добрив)		8,6	4,3	4,3	49,7
12	-	13,4	7,3	6,1	45,4
12	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	12,5	5,6	6,9	55,1
-	N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀	10,0	5,2	4,8	51,8
-	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	10,7	5,8	5,9	58,3
-	N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₅₀	10,7	5,6	5,1	52,2
ОМБД – 1 т/га		11,2	5,4	5,8	51,6
ОМБД – 1 т/га + N ₄₀		11,4	4,8	6,6	58,0
НІР ₀₅		1,9	1,1	1,1	5,5

Інтенсивність видїлення CO₂ з орного шару ґрунту у фазу початку наливу бобів гороху була невисокою і становила 3,44–4,22 кг/га CO₂/год, кореневої системи – 3,63–4,29. Інтенсивність видїлення CO₂ з орного шару ґрунту у фазі воскової стиглості пшениці озимої була невисокою і становила 4,3–7,3 кг/га CO₂/год, кореневої системи – 4,3–6,9. Інтенсивність емісії CO₂ ґрунту та кореневої системи гречки була вищою 24,2–68,8 % і варіювала у межах 6,7–9,4 та 6,9–10,3 кг/га CO₂/год (табл. 4.5). При цьому найменш інтенсивне видїлення CO₂ за вирощування пшениці спостерїгали на контролї,

тоді як найінтенсивніше воно відбувалось в агроценозі пшениці за внесення гною ВРХ, що пов'язано з активізацією вуглеводного обміну між рослинами та мікроорганізмами.

Інтенсивність емісії CO_2 ґрунту та кореневої системи вівса у фазі цвітіння була вищою на 5,0–52,9 % (у середньому на 30,3%) і варіювала у межах 4,36–6,42 та 4,36–6,01 кг/га CO_2 /год (табл. 4.2). Крім того, найменш інтенсивне виділення CO_2 ґрунтом в агроценозі гороху виявлено на контролі та за внесення $\text{N}_{40}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$, в агроценозі вівса – лише на контролі, у той час як активність виділення CO_2 кореневою системою як за вирощування як гороху, так і вівса найнижчою була за мінерального удобрення. Найбільш активно емісія CO_2 кореневою системою в агроценозі обох культур, а також ґрунтом за вирощування вівса відбувалася за органо-мінерального удобрення. Дихання ґрунту під посівами гороху за внесення органо-мінеральних, органо-мінеральних біоактивних і органічних добрив було на одному рівні – 4,17–4,22 кг/га CO_2 /год.

Варто зазначити, що об'єми виділення CO_2 кореневою системою та ґрунтом були майже однакові (1:1). Загалом, сумарна інтенсивність емісії CO_2 (ґрунт + коренева система рослин) зменшувалась у напрямі: гній великої рогатої худоби + NPK → гній великої рогатої худоби → ОМБД → контроль → NPK.

5. ВПЛИВ ТРАДИЦІЙНИХ І НОВІТНІХ ВИДІВ ДОБРИВ НА ВМІСТ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ І ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СІРОМУ ЛІСОВОМУ ГРУНТІ

Підвищення продуктивності рослинництва безпосередньо залежить від інтенсивного використання мінеральних і органічних добрив, а також від вапнування кислих ґрунтів. Усі ці заходи впливають на мікроелементний склад ґрунтів і доступність цих елементів рослинам. Нестача мікроелементів у ґрунті, як і надлишок, пригнічує ріст і розвиток рослин, знижує їх стійкість до несприятливих умов навколишнього природного середовища та хвороб.

Важкі метали залежно від їх вмісту у ґрунті є або каталізаторами, або інгібіторами ґрунтових біохімічних процесів [31]. Антропогенні чинники значно впливають на вміст важких металів у ґрунті, зокрема, надмірна кількість меліорантів і мінеральних добрив може різко збільшити вміст важких металів у ґрунті. Поглинання і накопичення важких металів рослинами залежить від низки чинників: типу ґрунту, його фізичних і фізико-хімічних властивостей, умісту органічної речовини, окислювально-відновних умов, антагонізму чи синергізму між металами, їх кількості в педосфері; температури ґрунту, типу рослинності тощо (табл. 5.1). Оптимізація мікроелементного живлення сільськогосподарських культур відіграє важливе значення у розробці сучасних систем удобрення. За застосування органічних, мінеральних, органо-мінеральних біоактивних добрив протягом трьох ротаций сівозміни (вихідні дані 2011 р.) відбулась зміна вмісту мікроелементів і важких металів у сірому лісовому ґрунті.

За вирощування пшениці озимої встановлена чітка тенденція до підвищення вмісту мікроелементів в сірому лісовому ґрунті за органо-мінеральної системи для міді на 8–50 %, цинку – 14–19, марганцю – 28–34, заліза – 120–150 % порівняно із вихідним вмістом, що відповідно становив – 0,12 мг/кг; 1,05; 2,0 і 4,0 мг/кг. За мінеральної системи удобрення не визначено суттєвого зростання Cu і Zn порівняно з контролем, без добрив, але відбулось накопичення Mn у міру зростання доз добрив: N₅₀P₃₀K₅₀ – 25 мг/кг; N₁₀₀P₆₀K₁₀₀

– 32,9; N₁₅₀P₉₀K₁₅₀ – 38,8 мг/кг із відповідним приростом – 25%, 64, 94%, до вихідного умісту. Необхідно відмітити, що за систематичного внесення органо-мінеральних біоактивних добрив марки 4-4-4, у дозі 1 т/га уміст важливих, для життєдіяльності рослин мікроелементів у ґрунті був на рівні органічної системи, (12 т/га гною великої рогатої худоби) і становив для міді – 0,17 мг/кг, цинку – 1,2, марганцю – 16,5 і заліза – 6,3 мг/кг ґрунту (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Вміст мікроелементів у сірому лісовому ґрунті залежно від системи удобрення за вирощування пшениці озимої, 2023р.

Варіант	Мідь (Cu)	Цинк (Zn)	Марганець (Mn)	Залізо (Fe)
	загальний вміст, мг/кг на повітряно суху речовину			
Контроль (без добрив)	0,17	1,3	10,4	5,3
Гній ВРХ 12 т/га + N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀ *	0,13	1,2	18,0	5,2
Гній ВРХ 12 т/га + N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀ *	0,18	1,2	25,7	7,4
Гній ВРХ 12 т/га*	0,15	1,3	16,7	6,1
Гній ВРХ 6 т/га*	0,17	1,4	21,5	5,6
Гній ВРХ 6 т/га + N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	0,16	1,2	34,7	8,8
N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀ *	0,15	1,1	25,1	6,9
N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀ *	0,15	1,1	32,9	7,7
N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₅₀ *	0,19	1,1	38,8	10,6
ОМБД 4-4-4 1 т/га*	0,17	1,2	16,5	5,4
ОМБД 4-4-4 0,5 т/га + N ₄₀ *	0,15	1,1	16,6	6,3
Вихідний уміст	0,12	1,05	20,0	4,0
ГДК	3,0	23	140	–

За вирощування вівса і прямої дії органічних добрив у дозах 30 і 60 т/га гною ВРХ встановлено підвищення вмісту мікроелементів за органічної і органо-мінеральної систем удобрення для міді на 11–26 %, марганцю –

36–87 %, а концентрація цинку і заліза була на рівні вмісту у ґрунтових зразках пшениці озимої (післядія 4-го року використання гною) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Вміст мікроелементів у сірому лісовому ґрунті залежно від системи удобрення за вирощування вівса, 2023 р.

Варіант	Мідь (Cu)	Цинк (Zn)	Марганець (Mn)	Залізо (Fe)
	загальний вміст, мг/кг на повітряно суху речовину			
Контроль (без добрив)	0,20	1,1	17,0	9,5
Гній ВРХ 60 т/га + N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀ *	0,17	1,1	33,8	11,0
Гній ВРХ 60 т/га + N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀ *	0,19	1,1	35,0	10,6
Гній ВРХ 60 т/га*	0,19	1,2	29,5	7,9
Гній ВРХ 30 т/га*	0,17	1,1	20,9	7,5
Гній ВРХ 30 т/га + N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	0,17	1,1	27,7	6,3
N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀ *	0,20	1,0	24,8	10,9
N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀ *	0,19	0,8	29,4	12,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀ *	0,19	0,8	23,6	15,6
ОМБД 4-4-4 1,0 т/га*	0,19	1,1	23,5	14,0
ОМБД 4-4-4 0,5 т/га + N ₄₀ *	0,19	1,0	22,5	9,9
Вихідний уміст	0,12	1,05	20,0	4,0
ГДК	3,0	23	140	–

Екологічна експертиза визначення вмісту важких металів за різного навантаження органічними і мінеральними добривами засвідчила, що за систематичного їх застосування, як за вирощування пшениці озимої, так і вівса відбувається підвищення концентрації важких металів по свинцю на 10-20 %, нікелю – 10-27, кадмію – 10–50 % порівняно із вихідним умістом, що становив відповідно: 1,0; 1,1; і 0,1 мг/кг [33]. Також визначено, що внесення зростаючих доз мінеральних добрив від N₅₀P₃₀K₅₀ до N₁₅₀P₉₀K₁₅₀ призводить до підвищення вмісту кадмію від 0,12 до 0,15 мг/кг за показника на контролі – 0,10 мг/кг. Водночас концентрація важких металів на усіх варіантах досліджень знаходилася в межах ГДК для свинцю 2,0; нікелю –4,0; кадмію – 0,7 (табл. 5.3 і 5.4).

Таблиця 5.3. Вміст важких металів у сірому лісовому ґрунті залежно від системи удобрення за вирощування пшениці озимої, 2023р.

Варіант	Свинець (Pb)	Нікель (Ni)	Кадмій (Cd)
	загальний вміст, мг/кг на повітряно суху речовину		
Контроль (без добрив)	1,1	1,1	0,11
Гній ВРХ 12 т/га +N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀ *	1,0	1,4	0,10
Гній ВРХ 12 т/га +N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀ *	1,2	1,3	0,11
Гній ВРХ 12 т/га*	1,1	1,2	0,13
Гній ВРХ 6 т/га*	1,0	1,0	0,13
Гній ВРХ 6 т/га + N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	1,1	1,4	0,14
N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀ *	1,1	1,2	0,12
N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀ *	1,1	1,0	0,15
N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₅₀ *	0,9	1,3	0,13
ОМБД 4-4-4 1 т/га*	1,2	1,2	0,13
ОМБД 4-4-4 0,5 т/га + N ₄₀ *	1,1	1,2	0,12
Вихідний уміст	1,0	1,1	0,10
ГДК	2,0	4,0	0,7

Таблиця 5.4. Вміст важких металів у сірому лісовому ґрунті залежно від системи удобрення за вирощування вівса, 2023р.

Варіант	Свинець (Pb)	Нікель (Ni)	Кадмій (Cd)
	загальний вміст, мг/кг на повітряно суху речовину		
Контроль (без добрив)	1,1	1,2	0,10
Гній ВРХ 60 т/га+N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀ *	1,1	1,2	0,11
Гній ВРХ 60 т/га+N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀ *	1,0	1,3	0,11
Гній ВРХ 60 т/га*	1,1	1,1	0,12
Гній ВРХ 30 т/га*	1,0	1,1	0,11
Гній ВРХ 30 т/га+ N ₈₀ P ₆₀ K ₆₀	1,1	1,4	0,15
N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀ *	1,0	1,3	0,12
N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀ *	1,2	1,1	0,12
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀ *	1,1	1,0	0,15
ОМБД 4-4-4 1,0 т/га*	1,2	1,2	0,13
ОМБД 4-4-4 0,5 т/га + N ₄₀ *	1,1	1,2	0,11
Вихідний уміст	1,0	1,1	0,10
ГДК	2,0	4,0	0,7

6. УРОЖАЙНІСТЬ КУЛЬТУР ЛАНКИ ПОЛЬОВОЇ СІВОЗМІНИ ЗА ЕКОЛОГО-ЗБАЛАНСОВАНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Овес. У зв'язку з прямою дією органічних добрив у 2022–2024 рр., по фону позакореневого підживлення рослин добривами ТМ «Ярило» (у фазі кущення – ПРО універсал – 1л/га + марганець 0,5 л/га; виходу в трубку – Зерновий – 2 л/га + Аміно Мікс – 1л/га) найбільшої урожайності зерна вівса 5,09 і 5,46 т/га досягнуто за органо-мінеральних систем удобрення за внесення 30 і 60 т/га гною великої рогатої худоби + N₈₀P₆₀K₈₀ із приростом 1,85 т/га (57 %) і 2,22 т/га (69%) порівняно з контролем без добрив – 3,24 т/га. За органічної системи удобрення 30 і 60 т/га гною великої рогатої худоби приріст зерна був у межах 1,23 і 1,56 т/га. За відновлюваної системи удобрення високу ефективність одержано за внесення 0,5 т/га + N₄₀ і 1 т/га ОМБД (4-4-4), де прирости урожайності зерна вівса становили 31 і 37,0 % та відповідали рівню органічної 30 т/га гною великої рогатої худоби і мінеральної N₈₀P₆₀K₈₀ систем удобрення (табл. 6.1).

Таблиця 6.1. Урожайність зерна вівса за різних систем удобрення у польовій сівозміні на сірому лісовому ґрунті, т/га, середнє за 2022–2024 рр.

Удобрєння на 1 га рїлї		Урожайність, т/га				Приріст до контролю	
гній, т/га	НРК, кг	2022	2023	2024	середнє	т/га	%
контроль (без добрив)		2,76	2,99	3,97	3,24	-	-
12	N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀	4,57	4,7	5,51	4,93	1,69	52
12	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	5,17	5,19	6,02	5,46	2,22	69
12	-	4,71	4,42	5,26	4,80	1,56	48
6	-	4,17	4,25	4,98	4,47	1,23	38
6	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	4,81	4,71	5,74	5,09	1,85	57
	N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀	3,61	3,94	4,81	4,12	0,88	27
	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	3,9	4,19	5,4	4,50	1,26	39
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	4,49	4,76	5,81	5,02	1,78	55
ОМБД – 1т/га		4,15	4,27	4,92	4,45	1,21	37
ОМБД – 0,5т/га + N ₄₀		3,97	4,13	4,64	4,25	1,01	31
НІР ₀₅		0,23	0,06	0,04	0,05	0,04	1,5

Ячмінь ярий. За урожайності зерна цієї культури на контролі (без добрив) 2,49 т/га, по фону позакореневого підживлення рослин добривами ТМ «Ярило» (у фазі кущення – ПРО універсал – 1л/га + марганець 0,5 л/га; виходу в трубку – Зерновий – 2 л/га + Аміно Мікс – 1л/га) найвищі прирости врожаю за три роки дослідження (2023–2025 рр.) одержано за мінеральної потрійної системи удобрення ($N_{90}P_{90}K_{90}$) – 1,97 т/га (79, %), та органо-мінеральної (12,0 т/га гною ВРХ + $N_{60}P_{60}K_{60}$) – 1,92 т/га (77 %). За застосування органо-мінеральних біоактивних добрив марки 4-4-4 в дозі 1 т/га визначено приріст зерна – 1,37 т/га або 55% до варіанта – без добрив, де показники відповідали рівню органо-мінеральної одинарної системи удобрення 12 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{30}P_{30}K_{30}$, за зменшення дози ОМБД до 0,5 т/га + N_{40} – приріст сягав – 1,07 т/га, та наближалось до рівня органічної системи удобрення – 6 т/га гною великої рогатої худоби на 1 га ріллі із підвищенням приросту зерна ячменю ярого на 43% (табл. 6.2).

Таблиця 6.2. Урожайність зерна ячменю ярого за різних систем удобрення у польовій сівозміні на сірому лісовому ґрунті, т/га, середнє за 2023–2025 рр.

Удобрення на 1 га ріллі		Урожайність, т/га				Приріст до контролю	
гній, т/га	НРК, кг	2023	2024	2025	середнє	т/га	%
контроль (без добрив)		2,2	2,21	3,06	2,49	-	-
12	$N_{30}P_{30}K_{30}$	3,49	3,91	4,06	3,82	1,33	53
12	$N_{60}P_{60}K_{60}$	3,88	4,5	4,86	4,41	1,92	77
12	-	3,06	3,75	4,61	3,81	1,32	53
6	-	2,91	3,54	3,8	3,42	0,93	37
6	$N_{60}P_{60}K_{60}$	3,75	4,34	4,71	4,27	1,78	71
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	3,11	3,8	3,94	3,62	1,13	45
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	3,31	4,26	4,77	4,11	1,62	65
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	3,8	4,45	5,12	4,46	1,97	79
ОМБД – 1т/га		3,23	3,84	4,52	3,86	1,37	55
ОМБД – 0,5т/га + N_{40}		2,87	3,72	4,08	3,56	1,07	43
НІР ₀₅		0,04	0,05	0,06	0,05	0,03	1,4

Гречка. По фону позакореневого підживлення рослин макро- і хелатними формами мікроелементів ТМ «Ярило» (у фазі 4 листки – Продуктивний ріст – 1 л/га + ПРО універсал – 1 л/га + Сірка 2 л/га; початок цвітіння – Зерновий – 2 л/га + Аміно Мікс – 1 л/га) за 2021, 2024-2025 рр. найвищої урожайності зерна гречки 2,48 і 2,45 т/га отримано за органо-мінеральної системи удобрення 12 т/га гною великої рогатої худоби на 1 га сівозмінної площі + $N_{40}P_{60}K_{60}$ і за мінеральної потрійної $N_{60}P_{90}K_{90}$ із приростом урожайності 0,91 т/га (58 %) і 0,89 т/га (57 %) порівняно з контролем без добрив – 1,56 т/га. Визначено, що приріст зерна гречки за органічної системи удобрення 6 і 12 т/га гною великої рогатої худоби (післядія 2-го року) був на 27% нижчим порівняно з органо-мінеральною, але перевищував контроль відповідно на 22 і 31 %. За мінеральної системи удобрення при внесенні одинарної дози $N_{20}P_{30}K_{30}$ одержано приріст урожайності зерна на рівні 0,38 т/га (24 %), за подвійної дози $N_{40}P_{60}K_{60}$ – 0,65 т/га (42%) (табл. 6.3).

Таблиця 6.3. Урожайність зерна гречки за різних систем удобрення у польовій сівозміні на сірому лісовому ґрунті, середнє за 2021, 2024-2025 рр., т/га

Удобрення на 1 га ріллі		Урожайність, т/га				Приріст до контролю	
гній, т/га	NPK, кг	2021	2024	2025	середнє	т/га	%
контроль (без добрив)		1,15	1,67	1,87	1,56	-	-
12	$N_{20}P_{30}K_{30}$	1,79	2,07	2,71	2,19	0,63	40
12	$N_{40}P_{60}K_{60}$	2,1	2,37	2,96	2,48	0,91	58
12	$N_0P_0K_0$	1,6	1,96	2,6	2,05	0,49	31
6	$N_0P_0K_0$	1,54	1,84	2,34	1,91	0,34	22
6	$N_{40}P_{60}K_{60}$	1,93	2,14	2,81	2,29	0,73	47
	$N_{20}P_{30}K_{30}$	1,46	2	2,37	1,94	0,38	24
	$N_{40}P_{60}K_{60}$	1,95	2,06	2,63	2,21	0,65	42
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	2,04	2,28	3,03	2,45	0,89	57
ОМБД – 1 т/га		2	2,13	2,9	2,34	0,78	50
ОМБД – 0,5 т/га + N_{40}		1,86	1,99	2,62	2,16	0,59	38
НР ₀₅		0,05	0,06	0,05	0,3	0,03	1,6

За відновлюваної системи удобрення за внесення $0,5 + N_{40}$ і $1,0$ т/га + N_{40} ОМБД (4-4-4) отримано прирости в межах $0,59$ т/га (38%) $0,78$ т/га (50%), що в середньому на 25% перевищує ефективність органічної системи удобрення 6 і 12 т/га гною великої рогатої худоби та відповідає рівню органо-мінеральної системи 6 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{40}P_{60}K_{60}$

Горох. За урожайності зерна цієї культури на контролі без добрив $2,19$ т/га, по фоні позакореневого підживлення рослин макро- і хелатними формами мікроелементів ТМ «Ярило» (у фазі 5-6 листків – Активний старт ПРО – $1-5$ л/га + Аміно Мікс – 1 л/га; бутонізації – Соя 2 л/га + Бор Екстра 1 л/га) найвищі прирости у 2021, 2024-2025 рр. одержано за мінеральної системи удобрення (потрійна доза – $N_{60}P_{90}K_{90}$) – $1,01$ т/га (46,0 %) і органо-мінеральної ($12,0$ т/га гною ВРХ + $N_{40}P_{60}K_{60}$) – $0,85$ т/га (39,0%). У зв'язку з тим, що горох використовує післядію третього року внесення гною великої рогатої худоби за органічної системи удобрення ($6,0$ і $12,0$ т/га гною великої рогатої худоби) визначено найменший приріст $0,28$ т/га (13,0 %) і $0,41$ т/га (19,0 %) порівняно з контролем (табл. 6.4).

Таблиця 6.4. Урожайність зерна гороху за різних систем удобрення в польовій сівозміні на сірому лісовому ґрунті, середнє за 2021, 2024-2025 р., т/га

Удобрєння на 1 га ріллі		Урожайність, т/га				Приріст до контролю	
гній, т/га	НРК, кг	2021	2024	2025	серед нє	т/га	%
контроль (без добрив)		2,61	1,65	2,32	2,19	-	-
12	$N_{20}P_{30}K_{30}$	2,97	2,21	2,81	2,66	0,47	21
12	$N_{40}P_{60}K_{60}$	3,38	2,58	3,18	3,05	0,85	39
12	-	2,94	2,08	2,78	2,60	0,41	19
6	-	2,86	1,86	2,69	2,47	0,28	13
6	$N_{40}P_{60}K_{60}$	3,51	2,28	3,03	2,94	0,75	34
	$N_{20}P_{30}K_{30}$	3,15	2,14	2,73	2,67	0,48	22
	$N_{40}P_{60}K_{60}$	3,32	2,25	2,95	2,84	0,65	29
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	3,61	2,76	3,24	3,20	1,01	46
ОМБД – 1т/га		3,33	2,17	3,12	2,87	0,68	31
ОМБД – $0,5$ т/га + N_{40}		3,17	2,31	3,01	2,83	0,64	29
HP_{05}		0,05	0,07	0,06	0,05	0,04	1,3

Встановлено, що найефективнішою щодо економії ресурсів є відновлювана система удобрення із застосуванням 0,5 т/га + N₄₀ і 1 т/га ОМБД 4-4-4 із рівнем врожайності зерна гороху 2,83 і 2,87 т/га із приростом до контролю без добрив відповідно 29 і 31 %.

Пшениця озима. По фону позакореневого підживлення рослин макро- і хелатними формами мікроелементів рідкими добривами ТМ «Ярило» (у фазі виходу в трубку – Продуктивний ріст – 1 л/га + ПРО універсал – 1л/га + Сірка 2 л/га; прапорцевого листка – Зерновий – 2 л/га + Аміно Мікс – 1л/га) за три роки досліджень (2021–2023 рр.) найвищої урожайності зерна пшениці озимої 6,07 і 6,0 т/га отримано за орґано-мінеральної системи удобрення 12 т/га гною ВРХ на 1 га сівозмінної площі + N₁₀₀P₆₀K₁₀₀ і за мінеральної (3 дози) N₁₅₀P₉₀K₁₅₀ із приростом урожайності 2,55 т/га (72,0 %) і 2,47 т/га (70,0 %) порівняно з контролем без добрив – 3,53 т/га. В зв'язку з тим, що пшениця озима використовує 4-й рік післядії внесення гною великої рогатої худоби визначено, що приріст зерна пшениці озимої за орґанічної системи удобрення 6 і 12 т/га гною великої рогатої худоби був на 29–41% нижчий, ніж за орґано-мінеральної і становив відповідно – 0,94 і 1,08 т/га порівняно з контролем. За мінеральної системи удобрення за внесення одинарної дози N₅₀P₃₀K₅₀ одержано приріст урожайності зерна 1,60 т/га (45,0 % до контролю), за подвійної дози N₁₀₀P₆₀K₁₀₀ він підвищився лише на 18,0 %, а за потрійної N₁₅₀P₉₀K₁₅₀ на 25,0 % порівняно з одинарною дозою НРК. Визначено високу ефективність застосування орґано-мінеральних біоактивних добрив із внесенням 0,5 т/га + N₄₀ і 1 т/га ОМБД 4-4-4-де рівень урожайності зерна сягав 5,02 і 5,07 т/га із приростом до контролю 42 і 44 % та відповідно на 13 і 15 % перевищував показники орґанічної системи удобрення (табл. 6.5).

Тому, впровадження еколого-збалансованих систем удобрення дозволить отримати високий і стабільний рівень урожайності сільськогосподарських культур у польових коротко ротаційних сівозмінах із приростом до 25–70 % порівняно з контролем без добрив [14]. Перспективним визначено

відновлювану систему удобрення із застосуванням органо-мінеральних біоактивних добрив у дозі 1 т/га, або сумісно із азотними добривами 0,5 т/га + N₄₀, які по ефективності відповідають рівню помірних органо-мінеральних систем удобрення.

Таблиця 6.5. Урожайність зерна пшениці озимої за різних систем удобрення у польовій сівозміні на сірому лісовому ґрунті, середнє 2021–2023 рр., т/га

Удобрєння на 1 га рїлї		Урожайність, т/га				Приріст до контролю	
гній, т/га	НРК, кг	2021	2022	2023	середнє	т/га	%
контроль (без добрив)		3,56	3,05	3,97	3,53	-	-
12	N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀	5,23	4,79	6,53	5,52	1,99	56
12	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	5,65	5,69	6,88	6,07	2,55	72
12	-	4,9	4,33	4,6	4,61	1,08	31
6	-	4,81	4,21	4,39	4,47	0,94	27
6	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	5,57	5,64	6,68	5,96	2,44	69
	N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀	4,35	4,65	6,39	5,13	1,60	45
	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀₀	5,26	5,04	6,99	5,76	2,24	63
	N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₅₀	5,75	5,22	7,02	6,00	2,47	70
ОМБД – 1т/га		5,17	4,54	5,49	5,07	1,54	44
ОМБД – 0,5т/га + N ₄₀		5,23	4,73	5,11	5,02	1,50	42
НІР ₀₅		0,18	0,11	0,09	0,12	0,04	1,4

7.1. Продуктивність культур польової сівозміни за 2021-2025 рр.

Узагальнювальним критерієм оцінки ефективності різних системи землеробства за еколого-зберігаючих систем удобрення є визначення продуктивності сівозміни [8, 18].

У результаті аналізу показників продуктивності за третю ротацію короткоротаційної польової сівозміни: овес, ячмінь, гречка, горох, пшениця озима у 2021-2025 рр. найефективнішою системою удобрення визначено органо-мінеральну за внесення 12 т/га гною великої рогатої худоби сівозміної площі + N₆₀P₆₀K₆₈ де рівень продуктивності досягав найвищих значень – 4,14 т/га з.о. із приростом 1,62 т/га, або 64% порівняно з контролем – 2,52 т/га.

За органічної системи удобрення внесення 30 т/га і 60 т/га гною великої рогатої худоби один раз за ротацію сівозміни сформуvalo продуктивність культур на рівні 3,18 і 3,41 т/га з.о. із приростом до контролю 26 і 36%.

Визначено, що частка участі мінеральних добрив у формуванні урожаю складає 29% за сумісного застосування подвійної дози $N_{60}P_{60}K_{68}$ по фоні органічних 6 т і 12 т на га сівозмінної площі. Показником продуктивності за потрібної дози $N_{90}P_{90}K_{102}$ досягали значень органо-мінеральної системи удобрення $N_{60}P_{60}K_{64}$ по фоні 12 т/га гною великої рогатої худоби і становили 4,05 т/га з.о. із приростом 1,53 т/га з.о. (61%) до контролю без добрив.

За результатами досліджень ефективною і енергоощадною системою удобрення визначено відновлювану із застосуванням 0,5 т/га + N_{40} і 1 т/га ОМБД 4-4-4 де сформовано показники продуктивності у межах 3,47 і 3,67 т/га з.о. із приростом 38 і 46% порівняно з контролем, що відповідало рівню урожайності за органічної 12 т/га гною великої рогатої худоби і органо-мінеральної системи 6 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{60}P_{60}K_{68}$. Це свідчить про те, що полі компонентні органо-мінеральні біоактивні добрива у невисоких дозах є конкурентно-спроможними щодо традиційної органо-мінеральної системи удобрення за середніх їх доз застосування.

Тому, в короткоротаційній польовій сівозміні найефективнішою визначено органо-мінеральну систему удобрення (12 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{60}P_{60}K_{68}$) із рівнем продуктивності – 4,14 т/га з.о. і приростом 1,62 т/га з.о. (64%). Встановлена перспективність застосування органо-мінеральних біоактивних добрив в дозі 1 т/га із приростом продуктивності 1,15 т/га з.о. (46%), що відповідає рівню помірних доз мінеральних добрив ($N_{60}P_{60}K_{68}$) (табл. 7.1).

Таблиця 7.1. Продуктивність культур ланки сівозміни в тривалому досліді за різних систем удобрення, середнє за 2021–2025 рр., т/га з.о.

Удобрєння на 1 га рїлї		Овес	Ячмїнь	Гречка	Горох	Пшениця	Продуктивнїсть ланки сівозміни 2016-2020		
		рїк					Середнє, т/га з.о	Прирїст до контролю	% до контролю
		2022- 2024	2023- 2025	2021, 2024- 2025	2021- 2022	2021-2023			
гнїй, т/га	НРК, кг								
Без добрив (контроль)		2,27	1,57	2,18	3,05	3,52	2,52	-	-
12	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₄	3,45	2,11	3,07	4,30	5,52	3,69	1,17	46,39
12	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	3,82	2,49	3,47	4,86	6,07	4,14	1,62	64,32
12	N ₀ P ₀ K ₀	3,36	2,18	2,87	4,02	4,61	3,41	0,89	35,20
6	N ₀ P ₀ K ₀	3,13	1,91	2,67	3,74	4,47	3,18	0,66	26,31
6	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	3,56	2,34	3,21	4,49	5,96	3,91	1,39	55,25
-	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₄	2,88	1,98	2,72	3,81	5,13	3,30	0,78	31,07
-	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₈	3,15	2,34	3,09	4,33	5,76	3,73	1,21	48,12
-	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₀₂	3,51	2,52	3,43	4,80	6,00	4,05	1,53	60,78
1,0	ОМБД	3,12	2,30	3,28	4,59	5,07	3,67	1,15	45,71
0,5	ОМБД + N ₄₀	2,98	2,11	3,02	4,23	5,02	3,47	0,95	37,74
НІР ₀₅		0,32	0,39	0,28	0,45	0,32	0,3	0,08	2,1

7.2. Якість основної продукції в польовому досліді за органо-мінеральної системи удобрення, 2021-2025 рр.

Основними показниками якості зернових і зернобобових культур визначено протеїн, білок, клітковина – перемінні величини, що підлягають впливу добрив, а також жир, зола і зольні елементи фосфор і калій – генетично залежні показники, що слабо реагують на зовнішні впливи [9].

Перемінні величини в основній продукції рослинництва тісно залежать від рівня азотного живлення рослин, адже протеїн і білок є похідними від органічних сполук.

Овес. Якість зерна вівса має тенденцію до поліпшення за основними якісними показниками, як протеїн, білок, жир, зола та вміст зольних речовин. Встановлено, що вміст протеїну перевищував контроль за органічною 12 т/га гною ВРХ систем удобрення на 3 %. (табл. 7.2.1).

Таблиця 7.2.1. Якість зерна вівса різних систем удобрення у польовому досліді, середнє за 2022–2024 рр., %

Удобрення на 1 га ріллі		Протеїн	Жир	Клітковина	Зола	Крохмаль	P ₂ O ₅	K ₂ O
Гній, т/га	NPK, кг							
Без добрив (контроль)		8,49	5,29	11,15	3,00	57,62	0,70	0,48
12	N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀	8,49	5,27	11,67	2,94	56,83	0,80	0,48
12	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	8,95	5,30	11,61	2,92	57,63	0,81	0,48
12	-	8,78	5,30	12,07	3,00	56,80	0,81	0,48
6	-	9,30	5,31	12,22	2,98	56,54	0,83	0,48
6	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	9,29	5,20	11,38	2,92	57,87	0,81	0,47
-	N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀	8,65	5,30	12,05	2,95	56,97	0,81	0,46
-	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	8,72	5,38	12,44	2,95	56,88	0,81	0,46
-	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	8,52	5,38	12,20	2,99	56,68	0,82	0,49
ОМБД 1,0		8,61	5,43	12,81	2,96	56,78	0,82	0,46
ОМБД 0,5	N ₄₀	8,04	5,44	12,89	2,94	56,83	0,82	0,46

На всіх удобрених варіантах вміст білку незначно перевищував , або був на рівні контролю 8,49 %, окрім органо-мінеральної подвійної (12 т/га гною великої рогатої худоби + N₄₀P₃₀K₄₀) де вміст протеїну не поступався контролю, що відповідає ростовому розбавленню за отримання високих врожаїв зерна вівса. Показники крохмалю були на рівні контролю

Ячмінь ярий. На варіантах із застосуванням добрив за вирощування ячменю ярого спостерігалися схожі тенденції зміни якісних показників, як і за вирощування вівса. Вміст білка і протеїну у зерні ячменю коливався відповідно в межах 10,74–12,06 % і 12,29–12,82%.

Вміст жиру і крохмалю по всіх рівнів удобрення і внесення ОМБД знаходився на рівні контролю 3,13 і 53,32 % відповідно (табл. 7.2.2).

Таблиця 7.2.2. Якість зерна ячменю ярого різних систем удобрення у польовому досліді, середнє за 2023–2025 рр.,%

Удобрення		Протеїн	Білок	Жир	Клітковина	Зола	Гігроск. волога	Крохмаль	P ₂ O ₅	K ₂ O
Гній т/га	НРК, кг									
Без добрив (контроль)		12,61	11,80	3,13	5,08	2,43	9,77	53,32	0,77	0,50
12	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	12,82	12,06	3,17	5,01	2,46	9,71	52,96	0,79	0,52
12	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,73	11,71	3,20	4,92	2,49	9,89	53,09	0,81	0,53
12	-	12,47	10,85	3,16	5,08	2,59	10,14	53,27	0,78	0,50
6	-	12,40	11,07	3,18	5,06	2,47	9,86	53,14	0,80	0,52
6	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,58	10,74	3,21	5,14	2,48	10,01	53,14	0,80	0,52
-	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	12,57	11,02	3,07	5,15	2,50	9,64	53,08	0,79	0,51
-	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,67	11,11	3,20	5,10	2,51	10,01	52,94	0,80	0,53
-	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	12,55	10,89	3,22	5,07	2,51	9,90	52,99	0,80	0,53
ОМБД 1 т/га		12,42	11,00	3,17	5,01	2,50	9,78	53,23	0,79	0,52
ОМБД 0,5 т/га	N ₄₀	12,29	10,80	3,12	5,04	2,51	9,82	53,46	0,78	0,50

Гречка. За еколого-збалансованих систем удобрення визначено таку тенденцію зміни якісних показників: зерна і зростання протеїну від 12,93 до 13,68% і білка від 11,93 до 12,27%. Уміст P₂O₅ і K₂O майже не відрізнялися між

собою на усіх варіантах дослідів. Встановлено, що за потрійної мінеральної ($N_{60}P_{90}K_{90}$) і органо-мінеральної ((6 т/га гною великої рогатої худоби + $N_{40}P_{60}K_{60}$), відбувалось зростання вмісту білка на 1,47–1,15% порівняно з контролем. Внесення гною великої рогатої худоби у дозах 6 і 12 т/га сівозмінної площі за органічної системи удобрення мало наближені результати до мінеральної одинарної і поступалося органо-мінеральній на 0,7–2,2%.

Внесення ОМБД у дозі 1 т/га і 0,5 т/га + N_{40} , сприяло отриманню високих показників якості основної продукції, що перевищували контроль – без добрив на 1% і за ефективністю відповідало рівню внесення 12 т/га сівозмінної площі гною великої рогатої худоби (табл. 7.2.3).

Таблиця 7.2.3. Якість зерна гречки різних систем удобрення у польовому досліді, середнє за 2021, 2024–2025 рр., %

Удобрєння на 1 га ріллі		Протеїн	Білок	Жир	P_2O_5	K_2O	Гігроскоп. волога
Гній, т	НРК, кг						
Без добрив (контроль I)		12,93	12,09	3,18	0,72	0,44	10,68
12	$N_{20}P_{30}K_{30}$	13,61	12,23	3,28	0,73	0,45	10,79
12	$N_{40}P_{60}K_{60}$	13,56	12,16	3,29	0,73	0,45	10,88
12	-	13,51	12,12	3,17	0,72	0,46	10,97
6	-	13,24	11,93	3,24	0,72	0,46	10,64
6	$N_{40}P_{60}K_{60}$	13,56	12,18	3,10	0,72	0,46	10,92
-	$N_{20}P_{30}K_{30}$	13,56	12,17	3,07	0,72	0,46	10,82
-	$N_{40}P_{60}K_{60}$	13,52	12,13	3,00	0,71	0,45	10,44
-	$N_{60}P_{90}K_{90}$	13,68	12,27	3,23	0,73	0,46	10,05
ОМБД 1,0		13,42	12,01	3,24	0,72	0,46	10,44
ОМБД 0,5	N_{40}	13,61	12,20	3,26	0,75	0,46	10,32

Горох. Це зернобобова культура відрізняється від групи зернових і круп'яних високим вмістом протеїну і білка. Завдяки симбіотичній фіксації

атмосферного азоту за орґано-мiнеральної i мiнеральної системи удобрення значної рiзницi мiж дозами i видами добрив не спостерiгали, коливаючись у межах 19–20,5% з помiтною тенденцiєю до пiдвищення вiсту протеїну бiлка за застосування ОМБД (20,28–20,41%). За вiстом жиру, золи, клiтковини рiзниця мiж контролем i удобреними варiантами незначна. Культура слабко реагує на добрива i в накопиченнi зольних елементiв (табл. 7.2.4).

Таблиця 7.2.4. Якiсть зерна гороху рiзних систем удобрення у польовому дослiдi, середнє за 2021-2022 рр., %

Удобрення		Протеїн	Бiлок	Жир	Зола	Клiтковин	Гiроск. волога	P ₂ O ₅	K ₂ O
Гнiй, т/га	НРК, кг								
Без добрив (контроль)		19,75	18,29	1,58	3,26	5,31	9,32	1,01	1,12
12	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	20,27	18,84	1,68	3,38	5,53	9,15	1,01	1,19
12	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	19,70	17,58	1,64	3,42	5,43	9,00	0,97	1,15
12	N ₀ P ₀ K ₀	19,36	17,57	1,59	3,36	5,34	9,29	0,95	1,12
6	N ₀ P ₀ K ₀	19,88	18,47	1,63	3,38	5,49	9,28	1,01	1,13
6	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	19,62	18,02	1,66	3,33	5,48	8,80	0,97	1,10
	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	19,70	18,22	1,66	3,33	5,52	8,90	1,03	1,15
	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	20,74	18,37	1,59	3,35	5,55	8,40	1,00	1,12
	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	19,34	17,63	1,57	3,28	5,64	7,91	1,02	1,15
ОМБД 1,0		20,41	18,80	1,63	3,45	5,70	8,32	1,02	1,16
ОМБД 0,5	N ₄₀	20,28	19,08	1,61	3,40	5,54	8,25	1,01	1,16

Пшениця озима. Культура з високим потенцiалом урожайностi з довгим вегетацiйним перiодом, яка добре реагує на засоби хiмiзацiї. Нагромадження протеїну найефективнiше вiдбувається за мiнеральної подвiйної системи

удобрення $N_{100}P_{60}K_{100}$, де визначено найвищий вміст протеїну – 13,03% і білка – 11,79%. За внесення оптимальних доз добрив за органо-мінеральної системи удобрення ці величини становили 12,32 і 11,24%, які можна визначити як стандартні в умовах дослідю.

Найвищі показники клейковини визначено за мінеральної і органо-мінеральної систем удобрення, подвійної дози NPK, де вони були максимальними 23,48 і 22,48 % та перевищували контроль на 18 і 14 % відповідно (табл. 7.2.5).

Таблиця 7.2.5. Якість зерна пшениці озимої за різних систем удобрення у польовому досліді, середнє за 2021–2023 рр., %

Удобрєння		Протеїн	Білок	Клей-ковина	Зола	Жир	Крохмаль	P_2O_5	K_2O
Гній, т/га	NPK, кг								
Без добрив (контроль)		11,26	10,21	19,32	1,50	1,89	65,60	0,85	0,55
12	$N_{50}P_{30}K_{50}$	10,92	9,90	18,85	1,50	1,89	64,64	0,86	0,55
12	$N_{100}P_{60}K_{100}$	12,13	11,03	22,48	1,56	1,95	64,36	0,85	0,55
12	$N_0P_0K_0$	12,26	11,11	20,13	1,50	1,95	64,77	0,84	0,55
6	$N_0P_0K_0$	10,22	9,32	18,87	1,49	1,89	66,08	0,83	0,53
6	$N_{100}P_{60}K_{100}$	12,32	11,24	20,96	1,52	1,94	63,91	0,87	0,57
-	$N_{50}P_{30}K_{50}$	12,22	11,03	19,16	1,50	1,96	63,70	0,86	0,57
-	$N_{100}P_{60}K_{100}$	12,69	11,56	23,48	1,58	1,96	63,13	0,86	0,59
-	$N_{150}P_{90}K_{150}$	13,03	11,79	23,00	1,60	1,99	62,05	0,87	0,57
	ОМБД 1,0	11,80	10,52	18,88	1,52	1,92	64,19	0,85	0,54
ОМБД 0,5 N_{40}		11,39	10,09	18,83	1,50	1,89	66,18	0,85	0,54

8. Економічна ефективність застосування добрив у польовій сівозміні, 2021–2025 рр.

Економічна ефективність – заключна оцінка будь-якої системи землеробства, а в ній – системи удобрення. Економічний ефект складається з витратної і прибуткової частини, де визначальними показниками є собівартість добрив і вартість одержаного приросту врожаю від їх застосування. Порівняння економічної ефективності за інтенсивної і відновлюваної системи удобрення шлях до пошуку раціональних технологій [3, 25, 34].

Пшениця озима. Культура використовує IV рік післядії гною і тому серед удобрених варіантів з внесенням гною і найнижча собівартість зерна пшениці – 12168 грн/га за післядії його у дозі 30 т/га. З внесенням по фоні його післядії мінеральних добрив собівартість зерна підвищувалась по дозах 12 т/га гною + $N_{50}P_{30}K_{50}$ до 19119 грн/га, а по дозі $N_{100}P_{60}K_{100}$ – 25865 грн/га. найвища собівартість зерна склалась за дози $N_{150}P_{90}K_{150}$ за мінеральної системи удобрення – 32717 грн/га, внесення ОМБД у дозі 1 т/га собівартість становила 14119 т/га, що майже вдвічі була нижчою порівняно з оптимальною дозою гною і мінеральних добрив (12 т/га гною + $N_{100}P_{60}K_{100}$). Зменшення дози ОМБД до 0,5 т/га + N_{40} збільшила собівартість на 7 % порівняно з попередньою дозою.

Прибуток від застосування оптимальної дози добрив, яка гарантує найвищу урожайність (12 т/га гною + $N_{100}P_{60}K_{100}$) виявився на 14 % нижчим порівняно з половинною дозою мінеральних добрив, що пов'язано з ціновою політикою на штучні туки. Найприбутковішим визначено післядію на IV рік підстилкового гною – 23976 грн/га, а в прямій дії внесення ОМБД у дозі 1 т/га – 25682 грн.

Серед варіантів прямої дії добрив найвищий рівень рентабельності одержано по тій же дозі ОМБД – 181 %, а за внесення 0,5 т/га + N_{40} – на 19 % нижча. Менш рентабельною визначено і оптимальну дозу (12 т/га гною + $N_{100}P_{60}K_{100}$), тоді як зниження її на 99 % – 82 %. Найнижчий рівень

рентабельності у цьому блоці одержано за мінеральної системи удобрення – чим вища доза, тим нижчий рівень – від 114 % за одинарної дози до 42 % за потрібної дози NPK (табл. 8.1).

Таблиця 8.1. Економічна ефективність вирощування пшениці озимої за різних систем удобрення у польовому досліді, середнє за 2021–2023 рр.

Удобрєння на 1 га рїлї		Собївартїсть продукції, грн/га	Вартїсть вирощєної продукції, грн	Прибуток, грн/га	Рєнтабельнїсть, %
Гнїй, т/га	NPK, кг				
Бєз добрїв (кєнтрєль)		11085	27581	16495	149
12	N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀	19119	42712	23592	123
12	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀ ₀	26182	47679	21498	82
12	-	12687	36500	23976	189
6	-	12168	32956	20788	171
6	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀ ₀	25986	45623	19637	75
-	N ₅₀ P ₃₀ K ₅₀	18630	39907	21267	114
-	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₀ ₀	25865	44846	18981	73
-	N ₁₅₀ P ₉₀ K ₁₅ ₀	32717	46777	14060	42
ОМБД 1,0		14119	39801	25682	181
ОМБД 0,5 +N ₄₀		15134	39728	24594	162

Овес. Овес використовує пряму дію 30 і 60 т/га гною + 5 т/га соломи пшениці озимої + пряму дію мінеральних добрив та ОМБД. Завдяки формуванню високої урожайності собівартість зерна порівняно є не високою.

За оптимальної дози 60 т/га гною + $N_{80}P_{60}K_{80}$ собівартість зерна кукурудзи становила 36920 грн/га, за зниження дози NPK удвічі на 17 % нижче. Як культура з довшим вегетаційним періодом овес добре зреагував на суто мінеральне удобрення, де одержано одну із найнижчих собівартостей – 20868 грн/га. Проте найвигідніше за цим показником виявилось застосування ОМБД у дозі 1 т/га – 16162 грн/га – на 30 % нижче, а за внесення ОМБД 0,5 т/га + N_{50} на 5 % більше, що пов'язано з додатковим внесенням азоту.

Відповідним чином склалась і прибуткова частина, що передбачає витрати на пряму дію гною, забезпечивши найвищий прибуток – 19579 грн/га за внесення оптимальної дози (60 т/га гною), тоді як за прямої дії гною (30 т/га) – 18508 грн/га, зменшуючись на 2 %. За мінеральної системи удобрення прибуток знижувався у міру зростання доз від 9703 до 3345 грн/га, або майже втричі. Втім найвищим він виявився за внесення ОМБД у дозі 1 т/га – 23775 грн/га – у 3,5 рази більше від оптимальної дози (12 т/га гною + $N_{80}P_{60}K_{80}$).

Рівень рентабельності за прямої дії добрив по фоні NPK не перевищував 20 %, без нього – 103–187 %, а за мінеральної системи удобрення у міру підвищення доз добрив знижувався від 49 до 13 %. Найвищий рівень рентабельності одержано за застосування ОМБД у дозі 1 т/га – 185 %, а по дозі 0,5 + N_{40} – 183 %, або на 2 % нижче, що свідчить про найкраще місце ОМБД у сівозміні під цією культурою. Деякі переваги в економічній ефективності мінеральної системи удобрення нівелюються екологічними міркуваннями (табл. 8.2).

Таблиця 8.2. Економічна ефективність вирощування вівса за різних систем удобрення у польовому досліді, 2022–2024 рр.

Удобрєння на 1 га рїлї		Собївартїсть продукції, грн/га	Вартїсть вирощеної продукції, грн	Прибуток , грн/га	Рентабельнїсть , %
Гнїй , т/га	НРК, кг				
Без добрив (контроль)		12466	27565	10049	81
60	N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀	29868	44000	10103	38
60	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	36920	48265	6360	20
60	-	22366	41945	19579	187
30	-	18437	39775	18508	103
30	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	33095	45185	13195	44
-	N ₄₀ P ₃₀ K ₄₀	20868	37840	9703	49
-	N ₈₀ P ₆₀ K ₈₀	27719	41805	8946	35
-	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	35061	45745	3345	13
ОМБД 1,0		16162	39545	23755	185
ОМБД 0,5 +N ₄₀		16930	37655	23910	183

Ячмінь. За органо-мінеральної системи удобрення собівартість 1 га зерна ячменю коливалася від 33517 грн/т по оптимальній дозі (12 т/га гною + N₆₀P₆₀K₆₀) – до 13662 грн/га, знижуючись на 61 %. Зменшення дози гною на половину, внесеного під попередник, виявилось майже рівнозначним за підвищення її удвічі по такому самому фоні НРК – 28465 грн/га, знижуючись лише на 17 %. За мінеральної системи удобрення собівартість була ефективною за дози N₃₀P₃₀K₃₀, за підвищення її вона зростала на 21 %, а потроєння – на 42 % порівняно з одинарною дозою добрив. За прибутком ця доза виявилась на 20 % менш прибутковішою, ніж помірна доза НРК на тому самому фоні із зниженням урожайності зерна до 6 % порівняно з оптимальною

дозою добрив. Найприбутковішим за вирощування ячменю виявилось внесення ОМБД у дозі 1 т/га – 18876 грн/га.

Рівень рентабельності виявився найнижчим за загальноприйнятої оптимальної дози $N_{60}P_{60}K_{60}$ під цю культуру – 31 %, за зниження цієї дози до $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 34 %. Вищим він був за мінеральної системи удобрення зменшуючись від 94 % до 72 і 52 у міру підвищення доз добрив. Найвищі показники за рентабельністю одержано за внесення 1 т/га ОМБД і 0,5 т/га + N_{40} – 118-98 % (табл. 8.3).

Таблиця 8.3. Економічна ефективність вирощування ячменю ярого за різних систем удобрення у польовому досліді, середнє за 2022–2025 рр.

Удобрєння на 1 га рїллї		Собївартїсть продукції, грн/га	Вартїсть вирощєно ї продукції, грн	Прибуток , грн/га	Рєнтабельнїсть , %
Гнїй , т/га	НРК, кг				
Бєз добрив (кєнтрєль)		13662	25691	12029	97
12	$N_{30}P_{30}K_{30}$ 0	28485	37204	8720	34
12	$N_{60}P_{60}K_{60}$ 0	33517	42818	9301	31
12	-	23012	35682	12670	61
6	-	19162	33683	14521	84
6	$N_{60}P_{60}K_{60}$ 0	29337	41295	11958	45
-	$N_{30}P_{30}K_{30}$ 0	19575	36157	16583	94
-	$N_{60}P_{60}K_{60}$ 0	24607	40534	15927	72
-	$N_{90}P_{90}K_{90}$ 0	28881	42342	13462	52
ОМБД 1,0		17659	36538	18878	118
ОМБД 0,5 + N_{40}		18776	35396	16620	98

Гречка. Формуючи низькі показники за урожайності, гречка має підвищені показники собівартості, які в органо-мінеральному блоці переважно коливаються у межах 26604-32038 грн/га, у післядії гною – до 21170 грн/га підвищуючись за мінеральної системи удобрення від 18464 до 6334 грн/т і тільки за внесення 1 т/га ОМБД цей показник знизився до мінімальних значень – 16807 грн/т, або на 54 % нижча від оптимальної дози (12 т/га гною + N₄₀P₆₀K₆₀). (табл. 8.4).

Таблиця 8.4. Економічна ефективність вирощування гречки за органо-мінеральної системи удобрення у польовому досліді, середнє за 2021, 2024-2025 рр.

Удобрення на 1 га ріллі		Собівартість продукції, грн/га	Вартість вирощеної продукції, грн	Прибуток, грн/га	Рентабельність, %
Гній, т/га	НPK, кг				
Без добрив (контроль)		12370	23742	11373	101
12	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	26604	32333	5730	24
12	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	32038	37019	4982	18
12	-	21170	30615	9446	50
6	-	17567	28741	11174	70
6	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	28243	33427	5184	20
-	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	18464	31240	12777	76
-	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	23898	32177	8280	39
-	N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	29343	35614	6271	23
ОМБД 1,0		16807	33271	16464	108
ОМБД 0,5 + N ₄₀		17338	31084	13746	87

За прибутковістю гречка відноситься до комерційно вигідної культури, адже прибуток за оптимальної дози NPK по фону гною (12 т/га + N₄₀P₆₀K₆₀) виявився найвищим серед варіантів з внесенням гною і становив 19717, знижуючись у післядії гною і внесення низьких і високих доз NPK за мінеральної системи удобрення до 15263-17251 грн/га. Найвищим прибутком за вирощування гречки визначено за внесення ОМБД у дозі 1 т/га – 23474, що на 90 % більше від оптимальної дози органо-мінеральної системи. Зниження її наполовину + N₄₀ зменшило прибуток на 21 %

Горох. За третю ротацію горох увійшов у сівозміну в 2021 р., визначившись, внаслідок аномальних природних умов невисокою урожайністю за внесення традиційних видів добрив (табл. 8.5).

Таблиця 8.5. Економічна ефективність вирощування гороху за різних систем удобрення у польовому досліді, середнє за 2021-2022 рр.

Удобрєння на 1 га рїллі		Собівартїсть продукції, грн/га	Вартїсть вирощєної продукції, грн	Прибуток, грн/га	Рентабельнїсть, %
Гнїй, т/га	NPK, кг				
Бєз добрив (контрєль)		11178	21020	9842	79
12	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	23306	30440	7134	28
12	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	27423	35033	7610	25
12	-	18828	29194	10366	50
6	-	15678	27559	11881	68
6	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	24003	33787	9784	37
-	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀	16016	29583	13568	77
-	N ₄₀ P ₆₀ K ₆₀	20133	33164	13031	59

-	N ₆₀ P ₉₀ K ₉ 0	23630	34644	11014	42
ОМБД 1,0		14449	29894	15446	96
ОМБД 0,5 +N ₄₀		15362	28960	13598	80

За рівнем собівартості найнижчими значеннями визначилась післядія гною 3-го року – 15687 грн/га, та ОМБД 1 т/га – 14449 грн/га і найвища за органо-мінеральної системи удобрення – 27423 грн/га. Найприбутковішим за вирощування гороху відзначено за внесення ОМБД 1 т/га – 15446 грн/га. За оптимальної дози N₄₀P₆₀K₆₀ прибуток не перевищував 13031 грн/га. Рівень рентабельності серед варіантів з внесенням добрив становив 25–59 % за винятком одинарної дози NPK – 77 %, що визначається за мінеральної системи удобрення як економічно вигідною. Рівень рентабельності по ОМБД становив 80–96 %.

Отже, показник економічної ефективності вирощування культур короткоротаційної сівозміни засвідчив, що на сьогодні здебільшого економічно вигідними дозами мінеральних добрив є нижчі від загальноприйнятих оптимальних доз. Економічно доцільніше є застосування органо-мінеральних біоактивних добрив марки 4-4-4, внесених у дозах 1 т/га або 0,5 т/га + N₄₀.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрохімічний аналіз: Підручник / М.М. Городній, А.П. Лісовал, А.В Бикін та ін. / за ред. М.М. Городнього. Київ: Арістей, 2005. 468 с.
2. Борко, Ю., Дегодюк, С., Дегодюк, Е., Пати́ка, М., & Літвінова, О. (2022). Особливості формування мікробного ценозу сірого лісового ґрунту за різних систем удобрення в агроценозі пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*, 100(4), 14-22. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-02>.
3. Бричко А. М. Зубенко А. В. Економічна ефективність застосування добрив під сою. 2018. С. 302-308. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-18-42>
4. Дегодюк Е.Г., Літвінова О.А., Кириченко А.В., Гуральчук С.З. Еколого-біосферна модель відновлювального земле- і природокористування в Україні. Збірник тез III міжвузівської наукової конференції з міжнародною участю «Екологія–шляхи гармонізації відносин природи та суспільства» (Умань, 11–12 жовтня 2012 р.) Уманський нац. ун-т садівництва. Умань, 2012. С. 3–5.
5. Дегодюк С. Е., Мулярчук А. О. Урожайність та енергетична ефективність в агроценозі пшениці озимої за різних систем удобрення в умовах Північної частини Лісостепу. *Агробіологія* №2 2023. С. 21–27. doi: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-183-2-21-27>.
6. Дегодюк С.Е., Дегодюк Е.Г., Борко Ю.П., Літвінова О.А., Ігнатенко Ю. О., Мулярчук А. О. Тривалий моніторинг аридизації в землеробстві до змін і за змін клімату в Україні Рослинництво та ґрунтознавство 2021. Том 12, № 4. С. 102–114. doi.org/10.31548/agr 2021.04.102.
7. Дегодюк С.Е., Борко Ю.П., Дегодюк Е.Г., Пати́ка, М.В., Літвінова О.А. Особливості формування мікробного ценозу сірого лісового ґрунту за різних систем удобрення в агроценозі пшениці озимої. *Вісник аграрної науки* 2022. № 4 (829). С. 14–22. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-02>.

8. Дегодюк С.Е., Мулярчук А.О. Урожайність та енергетична ефективність в агроценозі пшениці озимої за різних систем удобрення в умовах Північної частини Лісостепу. *Агробіологія*. 2023. №2. С. 21–27. doi: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-183-2-21-27>.
9. Дегодюк С.Е., Мулярчук А.О. Урожайність і якість зерна пшениці озимої за традиційних та новітніх систем удобрення Землеробство та рослинництво: теорія і практика. 2023. Вип. 3 (9). С. 37–42. doi: 10.54651/agri.2023.03.05.
10. Дегодюк С.Е., Мулярчук А.О. Вплив традиційних і новітніх видів добрив на агрофізичні показники сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої. Землеробство та рослинництво: теорія і практика Вип. 4 (10), 2023. 1 С. 5–13 doi: 10.54651/agri.2023.04.0.
11. Дмитрук Ю.М. Еколого-геохімічний аналіз ґрунтового покриву агроєкосистем. Чернівці: Рута, 2006. 328 с.
12. ДСТУ 3750–98. Мікробіологія ґрунту. Терміни та визначення: Чинний від 1999-07-01. Київ: Держспоживстандарт України, 1999. 38 с. (Державний стандарт України).
13. ДСТУ 7847:2015. Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів в ґрунті методом висівання на тверде (агаризоване) поживне середовище [Чинний від 2016–07–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2016. 10 с.
14. Дубицький, О., Качмар, О., Дубицька, А., & Вавринович, О. (2021). Вплив екологізованих систем удобрення на родючість сірого лісового ґрунту та врожайність пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*, 99(9), 55–63.
15. Економічна та енергетична ефективність застосування різних систем удобрення під пшеницю озиму на чорноземі типовому. Глушенко Л. Д., Калініченко С. М., Дорощенко Ю. І., Білан В. М., Запорожець Л. М., Біланович О. Л., *вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 1. С. 37–39.

16. Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія / Волкогон В.В., Надкернична О.В., Токмакова Л.М. та ін.; за наук. ред. В. В. Волкогона. Київ : Аграр. наука, 2010. 464 с.
17. Дегодюк, С.Е., Мулярчук, А.О., Літвінова, О.А., Яремко, О. М. Зміна агрохімічних властивостей сірого лісового ґрунту за різних систем удобрення *Вісник аграрної науки*. 2025. 103 (7). С. 5–16. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202507-01>.
18. Коваленко Н.П. Екологічно збалансовані сівозміни в системі альтернативного землеробства: історичні аспекти. *Агроекологічний журнал*. 2012. №4. С.95–99.
19. Корецький, О. Є. Біологічна активність ґрунту у посівах пшениці озимої залежно від попередників у Лісостепу Лівобережному. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. (2).С. 146–149.
20. Матвійчук Б.В. Мікробіологічна активність – основний показник якості ясно-сірого лісового ґрунту. «Сучасний стан ґрунтового покриву України та шляхи забезпечення його сталого розвитку на початку 21 століття»: тези доповідей Міжн. наук.-практ. конф., присвяч. 50-річчю з дня створення Ін-ту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського. Харків, 2006. С. 52–53.
21. Медведєв В.В. Про деякі дискусійні та невирішені проблеми у дослідженнях ґрунтів. Харків : ФОП Бровін О.В., 2017. 188 с.
22. Потапенко Л.В., Скачок Л.М., Горбаченко Н.І. Біологічна трансформація органічної речовини у дерново-підзолистому ґрунті за впливу систем удобрення та мікробних препаратів. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2017. Вип. 26. С. 30–36.
23. Проневич В. А. Біологічна активність осушених торфових ґрунтів у кормових сівозмінах. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. 19.С. 42–46.

24. Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління/ Балюк С. А., Греков В. О., Лісовий М. В. та ін. Харків: Міська друкарня. 2011. 30 с.
25. Сенчук С. Відтворення родючості – проблема сьогодення. Тези доповідей Міжн. наук.-практ. конф., присвяч. 50-річчю з дня створення Ін-ту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського. «Сучасний стан ґрунтового покриву України та шляхи забезпечення його сталого розвитку на початку 21 століття». Харків: 2006. С. 224–225.
26. Центилю Л. В. Біологічна активність ґрунту за різних систем удобрення соняшнику та обробітку ґрунту. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 117–122. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.16>
27. Шерстобоева О.В., Дем'янюк О.С., Чабанюк Я.В. Біодіагностика і біобезпека ґрунтів агроєкосистем. *Агроєкологічний журнал*. 2017. № 2. С. 142–149.
28. Шустерук Т.З. Екологічна оцінка біологічного стану різних типів ґрунтів агроєкосистем України. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*. 2006. Вип. 19. С. 227–230.
29. Badreiner M.R., Talak V.B. Strusture and organization of soil misroorganisms in different ecological systems. *Biofutur*. 1998. №180. P.19–22.
30. Gadzalo Y.M., Patyka M.V., Zaryshnyak A.S., Patika T.I. Agroecological Engineering in Rhizosphere Biocontrol Plants and Formation of Soil Health. *Microbiol J*. 2017. 79(4).P.88–109. <https://doi.org/10.15407/microbiolj79.04.088>.
31. Litvinova Olena, Litvinov Dmytro, Degodyuk Stanislav, Romanova Svitlana, Rasevich Volodymyr. Effect of fertilizers systems on accumulation of heavy metals in gray forest soil. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2020. Vol.10 (4). P.603–608. <https://doi.org/10.31407/ijeess10.404>.
32. Litvinova Olena, Dehodiuk Stanislav, Litvinov Dmytro, Symochko Lyudmyla, Zhukova Yaroslava, Kyrylchuk Anzhela. The impact of agrochemical loading on

- nutritive regime of gray forest soil during field crop rotation *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2021. Vol. 11 (4).P. 831–836. doi: <https://doi.org/10.31407/ijeess11.421>.
33. Litvinova, O., Tonkha, O., Havryliuk, O., Litvinov, D., Symochko, L., Dehodiuk, S., Zhyla, R. Fertilizers and pesticides impact on surface-active substances accumulation in the dark gray podzolic soils. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. 24(7). P.119–127. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/163480>.
 34. Litvinova, O., Dehodiuk, S., Litvinov, D., Havryliuk, O., Kyrychenko, A., Borys, N., Dmytrenko, O.. Efficiency of technology elements for growing winter wheat on typical chernozem. *Agronomy Research*. 2023. 21 (3).P. 1199–1212. <https://doi.org/10.15159/AR.23.079>.
 35. Marcos M.S., Olivera, N.L. Microbiological and biochemical indicators for assessing soil quality in drylands from Patagonia. *Biology and Biotechnology of Patagonian Microorganisms*. 2016. P. 91–108.
 36. Malynovska, I. M., Degodiyk, S. E., & Balian, A. V. Dynamics of the number and physiological and biochemical activity of microorganisms in the root zone of corn using different doses of mineral and organic fertilizers. *Agriculture and plant sciences: theory and practice*. 2024. (2).P. 46–57.
 37. Sukhdev S. Malhi, Marvin Nyborg, Elston D. Solberg et al. Long-term straw management and N fertilizer rate effects on quantity and quality of organic C and N and some chemical properties in two contrasting soils in Western Canada. *Biology and Fertility of Soils*. 2011. V. 47. № 7. P. 785–800. doi: 10.1007/s00374-011-0587-8.

Наукове видання

ДЕГОДЮК Станіслав Едуардович
МУЛЯРЧУК Андрій Олександрович
ШТАКАЛ Віктор Миколайович
ХУДОЛЄЄВ Ігор Васильович
ВЕЛЬГАС Віталій Володимирович

**СУЧАСНІ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ
В ІНТЕНСИВНОМУ І ВІДНОВЛЮВАНОМУ
ЗЕМЛЕРОБСТВІ**

Науково-методичні рекомендації
За редакцією С.Е. Дегодюка

Підписано до друку 06.10.2025.
Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Друк. арк. 5,5.
Умов. друк. арк. 5,12. Обл.-вид. арк. 3,57.
Наклад 100 прим. Зам. № 1293/8.

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>