

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МІКРОБІОЛОГІЇ
ТА АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

**ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ
ТА МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ НА ФОРМУВАННЯ
РОДЮЧОСТІ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ**

(науково-методичні рекомендації)

Чернігів
2025

УДК 574:579.64:631.95:631.463
О-75

Особливості впливу систем удобрення та мікробних препаратів на формування родючості дерново-підзолистого ґрунту (науково-методичні рекомендації) / О. В. Єгоров, А. М. Москаленко, В. В. Волкогон, Ю. М. Халеп, В. П. Горбань, М. М. Пархоменко. Чернівці : видавець Агеєв В. О., 2025. 39 с.
ISBN 978-617-95517-6-5

У рекомендаціях на прикладі вирощування сільськогосподарських культур у стаціонарному польовому досліді (короткоротаційна сівозміна «картопля – овес – люпин – пшениця озима») на дерново-підзолистому ґрунті за різних систем удобрення й використання мікробних препаратів досліджено особливості формування ґрунтової родючості. Визначено урожайність культур, розраховано баланси гумусу, азоту, фосфору й калію. Показано доцільність застосування мінеральних добрив по фоні органічних, у т. ч. за дії та післядії соломи й проміжних сидеральних культур. Перспективи окремих систем удобрення підтверджено лізіметричними дослідженнями. Обґрунтовано ефективність використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур.

УДК 574:579.64:631.95:631.463

Рецензенти: доктор с.-г. наук, професор, академік НААН Тарарико Ю. О.,
доктор с.-г. наук Козар С. Ф.

Рекомендації розроблено за результатами науково-дослідної роботи, проведеної за завданнями 08.00.01.03.Ф «Дослідження впливу органічної речовини, мінеральних добрив та мікробних препаратів на формування родючості дерново-підзолистого ґрунту» та 08.00.01.02.Ф «Дослідження особливостей вертикальної міграції сполук біогенних елементів та водорозчинних форм гумусу в дерново-підзолистому ґрунті за різних рівнів вуглецево-азотного співвідношення в свіжій органічній речовині і спрямованості біологічних процесів її трансформації» (ПНД НААН 8 «Сільськогосподарська мікробіологія»).

Рекомендовано до друку вченою радою Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (протокол № 13 від 17.11.2025 р.) і координаційно-методичною радою Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН — головної установи з виконання ПНД 8 «Сільськогосподарська мікробіологія» (протокол № 3 від 26.11.2025 р.).

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Вплив органічних, мінеральних, органо-мінеральних систем удобрення сільськогосподарських культур і мікробних препаратів на показники родючості дерново-підзолистого ґрунту та продуктивність агроценозів	8
1.1. Баланс гумусу в дерново-підзолистому ґрунті при вирощуванні сільськогосподарських культур за різних систем удобрення	10
1.2. Азотний режим дерново-підзолистого ґрунту за різних систем удобрення культур і впливу мікробних препаратів	13
1.3. Фосфорний режим ґрунту та винос елементу з урожаєм культурами сівозміни залежно від системи удобрення й інокуляції	16
1.4. Калійний режим ґрунту та вміст елементу в урожаї залежно від систем удобрення й використання мікробних препаратів	18
1.5. Вплив систем удобрення та мікробних препаратів на продуктивність агроценозів	20
2. Особливості вертикальної міграції сполук біогенних елементів і водорозчинної органічної речовини в дерново-підзолистому ґрунті за різних систем удобрення сільськогосподарських культур	23
2.1. Особливості вертикальної міграції сполук біогенних елементів і водорозчинної органічної речовини в ґрунті залежно від систем удобрення культур	25
2.2. Урожайність і баланси гумусу, азоту, фосфору й калію в сівозміні за різних систем удобрення сільськогосподарських культур	33
Висновки	36
Список використаних джерел	37

ВСТУП

Проблема органічної речовини ґрунту (ОРГ), без сумніву, є однією з ключових на шляху розв'язання завдань стабілізації і відтворення ґрунтової родючості. Навіть незначне збільшення ОРГ може мати непропорційно великий і сприятливий вплив на фізичні й біологічні властивості ґрунту (Thierfelder, Wall, 2012). Тому підтримка та покращення якості й кількості ОРГ є найважливішими критеріями сталого управління ґрунтами (Campbell, Raustian, 2015). Проте в процесі господарської діяльності людини спостерігаються значні втрати вуглецю органічної речовини з ґрунту. У зв'язку з цим у багатьох країнах почали розробляти технології та методи зберігання вуглецю в ґрунті, а також у наземній біосфері за допомогою належного землекористування й практики управління.

Одним із дієвих рішень щодо підвищення рівнів секвестрації вуглецю в ґрунтах агроценозів є екзогенне надходження до них свіжої органічної речовини. Екзогенні органічні матеріали традиційно додають до ґрунту для забезпечення сільськогосподарських культур необхідними біогенними елементами або ж з метою утилізації відходів виробництва. Внесення гною в ґрунт є найдавнішим і найбільш ретельно дослідженим засобом додавання поживних речовин і, одночасно, збільшення запасів ОРГ (Мазур, 2008). Важливим джерелом вуглецю для його секвестрації в ґрунті може бути солома й інші відходи рослинництва. Значну ґрунтоутворювальну й ґрунтозахисну роль соломи показано Шиколою зі співавт. (2003). Недорогим прийомом забезпечення ґрунтів органічною речовиною є сидерати. В контексті впливу сидеральних культур на підвищення в ґрунті вмісту ОРГ варто особливо підкреслити активне накопичення ними вуглецю з атмосфери в процесі фотосинтезу. Причому якщо до недавнього часу сидерати сприймалися насамперед як чинники впливу на ефективну родючість ґрунту, оскільки під час вегетації вони засвоюють поживні речовини, які в іншому разі можуть втрачатися

протягом осінньо-зимового періодів (Камінський зі співавт., 2013; Волкогон зі співавт., 2019), то нова інформація про різну цінність коріння і надземної маси рослин, у т. ч. й тих, що використовуються на зелене добриво, може змінити погляди щодо впливу сидеральних культур на вміст органічної речовини в ґрунті. Так, встановлено, що внесок коренів до загального вмісту ОРГ набагато вищий, ніж надземних решток (Rasse et al., 2005; Rumpel, Menichetti et al., 2015). Враховуючи ту обставину, що зелене добриво представлене не лише надземною масою, а й корінням, його роль у формуванні ОРГ може бути набагато більшою, ніж вважалося раніше.

Цікавим і доволі перспективним може виявитися поєднане застосування соломи й зеленого добрива. Як відомо, мінералізація соломи здійснюється протягом тривалого часу, і серед обмежувальних чинників впливу на її деструкцію є широке співвідношення C/N — на рівні 60–80/1 (при тому, що оптимальним для процесів мінералізації ↔ гуміфікації є співвідношення на рівні 20–25/1). Унаслідок широкого вуглецево-азотного співвідношення в рештках зернових культур їх надходження до ґрунту може викликати іммобілізацію мінеральних сполук азоту для розвитку мікроорганізмів, а це зі свого боку — створити тимчасовий дефіцит елемента для живлення культурних рослин. Поєднання соломи із сидеральним удобренням може суттєво покращити умови перебігу цих процесів за рахунок корегування співвідношення «вуглець/азот».

Проблеми секвестрації вуглецю тісно пов'язані з поживним режимом ґрунту, особливо азотним. Як відомо, сільськогосподарські культури здатні засвоїти азот з мінеральних добрив у межах 35–50 % (Vitousek et al., 1997; Tilman, 1999). Невикористана частина мінеральних азотних сполук втрачається і негативно впливає на стан довкілля. Особливо великі втрати мінерального азоту спостерігаються за дефіциту в ґрунті вуглецю у вигляді свіжої органічної речовини. За цих умов незасвоєна рослинами частка реактивного азоту не може бути зв'язаною мікроор-

ганізмами й трансформованою в мікробну біомасу, як це має місце за достатнього насичення ґрунту доступним для метаболічної діяльності мікробіоти вуглецем (Волкогон зі співавт., 2022). Отже, незасвоєну рослинами частку мінерального азоту необхідно утримувати від втрат шляхом метаболічного зв'язування мікроорганізмами, що потребує надходження до ґрунту стехіометрично відповідної кількості свіжої органічної речовини із широким співвідношенням C/N як джерела доступного вуглецю. Тому важливою є оптимізація співвідношення кількості доступного для мікроорганізмів вуглецю в ґрунті з нормами мінерального азоту.

Фосфорний і калійний режими ґрунту також потребують особливої уваги у зв'язку з низькими коефіцієнтами засвоєння діючої речовини з добрив. Тож необхідно розробити заходи, спрямовані на солюбілізацію важкодоступних для рослин фосфорних і калійних солей.

Важливим чинником впливу на вміст ОРГ у ґрунті та мінеральне живлення культурних рослин може бути застосування мікробних препаратів в аграрних технологіях (Патика зі співавт., 2003; Волкогон зі співавт., 2006). Значення біопрепаратів у продукційному процесі сільськогосподарських культур сьогодні вже не викликає сумніву, проте вплив інтродукованих в агроценоз мікроорганізмів на вміст ґрунтової органічної речовини є доволі суперечливим. Так, з одного боку, за використання мікробних препаратів зростає коренева маса рослин, зменшується вимивання водорозчинної органічної речовини по ґрунтовому профілю (Бердніков зі співавт., 2020; Volkogon et al., 2023). З іншого, активізація гідролітичних ферментів у ризосфері бактеризованих рослин теоретично може призвести до зменшення в ґрунті органічної речовини. Отже, ці питання потребують з'ясування і подальших досліджень.

При визначенні впливу технологічних чинників аграрних технологій надійними є результати досліджень в умовах стаціонарних польових дослідів, за тривалого проведення яких у ґрунтах

стабілізується дія технологічних факторів, у т. ч. й систем удобрення, що дозволяє з високою достовірністю визначати системний зональний вплив елементів аграрних технологій.

Важливою складовою сучасних досліджень є лізіметричні дослідження, які варто розглядати як інструмент технології, що дозволяє вивчити міграцію вологи, водорозчинної органічної речовини та сполук біогенних елементів за межі кореневмісного шару ґрунту залежно від кількості опадів, типу рослинності, сівозміни, систем удобрення й видів добрив, що важливо для екологічної та економічної оцінок аграрних технологій. Особливо актуально це для землеробства в умовах промивного водного режиму, яким характеризується зона Полісся. Дерново-підзолисті супіщані ґрунти цієї зони потребують захисту від внутрішнього ґрунтового стоку, зокрема, необхідно враховувати втрати ними сполук біогенних елементів і водорозчинної органічної речовини внаслідок інфільтрації атмосферних опадів.

У зв'язку з цим набувають особливої актуальності знання щодо рівня вимивання легкорозчинних речовин із ґрунту та залежності цих процесів від застосування різних агротехнічних прийомів.

У рекомендаціях на прикладі вирощування сільськогосподарських культур у стаціонарному польовому досліді на дерново-підзолистому ґрунті за різних систем удобрення та використання мікробних препаратів досліджено особливості формування ґрунтової родючості. Визначено урожайність культур, розраховано баланси гумусу, азоту, фосфору й калію. Досліджено ефективність мінеральних добрив, застосованих як у чистому вигляді, так і по фоні органічних, у т. ч. за дії та післядії соломи й проміжних сидеральних культур. Втрати органічної речовини ґрунту та сполук біогенних елементів за використання різних систем удобрення досліджено в умовах лізіметричної станції.

1. ВПЛИВ ОРГАНІЧНИХ, МІНЕРАЛЬНИХ, ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР І МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ НА ПОКАЗНИКИ РОДЮЧОСТІ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ АГРОЦЕНОЗІВ

Базовим для досліджень був польовий стаціонарний дослід Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (с. Прогрес) на дерново-підзолистому середньо окультуреному супіщаному ґрунті, що сформувався на шаруватих водно-льодовикових відкладеннях. За гранулометричним складом ґрунтотвірними породами ґрунтів регіону є супіски та піскуваті легкі суглинки. Ґрунт дослідних ділянок має таку агрохімічну характеристику: рН_{KCl} орного шару — 4,9; підорного — 4,6, вміст гумусу (за Тюрнімом) — 1,1 %, P₂O₅ (за Кірсановим) — 16 мг на 100 г ґрунту, K₂O (за Масловою) — 6 мг на 100 г ґрунту.

Дослідження проводили в умовах короткоротаційної сівозміни «картопля – овес – люпин – пшениця озима» методом розщеплення ділянок стаціонарного польового дослідження на дві частини (відповідно, два фони): I — з інокуляцією та II — без інокуляції. Підбір мікробних препаратів для інокуляції насіння проведено залежно від сільськогосподарської культури: картопля — Біогран (*Azospirillum brasilense*), овес — Мікрогумін (*Azospirillum brasilense*), люпин — Ризогумін (*Bradyrhizobium lupini*), пшениця озима — Поліміксобактерин (*Paenibacillus polymyxa*). Середня сівозмінна норма внесення мінеральних добрив — N₆₀P₅₀K₆₀; норми застосування органічних добрив: гній — 10 т/га, 20 т/га; соломи — 5 т/га. Органічні добрива вносили під картоплю, мінеральні — щорічно. Норми застосування туків під культури сівозміни складають: пшениця озима — N₆₀P₅₀K₆₀, картопля — N₉₀P₁₀₀K₉₀, люпин — P₂₀K₂₀, овес — N₆₀P₅₀K₆₀. Системи удобрення культур наведено в табл. 1.

Таблиця 1 — Системи удобрення сільськогосподарських культур у польовому стаціонарному досліді

Картопля	Овес	Люпин	Пшениця озима
Без інокуляції			
Без добрив	Без добрив	Без добрив	Без добрив
N ₉₀ P ₁₀₀ K ₉₀	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	P ₂₀ K ₂₀	N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀
Сидерат + N ₉₀ P ₁₀₀ K ₉₀	Сидерат ^a + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	Сидерат ^b + P ₂₀ K ₂₀	Сидерат ^c + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀
Гній, 10 т/га	Гній ^a , 10 т/га	Гній ^b , 10 т/га	Гній ^c , 10 т/га
Гній, 20 т/га	Гній ^a , 20 т/га	Гній ^b , 20 т/га	Гній ^c , 20 т/га
Гній, 10 т/га + N ₉₀ P ₁₀₀ K ₉₀	Гній ^a , 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	Гній ^b , 10 т/га + P ₂₀ K ₂₀	Гній ^c , 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀
Сидерат + гній, 10 т/га + N ₉₀ P ₁₀₀ K ₉₀	Сидерат ^a + гній ^a , 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	Сидерат ^b + гній ^b , 10 т/га + P ₂₀ K ₂₀	Сидерат ^c + гній ^c , 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀
Солома, 5 т/га	Солома ^a , 5 т/га	Солома ^b , 5 т/га	Солома ^c , 5 т/га
Сидерат + солома, 5 т/га + N ₉₀ P ₁₀₀ K ₉₀	Сидерат ^a + солома ^a , 5 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	Сидерат ^b + солома ^b , 5 т/га + P ₂₀ K ₂₀	Сидерат ^c + солома ^c , 5 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀
З інокуляцією			
аналогічні системи удобрення			

Примітка: індекси ^a — першого року післядія; ^b — другого року післядія; ^c — третього року післядія органічних добрив.

Розмір дослідної ділянки 102 м² (17 м × 6 м), облікової — 60 м² (15 м × 4 м), повторність дослідження — чотириразова. Розміщення ділянок у польовому досліді — рендомізоване. Агротехніка культур — загальноприйнята для зони Полісся.

У зразках ґрунту досліджували вміст азоту легкогідролізованих сполук за Корнфілдом, уміст нітратного та амонійного азоту — іонометричним методом, рухомого фосфору — за методом Кірсанова, калію — за використання полум'яного фотометра згідно з відповідними ДСТУ. Розрахунки балансу гумусу здійснювали відповідно до рекомендацій (Балюк зі співавт., 2011).

Проведення дослідів, облік урожаю та статистичні розрахунки здійснювали відповідно до чинних вимог.

1.1. Баланс гумусу в дерново-підзолистому ґрунті при вирощуванні сільськогосподарських культур за різних систем удобрення. Визначення вмісту органічної речовини в дерново-підзолистому ґрунті залежно від досліджуваних варіантів не дозволило виявити статистично достовірних змін у показниках. Отримані результати можна пояснити порівняно високим вмістом фонового вуглецю у ґрунті, на тлі якого відбуваються можливі зміни, та наявними методичними підходами, що потребує довготривалих досліджень для виявлення дії певного чинника. Водночас розрахунки балансу гумусу дозволяють зробити певні висновки. Так, у більшості варіантів відзначено дефіцитний баланс гумусу. Винятком є системи удобрення «сидерат + гній, 10 т/га + N₆₀P₅₀K₆₀» та «солоне, 5 т/га + сидерат + N₆₀P₅₀K₆₀», де спостерігали врівноваження процесів мінералізації ↔ синтезу органічної речовини, тобто отримували бездефіцитний баланс гумусу (табл. 2).

Застосування мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур забезпечувало деяке покращення балансів практично у всіх варіантах. Так, у варіантах «сидерат + гній, 10 т/га + N₆₀P₅₀K₆₀» та «солоне, 5 т/га + сидерат + N₆₀P₅₀K₆₀» формувалися позитивні баланси гумусу. Варто відзначити також, що у варіанті «сидерат + солоне, 5 т/га + N₆₀P₅₀K₆₀» за використання мікробних препаратів інтенсивність балансу була найвищою в досліді — 104,9 % (табл. 2).

Зважаючи на наявну проблему забезпечення дерново-підзолистих ґрунтів гноєм, що раніше завжди визнавалося як необхідний захід для їх поповнення органічною речовиною, варіант, що передбачає застосування соломи по фону сидеральної біомаси і поєднання з мінеральними добривами та використання мікробних препаратів, на нашу думку варто вважати найбільш перспективним.

Таблиця 2 — Баланси гумусу та їхня інтенсивність у сівозміні залежно від систем удобрення та інокуляції

Варіанти дослідів	Баланси гумусу, т/га				По сівозміні			
	картопля	овес	люпин	пшениця озима	втрати гумусу	новотворений гумус	баланс	інтенсивність балансу, %
Контроль	-0,85	-0,63	-1,34	-0,56	1,57	0,72	-0,85	46,2
N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	-0,14	-0,44	-1,30	-0,15	1,57	1,06	-0,51	67,7
Сидерат	-0,16	-0,46	-1,31	-0,26	1,57	1,02	-0,55	65,2
Сидерат + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	0,35	-0,36	-1,28	-0,18	1,57	1,20	-0,37	76,6
Гній, 10 т/га	0,39	-0,42	-1,29	-0,13	1,57	1,21	-0,36	76,8
Гній, 20 т/га	1,20	-0,36	-1,28	-0,06	1,57	1,44	-0,13	92,0
Гній, 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	0,96	-0,37	-1,26	-0,03	1,57	1,39	-0,18	88,7
Сидерат + гній, 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1,47	-0,28	-1,24	0,07	1,57	1,57	0	100,2
Солоне, 5 т/га	0,79	-0,47	-1,30	-0,27	1,57	1,26	-0,31	80,2
Солоне, 5 т/га + сидерат + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1,67	-0,36	-1,26	-0,05	1,57	1,57	0	99,9

З інокуляцією										
Контроль	-0,77	-0,61	-1,32	-0,51	1,57	0,77	-0,80	48,9		
N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	0,01	-0,40	-1,28	-0,08	1,57	1,13	-0,44	72,1		
Сидерат (люпин вузьколистий)	-0,03	-0,42	-1,28	-0,18	1,57	1,09	-0,48	69,4		
Сидерат + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	0,43	-0,31	-1,26	0,03	1,57	1,29	-0,28	82,4		
Гній, 10 т/га	0,46	-0,38	-1,28	-0,06	1,57	1,26	-0,31	80,0		
Гній, 20 т/га	1,29	-0,32	-1,26	0,02	1,57	1,50	-0,07	95,6		
Гній, 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1,06	-0,33	-1,24	0,06	1,57	1,46	-0,11	92,7		
Сидерат + гній, 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1,65	-0,20	-1,21	0,17	1,57	1,67	+0,10	106,4		
Солома, 5 т/га	0,86	-0,44	-1,28	-0,17	1,57	1,31	-0,26	83,7		
Сидерат + солома, 5 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	1,80	-0,31	-1,23	0,06	1,57	1,65	+0,08	104,9		

1.2. Азотний режим дерново-підзолистого ґрунту за різних систем удобрення культур і впливу мікробних препаратів. Дослідження показали, що найнижчі запаси мінерального азоту в ґрунті були на контролі без інокуляції насіння — 23,6 кг/га та 24,1 кг/га — на фоні інокуляції. Тривале застосування досліджуваних систем удобрення по-різному впливало на динаміку цього показника. Найбільший вміст мінерального азоту в ґрунті відзначено у варіанті із системою удобрення «сидерат + гній + NPK». При цьому запаси мінеральних сполук азоту збільшилися проти контролю із 23,6 до 89,2 кг/га — на фоні без інокуляції та з 24,1 до 93,1 кг/га — на фоні інокуляції насіння мікробними препаратами (табл. 3). Аналізуючи показники вмісту азотних сполук у ґрунті по зазначеному фону, можна констатувати, що мікробні препарати практично не впливали на їх зміни.

За використання подвійної норми гною (20 т/га) запаси азоту збільшилися на 238 % і також практично не залежали від інокуляції. За системи удобрення «сидерат + гній + NPK» вміст азоту зростав до 278 % (без застосування мікробних препаратів) і до 286 % — на фоні інокуляції, як порівняти з контролем. Отже, інокуляція також практично не впливала на досліджуваний показник у цьому варіанті.

Найнижчий приріст вмісту мінерального азоту до показників контролю відзначено при застосуванні мінеральної системи удобрення та органічної у вигляді соломи: 74 % та 73 % — на фоні без інокуляції та 78 % і 85 % — на фоні інокуляції (за вмісту на контролях 23,6 та 24,1 кг/га відповідно до фонів).

Доповнення мінеральної та традиційної систем удобрення сидерацією посилює мінералізаційні процеси свіжої екзогенної органічної речовини, про що свідчить зростання вмісту мінерального азоту в ґрунті. За рахунок сидерації відбулося зростання вмісту сполук азоту на 40 % та 46 % щодо мінеральної та на 76 % і 84 % щодо традиційної систем відповідно фонам (без інокуляції та за використання мікробних препаратів).

Таблиця 3 — Вплив тривалого застосування різних систем удобрення та інокуляції насіння в короткоротаційній сівозміні на вміст азоту в шарі ґрунту 0–20 см (культура — картопля, фаза відмирання бадилля)

Варіанти досліджу	Азот, що легко гідролізується						N-NH ₄ + N-NO ₃					
	мг/100 г ґрунту		кг/га		± до конт-ролю, %		мг/100 г ґрунту		кг/га		± до контролю	
	I*	II**	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Контроль	4,5	4,6	132,1	133,0	—	—	0,8	0,8	23,6	24,1	—	—
N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	6,5	6,6	192,2	194,0	45	46	1,4	1,4	41,1	42,9	17,5	18,8
Сидерат (люпин вузьколистий)	9,5	9,9	201,4	214,2	52	61	1,7	1,8	50,5	53,9	26,9	29,8
Сидерат (люпин вузьколистий) + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	7,1	7,4	211,3	219,0	60	65	1,7	2,3	66,3	68,7	43,7	44,6
Гній, 10 т/га	8,3	8,3	244,2	245,3	85	85	2,1	2,3	61,7	62,9	38,1	38,8
Гній, 20 т/га	10,6	10,7	314,1	314,8	138	138	2,7	2,8	79,9	81,4	56,3	57,3
Гній, 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	6,8	6,9	281,0	284,0	113	115	2,4	2,4	71,2	73,3	47,6	49,2
Сидерат + гній, 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	11,0	11,2	340,3	357,2	158	169	3,0	3,2	89,2	93,1	65,6	69,0
Солома, 5 т/га	6,3	6,5	186,0	191,3	41	44	1,4	1,5	40,8	44,5	17,2	20,4
Сидерат + солома, 5 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	11,7	12,0	326,0	332,4	147	150	2,5	2,7	74,0	78,1	50,4	54,0
НІР ₀₅	0,5						0,3					

Примітка: тут і в інших таблицях: I* — фон без інокуляції; II** — фон з інокуляцією.

Отже, запаси мінеральних сполук азоту залежать від виду добрив і швидкості трансформації сполук азоту в ґрунті. Найбільший вміст мінерального азоту в ґрунті відзначено за системи удобрення «сидерат + гній + NPK». Запаси мінеральних сполук азоту збільшилися до 89,2 кг/га на фоні без інокуляції та до 93,1 кг/га — на фоні інокуляції, що на 76 % і 84 % більше за показники традиційної системи удобрення. Мікробні препарати здатні підвищити цей показник до 12 %, проте найменшою мірою — при вирощуванні культур за внесення гною. Це пояснюється розвитком у ґрунті значної кількості мікроорганізмів, джерелом яких є гній. При цьому створюється потужне конкурентне середовище для інтродукованих із біопрепаратами бактерій (Волкогон зі співавт., 2019), що значною мірою нівелює ефективність агроприйому.

Встановлено, що всі системи удобрення щодо контролю сприяли збільшенню також і вмісту сполук азоту, що легко гідролізується. Найвищі запаси азоту легкогідролізних сполук за вирощування картоплі відзначено на фоні органічної (гній, 20 т/га) — 314,1–314,8 кг/га та систем удобрення, які містять сидерати: «сидерат + гній + NPK» та «сидерат + солома + NPK» — 340,3–357,2 та 326,0–332,4 кг/га відповідно. Як порівняти з контролем, на цих варіантах удобрення запаси легкогідролізного азоту збільшилися на 182,0; 208,2 та 193,9 кг/га або у 2,4; 2,6 та 2,5 раза.

За мінеральної системи удобрення та приорювання соломи й сидерату природи азоту легкогідролізних сполук були найнижчими (у порівнянні з контролем — більше на 41–52 % на фоні без інокуляції і на 44–61 % — на фоні інокуляції).

Мікробні препарати сприяли (відносно фону без інокуляції) збільшенню вмісту в ґрунті азоту, що легко гідролізується на 2–11 % залежно від агрофону. Найнижчий вплив інокулянтів відзначено при вирощуванні сільськогосподарських культур по фонах з гноєм ВРХ. Найефективнішу дію мікробних препаратів відзначено на варіантах, де системи удобрення містили сидерат.

1.3. Фосфорний режим ґрунту та винос елементу з урожаєм культурами сівозміни залежно від системи удобрення й інокуляції. Використання мікробних препаратів є одним із шляхів подолання фосфорного дефіциту в рослинництві. Вони сприяють розчиненню важкорозчинних сполук фосфору в ґрунті, підвищують рівень використання фосфору з добрив, сприяють росту й розвитку рослин (Патика зі співавт., 2003; Волгогон зі співавт., 2006).

Проведені дослідження свідчать, що тривале застосування різних систем удобрення сприяло покращенню фосфорного режиму ґрунту, а саме, вміст цього показника коливався в межах 170–237 мг/кг ґрунту (табл. 4). Така забезпеченість є оптимальною для росту й розвитку усіх досліджених сільськогосподарських культур. Найкраще себе проявили органо-мінеральні системи удобрення («N₆₀P₅₀K₆₀ + сидерат + гній, 10 т/га» та «N₆₀P₅₀K₆₀ + сидерат + солома, 5 т/га»). Зокрема, вміст лабільного P₂O₅ у ґрунті збільшився за цих систем удобрення проти контролю відповідно на 77 і 72 мг/кг ґрунту на фоні без інокуляції, та на 87 та 81 мг/кг ґрунту на фоні інокуляції насіння мікробними препаратами, а запаси його в орному шарі ґрунту відповідно — на 231 та 216 кг/га і 260 та 243 кг/га залежно від фону.

Порівняно невеликий приріст вмісту фосфору спостерігали за внесення мінеральних добрив та пріорювання сидерату. Збільшення вмісту P₂O₅ на цих варіантах до контрольного варіанту становило лише 22 і 20 мг/кг ґрунту на фоні без інокуляції та на 22 і 25 мг/кг — на фоні інокуляції. Запаси збільшилися відповідно на 66 і 60 кг та 66 і 75 кг на гектар.

Найбільші виноси фосфору урожаєм культур відзначено за використання органо-мінеральної системи удобрення «N₆₀P₅₀K₆₀ + сидерат + гній, 10 т/га», зокрема урожаєм пшениці озимої винесено з ґрунту 56,8–64,7 кг/га, картоплі — 47,1–53,0 кг/га та вівса — 52,7–60,3 кг/га залежно від фону, що на 9–12 %, 7–8 %, 18–25 % більше, ніж за традиційної системи удобрення «N₆₀P₅₀K₆₀ + гній».

Таблиця 4 — Вміст рухомих сполук P₂O₅ і запаси фосфору в шарі ґрунту 0–20 см

Системи удобрення	Вміст P ₂ O ₅ , мг/кг		± до контролю		Запаси P ₂ O ₅ , кг/га			
	мг/кг		± до контролю		кг/га		± до контролю	
	I*	II**	I	II	I	II	I	II
Контроль	148	150	—	—	444	450	—	—
N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	170	172	22	22	510	516	66	66
Сидерат (люпин вузьколистий)	168	175	20	25	504	525	60	75
N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀ + сидерат (люпин вузьколистий)	204	211	56	61	612	633	168	183
Гній, 10 т/га	184	186	36	36	555	558	108	108
Гній, 20 т/га	218	221	70	71	654	663	210	213
Гній, 10 т/га + N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀	194	199	46	49	582	597	138	147
N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀ + сидерат + гній, 10 т/га	225	237	77	87	670	721	226	271
Солома, 5 т/га	180	188	32	38	540	564	96	114
N ₆₀ P ₅₀ K ₆₀ + сидерат + солома, 5 т/га	220	231	72	81	660	693	216	243
НІР ₀₅	9,5	9,8						

1.4. Калійний режим ґрунту та вміст елементу в урожаї залежно від систем удобрення й використання мікробних препаратів. Основним джерелом калійного живлення є іони калію у ґрунтовому розчині, потенціал якого постійно відновлюється за рахунок мобілізації елементу з твердої і живої фаз ґрунту, а також за внесення калійних й органічних добрив.

Ґрунт дослідної ділянки на контролі характеризується низьким рівнем забезпечення рухомими сполуками калію — 71 мг/кг ґрунту (табл. 5).

За тривалого використання мінеральних добрив вміст і запаси K_2O у середньому збільшилися, як порівняти з контролем, у 1,2 раза. За подвійної норми гною (20 т/га) вміст рухомих сполук калію збільшився у 1,5 раза, або з 71 до 110 мг/кг ґрунту. Запаси K_2O при цьому збільшилися відповідно з 213 до 330 кг/га. За одинарної дози гною (10 т/га) та $N_{60}P_{50}K_{60}$ вміст і запаси калію зросли відповідно на 21 % і 18 % до контролю.

Така ж ситуація спостерігалася і за використання системи удобрення «сидерат + $N_{60}P_{50}K_{60}$ ». За цих систем удобрення вміст і запаси рухомих сполук калію були практично однакові.

Найкраще себе проявили органо-мінеральні системи удобрення « $N_{60}P_{50}K_{60}$ + гній + сидерат» і « $N_{60}P_{50}K_{60}$ + солома + сидерат». Зокрема, вміст K_2O збільшився за цих систем удобрення, як порівняти з контролем відповідно на 49 і 43 мг/кг ґрунту на фоні без інокуляції, та на 54 і 45 мг/кг ґрунту — на фоні інокуляції насіння мікробними препаратами, а запаси його в орному шарі ґрунту — на 147 та 129 кг/га і 162 та 135 кг/га відповідно залежно від фону.

Досить невеликий приріст вмісту калію спостерігали за внесення мінеральних добрив і приорювання сидерату й соломи в чистому вигляді. Збільшення вмісту K_2O на цих варіантах до контрольного варіанту (71–74 мг/кг) становило лише 9–12 мг/кг ґрунту по обох фонах, а запаси збільшилися відповідно на 27–36 кг на гектар.

Таблиця 5 — Вміст і запаси рухомих сполук калію під картоплею в шарі ґрунту 0–20 см

Системи удобрення	Вміст K_2O , мг/кг			Запаси K_2O , кг/га		
	± до контролю		± до контролю	кг/га		± до контролю
	I*	II**		I	II	
Контроль	71	74	–	213	222	–
$N_{60}P_{50}K_{60}$	87	91	16	261	273	48
Сидерат (плюпин вузьколистий)	83	89	12	249	267	36
Сидерат (плюпин вузьколистий) + $N_{60}P_{50}K_{60}$	91	95	20	273	285	60
Гній, 10 т/га	90	93	19	270	279	57
Гній, 20 т/га	110	112	43	330	336	129
Гній, 10 т/га + $N_{60}P_{50}K_{60}$	89	94	18	267	282	54
Сидерат + гній, 10 т/га + $N_{60}P_{50}K_{60}$	120	128	49	360	384	147
Солома, 5 т/га	84	87	13	252	261	39
Сидерат + солома, 5 т/га + $N_{60}P_{50}K_{60}$	114	119	43	342	357	129
$НIP_{05}$	8,7	9,1				

Винос калію з урожаєм свідчить про високу ефективність сидерального удобрення в поєднанні з інокуляцією — показники варіанту із сидератом і мікробними препаратами є навіть кращими, ніж це має місце за внесення $N_{60}P_{50}K_{60}$ — на рівні даних, отриманих у варіантах з внесенням гною ВРХ. Особливої уваги з цього погляду заслуговує варіант «сидерат + солома, 5 т/га + $N_{60}P_{50}K_{60}$ » — винос калію з урожаєм тут був одним із найвищих у досліді.

1.5. Вплив систем удобрення та мікробних препаратів на продуктивність агроценозів. На основі проведених досліджень встановлено, що систематичне внесення добрив у сівозміні впродовж тривалого періоду не лише дозволяє суттєво змінити параметри поживного режиму ґрунту, а й сприяє підвищенню врожайності культур.

Отримані результати досліджень свідчать про позитивний вплив досліджуваних систем удобрення в поєднанні з інокуляцією насіння мікробними препаратами на врожайність усіх культур і, як наслідок, на продуктивність короткоротаційної сівозміни загалом (табл. 6).

Відзначено високий позитивний ефект як прямої дії, так і післядії органо-мінеральних систем удобрення на врожайність культур короткоротаційної сівозміни.

Аналіз даних табл. 6 свідчить, що органо-мінеральна система удобрення « $N_{60}P_{50}K_{60}$ + гній + сидерат» за інокуляції насіння мікробними препаратами забезпечила найвищий рівень урожайності культур і продуктивність короткоротаційної сівозміни загалом, а саме: картоплі — 31,2 т/га, вівса — 4,6 т/га, люпину вузьколистого — 3,2 т/га, пшениці озимої — 5,16 т/га та продуктивність сівозміни — 6,09 т/га к. од., що відповідно на 16 %, 26 %, 10 % і 11 % вище за врожайність у варіанті з використанням традиційної системи удобрення « $N_{60}P_{50}K_{60}$ + гній».

Значною продуктивністю відрізнявся також і варіант «сидерат + солома, 5 т/га + $N_{60}P_{50}K_{60}$ », особливо за використання

Таблиця 6 — Вплив систем удобрення та інокуляції на врожайність культур і продуктивність сівозміни, т/га

Системи удобрення	Картопля		Овес		Люпин вузьколистий		Пшениця озима		Продуктивність сівозміни, к. од.		Приріст до контролю, к. од.									
	I*	II**	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II								
Контроль	9,3	10,2	1,40	1,58	12,9	12,9	1,47	1,62	10,2	10,2	1,68	1,88	11,9	2,00	2,23	11,5	—	—	—	—
$N_{60}P_{50}K_{60}$	17,9	19,6	2,85	3,15	10,5	10,5	2,09	2,28	14,0	14,0	3,45	3,79	9,9	3,76	4,13	9,8	1,76	1,90	1,76	1,90
Сидерат	16,8	18,6	2,68	2,95	10,1	10,1	2,04	2,27	11,3	11,3	3,06	3,46	13,1	3,50	3,89	11,1	1,50	1,66	1,50	1,66
Сидерат + $N_{60}P_{50}K_{60}$	21,2	22,5	3,42	3,83	12,0	12,0	2,42	2,68	10,7	10,7	3,45	4,20	21,7	4,25	4,76	12,0	2,25	2,53	2,25	2,53
Гній, 10 т/га	20,8	21,7	2,96	3,26	10,1	10,1	2,45	2,63	7,3	7,3	3,61	3,95	9,4	4,16	4,46	7,2	2,16	2,23	2,16	2,23
Гній, 20 т/га	24,8	26,0	3,43	3,63	5,8	5,8	2,56	2,76	7,8	7,8	4,21	4,57	8,6	4,80	5,11	6,5	2,80	2,88	2,80	2,88
Гній, 10 т/га + $N_{60}P_{50}K_{60}$	25,4	26,8	3,33	3,65	9,6	9,6	2,69	2,98	10,8	10,8	4,25	4,66	9,6	4,86	5,27	8,4	2,86	3,04	2,86	3,04
Сидерат + гній, 10 т/га + $N_{60}P_{50}K_{60}$	29,0	31,2	4,03	4,62	14,6	14,6	2,97	3,28	10,4	10,4	4,70	5,16	9,8	5,54	6,09	11,4	2,54	3,86	2,54	3,86
Солома, 5 т/га	18,4	19,6	2,59	2,86	10,4	10,4	2,11	2,35	11,4	11,4	3,16	3,60	13,9	3,65	4,01	9,9	1,65	1,78	1,65	1,78
Сидерат + солома, 5 т/га + $N_{60}P_{50}K_{60}$	24,8	26,0	3,41	3,81	11,7	11,7	2,80	3,09	10,4	10,4	4,30	4,76	10,7	4,89	5,31	8,6	2,89	3,08	2,89	3,08
НІР ₀₅	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

мікробних препаратів. За відсутності гною ВРХ у більшості сучасних господарств зазначена система удобрення є особливо перспективною до впровадження у виробництво. Так, продуктивність сівозміни у цьому випадку відзначено на рівні 5,31 т к. од./га, що перевищує показники, отримані у варіанті «сидерат + $N_{60}P_{50}K_{60}$ » (4,76 т к. од./га) і у варіантах « $N_{60}P_{50}K_{60}$ » та «гній, 10 т/га» (4,13 і 4,46 т к. од./га відповідно).

Варто відзначити, що використання мікробних препаратів забезпечувало зростання урожайності сільськогосподарських культур за їх вирощування по всіх досліджених агрофонах. Проте найменші прирости урожайності від інокуляції отримано у варіантах із внесенням гною ВРХ, що пояснюється формуванням висококонкурентного мікробіологічного середовища в ґрунті. Найвищі прирости від інокуляції відзначено в контролі та у варіантах «сидерат» та «сидерат + $N_{60}P_{50}K_{60}$ ».

Враховуючи, що найвищі норми мінеральних і різні види органічних добрив вносили під картоплю, їхня післядія була найбільш відчутною на вівсі, оскільки ця культура розміщувалася в сівозміні першою після картоплі. Однак незважаючи на те, що пшениця озима висівалася на третій рік після картоплі, її врожайність формувалася за істотним впливом післядії органічних добрив.

Отже, зважаючи на дефіцит гною в сільському господарстві, перспективним рішенням щодо забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в дерново-підзолистому ґрунті та покращення його поживного режиму є поєднання біомаси сидеральної культури з 5 т/га соломи й мінеральними добривами у нормі $N_{60}P_{50}K_{60}$. Найвищі прирости урожайності сільськогосподарських культур при застосуванні мікробних препаратів відзначено за їх вирощування по сидеральному фону, за внесення соломи й за поєднання мінеральних добрив у нормі $N_{60}P_{50}K_{60}$ із сидератом і соломою. Найнижчий вплив інокулянтів відзначено по фонах дії та післядії гною ВРХ.

Відзначені вище особливості формування родючості ґрунту та продуктивного потенціалу сівозмін за різних систем удобрення культур значною мірою пояснюються і доповнюються лізіметричними дослідженнями.

2. ОСОБЛИВОСТІ ВЕРТИКАЛЬНОЇ МІГРАЦІЇ СПЛУК БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ВОДОРОЗЧИННОЇ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ В ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Дослідження проводили в умовах стаціонарної лізіметричної станції Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. Лізіметрична станція містить 48 секцій-лізіметрів, розміщених у два паралельних ряди по 24 лізіметри в кожному. Під ними розміщуються посудини-приймачі для збирання фільтрату. За конструкцією лізіметри — бетонні, насипного типу з п'ятишаровою гідроізоляцією. Лізіметричні чарунки заповнені ґрунтом послідовно, починаючи з материнської породи з урахуванням потужності генетичного горизонту (рис. 1).

Ґрунт лізіметричного дослідження — дерново-підзолистий супіщаний з такою агрохімічною характеристикою орного шару (0–23 см): гумус (за Тюриним) — 1,1 %; $pH_{сол.}$ — 5,0; гідролітична кислотність (за Каппеном) — 2,5 мг-екв./100 г; вміст P_2O_5 (за Кірсановим) — 17,0 мг/100 г; P_2O_5 (за Масловою) — 6,2 мг/100 г ґрунту.

Посівна площа кожного лізіметра становить 3,8 м², глибина ґрунтового профілю — 155 см, маса ґрунту — 10,5 тонн/лізіметр.

Дослідження проводили за вирощування сільськогосподарських культур у короткоротаційній сівозміні «картопля → овес → люпин → жито озиме».

Схема дослідження (системи удобрення): 1. Контроль. 2. Гній, 10 т/га. 3. Солома, 5 т/га. 4. Сидерат — люпин вузьколистий. 5. Солома + сидерат. 6. Гній + сидерат. 7. $N_{30}P_{30}K_{30}$. 8. $N_{60}P_{60}K_{60}$. 9. $N_{90}P_{90}K_{90}$. 10. $N_{30}P_{30}K_{30}$ + 2,5 т/га соломи + сидерат. 11. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + 5,0 т/га соломи + сидерат. 12. $N_{90}P_{90}K_{90}$ + 7,5 т/га соломи + сидерат.

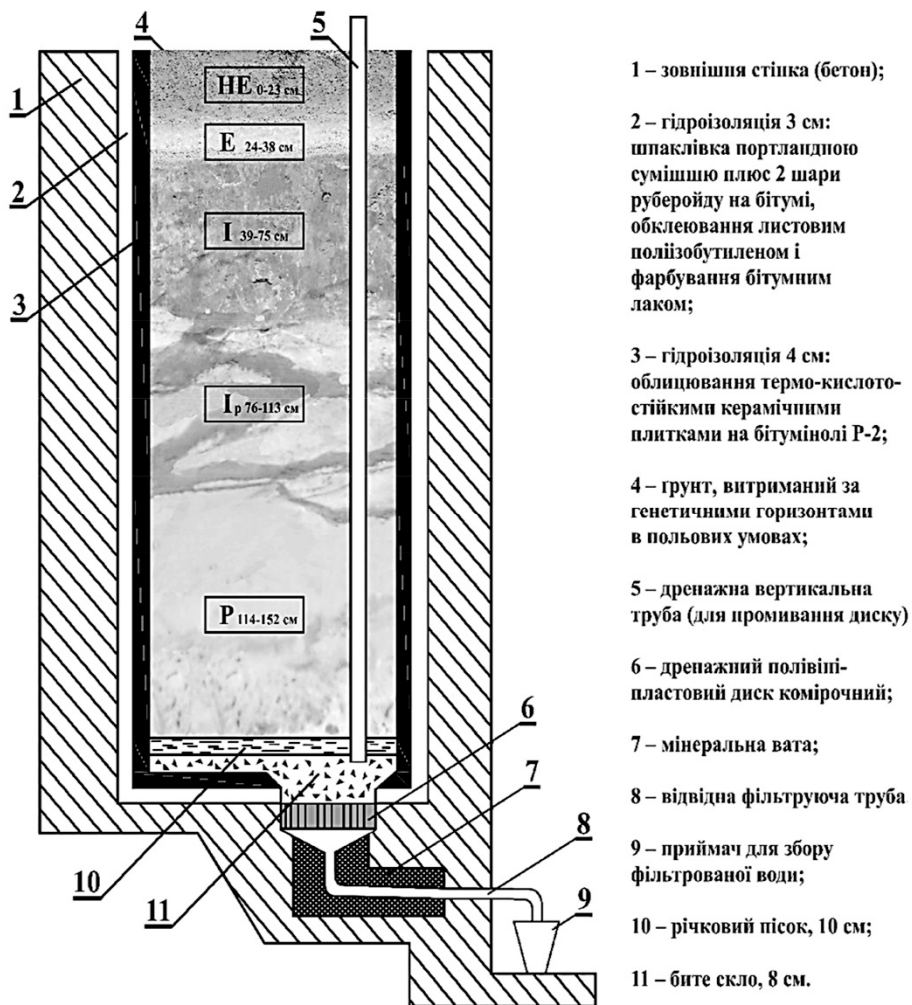


Рисунок 1 — Схема вертикального розрізу лізиметричної чарунки з ґрунтом.

Органічні добрива (підстилковий гній ВРХ, солому та біомасу проміжного сидерату) застосовували один раз за сівозміну — під картоплю, при вирощуванні наступних у сівозміні культур у цих варіантах вивчали їхню післядію. Натомість мінеральні доб-

рива мали пряму дію, оскільки їх застосовували щорічно для кожної культури.

Фільтрат (промивні води) аналізували на вміст водорозчинної органічної речовини й сполук біогенних елементів (NO_3 , P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO) за відповідними ДСТУ.

Облік урожаю проводили з кожної чарунки з подальшим перерахунком на 1 га. Отримані результати обробляли методом дисперсійного аналізу.

2.1. Особливості вертикальної міграції сполук біогенних елементів і водорозчинної органічної речовини в ґрунті залежно від систем удобрення культур.

Проведені дослідження свідчать, що при вирощуванні картоплі разом із вологою за межі кореневмісного шару ґрунту промивалися сполуки біогенних елементів: азоту (здебільшого у вигляді нітратів), кальцію, магнію, фосфору, калію. Найвищу міграційну здатність мали нітратний азот і сполуки лужно-земельних елементів — кальцію і магнію. За ступенем рухомості й зменшенням концентрації у фільтратах сполуки біогенних елементів можна розмістити у такій послідовності: $\text{CaO} > \text{NO}_3 > \text{MgO} > \text{K}_2\text{O} > \text{P}_2\text{O}_5$.

Встановлено, що застосування як соломи, так і сидерату (люпину вузьколистого) сприяє зменшенню концентрації азоту в промивних водах. Водночас внесення гною супроводжується значними втратами азоту у вигляді нітратів — їхня концентрація, як порівняти з контролем, зростала в 1,7 раза. За поєднання гною із сидератом втрати азоту дещо зменшувалися (табл. 7).

За внесення до ґрунту мінеральних добрив вміст нітратів у ґрунтовому розчині зростав у 1,5–1,7 раза, як порівняти з показниками контролю. Проте за внесення туків по фоні люпинового сидерату й соломи міграція нітратів по ґрунтовому профілю суттєво знижувалася. Так, у варіанті « $\text{N}_{30}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$ + солома 2,5 т/га + сидерат» втрати азоту у вигляді нітратів склали 35,8 кг/га проти 43,0 кг/га у варіанті, де застосовували мінеральні добрива в цій же нормі.

Таблиця 7 — Втрати сполук біогенних елементів із промивними водами залежно від систем удобрення картоплі

Варіанти дослідів	Волога, мм	Втрати, кг/га				
		NO ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив, контроль	39,8	29,5	55,4	20,3	2,0	3,5
Гній, 10 т/га	47,0	49,9	78,8	28,1	2,7	5,4
Солома (С), 5 т/га	44,2	27,0	48,0	25,5	2,4	4,0
Сидерат (Сд) — люпин	32,4	28,1	48,5	20,0	2,2	4,1
Солома, 5 т/га + Сд	35,1	31,2	43,0	23,1	2,1	3,6
Гній, 10 т/га + Сд	33,3	44,0	63,6	25,2	2,5	5,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	46,9	43,0	69,0	29,1	2,5	5,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	45,2	46,8	77,0	31,3	2,6	5,8
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	42,7	50,2	82,2	33,0	2,8	5,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + С, 2,5 т/га + Сд	41,3	35,8	45,4	21,6	2,2	3,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + С, 5 т/га + Сд	38,8	38,1	34,3	20,4	1,9	3,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + С, 7,5 т/га + Сд	34,2	45,4	38,9	21,0	2,2	3,2
НІР ₀₅	1,9	2,1	2,9	1,2	0,1	0,2

У варіанті «N₆₀P₆₀K₆₀ + солома, 5 т/га + сидерат» втрачено нітратів 38,1 кг/га, а за внесення лише туків у нормі N₆₀P₆₀K₆₀ — 46,8 кг/га. За використання найбільшої в досліді норми мінеральних добрив N₉₀P₉₀K₉₀ втрати азоту склали 50,2 кг/га, проте суттєво зменшувалися за внесення цієї норми добрив по фоні соломи з сидератом — до 45,4 кг/га.

Вимивання сполук лужно-земельних елементів також залежало від особливостей удобрення картоплі. Втрати CaO і MgO зростали в міру збільшення норм мінеральних добрив, проте за поєднання мінерального й органічного удобрення вони суттєво зменшувалися (табл. 7).

Подібні особливості відзначено при дослідженні вмісту калію у промивних водах. Хоча загалом відносні втрати K₂O у досліді не були високими, різниця між варіантами прослідковувалася. Найбільші втрати калію спостерігали у варіанті з найвищою нормою мінеральних добрив. Застосування туків по фоні соломи й сидерату сприяло зменшенню втрат цього елемента.

Втрати фосфору за всіма варіантами дослідів були невисокими й не перевищували 2,8 кг/га, що, вочевидь, пояснюється невисоким ступенем рухливості сполук цього елемента в ґрунті.

Загалом, за втратами поживних речовин при вирощуванні картоплі на дерново-підзолистому ґрунті варто зробити висновок, що заміна гною соломою та біомасою проміжного люпинового сидерату сприяє суттєвому обмеженню вимивання поживних речовин за межі кореневмісного шару, що є сприятливим як для збереження родючості ґрунту, так і в цілому для довкілля.

При вирощуванні наступної в сівозміні культури — вівса, досліджували першого року післядію органічних добрив і пряму дію мінеральних на втрати біогенних елементів і водорозчинної органічної речовини (ВОРГ).

Отримані результати демонструють, що вимивання поживних речовин по ґрунтовому профілю було меншим, ніж це мало місце при вирощуванні картоплі за різних систем удобрення. Безперечно, це значною мірою пояснюється тим, що ефект

органічних добрив зводився до першого року післядії. Проте характер залежності втрат, незважаючи на відмінність в абсолютних показниках, залишався схожим. При цьому втрати всіх без винятку сполук біогенних елементів зменшувалися, коли мінеральні добрива застосовували по фоні першого року післядії соломи й сидерату (табл. 8).

У сучасному землеробстві особлива увага приділяється такому елементу, як азот. Унаслідок високої мобільності азотних сполук вони можуть втрачатися у великих кількостях і становити значну загрозу для довкілля. Особливо великі втрати мінерального азоту спостерігаються за дефіциту в ґрунті вуглецю у вигляді свіжої органічної речовини. За цих умов незасвоєна рослинами частка реактивного азоту не може бути зв'язаною мікроорганізмами й трансформованою в мікробну біомасу, як це має місце за достатнього насичення ґрунту доступним для метаболічної діяльності мікробіоти вуглецем (Волкогон зі співавт., 2022).

Отже, незасвоєну рослинами частку мінерального азоту необхідно утримувати від втрат шляхом метаболічного зв'язування мікроорганізмами, що потребує надходження до ґрунту стехіометрично відповідної кількості свіжої органічної речовини із широким співвідношенням C/N як джерела доступного вуглецю. Тому важливою є оптимізація співвідношення кількості доступного для мікроорганізмів вуглецю в ґрунті з нормами мінерального азоту.

Як свідчать отримані в досліді результати, за внесення мінеральних добрив під овес по фоні першого року післядії соломи й сидерату втрати нітратного азоту зменшувалися на 36–54 % залежно від використаних норм добрив, якщо порівнювати показники з даними варіантів, де добрива вносили в чистому вигляді (табл. 8).

Звертає на себе увагу той факт, що всі досліджувані системи удобрення призводили до збільшення втрат ВОРГ. Проте інтенсивність вимивання залежала від варіантів удобрення. Найбільші втрати спостерігали у варіантах з післядією гною ВРХ,

Таблиця 8 — Втрати водорозчинної органічної речовини та сполук біогенних елементів із ґрунту за різних систем удобрення вівса

Варіанти дослідів	Втрати, кг/га					
	водорозчинна органічна речовина	NO ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	8,7	14,5	37,8	15,5	1,6	2,5
Гній ^a , 10 т/га	19,0	30,6	61,5	21,4	2,3	3,7
Солома ^a (С), 5 т/га	15,0	10,6	35,5	19,5	1,6	2,8
Сидерат ^a (Сд)	13,4	13,2	36,8	14,5	1,7	3,1
Солома ^a , 5 т/га + Сд ^a	12,8	15,2	35,8	17,4	1,6	3,0
Гній ^a , 10 т/га + Сд ^a	15,8	24,7	48,3	19,1	2,2	4,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	22,1	23,1	50,1	21,9	2,0	4,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19,2	27,0	58,4	25,2	2,3	4,4
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	22,9	32,8	62,3	28,5	2,4	4,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + С ^a , 2,5 т/га + Сд ^a	12,8	15,0	34,0	18,2	1,9	2,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + С ^a , 5 т/га + Сд ^a	11,7	19,1	38,5	19,4	2,2	3,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + С ^a , 7,5 т/га + Сд ^a	18,5	24,0	42,1	24,5	2,0	3,4
НІР ₀₅	17,3	0,6	0,8	0,4	0,3	0,3

Примітка: символом «^a» позначено першого року післядію органічних добрив.

а також за використання мінеральних добрив. Треба відзначити, що зі зростанням норм мінерального удобрення втрати ВОРГ збільшувалися (табл. 8). Водночас при застосуванні мінеральних добрив по фоні першого року післядії органічних добрив (соломи в поєднанні з люпиновим сидератом) втрати ВОРГ суттєво зменшувалися.

Схожі на вищеописані особливості вертикальної міграції поживних речовин у дерново-підзолистому ґрунті спостерігали і при вирощуванні третьої в сівозміні культури — люпину.

Як і при вирощуванні попередніх культур, застосування мінеральних добрив у чистому вигляді призводило до значних втрат як сполук біогенних елементів, так і ВОРГ (табл. 9). Проте ефект органічних добрив, незважаючи на їхню другого року післядію, проявлявся доволі чітко. За внесення туків по фоні післядії соломи й сидерату вимивання поживних речовин помітно зменшувалося.

При дослідженні особливостей вертикальної міграції поживних речовин по ґрунтовому профілю за вирощування жита озимого встановлено, що через три роки після застосування органічних добрив їхній вплив на досліджувані показники хоча й проявляється, проте помітно затухає (табл. 10). За поєднання мінеральних добрив із соломою й сидератом ще прослідковується зменшення втрат поживних речовин, проте це вже не має настільки контрастного вигляду, як при вирощуванні картоплі, вівса й навіть люпину.

Узагальнюючи, варто зробити висновок, що альтернативні системи удобрення «NPK + сидерат + побічна продукція» забезпечують найменші непродуктивні втрати поживних речовин, особливо азоту. За дефіциту гною ВРХ у господарствах солома й сидеральна біомаса як джерело вуглецю може виконувати роль потужного чинника в метаболічному зв'язуванні незасвоєного рослинами мінерального азоту ґрунтовими мікроорганізмами.

Зазначені чинники також потужно впливають на збереженість сполук кальцію і магнію та водорозчинної органічної речовини в дерново-підзолистому ґрунті.

Таблиця 9 — Втрати водорозчинної органічної речовини та сполук біогенних елементів із ґрунту за різних систем удобрення люпину

Варіанти досліді	Втрати, кг/га					
	водорозчинна органічна речовина	NO ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	7,4	22,5	45,3	17,1	1,7	2,7
Гній ^b , 10 т/га	17,5	39,4	67,7	23,5	2,5	4,7
Солома ^b (С), 5 т/га	11,0	17,0	39,0	21,5	2,0	2,8
Сидерат ^b (Сд)	12,8	21,2	40,5	16,0	1,7	3,1
С ^b , 5 т/га + Сд ^b	11,5	18,2	35,8	19,1	1,7	3,0
Гній ^b , 10 т/га + Сд ^b	14,0	34,7	53,1	21,0	2,1	4,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	17,5	35,3	55,1	24,1	2,1	4,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19,9	36,8	64,2	31,3	2,2	4,8
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	21,3	39,6	68,5	25,0	2,3	5,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + С ^b , 2,5 т/га + Сд ^b	11,1	23,0	37,4	17,0	1,8	2,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + С ^b , 5 т/га + Сд ^b	12,7	27,1	28,0	18,4	1,9	3,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + С ^b , 7,5 т/га + Сд ^b	15,5	31,0	32,9	19,0	2,0	3,4
НІР ⁰⁵	0,2	0,5	0,8	0,4	0,2	0,3

Примітка: символом «^b» позначено другого року післядію органічних добрив.

Таблиця 10 — Втрати водорозчинної органічної речовини та сполук біогенних елементів із ґрунту за різних систем удобрення жита озимого

Варіанти дослідів	Втрати, кг/га					
	водорозчинна органічна речовина	NO ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	10,5	11,5	38,3	15,9	1,9	1,7
Гній ^c , 10 т/га	16,9	23,0	72,4	19,5	2,1	2,1
Солома ^c (С), 5 т/га	11,0	11,7	39,0	13,5	1,8	2,4
Сидерат ^c (Сд)	10,0	12,9	39,1	16,0	2,0	2,1
Солома ^c , 5 т/га + Сд ^c	11,3	13,0	36,9	15,9	2,0	2,2
Гній ^c , 10 т/га + Сд ^c	14,0	20,2	49,9	18,3	2,1	2,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	16,5	21,0	55,0	20,1	2,3	2,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	18,9	26,4	78,8	24,3	2,8	2,7
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	22,0	32,1	93,7	29,0	3,1	2,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + С ^c , 2,5 т/га + Сд ^c	11,2	18,4	44,2	19,4	2,1	2,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + С ^c , 5 т/га + Сд ^c	13,6	21,3	59,4	21,4	2,5	2,5
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + С ^c , 7,5 т/га + Сд ^c	16,8	25,0	70,8	25,9	2,7	2,7
НІР ₀₅	0,2	1,0	1,2	0,8	0,2	0,2

Примітка: символом «^c» позначено третього року післядію органічних добрив.

Оскільки значення кальцію і магнію в підтриманні ґрунтової родючості загальновідоме, а ВОРГ є своєрідними акумулятором поживних речовин, можна зробити висновок про збереження як ґрунтової родючості, так і продуктивного потенціалу агроценозів.

2.2. Урожайність і баланси гумусу, азоту, фосфору й калію в сівозміні за різних систем удобрення сільськогосподарських культур. Результати обліку врожайності сільськогосподарських культур у досліді свідчать про суттєвий вплив традиційних видів добрив — гною та мінеральних туків — на зростання показників. Проте поєднання мінеральних добрив з органічними забезпечує значно вищий удобрювальний ефект. Це прослідковується протягом усіх років проведення досліджень, але варто також відзначити зменшення відносних приростів урожайності культур за роками, що є цілком логічним з огляду на поступову вичерпність біогенних елементів, привнесених з органічними добривами.

Зважаючи на дефіцит у сучасних господарствах такого добрива, як гній домашніх тварин, особливу зацікавленість викликає рівень урожайності сільськогосподарських культур у варіантах з мінеральними добривами й поєднанням туків із соломою та сидератом. Дія та післядія соломи й сидерату в поєднанні з прямим впливом мінеральних добрив забезпечує суттєве зростання урожайності культур проти застосування туків у чистому вигляді.

Цікаво, що урожайність усіх досліджених культур найбільшою мірою зростала не у варіанті з найвищими в досліді нормами мінеральних добрив і соломи («N₉₀P₉₀K₉₀ + солома, 7,5 т/га + сидерат»), а за внесення середніх норм туків і соломи — «N₆₀P₆₀K₆₀ + солома, 5,0 т/га + сидерат». Поясненням цього може бути більш інтенсивна іммобілізаційна діяльність ґрунтової мікробіоти у варіанті з внесенням 7,5 т/га соломи.

Зважаючи на суттєве зростання урожайності культур за поєднання мінеральних добрив із соломою та біомасою сидераль-

ної культури, цілком очікуваними виявилися показники балансу органічної речовини (гумусу).

Бездефіцитний баланс органічної речовини нами виявлено лише у двох варіантах — «N₆₀P₆₀K₆₀ + солома, 5,0 т/га + сидерат» та «N₉₀P₉₀K₉₀ + солома, 7,5 т/га + сидерат» (табл. 11). Близькими до врівноваження показників мінералізації і синтезу органічної речовини є значення, отримані у варіантах «солома, 5 т/га + сидерат» (баланс -0,07) та «гній, 10 т/га + сидерат» (баланс -0,18).

Таблиця 11 — **Баланси гумусу та інтенсивність балансу залежно від систем удобрення у сівозміні «картопля – овес – люпин – жито озиме»** (лізиметричний дослід)

Варіанти дослідів	Показники балансу гумусу в сівозміні			
	втрати гумусу, т/га	новоутворений гумус, т/га	баланс гумусу, т/га	інтенсивність балансу, %
Контроль	1,62	0,68	-0,94	41,8
Гній, 10 т/га	1,62	1,34	-0,28	82,7
Солома, 5 т/га	1,62	1,33	-0,29	81,9
Сидерат (Сд)	1,62	0,96	-0,66	59,4
Солома, 5 т/га + Сд	1,62	1,55	-0,07	95,7
Гній, 10 т/га + Сд	1,62	1,44	-0,18	89,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,62	1,01	-0,61	62,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,62	1,19	-0,43	73,3
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,62	1,22	-0,40	75,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + солома, 2,5 т/га + Сд	1,62	1,48	-0,14	91,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + солома, 5,0 т/га + Сд	1,62	1,78	+0,16	109,8
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + солома, 7,5 т/га + Сд	1,62	1,90	+0,28	117,2

Окреме застосування гною ВРХ, соломи, а також сидерату не забезпечувало бажаного ефекту, вірогідно, унаслідок стехіо-

метричного дисбалансу між доступними для мікроорганізмів вуглецем і азотом.

Розрахунки балансів азоту, фосфору й калію значною мірою підтверджують перспективи застосування мінеральних добрив у поєднанні з соломою та біомасою сидеральної культури. Так, бездефіцитний баланс азоту й фосфору спостерігали у варіанті «N₆₀P₆₀K₆₀ + солома, 5,0 т/га + сидерат». Проте у цьому ж варіанті відзначено слабодефіцитний баланс калію, що потребує відповідного корегування. Позитивний баланс усіх трьох досліджуваних елементів досягається у варіанті «N₉₀P₉₀K₉₀ + солома, 7,5 т/га + сидерат».

Отже, як за показниками урожайності сільськогосподарських культур за їх вирощування на дерново-підзолистому ґрунті у сівозміні, так і значеннями втрат поживних речовин з лізиметричними водами, а також балансів гумусу, азоту, фосфору й калію, оптимальним для удобрення типових для зони Полісся сільськогосподарських культур є поєднання мінеральних добрив у нормах N₆₀P₆₀K₆₀ – N₉₀P₉₀K₉₀ із соломою (5,0–7,5 т/га) та біомасою проміжної сидеральної культури.

ВИСНОВКИ

1. Доповнення систем удобрення люпиновим сидератом при вирощуванні сільськогосподарських культур на дерново-підзолистому ґрунті сприяє суттєвому підвищенню продуктивності агроценозів, покращенню балансу гумусу та поживного ґрунтового режиму.

2. Система удобрення «N₆₀P₅₀K₆₀ + гній + сидерат» забезпечує оптимальні показники родючості дерново-підзолистого ґрунту й найбільшу продуктивність сівозміни серед досліджених варіантів удобрення сільськогосподарських культур.

3. Зважаючи на дефіцит гною в сільському господарстві, перспективним рішенням щодо забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в дерново-підзолистому ґрунті та покращення його поживного режиму є поєднання біомаси проміжної сидеральної культури з 5 т/га соломи й мінеральними добривами у нормі N₆₀P₅₀K₆₀.

4. Застосування мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур на дерново-підзолистому ґрунті сприяє покращенню балансів гумусу та сполук біогенних елементів.

5. Найвищі прирости урожайності сільськогосподарських культур при застосуванні мікробних препаратів відзначено за їх вирощування по сидеральному фону, за внесення соломи та за поєднання мінеральних добрив у нормі N₆₀P₅₀K₆₀ із сидератом і соломою. Найнижчий вплив інокулянтів відзначено по фонах дії та післядії гною ВРХ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балюк С. А., Греков В. О., Лісовий М. В., Комариста А. В. Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління. Харків : КП «Міська друкарня», 2011. 30 с.

2. Бердніков О. М., Волкогон В. В., Мірошніченко М. М., Гриник О. І., Потапенко Л. В. Значення лізиметричних досліджень в еколого-агрохімічній оцінці аграрних технологій. *Агроекологічний ж.* 2020. № 1. С. 58–70. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2020.201271>

3. Волкогон В. В., Бердніков О. М., Лопушняк В. І. Екологічні аспекти систем удобрення сільськогосподарських культур. Київ : Аграрна наука, 2019. 264 с.

4. Волкогон В. В., Дімова С. Б., Волкогон К. І. Спрямованість процесів мінералізації-синтезу органічної речовини в чорноземі вилуженому за різного удобрення ячменю ярого. *Сільськогосподарська мікробіологія.* 2022. Вип. 35. С. 3–16. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.35.3-16>

5. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Ковалевська Т. М. та ін. Мікробні препарати в землеробстві. Теорія і практика. Київ : Аграрна наука, 2006. 312 с.

6. Камінський В. Ф., Дегодюк Е. Г., Дегодюк С. Е., Літвінова О. А., Гуральчук С. З., Єрмолаєв М. М., Волкогон В. В., Бердніков О. М., Булигіна М. Є., Булигін С. Ю. Культура сидерації (за ред. Е. Г. Дегодюка і С. Ю. Булигіна). Київ : Аграрна наука, 2013. 80 с.

7. Мазур Г. А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів. Київ : Аграрна наука, 2008. 308 с.

8. Патики В. П., Коць С. Я., Волкогон В. В., Шерстобоева О. В., Мельничук Т. М., Калініченко А. В., Гриник І. В. Біологічний азот (за ред. В. П. Патики). Київ : Світ, 2003. 424 с.

9. Шикла М. К., Балаєв А. Д., Демиденко О. В. Ґрунтоутворювальна і ґрунтозахисна роль соломи та інших пожнивних решток в агроценозах. *Вісник агр. науки*. 2003. № 10. С. 5–10.

10. Campbell E. E., Paustian K. Current developments in soil organic matter modeling and the expansion of model applications: a review. *Environ. Res. Lett.* 2015. 10(12). P. 123004. doi: 10.1088/1748-9326/10/12/123004

11. Rasse D. P., Rumpel C., Dignac M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*. 2005. 269(1). P. 341–356. doi: 10.1007/s11104-004-0907-y

12. Rumpel C., Kogel-Knabner I. Deep soil organic matter — a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and Soil*. 2011. 338. P. 143–158. doi: 10.1007/s11104-010-0391-5

13. Thierfelder C., Wall P. C. Effects of conservation agriculture on soil quality and productivity in contrasting agro-ecological environments of Zimbabwe. *Soil Use and Management*. 2012. 28. P. 209–220. doi: 10.1111/j.1475-2743.2012.00406.x

14. Tilman D. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *P. Natl. Acad. Sci. USA*. 1999. 96. 5995–6000.

15. Vitousek P. M., Aber J. D., Howarth R. W. et al. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. 1997. *Ecological Applications*. 7(3). 737–750.

16. Volkogon V. V., Potapenko L. V., Volkogon M. V. Vertical migration of nutrients and water-soluble organic matter in the soil profile under pre-sowing seed treatment with plant growth promoting rhizobacteria. *Front. Sustain. Food Syst.* 2023. 6. 1054113. doi: 10.3389/fsufs.2022.1054113

Наукове видання

Особливості впливу систем удобрення та мікробних препаратів на формування родючості дерново-підзолистого ґрунту

(науково-методичні рекомендації)

О. В. Єгоров

Ю. М. Халеп

А. М. Москаленко

В. П. Горбань

В. В. Волкогон

М. М. Пархоменко

Комп'ютерна верстка та макетування В. О. Агеєв
Коректура О. В. Ільчук

Підписано до друку 19.12.2025 р. Формат 60×84/16.
Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура Arial.
Умовн. друк. арк. 2,33. Обл.-вид. арк. 1,40.
Зам. № 25283-05. Наклад 50 прим.

Видавець та виготовлювач: ФОП Агеєв В. О.
Свід. про внесення до держ. реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК, № 8282 від 02.05.2025.
Запис в єдиному держ. реєстрі № 201035000000182294 від 01.08.2022.
Україна, 14005, м. Чернігів, вул. В'ячеслава Чорновола, 4, к. 15.
<http://siver-druk.com.ua> e-mail: siverdruk11@gmail.com