

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ**

**ЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ І
ВАПНУВАННЯ, КІЛЬКІСНІ ТА ЯКІСНІ
ПОКАЗНИКИ ЗМІНИ СТРУКТУРНО-
АГРЕГАТНОГО ТА МІКРОАГРЕГАТНОГО
СТАНУ ОСУШУВАНОВОГО ЯСНО-СІРОГО
ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕСНОГО ҐРУНТУ**

(науково-практичні рекомендації)



Оброшине – 2025

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ЗАХІДНИЙ МІЖРЕГІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ**

**ЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ І
ВАПНУВАННЯ, КІЛЬКІСНІ ТА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ
ЗМІНИ СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНОГО ТА
МІКРОАГРЕГАТНОГО СТАНУ ОСУШУВАНОВО
ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО
ОГЛЕЄНОГО ҐРУНТУ**

(науково-практичні рекомендації)

Оброшине 2025

Ефективні системи удобрення і вапнування, кількісні та якісні показники зміни структурно-агрегатного та мікроагрегатного стану осушуваного ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту (науково-практичні рекомендації) / Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН ; О. С. Гавришко та ін. Оброшине, 2025. 21 с.

Науково-практичні рекомендації розроблено у відділі агрохімії та ґрунтознавства Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН.

Рекомендації складено за результатами досліджень, проведених у довготривалому стаціонарному досліді, закладеному в 1965 р., при виконанні завдання 09.01.01.14.П. “Розробити заходи з підвищення та охорони родючості осушуваних ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів шляхом оптимізації структурно-агрегатного стану за тривалого агрогенного навантаження і змін клімату в умовах Карпатського регіону” відповідно до ПНД 9 “Використання аграрного ресурсовиробничого потенціалу Карпатського регіону в умовах реалізації євроінтеграційних пріоритетів”.

Науково-практичні рекомендації розраховано для наукових працівників, викладачів, аспірантів, спеціалістів аграрного сектору.

Автори: **О. С. Гавришко, Ю. М. Оліфір** кандидати сільськогосподарських наук, **Т. В. Партика** кандидат біологічних наук, **Н. І. Козак**, доктор філософії.

Рецензенти:

Біловус Г. Я. – кандидат сільськогосподарських наук, Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН.

Іванюк В. Я. – кандидат сільськогосподарських наук, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького.

Рекомендації розглянуто й схвалено рішенням вченої ради Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН (протокол № 12 від 28 жовтня 2025 р.).

© Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН, 2025

ЗМІСТ

Вступ	4
Параметри структурно-агрегатного стану ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за тривалого застосування різних систем удобрення та вапнування.....	5
Кількісні та якісні показники зміни мікроагрегатного складу ясно- сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту залежно від тривалого агрогенного навантаження.....	11
Технології меліорації кислих ґрунтів.....	15
Економічна та енергетична оцінка ефективності тривалого застосування різних систем удобрення та вапнування в сівоzmіні.....	18
Перелік посилань	20

ВСТУП

У сучасних умовах, коли нестабільність опадів, часта зміна погодних аномалій поєднується з інтенсифікацією виробництва, питання збереження і підвищення родючості малородючих ґрунтів набуває особливої практичної та наукової значущості [1]. Окрім традиційних факторів, у воєнний та післявоєнний періоди з'являються додаткові ризики для аграрних екосистем (порушення логістики добрив, зменшення доступу до техніки, зміни в системах обробітку та ін.), що робить розроблення адаптивних, економічно обґрунтованих і малочутливих до зовнішніх потрясінь технологій вапнування та удобрення вкрай актуальним.

Мета дослідження – формування науково-практичних рекомендацій, які б забезпечили стабільну продуктивність і одночасно зберігали або відновлювали структурно-агрегатний стан кислих ясно-сірих лісових ґрунтів в умовах агрогенних навантажень.

Структура ґрунту на макро- ($>0,25$ мм) і мікрорівнях ($<0,25$ мм) є ключовим фактором у ґрунтах, що визначає водостійкість, водопроникність, аерацію та здатність утримувати поживні речовини. Зміни в мікроагрегатному складі – зокрема, зсув у бік дрібних фракцій ($<0,01$ мм) – призводять до підвищеної розпиленості, зниження інфільтрації, появи запливання та розвитку процесів поверхневого оглеєння. Саме тому аналіз кількісних і якісних змін (трансформацій) мікроагрегатного складу оглеєних відмін під різними системами удобрення і періодичного вапнування дає безпосередню, повну інформацію про ризики деградації та інструменти (рекомендації) щодо їх вирішення [4].

Дослідження, покладені в основу цих науково-практичних рекомендацій, виконані в умовах тривалого стаціонарного дослід, закладеного в 1965 р. на експериментальній базі ІСГКР (с. Оброшине, Львівська обл.) [2]. Така довготривала експериментальна база дозволяє оцінити післядію агротехнічних прийомів у часовому вимірі, виявити кумулятивні ефекти внесення органіки (гною), різних норм мінеральних добрив і періодичного вапнування на структурно-агрегатний та мікроагрегатний стан кислого ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту (*Albic Pantostagnic Luvisol* за WRB) [9]. У 2023 р. дослід було включено до Глобальної мережі довготривалих сільськогосподарських експериментів (*GLTEN*), що свідчить про репрезентативність і міжнародну релевантність отриманих даних [3].

Тому, інтегрована мета даних досліджень полягає не лише у встановленні фізико-хімічних та структурно-агрегатних змін ґрунту під впливом різних систем удобрення та вапнування, але й на підставі цього розробити практичні, науково обґрунтовані рекомендації для фермерських господарств та агроуправлінь регіону. Такі рекомендації повинні бути адаптовані до реалій місцевого агровиробництва (обмеженість обігових коштів, доступність органічних матеріалів, потреба у збереженні ґрунтового покриву) та спрямовані на довгострокове збереження родючості і підвищення стійкості агроекосистем в умовах змін клімату та соціально-економічних викликів.

ПАРАМЕТРИ СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНОГО СТАНУ ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕСНОГО ҐРУНТУ ЗА ТРИВАЛОГО ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ ТА ВАПНУВАННЯ.

Параметри структурно-агрегатного стану ґрунту є основним індикатором його фізичної стабільності, родючості та здатності протистояти деградації під впливом інтенсивного агрогенного навантаження і кліматичних змін [7]. У цьому розділі узагальнено результати багаторічного стаціонарного дослідження Інституту сільського господарства Карпатського регіону (1965 р.), які оцінюють вплив різних систем удобрення та періодичного вапнування на макро-, мезо- та мікроструктуру орного (0-20 см) шару, водостійкість агрегатів та ключові агрофізичні показники структури осушуваних ясно-сірих лісових поверхнево оглєснених ґрунтів. Наведені методичні підходи (сухе і мокре просіювання) та інтерпретаційні критерії призначені для практичної оцінки і корекції систем удобрення з метою збереження та відновлення структурної цілісності досліджуваних ґрунтів.

За особливостями генези, геометричної будови та властивостями ґрунтового структуру поділяють на: мікро (агрегати розміром $<0,25$ мм), макро- ($10-0,25$ мм) та мегаструктуру (>10 мм). Крім того вона поділяється на водостійку (агрономічно цінну) і не водостійку [5].

За результатами сухого просіювання та морфологією структури визначають вміст у ґрунті агрономічно цінних структурних агрегатів. В агрономічному розумінні позитивною структурою є лише дрібногрудкувата ($10-0,5$ мм) і зерниста ($5-0,5$ мм) структура, за якістю – шпарувата, зв'язана та водостійка. Тільки така структура забезпечує оптимальність ґрунтових режимів. Створення агрономічно цінної ґрунтової структури є головним завданням сучасних агротехнічних прийомів [4].

Як Відомо, немає стандартних розмірів оптимальної структури для всіх природних зон. Чим вологіша зона, тим оптимальний розмір структурних окремоностей повинен бути більший, наближаючись до 10 мм, щоб забезпечити кращу воду та повітропроникність, а для заболочених територій – і водовіддачу ґрунту [8].

За сумарним вмістом агрегатів агрономічно цінних розмірів ($10-0,25$ мм) оцінюють структурний стан аналізованого ґрунту (табл. 1) [4].

1. Шкала для оцінки готовності ґрунту до посіву за його структурним станом

Вміст агрегатів розміром $10-0,25$ мм у % до ваги		Оцінка структурного стану
повітряно-сухих	водостійких	
>80	70	Відмінний
80-60	70-55	Добрий
60-40	55-40	Задовільний
40-20	40-20	Незадовільний
<20	<20	Поганий

Аналогічно оцінюють структурний стан ґрунту за кількістю не агрегованого пилу (<0,25 мм) під час агрегатного аналізу (табл. 2) [4].

2. Оцінка структурного стану за В. Р. Вільямсом

Вміст пилу (<0,25 мм) у % до ваги	Оцінка ґрунту
<35	Грудкувата або брилувата, залежно від переважання в ґрунті грудок (10-0,25 мм), чи брил (>10 мм)
35-75	Розпилена
>75	Сильно розпилена

Важливою агрономічною властивістю ґрунтової структури є її стійкість, яка проявляється через здатність структурних агрегатів тривалий час протистояти руйнуючому впливу води. Стійкість ґрунтових агрегатів залежить не тільки від якості перегною та наявності в ґрунті незворотно скоагульованих органічних і мінеральних колоїдів, що зумовлює цементування гранулометричних елементів свіж осадженими гуматами. Агрегати можуть бути стійкими за наявності тонких неактивних шпар.

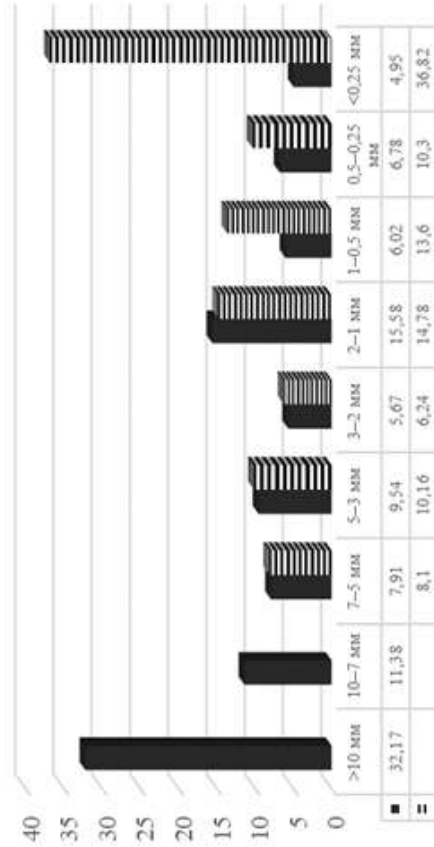
За поданими у таблиці показниками агрегатного стану ґрунтів оцінюють стабільність (водостійкість) макроструктури ґрунту (табл. 3) [4].

3. Оцінка водостійкості макроструктури ґрунту

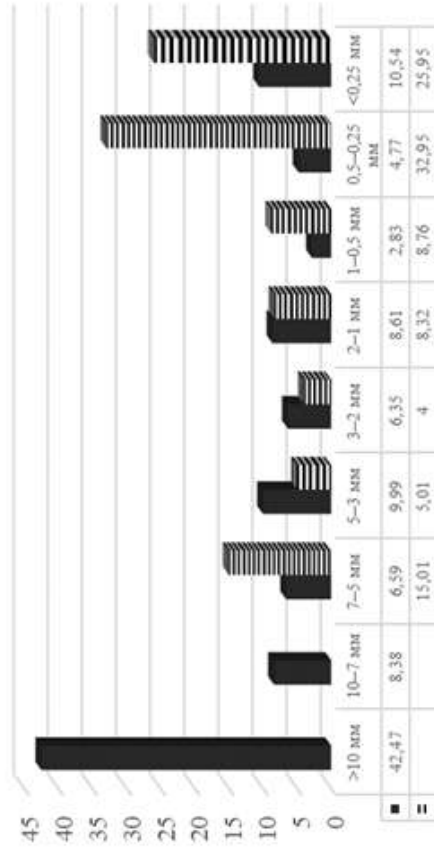
Сума водостійких агрегатів розміром >0,25 мм, %	Оцінка водостійкості структури
<10	Відсутня
10-20	Незадовільна
20-30	Недостатньо задовільна
30-40	Задовільна
40-60	Добра
60-75	Відмінна
>75	Надмірно висока

З метою дослідити шляхи оптимізації структурно-агрегатного та мікроагрегатного складу осушуваних ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів за тривалого (60-річного) агрогенного навантаження для підвищення їх родючості та збереження стійкості агроecosystem, були відібрані зразки з верхнього гумусово-елювіального (HEgl) шару ґрунту потужністю 0-20 см під: лісовим масивом, на перелозі, у варіантах контроль (без добрив) (вар. 1, 10), лише періодичного вапнування 1,0 н CaCO₃ за Нг (6,0 т/га) (вар. 2), органічного удобрення (внесення 10 т/га сівозмінної площі гною) (вар. 3), органо-мінеральної системи удобрення з внесенням на гектар сівозмінної площі 10 т гною та мінеральних добрив в дозі N₆₅P₆₈K₆₈ і N₃₀P₃₄K₃₄ на фоні вапнування 1,0 н CaCO₃ (вар. 7 і вар. 9), та самої мінеральної системи удобрення повною дозою N₆₅P₆₈K₆₈ (вар. 15) (рис. 1 і 2).

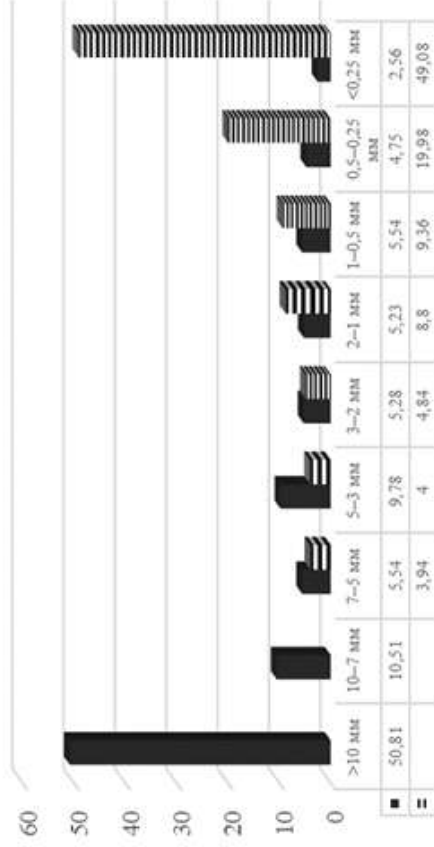
Ліс



Без добрив (контроль) (вар. 1,10)



Переліг



CaCO₃ 1,0 н Нг, (вар. 2)

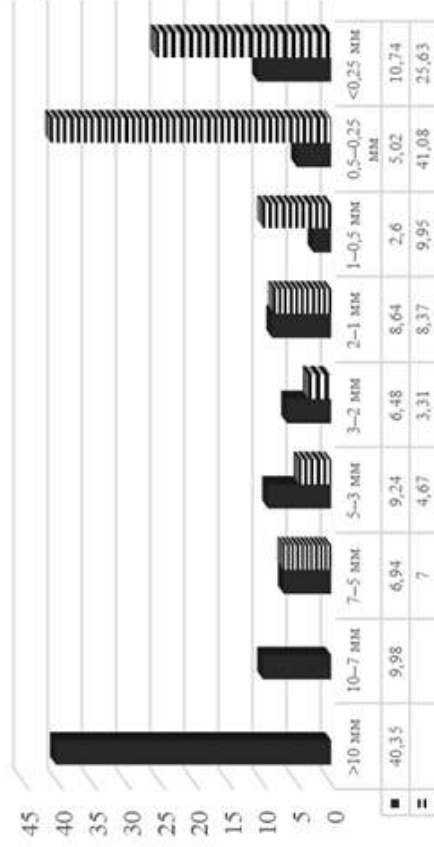
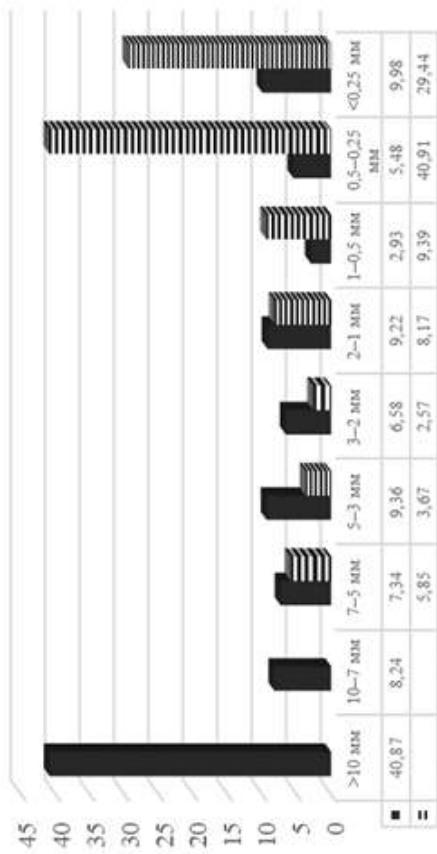


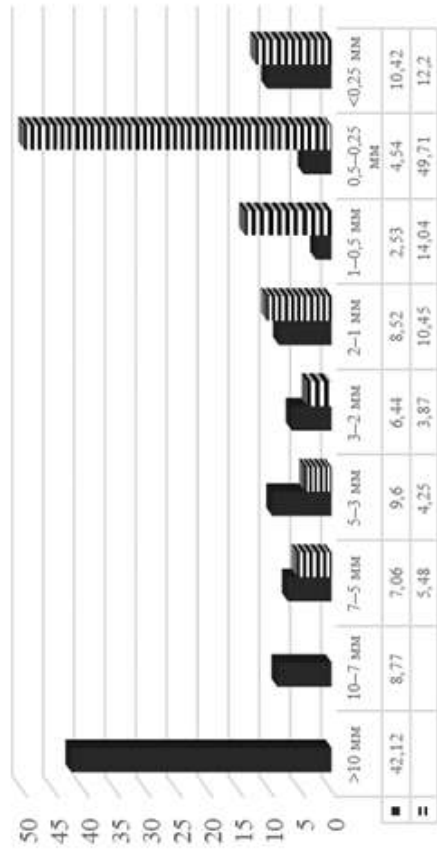
Рис. 1. Структурно-агрегатний склад орного шару (0-20 см) ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під лісом, на перелозі та за різного тривалого агрогенного використання

■ сухе просіювання
▨ мокре просіювання

Гній 10 т/га, (вар. 3)



10 т/га гною + N₆₅P₆₈K₆₈ + 1,0 н Нг СаСО₃, (вар. 7)



10 т/га гною + N₃₀P₃₄K₃₄ + 1,0 н Нг СаСО₃, (вар. 9)



N₆₅P₆₈K₆₈, (вар. 15)

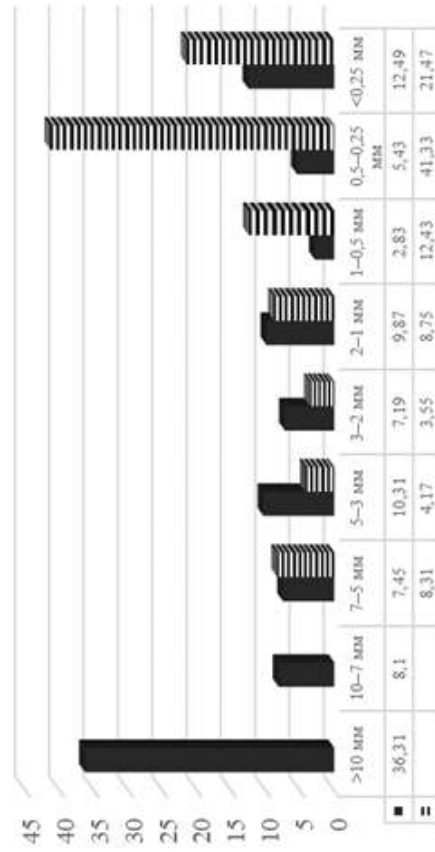


Рис. 2. Структурно-агрегатний склад орного шару (0-20 см) ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за різного тривалого агрогенного використання

■ сухе просіювання
▨ мокре просіювання

Структурно-агрегатний склад ситовим методом за Н. І. Савіновим, як відомо, вказує на співвідношення в ґрунті агрегатів різного розміру та їх водостійкість. За результатами 2024-2025 рр. тривалого стаціонарного дослідження виявлена чітка залежність структурно-агрегатного складу і його стійкості від системи удобрення та вапнування порівняно з природньою родючістю.

Так, за сухого просіювання ґрунту, частка макроагрегатів (>10 мм) коливалася в межах 32,17–50,81 % залежно від варіанта дослідження. При цьому найбільш стабільну кількість крупних агрегатів зафіксовано на перелозі – 50,81 %, що свідчить про високу здатність ґрунту до природного утворення грудкуватих фракцій за відсутності обробітки. У ґрунті під лісом показник макроагрегатів був істотно нижчим ніж на перелозі – 32,17 %, а коефіцієнт структурності збільшився з 0,87 до 1,69, що вказує на переважання середніх і дрібних грудочок (табл. 4).

4. Параметри структурно-агрегатного стану ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту

Зміст варіанту	Сума агрегатів >0,25 мм, %	Сума агрономічно-цінних агрегатів 10-0,25 мм, %	Коефіцієнт структурності	Вміст водостійких агрегатів розміром >0,25 мм, %
	HEgl 0-20 см			
Ліс	95,05	62,88	1,69	67,18
Переліг	97,44	46,63	0,87	50,92
Без добрив (контроль) (вар. 1, 10)	89,98	47,51	0,90	74,05
CaCO ₃ 1,0 н Нг (вар. 2)	89,26	48,91	0,96	74,37
Гній 10 т/га (вар. 3)	90,02	49,15	1,01	70,56
1,0 н Нг CaCO ₃ + 10 т/га гною + N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈ (вар. 7)	89,58	47,45	0,93	87,80
1,0 н Нг CaCO ₃ + 10 т/га гною + N ₃₀ P ₃₄ K ₃₄ (вар. 9)	89,72	46,09	0,87	82,60
N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈ (вар. 15)	87,51	51,19	1,11	78,53

Найменша кількість макроагрегатів (36,31 %) спостерігалася у варіанті з чистим мінеральним удобренням у дозі N₆₅P₆₈K₆₈, що свідчить про руйнування

крупних агрегатів під дією мінералізаційних процесів і відсутністю додаткового органічного зв'язувального матеріалу. Натомість, комбіновані органо-мінеральні системи удобрення на фоні періодичного вапнування 1,0 н за Нг, забезпечили вміст макроагрегатів на рівні: 42,12–43,63 %, тобто рівень, подібний до контролю (без добрив) або дещо вищий, що вказує на відновлення процесів структуроутворення за однаково різних умов.

Встановлено, що частка повітряно-сухих мезоагрегатів розміром 10-0,25 мм у більшості варіантів залишалася на незадовільному рівні 46–51 %, із незначними коливаннями. Найвищий показник зафіксовано у варіанті під лісом (62,88 %), що вказує на задовільну природну, добре розвинену грудкувату структуру з перевагою середніх агрегатів (табл. 4).

Частка мікроагрегатів (<0,25 мм) була невисокою у всіх варіантах стаціонарного дослідження, але відзначались певні закономірності. Найбільше дрібної фракції спостерігалось у варіанті з мінеральними добривами (12,49 %), що вказує на погіршення структурної цілісності на мікро структурному рівні, а найменше – у природному стані на перелозі та під лісом (2,56–4,95 %), де структура стабілізується за рахунок акумулювання гумусових речовин і відсутності механічного обробітку.

За мокрого просіювання, яке характеризує водну стійкість агрегатів ґрунту, спостерігався істотний перерозподіл фракцій структурних окремоностей – руйнування частини агрегатів >10 мм і збільшення частки <0,25 мм. Найбільше розпилення фракції розміром <0,25 мм (зростання у 19,2 рази) відбулося на перелозі: з вище згаданих 2,56 до 49,08 % та в ґрунті під лісом: з 4,95 до 36,82 % (зростання у 7,4 рази). Це свідчить про те, що природна структура ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту, хоч і сформована стабільно в сухому стані, легко руйнується під дією вологи через слабе зв'язування агрегатів після тривалого біологічного перетворення та відсутності кальцію.

У варіантах тривалого агрогенного навантаження руйнування було меншим, але також помітним: на контролі (без добрив) втрати були з: 10,54 до 25,95 %, за окремого внесення вапна (1,0 н за Нг) з 10,74 до 25,63 %, за застосування гною (10 т/га) з 9,98 до 29,44 %, та самих мінеральних добрив ($N_{65}P_{68}K_{68}$) з 12,49 до 21,47 %. Це вказує, що у варіанті контролю і за окремого внесення $CaCO_3$ агрегати мають помірну водостійкість, тоді як за внесення лише гною вона дещо нижча (через зростання органічного колоїду, який частково розмокає), а за мінерального удобрення – хоч і дрібніша структура, проте її фракції виявилися відносно стійкішими у воді (відносно зростання мікрофракції).

Найвищу водостійкість на мікроагрегати ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту показали органо-мінеральні системи удобрення та періодичного вапнування 1,0 н за Нг (вар. 7 і 9), де частка дрібних часточок після мокрого просіювання зросла незначно: з 10,42 до 12,20 % і з 10,28 до 17,40 % відповідно. Тобто, руйнування структури ґрунту при зволоженні було мінімальним (зростання мікрофракції лише на 1,17–1,69 %).

Отже, за однаково різних умов тривалого стаціонарного дослідження поєднання органічних добрив (10 т/га гною сівозмінної площі), мінерального живлення однією ($N_{65}P_{68}K_{68}$) та половинною ($N_{30}P_{34}K_{34}$) дозами та вапна (1,0 за Нг) порівняно з іншими варіантами дослідження забезпечує оптимальний баланс між добре агрегованою структурою та її високою водостійкістю, що є найсприятливішим агрозаходом для підтримання тривалої родючості верхнього орного шару малопродуктивних ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтів.

КІЛЬКІСНІ ТА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗМІНИ МІКРОАГРЕГАТНОГО СКЛАДУ ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕЄНОГО ҐРУНТУ ЗАЛЕЖНО ВІД ТРИВАЛОГО АГРОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Сприятливий агрофізичний режим незалежно від типу ґрунту створюється завдяки наявності в ньому не тільки макро-, але й мікроструктури. Тому одночасно з характеристикою макроструктури, велике значення для оцінки агрофізичних властивостей ґрунтів має їх мікроструктура. Вона повинна бути водостійкою та шпаруватою [6]. Мікроагрегатний склад ґрунту – відносний вміст у ґрунті водостійких мікроагрегатів різного розміру (0,25-0,05; 0,05-0,01; 0,01-0,005; 0,005-0,001 і <0,001 мм) [4].

Найкращі розміри мікроструктури, як водостійкої, наприклад, у чорноземах, створює позитивні властивості макроагрегатами. Крім того, вона безпосередньо збільшує вологоємність ґрунтів, покращує їх водо- та повітропроникність, відіграючи роль ніби “піщаних зерен і лесоподібної фракції” гранулометричних елементів ґрунту. Несприятливими є мікроагрегати, що мають розміри середнього пилу (0,01-0,05 мм). Вони утруднюють водо- та повітропроникність ґрунту, зумовлюють високу, випітну здатність та інші негативні елементарні ґрунтові процеси. В ієрархії ґрунтової структури мікроагрегати відносять до агрегатів першого порядку. Вони утворені безпосередньо елементарними гранулометричними елементами, розмір яких <0,25 мм [5].

Для агрономічної та меліоративної оцінки важливо знати не тільки ступінь мікрооструктуреності ґрунту, але й якість мікроагрегатів. Це дає змогу визначити, як гранулометричні елементи з'єднані між собою у мікроагрегати та наскільки водостійкі ці агрегати [6, 10].

У цьому розділі наведено основні результати тривалого стаціонарного дослідження (закладено 1965 р.), у якому досліджувалось вплив різних систем удобрення та тривалого використання на мікроагрегатний стан верхнього орного гумусово-елювіального шару ясно-сірого лісового поверхнево-оглеєного ґрунту. Дані дослідження містять відсотковий розподіл агрегатів за розмірами (1–0,25; 0,25–0,05; 0,05–0,01; 0,01–0,005; 0,005–0,001; <0,001 мм) та суму фракцій <0,01 мм для комплексу варіантів: під лісом, на перелозі та за різного агрогенного навантаження (рис. 3).

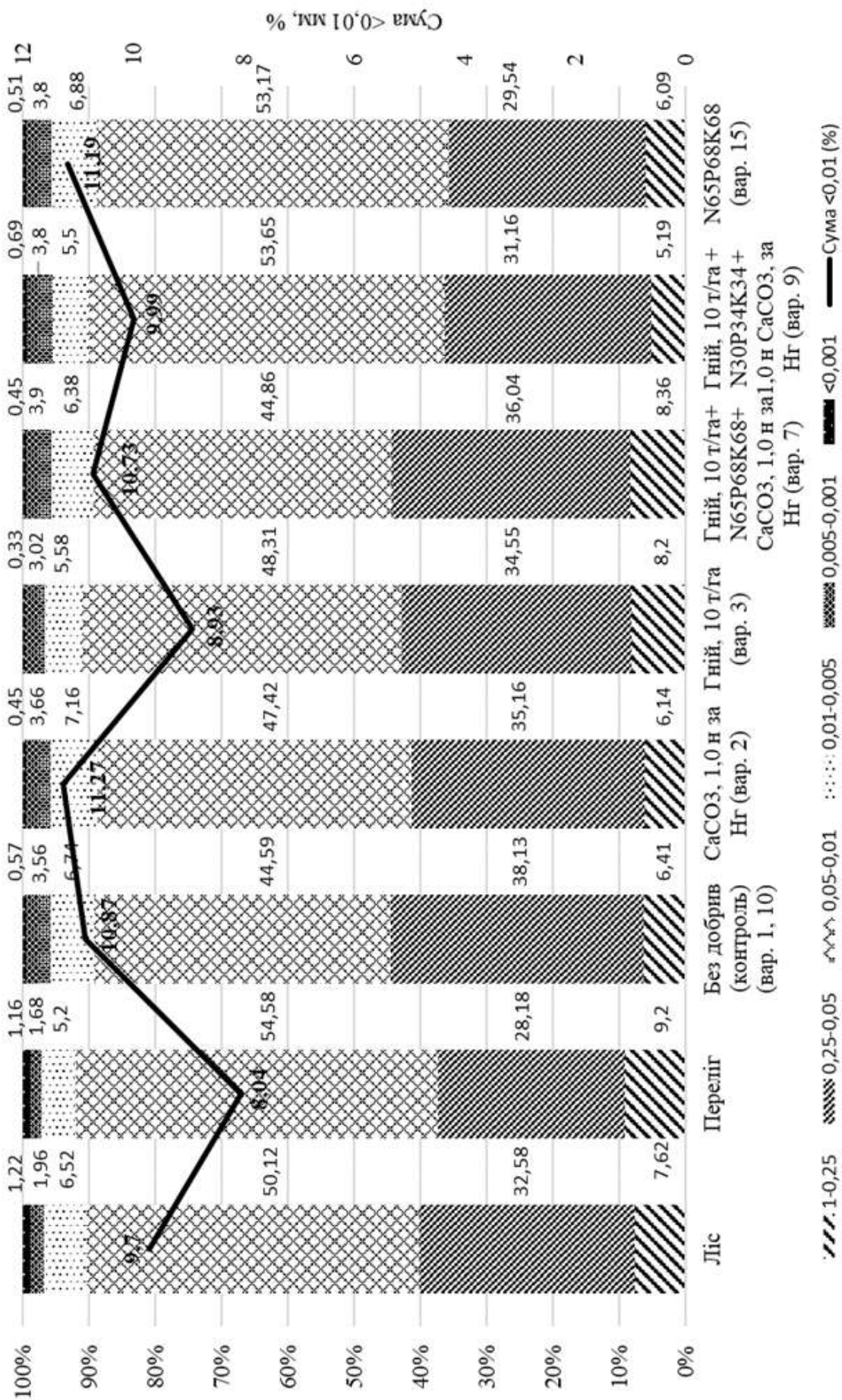


Рис. 3. Мікроагрегатний склад орного шару (0-20 см) ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під лісом, на перелозі та за різного тривалого агрогенного використання

Так, у ґрунті під лісом мікроагрегатний склад верхнього шару характеризується високою часткою середньої фракції 0,05–0,01 мм (50,12 %) і відносно низькою сумою над дрібних фракцій <0,01 мм (9,70 %). Така структура свідчить про відносно стабільну мікроструктуру з доброю здатністю утримувати пористість і опір до руйнування – показник, до якого варто прагнути при відновленні орних ділянок. При цьому на контролі (без добрив) (вар. 1,10) частка середньої фракції менша, ніж на перелозі і під лісом (44,59 %), а сума <0,01 мм вища (10,87 %), що вказує на більший ступінь руйнування агрегатів за відсутності цілеспрямованих відновлюваних агрозаходів. Варіант без добрив (контроль) показує, які зміни може спричинити базове користування без додаткових коригувальних заходів, і служить кордоном порівняння для оцінки впливу удобрень на мікроагрегати (Рис. 3).

Періодичне застосування 1,0 н вапна за Нг (вар. 2) на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєних ґрунтах супроводжується помірно високою часткою в них часточок розміром 0,05–0,01 мм (47,42 %) і найбільшою сумою <0,01 мм (11,27 %). Це вказує, що одне лише систематичне вапнування без додаткового органічного поповнення не забезпечує покращення мікроагрегатної стабільності та супроводжується збільшенням над дрібною фракції. Отже, проведення хімічної меліорації на кислих ґрунтах доцільно проводити у поєднанні з органікою та моніторингом рН. Навпаки, внесення 10 т/га сівозмінної площі гною (вар. 3) на початку XII ротації чотириріпільної сівозміни суттєво покращує мікроагрегатний склад в орному шарі: висока частка 0,05–0,01 мм (48,31 %) та одна з найнижчих сум <0,01 мм (8,93 %). Органічні добрива посприяли укрупненню агрегатів і зниженню долі наддрібних часточок; тому гній у дозі 10 т/га є ефективним та невід'ємним інструментом у відновленні структури малопродуктивних ясно-сірих лісових ґрунтів.

Встановлено, що комбіноване застосування гною (10 т/га), мінеральних добрив повною нормою ($N_{65}P_{68}K_{68}$) і 1,0 н $CaCO_3$ за Нг (вар. 7) дає проміжний ефект: частка мікроагрегатів розміром 0,05–0,01 мм становить 44,86 %, а сума <0,01 мм – 10,73 %. Це свідчить, що поєднання органіки й мінеральних добрив, може не повністю нейтралізувати негативні побічні ефекти лише мінерального удобрення, якщо баланс органічної маси і технологія внесення не оптимізовані. При цьому аналогічна органо-мінеральна система удобрення і вапнування але половинною дозою NPK ($N_{30}P_{34}K_{34}$) (вар. 9) показала найвищу частку 0,05–0,01 мм (53,65 %) і помірну суму <0,01 мм (9,99 %), що вказує на відносно сприятливий баланс між органічним і мінеральним підживленням і підтримки структури мікроагрегатів.

За застосування високих норм мінеральних добрив ($N_{65}P_{68}K_{68}$) (вар. 15) спостерігалась висока частка 0,05–0,01 мм (53,17 %), але супроводжувалось значне підвищення суми мікро фракції <0,01 мм (11,19 %). Це означає, що при відсутності органічного доповнення самі мінеральні добрива сприятимуть змінам, що призведуть до збільшення наддрібних часток (0,005-0,001 та <0,001

мм). Тому чисте мінеральне удобрення слід застосовувати разом із заходами, які сприяють відновлюванні органічної матриці досліджуваних ґрунтів.

Варіант переліг показав найкращу агрегатну структуру серед усіх варіантів: найвища частка 0,05–0,01 мм (54,58 %) і найменша сума <0,01 мм (8,04 %). Ці показники відображають позитивний ефект від відпочинку ґрунту (природне відновлення органіки) і слугують еталоном для практик, спрямованих на збереження або відновлення структури лісового ґрунту (Рис. 3).

Порівняно з контролем (без добрив), внесення гною (10 т/га) зумовило укрупнення мікроструктури ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту – частка крупного піску 1–0,25 мм зросла приблизно на +1,79 %, тоді як сума дрібних фракцій розміром <0,01 мм зменшилася на -1,94 %.

У варіантах із вапнуванням 1,0 н розрахованою за Нг спостерігалися помірні зміни без чітко вираженого ефекту. Натомість саме інтенсивне мінеральне удобрення ($N_{65}P_{68}K_{68}$) і комбінація з ним, але меншою дозою $N_{30}P_{34}K_{34}$, призвели до істотного зниження частки середньої фракції 0,25–0,05 мм відносно контролю та зростання дрібної 0,05–0,01 мм, що свідчить про фрагментацію структури. Фракції 0,01–0,005 мм і 0,005–0,001 мм залишилися майже на рівні контролю (без добрив), демонструючи незначну чутливість до типу удобрення (Рис. 4).

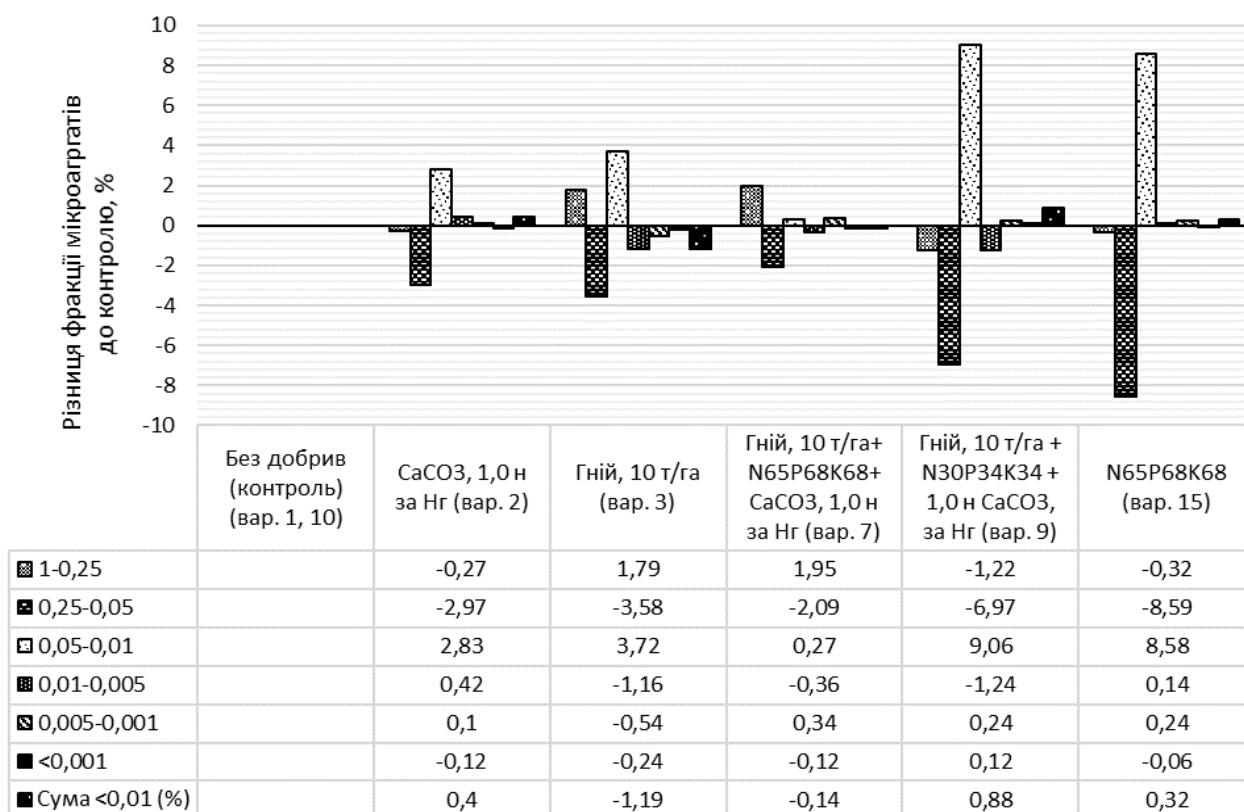


Рис. 4. Різниця по фракціях мікроагрегатів ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту у шарі 0-20 см за різних систем удобрення та періодичного вапнування відносно контролю (без добрив)

Порівняно з контролем, у варіанті органо-мінерального удобрення (10 т/га гною + $N_{65}P_{68}K_{68}$ + 1,0 н $CaCO_3$ за Нг) спостерігалось помірне укрупнення мікроструктури: частка крупного піску 1–0,25 мм зросла на +1,95 %, а сума дрібних фракцій <0,01 мм залишилася практично на рівні контролю ($\Delta = -0,14$ %). Одночасно зберігався баланс між середніми (0,25–0,05 мм) і дрібними (0,05–0,01 мм) фракціями піску та пилу, без різких коливань. Це свідчить, що поєднання органічних і мінеральних добрив у присутності $CaCO_3$ 1,0 н частково компенсує негативний вплив інтенсивного мінерального живлення, стабілізуючи агрегатну структуру ґрунту.

Отже, результати тривалого стаціонарного дослід (закладеного 1965 р.) демонструють послідовну закономірність, а саме: верхній шар ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту на перелозі та під лісом має найстабільнішу структуру мікроагрегатів, тоді як саме органічне удобрення (гній 10 т/га) сприяє укрупненню мікроагрегатів і зниженню частки (суми) фракції розміром – <0,01 мм; застосування самих мінеральних добрив ($N_{65}P_{68}K_{68}$) або вапна (1,0 н за Нг) без органіки підвищує відносну частку наддрібних фракцій <0,01 мм. Тому, для збереження та відновлення мікроагрегатного стану кислих, малопродуктивних ґрунтів рекомендується застосовувати комбіновані системи, де мінеральні добрива та вапно поєднуються з органічними (наприклад, гній 10 т/га), що забезпечить поживний баланс та підтримку стабільності мікроагрегатів.

ТЕХНОЛОГІЇ МЕЛІОРАЦІЇ КИСЛИХ ҐРУНТІВ

Вапнування як засіб докорінного покращання кислих ґрунтів особливо актуальне в умовах приватного агрогосподарювання та ринкової економіки, бо крім безпосереднього підвищення врожайності та ефективності добрив, воно має важливе природоохоронне значення, знижуючи надходження в рослинницьку продукцію радіонуклідів і важких металів. Разом з тим, традиційна технологія хімічної меліорації в умовах ринкової економіки є досить енерговитратною. Тому на сьогодні потрібні принципово нові підходи до вирішення проблеми хімічної меліорації кислих ґрунтів з обов'язковим переходом на ресурсозберігаючі технології.

Основні польові культури за ставленням їх до кислотності ґрунту і внесення вапняних добрив можна поділити на групи, представлені у табл. 5.

5. Стійкість сільськогосподарських культур до кислотності ґрунту

Група	Стійкість	Назви культур
I	Дуже сильна	Люпин, серадела
II	Сильна	Картопля, овес, морква, озиме жито, просо, вика, гречка, кормовий біб, льон
III	Середня	Соняшник, цикорій, кукурудза, горох, яра та озима пшениця, огірки, цибуля, помідори, кормовий буряк
IV	Слабка	Ячмінь, конюшина, люцерна, цукрові буряки, райграс, еспарцет, капуста, соя

Вапнування кислих ґрунтів, безумовно, підвищує собівартість рослинницької продукції. Водночас при обмежених фінансових можливостях для усунення так званого вторинного підкислення ґрунтів фізіологічно та хімічно кислі добрива слід нейтралізувати вапном (табл. 6).

6. Дози вапна для нейтралізації підкислювальної дії азотних добрив

Назва добрив	Хімічна формула	Потрібно CaCO_3 , ц на 1 ц туків
Хлористий амоній	NH_4Cl	1,4-1,6
Сульфат амонію	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1,2-1,4
Аміачна селітра	NH_4NO_3	0,7-1,0
Аміачна вода	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0,4-0,6
Аміак безводний	NH_3	2,2-2,5
Карбамід	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	0,8-1,2
Вуглеамонійні солі	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3, \text{NH}_4\text{HCO}_3$	0,2-0,4

При внесенні суперфосфату та хлористого калію використовують відповідно 0,1 і 0,2 ц вапна на 1 ц кожного з названих добрив.

Проте внесення невеликої кількості вапна не може, звичайно, замінити вапнування повними дозами, яке потрібно проводити на окремих полях сівозміни за повним планом.

Дози вапна встановлюють залежно від рівня кислотності і механічного складу ґрунту. Орієнтовні дози внесення CaCO_3 залежно від рівня $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ та гранулометричного складу ґрунту подано в табл. 7.

7. Дози CaCO_3 в залежності від $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ та гранулометричного складу ґрунту (чисельник – традиційна технологія, знаменник – “підтримуюча”)

Ґрунт	$\text{pH}_{(\text{KCl})}$					
	4,5	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4
Супіщаний	$\frac{3,5}{0,7}$	$\frac{3,0}{0,6}$	$\frac{2,5}{0,5}$	$\frac{2,5}{0,5}$	$\frac{1,5}{0,3}$	$\frac{1,5}{0,3}$
Легкосуглинковий	$\frac{4,5}{0,9}$	$\frac{4,0}{0,8}$	$\frac{3,5}{0,7}$	$\frac{3,0}{0,6}$	$\frac{2,5}{0,5}$	$\frac{2,5}{0,5}$
Середньосуглинковий	$\frac{5,5}{1,1}$	$\frac{5,0}{1,0}$	$\frac{4,5}{0,9}$	$\frac{4,0}{0,8}$	$\frac{3,5}{0,7}$	$\frac{3,0}{0,6}$
Важкосуглинковий	$\frac{6,5}{1,3}$	$\frac{6,0}{1,2}$	$\frac{5,5}{1,1}$	$\frac{5,0}{1,0}$	$\frac{4,5}{0,9}$	$\frac{4,0}{0,8}$

На середньо- та слабокислих ґрунтах вапнування слід проводити за так званою “підтримуючою” технологією. Вона передбачає застосування малих доз вапна для нейтралізації вторинної кислотності, що виникає внаслідок застосування фізіологічно кислих добрив і випадання кислотних атмосферних опадів.

За ступенем потреби у вапнуванні кислі ґрунти поділяють на три групи:

- 1 – сильнокислі: $\text{pH}_{(\text{KCl})} < 4,5$, $\text{pH}_{\text{водне}} < 5,0$;
- 2 – середньокислі: $\text{pH}_{(\text{KCl})} 4,5-5,0$, $\text{pH}_{\text{водне}} 5,0-5,5$;
- 3 – слабокислі: $\text{pH}_{(\text{KCl})} 5,0-5,5$, $\text{pH}_{\text{водне}} 5,5-6,0$.

Сильнокислі ґрунти з $\text{pH}_{(\text{KCl})} < 4,5$ доцільно вивести з орних земель під штучні сіножаті та пасовища зі спеціальним підбором травосумішок, що стійкі і найбільш адаптовані до кислої реакції.

За традиційною технологією вапняні добрива вносять врозкид по всій поверхні ґрунту з подальшим заорюванням. При цьому ефективність вапнування залежить від ступення кислотності ґрунту, дози і виду вапняних добрив, набору культур у сівозміні, рівня удобрення ґрунту. Дуже важливо раціонально поєднувати вапнування з внесенням органічних і мінеральних добрив.

Вапняні добрива потрібно вносити один раз за ротацію сівозміни під попередники культур, найбільш чутливих до кислотності. Як показали дослідження у довготривалому стаціонарному досліді, дворазове внесення вапна за ротацію в половинних дозах за впливом на властивості ґрунту і продуктивність сільськогосподарських культур не мало переваг перед одноразовим вапнуванням повною дозою перед початком кожної з наступних семирічних ротацій.

До прийомів зниження енергозатрат при вапнуванні кислих ґрунтів слід віднести правильний вибір доз і способів внесення вапнякових добрив. Відповідно до чутливості сільськогосподарських культур до кислотності вибирають строки та форми внесення вапняних добрив. Для культур особливо чутливих до підвищеної кислотності найбільш ефективно проводити вапнування під зяблеву оранку або перед луценням стерні. Під цукрові буряки вапно найбільш доцільно вносити з середини серпня до початку жовтня наступного року. Під озиму пшеницю вапнування проводять у червні-липні та на початку серпня.

На досить зв'язаних ґрунтах, особливо в зерново-бурякових сівозмінах, норми вапна доцільно збільшувати на 20-25%, а на піщаних і супіщаних ґрунтах, зокрема, в картопляно-льонарських сівозмінах, - зменшувати на 20-50%. У сівозмінах з житом, картоплею, вівсом на легких ґрунтах недоцільно доводити pH ґрунту вище 5,5-6,0, а в сівозмінах з чутливими до кислотності буряками, ячменем, люцерною, ріпаком, озимою пшеницею слід намагатися довести реакцію ґрунту до 6,5.

На легких ґрунтах доцільно вносити вапнякове борошно, мергель та інші повільнодіючі вапняні добрива, а на важких – палене вапно і вапнякове борошно тонкого помолу. Повільнодіючі (карбонатні) форми вапна сильніше діють на другий і наступні роки після внесення. Тому його краще вносити під культури, які менше потребують вапнування (картопля, жито, овес, льон). В наступні роки дія таких добрив виразніше виявляється на культурах, вимогливих до вапна.

На полях з кислими ґрунтами, вапнування яких на даний час в повному обсязі неможливо провести, потрібно застосовувати малі дози вапна (3-5 ц/га), вносячи його в лунки, в рядки та при передпосівному обробітку під чутливі до

грунтової кислотності і вапняних добрив культури: ячмінь, озиму пшеницю, покривну культуру конюшини, капусту.

На кислих ґрунтах, у першу чергу піщаних і супіщаних, які потерпають від дефіциту магнію, слід використовувати магнієвмісні вапняні матеріали – борошно доломітів і доломітизованих вапняків. Ці добрива в зв'язку з меншою розчинністю діють дещо повільніше, ніж вапнякове борошно. Рекомендується застосовувати у сівозмінах з бобовими культурами, картоплею, льоном і кормовими коренеплодами.

Особливого значення набуває вапнування кислих ґрунтів при застосуванні мінеральних добрив. Фізіологічно і хімічно кислі мінеральні добрива на кислих ґрунтах діють у двох напрямках: збагачують ґрунт на поживні речовини (що зумовлює підвищення врожаю) і погіршують властивості ґрунту (що веде до зниження врожаю).

Важливою ланкою ресурсозбереження є фітомеліорація, що передбачає включення у сівозміну сільськогосподарських культур, що витримують кислу реакцію ґрунту, та утримання від вирощування на таких ґрунтах дуже чутливих до підвищеної кислотності столових, кормових та цукрових буряків, ярого ячменю, озимої пшениці. На ґрунтах з низьким значенням рН слід надати перевагу вирощуванню вівса, жита, люпину. На сірих лісових ґрунтах з близьким заляганням карбонатів у систему чергування культур слід включати такі фітомеліоранти, як люпин, люцерна, конюшина, які здатні “перекачувати” кальцій з нижніх шарів ґрунту у верхні.

Львівщина багата на сировину для вапняних добрив. Тут частими є виходи на поверхню крейдових мергелів з вмістом карбонату кальцію від 60 до 90%. У центральній частині області дуже поширені вапняки, які залягають неглибоко і містять 85-90% CaCO_3 . Крім того, працює ряд підприємств, відходи виробництва яких є цінними вапняними добривами. Це насамперед відходи гірничо-хімічних комбінатів і дефекат цукрових заводів.

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТРИВАЛОГО ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ ТА ВАПНУВАННЯ В СІВОЗМІНІ

Важливим критерієм оцінки кожного агрономічного заходу є його економічна та енергетична ефективність. Економічна ефективність дає можливість враховувати реальні витрати та прибутки і на цій основі розробити найбільш економічно вигідні технології вирощування і удобрення сільськогосподарських культур. Енергетична оцінка дає можливість вибрати найбільш енергозберігаючу систему управління родючістю землі, вона доповнює економічну грошову оцінку та направлена на більш ефективне використання засобів, що виділяються сільському господарству.

Проведені на кінець десятої ротації сівозміни по III полі стаціонарного дослідження розрахунки економічних показників та коефіцієнта енергетичної ефективності, показали, що найвищі показники економічної ефективності –

умовно-чистий дохід, рівень рентабельності витрат та приріст додаткового врожаю було отримано за органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування.

Проведені на кінець одинадцятої ротації сівозміни (ІІІ поле) розрахунки економічних показників та коефіцієнта енергетичної ефективності, показали, що найвищі показники економічної ефективності – умовно-чистий дохід, рівень рентабельності витрат та приріст додаткового врожаю було отримано за органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування.

Так, при сумісному застосуванні у сівозміні органо-мінеральної системи удобрення з внесенням повної дози мінеральних добрив ($N_{65}P_{68}K_{68}$), 10 т/га гною і 1,0 н вапна за Нг, вартість додаткової продукції становила 26476 грн/га, при сумі витрат 18586 грн/га, що забезпечувало одержання 7890 грн/га умовно чистого доходу і рівень рентабельності 42,5 %.

Високий показник умовно чистого доходу 8483 грн/га та рівень рентабельності 69,9 % було отримано у варіанті органо-мінеральної системи удобрення з внесенням 10 т/га сівозмінної площі гною, половинної дози мінеральних добрив ($N_{30}P_{34}K_{34}$) на фоні 1,0 н $CaCO_3$, за Нг.

Одностороннє довготривале застосування мінеральної системи удобрення на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті не забезпечило достатнього приросту врожаю відносно контрольного варіанту, а тому є економічно недоцільним.

У варіанті внесення 1,0 н $CaCO_3$ за Нг витрати на збирання, транспортування і перевезення приросту врожаю були найнижчі і становили 2318 грн., тому показники рівня рентабельності та окупності 1 грн витрат найвищі, і становлять відповідно 168,1 % і 2,68 грн. Внесення у сівозміні 10 т/га сівозмінної площі гною порівняно з вапнуванням знижували рівень рентабельності до 54,8 %. При цьому витрати на внесення гною у три рази вищі. При сумісному застосуванні органічних добрив і вапна було отримано вищий умовно чистий дохід (7890 грн/га), що забезпечує високий рівень рентабельності.

Таким чином, на кислому ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті органо-мінеральна система удобрення на фоні вапнування є найбільш економічно та енергетично ефективним агрозаходом, який забезпечує найвищі показники умовно чистого доходу, окупності однієї гривні затрат, рівня рентабельності та коефіцієнта енергетичної ефективності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Балюк С. А., Трускавецький Р. С. Ґрунтознавство в Україні: досягнення, пріоритети та перспективи. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 12 (825). С. 18–27. DOI: doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-02.
2. Габрієль А. Й., Оліфір Ю. М. Тривалий стаціонарний дослід Інституту сільського господарства Карпатського регіону в контексті його 50-річного функціонування. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2015. Вип. 58. С. 30–40.
3. Гавришко О. С. Роль глобальної мережі тривалих польових сільськогосподарських дослідів (GLTEN) у практичній підготовці здобувачів вищої освіти в галузі сучасних аграрних наук. *Scientific and pedagogical internship* «Development trends in the system of agricultural education: Baltic states' experience» : Internship proceedings (July 3 – August 13, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2023. Р. 9–12.
4. Гаськевич В. Г., Папіш І. Я., Телегуз О. Г. Фізика ґрунтів. Лабораторний практикум / Навчальний посібник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2021. – 170 с.
5. Гаськевич В. Г., Підвальна Г.С. Лабораторно-аналітичні роботи з ґрунтознавства. Львів : Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2006. 96 с.
6. Amelung, W., Tang, N., Siebers, N., Aehnelt, M., Eusterhues, K., Felde, V. J., Totsche, K. U. (2023). Architecture of soil microaggregates: Advanced methodologies to explore properties and functions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. doi.org/10.1002/jpln.202300149.
7. Bulyhin, S., Demydenko, O., Tkachenko, M., Vitvitsky, S., Zadubynna, Y., Lisovyy, M., 2022. State of water-stable soil structure in the Central Forest-Steppe under agrogenic and postagrogenic maintenance. *Agricultural Science and Practice* 9 (2), 3–22. doi.org/10.15407/agrisp9.02.003.
8. Felde VJ, Schweizer SA, Biesgen D, et al. Wet sieving versus dry crushing: Soil microaggregates reveal different physical structure, bacterial diversity and organic matter composition in a clay gradient. *Eur J Soil Sci*. 2021. Vol. 72 (2). p. 810–828. doi.org/10.1111/ejss.13014.
9. IUSS Working Group WRB, 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. *International Union of Soil Sciences (IUSS)*, Vienna, Austria.
10. Lehdorff, E., Rodionov, A., Plümer, L., Rottmann, P., Spiering, B., Dultz, S., & Amelung, W. (2021). Spatial organization of soil microaggregates. *Geoderma*, Vol. P. 386. doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114915.

Науково-практичне видання

**ЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ І ВАПНУВАННЯ, КІЛЬКІСНІ ТА
ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗМІНИ СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНОГО ТА
МІКРОАГРЕГАТНОГО СТАНУ ОСУШУВАНОВОГО ЯСНО-СІРОГО
ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕСНОГО ҐРУНТУ**
(науково-практичні рекомендації)

Підписано до друку __.10.2025.

Формат 30x42/4. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 1,3. Обл.-вид. арк. 1,2.

Тираж 50 прим.

Друкарня Інституту сільського господарства
Карпатського регіону НААН,
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине, Львівський р-н,
Львівська обл., 81115