

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

ПОГОДЖЕНО

Декан агробіологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

(назва кафедри)

В.П. Коваленко

(підпис)

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Д.В. Літвінов

(підпис)

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

__ ” _____ 20__ р.

__ ” _____ 20__ р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Агрохімічна оцінка диференційованого застосування вапнякових
матеріалів на дерново-підзолистих ґрунтах»

Спеціальність: 201 Агронія

(код і найменування)

Освітня програма: Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві

(назва)

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

(освітньо-професійна)

Гарант освітньої програми

доктор с-г наук., професор,

академік НААН України

(науковий ступінь та вчене звання)

Анатолій БИКІН

(підпис)

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доктор с-г наук., професор,

академік НААН України

(науковий ступінь та вчене звання)

Анатолій БИКІН

(підпис)

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Виконав

(підпис)

Анастасія ГАВРИШКО

(ім'я ПРІЗВИЩЕ здобувача)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри агрохімії та якості
продукції рослинництва ім. О.І. Душечкіна
д.с.-г. н., проф. _____ Дмитро ЛІТВІНОВ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)
_____”
_____ 20 _____ року

З А В Д А Н Н Я

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

_____ Гавришко Анастасія Ігорівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 201 Агрономія

Освітня програма: «Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві»
(назва)

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: **«Агрохімічна оцінка диференційованого застосування вапнякових матеріалів на дерново-підзолистих ґрунтах»**

затверджена наказом від _____” _____ 20 _____ р. № _____

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи _____

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. _____
2. _____
3. _____

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання _____” _____ 20 _____ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Анатолій
БИКІН (підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання _____ Анастасія ГАВРИШКО

РЕФЕРАТ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Агрохімічна оцінка диференційованого застосування вапнякових матеріалів на дерново-підзолистих ґрунтах».

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Робота викладена на 58 сторінках друкованого тексту, містить 11 таблиць та 4 рисунків.

У першому розділі «Огляд літератури» розглянуто поняття, інструменти і переваги диференційованого внесення вапнякових матеріалів, детально описано потреби застосування цього прийому для вирощування культурних рослин, а також проаналізовано вплив кислотності на продуктивність сільськогосподарських культур.

Другий розділ «Методика та умови проведення досліджень» містить характеристику ґрунтових та погодньо-кліматичних умов території проведення досліджень (ТОВ «Ма'Рижани», Житомирська обл.). Описано технологію вирощування пшениці в досліджуваному полі, схему досліду з виділенням зон кислотності та застосуванням диференційованого вапнування, а також описано методику проведення польових спостережень та лабораторних аналізів.

У третьому розділі «Результати проведення досліджень» представлено дані дистанційного моніторингу посівів за допомогою програмного забезпечення GeoPard Agriculture, проаналізовано динаміку агрохімічних показників ґрунту в різних зонах продуктивності протягом вегетації, детально висвітлено вплив кислотності поля та диференційованого вапнування на біометричні показники (висота, маса і кількість пагонів), кінцеву врожайність та елементи структури врожаю (кількість колосків у колосі, зерен у колосі, маса 1000 насінин).

У четвертому розділі «Економічна ефективність диференційованого внесення вапнякових матеріалів за вирощування пшениці озимої» проведено

розрахунок вартості валової продукції, виробничих витрат, прибутку, собівартості та рівня рентабельності для всіх варіантів дослідження з метою визначення економічної доцільності застосування диференційованого внесення вапнякових матеріалів.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	10
1.1 Теоретичні основи вапнування та його вплив на окремі показники родючості ґрунту.....	10
1.2 Продуктивність рослин за вапнування ґрунтів	21
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	25
2.1 Ґрунтові умови території проведення досліджень.....	25
2.2 Погодно-кліматичні умови території проведення досліджень.....	26
2.3 Технологічні умови проведення дослідження	29
2.4 Методика проведення досліджень	34
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	38
3.1 Зміна агрохімічних показників дерново-сильнопідзолистого ґрунту за диференційованого внесення вапнякових матеріалів.....	38
3.2 Біометричні показники рослин пшениці озимої за диференційованого внесення вапнякових матеріалів.....	41
3.3 Урожайність та якість зерна пшениці озимої за диференційованого внесення вапнякових матеріалів.....	45
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО ВНЕСЕННЯ ВАПНЯКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ	49
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема збереження та підвищення родючості ґрунтів у сучасних умовах залишається однією з ключових у системі сталого землеробства, особливо на територіях із промивним і періодично промивним типами водного режиму. Виснаження ґрунтового покриву та порушення його буферної здатності під впливом інтенсифікації агровиробництва потребують комплексного підходу до регулювання ґрунтової реакції та балансу елементів живлення.

Хімічна меліорація кислих і близьких до нейтральних за реакцією ґрунтів є одним із базових чинників стабілізації агроєкосистем і підвищення продуктивності сільськогосподарських культур.

За умов інтенсивної хімізації землеробства спостерігається прогресуючі втрати обмінних катіонів унаслідок вилуговування атмосферними опадами, особливо у регіонах із промивним водним режимом, а також через постійне винесення їх із урожаєм. Підвищення доз мінеральних добрив обумовлює зростання втрат карбонатів, адже більшість добрив має фізіологічно кислу дію, що сприяє посиленню розчинності та міграційної здатності сполук кальцію і магнію. Внаслідок цього формується тенденція до вторинного підкислення, скорочується період дії вапнякових матеріалів, знижується ефективність добрив, що у підсумку обумовлює збіднення ґрунтів на обмінні основи та деградації їхньої родючості.

Ґрунтовий покрив зони Полісся представлений переважно дерново-підзолистими ґрунтами, яким притаманна підвищена кислотність і низький рівень насичення основами. В умовах недостатніх темпів проведення вапнування, як одного з найефективніших прийомів відтворення родючості кислих ґрунтів, спостерігається істотне зниження ефективності мінеральних добрив, особливо під культурами, що чутливі до реакції ґрунтового розчину.

Припинення систематичного вапнування через дефіцит фінансового ресурсу спричиняє істотно економічні втрати в рослинництві та поглиблення процесів ґрунтової деградації.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження було встановлення впливу диференційованого вапнування гранульованою крейдою (Тернопільський кар'єр) на окремі агрохімічні властивості дерново-підзолистих ґрунтів та біометричні показники рослин та продуктивність пшениці озимої.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

- провести аналіз агрохімічного стану дерново-підзолистих ґрунтів дослідного поля господарства «Ма'Рижани», зокрема визначити рівень кислотності, вміст обмінних катіонів, буферну здатність та ступінь насичення основами;
- визначити оптимальні дози вапнякових матеріалів для меліорації ґрунтів із різним рівнем кислотності, основні показники гідролітичної кислотності та реакції ґрунтового розчину (рН);
- розробити схему диференційованого вапнування із використанням сучасних технологій просторового аналізу GPS-картографування, агрохімічного картографування та геоінформаційних систем (ГІС);
- провести порівняльну оцінку ефективності традиційного (суцільного) та диференційованого способів внесення вапнякових матеріалів за змінами агрохімічних показників ґрунту;
- дослідити вплив диференційованого вапнування на біометричні показники рослин пшениці озимої: масу рослин, кількість пагонів;
- проаналізувати динаміку вмісту елементів живлення та зміну складу поглинального комплексу ґрунту під впливом гранульованої крейди;
- провести економічну оцінку доцільності застосування диференційованого вапнування в полі під пшеницею озимою.

Об'єкт дослідження: процес зміни агрохімічних властивостей дерново-сильно підзолистих ґрунтів під впливом диференційованого вапнування гранульованою крейдою.

Предмет дослідження: дія різних доз і способів внесення гранульованої крейди (Тернопільський кар'єр) на кислотно-основні показники ґрунту, його поглинальний комплекс, забезпеченість елементами живлення та біометричні параметри рослин пшениці озимої.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути використані агровиробниками при плануванні та впровадженні системи диференційованого внесення вапнякових матеріалів .

Структура та обсяг роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 58 сторінках друкованого тексту, містить 11 таблиць, 4 рисунків. Список використаних джерел включає 40 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Теоретичні основи вапнування та його вплив на окремі показники родючості ґрунту

Останні десятиліття в ґрунтах ріллі спостерігається активне підкислення. Це обумовлюється надмірним застосування мінеральних добрив, переважно азотних, хоча помітний одночасно дефіцит органічних. Окрім того, підвищується винос кальцію з урожаєм та техногенне забруднення атмосфери сполуками азоту, сірки і вуглецю, що сприяє розвитку такого явища, як вторинне підкислення [1].

Характерними ознаками для кислих ґрунтів є: низький вміст гумусу, знижений ступінь насичення основами, підвищена концентрація токсичних форм алюмінію та марганцю, дефіцит основних елементів живлення (азот, фосфор, калій, кальцій та магній) і низька активність ґрунтової мікробіоти. Ці всі фактори окрім того, що обумовлюють погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунту, ще призводять до формування безструктурної ґрунтової товщі, зниження аерації та водопроникливості верхніх шарів [2].

Використання на інтенсивній основі фізіологічно кислих мінеральних добрив на супіщаних та дерново-підзолистих ґрунтах, забезпечує зростання врожайності. Проте одночасно з цим з'являються деякі проблеми: посилюється вилуговування кальцію та магнію та прискорюється деградація родючості. У тандемі ці фактори формують негативну тенденцію до погіршення агрохімічних показників ґрунту, що обумовлює необхідність впровадження системних заходів хімічної меліорації кислих ґрунтів [3].

Для того щоб знизити кислотність ґрунту у землеробстві застосовують природні вапнякові породи та відходи промислового виробництва [4]. Найбільш поширеними є мелений вапняк, крейда, доломіти, мергелі, вапнякові туфи, а також дефекат, флотаційні та торфові попели. Їх умовно поділяють на три групи:

- Тверді вапнякові породи – це такі гірські утворення, які після подрібнення або прожарювання використовують для виготовлення вапнякових добрив. До їхнього складу входять карбонати кальцію (CaCO_3) і магнію

(MgCO_3), а також різні домішки, наприклад, пісок чи глина. Основні родовища таких порід знаходяться у Вінницькій, Житомирській, Івано-Франківській, Хмельницькій, Тернопільській, Львівській, Рівненській, Чернівецькій та Одеській областях. Залежно від вмісту в них кальцію та магнію, розрізняють вапняки, доломітизовані вапняки й доломіти. До цієї групи також належить і крейда [5].

- М'які вапнякові породи або місцеві швидкодіючі меліоранти – це ті матеріали, які можна одразу вносити у ґрунт без додаткової переробки. Вони швидко знижують кислотність і покращують властивості ґрунту. До таких порід належать вапнякові туфи, гажа, мергель, торфотуфи та природне доломітове борошно.

- Відходи промислового виробництва теж можуть бути корисними для вапнування, бо містять карбонати, які сприяють хімічному покращенню ґрунтів.

Перед тим як використовувати тверді вапнякові породи, їх спочатку подрібнюють, щоб отримати вапнякове борошно або випалюють до утворення паленого вапна.

Показник $\text{pH}_{\text{КСІ}}$ вважається універсальним критерієм кислотності ґрунту, оскільки він відображає не лише його фізико-хімічні та агрохімічні властивості, а також інтенсивність різних хімічних реакцій у ґрунтовому середовищі [6]. Значення $\text{pH}_{\text{КСІ}}$ формується завдяки здатності кислотних складових ґрунту віддавати протони (H^+) у розчин. Це може відбуватися через дисоціацію органічних кислот ($\text{RCOON} \rightarrow \text{RCOO}^- + \text{H}^+$) або внаслідок гідролізу катіонів алюмінію ($\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{AlOH}^{2+} + \text{H}^+$).

Варто зазначити, що навіть якщо у ґрунті є велика кількість слабких кислот, вони не завжди впливають на показник $\text{pH}_{\text{КСІ}}$, якщо поруч присутні сильніші кислотні компоненти. Крім того, pH залежить не лише від хімічних властивостей ґрунту, а й від умов проведення аналізу та рівня дисоціації кислот [7].

Кислотність ґрунту — один із головних чинників, що впливає на ріст і розвиток сільськогосподарських культур, адже саме від неї значною мірою залежить рівень родючості ґрунту. Вона характеризує не лише його хімічний стан, а й певною мірою відтворює властивості поглинального комплексу. Саме тому показник pH_{KCl} вважають надійним критерієм, який дає змогу оцінити фізико-хімічні, агрохімічні та навіть біологічні процеси, що відбуваються у ґрунті [8].

У сучасному розумінні кислотність розглядають як здатність ґрунту підкислювати розчин завдяки наявним кислотам і обмінно-поглинутим катіонам водню та алюмінію. Саме вони беруть участь у формуванні гідролітично-кислих солей, які визначають рівень кислотності ґрунтового середовища.

У ґрунті розрізняють дві основні форми кислотності — активну (актуальну) та потенційну (приховану).

Активна кислотність визначається кількістю вільних іонів водню (H^+) і гідроксид-іонів (OH^-) у ґрунтовому розчині. Її формують такі джерела, як вуглекислота, кислі та гідролітично кислі солі, а також розчинні органічні кислоти, що утворюються під час розкладання рослинних решток.

Потенційна кислотність, на відміну від активної, пов'язана з іонами водню, які утримуються колоїдною частиною ґрунту — зокрема гумусом і органо-мінеральними колоїдами. Ці іони можуть переходити у розчин у процесі взаємодії з мінеральними добривами чи іншими хімічними реагентами [9].

Потенційну кислотність поділяють на обмінну та гідролітичну. Обмінна кислотність визначається кількістю іонів водню (H^+) та алюмінію (Al^{3+}), які можуть бути витіснені з ґрунтового поглинального комплексу нейтральними солями, наприклад, 1 н KCl або $NaCl$. У результаті цього вони переходять у розчин і утворюють вільну кислоту. Саме така форма кислотності вважається найбільш шкідливою для культурних рослин, оскільки безпосередньо впливає на засвоєння поживних речовин із ґрунту [10].

Гідролітична кислотність показує, наскільки ґрунт здатний проявляти кислотні властивості при взаємодії з гідролітично лужними солями. Отже, визначення показника pH_{KCl} та розподіл кислотності на активну й потенційну мають важливе значення для оцінки родючості ґрунту. Це також є основою для планування заходів хімічної меліорації, зокрема вибору виду та оптимальної норми внесення вапнякових меліорантів [11].

Кальцій є одним із найпоширеніших елементів у земній корі. Середній його вміст становить близько 3,6 %. Він входить до складу багатьох порід — від ультраосновних і основних до середніх, кислих та осадових. Також кальцій є у складі різних ґрунтових мінералів, серед яких анортит, нефелін, діопсид, родоніт, валастоніт, тремоліт, grosуляр, вермикуліт, кальцит, доломіт, фосфорит, полігаліт, апатит і флюорит [12].

У дерново-підзолистих ґрунтах вміст кальцію зазвичай становить від 0,3 до 0,8 %, і зростає в міру збільшення частки суглинків. У сірих опідзолених ґрунтах цей показник сягає приблизно 1,2 %, а у вилуговуваних чорноземах — близько 3,6 %. За своєю кількістю кальцій належить до другої групи елементів, запаси яких у ґрунті коливаються від дуже малих значень до кількох відсотків.

Кількість обмінного кальцію у ґрунті залежить від його гранулометричного складу. Так, у піщаних ґрунтах міститься приблизно 150–300 кг/га СаО, у супіщаних — близько 450–600 кг/га, а у важкосуглинкових цей показник може сягати навіть 3600 кг/га [13].

За даними Кірсанова, втрати кальцію з підзолистих ґрунтів змінюються в межах від 147 до 600 кг/га за рік. Це залежить від багатьох факторів — умов вирощування культур, складу ґрунту, його кислотності, вмісту кальцію й магнію, а також від виду культур і проведених технологічних заходів.

Найчастіше кальцій втрачається через вилуговування — коли атмосферні опади вимивають його за межі ґрунтового профілю. За результатами лізіметричних досліджень, з орних ґрунтів може вимиватися до 300–400 кг/га СаСО₃ і до 100 кг/га MgСО₃, що є значно більшими втратами порівняно з іншими макроелементами [14].

Інтенсивне землеробство, у якому широко використовують фізіологічно кислі мінеральні добрива, справді допомагає підвищити врожайність культур. Проте такий підхід має і зворотний бік — він підсилює рухомість кальцію та магнію, сприяє їх вимиванню з ґрунту, а також обумовлюють до його підкислення. Через це поступово погіршуються фізико-хімічні та мікробіологічні властивості ґрунтів.

Такі втрати кальцію й магнію порушують іонну рівновагу ґрунтового розчину, підвищують активність рухомого алюмінію, посилюють як актуальну, так і потенційну кислотність. У підсумку знижується насиченість ґрунту основами, виникає дефіцит магнію, і це зрештою негативно позначається на родючості ґрунтів та врожайності сільськогосподарських культур [3,15].

Отже, дуже важливо постійно стежити за тим, як змінюється структура поглинального комплексу ґрунту залежно від рівня удобрення та вапнування. Такий моніторинг допомагає краще розуміти ґрунтові процеси, підвищувати врожайність культур і підтримувати родючість. Крім того, це дає можливість розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо правильного поєднання мінеральних добрив із меліорантами, що особливо актуально в сучасних економічних умовах.

Потребу у повторному вапнуванні кислих ґрунтів визначають на основі балансу надходження і втрат кальцію та магнію. Хоча зазвичай найбільше уваги приділяють балансу азоту, фосфору й калію, не менш важливо враховувати й баланс кальцію та магнію. Саме ці елементи відіграють значну роль у збереженні родючості ґрунтів, особливо за умов інтенсивного землеробства. Вміст кальцію та магнію у ґрунті зазвичай вищий, ніж інших макроелементів, і їх запасів у більшості типів ґрунтів (крім піщаних) достатньо, щоб забезпечити потреби рослин [12,16].

Баланс кальцію та магнію визначають як різницю між кількістю цих елементів, що надходять у ґрунт, і їх витратами рослинами за певний період. При цьому враховують також поглинання ґрунтовим вбирним комплексом

(ГВК) та нейтралізацію кислотності, яка відбувається під дією фізіологічно кислих мінеральних добрив [17].

Головним джерелом надходження кальцію та магнію у ґрунт є вапнування, хоча певну кількість цих елементів можуть додатково забезпечувати органічні та мінеральні добрива [1].

Втрати кальцію й магнію пов'язані переважно з винесенням їх урожаєм. Для зернових культур ці втрати незначні, а от для бобових, коренеплідних і овочевих — досить великі. Під час розрахунків враховують урожайність кожної культури та вміст Ca і Mg у зібраній продукції. При цьому кількість карбонатів у врожаї переводять у CaO та MgO, а якщо ґрунт вапнований — цей показник збільшують приблизно на 20 % [18].

Окремо оцінюють витрати кальцію, який використовується для нейтралізації кислотності ґрунту. Такі витрати не вважають прямими, адже кальцій, що прореагував із ґрунтом, залишається у водорозчинній або обмінній формі у складі ґрунтового вбирного комплексу. Проте його нейтралізуюча дія вже не впливає на показник рН ґрунтового розчину.

Від'ємний баланс кальцію в ґрунті виникає тоді, коли одночасно відбувається нейтралізація великої кількості азотних добрив, отримується високий урожай і, відповідно, зростає винесення кальцію з рослинною продукцією. Такі умови поступово виснажують запаси кальцію та магнію у ґрунті, тому дуже важливо регулярно контролювати їхній рівень і вчасно проводити повторне вапнування. Це допомагає підтримувати оптимальну родючість кислих ґрунтів і запобігати подальшому їх підкисленню [19].

Кислотність ґрунту — це один із головних факторів, який визначає продуктивність сільськогосподарських культур. Від її рівня залежить доступність поживних речовин, активність ґрунтових мікроорганізмів, розвиток кореневої системи та ефективність дії добрив. Особливо актуальною ця проблема є для дерново-сильно підзолистих ґрунтів, адже вони природно мають підвищену кислотність, невисокий вміст обмінних основ і слабкі буферні властивості [20].

За результатами агрохімічних досліджень, значна частина таких ґрунтів має показник рН у межах 4,5–5,2, що є нижчим за оптимальні значення для більшості культурних рослин.

Підвищена кислотність ґрунту істотно впливає на перебіг хімічних процесів у ґрунтовому розчині. Коли рН знижується нижче 5,5, відбувається вивільнення іонів алюмінію (Al^{3+}) із глинистих мінералів. У такій формі алюміній стає токсичним для рослин: він гальмує поділ клітин у кореневій меристемі, сповільнює утворення корневих волосків і порушує засвоєння поживних речовин та води. Усе це обумовлює, пригнічення росту та зниження врожайності [21].

У кислих ґрунтах, крім алюмінію, часто спостерігається підвищена рухомість марганцю (Mn^{2+}). Цей елемент потрібний рослинам у малих кількостях, але коли його стає забагато, він проявляє токсичну дію. Надлишок марганцю викликає хлороз і некрози листків, пригнічує процес фотосинтезу та порушує роботу ферментних систем клітин. Разом із іоном алюмінію (Al^{3+}) марганець є однією з основних причин зниження біологічної продуктивності культур на кислих ґрунтах [22].

Ще одна важлива проблема підвищеної кислотності — зменшення доступності поживних речовин. Наприклад, фосфор, який є одним із ключових елементів живлення, у кислому середовищі переходить у малорозчинні сполуки з алюмінієм і залізом, через що стає недоступним для рослин. Також знижується вміст кальцію та магнію в ґрунтовому розчині — частково через вимивання, частково через їхнє витіснення іонами водню. У результаті це викликає дисбаланс елементів живлення, навіть якщо мінеральні добрива вносяться у достатній кількості [23].

Кисле середовище негативно впливає і на розвиток кореневої системи. Рослини утворюють коротші, менш розгалужені корені, через що зменшується площа контакту з ґрунтом і погіршується поглинання води та поживних речовин. Усе це обумовлює, уповільнення росту, зниження інтенсивності утворення генеративних органів і, зрештою, врожайності. Польові

спостереження показують, що навіть зниження рН ґрунту всього на одиницю може призвести до втрати врожаю на 20–50 % залежно від культури [24].

Підвищена кислотність негативно впливає не лише на рослини, а й на ґрунтову мікробіоту. У кислому середовищі значно зменшується активність нітрифікуючих бактерій, пригнічується симбіотична азотфіксація у бобових культур і сповільнюється процес мінералізації органічної речовини. Через це природне живлення рослин погіршується, і для отримання запланованого врожаю доводиться вносити більші дози мінеральних добрив. Але навіть вони діють менш ефективно, оскільки в кислому ґрунті коефіцієнт засвоєння добрив помітно знижується [25].

Оптимальний рівень кислотності для більшості сільськогосподарських культур становить рН 5,5–6,5. Саме в цьому діапазоні поживні елементи найбільш доступні для рослин, мікробіологічна активність є найвищою, а токсична дія алюмінію та марганцю не проявляється. Проте на дерново-сильно підзолистих ґрунтах такі значення трапляються рідко, тому виникає потреба у регулюванні кислотності шляхом проведення агрохімічних заходів, зокрема вапнування [26].

Слід враховувати, що ступінь впливу кислотності на рослини залежить від типу ґрунту, його гранулометричного складу, кількості органічної речовини, а також від виду та біологічних особливостей культур. Наприклад, бобові культури, ріпак і цукрові буряки більш чутливі до низьких значень рН, тоді як жито або гречка краще переносять підвищену кислотність. Тому при плануванні сівозміни на кислих ґрунтах потрібно враховувати не лише видову належність, а й сортові особливості культур [27].

Отже, підвищена кислотність ґрунтів, особливо дерново-сильно підзолистих, є одним із основних чинників, що обмежує урожайність сільськогосподарських культур. Вона спричиняє токсичну дію іонів алюмінію та марганцю, зменшує доступність поживних елементів, пригнічує розвиток кореневої системи й порушує біологічну рівновагу в ґрунті [28].

Розуміння цих процесів має велике значення для впровадження ефективних агротехнічних прийомів, зокрема вапнування, яке допомагає нормалізувати показник рН, покращити властивості ґрунту й підвищити продуктивність агроecosystem [29].

Вапнякові матеріали — це джерела карбонатів кальцію та магнію, до яких належать вапнякове борошно, доломіт, кальцій-карбонат і гашене вапно. Їх використовують для регулювання кислотності ґрунту та покращення його агрохімічних властивостей. Наукові дослідження підтверджують, що внесення таких матеріалів викликає низку позитивних хімічних і біологічних змін у ґрунтовому середовищі, які загалом сприяють підвищенню врожайності сільськогосподарських культур [30].

Передусім варто відзначити, що вапнякові матеріали знижують кислотність ґрунту. При використанні карбонатних сполук кальцію або магнію відбувається нейтралізація надлишкових іонів водню, зменшується концентрація обмінного та розчинного алюмінію (Al^{3+}), а також знижується активність марганцю (Mn^{2+}) у кислому середовищі. Усе це сприяє підвищенню рН ґрунтового розчину і поліпшує засвоєння макро- та мікроелементів рослинами.

Окрім зменшення кислотності, вапнякові матеріали, особливо доломіт і ті, що містять магній, слугують також джерелом кальцію та магнію як поживних елементів. За результатами досліджень AGRO-систем, після вапнування спостерігається збільшення вмісту обмінного кальцію і магнію у ґрунті, що позитивно впливає на його структуру, водний режим і процеси обміну катіонів. У підсумку встановлено, що вапнування в середньому підвищує врожайність культур приблизно на 36 %, завдяки кращій доступності поживних елементів і зменшенню токсичності іонів алюмінію (Al^{3+}) та марганцю (Mn^{2+}).

Ще один важливий ефект вапнування — це активізація мінералізації органічної речовини, тобто її перетворення у доступні для рослин форми. У кислому середовищі частина органічної речовини залишається

важкодоступною для мікроорганізмів, бо перебуває у зв'язку з оксидами алюмінію та заліза. Після вапнування створюються більш сприятливі умови для діяльності ґрунтової мікробіоти: підвищення рН зменшує токсичність іонів, активізує ферменти та сприяє зростанню біомаси мікроорганізмів.

У результаті прискорюється розклад органічних решток, а також збільшується вміст мінерал-асоційованого органічного вуглецю — це сприяє стабілізації вуглецю в ґрунті і покращенню його родючості.

Агрохімічна дія вапнякових матеріалів проявляється також у покращенні засвоєння фосфору та калію. У кислому ґрунтовому середовищі фосфор зв'язується з іонами алюмінію (Al^{3+}) та заліза (Fe^{3+}), утворюючи малорозчинні сполуки, які стають малодоступними для рослин. Після вапнування, коли рН підвищується, цей процес фіксації послаблюється, тому кількість обмінного фосфору у ґрунті зростає [31].

Крім того, калій краще утримується у ґрунті за помірною рівня рН: зменшується його вимивання, а ефективність мінеральних добрив помітно підвищується. Подібні результати описані в численних наукових роботах, зокрема в огляді “Effects of liming on soil biota and related processes in agroecosystems”, де підкреслено позитивний вплив вапнування на поживний режим і біологічні процеси в агроєкосистемах.

Ґрунтовий покрив у сільськогосподарських угіддях завжди має певну просторову неоднорідність, тому підхід до внесення вапнякових матеріалів повинен бути диференційованим. Основними причинами цієї різниці є природні фактори, зокрема мікрорельєф ділянки, який впливає на розподіл вологи, інтенсивність вивітрювання і процеси ґрунтоутворення. Навіть невеликі перепади висоти в межах одного поля можуть обумовлює відміни у вологості ґрунту, а це, у свою чергу, впливає на окисно-відновні процеси, активність мікроорганізмів і хімічний склад ґрунтового розчину. В підсумку змінюється рівень рН та концентрація іонів водню (H^+), алюмінію (Al^{3+}) та інших металів, які формують кислотність [32].

Не менш важливим є тип ґрунту, адже різні горизонти відрізняються гранулометричним складом, кількістю органічної речовини, буферністю та здатністю до нейтралізації кислот. Для дерново-сильнопідзолистих ґрунтів характерна підвищена кислотність і навіть у межах одного поля спостерігається помітна різниця рН через нерівномірне накопичення органічної речовини або різну глибину промивання профілю [5,33].

Великий вплив має і господарська діяльність. Система обробітку може перемішувати верхні шари ґрунту, але не завжди забезпечує хімічну однорідність. Крім того, історія удобрення — особливо нерівномірне внесення азотних і фосфорних добрив — часто створює локальні зони підвищеної або зниженої кислотності, що позначається на врожайності культур [8,12].

Через це кожна ділянка має свої унікальні умови, і рівень кислотності змінюється просторово. Використання однакових доз вапнякових матеріалів на всій площі без урахування цих відмін може бути неефективним: у деяких зонах спостерігається недовапнування, а в інших — надмірне внесення, яке не тільки збільшує витрати, але й може порушувати мікробний баланс або погіршувати засвоєння мікроелементів.

Саме тому важливо проводити систематичний аналіз просторової мінливості ґрунтів, враховуючи мікрорельєф, тип ґрунту, історію обробітку та удобрення. Це дозволяє створювати картограми кислотності, які використовуються для точного розрахунку доз вапнякових матеріалів у кожній конкретній зоні. Сучасні агротехнології активно використовують геоінформаційні системи (ГІС) і дистанційне зондування, що значно підвищує точність і ефективність диференційованого вапнування [34,35].

Таким чином, урахування неоднорідності ґрунтового покриву є основою сучасних підходів до внесення вапна. Це не лише підвищує врожайність і покращує властивості ґрунту, а й сприяє збереженню його родючості в довгостроковій перспективі.

Крім того, одним із важливих ефектів дії вапнякових матеріалів є активізація мікробіологічної діяльності. При підвищенні рН зростає активність

ферментів, які беруть участь у колообігу вуглецю, азоту й фосфору — зокрема фосфатази, протеази та оксидазних ферментів. Це допомагає органічній речовині швидше переходити у форми, доступні для рослин [36].

Дослідження кислих ґрунтів показали, що після вапнування підвищується активність позаклітинних ферментів, пов'язаних із фосфатами й окисними процесами, змінюється структура мікробного співтовариства у напрямі збільшення бактеріальної біомаси та зменшення негативного впливу кислотності [37].

Слід зазначити, що ефективність вапнування залежить від багатьох факторів — передусім від типу ґрунту, його гранулометричного складу, вмісту глини та органічної речовини. Важливу роль відіграють також доза внесення, вид вапнякового матеріалу (наприклад, доломіт чи кальцій-карбонат), а також умови зволоження та наявність додаткових добрив. Для дерново-сильно підзолистих ґрунтів, які мають низьку буферність, ефект від вапнування проявляється швидше, проте може швидше й зникати, якщо не підтримувати структуру ґрунту й рівень органічної речовини [38].

У підсумку, агрохімічна дія вапнякових матеріалів проявляється через комплекс позитивних змін: зменшення кислотності, підвищення вмісту обмінного кальцію та магнію, покращення засвоєння фосфору й калію, активізацію мікробіологічних процесів та пришвидшення мінералізації органічної речовини. Усе це створює сприятливі умови для росту й розвитку рослин, сприяє підвищенню врожайності, особливо на кислих ґрунтах, таких як дерново-підзолисті.

1.2 Продуктивність рослин за вапнування ґрунтів

Реакція культур на вапнування урожаєм є одним із головних показників ефективності заходів хімічної меліорації кислих ґрунтів, зокрема дерново-сильно підзолистих. Вона показує, наскільки агротехнічні дії здатні впливати на продуктивність культур через покращення хімічних, фізичних і біологічних властивостей ґрунту [39].

Результати чисельних досліджень, як українських, так і зарубіжних науковців, підтверджують: за правильного підбору дози вапнякових матеріалів спостерігається істотне підвищення врожайності більшості культур, що вирощуються на кислих ґрунтах [6,10].

На сьогодні загальновідомо, що чутливість рослин до кислотності є різною. Більшість польових культур, зокрема зернові (пшениця, ячмінь, тритикале), бобові (горох, соя) та олійні (ріпак) — позитивно реагують на зменшення кислотності ґрунту. Це пояснюється кількома факторами: зменшенням токсичної дії іонів алюмінію (Al^{3+}) та марганцю (Mn^{2+}), кращою доступністю поживних елементів (особливо фосфору й калію) і покращенням умов для розвитку кореневої системи.

У багатьох польових дослідах урожайність культур на провапнованих ґрунтах збільшувалася на 20–40 % порівняно з невапнованими ділянками. Наприклад, за результатами довготривалих експериментів у Великій Британії (Long-Term Liming Experiments), підвищення рН ґрунту з 4,8 до 6,2 шляхом внесення $CaCO_3$ забезпечувало стабільне зростання врожайності пшениці озимої [37].

Подібні результати підтверджені й в умовах України. Так, на дерново-сильнопідзолистих ґрунтах західного Полісся при внесенні вапнякових матеріалів у нормі 1,5 т/га (за гідролітичною кислотністю) врожайність пшениці озимої зросла на 0,8–0,9 т/га порівняно з контролем. Водночас надмірне вапнування, тобто перевищення оптимальних доз, може мати зворотний ефект — спостерігається фіксація фосфору або нестача мікроелементів, зокрема бору та марганцю. У деяких дослідах перевищення дози понад 2,0 т/га гідролітичною кислотністю, обумовило до зниження врожайності на 5–10 %. Що підкреслює необхідність обґрунтованого підходу до вапнування.

Велику роль відіграє початковий рівень кислотності ґрунту. Найвищу реакцію урожаєм на вапнування спостерігали за рН 4,0–4,5. Якщо ж рН перевищував 5,5, ефект був менш помітний і частіше проявлявся не у зростанні

кількості врожаю, а в покращенні його якості. Крім того, важливим є тип вапнякового матеріалу: найефективнішими вважаються тонкоподрібнені доломітові породи, які містять як кальцій, так і магній. Вони позитивно впливають на фізіологічні процеси рослин та забезпечують більш стабільну реакцію на внесення [16].

Урожайність сільськогосподарських культур значною мірою залежить від технологічних умов, зокрема від системи удобрення. Сучасні дослідження показують, що вапнування найбільш ефективно за поєднання з мінеральними добривами. Найбільш виражений синергічний ефект спостерігається за одночасного внесення вапна та фосфорних добрив, адже на кислих ґрунтах фосфор перебуває у формах, які рослини не можуть засвоїти.

Коли кислотність нейтралізується, знижується фіксація фосфатів алюмінієм і залізом, тому підвищується коефіцієнт використання фосфору. Подібні результати підтверджено у багатьох країнах. Наприклад, в Ефіопії, у гірських умовах, урожайність пшениці зростає більш ніж на 130 % при одночасному внесенні вапна та фосфорних добрив [39].

Ефект вапнування має тривалу дію. Вапно позитивно впливає на врожайність не лише у рік проведення, а й упродовж 3–5 наступних років. Проте з часом його ефективність поступово знижується через вимивання кальцію, його переміщення у глибші шари або повторне підкислення ґрунту внаслідок природних і біологічних процесів. Саме тому важливо регулярно контролювати рН ґрунту та своєчасно коригувати норми внесення вапнякових матеріалів, щоб підтримувати оптимальні умови для росту і розвитку рослин [22].

Ще одним важливим фактором, який впливає на реакцію культур урожаю, є спосіб внесення вапна. Найпоширенішим методом є поверхневе внесення з подальшим заробленням у верхній орний шар. Проте за умов високої кислотності та низької буферності ґрунтів ефективнішим може бути глибше внесення — у підорний шар. Дослідження показують, що локальне

внесення вапна безпосередньо в рядки або у зону розвитку кореневої системи дає змогу підвищити ефективність навіть при менших дозах препарату [24].

Узагальнюючи наведені дані, можна зробити висновок про те, що реакція культур - на вапнування урожаєм є комплексним показником, який відображає ефективність агрохімічних заходів. Вона залежить від фізико-хімічних властивостей ґрунту, біологічних особливостей культур, типу та дози вапнякового матеріалу, способу внесення, а також поєднання з іншими агрозаходами [40].

Для дерново-підзолистих кислих ґрунтів, що характерні для багатьох регіонів Полісся, вапнування є не просто доцільним, а необхідним прийомом, який забезпечує стабілізацію родючості, покращення умов живлення рослин і підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь [18].

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Ґрунтові умови території проведення досліджень

Полеві дослідження проводилися на території господарства ТОВ «Ма'Рижани» розташованого в межах Житомирської області Житомирського району, поблизу села Рижани. Цей регіон знаходиться в зоні Полісся України, що визначає його характерні ґрунтово-кліматичні особливості.

Територія характеризується поширенням переважно дерново-підзолистих і дерново-підзолистих ґрунтів, що сформувалися на водно-льодовикових і моренних відкладах під покривом змішаних лісів у помірно вологих кліматичних умовах. Основні процеси ґрунтоутворення (дерновий і підзолистий) зумовили формування профілю з характерним вимиванням основ, низьким вмістом гумусу, слабкою текстурою та високою кислотністю.

Дослідження проводилися на дерново-підзолистих ґрунті, яким сформувався переважно на легкосуглинкових і супіщаних породах. Його профіль має добре виражену елювіально-ілювіальну диференціацію (рис. 2.1):



Ne (дерновий горизонт) – темно-сірий або сірий, пухкий, зернистої структури, потужністю 15-20 см;

E (підзолистий горизонт) – світло-сірий, часто з білуватим відтінком, слабо зв'язаний, потужністю 10-20 см;

Ie (ілювіальний горизонт) – бурий або жовтувато-бурий, ущільнений, з іржавими плямами оксидів заліза;

I (материнська порода) – супісок або легкий суглинок, з елементами пісню та гравію.

Рис. 2.1 Ґрунтовий профіль дерново-підзолистого ґрунту дослідного поля, 2025 р.

Нами встановлено, що ґрунт дослідної ділянки характеризувався в основному низькими діапазонами агрохімічних і фізико-хімічних показників (табл 2.1)

Таблиця 2.1

**Агрохімічні і фізико-хімічні показники
ґрунту дослідного поля, 2025 р.**

Показник	Одиниці вимірювання	Інтервал показника	Градація показників
Вміст гумусу (за Тюрнімом)	%	1,2-0,7	низький
pH (водна витяжка)	од. pH	5,1-5,3	слабокислий
pH (сольова витяжка)	од. pH	4,7-4,9	середньокислий
Гідролітична кислотність	мг-екв/100 г	4,1-5,8	кисла
Сума увібраних основ	мг-екв/100 г	6,0-7,5	низька
ЄКО	мг-екв/100 г	13,4-16,2	середня
Ступінь насичення основами	мг-екв/100 г	63-71	середня
Вміст: легкогідролізованого азоту	мг/кг	22,3-22,6	дуже низький
рухомого фосфор (за Кірсановим)	мг/кг	45-50	низький
обмінного калію (за Кірсановим)	мг/кг	75-80	низький

За даними табл 2.1, ґрунт характеризувався підвищеною кислотністю. Показники pH водної витяжки становили 5,1–5,3 (слабокисла реакція), а сольової — 4,7–4,9 (середньокисла реакція). Це свідчить про необхідність проведення вапнування для нейтралізації кислотності та поліпшення умов живлення рослин.

Гідролітична кислотність перебувала у межах 4,1–5,8 мг-екв/100 г, що підтверджує кислий характер ґрунту. Сума увібраних основ є низькою (6,0–7,5 мг-екв/100 г), що вказує на слабку насиченість ґрунтового вбирного комплексу

катіонами кальцію і магнію. При цьому ступінь насичення основами на рівні 63–71 % свідчить про середній рівень забезпеченості.

Показник ЄКО (ємність катіонного обміну) знаходиться в межах 13,4–16,2 мг-екв/100 г, що відповідає середньому рівню буферності. Це означає, що ґрунт має обмежену здатність протидіяти підкисленню, тому за інтенсивного землеробства його кислотність може швидко зростати.

За вмістом елементів живлення ґрунт є малородючим: вміст легкогідролізованого азоту є дуже низький (22,3–22,6 мг/кг), рухомого фосфору низький (45–50 мг/кг), обмінного калію теж низький (75–80 мг/кг).

Такі показники свідчать про недостатнє забезпечення рослин основними елементами живлення.

У цілому цей ґрунт можна охарактеризувати як дерново-сильно підзолистий із кислою реакцією, низьким умістом гумусу (1,2–0,7 %) та низьким рівнем забезпеченням поживними речовинами. Для підвищення родючості необхідно провести вапнування, а також застосовувати органо-мінеральну систему удобрення з обов'язковим внесенням азотно-фосфорно-калійних добрив і органічної речовини для покращення структури та буферних властивостей ґрунту.

2.2 Погодно-кліматичні умови території проведення досліджень

За багаторічними даними Житомирської метеостанції, середньорічна температура повітря становить +7,1...+7,4 °С. Найхолоднішим місяцем є січень (–5,8 °С), а найтеплішим — липень (+18,8 °С). Середня тривалість безморозного періоду сягає 150–165 діб, що створює сприятливі умови для вирощування озимих і ярих зернових культур. Клімат регіону забезпечує достатній рівень вологозабезпечення, хоча іноді спостерігаються весняні та літні посухи, які негативно впливають на ріст і розвиток пшениці озимої, особливо на підкислених ґрунтах.

Річна кількість опадів становить у середньому 620–680 мм, з яких близько 70 % припадає на теплий період року (квітень–серпень) (табл. 2.2). Найбільша

кількість опадів спостерігається у червні–липні, що частково збігається з періодом активної вегетації пшениці озимої. У зимовий період переважають опади у вигляді снігу, сніговий покрив утримується 60–80 днів, із середньою висотою 10–18 см.

Таблиця 2.2

Середньомісячні температури повітря та кількість опадів на території проведення досліджень (за даними Житомирської метеостанції), 2025 р.

Місяць	Середня температура, °С	Кількість опадів, мм	Відхилення від норми, %
Січень	–4,8	45	+5
Лютий	–2,6	38	–10
Березень	+2,5	58	+12
Квітень	+11,8	46	–8
Травень	+16,2	48	–15
Червень	+19,3	98	+25
Липень	+20,1	94	+10
Серпень	+18,5	67	0

У 2025 році метеорологічні умови загалом відповідали середньобогаторічним показникам, хоча спостерігалися певні відхилення. Зима 2024/2025 рр. була помірно м'якою, із частими відлигами та короткочасними морозами до –12...–15 °С. Завдяки достатньому сніговому покриву перезимівля пшениці озимої пройшла задовільно, без помітних ушкоджень(табл. 2.2).

Весна 2025 настала на 5–7 днів раніше звичайних термінів. У березні погода була нестійкою — чергувалися теплі та холодні періоди з частими дощами. У квітні температура піднялася до +12...+15 °С, що сприяло відновленню вегетації рослин пшениці озимої. У травні середньомісячна температура перевищувала норму на 1,5–2,0 °С, проте спостерігався дефіцит вологи, що дещо пригнічувало ріст на невапнованих ділянках.

Літо 2025 року було помірно теплим і вологим. Середньомісячна температура червня становила +19,3 °С, а липня — +20,1 °С. Опадів у червні випало на 20–25 % більше від норми, у липні — на 10 %. Такі умови сприяли

активному росту, формуванню повноцінного колосу та зерна високої натури. На ділянках без вапнування відмічалось слабше кущення та менша густина стеблостою, що підтверджує вплив кислотності ґрунту на фізіологію рослин.

2.3 Технологічні умови проведення досліджень

Польовий дослід був закладений на території землекористування ТОВ «Ма'Рижани», Житомирського району, Житомирської області (рис. 2.2). Цей регіон відноситься до зони Полісся України.



Рис. 2.2 Територія землекористування господарства, 2025р.

Посівний матеріал пшениці озимої сорту Sailor використовували від компанії Syngenta.

Основні характеристики сорту Sailor (рис. 2.3):

- сорт інтенсивного типу, забезпечує кращі результати на полях з високим агрохімічним фоном та після кращих попередників.
- середньостиглий. Це робить його універсальним сортом для вирощування з зонах Лісостепу і Полісся, дозволяючи оптимізувати терміни посіву та збору врожаю.

- Sailor демонструє високий та стабільний рівень урожайності за сприятливих умов вирощування та дотримання агротехніки.
- сорт характеризується відмінною посухостійкістю, що є критично важливим для зон із недостатнім зволоженням.



Рис. 2.3 Поле пшениці озимої сорту Sailor, 2025 р.

Перед проведенням основного обробітку на полі проводили вапнування ґрунту з метою нейтралізації кислотності, покращення фізико-хімічних властивостей і підвищення ефективності мінерального живлення. Для цього застосовували гранульований вапняк Тернопільського кар'єру із вмістом CaCO_3 — 96 %. Норма внесення коливалась в діапазоні 5,7 – 6,4 т/га, що забезпечує довготривалу дію та стабілізацію реакції ґрунтового розчину.

Внесення проводили розкидачем AMAZONE ZG-B 8200, призначеним спеціально для роботи з вапняковими матеріалами та мінеральними добривами. Машина обладнана транспортерним дном і дисковим розкиданням, що забезпечує:

- рівномірність розподілу по ширині захвату до 16 м;
- можливість точного дозування у діапазоні від 200 кг/га до 4 т/га;
- стабільну подачу навіть вологого або порошкоподібного вапна;
- налаштування швидкості транспортерної стрічки залежно від заданої норми.

Розкидач агрегували з трактором New Holland T8, що дозволяло підтримувати робочу швидкість 8–10 км/год за високої продуктивності. Після внесення вапна через 5–7 днів проводили оранку на глибину 20–22 см за допомогою плуга Kuhn Master 183. Це сприяло рівномірному перемішуванню вапна з орним шаром та активізації його нейтралізуючої дії.

Попередником культури був ріпак озимий, після збирання якого проводили лушення стерні дисковим агрегатом Väderstad Carrier CR400 на глибину 6–8 см для подрібнення решток і часткового руйнування післяжнивної кірки. Ця технологічна операція була проведена після внесення меліоративного продукту, що сприяло бути рівномірному його розподілу в орному шарі. Одразу після цього здійснювали обприскування біодеструктором стерні у дозі 2,5 л/га та 200 л/га робочого розчину для активізації мікробіологічного розкладання решток ріпаку та зниження інфекційного фону.

Передпосівний обробіток здійснювали комбінованим агрегатом «Європак» на глибину 4–5 см. Робочі органи агрегату забезпечували подрібнення грудок, вирівнювання поверхні поля та формування дрібногрудкуватої структури посівного шару. Такий тип обробітку дозволяв створити оптимальну щільність ґрунту (1,1–1,2 г/см³) у зоні загортання насіння, що сприяло швидкому набухання зерна й рівномірним сходдам.

Після культивуації проводили коткування кільчасто-шпоровими котками, що сприяло ущільненню посівного шару, кращому контакту насіння з ґрунтом і

збереженню вологи, особливо важливої для легких піщаних ґрунтів. На цих ґрунтах будь-яке розпушування спричиняє інтенсивне випаровування, тому передпосівна культивуація і сівба виконувалися в один день.

Таким чином, передпосівний обробіток під пшеницю озиму на піщаних ґрунтах був спрямований на вирівнювання поверхні поля, збереження вологи в орному шарі та створення сприятливих умов для дружного проростання насіння.

Сівбу проводили наприкінці жовтня сівалкою Horsch Pronto 6 DC.

Норма висіву становила 4,5 млн схожих зерен/га, що відповідає оптимальній густоті стояння рослин для піщаних ґрунтів, де надмірне загущення може обумовлювати до конкуренції за вологу.

Глибина загортання насіння — 4–5 см, залежно від вологості верхнього шару.

Перед висівом насіння протруювали препаратом Мега Врожай Старт та фунгіцидом Комбо для захисту від комплексу насінневих та ґрунтових інфекцій та забезпечення продуктивних сходів.

Додатковим заходом була інокуляція насіння пшениці озимої (безпосередньо в день посіву) препаратом Інокула Еко так як посів культури був дещо пізнім.

Система удобрення формувалася з урахуванням легкого гранулометричного складу ґрунту, низької вологоутримувальної здатності та підвищеного ризику вимивання елементів живлення. Тому добрива вносили у кілька етапів протягом вегетації, поєднуючи ґрунтове та позакореневе живлення.

- 100 кг/га каліймагnezії (K+Mg) — як джерело калію, який покращує стійкість рослин до посухи та підвищує вміст білка в зерні, а також магнію, необхідного для фотосинтезу;
- 100 кг/га діамонійфосфату (ДАФ) — для забезпечення запасу легкодоступного фосфору та частини азоту в осінній період.

Таке поєднання дозволяло створити стартовий запас макроелементів у зоні майбутнього розміщення кореневої системи та активізувати процеси осіннього кушення.

Перед внесенням добрив ґрунт був провапнований, що забезпечило оптимальне середовище для засвоєння фосфору — адже на кислих піщаних ґрунтах значна його частка переходить у нерозчинні форми.

При сівбі додатково вносили 80 кг/га діамонійфосфату (ДАФ) безпосередньо у рядок сівалкою Horsch Pronto 6 DC. Це дало змогу створити локальне живлення у зоні проростання насіння, що особливо важливо для пшениці озимої в умовах піщаних ґрунтів, де поживні речовини швидко мігрують у глибші шари.

Після відновлення вегетації, під час лютневих вікон, проводили підживлення сульфатом амонію у дозі 150 кг/га. Це забезпечувало рослини легкодоступним амонійним азотом на початкових етапах весняного росту, а також сіркою, необхідною для синтезу білків і покращення використання азоту.

У фазі активного кушення вносили КАС (карбамідно-аміачну суміш) у дозі 150 кг/га. Рідка форма добрива забезпечувала рівномірне живлення та швидке засвоєння азоту, що сприяло інтенсивному розвитку пагонів і наростанню листкової маси.

Додатково, завдяки вологозберігаючим властивостям КАСу, втрати азоту через випаровування були мінімальними.

Проводили друге підживлення КАС у дозі 100 кг/га. Цей етап був спрямований на підтримання ростових процесів, формування колосу та підвищення вмісту білка у зерні. У випадку дефіциту вологи вносили КАС у вечірні години або в суміші з водою для зниження концентрації робочого розчину.

У цей період проводили позакореневе підживлення препаратом Фолік Мікро у дозі 1,5 л/га. Препарат містить комплекс мікроелементів (Zn, Mn, Cu, Fe, B, Mo), хелатованих у легкодоступній формі, що забезпечує:

- стимулювання росту вторинних пагонів;

- покращення фотосинтезу та утворення хлорофілу;
- зміцнення імунітету рослин та підвищення стійкості до весняних заморозків і стресів.

Фолік Мікро сприяв формуванню здорового густого стеблостою, що позитивно впливало на подальше закладання генеративних органів.

Під час активного росту стебла та формування колосу проводили друге позакореневе підживлення препаратом Фолік Аміновігор у дозі 1,0 л/га. Препарат містить вільні амінокислоти, азот і мікроелементи, які:

- зменшують вплив температурних і водних стресів;
- покращують транспорт поживних речовин усередині рослини;
- стимулюють закладання більшої кількості квіток у колосі;
- підвищують вміст білка та клейковини в зерні.

Застосування Фолік Аміновігору у цей період забезпечувало формування повноцінного колосу та підвищення потенціалу урожайності.

2.4 Методика проведення досліджень

Польові дослідження виконувалися у 2024-2025 рр. на території господарства «Ма'Рижани» Житомирського району Житомирської області, яке розташоване в зоні Полісся.

Метою проведення дослідів було оцінити ефективність диференційованого внесення вапнякових матеріалів щодо зміни агрохімічних та фізико-хімічних властивостей ґрунту, біометричних показників росту і розвитку рослин і формування урожаю культури.

У досліді використовували вапнякове борошно з вмістом активного CaCO_3 96 % і вологістю 2,5 %. Диференційовані норми розраховували на основі результатів обстеження ґрунту, яке виконували з GPS-прив'язкою за сіткою 50×50 м. Для виділення зон застосовували показники рН (KCl), гідролітичної кислотності та ступеня насичення основами.

Особливу увагу в досліді приділяли саме використанню диференційованої системи внесення вапнякових матеріалів. Для цього

попередньо було створено електронну картограму кислотності ґрунту на основі результатів лабораторного аналізу відібраних зразків (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Схема досліду, 2024-2025 рр.

Варіанти досліду	Зона поля					
	з дуже високою кислотністю (1)		з високою кислотністю (2)		з помірною кислотністю (3)	
	норми, т	повна норма, т	норми, т	повна норма, т	норми, т	повна норма, т
без вапнування	-	-	-	-	-	-
з вапнуванням	3,17	6,34	3,00	6,00	2,85	5,7

Схема досліду (табл. 2.3) передбачала виділення трьох дослідних зон на основі даних агрохімічного аналізу ґрунту та результатів зонування поля (проводилося за допомогою супутникової платформи GeoPard Agriculture). Для проведення досліду було визначено три зони з дуже високим, високим та помірним рівнем кислотності.

Для зони поля № 1 (із дуже високою кислотністю) показник pH_{KCl} був нижче 4,7, зони 2 (з високою кислотністю) - 4,7 - 4,9, зони 3 (з помірною кислотністю) – 4,9 – 5,1.

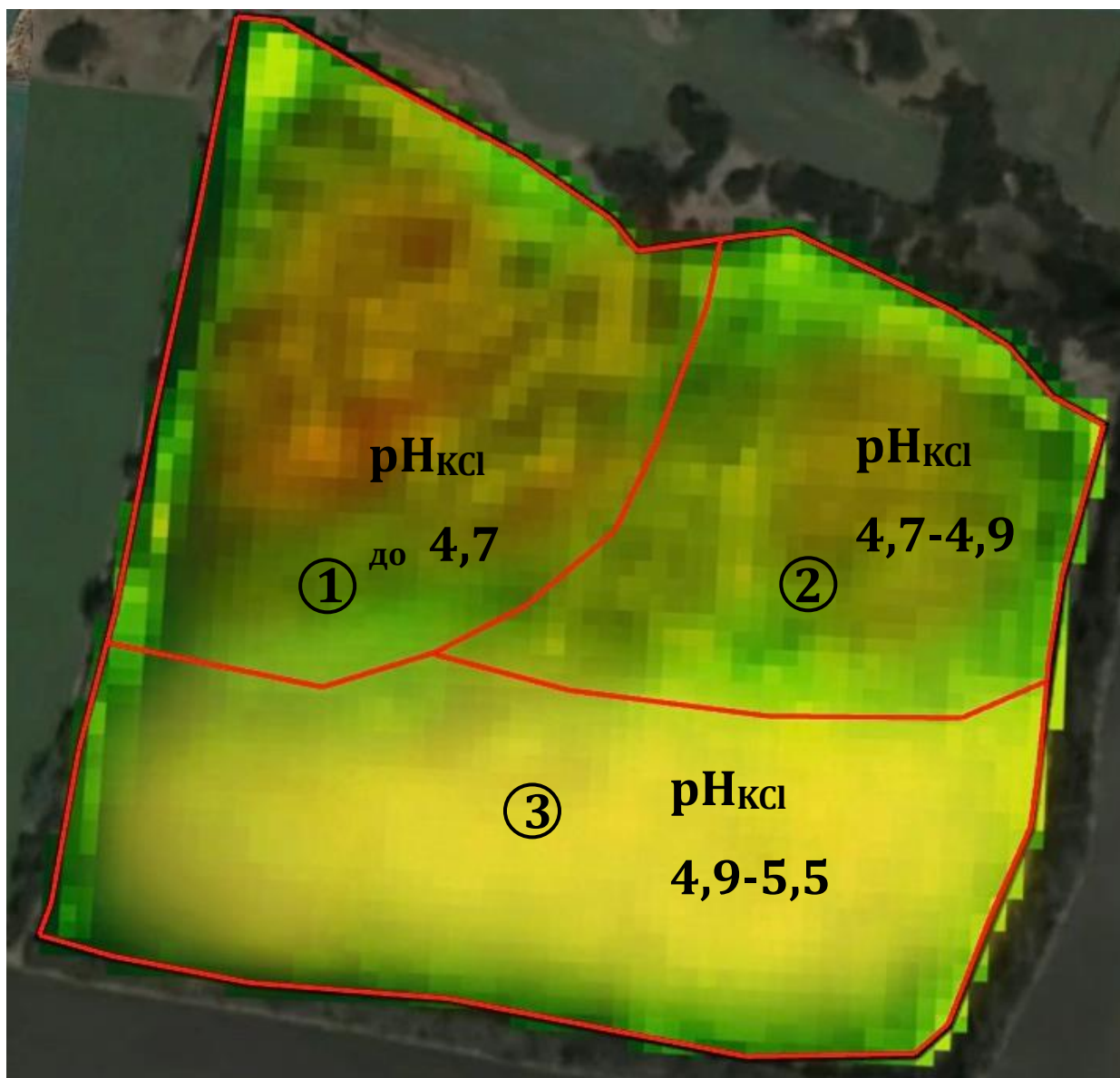


Рис. 2.3 Зонування дослідного поля за рівнем кислотності з допомогою GeoPard Agriculture, 2024 р.

Норму внесення вапна розраховували окремо для кожної ділянки за формулою:

$$N = (H_h \times 0,5 \times k) / 100,$$

де H_h — показник гідролітичної кислотності (ммоль/100 г ґрунту), а k — коефіцієнт переведення, що залежав від активності вапнякового матеріалу і становив 2,8–3,0.

Розкидання матеріалу проводили за допомогою розкидача AMAZONE ZG-B 8200, оснащеного системою VariSpread Pro, яка дає можливість

змінювати норму внесення у процесі руху техніки, відповідно до координат і даних про кислотність ґрунту на конкретних ділянках поля. Такий підхід забезпечив високу точність внесення вапна, рівномірність розподілу матеріалу та зменшення його перевитрат.

Після проведення вапнування виконували повторний агрохімічний аналіз, щоб оцінити зміни у кислотності ґрунту, ступені насиченості основами, а також у вмісті кальцію та магнію. Крім того, вивчали вплив різних норм вапнякових матеріалів на ріст і розвиток рослин пшениці озимої, формування структури врожаю та її продуктивність.

Економічну ефективність різних варіантів визначали за методикою Міністерства аграрної політики України, враховуючи показники урожайності, валовий збір зерна, витрати на добрива, вапнякові матеріали, пальне, оплату праці та інші виробничі витрати. На основі отриманих результатів розраховували умовно-чистий прибуток і рівень рентабельності для кожного варіанту дослідження.

Отримані у ході досліджень дані опрацьовували статистично за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) відповідно до методики Б.А. Доспехова. Для перевірки достовірності різниці між варіантами застосовували критерій Ст'юдента при рівні значимості $P = 0,05$. Крім того, проводили кореляційний аналіз, щоб виявити взаємозв'язок між кислотністю ґрунту, ступенем насичення основами, вмістом кальцію та показниками урожайності пшениці озимої.

Отже, застосована методика дозволила комплексно оцінити ефективність диференційованого вапнування дерново-підзолистих ґрунтів Полісся. Вона поєднує польові, лабораторні, геоінформаційні та економічні методи досліджень, що забезпечує отримання достовірних результатів.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Зміна агрохімічних показників дерново-підзолистого ґрунту за диференційованого внесення вапнякових матеріалів

Проведене вапнування ґрунту сприяло істотному покращенню його агрохімічних властивостей в усіх досліджуваних зонах. До внесення вапнякових матеріалів реакція ґрунтового розчину характеризувалася як сильноокисла: показник рН (КСІ) коливалася в межах 4,7-4,9, що свідчило про підвищену кислотність і потребу у вапнуванні. Після проведення заходів із розкислення показники рН підвищилися до 6,4 – 6,9, тобто ґрунт наблизився до нейтрального, що створює сприятливі умови для росту і розвитку більшості сільськогосподарських культур (табл 3.1).

Внаслідок нейтралізації надлишкової кислотності зменшилися показники гідролітичної кислотності – з 4,2 – 4,6 ммоль/100 г до 2,1 – 2,5 ммоль/100 г. Відповідно значно знизилася і обмінна кислотність, що свідчить про ефективну дію вапнякового матеріалу та поліпшення буферних властивостей ґрунту. Ємність катіонного обміну зросла у всіх зонах і становила 15,5-17,4 ммоль/100 г. Що свідчить про підвищення здатності ґрунту утримувати катіонів поживних елементів.

Ступінь насичення основами також помітно збільшився – із 63-71 % до 80-90 %, що є показником оптимального співвідношення кислотних і лужних катіонів ГВК (ґрунтово-вбирного комплексу). Разом із цим покращився вміст основних елементів живлення: кількість рухомих форм фосфору підвищилася із 62-71 мг/кг до 80-90 мг/кг, калію – із 48-55 мг/кг до 61-84 мг/кг (табл. 3.2). Підвищився також вміст обмінного кальцію і магнію, що обумовлено надходженням цих елементів із вапнякового матеріалу.

Таблиця 3.1

**Агрохімічні та фізико-хімічні показники дерново-підзолистого ґрунту до і після диференційованого
внесення повної норми вапнякових матеріалів, 2024-2025 рр.**

Зона поля	рН (KCl)	Норма вапна, т/га	Обмінна кислотність, ммоль екв/100 г	ЄКО, ммоль/100 г	Ступінь насичення основами, %	Вміст, мг/кг						
						NO ₃ ⁻	NO ₄ ⁺	N _{min}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
до вапнування (2024 р.)												
1	до 4,7	-	1,10	15,4	63,0	11,8	9,8	22,6	64,0	40,0	410	78,0
2	4,7 - 4,9	-	1,30	16,2	68,0	12,6	10,2	22,8	62,0	48,0	420	85,0
3	4,9 – 5,5	-	1,00	13,4	71,0	12,3	10,0	22,3	65,0	45,0	430	82,0
після вапнування (2025 р.)												
1	6,50	6,34	0,20	16,6	90,0	17,2	13,9	31,3	88,0	66,0	720	122
2	6,10	6,00	0,40	17,4	85,0	16,8	13,5	30,3	81,0	64,0	690	118
3	5,90	5,70	0,30	15,5	80,0	16,5	13,2	29,7	84,0	61,0	700	115

Загалом, результати дослідження свідчать про те, що проведення вапнування сприяло значному поліпшенню агрохімічних властивостей ґрунту, зниженню його кислотності, підвищенню забезпеченості поживними елементами та поліпшенню умов мінерального живлення рослин.

Таблиця 3.2

Вміст елементів живлення у ґрунті в різних за кислотністю зонах поля, 2025 р.

Зона поля	Номер ділянки	Варіант дослідження	Вміст, мг/кг		
			N, мін.	P ₂ O ₅	K ₂ O
з дуже високою кислотністю (1)	1	без вапна	22,6	64	40
	2	половина норми – 3,17 т/га	23,5	71	56
	3	повна норма – 6,34 т/га	30,3	88	66
з високою кислотністю (2)	4	без вапна	22,8	62	48
	5	половина норми – 3,00 т/га	28,5	72	53
	6	повна норма – 6,00 т/га	31,3	81	64
з помірною кислотністю (3)	7	без вапна	22,3	65	45
	8	половина норми – 2,85 т/га	26,5	76	54
	9	повна норма – 5,7 т/га	29,7	84	61

До проведення вапнування ґрунт у всіх трьох зонах характеризувався низьким забезпеченням азоту у нітратній і амоній формах, що вказує на послаблену активність мікробіологічних процесів у кислому середовищі. Вміст рухомих форм фосфору та калію був на рівні нижче середнього, а концентрація кальцію та магнію – недостатні для оптимальної буферності ґрунту. Це підтверджує наявність кислої реакції, що обмежувала доступність елементів живлення для культурних рослин і знижувала ефективність добрив.

Після проведення вапнування відбулося помітне покращення агрохімічного стану ґрунту у всіх зонах. Вміст азоту в нітратній і амонійній

формах зріс у середньому на 3-4 мг/кг, що пов'язано з активізацією нітрифікаційних процесів у менш кислому середовищі. Рухомі форми фосфору підвищилися на 17-24 мг/кг, а калію – на 16-26 мг/кг, що свідчить про зростання доступності поживних речовин для рослин (табл. 3.2).

Особливо суттєво зросла концентрація кальцію (до 690-720 мг/кг) і магнію (до 115-122 мг/кг), що вказує на насичення ґрунтово-вбирного комплексу основами та формування стійкої буферної системи.

3.2 Біометричні показники рослин пшениці озимої за диференційованого внесення вапнякових матеріалів

Стан кислотності ґрунту є одним із ключових факторів, що визначає ріст, розвиток та формування урожаю пшениці озимої. У ґрунтах Полісся підвищена кислотність обумовлює, зниження біологічної активності, погіршення умов мінерального живлення та обмеження їхнього засвоєння, особливо кальцію, магнію та фосфору, що негативно впливає на морфологічні показники рослин, зменшує кількість продуктивних пагонів і, відповідно урожайність (табл. 3.3).

На дослідних ділянках спостерігалось поступове зниження маси рослин у напрямку від зони 3 до зони 1, що вказує на зростання кислотності ґрунту. У зоні 2 маса надземної частини становила 92 г/роsl., тоді як у зоні 1 – лише 85 г/роsl. Коренева система залишалася слабо розвиненою в усіх зонах (22 г/роsl.), що може свідчити про обмежене засвоєння поживних елементів. Кількість продуктивних пагонів була незначною (0,6-0,8 шт./роsl.), що характеризує рослини як пригнічені та нерівномірно розвинені.

Після внесення вапнякових матеріалів у всіх зонах відбулося суттєве покращення морфологічних показників. Маса надземної частини зросла на 40-45 г/роsl., маса кореневої системи – на 5 г, що забезпечило збільшення сумарної біомаси до 152-160 г/роsl.

**Морфологічні показники рослин пшениці озимої за диференційованого
внесення повної норми вапна, 2025 р.**

Зона поля	Повна норма вапна	Маса, г/роsl			Кількість пагонів, шт/роsl.		
		надземна частина	коренева ситема	вся рослина	продуктивних	не продуктивних	всього
до вапнування (2024 р.)							
3	-	88,0	22,0	110	0,70	1,50	2,20
2	-	92,0	22,0	114	0,80	1,30	2,10
1	-	85,0	22,0	107	0,60	1,60	2,20
після вапнування (2025 р.)							
3	5,70	129	27,0	156	1,10	1,00	2,10
2	6,00	133	27,0	160	1,20	0,90	2,10
1	6,34	125	27,0	152	1,00	1,10	2,10

Таке підвищення пояснюється нейтралізацією кислотності ґрунту та покращення умов живлення вже в перший рік після внесення вапна.

Кількість продуктивних пагонів збільшилася до 1,0-1,2 шт./росл., тоді як не продуктивних зменшилося до 0,9-1,1 шт./росл. Це свідчить про формування більш вирівняного стеблостою, що напряму впливає на потенційну урожайність. Загальна кількість пагонів залишилася сталою (2,1 шт./росл.), однак частка продуктивних значно зросла.

Найкращі результати зафіксовано у зоні 2 (норма вапна 6,00 т/га), де спостерігалось максимальне наростання біомаси та найвищий коефіцієнт кушення. У зоні 3 (5,70 т/га) показники були дещо нижчими, але близькими до оптимальних. Зона 1, незважаючи на початкову слабкість рослин, після внесення вапна показала значне покращення, що свідчить про ефективність навіть на більших кислих ділянках.

Після проведення диференційованого вапнування відбулося суттєве покращення елементів структури врожаю.

Кількість колосків у колосі збільшилося в середньому на 2-3 шт., кількість зерен з колоса – на 6-7 шт., а маса 1000 зерен зросла 2-4 г порівняно з контрольних варіантом. Це свідчить про покращення процесів наливу зерна та підвищення забезпечення рослин поживними елементами після нейтралізації кислотності ґрунту.

Елементи структури врожаю пшениці озимої сорту Seilor за диференційованого вапнування, 2025 р.

Номер зони	Повна норма вапна, т/га	Кількість колосків у колосі, шт	Приріст до контролю		Кількість зерен з колоса, шт	Приріст до контролю		Маса 1000 зерен, г	Приріст до контролю	
			шт	%		шт	%		шт	%
без вапна (контроль)	-	17,9	-	-	41,2	-	-	40,2	-	-
1	6,34	19,6	1,7	9,50	46,8	5,60	13,6	42,9	2,70	6,72
2	6,00	20,8	2,9	16,2	48,2	7,00	17,0	44,1	3,90	9,71
3	5,70	20,1	2,2	2,30	47,5	6,30	15,3	43,6	3,40	8,46

Проведені дослідження підтвердили, що диференційоване вапнування позитивно вплинуло на ріст, розвиток і продуктивність пшениці озимої сорту Seilor (Syngenta) на дерново-підзолистому ґрунті Полісся. У результаті урожайність зросла в середньому на 12-16 %, досягнувши 6,1 т/га у варіанті з максимальною нормою вапна - 6,34 т/га

Водночас відзначено покращення показників якості зерна – вміст білка підвищився на 0,8-1,2 %, а сирі клейковини – на 2-2,5 %, що забезпечило покращення хлібопекарських властивостей і підвищення якості продукції.

Отже, диференційоване вапнування є ефективним прийомом підвищення як урожайності, так і якості зерна пшениці озимої на кислих ґрунтах. Такий підхід сприяє раціональному використанню меліорантів і формує стабільну основу для інтенсивного та екологічно безпечного землеробства.

3.3 Урожайність та якість зерна пшениці озимої за диференційованого внесення вапнякових матеріалів

Урожайність і якість зерна є головними критеріями ефективності вирощування озимої пшениці та найважливішими показниками ефективності агрохімічних заходів. Формування високої врожайності залежить не лише від біологічного потенціалу сорту, а й від умов живлення, зокрема від кислотності ґрунту, яка визначає доступність елементів живлення.

Таблиця 3.5

Урожайність пшениці озимої за диференційованого внесення повної норми вапна, 2025 р.

Зона поля	Повна норма вапна, т/га	Урожайність, т/га	Приріст врожаю, т/га					
			до контролю 1		до контролю 2		до контролю 3	
			т/га	%	т/га	%	т/га	%
до вапнування (2024 р.)								
зона 1	-	4,15	-	-	-	-	0,17	4,27
зона 2	-	4,21	0,06	1,44	-	-	0,23	5,77
зона 3	-	3,98	-	-	-	-	-	-
після вапнування (2025 р.)								
зона 1	6,34	5,02	0,87	21,0	0,81	19,3	1,04	26,1
зона 2	6,00	5,11	0,81	19,5	0,90	21,3	1,13	28,4
зона 3	5,70	5,09	1,04	25,1	0,88	20,9	1,11	27,9

Результати дослідження свідчать, що проведення диференційованого вапнування істотно вплинуло на рівень урожайності пшениці озимої сорту Сейлор (Syngenta) в усіх зонах досліду. До внесення вапнякових матеріалів урожайність коливалася від 3,98 до 4,21 т/га, що зумовлено різною кислотністю ґрунтів. Найнижчі показники спостерігались у зоні 3, де реакція ґрунтового середовища була найбільш кислою (табл.3.5).

Після проведення вапнування урожайність зросла у середньому на 0,8–1,0 т/га, або на 19–28 % залежно від зони. Найвищий показник зафіксовано у зоні 2 — 5,11 т/га, що перевищує контроль 2 на 0,90 т/га (21,3 %). У зонах 1 та 3 урожайність становила відповідно 5,02 та 5,09 т/га, що також свідчить про стабільний позитивний ефект диференційованого вапнування.

Підвищення урожайності зумовлене покращенням умов живлення рослин, активізацією мікробіологічних процесів у ґрунті, кращим засвоєнням азоту, фосфору і кальцію, а також зростанням коефіцієнта продуктивних пагонів. Завдяки нейтралізації кислотності ґрунтів покращилися водно-повітряний режим і доступність поживних речовин, що забезпечило формування повноцінного стеблостою та збільшення маси зерна.

Оцінка впливу диференційованого вапнування на показники якості зерна пшениці озимої, та відповідність ДСТУ 3768:2019 є важливим елементом для прийняття технологічних рішень за вирощування цієї культури.

До проведення вапнування середній вміст білка становив 12,5 %, що відповідає нижній межі продовольчих стандартів для озимої пшениці II класу. Після внесення вапнякових матеріалів спостерігалось підвищення цього показника у всіх зонах досліду. Найвищий вміст білка зафіксовано у зоні 2 (13,7 %) при нормі вапна 6,00 т/га, що на 1,2 % вище, ніж у контролі. Аналогічно збільшився і вміст сирої клейковини – у середньому на 2,0-2,5 %, що позитивно впливає на хлібопекарські властивості зерна (табл. 3.6).

Вплив диференційованого вапнування на вміст білка в зерні пшениці озимої сорту Seilor. 2025 р.

Номер зони	Норма вапна, т/га	Вміст білка, %	Зміна до контролю, %	Вміст клейковини, %	Якість за шкалою ІДК (од.)
контроль (без вапна)	-	12,5	-	24,9	68
зона 1	6,34	13,3	+0,8	26,2	71
зона 2	6,00	13,7	+1,2	27,4	75
зона 3	5,70	13,5	+1,0	26,8	73

Таблиця 3.7

Кореляційний зв'язок між морфологічними показниками та елементами структури врожаю пшениці озимої сорту Seilor, 2025 р.

Показники, що порівнюються		Коефіцієнт кореляції	Характер зв'язку
маса надземної частини	урожайність	0,92	тісний прямий
кількість продуктивних пагонів	урожайність	0,88	тісний прямий
маса кореневої системи	кількість зерен з колоса	0,84	середній прямий
кількість колосків у колосі	урожайність	0,90	тісний прямий

Проведений кореляційний аналіз показав тісний зв'язок між морфологічними показниками та рівнем врожайності пшениці озимої сорту Seilor (Syngenta) (табл. 3.7).

Найвищі коефіцієнти кореляції спостерігалися між масою надземної частини та урожайністю ($r = 0,92$), а також кількістю продуктивних пагонів і врожайністю ($r = 0,88$). Це свідчить про те, що саме розвиток вегетативної маси найбільш впливає на формування врожаю.

Отже, проведене диференційоване вапнування забезпечило підвищення урожайності пшениці озимої на 19–28 % порівнянно з контролем (без вапнування) із стабільним вирівнюванням продуктивності між зонами поля. Це

підтверджує доцільність застосування просторово-диференційованого внесення вапна як ефективного прийому підвищення продуктивності зернових культур на кислих ґрунтах Полісся.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО ВНЕСЕННЯ ВАПНЯКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Диференційоване вапнування ґрунту суттєво підвищує ефективність виробництва пшениці озимої. Згідно з проведеним аналізом, його впровадження забезпечує раціональне використання ресурсів і суттєве зростання прибутковості агровиробництва. У нашому досліді за ціни зерна 8500 грн/т та вартості вапняку 5500 грн/т економічна ефективність застосування повної норми вапна в усіх трьох зонах поля виявилася високою. Зокрема в, усіх зонах забезпечування рівень рентабельності понад 51 %. В зоні 1 навіть досягнуто рівня 67,6 %. Це свідчить про економічну доцільність повномасштабного вапнування кислих ґрунтів навіть за суттєвих витрат на гранульований вапняк.

Урожайність пшениці озимої після внесення повної норми вапна була приблизно однаковою в усіх трьох зонах поля: у зоні 2 – 5,11 т/га, у зоні 1 – 5,02 т/га, а в зоні 1 – 5,09 т/га. Незважаючи на те, що зона 1 характеризувалася найвищою кислотністю ґрунту, після вапнування врожайність практично досягла показника зони 3. Найбільший урожай отримано в зоні 2, що можна пояснити дещо меншим впливом вапнування на початково менш кислі ділянки або можливими відмінностями в мікрокліматі цих ділянок. Загалом урожайність під впливом диференційованого внесення вапна зросла в усіх зонах (порівняно з контролем), що підтверджує ефективність меліорації кислих ґрунтів.

Витрати на вапнування у зонах 1 і 2 були майже однаковими – 32 680 грн/га та 32 660 грн/га відповідно. У зоні 3 вони виявилися дещо меншими – 31 400 грн/га. Це пояснюється вартістю норми вапна: у зонах 1 і 2 вносили по 6,34–6,00 т/га, а в зоні 3 – лише 5,70 т/га (через меншу початкову кислотність). Тому витрати на матеріали були найнижчі у зоні 3. З урахуванням цього при співставленні витрат на отримання врожаю в зоні 3 була економія на придбання вапнякового матеріалу. В підсумку досягнуто високу рентабельність за відносно невеликих інвестицій.

Чистий дохід (прибуток) після вирахування витрат виявився найбільшим у зоні 2 – 16 010 грн/га. У зоні 3 прибуток становив 12 035 грн/га, а в зоні 1 – 10 585 грн/га. Таким чином, найбільша грошова вигода припала на середню зону поля. Висока величина прибутку в зоні 2, за наявності аналогічних витрат порівняно з зоною 1, може бути наслідком оптимального співвідношення вкладених ресурсів і досягнутого врожаю (або відмін у продуктивності ґрунтового покриву). Отже, зона 2 забезпечила найбільший менший урожай. В ній отримала більший чистий прибуток, що вказує на доцільність вкладення ресурсів саме у цю ділянку.

Рівень рентабельності (відношення прибутку до витрат, %) був найвищим у зоні 1 – 67,6 %, де попри менший абсолютний дохід рентабельність інвестицій виявилася найвищою. У зоні 3 показник рентабельності дорівнював 61,7 %, а в зоні 2 – 51,0 %. Це свідчить про те, що вкладені кошти у зоні 1 окупаються найефективніше, а найменше – у зоні 2 (зона 2 мала найнижчу частку прибутку від витрат). Коефіцієнт окупності витрат (прибуток на 1 грн витрат) був максимальним у зоні 2 (0,49), середнім – у зоні 3 (0,38) і найменшим – у зоні 1 (0,32). Висока окупність витрат у зоні 2 підтверджує, що кожна гривня, витрачена на вапнування у цій зоні, забезпечила найбільший прибуток.

Таким чином, диференційоване внесення повної норми вапна виявилось економічно ефективним у всіх трьох зонах. Найвигідніше співвідношення витрат до прибутку (найвища окупність) виявлено у зоні 2. Найвищий рівень рентабельності забезпечувався у зоні 1 (67,6 %). Для зони 3 характерні проміжні значення цього показника. Отже, для максимізації прибутковості виробництва пшениці озимої на кислих дерново-підзолистих ґрунтах доцільно впроваджувати повну норму диференційованого вапнування, з особливою увагою до зони 2 (оптимальне співвідношення витрат і доходу) та використанням показових практик зони 1 для досягнення високих показників рентабельності.

**Економічна ефективність проведення диференційованого вапнування
під пшеницю озиму, 2025 р.**

Зона поля	Повна норма вапна, т/га	Урожайність, т/га	Вартість валової продукції, грн/га	Витрати, грн/га	Дохід, грн/га	Рівень рентабельності, %	Окупність витрат, грн/грн
Зона 1	6,34	5,09	43 265	32 680	10 585	67,6	0,32
Зона 2	6,33	5,02	48 670	32 660	16 010	51,0	0,49
Зона 3	5,7	5,11	43 435	31400	12 035	61,7	0,38

Аналіз економічних показників диференційованого вапнування свідчить про те, що в зоні 2 забезпечувалося найефективніше співвідношення витрат до отриманого прибутку (коефіцієнт окупності 0,49), тоді як в зоні 1 - найвищу рентабельність (67,6 %). Це підкреслює доцільність застосування повної норми вапняку: інвестиції у вапнування повертаються з прибутком у всіх зонах, але найбільше – у зазначених зонах поля.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломної роботи з теми «Агрохімічна оцінка диференційованого застосування вапнякових матеріалів на дерново-підзолистих ґрунтах» були отримані наукові результати, які дозволяють зробити наступні висновки.

1. Для поля, що досліджувалось було характерне зонування де за рівнем кислотності ($pH_{КСІ}$): зона 1 з дуже кислим діапазоном цього показника (до 4,7); зона 2 – з кислим діапазоном (4,7 – 4,9) і зона 3 з помірним діапазоном кислотності – (4,9 – 5,1).
2. Диференційоване внесення гранульованого вапняку в повній нормі позитивно вплинуло на окремі фізико-хімічні показники дерново-сильнопідзолистого ґрунту поля, Так, у зоні 1 $pH_{(КСІ)}$ збільшився з 4,7 до 6,1, у зоні 2 – з 4,8 до 5,9, у зоні 3 – з 4,9 до 6,5. Ці зміни свідчать про нейтралізацію надлишкової кислотності ґрунту після внесення повної норми вапна.
3. Вапнування покращило забезпеченість ґрунту поживними елементами. Зокрема, після цього прийому рівень вмісту рухомого фосфору виріс до інтервалу 80–90 мг/кг (до вапнування було 62–71), обмінного калію – до 61–84 мг/кг (до вапнування 48–55). Одночасно суттєво збільшилися концентрація обмінного кальцію (до менш 690–720 мг/кг) і магнію (до менш 115–122 мг/кг).
4. Диференційоване вапнування суттєво підвищило врожайність пшениці озимої. До внесення вапна урожайність становила 3,98–4,21 т/га, а після – збільшилась на 0,8–1,0 т/га (на 19–28 %). Найбільший приріст був у зоні 2 – урожайність досягла 5,11 т/га (що на 21,4 % більше за контроль); у зонах 1 і 3 отримані результати становили 5,02 і 5,09 т/га відповідно.
5. Після вапнування покращилися показники якості зерна пшениці озимої. Середній вміст білка зріс із 12,5 % (контроль) до 13,3–13,7 % (збільшення на 0,8–1,2 %), а вміст клейковини – до 26,2–27,4 %.

6. Економічний аналіз підтвердив доцільність диференційованого застосування вапна у повній нормі: рівень рентабельності становив близько 51 % у зоні 1, 61,7 % – у зоні 2 і 67,6 % – у зоні 3. Отримані показники свідчать про високу рентабельність інвестицій у диференційоване вапнування кислих ґрунтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Господаренко Г. М., Любич В. В., Черно О. Д. Вплив вапнування та мінеральних добрив на врожайність пшениці озимої на чорноземі опідзоленому // *Агрономія: Вісник Уманського НУС*. 2022. № 1. С. 26–33.
2. Скрильник Є. В., Пузняк О. М., Кутова А. М., Артем'єва К. С., Москаленко В. П. Трансформація гумусових речовин дерново-підзолистого ґрунту за тривалого внесення добрив // *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник*. 2022. Вип. 93. С. 4–11
3. Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л. Основи управління родючістю ґрунтів: монографія. Харків: ФОП Бровкін О. В., 2016. 318 с.
4. Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник. Київ: ТОВ «СІК ГРУПІ УКРАЇНА», 2018. 560 с.
5. Головка М. Л., Городня Н. В. Вплив внесення органічних і мінеральних добрив на агрохімічні властивості дерново-підзолистих ґрунтів в умовах Полісся // *Агроекологічний журнал*. 2020. № 3. С. 48–55.
6. Господаренко Г. М. Удобрення сільськогосподарських культур: навч. посібник. Київ: ТОВ «СІК ГРУПІ УКРАЇНА», 2016. 276 с.
7. Господаренко Г. М. Система застосування добрив: навч. посібник. Київ: ТОВ «СІК ГРУПІ УКРАЇНА», 2015. 332 с.
8. Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник. Київ: ТОВ «СІК ГРУПІ УКРАЇНА», 2015. 376 с.
9. Полієвий В. М., Яценко Л. А. Оптимізація умов вирощування озимої пшениці на дерново-підзолистому ґрунті шляхом удобрення та меліорації в умовах Західного Полісся України // *Досягнення науки і техніки у галузі екології, біології, хімії, географії та аграрних наук*. Рига, Латвія: Baltija Publishing, 2021. С. 90–108.
10. Яцюк І. П. (ред.). Періодична доповідь за результатами X туру (2011–2015) агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення. Київ: ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», 2020. 208 с..

11. Ященко Л. А., Ровна Г. Ф., Гук Б. В., Ювчик Н. О. Еколого-економічні аспекти вирощування пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) на дерново-підзолистих ґрунтах залежно від удобрення і вапнування // Агроекологічний журнал. 2022. № 4. С. 64–70.
12. Черно О. Д., Грищенко С. С., Любич В. В., Черно О. Є. Стан родючості дерново-підзолистих ґрунтів Лісостепу України та заходи щодо їх відтворення // Вісник аграрної науки. 2021. № 3. С. 12–19.
13. Глубина В. П., Шевченко І. М., Іваненко П. О. Вплив вапнякових добрив на фізико-хімічні властивості дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів у Львівській області // Ґрунтознавство та агрохімія. 2019. Т. 16, № 2. С. 34–42.
14. Мірошниченко М. М., Голованова Н. О., Копиленко В. С. Глибоке внесення добрив підвищує їх агрономічну ефективність та врожайність сої і соняшнику на чорноземах // Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 94. С. 4–14 (укр., англ.).
15. Коваль О. І., Маринченко М. О., Бойко П. І. Діагностика кислотності дерново-підзолистих ґрунтів та елементів технології їх вапнування за різних попередників // Землеробство, ґрунтознавство, агрохімія. 2020. Вип. 99. С. 45–53.
16. Сорока В. Є., Ярошевич С. Ю. Вплив внесення різних норм CaCO_3 на рН та доступність елементів живлення у дерново-підзолистих ґрунтах Західного Полісся // Вісник Дніпровського державного аграрно-економічного університету. 2021. Вип. 2. С. 85–92.
17. Ісаєва М. О., Руденко О. В. Шляхові і просторові дослідження кислих ґрунтів Полісся України // Вісник Інституту сільського господарства Полісся. 2020. Вип. 15. С. 67–75.
18. Мірошниченко М. М., Голованова Н. О., Копиленко В. С. Глибоке внесення добрив підвищує їх агрономічну ефективність та врожайність сої і соняшнику на чорноземах // Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 94. С. 4–14 (укр., англ.).

19. Мартиненко В. М., Коваленко І. С., Федорчук І. І. Вплив диференційованого внесення вапнякових матеріалів на кислотно-основні властивості дерново-підзолистих ґрунтів // Аграрний журнал. 2019. № 1. С. 80–86.
20. Кривонос Л. П., Бондаренко С. О. Прецизійне землеробство в управлінні живленням рослин на кислих ґрунтах (огляд літератури) // Збірник наукових праць Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Серія: Біологічні науки. 2022. Т. 28, № 1. С. 118–127.
21. Гебер С. І., Меліхова О. Є., Піддубна Н. С. Вплив диференційованого внесення мінеральних добрив і меліорантів на агрохімічні показники дерново-підзолистих ґрунтів Лісостепу // Екологічний вісник України. 2020. № 1. С. 102–110.
22. Буртас З. Д., Рафальський І. Ю. Методичні рекомендації з оцінки кислотності ґрунтів та диференційованого вапнування в Лісостепу України. Київ: ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського», 2017. 48 с.
23. Литвин Н. В., Меркулова М. Ф. (ред.) Земельний кадастр: сучасний стан та перспективи розвитку. Київ: НААН, 2018. 240 с. (Розділ 4 – Методологія просторового моніторингу ґрунтів).
24. Рябчук А. І., Марущак Р. Р., Яремко П. М. Диференційоване внесення добрив у системі точного землеробства // Вісник Сумського національного аграрного університету. 2019. Вип. 68. С. 42–48.
25. Яловий Б. М., Карліна А. Я., Савіна Н. І. Геоінформаційні системи в аналізі стану полів засолених та кислих ґрунтів // Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва. 2020. Вип. 17. С. 31–37.
26. Корнієнко С. С., Агеєв О. П., Лисенко Д. П. Роль технологій точного землеробства у відтворенні родючості кислих ґрунтів // Вісник аграрної науки. 2018. № 6. С. 75–81.
27. Нехворощенко В. І., Скрипник Г. М., Вдовиченко А. М. Вапнування дерново-підзолистих ґрунтів: терміни, норми та ефективність (монографія). Київ: НАУ, 2015. 240 с.

28. Меркулова М. Ф., Романова С. А., Запальнюк В. С. Сучасні методи дистанційного моніторингу стану сільгоспугідь // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Інженерія, екологія та лісомеліорація». 2021. Вип. 80. Ч. 3. С. 88–95.
29. Олійник О. О., Коломієць Т. Ф., Думанська Т. І. Сучасні методи оцінки родючості кислих ґрунтів (на прикладі Чернігівщини) // Вісник аграрної науки України. 2018. № 7. С. 102–110.
30. Тригубовська Л. О., Жук І. Є., Михайлова І. Д. Вапнування дерново-підзолистих ґрунтів: технологія та ефективність (методичні рекомендації). Полтава: НАСОРА, 2018. 40 с.
31. Величко В. А., Коваль І. С. (ред.) Ґрунти України: таксономія, екологія, охорона. Харків: ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського», 2014. 512 с. (розділ «Меліорація кислих ґрунтів»).
32. Кучеренко О. А., Градусова Н. Є., Лях Т. Г. Агрохімія: підручник (за ред. О. А. Кучеренко). Київ: НУБіП України, 2021. 450 с.
33. Соколовський А. М., Полянський В. Ф. Особливості удобрення і вапнування ґрунтів Північного Степу України // Вісник Укрдержсільгосплнжпроду. 2018. № 4. С. 15–20.
34. добривами з використанням даних супутникового спостереження // Сільське господарство та лісівництво (зб. наук. пр. ВНАУ). 2020. № 18. С. 159–167.
35. Гончаренко В. М., Олійник О. О. ГІС і GPS у сільському господарстві: підручник. Київ: «Полісся», 2018. 312 с.
36. Пал'ян О. В., Песько О. К., Рева М. М. Землеробство в умовах зміни клімату: монографія. Київ: НУБіП України, 2022. 312 с. (Розділ 5 – Технології точного землеробства).
37. Гордієнко Л. М., Місіпов Д. А., Савка М. Г. Відтворення родючості кислих ґрунтів: монографія. Київ: НААН, 2017. 272 с.
38. Кушніренко М. І., Пластун О. П., Сердюк Г. Р. Екологічно безпечне вирощування пшениці озимої на кислих ґрунтах України // Екологічні проблеми сільського господарства. 2019. № 44. С. 27–34.

39. Рябошапка Д. П., Таран І. М. Геоінформаційні технології при веденні обліку ґрунтів та культур на полях // Землевпорядний вісник. 2019. № 2. С. 33–38.
40. Слюсаренко І. В., Самонович О. Є. Мінеральне живлення рослин (предтехнології і практики). Київ: Кондор, 2022. 384 с.