

УДК 631.81:631.45

## Вплив диференційованого вапнування на родючість сірих опідзолених ґрунтів Полісся України

 Я. І. Бойко

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, e-mail: iaroslavboik@gmail.com

**Мета.** Виявити особливості впливу диференційованого вапнування на родючість сірих опідзолених ґрунтів Полісся України. **Методи.** Дослідження проведено на полі площею 253 га (Чернігівська обл.), що характеризувалося неоднорідним ґрунтовим покривом: сірі опідзолені пилувато-суглинкові, ясно-сірі та темно-сірі опідзолені ґрунти. Використовували польові методи з елементами точного землеробства, автоматизований відбір ґрунтових зразків за адаптивною сіткою, лабораторні агрохімічні та фізико-хімічні аналізи ґрунту. Просторовий розподіл показників ґрунту оцінювали за допомогою ГС-технологій та інтерполяції методом Крігінга. **Результати.** Вихідний стан ґрунтів характеризувався широким діапазоном кислотності (рН(1:1) 5,0–6,5), що обумовлювало нерівномірність забезпеченості елементами живлення та обмежувало ефективність використання добрив. Диференційоване внесення вапнякових меліорантів забезпечило вирівнювання реакції ґрунтового середовища та зменшення частки кислих і сильно кислих ділянок. Після вапнування відмічено короткострокове зниження вмісту органічної речовини на 0,3–0,4 %, що пов'язано з активізацією мікробіологічної мінералізації, без зміни групи забезпеченості ґрунту. Найбільш виражений позитивний ефект установлено щодо рухомих форм фосфору: практично вся площа поля після вапнування характеризувалася дуже високим рівнем забезпеченості, що свідчить про зменшення фіксації фосфатів у кислих умовах. Забезпеченість ґрунту калієм також зросла, з появою ділянок із дуже високими концентраціями (до 227 мг/кг). Обмінний кальцій після вапнування перейшов від низького до середнього рівня забезпеченості, тоді як обмінний магній зберіг групу забезпеченості, але збільшився на 3–12 мг/кг. Незважаючи на підвищення рН, рухомі форми цинку зберегли просторову однорідність і продемонстрували приріст на 0,05–0,10 мг/кг. **Висновки.** Диференційоване вапнування сприяло зниженню просторової варіабельності агрохімічних показників, підвищенню агрохімічної окультуреності ґрунту та формуванню науково обґрунтованих передумов для впровадження технологій точного землеробства.

**Ключові слова:** диференційоване вапнування; кислотність ґрунту; рН; агрохімічні показники; рухомий фосфор; рухомий калій; кальцій і магній; мікроелементи; цинк; просторова неоднорідність ґрунтів; точне землеробство.

### Вступ

Рациональне управління родючістю ґрунтів є ключовою передумовою сталого розвитку сучасного землеробства, особливо в умовах посилення просторової неоднорідності агроєкосистем, кліматичних змін та зростання вимог до ефективності використання ресурсів [1–3]. Однією з найпоширеніших проблем ґрунтового покриву зони Полісся та Лісостепу України є підвищена кислотність ґрунтів, яка негативно впливає на їх фізико-хімічні властивості, біологічну активність, доступність елементів живлення та продуктивність сільськогосподарських культур.

Кисла реакція ґрунтового середовища зумовлює підвищення концентрації іонів водню та алюмінію в ґрунтовому вбирному комплексі, що призводить до пригнічення росту кореневої

**Як цитувати:** Бойко Я. І. Вплив диференційованого вапнування на родючість сірих опідзолених ґрунтів Полісся України. *Новітні агротехнології*. 2025. Т. 13, № 3. <https://doi.org/10.47414/na.13.3.2025.348379>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

системи, зниження ефективності засвоєння фосфору, кальцію, магнію та мікроелементів, а також до погіршення структурного стану ґрунту. За таких умов традиційні системи удобрення не забезпечують повної реалізації потенціалу добрив, а врожайність культур набуває нестабільного характеру та значною мірою залежить від локальних ґрунтових умов [4–6].

Вапнування кислих ґрунтів є одним із найефективніших агрохімічних заходів хімічної меліорації, спрямованих на нейтралізацію кислотності та оптимізацію катіонного складу ґрунту. Водночас численні наукові дослідження свідчать, що результативність цього заходу значною мірою визначається урахуванням просторової варіабельності ґрунтових властивостей. Застосування однакових доз вапнякових матеріалів на неоднорідних за агрохімічними показниками полях часто призводить до перевитрат меліорантів, локального перевапнування або, навпаки, недостатньої нейтралізації кислотності на окремих ділянках [7, 8].

У зв'язку з цим дедалі більшого поширення набувають підходи точного землеробства, зокрема диференційоване внесення вапнякових матеріалів на основі детального агрохімічного обстеження ґрунтів та цифрових карт просторового розподілу показників кислотності й елементного складу. Такий підхід дає змогу не лише оптимізувати витрати на меліорацію, а й забезпечити більш рівномірне агрохімічне окультурення поля, підвищити доступність поживних елементів та стабільність продукційних процесів [9, 10].

Незважаючи на наявність значної кількості наукових праць, присвячених впливу вапнування на окремі агрохімічні показники ґрунту, питання комплексного оцінювання змін кислотності, макро- та мікроелементного складу ґрунту за умов диференційованого вапнування на великих виробничих масивах залишається недостатньо вивченим. Особливої актуальності набуває аналіз просторової динаміки показників родючості ґрунту та ступеня їх вирівнювання після проведення меліоративних заходів [11–14].

Це дослідження виконували для оцінювання впливу диференційованого вапнування на агрохімічні показники ґрунту в умовах значної просторової неоднорідності дослідного поля, зокрема на реакцію ґрунтового середовища, вміст органічної речовини, рухомі форми макро- та мікроелементів і катіонний баланс. Отримані результати спрямовані на наукове обґрунтування ефективності диференційованого вапнування як інструменту управління родючістю ґрунтів та формування передумов для подальшого впровадження технологій точного землеробства у виробничу практику.

*Мета досліджень* – виявити особливості впливу диференційованого вапнування на родючість сиріх опідзолених ґрунтів Полісся України.

### **Матеріали та методика досліджень**

Науково-дослідні роботи проводили на землях, розташованих поблизу населених пунктів Булахів та Гарбузин Козелецької селищної громади Чернігівського району Чернігівської області.

У поліській частині області найпоширенішими є дерново-підзолисті ґрунти, переважно супіщаного гранулометричного складу. Водночас у Корюківському та Щорському районах майже половину площ займають зв'язно-піщані ґрунти, для яких характерний нижчий рівень природної родючості. Ґрунти Чернігівського та Ріпкинського районів відзначаються більшою зв'язністю – частка легкосуглинкових відмін становить відповідно 23 та 37 %.

Загалом по області дерново-підзолисті ґрунти займають 432,5 тис. га, або близько 30 % площі орних земель. Найбільшого поширення вони набули в Семенівському районі – 93 %, Корюківському – 82 %, Щорському – 81 %, Городнянському – 71 % та Новгород-Сіверському – 67 %.

Уміст гумусу в дерново-підзолистих ґрунтах коливається в межах 1,16–1,80 %, у середньому – 1,40 %. Для цих ґрунтів характерна кисла реакція ґрунтового розчину – середньозважене значення рН<sub>сол</sub> перебуває на рівні 5,2–5,4.

Забезпеченість ґрунтів рухомими формами фосфору є підвищеною (111–140 мг/кг ґрунту), обмінним калієм – середньою (97–128 мг/кг ґрунту), тоді як уміст легкогідролізованого азоту оцінюється як низький (20–60 мг/кг ґрунту). Характерною особливістю дерново-підзолистих ґрунтів є низький уміст обмінних форм кальцію та магнію, який становить відповідно 3,2–4,1 і 0,6–0,7 мг-екв/100 г ґрунту. Дерново-підзолисті ґрунти належать до найменш родючих у межах області – показники їх бонітету переважно коливаються в межах 31–38 балів.

Сірі лісові та дернові ґрунти займають 277,8 тис. га, або 19 % площі області. Вони зосереджені переважно в перехідній зоні та найбільше поширені в Куликівському районі – 60 %, Козелецькому –

52 % і Коропському – 50 %. Уміст гумусу залежно від гранулометричного складу коливається в межах 1,31–2,37 %. На супіщаних відмінах він у середньому становить 1,60 %, на легкосуглинкових – 1,77 %.

За реакцією ґрунтового середовища ці ґрунти є переважно слабкокислими або близькими до нейтральних (рН 5,4–5,8). Вони характеризуються підвищеним умістом рухомих форм фосфору та середнім умістом обмінного калію, середньозважені показники яких становлять відповідно 137–159 і 103–112 мг/кг ґрунту. Порівняно з дерново-підзолистими ґрунтами, сірі лісові та дернові ґрунти дещо краще забезпечені обмінними формами кальцію й магнію – відповідно 4,5–6,2 та 1,0–1,1 мг-екв/100 г ґрунту.

Бонітет сірих лісових і дернових ґрунтів коливається в межах 36–57 балів.

Клімат Чернігівської області є помірно континентальним, м'яким і достатньо вологим. Зима малосніжна, у більшості років стійка та порівняно тепла, літо – тепле й помірно вологе.

Середньорічна температура повітря в повоєнний період становить 6–8 °С. За останні десять років спостерігається чітка тенденція до підвищення середньорічної температури повітря, головним чином за рахунок зимових місяців.

Середня температура повітря найхолоднішого місяця року – січня – становить 6–7 °С морозу, тоді як найтеплішого місяця – липня – досягає 19–20 °С тепла. Водночас в окремі роки спостерігаються істотні відхилення температурного режиму від багаторічних середніх значень. Різниця в середньорічній температурі повітря між північною та південною частинами області становить близько 1 °С.

Абсолютний максимум температури повітря – 41,4 °С тепла – зафіксовано в серпні 2010 року на метеостанції Семенівка, тоді як абсолютний мінімум – 40,2 °С морозу – спостерігався в січні 1987 року на метеостанції Нові Млини Борзнянського району (станція припинила роботу у 1988 році).

Тривалість періоду із середньодобовою температурою повітря нижче 0 °С (зимовий період) на території області в середньому становить 104–119 діб, тоді як період із температурою вище 0 °С триває 246–261 добу.

Середня дата стійкого переходу середньодобової температури повітря через 0 °С у бік підвищення (початок весни) припадає на 28 лютого – 5 березня, а в північно-східних і східних районах – на 9–13 березня. Середній строк стійкого переходу середньодобової температури повітря через 0 °С у бік зниження (початок зими) спостерігається 23–25 листопада, у східних та північно-східних районах – 19–21 листопада.

Стійкий сніговий покрив на території області формується переважно у другій половині листопада або в першій половині грудня. Середня його висота становить 8–16 см. Максимальної висоти – 43–59 см – сніговий покрив досягав у першій декаді березня 1987 року.

Глибина промерзання ґрунту істотно варіює залежно від погодних умов зими і в найбільш холодні та малосніжні роки (зокрема у 1986 році) в північних і південно-східних районах досягала 140–150 см. Водночас протягом останніх десяти років у окремі зими стійкий сніговий покрив не формувався, а ґрунт промерзав незначно або взагалі не промерзав.

Середньорічна кількість атмосферних опадів на території області становить 594–676 мм. Найбільша місячна кількість опадів припадає на червень – липень, найменша – на січень – березень. У окремі роки річні суми опадів коливаються в межах 400–850 мм, при цьому максимальна добова кількість опадів іноді досягає 100–140 мм.

Річний розподіл напрямків вітру на території області є нерівномірним. Найчастіше спостерігаються вітри західного та південного напрямків. У холодний період року переважають вітри південно-західного та південного напрямків, тоді як у теплий період – західного та північно-західного. Середня річна швидкість вітру становить 3–4 м/с, при цьому протягом року може спостерігатися до 20 днів із максимальною швидкістю вітру 15 м/с і більше.

Чернігівська область належить до зони достатнього зволоження. Середньорічна відносна вологість повітря становить 75–80 % і коливається від 50–70 % у липні – серпні до 80–95 % у зимовий період. Упродовж року відмічається від 20 до 44 діб з відносною вологістю повітря 30 % і менше.

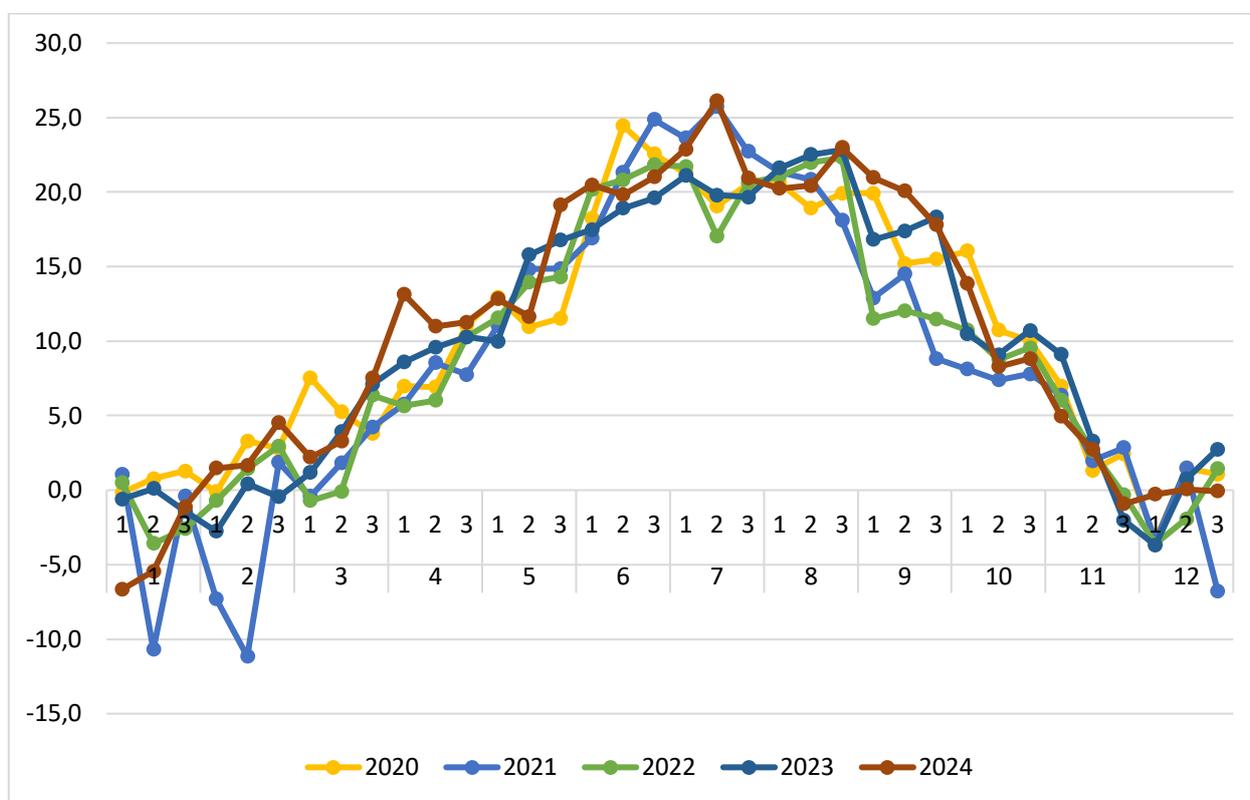
Особливості фізико-географічного розташування території Чернігівщини та сезонних атмосферних процесів зумовлюють формування небезпечних метеорологічних явищ, зокрема сильного вітру, хуртовин, ожеледі та туманів у зимовий період, а також інтенсивних опадів, гроз і граду в літній період. У окремих випадках зазначені явища набувають стихійного характеру та спричиняють значні збитки різним галузям економіки.

Упродовж 2021–2023 рр. спостерігалися незначні відхилення середньодобових температур повітря вище багаторічної норми; винятком став лише період з третьої декади червня по другу декаду липня 2021 року, коли перевищення норми становило 3,46–5,91 °С. Загалом у зазначений проміжок часу переважали температури повітря, близькі до багаторічної норми, або ж відхилення в бік її зниження. Такі погодні умови позитивно позначилися на рості й розвитку сільськогосподарських культур, які не потребують накопичення значних сум активних температур повітря, зокрема кукурудзи.

Таблиця 1

**Кількість опадів у роки проведення досліджень (за даними додатку Geosys, Козелецький р-н) (2020–2024 рр.)**

Кількість опадів, мм	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє
За рік	618	654	751	690	658	635
За вегетаційний період:						
озимих культур	445	533	451	595	717	500
ранніх ярих культур (03–06)	251	213	200	206	301	197
пізніх ярих культур (04–09)	357	403	408	280	339	332



**Рис. 1. Середньодобова температура повітря у роки досліджень (за даними додатку Geosys, Козелецький р-н, 2020–2024 рр.)**

Під час виконання науково-дослідних робіт використовувалися такі методи досліджень:

- польові – із застосуванням обладнання та технологій точного землеробства;
- лабораторні – для проведення агрохімічних і фізико-хімічних аналізів ґрунту та рослин з метою оцінки змін родючості ґрунту, засвоєння макро- та мікроелементів рослинами, а також визначення впливу диференційованого застосування вапнякових меліорантів ( $\text{CaCO}_3$ ) на врожайність і якість зерна сільськогосподарських культур;
- математично-статистичні та розрахункові – для аналізу й оброблення отриманих результатів досліджень з метою наукового обґрунтування рекомендацій для виробництва щодо впровадження технологій диференційованого внесення вапнякових меліорантів ( $\text{CaCO}_3$ ).

Відбір зразків ґрунту здійснювали за допомогою автомобіля типу пікап Mitsubishi L200, оснащеного автоматичним пробовідбірником AgriSoilSampler від компанії AgriLab (рис. 2).



Рис. 2. Автоматизований пробовідбірник для відбору зразків ґрунту

Пробовідбірник дистанційно керується з кабіни автомобіля та оснащений планшетом із ГІС-програмним забезпеченням для створення та навігації за заздалегідь розробленими маршрутами відбору ґрунтових зразків (рис. 2). Автомобіль обладнано GPS-антенною з точністю сигналу до 30 см.

Автоматичний відбір ґрунтових зразків здійснювався за адаптивною сіткою, де елементарна ділянка становила 10 га. Із кожної ділянки відбирався один змішаний зразок, що складався з 20 точкових проб ґрунту, які збирали буром на глибину до 30 см. Така схема відбору забезпечила отримання репрезентативних даних про ґрунтові характеристики всієї площі поля, що дозволило виконати точний аналіз для подальшого застосування диференційованих агротехнічних заходів (рис. 3).



Рис. 3. Схема відбирання ґрунтових зразків на досліджуваному полі 253 га (Гарбузин)

Для визначення фізико-хімічних і агрохімічних показників ґрунтів застосовували методи, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

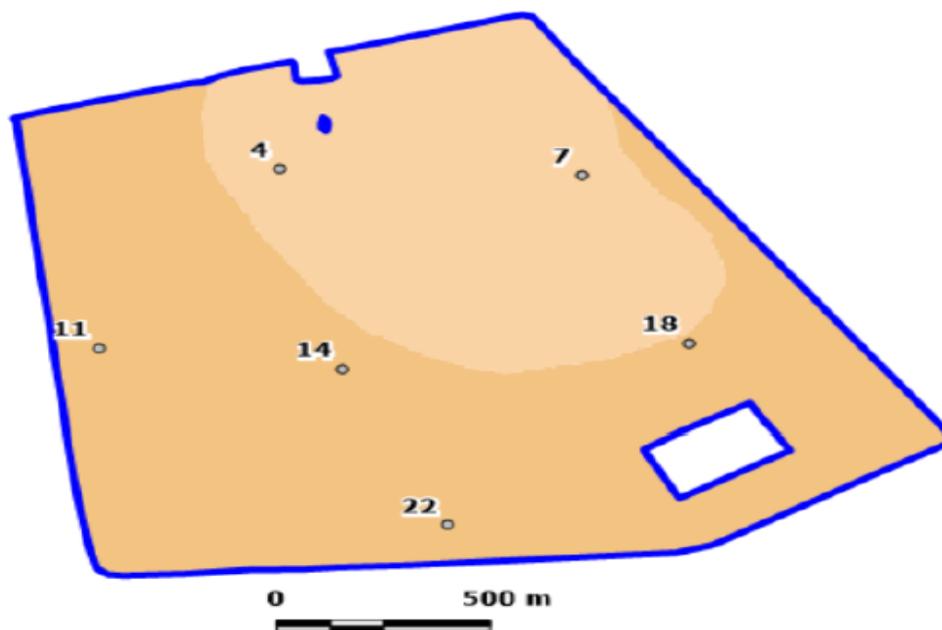
**Методи визначення агрохімічних та фізико-хімічних показників ґрунту**

Показник	Одиниці виміру	Метод визначення
pH ґрунту	од. pH	pH водний (1:1) потенціометрія
pH буферний	од. pH	Wdrf буфер потенціометрія
Органічна речовина	%	Пряме визначення за втратами при спалюванні (LOI)
Нітрати (NO <sub>3</sub> )	мг/кг	Метод відновлення кадмієм (FIA)
Фосфор (P)	мг/кг	Mehlich-3 (Екстрагент: 0,2N CH <sub>3</sub> COOH, 0,25N NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , 0,015N NH <sub>4</sub> F, 0,013N HNO <sub>3</sub> , 0,001M EDTA)
Калій (K)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> , pH 7,0 (ICP)
Кальцій (Ca)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> , pH 7,0 (ICP)
Магній (Mg)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> , pH 7,0 (ICP)
Натрій (Na)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> , pH 7,0 (ICP)
Сірка (S)	мг/кг	Монокальцій фосфатна витяжка (Ca-P)
Цинк (Zn)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (DTPA) (ICP)
Залізо (Fe)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (DTPA) (ICP)
Марганець (Mn)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (DTPA) (ICP)
Мідь (Cu)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (DTPA) (ICP)
Бор (B)	мг/кг	Екстрагент: гаряча H <sub>2</sub> O
Вміст водорозчинних солей	ммоль/см	Кондуктометрія (Cond 1:1)
Сума катіонів	мг-екв/100 г	Розрахунковий
Насиченість основами	%	Відсоток від базового насичення катіонами

Досліджуване поле загальною площею 253 га (н. п. Гарбузин, Чернігівська обл.) характеризується неоднорідним ґрунтовим покривом та значною варіабельністю властивостей ґрунту, зокрема рівня pH. Розміщення варіантів у дослідях здійснювалося відповідно до зон неоднорідності за показником pH, повторність – триразова.

Ґрунти дослідного поля представлені сірими опідзоленими пилувато-суглинковими, ясно-сірими опідзоленими та темно-сірими опідзоленими пилувато-суглинковими ґрунтами. Вони мають такі агрохімічні та фізико-хімічні характеристики орного шару (0–30 см): pH(1:1) – 5,0–6,5 од.; pH (буферний) – 6,4–6,8 од.; вміст органічної речовини – 1,5–2,1 %; рухомі форми фосфору (P) – 20–88 мг/кг; обмінний калій (K) – 88–156 мг/кг; кальцій (Ca) – 472–805 мг/кг; магній (Mg) – 62–82 мг/кг.

Дослідне поле має сірі опідзолені пилувато-суглинкові, ясно-сірі опідзолені та темно-сірі опідзолені пилувато-суглинкові ґрунти. Це, своєю чергою, дає змогу додатково оцінити ефективність досліджуваних агротехнічних прийомів на більшій кількості ґрунтових відмін.



Групування ґрунтів за гранулометричним складом					
Точка	Тип ґрунту	Вміст, %			Гранулометричний склад
		піску	мулу	глини	
4	Ясно-сірі опідзолені ґрунти Темно-сірі опідзолені ґрунти	31	56	13	Пилуватий суглинок
7		33	54	13	Пилуватий суглинок
11	Сірі опідзолені ґрунти	37	52	11	Пилуватий суглинок
14		32	56	12	Пилуватий суглинок
18		31	59	10	Пилуватий суглинок
22		33	55	12	Пилуватий суглинок

Рис 4. Групування ґрунтів за гранулометричним складом у межах дослідного поля 253 га

### Результати досліджень.

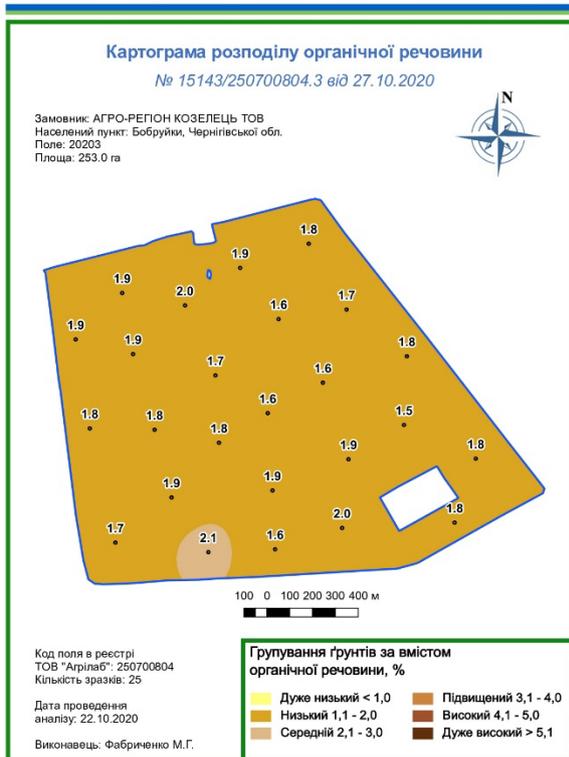
Результати аналізу зразків ґрунту, відібраних на початку досліджень у межах дослідного поля 253 га, наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

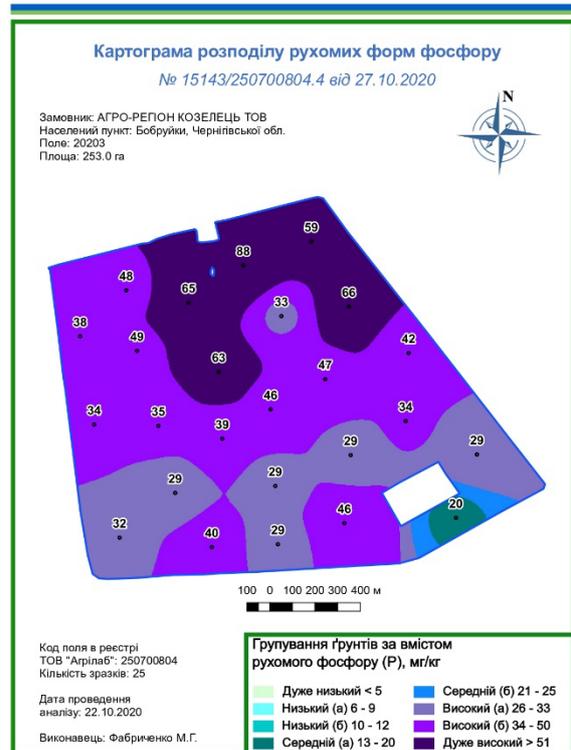
### Результати аналізу зразків ґрунту, відібраних на початку досліджень у межах дослідного поля 253 га, вихідні дані

Номер зразка	рН (1:1) ґрунту	рН буф	Розчинні солі, ммоль/см	Орган. речовина, %	Нітрати (NO <sub>3</sub> ), мг/кг	Фосфор (P), мг/кг	Амонійно-ацетатний буфер, мг/кг				Сірка (S), мг/кг	Мікроелементи (DTPA), мг/кг				Сума катіонів, мг-екв/100 г	Насиченість основами, %				
							K	Ca	Mg	Na		Zn	Fe	Mn	Cu		H	K	Ca	Mg	Na
1	6,1	6,8	0,08	1,4	6,1	40	69	811	91	10	10	0,61	46,0	9,8	0,72	7,1	29	2	57	11	1
2	6,5	6,7	0,09	2,2	6,8	36	99	1330	138	9	8	0,63	58,0	12,1	1,08	11,3	28	2	59	10	0
3	6,5	6,9	0,10	2,6	5,4	38	169	1672	153	9	8	0,59	51,8	10,3	1,29	11,4	11	4	73	11	0
4	5,8	6,4	0,08	2,6	4,2	23	104	1027	136	11	12	0,46	75,9	15,6	1,13	13,0	49	2	40	9	0
5	5,2	6,6	0,09	2,2	4,1	41	111	594	86	10	13	0,35	88,9	20,0	0,91	8,3	52	3	35	9	1
6	5,1	6,4	0,08	1,7	5,0	61	123	225	34	9	16	0,41	125,1	22,9	0,53	8,2	78	4	14	3	0
7	5,0	6,6	0,07	1,3	4,4	51	95	331	42	10	13	0,51	127,4	23,6	0,46	6,1	62	4	27	6	1
8	5,3	6,4	0,04	1,4	3,1	36	92	346	56	10	15	0,62	100,2	20,5	0,52	8,0	69	3	21	6	1
9	5,8	6,8	0,08	1,5	3,2	49	86	617	69	11	11	0,48	89,0	12,5	0,60	6,1	36	4	50	9	1
10	5,8	6,6	0,05	1,3	2,9	42	78	395	52	8	7	0,66	144,3	20,3	0,48	6,5	60	3	29	7	1
11	5,7	6,8	0,06	1,4	4,7	46	116	516	59	8	11	0,41	56,8	12,9	0,43	5,2	35	6	49	9	1
12	5,7	6,5	0,08	1,7	2,1	20	134	696	87	8	11	0,49	56,6	25,4	0,76	9,4	51	4	37	8	0
13	5,5	6,7	0,08	1,6	2,6	20	88	673	78	8	12	0,29	46,9	19,0	0,63	7,0	39	3	48	9	0
14	5,3	6,4	0,06	1,5	5,3	48	78	434	61	9	11	0,43	83,3	18,9	0,66	8,4	65	2	26	6	0
15	4,7	6,4	0,05	1,3	2,9	106	122	180	31	9	16	0,67	114,9	42,6	0,85	7,0	79	4	12	4	1
16	5,2	6,3	0,04	1,5	5,3	105	104	185	25	9	21	0,89	250,1	54,4	0,78	8,2	83	3	11	2	0
17	5,2	6,7	0,06	1,4	4,7	86	96	367	39	10	14	0,60	162,0	29,0	0,56	6,0	59	4	30	6	1

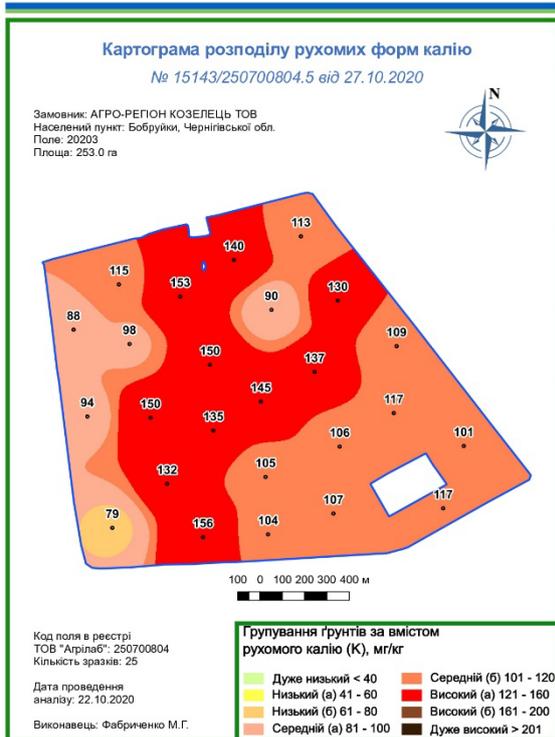




Уміст органічної речовини



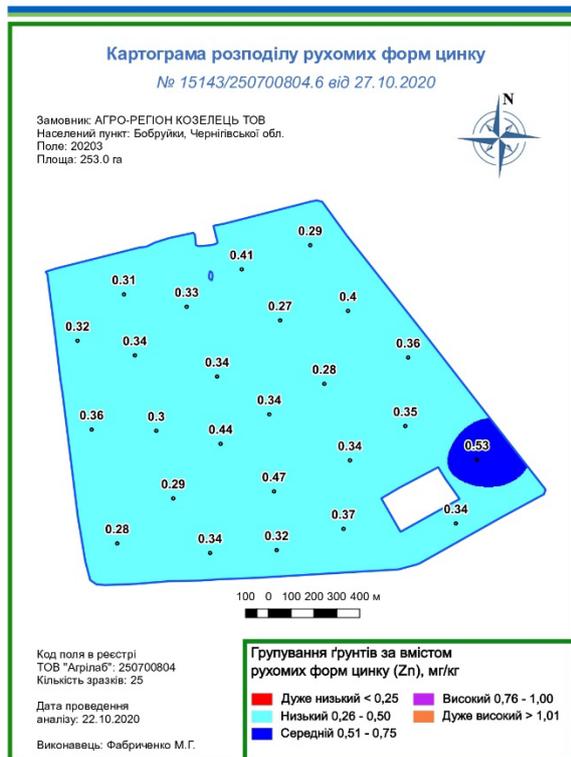
Уміст рухомих форм фосфору



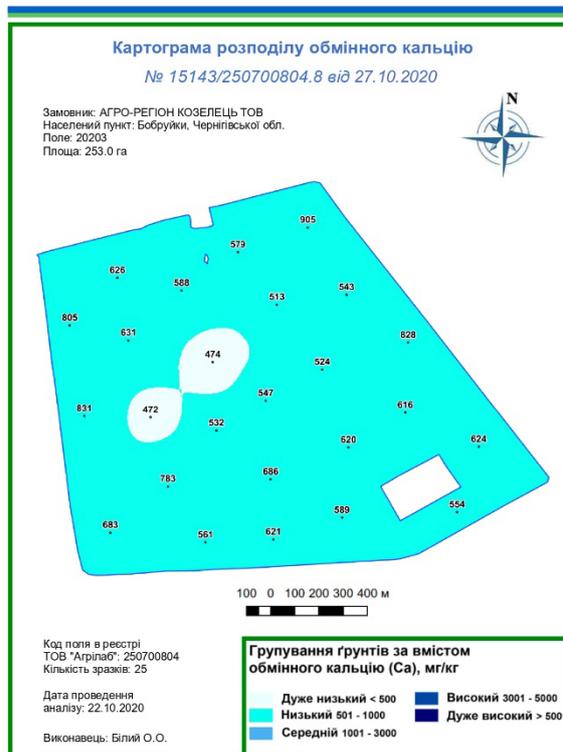
Уміст рухомих форм калію

Рис. 6. Картограма розподілу вмісту органічної речовини, рухомих форм фосфору та калію, поле 253 га, 2020 р.

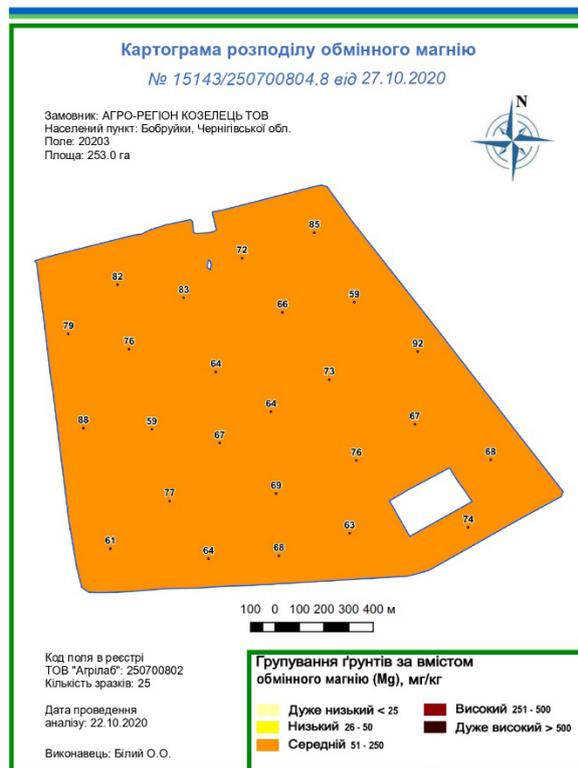
Також встановлено, що за показниками обмінного магнію поле є однорідним і характеризується середнім забезпеченням ґрунту (рис. 7), тоді як за вмістом рухомих форм цинку та обмінного кальцію спостерігаються низькі показники.



Уміст рухомих форм цинку



Уміст обмінного кальцію



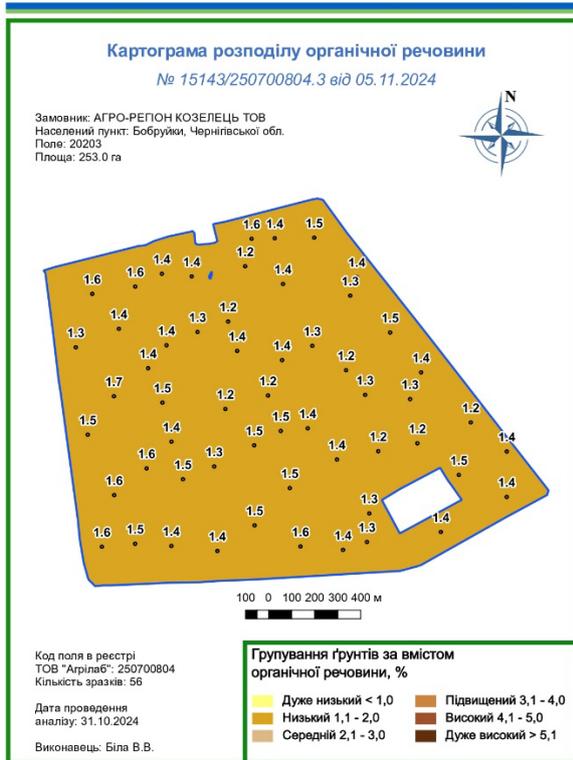
Уміст обмінного магнію

Рис. 7. Картограма розподілу вмісту рухомих форм цинку та обмінного кальцію і магнію, поле 253 га, 2020 р.

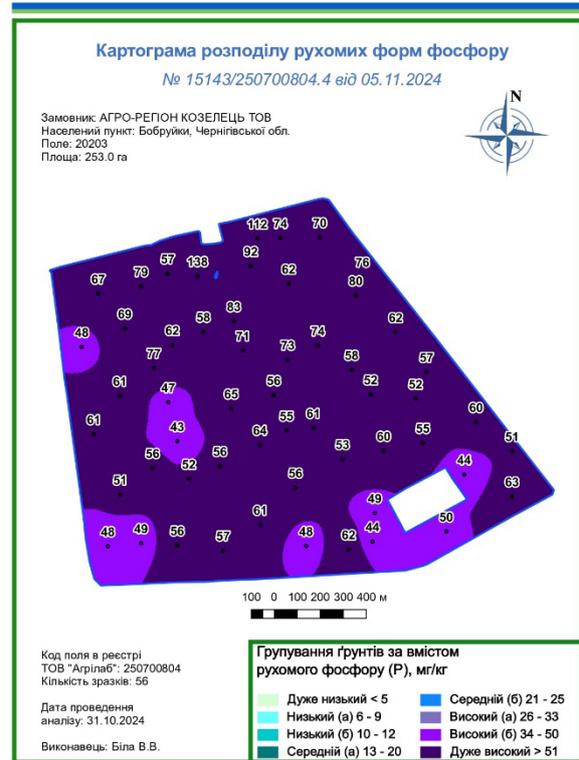
Загалом спостерігається варіювання показників досліджуваних елементів живлення в межах одного рівня забезпечення ґрунту, проте різких стрибків між різними рівнями забезпечення не виявлено.

Аналіз розподілу обмінного кальцію свідчить про певні залежності зміни його вмісту у ґрунті відповідно до рівня кислотності. Водночас чіткої закономірності між цими параметрами немає, а на картах, що відображають розподіл за групами вмісту, залежності між ознаками майже не простежуються.

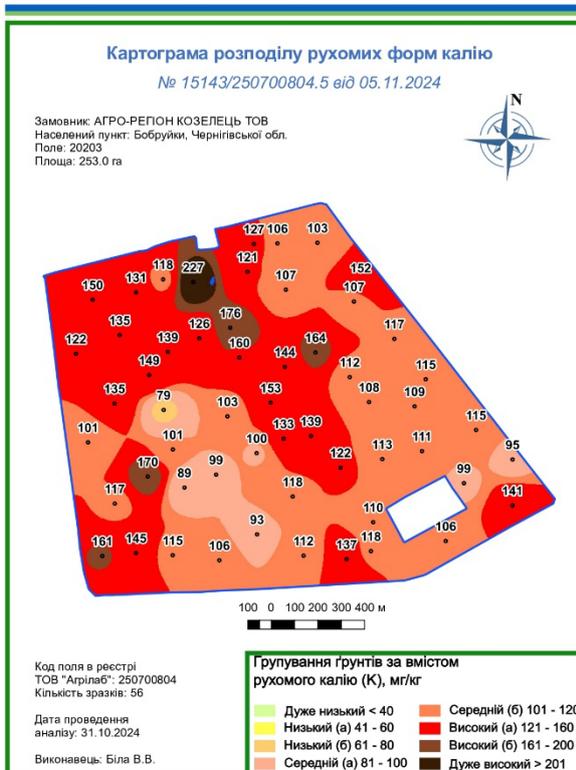
Проаналізовано параметри розподілу вмісту органічної речовини та рухомих форм фосфору і калію на полі після застосування вапна (рис. 8). З картограм видно, що вміст органічної речовини зменшився приблизно на 0,3–0,4 % порівняно з початковими значеннями, але залишився в межах однієї групи низького рівня забезпечення ґрунту.



Уміст органічної речовини



Уміст рухомих форм фосфору



Уміст рухомих форм калію

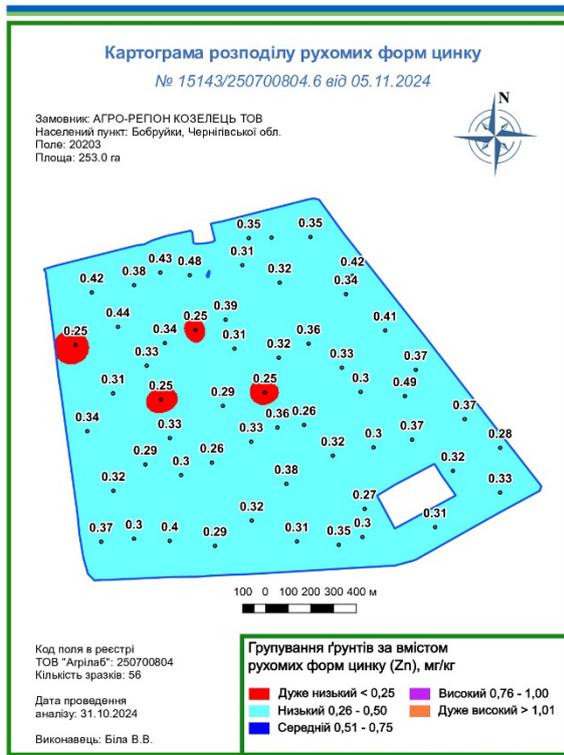
Рис. 8. Картограма розподілу вмісту органічної речовини, рухомих форм фосфору та калію, поле 253 га, 2024 р.

Високі початкові агрохімічні характеристики ґрунту, його просторове окультурення та рівномірність показників позитивно вплинули на зміни ознак. Розподіл рухомого фосфору переважно перебуває на рівні дуже високого забезпечення, і лише на 5 ділянках спостерігається

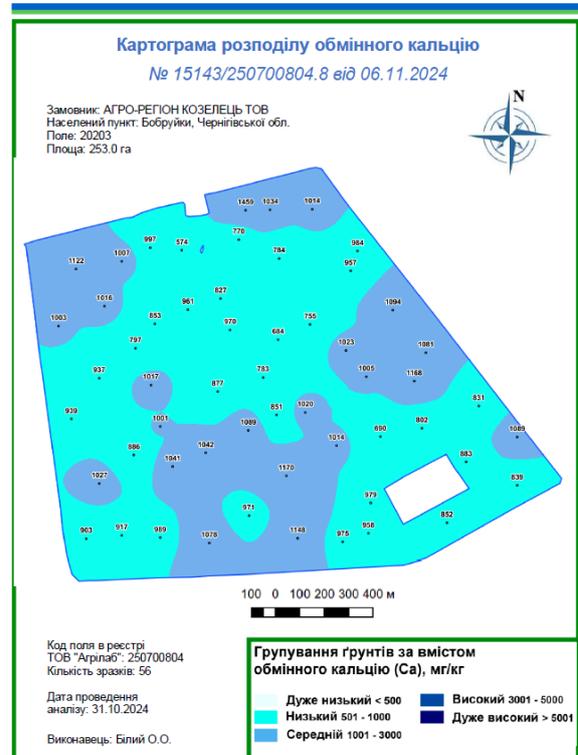
високий рівень. Для порівняння, у 2020 році забезпечення рухомим фосфором варіювало від низького до дуже високого.

У 2024 році відмічено підвищення забезпеченості ґрунту рухомими формами калію. Було зафіксовано одну точку з дуже високим його вмістом (227 мг/кг) та чотири точки з концентрацією від 160 до 167 мг/кг ґрунту.

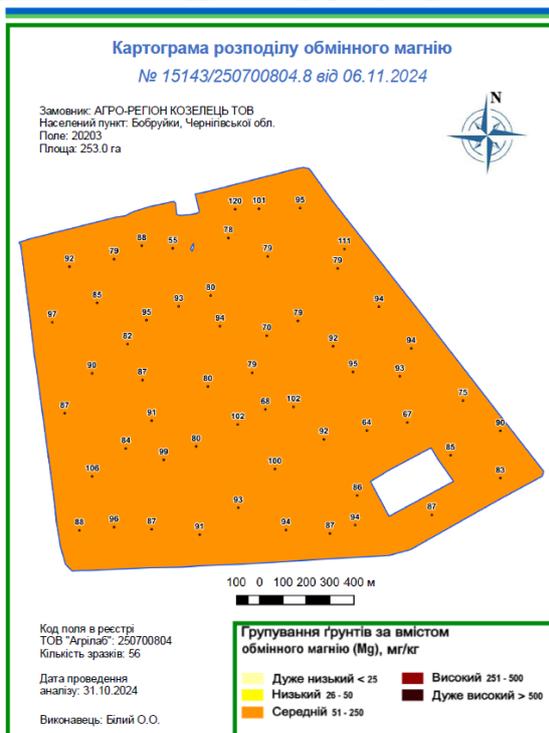
Також на рисунку 9 наведено розподіл умісту рухомих форм цинку та обмінного кальцію і магнію.



Уміст рухомих форм цинку



Уміст обмінного кальцію



Уміст обмінного магнію

Рис. 9. Картограма розподілу вмісту рухомих форм цинку та обмінного кальцію і магнію, поле 253 га, 2024 р.

За показниками розподілу рухомих форм цинку збереглася однорідність у межах площі поля. Уміст елемента залишився в межах тієї ж групи (низький рівень забезпечення), за винятком

чотирьох точок із дуже низьким рівнем, при цьому у 2024 році спостерігається незначне підвищення показників на 0,05–0,10 мг/кг.

Динаміка змін обмінного кальцію свідчить про підвищення його концентрації в ґрунті від переважно низького рівня до середнього. Щодо обмінного магнію, поле залишилося в тій же групі забезпеченості, проте числові показники в окремих точках збільшилися на 3–12 мг/кг.

Початково на полі спостерігалася широка градація кислотності: рН(1:1) 5,0–6,5, із переважанням кислих і сильно кислих ділянок. Після внесення вапна відбулося вирівнювання реакції ґрунтового середовища, що створює базові умови для зменшення токсичності кислотності (насамперед  $\text{Al}^{3+}/\text{H}^+$  у ґрунтовому вбирному комплексі), підвищення насиченості основами, підвищення ефективності засвоєння фосфору, калію та частини мікроелементів, а також зміни співвідношень катіонів ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) у ґрунті.

Після вапнування за картографіями відзначено зменшення вмісту органічної речовини приблизно на 0,3–0,4 % від початкових значень, при цьому показник залишився в межах тієї ж групи низького забезпечення.

Наукова інтерпретація полягає в тому, що при нейтралізації кислотності активізується мікробіологічна мінералізація органічної речовини, через що короткостроково можливе зниження її частки. Паралельно покращується гуміфікація та структурний стан ґрунту, проте ці процеси проявляються пізніше, ніж період «післядії» першого циклу вапнування.

На початковому етапі поле характеризувалося широким діапазоном забезпечення рухомих фосфором (20–88 мг/кг), тобто від низького до високого / дуже високого залежно від ділянки. Після вапнування у 2024 році практично весь розподіл рухомого фосфору перебував на рівні дуже високого забезпечення, і лише п'ять ділянок залишалися в групі високого. Такий ефект типово спостерігається на кислих ґрунтах: підвищення рН зменшує фіксацію фосфатів Fe/Al-оксидами, а розвиток кореневої системи сприяє підвищенню реальної доступності фосфору для рослин навіть за однакових лабораторних показників.

Початково вміст калію характеризувався діапазоном 88–156 мг/кг. Після вапнування у 2024 році зафіксовано підвищення забезпеченості ґрунту калієм, включно з однією точкою дуже високого вмісту (227 мг/кг) та чотирма точками з концентрацією 160–167 мг/кг. Це узгоджується з тим, що оптимізація рН підвищує ефективність калійного живлення завдяки кращому розвитку кореневої системи, можливому перерозподілу K у профілі ґрунту та зміні конкуренції катіонів на обмінних позиціях (особливо за зростання  $\text{Ca}^{2+}$ ).

За даними після вапнування обмінний кальцій змістився від переважно низького рівня до середнього, що свідчить про чітку позитивну динаміку концентрації. Щодо обмінного магнію поле залишилося в тій самій групі забезпеченості, проте числові значення в окремих точках зросли на 3–12 мг/кг.

З прикладного погляду підвищення Ca є прямим наслідком внесення вапна та ключовим чинником стабілізації структури ґрунту й зменшення кислотності. Приріст Mg на фоні Ca-вапнування є позитивним маркером, однак за інтенсивного кальціювання можливе відносне «розбалансування» співвідношення Ca:Mg:K, що робить доцільним контролювання катіонного балансу в динаміці.

У 2024 році за рухомими формами Zn загальна просторово-польова однорідність збереглася, забезпеченість залишилася в тій же групі (низька, із поодинокими дуже низькими точками), числові показники підвищилися на 0,05–0,10 мг/кг. Це важливо, оскільки класично вапнування може знижувати доступність Zn через підвищення рН. У цьому разі позитивна динаміка для Zn може пояснюватися покращенням структури та аерації ґрунту, активністю кореневої системи, більш оптимальними умовами мінералізації та мобілізації мікроелементів у ґрунтовому розчині та загальним вирівнюванням поля.

## **Висновки**

Вихідний агрохімічний стан ґрунтів дослідного поля площею 253 га характеризувався значною просторовою неоднорідністю кислотності, з діапазоном рН(1:1) від 5,0 до 6,5 та переважанням кислих і сильнокислих ділянок. Така строкатість формувала нерівномірні умови живлення рослин і обмежувала реалізацію потенціалу родючості сірих опідзолених ґрунтів Полісся.

Диференційоване вапнування забезпечило ефективне вирівнювання реакції ґрунтового середовища, що проявилось у зменшенні частки кислих і сильно кислих ділянок та стабілізації рН

на рівнях, близьких до оптимальних для більшості сільськогосподарських культур. Це створило передумови для зниження кислотної токсичності ( $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ) та покращення фізико-хімічного стану ґрунтового вбирного комплексу.

Уміст органічної речовини після вапнування зменшився в середньому на 0,3–0,4 %, проте залишився в межах тієї ж групи низького забезпечення. Така динаміка відображає короткострокову активацію мікробіологічної мінералізації органічної речовини в умовах нейтралізації кислотності та не свідчить про деградаційні процеси, а відповідає відомим закономірностям трансформації гумусу після хімічної меліорації.

Найбільш виражений позитивний ефект від вапнування зафіксовано щодо рухомих форм фосфору. На початку досліджень спостерігалася широка градація забезпеченості (20–88 мг/кг, від низького до дуже високого рівня), тоді як після вапнування практично вся площа поля характеризувалася дуже високим рівнем забезпечення фосфором, а лише окремі ділянки зберігали високий рівень. Це свідчить про зменшення фіксації фосфатів оксидами Fe і Al та зростання їх доступності за оптимізованого рН.

Забезпеченість ґрунту рухомими формами калію після вапнування суттєво покращилася, що підтверджується появою ділянок з дуже високим вмістом K (до 227 мг/кг) та розширенням площ із концентраціями 160–167 мг/кг. Така динаміка пояснюється як покращенням кореневого живлення рослин, так і змінами катіонної рівноваги у ґрунтовому вбирному комплексі за зростання частки кальцію.

Обмінний кальцій після вапнування змінився від переважно низького до середнього рівня забезпеченості, що є прямим наслідком внесення вапнякових меліорантів і ключовим чинником стабілізації структури ґрунту, зменшення кислотності та підвищення насиченості основами. Обмінний магній залишився в тій самій групі забезпеченості, проте його абсолютні значення зросли на 3–12 мг/кг, що свідчить про позитивний, хоча й менш виражений, супутній ефект вапнування.

Рухомі форми цинку після вапнування зберегли просторову однорідність, а їх концентрації зросли в середньому на 0,05–0,10 мг/кг, незважаючи на підвищення рН. Це вказує на те, що диференційоване вапнування не призвело до пригнічення доступності Zn, а сприяло певній його мобілізації, ймовірно, через покращення аерації ґрунту, активності кореневої системи та мікробіологічних процесів.

Комплексний вплив диференційованого вапнування проявився у вирівнюванні просторової мінливості агрохімічних показників ґрунту, зменшенні контрастності між ділянками поля та підвищенні загальної агрохімічної окультуреності. Це створює науково обґрунтовану основу для подальшого впровадження технологій точного землеробства, оптимізації удобрення та підвищення стабільності продукційних процесів.

### Використана література

1. Schöpp W., Posch M., Mylona S., Johannsson M. Long-term development of acid deposition (1880–2030) in sensitive freshwater regions in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2003. Vol. 7, Iss. 4. P. 436–446. <https://doi.org/10.5194/hess-7-436-2003>
2. Amelung W., Blume H.-P., Fleige H. et al. Chemische Eigenschaften und Prozesse. *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde*. Berlin : Springer, 2018. P. 151–211. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3_5)
3. Pabian S. E., Rummel S. M., Sharpe W. E., Brittingham M. C. Terrestrial liming as a restoration technique for acidified forest ecosystems. *International Journal of Forestry Research*. 2012. Vol. 2012. P. 1–10. <https://doi.org/10.1155/2012/976809>
4. Guckland A., Ahrends B., Paar U. et al. Predicting depth translocation of base cations after forest liming: Results from long-term experiments. *European Journal of Forest Research*. 2012. Vol. 131. P. 1869–1887. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0639-0>
5. Cools N., Vesterdal L., de Vos B. et al. Tree species is the major factor explaining C:N ratios in European forest soils. *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 311. P. 3–16. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.047>
6. Buni A. Effects of liming acidic soils on improving soil properties and yield of haricot bean. *Journal of Environmental Analytical Toxicology*. 2014. Vol. 5, Iss. 1. P. 1–4. <https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000248>
7. Goulding K. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*. 2016. Vol. 32, Iss. 3. P. 390–399. <https://doi.org/10.1111/sum.12270>
8. Van Der Bauwhede R., Troonbeeckx J., Serbest I. et al. Restoration rocks: The long-term impact of rock dust application on soil, tree foliar nutrition, tree radial growth, and understory biodiversity in Norway spruce forest

9. Li Y., Cui S., Chang S. X., Zhang Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: A global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*. 2019. Vol. 19. P. 1393–1406. https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2

10. Van Der Bauwhede R., Muys B., Vancampenhout K., Smolders E. Accelerated weathering of silicate rock dusts predicts the slow-release liming in soils depending on rock mineralogy, soil acidity, and test methodology. *Geoderma*. 2024. Vol. 441. Article 116734. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116734

11. Ramos C. G., Hower J. C., Blanco E. et al. Possibilities of using silicate rock powder: An overview. *Geoscience Frontiers*. 2022. Vol. 13, Iss. 1. Article 101185. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101185

12. Paradelo R., Virto I., Chenu C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2015. Vol. 202. P. 98–107. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005

13. Aye N. S., Sale P. W. G., Tang C. The impact of long-term liming on soil organic carbon and aggregate stability in low-input acid soils. *Biology and Fertility of Soils*. 2016. Vol. 52, Iss. 5. P. 697–709. https://doi.org/10.1007/s00374-016-1111-y

14. da Costa C. H. M., Crusciol C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties. *European Journal of Agronomy*. 2016. Vol. 74. P. 119–132. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.12.001

## References

1. Schöpp, W., Posch, M., Mylona, S., & Johannsson, M. (2003). Long-term development of acid deposition (1880–2030) in sensitive freshwater regions in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(4), 436–446. https://doi.org/10.5194/hess-7-436-2003

2. Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., & Wilke, B.-M. (2018). Chemische Eigenschaften und Prozesse. In *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde* (pp. 151–211). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3\_5

3. Pabian, S. E., Rummel, S. M., Sharpe, W. E., & Brittingham, M. C. (2012). Terrestrial liming as a restoration technique for acidified forest ecosystems. *International Journal of Forestry Research*, 2012, 1–10. https://doi.org/10.1155/2012/976809

4. Guckland, A., Ahrends, B., Paar, U., Dammann, I., Evers, J., Meiwes, K. J., Schönfelder, E., Ullrich, T., Mindrup, M., König, N., & Eichhorn, J. (2012). Predicting depth translocation of base cations after forest liming: Results from long-term experiments. *European Journal of Forest Research*, 131, 1869–1887. https://doi.org/10.1007/s10342-012-0639-0

5. Cools, N., Vesterdal, L., de Vos, B., Vanguelova, E., & Hansen, K. (2014). Tree species is the major factor explaining C:N ratios in European forest soils. *Forest Ecology and Management*, 311, 3–16. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.047

6. Buni, A. (2014). Effects of liming acidic soils on improving soil properties and yield of haricot bean. *Journal of Environmental Analytical Toxicology*, 5(1), 1–4. https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000248

7. Goulding, K. (2016). Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use and Management*, 32(3), 390–399. https://doi.org/10.1111/sum.12270

8. Van Der Bauwhede, R., Troonbeeckx, J., Serbest, I., Moens, C., Desie, E., Katzensteiner, K., Vancampenhout, K., Smolders, E., & Muys, B. (2024). Restoration rocks: The long-term impact of rock dust application on soil, tree foliar nutrition, tree radial growth, and understory biodiversity in Norway spruce forest stands. *Forest Ecology and Management*, 568, Article 122109. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122109

9. Li, Y., Cui, S., Chang, S. X., & Zhang, Q. (2019). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: A global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19, 1393–1406. https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2

10. Van Der Bauwhede, R., Muys, B., Vancampenhout, K., & Smolders, E. (2024). Accelerated weathering of silicate rock dusts predicts the slow-release liming in soils depending on rock mineralogy, soil acidity, and test methodology. *Geoderma*, 441, Article 116734. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116734

11. Ramos, C. G., Hower, J. C., Blanco, E., Oliveira, M. L. S., & Theisen, V. G. (2022). Possibilities of using silicate rock powder: An overview. *Geoscience Frontiers*, 13(1), Article 101185. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101185

12. Paradelo, R., Virto, I., & Chenu, C. (2015). Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 202, 98–107. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005

13. Aye, N. S., Sale, P. W. G., & Tang, C. (2016). The impact of long-term liming on soil organic carbon and aggregate stability in low-input acid soils. *Biology and Fertility of Soils*, 52(5), 697–709. https://doi.org/10.1007/s00374-016-1111-y

14. da Costa, C. H. M., & Crusciol, C. A. C. (2016). Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean–oat–sorghum rotation and soil chemical properties. *European Journal of Agronomy*, 74, 119–132. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.12.001

UDC 631.81:631.45

**Boiko, Ya. I.** (2025). Effect of differential liming on the fertility of grey podzolic soils in the Polissia region of Ukraine. *Advanced Agritechnologies*, 13(3). <https://doi.org/10.47414/na.13.3.2025.348379> [In Ukrainian]

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, e-mail: iaroslavboik@gmail.com*

**Purpose.** To identify the specific effects of differential liming on the fertility of grey podzolic soils in the Polissia region of Ukraine. **Methods.** The study was conducted on a 253-ha field (Chernihiv region) characterised by a heterogeneous soil cover: grey podzolic silty loam, light-grey, and dark-grey podzolic soils. Field methods with elements of precision farming were used, including automated soil sampling with an adaptive grid, and laboratory agrochemical and physico-chemical soil analyses. Spatial distribution of soil indicators was assessed using GIS technologies and interpolation by the Kriging method. **Results.** The initial state of soils was characterised by a wide range of acidity (pH(1:1) 5.0–6.5), which caused uneven nutrient availability and limited fertiliser efficiency. Differential application of lime ameliorants ensured levelling of soil reaction and reduced the proportion of acidic and strongly acidic areas. After liming, a short-term decrease in organic matter content by 0.3–0.4% was observed, associated with intensified microbiological mineralisation, without changing the soil fertility group. The most pronounced positive effect was found for mobile forms of phosphorus: almost the entire field area after liming was characterised by a very high level of thus nutrient availability, indicating reduced phosphate fixation under acidic conditions. Potassium availability also increased, with the emergence of areas with very high concentrations (up to 227 mg/kg). Exchangeable calcium after liming shifted from low to medium availability, while exchangeable magnesium retained its fertility group but increased by 3–12 mg/kg. Despite the rise in pH, mobile forms of zinc maintained spatial uniformity and showed an increase of 0.05–0.10 mg/kg. **Conclusions.** Differential liming contributed to reducing spatial variability of agrochemical indicators, improving agrochemical cultivation status of the soil, and forming scientifically substantiated base for the implementation of precision farming technologies.

**Keywords:** *differential liming; soil acidity; pH; agrochemical indicators; mobile phosphorus; mobile potassium; calcium and magnesium; microelements; zinc; spatial heterogeneity of soils; precision farming.*

*Надійшла / Received 10.07.2025*  
*Погоджено до друку / Accepted 29.08.2025*