

УДК 631.81:631.45

Вплив диференційованого вапнування на родючість сірого опідзоленого ґрунту

Я. І. Бойко 

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

Автор для листування: Ярослав Бойко, iaroslavboik@gmail.com**Цитування:** Бойко Я. І. Вплив диференційованого вапнування на родючість сірого опідзоленого ґрунту. *Біоенергетика*. 2025, № 2. С. 3–14. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp3-14>

Мета. Виявити особливості впливу диференційованого вапнування на родючість сірого опідзоленого ґрунту в умовах Полісся України. **Методи.** Науково-дослідні роботи виконували впродовж 2020–2024 рр. на полі площею 165 га (с. Панасівка, Житомирська обл.). Відбір ґрунтових зразків здійснювали за адаптивною сіткою (10 га) із застосуванням автомобіля Mitsubishi L200 з автоматичним пробовідбірником AgriSoilSampler та ГІС-навігацією. Основні фізико-хімічні та агрохімічні показники ґрунту визначали за стандартними методиками (LOI, FIA, Mehlich-3, ICP, DTPA). Просторовий розподіл показників аналізували методом Крігінга у QGIS для диференційованого планування вапнування. **Результати.** Агрохімічний стан ґрунтів дослідного поля характеризувався високою просторовою неоднорідністю. Початковий рН (1:1) варіював від 4,7 до 6,4, середнє – 5,7, буферний рН – 6,4, органічна речовина – 3,6%, рухомі форми фосфору – 23,0 мг/кг, калію – 119 мг/кг, обмінний кальцій – 2071 мг/кг, магній – 226 мг/кг. Виявлено значну строкатість просторового розподілу кислотності, органічної речовини та рухомих форм макро- і мікроелементів. Після диференційованого вапнування переважна частина площі набула слабкокислого та близького до нейтрального рН (6,1–6,7), зменшилася просторова варіабельність фосфору та калію, підвищився вміст обмінного кальцію та стабілізувався катіонний баланс ґрунту. Вміст обмінного магнію та рухомих форм цинку залишався у задовільних межах, що підтверджує безпечність обраних доз меліорантів. **Висновки.** Отримані результати свідчать, що диференційоване вапнування є ефективним інструментом управління кислотністю ґрунту, сприяє зниженню просторової варіабельності агрохімічних показників та формує науково обґрунтовані передумови для підвищення ефективності системи удобрення в умовах точного землеробства.

Ключові слова: диференційоване вапнування; кислотність ґрунту; рН; агрохімічні показники; рухомий фосфор; рухомий калій; обмінний кальцій; магній; цинк; просторова неоднорідність; точне землеробство; Полісся України.

Вступ

Кислотність ґрунтів залишається однією з ключових агроєкологічних проблем землеробства в зоні Полісся, де значна частина орних земель представлена дерново-підзолистими та сірими опідзоленими ґрунтами з підвищеною буферною кислотністю. Кисла реакція ґрунтового середовища негативно впливає на фізико-хімічні й біологічні властивості ґрунту, обмежує доступність елементів живлення, порушує катіонний баланс ґрунтового вбирного комплексу та знижує ефективність застосування мінеральних добрив. Унаслідок цього продуктивність сільськогосподарських культур за таких умов характеризується значною просторовою мінливістю та нестабільністю [1–4].

Одержано 13.11.2025 • Погоджено 09.12.2025 • Опубліковано онлайн 29.12.2025

© Автор(и), 2025. Видавець Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Це стаття відкритого доступу, що розповсюджується на умовах ліцензії CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), яка дозволяє використання, розповсюдження та відтворення на будь-яких носіях за умови належного цитування оригінальної роботи.



Особливої актуальності зазначена проблема набуває на великих виробничих масивах, ґрунтовий покрив яких відзначається мозаїчною структурою та високим рівнем просторової неоднорідності агрохімічних показників. Навіть у межах одного поля можуть одночасно поєднуватися ділянки із сильно кислою, кислою та близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину. За таких умов традиційне суцільне вапнування часто виявляється недостатньо ефективним, оскільки спричиняє локальне перевапнування окремих зон або, навпаки, збереження надмірної кислотності на інших ділянках [5–8].

Вапнування є базовим агрохімічним заходом хімічної меліорації кислих ґрунтів, спрямованим на нейтралізацію надлишкової кислотності, підвищення насиченості ґрунту основами та оптимізацію катіонного складу ґрунтового вбирного комплексу. Водночас результати сучасних досліджень свідчать, що максимальний ефект від вапнування досягається лише за умови врахування просторової мінливості ґрунтових властивостей. У цьому контексті розвиток технологій точного землеробства відкриває нові можливості для диференційованого внесення вапнякових меліорантів на основі детального агрохімічного обстеження та побудови цифрових карт кислотності ґрунтів [9–13].

Попри наявність значної кількості наукових публікацій, присвячених впливу вапнування на окремі агрохімічні показники [14–16], недостатньо дослідженим залишається питання комплексного оцінювання змін кислотності, а також макро- та мікроелементного складу ґрунту за умов диференційованого вапнування на великих виробничих полях Полісся. Особливої уваги потребує аналіз ефективності таких заходів у контексті зменшення просторової варіабельності агрохімічних показників і формування більш однорідного агрохімічного фону.

Мета дослідження – виявити особливості впливу диференційованого вапнування на родючість сірого опідзоленого ґрунту в умовах Полісся України.

Матеріали та методи дослідження

Науково-дослідні роботи проводили на сільськогосподарських землях, розташованих поблизу населеного пункту Панасівка Житомирського району Житомирської області, що належать до зони Житомирського Полісся. Цей регіон є одним із природно-географічно своєрідних районів України та вирізняється складною структурою природних умов і значною біогеографічною різноманітністю.

Ґрунтовий покрив Житомирського Полісся характеризується високою строкатістю та просторовою неоднорідністю, що зумовлено поєднанням кліматичних, геоморфологічних і біологічних чинників ґрунтоутворення. Помірно континентальний клімат із вологими зимами та теплим літом сприяє формуванню різних типів і підтипів ґрунтів навіть у межах одного поля. Така строкатість ґрунтового покриву створює істотні виклики для аграрного виробництва, у зв'язку з чим застосування технологій диференційованого внесення добрив і вапнякових меліорантів є важливою передумовою забезпечення стабільної родючості та вирівнювання продуктивності сільськогосподарських угідь.

Клімат Житомирського Полісся помірно континентальний, з теплим вологим літом і м'якою, переважно хмарною зимою. Формування кліматичних умов регіону визначається комплексом кліматоутворювальних чинників, зокрема сонячною радіацією, атмосферною циркуляцією, особливостями рельєфу, а також значною лісистістю й заболоченістю території, що зумовлюють розвиток локальних мікрокліматичних відмітностей. Середня багаторічна температура повітря найхолоднішого місяця (січня) становить близько $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, найтеплішого (липня) – $+17\text{...}19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Середня річна температура повітря коливається в межах $+6\text{...}7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Абсолютний мінімум температури повітря в окремі роки досягає $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, переважно в січні та лютому. Тривалість безморозного періоду становить 150–170 днів.

Оцінка вологозабезпечення в роки проведення досліджень (2020–2024 рр.) свідчить, що сумарна кількість атмосферних опадів загалом була достатньою для нормального росту й розвитку сільськогосподарських культур (табл. 1). Водночас упродовж останніх років простежується тенденція до зменшення кількості опадів у регіоні, особливо в період вегетації ранніх культур, а також до зростання нерівномірності їх випадання протягом вегетаційного періоду пізніх культур. Найчіткіше ці особливості проявилися у 2022–2024 роках.

Попри те, що річна кількість опадів у досліджувані роки загалом була близькою до середньобогаторічних значень (678–682 мм), найкритичнішим щодо вологозабезпечення залишається весняний період та перша половина вегетації сільськогосподарських культур. Саме в цей час закладаються основи формування врожайності більшості культур, зокрема пізньостиглих.

Таблиця 1. Кількість опадів у роки проведення досліджень (за даними додатку Geosys, Житомирський р-н, 2020–2024 рр.)

Кількість опадів, мм	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє
За рік	619	745	705	671	717	678
За вегетаційний період:						
озимих культур	443	608	439	608	642	533
ранніх ярих культур (03–06)	257	291	179	242	258	255
пізніх ярих культур (04–09)	381	447	415	330	403	393

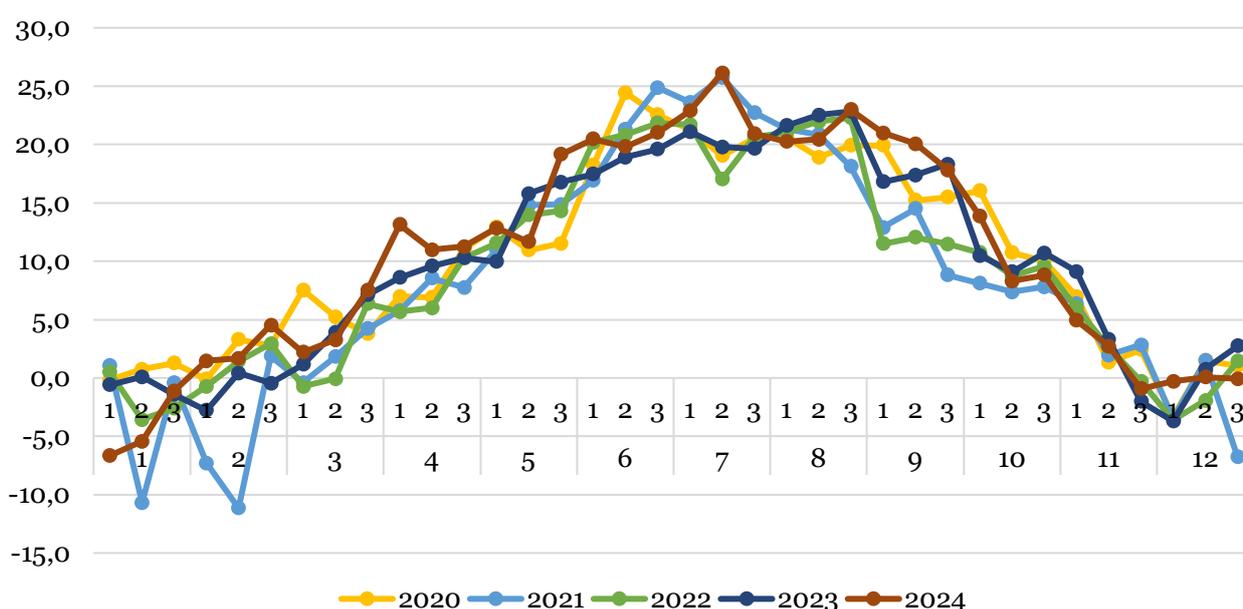


Рис. 1. Середньодобова температура повітря у роки проведення досліджень (за даними додатку Geosys, Житомирський р-н, 2020–2024 рр.)

Відбір ґрунтових зразків здійснювали із застосуванням автомобіля типу пікап Mitsubishi L200, оснащеного автоматичним пробовідбірником AgriSoilSampler (AgriLab). Пробовідбірник дистанційно керувався з кабіни автомобіля та був інтегрований із планшетом, обладнаним ГІС-програмним забезпеченням для формування й навігації за попередньо розробленими маршрутами відбору ґрунтових зразків. Автомобіль було обладнано GPS-антеною з точністю позиціонування до 30 см.

Автоматичний відбір ґрунтових зразків проводили за адаптивною сіткою, де площа елементарної ділянки становила 10 га. З кожної елементарної ділянки відбирали один змішаний зразок, сформований із 20 точкових проб, відібраних ґрунтовим буром з глибини до 30 см. Застосована схема відбору проб забезпечила отримання репрезентативної інформації про агрохімічні властивості ґрунту по всій площі поля та створила надійну аналітичну основу для подальшого планування й реалізації диференційованих агротехнічних заходів (рис. 2).

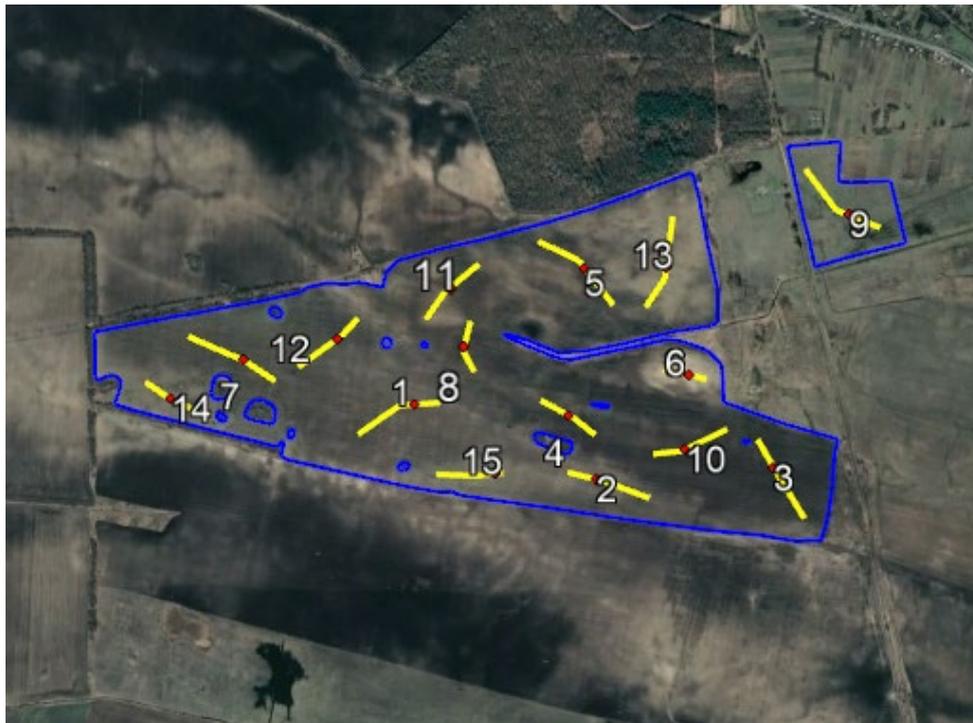


Рис. 2. Схема відбору ґрунтових зразків на досліджуваному полі (Панасівка, 165 га)

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
рН ґрунту	од. рН	рН водний (1:1) потенціометрія
рН буферний	од. рН	Wdrf буфер потенціометрія
Органічна речовина	%	Пряме визначення за втратами при спалюванні (LOI)
Нітрати (NO ₃)	мг/кг	Метод відновлення кадмієм (FIA)
Фосфор (P)	мг/кг	Mehlich-3 (Екстрагент: 0,2N CH ₃ COOH, 0,25N NH ₄ NO ₃ , 0,015N NH ₄ F, 0,013N HNO ₃ , 0,001M EDTA)
Калій (K)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH ₃ COONH ₄ , рН 7,0 (ICP)
Кальцій (Ca)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH ₃ COONH ₄ , рН 7,0 (ICP)
Магній (Mg)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH ₃ COONH ₄ , рН 7,0 (ICP)
Натрій (Na)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH ₃ COONH ₄ , рН 7,0 (ICP)
Сірка (S)	мг/кг	Монокальцій фосфатна витяжка (Ca-P)
Цинк (Zn)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (ДТРА) (ICP)
Залізо (Fe)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (ДТРА) (ICP)
Марганець (Mn)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (ДТРА) (ICP)
Мідь (Cu)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (ДТРА) (ICP)
Бор (B)	мг/кг	Екстрагент: гаряча Н ₂ О
Уміст 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 165 га характеризується високою неоднорідністю ґрунтового покриву та значною строкатістю ґрунтових властивостей, зокрема рівня кислотності ґрунтового середовища. Закладання дослідів здійснювали відповідно до зон просторової неоднорідності за показником рН. Повторність дослідів – триразова.

Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений сірими опідзоленими та сірими опідзоленими оглеєними ґрунтами піщаного, суглинкового, важкосуглинкового і піщано-важкосуглинкового гранулометричного складу. Агрохімічні та фізико-хімічні показники орного шару ґрунту (0–30 см) характеризувалися такими межами варіювання: рН водної витяжки (1:1) – 4,7–6,4 од.; рН буферний – 6,0–6,7 од.; уміст органічної речовини – 1,6–5,8%. Уміст рухомих форм елементів живлення становив: фосфору (Р) – 9–59 мг/кг ґрунту, калію (К) – 70–285 мг/кг, кальцію (Са) – 516–3106 мг/кг, магнію (Mg) – 99–405 мг/кг.

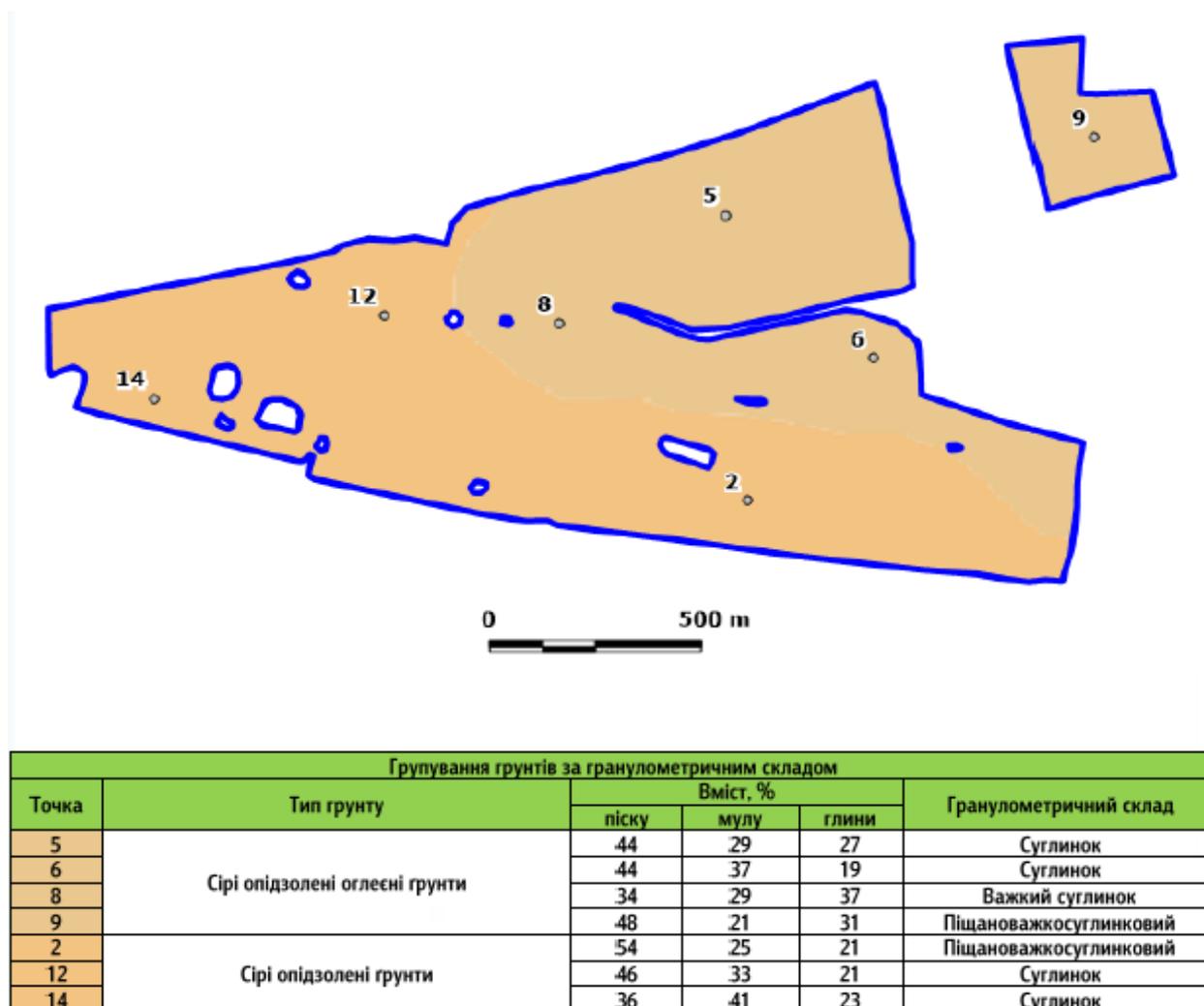


Рис. 3. Групування ґрунтів за гранулометричним складом у межах дослідного поля (165 га)

Результати дослідження

Дослідне поле має ґрунти сірі опідзолені та сірі опідзолені оглеєні (піщаного, суглинкового, важко-суглинкового та піщано-важко-суглинкового гранулометричного складу).

Результати аналізу ґрунтових зразків, відібраних на початковому етапі досліджень у межах дослідного поля площею 165 га, наведено в таблиці 3.

Якщо докладніше проаналізувати вихідні агрохімічні показники стану ґрунту дослідної ділянки, то попри варіювання значень у межах деяких локацій поля середні значення були такими: рН сольової витяжки – 5,7, рН буферний – 6,4, уміст розчинних солей – 0,15 ммоль/см,

органічної речовини – 3,6%. Концентрація нітратів становила 7,9 мг/кг, рухомого фосфору – 23,0 мг/кг, обмінного калію – 119,0 мг/кг ґрунту.

Таблиця 3. Результати аналізу зразків ґрунту, відібраних на початку досліджень у межах дослідного поля № 2 (165 га), вихідні дані

Но- мер зра- зка	рН (1:1 гру- нту	рН буф,	Розчинні солі, ммоль/см вина,	Орг. речо- вина, (NO ₃), %	Ніт- рати (NO ₃), мг/кг	Фос- фор (P), мг/кг	Амонійно-ацетат- ний буфер, мг/кг				Сірка (S), мг/кг	Мікроелементи (ДТРА), мг/кг				Сума катионів, мг- екв/100 г	Насиченість основами, %				
							K	Ca	Mg	Na		Zn	Fe	Mn	Cu		H	K	Ca	Mg	Na
1	6,0	6,6	0,08	2,7	7,2	27	105	1567	115	10	17	0,48	61,9	18,5	0,87	12,7	28	2	62	8	0
2	5,9	6,6	0,08	2,6	4,5	18	103	1625	122	9	20	0,46	62,9	25,4	1,01	13,5	30	2	60	7	0
3	6,0	6,5	0,12	5,1	6,1	15	106	3062	345	18	18	0,54	121,0	14,1	1,60	23,1	20	1	66	12	0
4	5,4	6,0	0,14	5,2	8,4	13	89	2748	327	18	19	0,75	161,4	21,7	1,78	26,7	37	1	52	10	0
5	5,3	6,3	0,09	3,4	6,8	9	70	1780	214	13	14	0,48	139,6	19,9	1,47	18,1	40	1	49	10	0
6	4,7	6,4	0,15	1,6	18,9	56	81	516	99	12	24	0,55	153,6	22,6	0,71	10,0	63	2	26	8	1
7	5,8	6,5	0,11	3,3	3,8	21	134	1978	160	11	22	0,71	74,9	18,7	1,00	16,2	28	2	61	8	0
8	5,5	6,1	0,30	4,6	17,3	10	124	2960	368	17	17	0,52	120,0	20,5	1,85	27,1	33	1	55	11	0
9	6,4	6,7	0,29	5,2	10,3	59	285	3003	405	26	20	1,23	142,6	12,4	1,91	22,5	15	3	66	15	1
10	5,6	6,1	0,20	5,8	11,9	10	140	3106	384	16	14	0,57	120,9	15,3	1,60	28,2	32	1	55	11	0
11	5,4	6,3	0,18	4,6	5,8	7	100	2692	347	21	18	0,44	142,2	17,9	1,88	23,3	28	1	58	12	0
12	6,4	6,7	0,15	3,3	3,9	48	157	2188	139	12	17	0,58	73,1	16,3	0,94	16,1	22	3	68	7	0
13	5,5	6,5	0,11	2,7	5,3	9	74	1459	165	14	16	0,45	110,3	22,1	1,49	13,6	35	1	54	10	0
14	5,8	6,6	0,12	2,6	4,0	19	93	1648	129	10	13	0,40	102,3	20,2	1,29	13,4	28	2	62	8	0
15	5,3	6,6	0,07	1,6	4,6	25	131	729	74	10	20	0,43	76,2	30,8	0,85	8,5	46	4	43	7	0

Уміст кальцію визначено на рівні 2071,0 мг/кг ґрунту, магнію – 226,0 мг/кг, натрію – 14,0 мг/кг, сірки – 18,0 мг/кг, заліза – 111,0 мг/кг, мангану – 20,0 мг/кг. Сума катионів становила 18,2 мг-екв/100 г ґрунту.

Для картографування ґрунтових властивостей та інтерпретації просторових варіацій використовували інтерполяцію методом Кригінга за допомогою ГІС-програми QGIS. Цей метод дає змогу створювати точні карти розподілу ґрунтових показників, урахувавши просторову кореляцію даних та підвищуючи точність прогнозів для диференційованого управління агротехнічними процесами.

На рисунку 4 дослідної локації поля 165 га наведені дані з просторового розподілу показника рН.

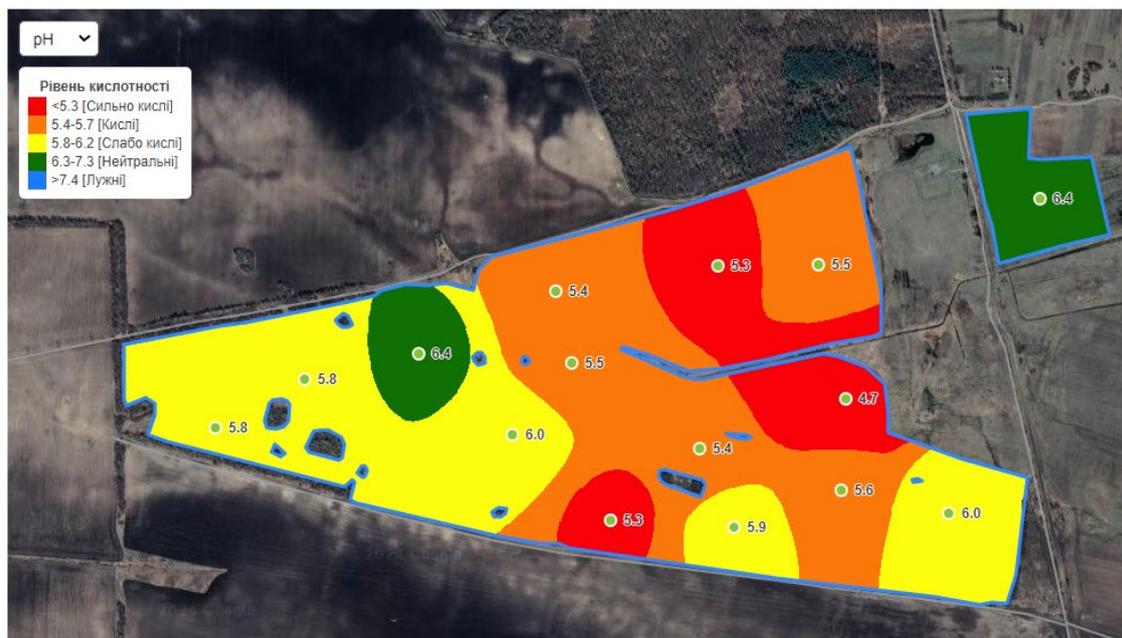
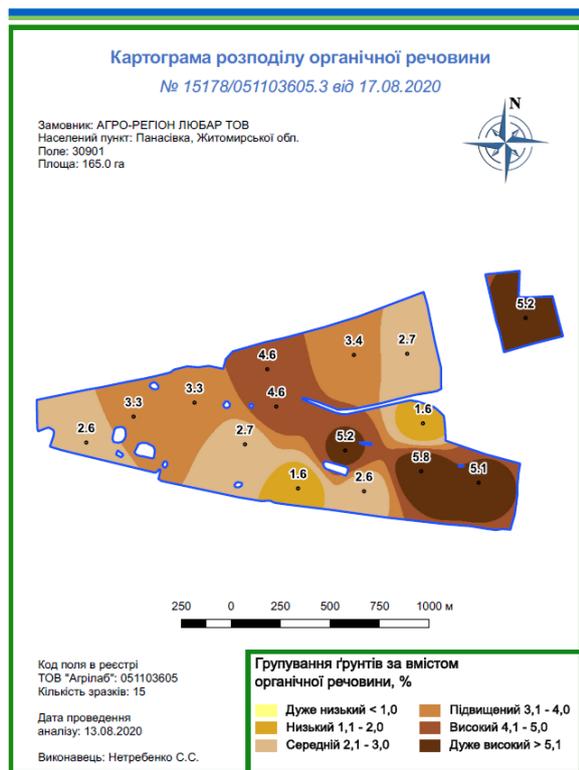


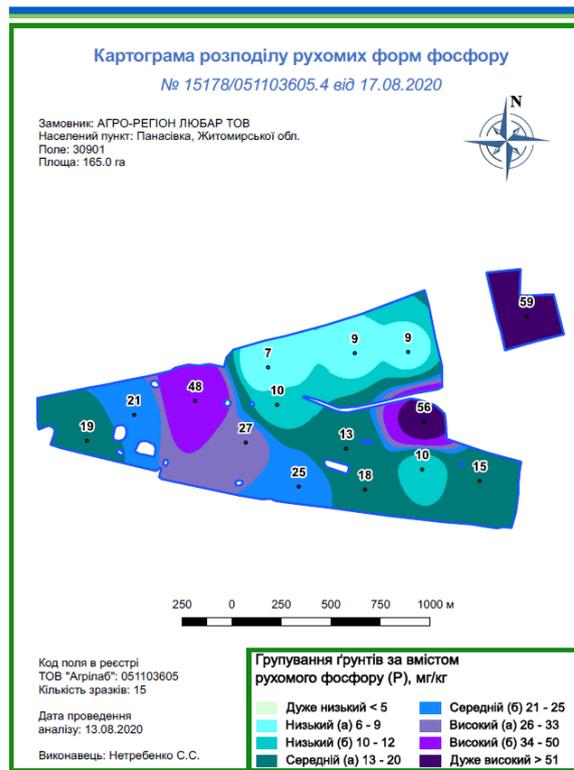
Рис. 4. Картограма розподілу показника рН (Kriging), поле 165 га, 2020 р.

Якщо аналізувати поле зліва направо, то простежується чітка тенденція зміни реакції ґрунтового середовища від слабкокислої (рН 5,8–6,0) та близької до нейтральної (рН 6,4) до кислої (рН 5,4–5,6) з формуванням локалізованих ділянок із сильно кислою реакцією (рН 4,7–5,3).

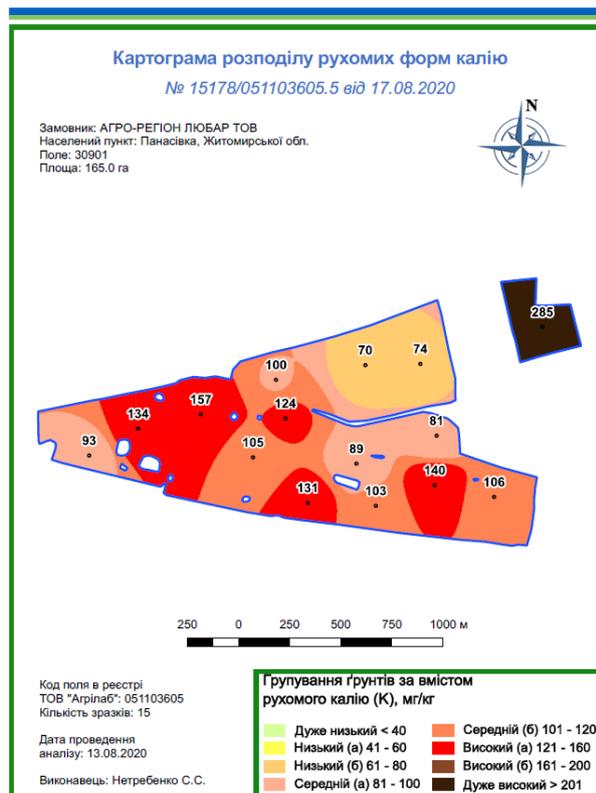
Аналіз просторового розподілу вмісту органічної речовини, а також рухомих форм фосфору й калію свідчить про значну строкатість цих показників у межах поля (рис. 5).



Уміст органічної речовини



Уміст рухомих форм фосфору



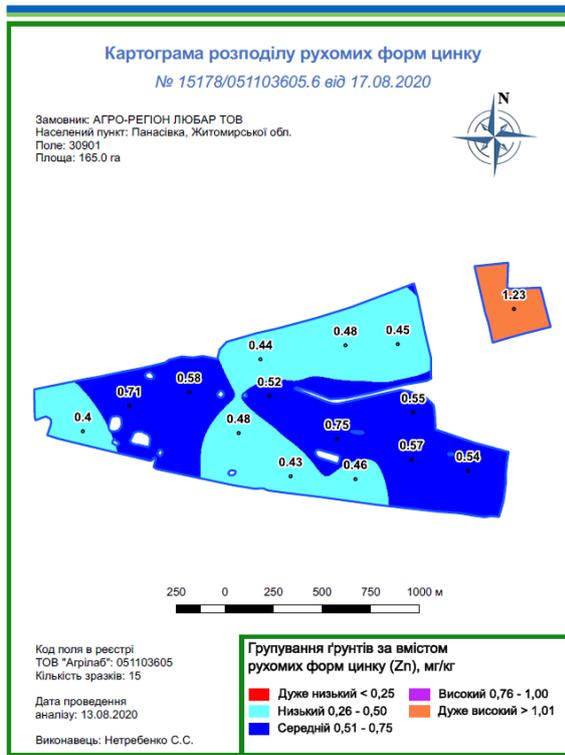
Уміст рухомих форм калію

Рис. 5. Картограма розподілу вмісту органічної речовини, рухомих форм фосфору та калію, поле 165 га

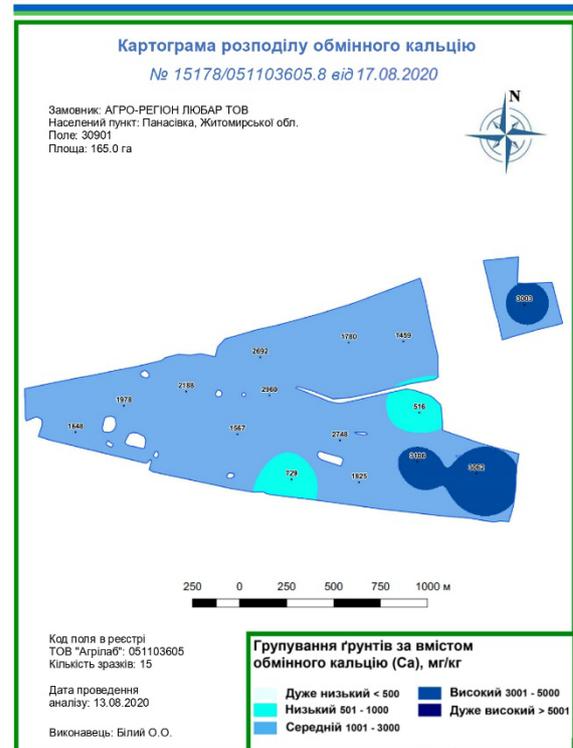
Водночас встановлено тісний взаємозв'язок між умістом органічної речовини та концентрацією рухомих форм фосфору й калію, тоді як кореляція цих показників із кислотністю ґрунту є слабкою. Зокрема, у лівій частині поля підвищений уміст органічної речовини поєд-

нувався з високими концентраціями рухомих форм фосфору та калію. Натомість у правій частині поля, попри відносно високий рівень органічної речовини, чіткої залежності з умістом фосфору та калію не виявлено, що відображалося в середньому та низькому рівнях забезпеченості фосфором і середньому вмісті калію.

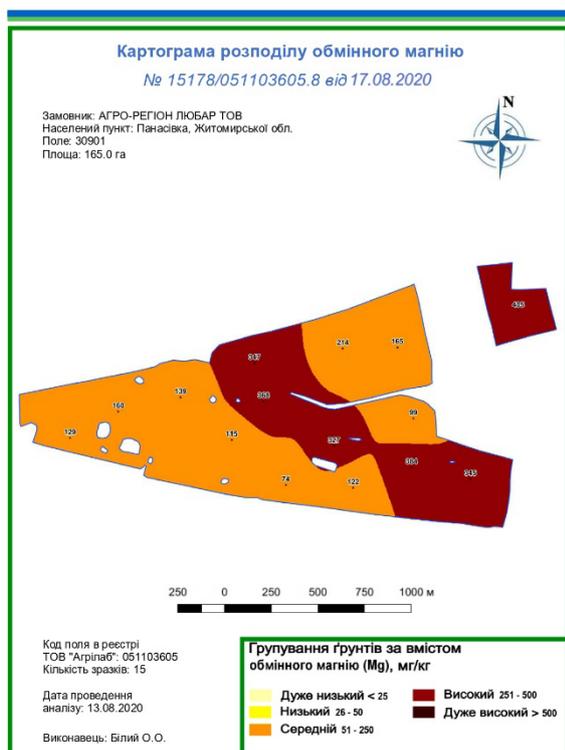
Цікавим є також просторовий розподіл рухомих форм цинку та обмінних форм кальцію і магнію (рис. 6), який, порівняно з іншими агрохімічними показниками, характеризується меншою строкатістю.



Уміст рухомих форм цинку



Уміст обмінного кальцію



Уміст обмінного магнію

Рис. 6. Картограма розподілу вмісту рухомих форм цинку та обмінного кальцію і магнію, поле 165 га

За результатами аналізу встановлено переважно низький і середній уміст рухомих форм цинку, низький рівень забезпеченості обмінним кальцієм, а також середній і високий уміст обмінного магнію.

Отримані результати свідчать, що агрохімічний стан ґрунтів дослідного поля площею 165 га характеризується високою просторовою неоднорідністю, що є типовою ознакою сірих опідзолених та сірих опідзолених оглеєних ґрунтів Житомирського Полісся. Вихідні значення кислотності ґрунту варіювали в широких межах рН(1:1) 4,7–6,4, охоплюючи діапазон від сильно кислої до близької до нейтральної реакції. Середнє значення рН по полю становило 5,7, тоді як буферний рН дорівнював 6,4, що свідчить про наявність значного резерву кислотності та обґрунтовує потенційну потребу в хімічній меліорації.

Просторовий аналіз картограм кислотності виявив чітко виражену мозаїчність ґрунтового покриву. У лівій частині поля переважали слабкокислі та близькі до нейтральних ґрунти (рН 5,8–6,4), тоді як у правій частині формувалися осередки кислих і сильно кислих ґрунтів (рН 4,7–5,6). Наявність таких локалізованих «острівців» підвищеної кислотності, ймовірно, зумовлена відмінностями ґрунтового генезису, гранулометричного складу та неоднаковою історією агротехнічного використання окремих ділянок поля. Саме така просторово диференційована структура кислотності є науковим обґрунтуванням доцільності застосування диференційованого вапнування, оскільки суцільне внесення меліорантів у подібних умовах неминуче призвело б до локального перевапнування або недовапнування ґрунту.

Уміст органічної речовини характеризувався значною варіабельністю – від 1,6 до 5,8%, із середнім значенням 3,6%. Аналіз картограм засвідчив наявність зон підвищеної гумусованості, які частково збігалися з ділянками високого вмісту рухомих форм фосфору та калію, однак цей зв'язок мав переважно локальний характер. Зокрема, у лівій частині поля підвищений уміст органічної речовини супроводжувався високими концентраціями рухомого фосфору та калію, тоді як у правій частині аналогічний рівень гумусу не забезпечував відповідної забезпеченості цими елементами. Це вказує на те, що доступність елементів живлення визначається не лише вмістом органічної речовини, а й кислотністю ґрунту, гранулометричним складом і катіонним балансом.

Уміст рухомих форм фосфору був у межах 9–59 мг/кг, за середнього значення 23,0 мг/кг, що відповідає переважно низькому та середньому рівням забезпеченості. Просторовий аналіз показав відсутність чіткої кореляції між концентрацією фосфору та показниками кислотності ґрунту, що свідчить про суттєвий вплив історії удобрення та локальних умов фіксації фосфатів. Водночас у кислих і сильно кислих зонах зберігається високий ризик зв'язування фосфору сполуками алюмінію та заліза, що знижує його доступність для рослин і посилює необхідність оптимізації рН шляхом вапнування.

Рухомі форми калію характеризувалися ще більшою амплітудою значень – від 70 до 285 мг/кг, за середнього вмісту 119 мг/кг. Поєднання ділянок із дуже високим умістом калію із зонами низького та середнього забезпечення свідчить про істотну просторову строкатість калійного режиму. Така неоднорідність зумовлює ризик неефективного використання калійних добрив за умов суцільного внесення та підтверджує доцільність диференційованого підходу до системи удобрення.

Обмінний кальцій, як ключовий елемент у контексті вапнування, характеризувався значним діапазоном концентрацій – від 516 до 3106 мг/кг, за середнього значення 2071 мг/кг. У значній частині поля його вміст відповідав низькому та середньому рівням забезпеченості, що тісно пов'язано з підвищеною кислотністю ґрунту. Уміст обмінного магнію варіював від 99 до 405 мг/кг (середнє значення 226 мг/кг) і загалом перебував у межах середнього та високого забезпечення, що є характерною рисою сірих опідзолених ґрунтів регіону. Виявлений дисбаланс між кальцієм і магнієм може негативно впливати на фізичні властивості ґрунту та мінеральне живлення рослин, тоді як вапнування в цьому разі є ефективним інструментом корекції катіонного складу ґрунтового вбирного комплексу.

Окремої уваги заслуговує просторовий розподіл рухомих форм цинку, який, порівняно з макроелементами, характеризувався меншою строкатістю. Переважна частина площі поля мала низький і середній рівень забезпеченості Zn, що є типовим для кислих ґрунтів. Водночас відсутність різко виражених контрастів у його розподілі вказує на потенційну чутливість цього

мікроелемента до змін кислотності після вапнування, зокрема через можливе зниження його доступності за підвищення рН, що треба враховувати в подальшому агрохімічному супроводі.

Загалом результати досліджень переконливо демонструють, що агрохімічні показники ґрунтів дослідного поля формуються під впливом комплексу взаємопов'язаних факторів, серед яких кислотність ґрунту відіграє системоутворювальну роль. Висока просторова неоднорідність рН, умісту органічної речовини та елементного складу обумовлює доцільність застосування диференційованого вапнування як базового елемента системи точного землеробства та створює наукове підґрунтя для подальшої оцінки його післядії, змін агрохімічного статусу ґрунту й впливу на продуктивність сільськогосподарських культур.

Висновки

Агрохімічний стан ґрунтів дослідного поля до проведення вапнування характеризувався високою просторовою неоднорідністю кислотності, з діапазоном рН(1:1) 4,7–6,4, що охоплював умови від сильно кислих до близьких до нейтральних. Така строкатість обумовлювала нерівномірні умови живлення рослин і обмежувала ефективність використання мінеральних добрив.

Диференційоване вапнування забезпечило ефективну нейтралізацію кислотності ґрунту та вирівнювання реакції середовища: переважна частина площі перейшла у слабкокислий та близький до нейтрального діапазон рН (6,1–6,7), що свідчить про високу точність просторово орієнтованого внесення вапнякових меліорантів.

Уміст органічної речовини (1,6–5,8%) відзначався значною варіабельністю. Після вапнування спостерігалася тенденція до часткового зниження органічної речовини в окремих зонах, що можна пояснити активізацією мікробіологічної мінералізації за оптимізованої кислотності, без переходу ґрунтів у нижчі групи гумусованості.

Рухомі форми фосфору (7–59 мг/кг) перебували на низькому та середньому рівнях і відзначалися значною просторовою строкатістю. Підвищення рН у результаті вапнування створило передумови для підвищення доступності фосфору, особливо в раніше кислих зонах, де спостерігалася його фіксація.

Калійний режим (70–285 мг/кг) характеризувався значною амплітудою, що свідчило про локальну неоднорідність забезпеченості. Після вапнування відзначалася тенденція до більш вирівняного просторового розподілу калію, що підвищує ефективність його засвоєння рослинами та зменшує ризики надлишкового або недостатнього живлення.

Обмінний кальцій (516–3106 мг/кг) є ключовим показником ефективності вапнування. Після внесення меліорантів його концентрація зросла, що сприяло покращенню катіонного балансу ґрунтового вбирного комплексу, стабілізації структури ґрунту та зменшенню кислотної токсичності.

Обмінний магній (99–405 мг/кг) перебував переважно на середньому та високому рівнях. Після вапнування його вміст зростав менш інтенсивно, ніж кальцію, без ознак негативного дисбалансу Са:Мg, що підтверджує адекватність підібраних доз меліорантів.

Рухомі форми цинку характеризувалися відносно рівномірним розподілом, а після вапнування не зазнали критичного зниження, незважаючи на підвищення рН. Це свідчить, що диференційоване вапнування не погіршило мікроелементне живлення рослин.

Узагальнюючи, диференційоване вапнування забезпечило зменшення просторової варіабельності агрохімічних показників, покращення умов живлення рослин та формування більш однорідного агрохімічного фону, що є ключовою передумовою стабілізації врожайності та підвищення ефективності системи удобрення.

Список використаних джерел

- Berger, T. W., Türtscher, S., Berger, P., & Lindebner, L. (2016). A slight recovery of soils from acid rain over the last three decades is not reflected in the macro nutrition of beech (*Fagus sylvatica*) at 97 forest stands of the Vienna Woods. *Environmental Pollution*, 216, 624–635. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.024>
- Majdi, H., & Viebke, C.-G. (2004). Effects of fertilization with dolomite lime + PK or wood ash on root distribution and morphology in a Norway spruce stand in Southwest Sweden. *Forest Science*, 50(6), 802–809. <https://doi.org/10.1093/forestscience/50.6.802>

3. Cudlin, P., Kieliszewska-Rokicka, B., Rudawska, M., Grebenc, T., Alberton, O., Lehto, T., Bakker, M. R., Borja, I., Konôpka, B., Leski, T., Kraigher, H., & Kuyper, T. W. (2007). Fine roots and ectomycorrhizas as indicators of environmental change. *Plant Biosystems*, 141(3), 406–425. <https://doi.org/10.1080/11263500701626028>
4. Wellbrock, N., Eickenscheidt, N., Grüneberg, E., & Bögelein, R. (2019). Environmental settings and their changes in the last decades. In N. Wellbrock & A. Bolte (Eds.), *Status and dynamics of forests in Germany: Results of the national forest monitoring* (Vol. 237, pp. 29–54). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0_2
5. Homan, C., Beier, C., McCay, T., & Lawrence, G. (2016). Application of lime (CaCO₃) to promote forest recovery from severe acidification increases potential for earthworm invasion. *Forest Ecology and Management*, 368, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.002>
6. Baek, S. H., Kanzaki, Y., Lora, J. M., Planavsky, N., Reinhard, C. T., & Zhang, S. (2023). Impact of climate on the global capacity for enhanced rock weathering on croplands. *Earth's Future*, 11(8), Article e2023EF003698. <https://doi.org/10.1029/2023EF003698>
7. Aramburu Merlos, F., Silva, J. V., Baudron, F., & Hijmans, R. J. (2023). Estimating lime requirements for tropical soils: Model comparison and development. *Geoderma*, 432, Article 116421. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116421>
8. Matus, C., Stopic, S., Etzold, S., Kremer, D., Wotruba, H., Dertmann, C., Telle, R., Friedrich, B., & Knops, P. (2020). Mechanism of nickel, magnesium, and iron recovery from olivine bearing ore during leaching with hydrochloric acid including a carbonation pre-treatment. *Metals*, 10(6), Article 811. <https://doi.org/10.3390/met10060811>
9. Drápelová, I., & Kulhavý, J. (2012). Comparison of soil and seepage water properties in the limed and not-limed spruce forest stands in the Beskydy Mts. *Beskydy*, 5(1), 55–64. <https://doi.org/10.11118/beskyd201205010055>
10. Pavlu, L., Drabek, O., Stejskalova, S., Tejnecky, V., Hradilova, M., Nikodem, A., & Boruvka, L. (2018). Distribution of aluminium fractions in acid forest soils: Influence of vegetation changes. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 11(6), 721–727. <https://doi.org/10.3832/ifer2498-011>
11. Meesenburg, H., Riek, W., Ahrends, B., Eickenscheidt, N., Grüneberg, E., Evers, J., Fortmann, H., König, N., Lauer, A., Meiwes, K. J., Nagel, H.-D., Schimming, C.-G., & Wellbrock, N. (2019). Soil acidification in German forest soils. In N. Wellbrock & A. Bolte (Eds.), *Status and dynamics of forests in Germany: Results of the national forest monitoring* (Vol. 237, pp. 93–121). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0_4
12. Court, M., van der Heijden, G., Didier, S., Nys, C., Richter, C., Pousse, N., Saint-André, L., & Legout, A. (2018). Long-term effects of forest liming on mineral soil, organic layer and foliage chemistry: Insights from multiple beech experimental sites in Northern France. *Forest Ecology and Management*, 409, 872–889. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.007>
13. Swoboda, P., Döring, T. F., & Hamer, M. (2022). Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. *Science of The Total Environment*, 807, Article 150976. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>
14. Makaza, W., & Khiari, L. (2026). The meta-analysis study on the effects of the quality of lime materials on the soil physicochemical properties and crop yields in acid soils. *Frontiers in Soil Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2026.1725559>
15. Dinkecha, K., & Tsegaye, D. (2017). Effects of liming on physicochemical properties and nutrient availability of acidic soils in Welmera Woreda, Central Highlands of Ethiopia. *Biochemistry and Molecular Biology*, 2(6), 102–109. <https://doi.org/10.11648/j.bmb.20170206.16>
16. Hosna, K. T., Rahman, M., Al-Solaimani, S. G., Yeasmin, N., Islam, M. N., & El-Wahed, M. H. (2024). Effect of liming on soil pH, nutrient availability, growth and yield of wheat in acidic soils of Tista Floodplain in Bangladesh. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(10), 103–115. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i105058>

Effect of differential liming on the fertility of grey podzolic soil

Ya. I. Boiko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine

Corresponding author: Yaroslav Boiko, iaroslavboik@gmail.com

Citation: Boiko, Ya. I. (2025). Effect of differential liming on the fertility of grey podzolic soil. *Bioenergy*, 2, 3–14. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp3-14>

Aim. To identify the specific effects of differential liming on the fertility of grey podzolic soil in the Polissia region of Ukraine. **Methods.** Research was carried out during 2020–2024 on a field of 165 ha (Panasivka, Zhytomyr region). Soil samples were collected using an adaptive grid (10 ha) with a Mitsubishi L200 vehicle equipped with an automatic AgriSoilSampler and GIS navigation. The main physico-chemical and agrochemical characteristics of soil were determined by standard methods (LOI, FIA, Mehlich-3, ICP, DTPA). Spatial distribution of indicators was analysed by Kriging in QGIS for differential liming planning. **Results.** The agrochemical state of the soils of the experimental field was characterised by high spatial heterogeneity. Initial pH (1:1) ranged from 4.7 to 6.4 (average 5.7), buffer pH 6.4, organic matter 3.6%, available phosphorus 23.0 mg/kg, potassium 119 mg/kg, exchangeable calcium 2071 mg/kg, magnesium 226 mg/kg. Significant variability was observed in the spatial distribution of acidity, organic matter, and available macro- and microelements. After differential liming, most of the area acquired slightly acidic to near-neutral pH (6.1–6.7), spatial variability of phosphorus and potassium decreased, exchangeable calcium content increased, and the soil cation balance stabilised. Exchangeable magnesium and available zinc remained within satisfactory limits, confirming the safety of the chosen ameliorant doses. **Conclusions.** The results indicate that differential liming is an effective tool for managing soil acidity, reducing spatial variability of agrochemical indicators, and creating scientifically substantiated prerequisites for improving the efficiency of fertilisation systems under precision farming conditions.

Keywords: differential liming; soil acidity; pH; agrochemical indicators; available phosphorus; available potassium; exchangeable calcium; magnesium; zinc; spatial heterogeneity; precision farming; Polissia of Ukraine.

ORCID

Ярослав Бойко / Yaroslav Boiko <https://orcid.org/0009-0006-6402-7730>