

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПОЛІССЯ**

**ХІМІЧНА МЕЛІОРАЦІЯ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ
ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ**

(Науково-методичні рекомендації)

ЖИТОМИР
Видавництво ПП «Рута»
2023

УДК 631.153.3:631.4:631.504.062
ББК 40.3
Н 17

*Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту сільського господарства Полісся НААН України
протокол № 4 від 8 травня 2023 р.*

Хімічна меліорація ґрунтового покриву земель сільськогосподарського призначення Житомирського Полісся (науково-методичні рекомендації) / За ред. П. П. Надточія. – Житомир: Вид. ПП «Рута», 2023. – с.

Рекомендації підготували: Надточій П. П., Рижук С. М., Мислива Т. М.,
Ратошнюк В. І., Ратошнюк Т. М., Савчук О. І., Білявський Ю. А.,
Цуман Н. В., Кравчук М. М.

Рецензенти:

Балаєв А. Д. – доктор с.-г. наук, професор кафедри ґрунтознавства і охорони ґрунтів, Національний університет біоресурсів і природокористування, м. Київ;

Савчук І. М. – доктор с.-г. наук, заступник директора з наукової роботи, Інститут сільського господарства Полісся НААН України, м. Житомир

Рекомендації розроблені на основі проведення тривалих польових дослідів та узагальнення сучасних наукових даних з питань хімічної меліорації кислих ґрунтів зони Полісся.

В роботі представлена науково-методична інформація щодо можливостей покращення якісного стану (кисотно-основних властивостей) ґрунтового покриву земель сільськогосподарського призначення шляхом проведення їх хімічної меліорації.

Висвітлені основні способи встановлення норм внесення вапнякових меліорантів при проведенні вапнування кислих ґрунтів із врахуванням можливостей господарств різних форм власності, у тому числі й приватних. Подана методика визначення параметрів кисотно-основної буферності ґрунту, шкала її оцінки та встановлення норм внесення вапнякових меліорантів за показниками рН-буферності. Певну увагу приділено проведенню хімічної меліорації ґрунтів, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС. Описані технологічні особливості використання вапнякових меліорантів.

Опублікований матеріал рекомендується для використання як методичні і науково-практичні поради фермерам, органам державної виконавчої влади і науковцям. Матеріали можуть бути корисними і для студентів закладів вищої освіти агроєкологічного профілю.

ISBN

© Інститут сільського господарства
Полісся НААН України, 2023
© ПП «Рута»

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
ПЕРЕЛІК УЖИТИХ ТЕРМІНІВ ТА ЇХ ЗМІСТ.....	7
1. ГЕОГРАФІЯ ТА АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ ХІМІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ.....	11
2. ВИМОГИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДО РЕАКЦІЇ ҐРУНТОВОГО РОЗЧИНУ	14
3. ЗНАЧЕННЯ КАЛЬЦІЮ І МАГНІЮ В ЖИВЛЕННІ РОСЛИН.....	17
4. МЕТОДИ ВСТАНОВЛЕННЯ НОРМ ВАПНЯКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ УСУНЕННЯ ШКІДЛИВОЇ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ.....	21
5. ХІМІЧНА МЕЛІОРАЦІЯ КИСЛИХ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ.....	31
6. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ХІМІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ ҐРУНТІВ У ГОСПОДАРСТВАХ РІЗНИХ ФОРМ ВЛАСНОСТІ.....	34
6.1 Внесення вапна в польових і кормових сівозмінах	36
6.2 Вапнування ґрунту в господарствах приватного сектору та на присадибних ділянках.....	41
ВИСНОВКИ.....	45
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46
ДОДАТКИ.....	49

ВСТУП

Збереження і відтворення родючості ґрунтів земельних угідь сільськогосподарського призначення на Поліссі завжди було і залишається одним із першочергових завдань для працівників аграрної сфери.

Наслідком змін соціально-економічних відносин, що відбулися в Україні на початку 90-х років минулого століття, виявилось розпаювання землі і утворення господарств із різними формами власності. Площа їх земельних угідь нині варіює від кількох до десятків тисяч гектарів. В силу різних об'єктивних і суб'єктивних причин в Поліському регіоні призупинено дію програм з відтворення і збереження родючості ґрунтів та значно зменшено обсяги внесення органічних і мінеральних добрив, а також хімічних меліорантів при вирощуванні сільськогосподарських культур.

У жорстоких ринкових умовах за диспаритету цін на паливо, техніку, добрива та засоби захисту рослин аграріям, безумовно, важко реалізувати науково-обґрунтовані заходи щодо відтворення родючості ґрунтового покриву. Має місце порушення сівозмін, недотримання раціональних системи внесення добрив, технологій обробітку і строків проведення обов'язкових заходів з хімічної меліорації кислих ґрунтів, основною складовою яких є вапнування.

В науковій літературі і в практиці аграрного виробництва загально визнано, що вапнування кислих ґрунтів земель сільськогосподарського призначення слугує базовою складовою управління їх родючості. Зазначений агрозахід докорінно покращує фізико-хімічні та агрофізичні властивості, сприяє суттєвому зменшенню надходження радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr в рослинну продукцію, вирощену на радіоактивно забруднених внаслідок аварії на ЧАЕС територіях.

В запропонованих рекомендаціях для аграріїв різних форм власності, які працюють в ґрунтово-кліматичних умовах Житомирського Полісся, розміщена інформація щодо можливостей покращення якісного стану ґрунтового покриву земель сільськогосподарського призначення шляхом проведення їх хімічної меліорації з метою підвищення продуктивності сільськогосподарських культур та покращення якості продукції.

Висвітлена актуальність сучасної проблематики щодо вапнування ґрунтів з кислою реакцією, у тому числі і радіонуклідно забруднених.

Подана коротка характеристика ґрунтового покриву регіону.

Обґрунтована роль кальцію і магнію як елементів живлення сільськогосподарських рослин і можливості покращення агроекологічного стану ґрунтового покриву.

Подана інформація щодо вимог основних сільськогосподарських культур до реакції ґрунтового розчину.

Описаний склад вапнякових меліорантів, виготовлених із карбонатних порід Білорічицького родовища Житомирської області.

Охарактеризовано основні способи встановлення норм внесення вапнякових меліорантів при проведенні вапнування кислих ґрунтів із врахуванням можливостей господарств різних форм власності, у тому числі й приватних.

Представлений стан кислотно-основного режиму основних ґрунтових відмін, на яких ведеться сільськогосподарська діяльність і заходи щодо його агроекологічної оптимізації за допомогою хімічної меліорації.

Описана методика визначення параметрів кислотно-основної буферності ґрунту, шкала її оцінки та встановлення норм внесення вапнякових меліорантів за показниками рН-буферності.

Певну увагу приділено особливостям проведення хімічної меліорації ґрунтів, радіонуклідно забруднених внаслідок аварії на ЧАЕС.

Описані технологічні особливості використання вапнякових добрив.

Поданий перелік основних літературних джерел, які були використані при написанні рекомендацій.

Додатки до рекомендацій вміщують:

- основні терміни та їх визначення, які використовуються в науковій літературі, щодо характеристики кислих ґрунтів та проведення їх хімічної меліорації;

- результати розрахунку параметрів кислотно-основної буферності ґрунту і норм внесення вапнякових меліорантів за рН-кислотністю для оптимізації реакції ґрунтового розчину (за програмою PROJECT 1).

Опублікований матеріал рекомендується для використання як методичні і науково-практичні поради фермерам, органам державної виконавчої влади і науковцям. Дане видання буде корисним також не лише працівникам-виробничникам аграрної сфери, але й студентам вищих навчальних закладів агроекологічного спрямування, а також жителям регіону при веденні сільськогосподарського виробництва в особистих селянських господарствах.

Науково-практичні рекомендації є складовою частиною наукових досліджень на 2021–2025 рр. з ПНД НААН 10 «Сталий розвиток агросфери Полісся» Інституту сільського господарства Полісся НААНУ за завданням 10.00.01.Ф. «Теоретико-методичні основи відтворення родючості радіоактивно забруднених ґрунтів Житомирського Полісся».

Автори вдячні рецензентам докторам с.-г. наук А. Д. Балаєву та І. М. Савчуку за корисні зауваження та цінні поради.

Зауваження та пропозиції щодо змісту рекомендацій та їх покращення просимо надсилати на електронну пошту pnadtochy@yahoo.com.

ПЕРЕЛІК УЖИТИХ ТЕРМІНІВ ТА ЇХ ЗМІСТ¹

Вапнування ґрунту – внесення в ґрунт кальцій- і магнієвмісних мінеральних або органо-мінеральних речовин з метою зниження його кислотності.

Вторинно-підкислені ґрунти – ґрунти, кислотність яких підвищилась під впливом господарської діяльності людини. Чинниками їх підкислення є атмосферні опади, насичені кислими продуктами техногенних викидів, мінеральні добрива, розвиток глеєво-елювіальних процесів тощо.

Глеєво-елювіальний горизонт – освітлений генетичний горизонт ґрунту, в якому через інтенсивний розвиток глеєвих процесів, відбулася руйнація та винос вниз по профілю мінеральних, органічних та органо-мінеральних речовин.

Добриво-меліорант – спеціально підготовлена органо-мінеральна речовина комплексної дії. Використовується для внесення в ґрунт з метою забезпечення рослин елементами живлення і покращення його агроекологічного стану.

Екологічна експертиза хімічної меліорації ґрунтів – аналіз проектів із хімічної меліорації ґрунтів для виявлення і попередження негативного впливу меліорації на природні екосистеми системи та довкілля.

Елювіальний горизонт (Е) – генетичний горизонт, притаманний ґрунтам, які сформувалися в результаті підзолистого, глеєво-елювіального ґрунтотворних процесів, а також осолодіння. Характерною рисою горизонту (від лат. *елювіо* – вимиваю) є накопичення кремнієвої кислоти в процесі інтенсивного

¹ Перелік основних термінів та їх визначень складений на основі літературних джерел [21, 29, 32].

розкладання (гідролізу) органічної та мінеральної (сіалітної) частини ґрунту та їх профільний розподіл.

Еталонний зразок ґрунту з абсолютною кислотно-основною буферністю – умовний зразок ґрунту, який в однакових діапазонах рН (1,3 – рН_{Н2О} для кислотного інтервалу; 12,7 – рН_{Н2О} для лужного інтервалу) не змінює реакцію ґрунтового розчину (рН_{Н2О} = 7).

Картограма кислотності ґрунтового покриття – карта, на якій нанесені ареали кислих ґрунтів за ступенем кислотності. Використовується: а) при розробленні проектів меліорації; б) при нарізанні полів сівозмін та плануванні розміщення сільськогосподарських культур; в) при бонітуванні і оцінці земель; г) при встановленні норм внесення вапнякових меліорантів у ґрунт та його удобренні.

Кислі ґрунти – ґрунти, що містять у своєму ґрунтовому розчині надмірну кількість кислот й за ступенем кислотності поділяються на дуже сильно кислі, сильно кислі, середньо кислі, слабо кислі, близькі до нейтральних і нейтральні.

Кислотна токсичність ґрунту – негативний вплив кислої реакції ґрунту на ріст і розвиток рослин. Підвищена кислотність ґрунтового розчину погіршує ріст та галуження коренів, негативно діє на фізико-хімічний стан протоплазми клітин кореня, що викликає погіршення використання рослинами поживних речовин ґрунту та добрив. За високої кислотності іони Н⁺, проникаючи у великій кількості в тканини рослин, підкислюють клітинний сік, що гальмує перебіг біохімічних процесів в рослинному організмі. Кисла реакція сприяє послабленню синтезу білкових речовин, вміст білків та загального азоту в рослинах зменшується, а кількість небілкових форм азоту – збільшується, пригнічується процес перетворення моноцукрів на інші більш складні органічні сполуки. Кисла реакція негативно впливає також і на закладання генеративних органів, що позначається в майбутньому на процесі запліднення та наливі зерна й призводить до суттєвого зниження врожаю.

Кислотність ґрунту – властивість, обумовлена наявністю іонів гідрогену та алюмінію в ґрунтовому розчині і ґрунтововбирному комплексі. Розрізняють дві основні форми кислотності ґрунту: активну і потенціальну (пасивну). Активну кислотність ґрунту (pH_{H_2O}), або кислотність ґрунтового розчину зумовлюють вільні іони гідрогену (H^+). Її величина являє собою від'ємний логарифм активності гідрогенних іонів ($pH = -\lg H^+$). У потенціальній кислотності розрізняють дві форми – обмінну й гідролітичну. Обмінна кислотність (pH_{KCl}) зумовлюється увібраними катіонами гідрогену й алюмінію, які здатні до обміну з катіонами розчину нейтральних солей з pH 5,6–6,0. Кислотність ґрунту, яку визначають за допомогою розчину гідролітично лужної солі (CH_3COONa) з pH 8,3, одержала назву гідролітичної (Hg). В науковій літературі [8] у складі потенціальної кислотності запропоновано виділяти і pH -залежну (необмінну) (H_{pn}) її частину, як кількість мілімолей еквівалентів кислотних компонентів, які складають різницю між загальною потенціальною і обмінною видами кислотності. Одиниця виміру – ммоль(+) / 100 г ґрунту.

Кисотно-основна буферна здатність ґрунту – здатність ґрунту протидіяти явищам його підкислення або підлуження і нейтралізувати добавки кислот чи лугів.

Меліорація ґрунту – заходи, що спрямовані на докорінне і прискорене поліпшення продуктивних та екологічних функцій ґрунтів, їх морфології, складу, властивостей та режимів.

Нитрифікаційна здатність ґрунту – властивість ґрунту накопичувати нітрати шляхом оптимізації його мікробіологічної активності. Відбувається за участі аеробних організмів (*Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Azotobacter chroococcum*).

Окультурювання ґрунту – цілеспрямована меліоративна або еволюційна реструктуризація внутрішньої організації ґрунтової системи з метою підвищення ефективної родючості ґрунтів, земельної ділянки (поля) та продуктивності землеробства.

Показник нейтралізації ґрунту (ПН) – кількість м-екв кислоти (кислотний ПН), або лугу (лужний ПН) в розрахунку на 100 г ґрунту, що забезпечує отримання нейтральної реакції ґрунтової водної суспензії.

Рослини-ацидофіли – рослини, які здатні зростати при значній кислотності ґрунту (середела, люпин, льон, картопля та ін.).

Ступінь буферної ємності ґрунту (СБЄ) – відносна частина масштабів кислотного (СБЄк) і лужного (СБЄл) інтервалів буферності ґрунту по відношенню еталонного зразка ґрунту (26,32 см²).

Технологічна карта хімічної меліорації – карта, що відображає послідовність (алгоритм) виконання всіх агротехнологічних операцій протягом ротації сівозміни за умов проведення хімічної меліорації ґрунтів.

Фізіологічно кислі добрива – добрива, які підкислюють ґрунтовий розчин внаслідок переважного використання рослинами катіонів K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} та ін. (наприклад, хлорид амонію, хлорид калію, сульфат амонію та ін.).

Хімічна меліорація ґрунту – комплекс заходів, направлений на докорінне покращення агрохімічних і фізико-хімічних властивостей ґрунту з метою підвищення врожаю сільськогосподарських культур та його якості. Хімічна меліорація включає вапнування, гіпсування, укислювання, запасне внесення сирих низько відсоткових мінеральних добрив, місцевих кальцієвмісних речовин, озерного мулу, лесових порід, органічних матеріалів та інших речовин.

Хімічно кислі добрива – добрива, які містять у своєму складі, унаслідок специфіки технологічного процесу їх виготовлення, до 5 % і більше вільних мінеральних кислот (наприклад, сірчаної та ортофосфорної в суперфосфаті).

1. ГЕОГРАФІЯ ТА АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ ХІМІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ

У північній частині України за особливостями просторово-ландшафтної диференціації виділено шість фізико-хімічних областей: Волинське Полісся, Житомирське Полісся, Київське Полісся, Чернігівське Полісся, Новгород-Сіверське Полісся і Мале Полісся [9].

Серед вище зазначених фізико-географічних областей найбільш радіаційно забрудненою внаслідок аварії на ЧАЕС виявилася територія Житомирського Полісся, яка знаходиться в межах частин Житомирської та Рівненської областей.

У геоструктурному відношенні регіон Полісся пов'язаний з північно-західною частиною Українського кристалічного щита, територія якого характеризується підвищеністю поверхні з розвинутими вузькими і глибоко врізаними річковими долинами, наявністю великих лесових «островів» і незначною заболоченістю. Ландшафтну структуру цієї фізико-географічної області становлять рівнини: моренно-зандрові на кристалічній основі з переважанням дерново-слабопідзолистих ґрунтів під борами та суборами (площа понад 3,6 тис км²); долинно-зандрові частково заболочені, з переважанням дерново-слабопідзолистих глеюватих ґрунтів (площа понад 3,5 тис км²); денудаційні хвилясто-рівнинні на кристалічних породах з дерново-слабопідзолистими щебнюватими ґрунтами; долинно-терасні піщано-хвилясті; заплавні лучно-болотні; давньодолинно-лучні та давньоозерні з чорноземно-лучними карбонатними ґрунтами; лесових «островів» з сірими лісовими ґрунтами.

Сучасний рельєф Житомирського Полісся досить різноманітний і залежить переважно від характеру поверхневих (четвертинних) відкладів, які піддаються впливу різноманітних екзогенних факторів, здебільшого флювіальних та еолових.

Територія Житомирського Полісся прорізана густою мережею річкових долин, які виповнені алювієм терас. Найбільш великі з них – долини рік Тетерів, Случ, Уборть, Уж, Ірша, Словечна, Ірпінь та інші з багатьма їхніми притоками. Оскільки абсолютні висоти в межах цієї території зменшуються з півдня на північ і північний схід від 200–250 до 150–180 м над рівнем моря,

то усі річки течуть за цим загальним ухилом, впадаючи переважно в басейни Прип'яті і Дніпра. Ріки Полісся слабо врізані завдяки рівнинній місцевості і незначному ухилу, а також наявному твердому (кристалічному) дну. Весною вони розливаються, затоплюючи широкі території, що сприяє розвитку процесів поверхневого заболочування ґрунтів.

Рельєф загалом рівнинний, утворений моренними і моренно-зандровими рівнинами, серед яких зустрічаються досить значні підвищення. Це переважно моренні гряди (ози), рідше друмлини та ками, а також лесові острови «останці» третьої тераси р. Прип'ять та багато більш дрібних лесових «островків» еолового та водно-льодовикового походження.

Одним із великих підвищень у рельєфі північної частини Житомирського Полісся є Словечансько-Овруцький кряж, який простягається з заходу від м. Словечно на схід до м. Овруч та має довжину біля 50 км, із максимальною висотою 316 м над рівнем моря.

У Житомирському Поліссі, де макрорельєф слабо виражений, відзначається наявність розвинутого мезорельєфу з виразним ерозійно-аккумулятивним характером, усі нерівності якого утворені нерівномірним відкладанням льодовикових осадів. Важливе значення в утворенні поліського мезорельєфу мала також інтенсивна діяльність вітрів постльодовикової епохи, яка призвела до утворення бугристих пісків з досить глибокими зниженнями, широкими рівнинами – зандрами.

Найбільш розчленованим, завдяки легкому розмиву лесу та підвищеному положенню, є рельєф у межах підвищених лесових островів, схили яких, особливо в межах Словечансько-Овруцького кряжу, порізані густою мережею глибоких ярів та балок.

Ґрунтовий покрив регіону сформувався в порівняно сприятливих кліматичних умовах, проте характеризується низькою агроекологічною якістю. До основних факторів, що знижують його родючість відносять [11, 22, 30]:

- просторову неоднорідність, та мозаїчність ґрунтових відмін;
- укорочений гумусовий горизонт з низькою катіонною поглинальною здатністю, бідний на органо-мінеральні колоїдні комплекси та біогенні елементи;
- низький ступінь буферної здатності в кислотному інтервалі;

- високу питому вагу глейових та кислих ґрунтів з незадовільними водно-фізичними та фізико-хімічними властивостями;

- низький рівень біогенності та мікробіологічної активності;

- наявність радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС.

Згідно даних Інституту охорони ґрунтів [24, 30] лише в Житомирській і Рівненській областях площі кислих ґрунтів сільськогосподарських угідь становлять 461,9 і 233,4 тис. га відповідно, а сумарна кількість сильно кислих відмін ($\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,5$) досягає понад 98 тис га.

В Житомирській області за період з 2000 по 2020 роки, площі, на яких вносилося вапно та вапнякові матеріали, збільшилися в 4,3 рази і досягли 15,1 тис га, але норма внесення агро меліорантів при цьому зменшилася в 4,3 рази і становила лише 1,51 т/га [29]. Першочергового вапнування потребують радіонуклідно забруднені кислі ґрунти сільськогосподарських угідь.

Необхідність хімічної меліорації кислих ґрунтів Полісся шляхом вапнування є очевидною. Проте з початку проведення земельної реформи в Україні (1991 рік) і до теперішнього часу зазначений агро екологічний захід, через свою енергозатратність і порівняну високу вартість, а також через відсутність фінансової підтримки з боку держави став не вигідним для господарств різних форм власності.

2. ВИМОГИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДО РЕАКЦІЇ ҐРУНТОВОГО РОЗЧИНУ

Реакція ґрунтового розчину (реакція ґрунту) значно впливає на розвиток рослин і ґрунтових мікроорганізмів, а також їх продуктивність. Засвоєння рослинами поживних речовин, діяльність ґрунтових мікроорганізмів, мінералізація органічних речовин, розкладання мінералів, коагуляція і пептизація ґрунтових колоїдів та інші фізико-хімічні процеси в значній мірі залежать від реакції ґрунту. Крім того вона значно впливає і на ефективність внесених у ґрунт мінеральних і органічних добрив [1, 3, 4].

Надмірна кислотність порушує також і хід ферментативних процесів, вуглецевий і білковий обміни в рослинних організмах, уповільнює утворення білку за умови збільшення вмісту білкового азоту в рослинах. По відношенню до кислотності й вапнування основні сільськогосподарські культури об'єднані у чотири групи (див. додаток Б), що потрібно враховувати при проведенні вапнування.

Оптимальною для росту і розвитку більшості сільськогосподарських культур є слабо кисла або близька до нейтральної реакція ґрунтового розчину (рН 5,5–6,5). Реакція ґрунтового середовища спричиняє прямий і побічний впливи на рослинний організм. Насамперед слід відмітити вплив рН на доступність для рослин елементів мінерального живлення і прояв токсичних властивостей окремих елементів, що знаходяться у ґрунтовому вбирному комплексі в надмірних концентраціях (рис. 1).

Рослини краще витримують несприятливу реакцію середовища на ґрунтах, які мають високу ємність поглинання і велике значення рН-буферності в кислотному інтервалі. Зі зменшенням ступеню кислотності найбільш сильно сповільнюється поглинання рослинами Mn, Co та Zn, значно менше – K та Mg. Висока концентрація в ґрунтовому розчині катіонів гідрогену (H⁺) негативно впливає на фізико-хімічний стан протоплазми клітин кореня рослин – порушує нормальну проникність елементів живлення, а отже і обмін речовин в самій рослині [21].

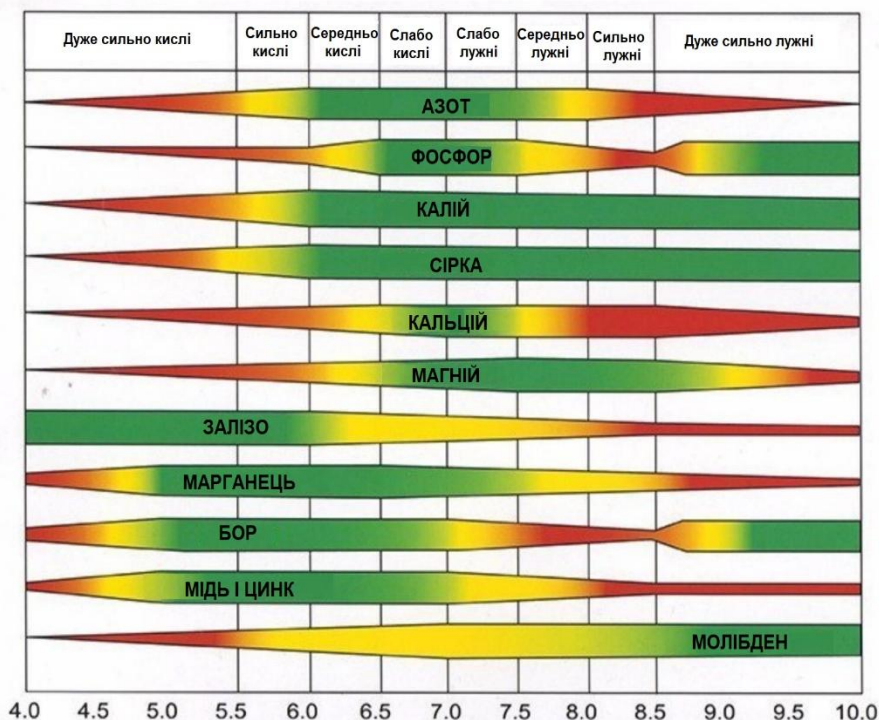


Рисунок 1. Вплив реакції ґрунтового розчину на доступність елементів живлення для рослин

(Джерело: <https://www.emporiumhydroponics.com/what-is-ph-1-to-4>)

В таблиці 1 подана інформація щодо оптимальної реакції ґрунтового розчину для сільськогосподарських культур, що вирощуються в умовах Полісся [30]. Дуже високу стійкість до підкислення проявляють такі культури як люпин, бруква і середела, здатні зростати на сильно кислих ґрунтах. Достатньо стійкими до підкислення є картопля, льон, озиме жито, овес, тимофіївка лучна. В той же час не люблять кислий ґрунт цукрові буряки, капуста білоголова, люцерна, райграс. Дані культури добре реагують на вапнування ґрунту, оскільки оптимальний для їх зростання рН становить 7,0 – 7,5.

Таблиця 1. Реакція ґрунтового розчину, оптимальна для сільськогосподарських культур

Культура	Оптимальні рівні рН	Допустимі відхилення рН в інтервалі		Стійкість до підкислення ґрунту
		кислотному	лужному	
Люпин	4,5-6,0	4,2	6,4	Дуже сильна
Бруква	4,8-5,5	4,5	6,2	
Середеля	4,8-6,0	4,5	6,2	
Картопля	5,0-5,5	4,8	7,0	Сильна
Тимофіївка	5,0-7,5	4,8	8,0	
Овес	5,0-7,7	4,6	8,0	
Льон	5,5-6,5	5,0	6,8	
Морква	5,5-7,0	5,0	7,5	
Жито озиме	5,5-7,5	5,0	7,7	
Просо	5,5-7,5	5,2	8,0	
Вика	5,7-6,4	5,5	7,0	
Соняшник	6,0-6,8	5,5	7,3	
Конюшина	6,0-7,0	5,5	7,5	
Кукурудза	6,0-7,0	5,5	7,5	Середня
Горох	6,0-7,0	5,8	7,6	
Пшениця яра	6,0-7,5	5,5	7,8	
Буряки кормові	6,2-7,5	5,5	8,0	
Томати	6,3-6,7	5,8	7,2	
Пшениця озима	6,3-7,5	5,8	7,8	
Огірки	6,4-7,0	5,6	7,5	
Цибуля	6,4-7,9	6,0	8,2	
Соя	6,5-7,1	6,0	7,5	
Капуста	6,5-7,4	6,0	7,8	Слабка
Мак	6,8-7,2	6,0	7,8	
Ячмінь	6,8-7,5	6,0	8,0	
Райграс	6,8-7,5	6,3	8,0	
Буряки цукрові	7,0-7,5	5,7	8,2	
Люцерна	7,0-8,0	6,0	8,8	

3. ЗНАЧЕННЯ КАЛЬЦІЮ І МАГНІЮ В ЖИВЛЕННІ РОСЛИН

Кальцій один із важливих елементів живлення рослин. Він міститься практично в усіх рослинних клітинах. В рослинах від 20 до 65 % його сполук розчинні у воді. Кальцій позитивно впливає на ріст наземних органів рослин: посилює обмін речовин, сприяє перетворенню азотних речовин, пришвидшує витрати запасних білків насіння при проростанні, а також активує ферментативну систему. Важливою функцією цього елементу є вплив на фізико-хімічний стан протоплазми клітин – її в'язкість та проникність, від яких залежить нормальний перебіг біохімічних процесів. Сполуки кальцію з пектиновими речовинами склеюють між собою стінки окремих клітин в рослині [21]. Важливо зазначити, що найбільше кальцію міститься у вегетативних органах рослин. Середній вміст кальцію (в % СаО на суху речовину) в деяких рослинах характеризується такими величинами: пшениця озима (зерно) – 0,07, кукурудза – 0,03, люпин (насіння) – 0,28, соя (зерно) – 0,17, соняшник (насіння) – 0,20 [1].

Наявність у ґрунті високої концентрації катіонів водню, натрію і калію перешкоджає надходженню кальцію до рослин, що пояснюється явищем антагонізму. Крім того присутність у ґрунтовому розчині нітратного азоту посилює, а аміачної його форми – навпаки сповільнює надходження кальцію до тканин рослин. Дефіцит кальцію досить часто спостерігається на піщаних і супіщаних кислих ґрунтах, особливо при внесенні високих доз калійних добрив, а також на солонцях. Ознаки нестачі даного макроелемента проявляються насамперед на молодих листках, які набувають хлоротичного забарвлення, стають викривленими, їх краї закручуються догори й стають неправильної форми, на поверхні листків з'являються обпалені ділянки бурого кольору, спостерігається пошкодження і відмирання верхівок бруньок (рис. 2). Нестача Са негативно позначається й на розвитку кореневої системи – на корені не утворюються кореневі волоски, через які із ґрунту надходить основна маса елементів живлення і води. Крім того, при відсутності кальцію, або при його нестачі коренева система рослин ослизнюється і навіть гниє.



Рисунок 2. Зовнішні ознаки дефіциту кальцію для рослин
 (1 – суховершинність плодів томату; 2 – недорозвинена коренева система ячменю; 3 – засихання й скручування листків у капусти білоголової)

(Джерело: <https://agrovio.com.ua/article.php?id=93>)

Магній як елемент живлення рослин входить до складу хлорофілу, фітину, пектинових речовин. Важливість магнію полягає в тому, що на його основі в листках формуються молекули хлорофілу. В рослинах 15–30 % цього елемента, що засвоюється рослинами, припадає саме на хлорофіл, який відіграє надзвичайно важливу роль у процесах фотосинтезу. Магній, крім того, активує фермент фосфатазу і бере участь у регулюванні колоїдно-хімічного стану протоплазми клітин [21]. Середній вміст магнію в рослинах виражається такими величинами (в % MgO на повітряно-суху речовину): в зерні пшениці озимої – 0,15, гороху – 0,13, гречки – 0,15, в бульбах картоплі – 0,06 [3]. Поглинання магнію рослинами залежить не лише від вмісту його в доступній формі в ґрунті, але і від наявності антагоністичних катіонів (NH_4^+ , K^+ , Na^+ та ін.).

Різкий прояв нестачі магнію для рослин спостерігається в тому випадку, коли в ґрунті його обмінної форми міститься менше 2 мг Mg^{2+} на 100 ґрунту. Нестача магнію уповільнює синтез азотовмісних сполук в рослинах, а її зовнішньою ознакою є хлороз листя. У хлібних злаків його дефіцит викликає мармуровість і смугастість листя рослин, а у дводольних рослин – пожовтіння листків між прожилками. При цьому пожовтіла частина листків поступово буріє і відмирає (рис. 3).

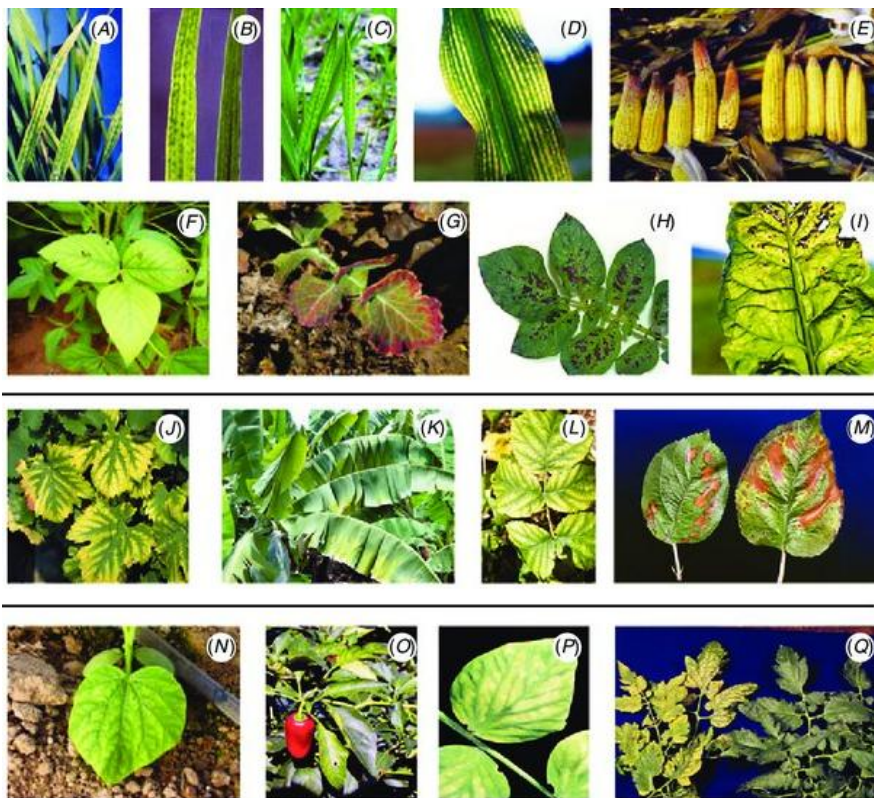


Рисунок 2. Зовнішні ознаки дефіциту магнію для рослин [35]
 (А – ячмінь ярий; Б – пшениця озима; С – жито озиме; D – кукурудза (листки); Е – кукурудза качани (ліворуч – з дефіцитом магнію, праворуч – з достатньою кількістю); F – соя; G – ріпак; H – картопля; I – буряк цукровий; J – виноград; K – банан; L – малина; M – яблуня; N – огірок; O – болгарський перець; P – горох овочевий; Q – томати (ліворуч – з дефіцитом магнію, праворуч – з достатньою кількістю)

Винос кальцію і магнію з урожаєм досить різниться в залежності від культури, рівня урожаю, різновидності ґрунту, погодно-кліматичних умов і ін. В табл. 2 поданий орієнтовний винос зазначених елементів основними сільськогосподарськими культурами. Слід зазначити, що винос Ca і Mg урожаєм сільськогосподарських культур на провапнованих ґрунтах завжди вищий ніж на не провапнованих.

**Таблиця 2. Винос кальцію і магнію урожаєм
сільськогосподарських культур із 1 т продукції, кг [4]**

Культура	Продукція	CaCO ₃	MgCO ₃	Сума карбонатів
Жито озиме	Зерно + солома	8,8	6,0	14,8
Пшениця озима		6,3	6,5	12,8
Ячмінь ярий		7,7	6,3	14,0
Овес		9,7	7,2	16,9
Гречка		18,0	8,5	16,5
Горох		31,5	10,0	41,5
Льон -довгунець	Насіння + солома	17,1	16,4	33,5
Цукрові буряки	Коренеплоди	2,9	1,3	4,3
Картопля	Бульби	0,5	1,5	2,0
Кормові коренеплоди	Коренеплоди	0,5	1,0	1,5
Люпин кормовий	Зелена маса	2,9	1,5	4,4
Конюшина червона	Сіно	42,2	19,0	51,2
Люцерна		54,5	7,8	53,3
Трави багаторічні		27,0	12,5	39,5
Трави однорічні		30,0	10,6	40,6
Капуста білоголова	Качани	1,3	0,8	2,1
Лучні трави бобово-злакові	Сіно	17,1	10,2	27,3
Лучні трави злакові		7,2	5,0	12,2

У фахових літературних джерелах винос елементів живлення сільськогосподарськими культурами подається, як правило, у відсотках виносу хімічних елементів (N) чи їх оксидів (K₂O, P₂O₅, CaO, MgO та ін.). З метою спрощення розрахунків норм внесення вапна в ґрунт для усунення шкідливої кислотності з урахуванням виносу CaO і MgO рослинами, винос кальцію і магнію може подаватися у відсотках CaCO₃ і MgCO₃, як це показано в табл. 2. Коефіцієнти перерахунку CaO і MgO в CaCO₃ і MgCO₃ становлять 1,79 і 2,1 відповідно.

4. МЕТОДИ ВСТАНОВЛЕННЯ НОРМ ВАПНЯКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ УСУНЕННЯ ШКІДЛИВОЇ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТУ

Вапнякові добрива (мергель і крейду) землероби почали використовувати на полях, луках і пасовищах близько двох тисяч років тому. В той час вони не знали механізму дії вапна і розглядали його як замітник гною. Використовувати вапнякові матеріали для усунення кислотності ґрунту аграрії розпочали наприкінці позаминулого століття [1, 3]. В результаті широкомасштабних досліджень в першій половині минулого століття виявлена природа дії вапна на ґрунт, установлена висока ефективність його застосування на кислих дерново-підзолистих ґрунтах і розроблені заходи з найбільш ефективного використання вапнякових добрив [12, 13, 31 та ін.]. Існуючі методи хімічної меліорації кислих ґрунтів, основою якої є вапнування, базуються переважно на зміні складу поглинутих катіонів ґрунтового-вбирного комплексу шляхом витіснення гідрогену і алюмінію за введення катіонів кальцію і частково магнію. Проте, в науковій літературі загально визнано, що головним їх недоліком вважається неможливість відтворити у лабораторних умовах ґрунтові процеси, які відбуваються при взаємодії меліоранта з різними фазами (рідкою, твердою та біологічною) кислих ґрунтів в польових умовах при вирощуванні тієї чи іншої культури. Як наслідок, через невірно розраховану дозу меліоранта на практиці досить часто має місце як перевапнування ґрунтів, так і недостатня кількість внесення меліоранту для усунення шкідливої кислотності.

Найбільш сприятливі для продуктивного засвоєння елементів живлення умови для більшості сільськогосподарських культур, вирощуваних в Поліссі, складаються при рН сольової витяжки ґрунту в межах від 5,5 до 6,5 одиниць. Групування ґрунтів за ступенем кислотності подано в табл.3. Слід зазначити, що ступінь кислотності ґрунту важливий, але не єдиний показник, що характеризує потребу ґрунтів у вапнуванні. Важливо при встановленні такої потреби враховувати: вміст у ґрунті рухомих сполук алюмінію і марганцю, ступінь насиченості його основами, гранулометричний склад, а також біологічні вимоги культур сівозміни до реакції ґрунтового розчину.

**Таблиця 3. Групування ґрунтів
за ступенем кислотності [22]**

Ступінь кислотності	Показник кислотності		Ґрунт
	pH _{KCl}	Hг м-екв на 100 г ґрунту	
Дуже сильно кислий	≤ 4,0	≥ 6,0	Підзолистий, тофовище верхове, болотно-підзолистий
Сильно кислий	4,1–4,5	5,9–5,1	Дерново-підзолистий оглеєний, торф'янисто і торфово-глейовий
Середньо кислий	4,6–5,0	5,0–4,1	Дерново-підзолистий, підзолисто-дерновий, ясно-сірий оглеєний
Слабо кислий	5,1–5,5	4,0–3,1	Дерново-підзолистий, ясно-сірий, темно-сірий оглеєний
Близький до нейтрального	5,6–6,0	3,0–2,1	Темно-сірий, чорнозем опідзолений, вилужений, та реградований, дерновий
Нейтральний	≥ 6,0	≤ 2,0	Чорнозем типовий та звичайний, лучно-чорноземний

У науковій літературі [2, 3, 4, 12, 20, 31 та ін.] описано декілька методів (способів) встановлення норм внесення меліорантів в ґрунт під польові і плодоягідні культури. Більшість із таких норм вважаються орієнтовними. В залежності від ступеня насиченості основами (V) і необхідності проведення вапнування ґрунти поділяються на такі групи: V ≤ 50% – потреба у вапнуванні сильна; 50–70 % – середня; 71–80 % – слабка; ≥ 80 % – ґрунт не потребує вапнування. За рівних значень pH_{KCl} ґрунти з більш високими показниками V потребують менше вапнування.

Орієнтовно потреба ґрунту в вапнуванні може бути визначена за показником pH_{KCl} в орному шарі (20–25 см). Вважається, якщо значення pH < 4,5 – потреба в вапнуванні

сильна, при 4,6–5,0 – середня, 5,1–5,5 – слаба, більш 5,5 – відсутня (табл. 4).

Таблиця 4. Необхідність вапнування ґрунтів в залежності від їх властивостей і культур сівозміни [3]

Черговість у вапнуванні в залежності від властивостей ґрунту	Черговість у вапнуванні в залежності від складу культур сівозміни		
	з незначним відсотком льону, картоплі, овочевих і кормових культур	з великим відсотком льону і картоплі	з овочевими і кормовими культурами
Сильна	Перша черга	Перша черга	Перша черга
Середня	Друга черга	Друга черга	
Слабка	Третя черга	Не потребує	Друга черга
Відсутня	Не потребує		Третя черга

Запропоновано також оцінку потреби ґрунту у вапнуванні виконувати в залежності від його гранулометричного складу, pH_{KCl} і ступеня насиченості основами (див додаток В).

На основі чисельних польових дослідів, проведених як в Україні так і в інших країнах, рекомендовані такі орієнтовні норми внесення $CaCO_3$, залежно від pH_{KCl} і гранулометричного складу ґрунтових відмін в зоні Полісся (табл. 5).

Таблиця 5. Орієнтовні норми $CaCO_3$, залежно від pH_{KCl} і гранулометричного складу ґрунтових відмін, т/га [3, 22]

Гранулометричний склад ґрунту	pH_{KCl}							
	< 4	4,5	4,6	4,7-4,8	4,9-5,0	5,1-5,3	5,4-5,5	5,6-7,0
Піщаний та глинисто-піщаний	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	0,5
Супіщаний	4,5	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,5	1,0
Легкосуглинковий	5,5	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0

Одним із розповсюджених методів розрахунку норм внесення вапна в ґрунт, широко використовуваних в землеробській практиці в Україні, а також в інших країнах Європи, є метод, що

базується на показнику гідролітичної кислотності (Нг) [3, 20, 22]. Норма внесення вапна при цьому розраховується за формулою (1):

$$H = (0,5 \times Hg \times S \times h \times dv) / 1000 \quad (1),$$

де: Н – норма внесення CaCO_3 , т/га; 0,5 – кількість грамів CaCO_3 , необхідних для нейтралізації 1 м-екв кислотності в 1 кг ґрунту; Нг – гідролітична кислотність, м-екв на 100 г ґрунту; S – 10000 м² (площа 1 га); h – глибина шару ґрунту, в який вноситься вапно, м; dv – щільність ґрунту, г/см³.

Зазначений метод розрахунку, на думку [18, 20, 27 та ін.], має ряд суттєвих недоліків і відноситься до не точних, а тому піднімається питання щодо перегляду рекомендацій по встановленню норм внесення CaCO_3 при вапнуванні кислих ґрунтів за величиною гідролітичної кислотності, особливо для піщаних і супіщаних різновидів, бідних на органічну речовину і тих, які не мають збалансованого співвідношення рухомих і доступних форм кальцію, калію, магнію, бору та деяких інших мікроелементів. Так, Д. С. Орлов [20] вказував на такі недоліки методу встановлення доз вапна за гідролітичною кислотністю: 1) не враховуються вимоги сільськогосподарських культур до реакції ґрунтового розчину; 2) оцінюється результат, отриманий при взаємодії ґрунту з 1н розчином CH_3COONa , в той час як для регулювання кислотності в ґрунт вносять твердий (розмелений) порошок CaCO_3 або суміш CaCO_3 з MgCO_3 ; 3) рівноважне значення рН витяжок при визначенні гідролітичної кислотності лежить в інтервалі 6,7–7,0, і шукана величина кислотності відповідає цьому значенню рН, але не рН 8,2 – 8,4, як це зазначено в методиці; 4) використання коефіцієнта 1,75 на повноту реакції дуже умовне і не є теоретично обґрунтованим. Крім того слід додати, що даний метод не дозволяє враховувати безпосередню участь іонів алюмінію в реакціях обміну катіонів і їх вплив на зміну кислотності ґрунтового розчину при заданому значенні рН CH_3COONa , яке використовується при її визначенні.

Вапнування кислих ґрунтів за повною гідролітичною кислотністю знижує активність іонів калію, а, отже, й співвідношення $\text{K}^+ : \text{Ca}^{2+}$ в ґрунтовому розчині. У зв'язку з цим виникає необхідність у збільшенні внесення оптимальних норм

калійних добрив до 30 % під культури, які йдуть у сівозміні після другого і третього року після проведення вапнування.

Наявність у зоні Полісся значних площ кислих ґрунтів, що знаходяться в інтенсивному сільськогосподарському використанні, і тенденція до їх збільшення в останні роки обумовлені недостатньою кількістю внесення вапнякових матеріалів, що й призвело до від'ємного сальдо балансу CaCO_3 у ґрунті. Дана ситуація характерна, насамперед, для ґрунтів із низькою ємністю поглинання, які мають значну недонасиченість основами, легкий гранулометричний склад, низьку кислотно-основну буферність у кислотному інтервалі, а також невисокий вміст гумусу.

У сучасній науковій літературі [18–20, 30 та ін.] норми внесення вапна на кислих піщаних, легко- і середньосуглинкових ґрунтах пропонується розраховувати на основі даних рН-буферності. За показниками кислотно-основної буферності ґрунту, отриманими згідно методики [34] (див. додаток Г), розрахунок норм внесення CaCO_3 слід виконувати за формулою (2):

$$A(\text{CaCO}_3), \text{ т/га} = \text{ПН} \cdot 5 \cdot h \cdot d \cdot K \quad (2),$$

де: ПН – показник нейтралізації, м-екв/ 100 г ґрунту; h – потужність орного шару ґрунту, м; h – щільність зложення ґрунту, т/м³; 5 – коефіцієнт, який враховує величину м-екв CaCO_3 і перерахунок показників у т/га; K – поправочний коефіцієнт на ступінь буферної ємності, який розраховують за формулою (3):

$$K = (100 + \text{СБЄк}) / 100 \quad (3),$$

де: СБЄк – ступінь буферної ємності в кислотному інтервалі, %.

Співробітниками Інституту сільського господарства Полісся УААН розроблений і апробований спеціальний програмний продукт PROJECT 1, який дає змогу в автоматизованому режимі провести всі необхідні розрахунки щодо визначення показників кислотно-основної буферності ґрунту за методикою, опублікованою в [34], і встановлення норм внесення вапнякового

матеріалу за показниками рН-буферності з урахуванням якісного складу меліоранту.

Приклад. Зразок ґрунту відібраний у 2023 р. на дослідному полі Інституту сільського господарства Полісся (тимчасовий польовий дослід, п'ятипільна кормова сівозмінна). В результаті досліджень встановлено (див. додаток Д), що для усунення шкідливої кислотності (необхідно довести pH_{H_2O} до 7,0) в шарі ґрунту потужністю 0,25 м при щільності його зложення 1,3 г/см³ і вихідній реакції ґрунтового розчину pH_{H_2O} = 5,4, потрібно внести 4,48 т/га $CaCO_3$. Враховуючи фізичні кондиції і склад вапнякових меліорантів, виготовлених з вапнякових порід Білокоровицького родовища (табл. 6), фізична норма меліоранту становитиме 9,11 т/га.

Таблиця 6. Склад вапнякових меліорантів, виготовлених із карбонатних порід Білокоровицького родовища [2]

Показники	Карбонати і мікроелементи	Важкі метали	Гранулометричний склад, %
$CaCO_3$, %	65,5	—	—
$MgCO_3$, %	3,1	—	—
P_2O_5 , %	1,24	—	—
K_2O , %	0,1	—	—
Cu, мг/кг	—	1,0	—
Zn, мг/кг	—	8,6	—
Mn, мг/кг	—	2,3	—
Pb, мг/кг	—	16,0	—
Cd, мг/кг	—	1,8	—
R_2O_3	—	4,5	—
Частинки > 3 мм, %	—	—	4,8
Частинки 1-3 мм, %	—	—	16,1
Частинки <1 мм, %	—	—	79,1

Показники фізико-хімічного стану окремих ґрунтових відмін Житомирського Полісся наведені в табл. 7. Більшість з них мають високу недонасиченість основами та підвищену гідролітичну кислотність. Характерною особливістю ґрунтів зазначеного регіону є низький і дуже низький ступінь буферної ємкості в кислотному інтервалі. Ступінь буферної ємкості ґрунту в кислотному і лужному

інтервалах вважаються характеристичними показниками його агроекологічного стану. Шкала оцінки кислотно-основної буферності ґрунту за показниками ступеня буферної ємкості кислотного і лужного інтервалів подана в табл. 8.

**Таблиця 7. Фізико-хімічні показники ґрунтових відмін
Житомирського Полісся [18, 19, 34]**

Генетичний горизонт і глибина відбору зразків, см	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Гідролітична кислотність, Нг	Сума обмінних основ, S	Показник нейтралізації	Ступінь насичення основами	Ступінь буферної ємності		СБЄк СБЄл
							СБЄк	СБЄл	
мг-екв/100 г						%			
Дерново-підзолистий піщаний ґрунт (Поліський державний заповідник, Коростенський район, ліс)									
He (0–20)	4,5	3,9	5,1	3,1	1,75	37,8	12,6	69,6	0,18
Дерново-підзолистий глеюватий супіщаний ґрунт (с. В. Горбаша, Житомирський район, сад)									
He (0–20)	6,8	5,0	2,8	4,9	0,15	63,4	19,5	50,4	0,39
Дерново-підзолистий глеюватий супіщаний ґрунт (с. В. Горбаша, Житомирський район, рілля)									
He (0–20)	5,1	4,6	2,4	4,3	2,18	64,2	11,9	48,1	0,24
EI (21–41)	5,4	5,2	3,0	4,0	1,33	51,3	13,0	41,9	0,31
Дерново-підзолистий глеюватий супіщаний ґрунт (с. Грозине, Коростенський район, дослідне поле Інституту сільського господарства Полісся, рілля)									
He (0–20)	5,6	5,3	2,1	2,4	0,88	53,3	16,7	69,0	0,24
EI (23–45)	5,4	5,0	2,0	1,8	1,21	47,4	9,4	46,8	0,20
Ясно сірий опідзолений легкосуглинковий ґрунт (с. В. Фосня, Коростенський район, рілля)									
He (0–20)	5,8	5,1	1,7	6,2	0,48	78,5	18,8	48,0	0,39
Темно-сірий опідзолений глеюватий легкосуглинковий ґрунт (с. Троковичі, Житомирський район, рілля)									
He (0–22)	6,8	6,4	0,42	22,2	0,29	98,0	41,9	46,4	0,90

Примітка: СБЄк – ступінь буферної ємності в кислотному інтервалі; СБЄл – ступінь буферної ємності в лужному інтервалі.

Таблиця 8. Шкала оцінки кислотно-основної буферності ґрунту за показниками ступеня буферної ємності [34]

Група	Оцінка показника	Кислотний інтервал, (СБЄк)	Лужний інтервал, (СБЄл)
1	Гранично низький	$\leq 7,7$	-
II	Дуже низький	7,6–20	≤ 10
III	Низький	21–40	11–30
IV	Середній	41–60	31–50
V	Високий	61–80	51–70
VI	Дуже високий	≥ 81	≥ 71

Позитивна дія вапнякових меліорантів на дерново-підзолистих ґрунтах проявляється у створенні карбонатної буферної зони. Внесений у ґрунт CaCO_3 з часом перетворюється на Ca(OH)_2 . Має місце вилуговування катіонів кальцію і магнію в ґрунтові води. В залежності від фізико-хімічних властивостей ґрунту і, насамперед, від реакції ґрунтового розчину, час перетворення CaCO_3 на $\text{Ca(HCO}_3)_2$ і Ca(OH)_2 може складати від декількох місяців до 2-х і більше років [18, 20].

$\text{Ca(HCO}_3)_2$ і Ca(OH)_2 дисоціюють в ґрунтовому розчині, утворюючи катіони кальцію, які, в свою чергу, витісняють з ґрунтово-вбирного комплексу катіони гідрогену і перетворюють в неактивну форму іони алюмінію, феруму і мангану. Проте, надлишок Ca^{2+} сповільнює надходження до рослин іонів NH_4^+ , Mg^{2+} і K^+ . Під впливом Ca(OH)_2 знижується також і розчинність мінералів, які містять бор і фосфор.

Рекомендується при встановленні сумарної норми внесення вапна, розрахованої за показниками рН-буферності, враховувати також і винос кальцію та магнію культурами сівозміни (див. табл. 2), а також кількість вапна, яке потрібно вносити для нейтралізації фізіологічно-кислих мінеральних добрив (табл.9).

Якщо для вапнування кислих ґрунтів застосовують матеріали, які крім CaCO_3 містять також інші форми кальцію та магнію, наприклад, доломітове борошно, гідроксиди кальцію й магнію, чи їх оксиди (CaO , MgO), то при розрахунках доз вапна їх необхідно переводити у CaCO_3 .

Таблиця 9. Дози CaCO_3 , необхідні для нейтралізації 1 ц фізіологічно кислих добрив

Назва добрива	Хімічна формула	Доза CaCO_3 , ц
Хлористий амоній	NH_4Cl	1,40
Сульфат амонію	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1,20
Сульфат амонію-натрію	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$	0,90
Аміачна селітра	NH_4NO_3	0,75
Аміачна вода	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0,40
Аміак безводний	NH_3	2,90
Сечовина	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	0,80
Амофос	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0,65

Коефіцієнти перерахунку становлять: MgCO_3 – 1,20; CaO – 1,78; MgO – 2,50, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 1,72, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 1,35.

Приклад. Якщо вапняковий матеріал містить 50 % CaCO_3 і 40 % MgCO_3 , то вміст вапна у перерахунку на CaCO_3 складає не 90, а 98 % ($50 + 40 \times 1,2$).

При вапнуванні ґрунтів слід розрізняти дози CaCO_3 і фізичні норми внесення вапнякових матеріалів. При розрахунку фізичної норми необхідно вводити поправки на вміст вологи, домішок і недіяльних (надто великих) часток CaCO_3 . Виходячи з цього, фізична норма внесення вапнякового матеріалу може бути визначена за формулою (4):

$$N_f = (D_{\text{CaCO}_3} \times 100^3) / ((100 - W) \times (100 - B) \times C) \quad (4),$$

де: N_f – фізична норма внесення вапнякового матеріалу, т/га; D_{CaCO_3} – рекомендована доза вапна, т/га; W – вміст вологи у матеріалі, %; B – вміст недіяльних часток матеріалу, розміром понад 3 мм, %; C – сума карбонатів (CaCO_3 і MgCO_3) у матеріалі, %.

Враховуючи те, що більшість ґрунтових відмін зони Полісся має кислу реакцію ґрунтового розчину і низьку буферну ємність в кислотному інтервалі, виникає необхідність у використанні таких органо-мінеральних добрив і засобів меліорації, які б відповідали наступним вимогам: мали б лужну, або слабо лужну реакцію водної витяжки, відносно високу буферну ємність і, відповідно,

високий показник нейтралізації (у лужному інтервалі), а також збалансоване співвідношення катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , K^+ і відповідних мікроелементів. Із проаналізованих органо-мінеральних добрив, які наразі надходять до торгівельної мережі, таким вимогам відповідають біогумус і «Агровіт-Кор». Не рекомендується застосовувати на низькобуферних у кислотному інтервалі ґрунтових відмінах добриво ОМД «Універсал» (табл. 10).

Таблиця 10. Буферні властивості окремих видів органо-мінеральних добрив, біогумусу і деяких мінеральних порід

Назва	рН	Показник нейтралізації, ПН		Ступінь буферної ємності (СБЄ), %		СБЄк СБЄл
		1	2	1	2	
ОМД «Агровіт-Кор»	8,3	4,4	-	100	61,4	1,6
ОМД «Універсал»	5,4	-	52,1	67,4	100	0,67
Біогумус	8,3	-	-	100	61,4	1,62
Вермикуліт	8,6	12,5	-	100	60,9	1,64
На-монтморилоніт	9,0	8,8	-	98,2	41,0	2,33
Са-монтморилоніт	7,9	1,2	-	79,8	40,9	2,33

Примітка: 1 – кислотний інтервал, 2 – лужний інтервал.

У Поліській зоні України наявні значні поклади вапнякових матеріалів (Житомирська, Волинська, Чернігівська області). Так, лише в Житомирській області (Білокоровицьке родовище) запаси вапнякових матеріалів на трьох ділянках – білокоровицькій, запольській і жеревецькій складають 10,2 млн т, 32,0 і 8,8 млн т відповідно. Загальна територія родовища становить 260 га. Відомості про хімічний і гранулометричний склад вапнякових меліорантів, виготовлених із вапнякових порід Білокоровицького родовища, наведені в табл. 6.

Слід зазначити, що на провапнованих ґрунтах винос кальцію і магнію сільськогосподарськими культурами за рахунок збільшення їх врожайності на 10–25 % вищий, ніж на не провапнованих.

5. ХІМІЧНА МЕЛІОРАЦІЯ КИСЛИХ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ

Проведення хімічної меліорації шляхом вапнування кислих радіонуклідно забруднених ґрунтів, передбачає одночасне вирішення двох завдань 1) усунення шкідливої для рослин кислотності ґрунтового розчину; 2) зменшення надходження ^{90}Sr і ^{137}Cs в рослинницьку продукцію. Зазначені радіонукліди, що потрапили в ґрунт внаслідок аварії на ЧАЕС, є хімічними аналогами важливих у біологічному відношенні кальцію і магнію. Підвищена кислотність ґрунтів сприяє міграції радіонуклідів за ґрунтовим профілем, погіршує їх фізичні і фізико-хімічні властивості, що, в свою чергу, зумовлює зниження родючості і, в кінцевому підсумку, призводить до підвищення рівня радіоактивного забруднення сільськогосподарської продукції [7, 8, 23, 28].

Позитивний вплив вапнування на ефективність фізіологічно кислих форм мінеральних добрив (сульфат амонію, натрієва селітра, калійні солі) значною мірою проявляється на таких культурах як цукрові буряки, кукурудза, пшениця, овес, конюшина, люцерна. У провапнованих ґрунтах підвищується ефективність внесення суперфосфату. Проте, вапнякові матеріали і фосфоритне борошно рекомендується вносити у різні строки, щоб не знижувати розчинність останнього. Доцільним є попереднє компостування фосфоритного борошна з гноєм при внесенні його на провапнованих ґрунтах.

Кальцієвмісні сполуки, що вносяться в ґрунт, як в прямій дії, так і в післядії позитивно впливають на якість продукції сільськогосподарських культур: підвищують цукристість коренеплодів у цукрових буряків, сприяють збільшенню білковості зерна пшениці, вмісту протеїну в сіні конюшини і люцерни.

При вапнуванні слід враховувати відповідність вапнякового матеріалу технічним умовам щодо його фракційного складу. Найбільшою ефективністю володіють частинки розміром 0,25 – 0,30 мм, а часточки розміром 1–3 мм значно поступаються більш дрібним. Вапнування кислих ґрунтів слід проводити через 4 – 5

років таким чином, щоб у першу чергу його вплив проявився при вирощуванні цукрових буряків, зернових культур, конюшини чи інших багаторічних трав. Максимальний ефект від проведення вапнування настає на другий-третій рік. На кислих піщаних і супіщаних ґрунтах, які в орному шарі містять менше 15 % фізичної глини, високоефективним заходом є внесення доломітового борошна, що містить магній.

В залежності від наявності аналітичних даних щодо фізико-хімічного стану ґрунтового покриву і рівня його радіонуклідного забруднення, можна використати один із методів розрахунку норм внесення меліоранту, описаних раніше. При можливості перевагу слід надавати більш точному методу – розрахунку норм внесення меліоранта за показниками рН буферності.

За високої щільності забруднення ґрунту (185–555 кБк за ^{137}Cs і 5,55–111 кБк за ^{90}Sr), а також за високої його кислотності ($\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,5$) вапнування рекомендується проводити у подвійній чи полуторній дозі, розрахованій за гідролітичною кислотністю [26, 28]. Проте, необхідно обережно підходити до внесення високих норм вапнякових матеріалів, щоб різко не підвищити рН ґрунтового розчину. Особливо це стосується ґрунтів піщаного і супіщаного гранулометричного складу з низькою буферною ємністю в межах кислотного інтервалу. Важливо також пам'ятати, що більшість сільськогосподарських культур, які вирощуються в умовах Полісся, пристосовані до діапазону рН ґрунтового розчину в межах 5,2–6,2 (див. табл. 1). Крім того, внесення високих норм вапна сприяє посиленню розвитку шкідливих мікроорганізмів, таких як збудник парші у картоплі та фузаріозу у льону. При цьому слід також враховувати можливість іммобілізації мікроелементів (Mo, Cu, B та ін.), якими і так бідні ґрунти Полісся [1, 3].

Вапнування в нормах за полуторною і навіть повною гідролітичною кислотністю значно знижує активність іонів калію, а, отже, й співвідношення K^+ і Ca^{2+} у ґрунтовому розчині. При цьому виникає необхідність у збільшенні оптимальних норм внесення калійних добрив до 30 % під культури, які йдуть у сівозміні на другий і третій рік після проведення вапнування. Внесення агроеліорантів для усунення шкідливої кислотності, як правило, проводять після збирання врожаю культури, в будь-яку пору року окрім зими.

На орних радіоактивно забруднених землях Поліської зони забезпечення високої продуктивності рослинництва і одержання екологічно безпечного врожаю можливе за умови впровадження та освоєння сівозмін з обов'язковим проведенням вапнування, де розміщення сільськогосподарських культур проводиться з урахуванням водно-фізичних і агрохімічних властивостей ґрунту, щільності його радіонуклідного забруднення, а також біологічних особливостей рослин [2]. Традиційними культурами для цієї зони є озиме жито і озима пшениця, картопля, льон-довгунець, просо, гречка, кормові коренеплоди, зернобобові культури (горох, вика, люпин), багаторічні та однорічні трави. У зв'язку зі зміною погоднокліматичних умов внаслідок глобального потепління певного розповсюдження набуло також вирощування ріпаку, сої, соняшника та люцерни. Вапнування ґрунту потрібно здійснювати під попередник озимої пшениці, багаторічних трав, а також сої чи соняшнику. Норми внесення вапнякових матеріалів бажано встановлювати за показниками кислотно-основної буферності орного шару ґрунту, або за іншими методами, що описані раніше.

На дерново-підзолистих піщаних ґрунтах (при щільності забруднення ^{137}Cs у межах 370–555 кБк/м² (зона гарантованого добровільного відселення)) рекомендується запроваджувати чотирьопільну сівозміну: поле 1 – озимі на зелений корм + післяукісна кукурудза або вико-вівсяна сумішка на зелений корм; поле 2 – озиме жито + післяжнивний посів редьки олійної на зелене добриво; поле 3 – картопля; поле 4 – овес.

На більш родючих супіщаних відмінах дерново-підзолистих ґрунтів доцільно мати шестипільну сівозміну: поле 1 – багаторічні трави (злаково-бобова сумішка); поле 2 – озима пшениця або озиме жито + післяжнивний посів гірчиці або редьки олійної на зелене добриво; поле 3 – кукурудза на зелену масу; поле 4 – озиме жито або озима пшениця + післяжнивний посів люпину гіркого на зелене добриво; поле 5 – картопля чи кормові коренеплоди; поле 6 – ярі зернові з підсівом багаторічних трав.

6. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ХІМІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ ҐРУНТІВ У ГОСПОДАРСТВАХ РІЗНИХ ФОРМ ВЛАСНОСТІ

Одним із завдань вапнування кислих ґрунтів вважається запобігання декальцинуванню орного шару, а отже підтримка додатного сальдо балансу кальцію. Додатній баланс кальцію на кислих ґрунтах дозволяє систематично покращувати їх якість і створювати умови для більш ефективного використання внесених мінеральних добрив. Крім того, вапнування підвищує ефективність фізіологічно кислих мінеральних добрив, особливо аміачних і калійних. Усуваючи шкідливу для рослин кислотність, вапнування різнобічно впливає на властивості ґрунту, створюючи сприятливе середовище для росту рослин і життєдіяльності корисних мікроорганізмів. Кальцій, що вноситься з вапном, коагулює ґрунтові колоїди, покращує структуру ґрунту і підвищує її водостійкість. Під впливом вапна покращується також водопроникність і аерація ґрунтів. Зменшується можливість утворення кірки і полегшується обробіток середньо- і важко суглинкових різновидів ґрунту [14, 15, 18].

При вапнуванні посилюється мобілізація сполук фосфору ґрунту, а отже покращується режим живлення рослин, що спричиняється підвищенням життєдіяльності бактерій, які мінералізують органічні фосфати. Калій із важкорозчинних мінералів також переходить у більш рухомі форми. Внесення вапнякових добрив (наприклад, доломітової муки) сприяє збагаченню ґрунту магнієм, який конче необхідний рослинам як елемент живлення. В ґрунті основна частина кальцію і магнію знаходиться в формі важкодоступних мінеральних сполук, карбонатів, сульфатів, фосфатів, силікатних і алюмосилікатних мінералів. Лише обмінні поглинуті катіони кальцію і магнію є основним джерелом живлення рослин цими елементами. Вапнування впливає на рухомість в ґрунті мікроелементів: сполуки Мо після внесення вапна переходять у більш доступні форми; сполуки В і Мп — навпаки стають менш рухомими. Таким чином, внесення борних мікродобрив підвищує ефективність вапнування і

усуває негативний вплив високих доз вапна на врожай льону і картоплі [21].

Значення вапнування кислих ґрунтів підвищується в умовах глобальних змін клімату, у зв'язку з чим в зоні Полісся стали вирощувати такі нетрадиційні для неї сільськогосподарські культури як соняшник, сою, ріпак, люцерну та ін.

Вапнування ґрунтів може проводитися в різні пори року. Проте з організаційних причин, не завжди вдається здійснити вапнування влітку чи ранньої осені. Допускається також внесення вапна взимку по зябу чи неораному полю на рівнинних за рельєфом площах. Не рекомендується проводити вапнування взимку на землях, які затоплюються навесні, а також у період відлиги. Вчені рекомендують використовувати такий календар робіт із вапнування (табл. 11).

Таблиця 11. Орієнтовний календар робіт із вапнування кислих ґрунтів [22]

Місяць	Місце проведення робіт
Квітень – травень	Під культури ярого посіву, а також під покрив багаторічних трав
Червень – серпень	Після збирання парозаймаючих культур і трав першого та другого років використання під озимі
Вересень – жовтень	Після збирання озимих, ярих і просапних культур
Листопад – березень	По мерзлому ґрунту або снігу на рівних за рельєфом полях під усі ярі культури (крім льону і картоплі) на вперше освоєних землях, луках та пасовищах

За традиційною технологією, яка застосовувалась в Україні впродовж 60-80-х років минулого століття, коли сільськогосподарські угіддя знаходилися в колективній власності, розрахунок доз вапна проводився лише за гідролітичною кислотністю. Науково-виробничими підрозділами системи «Укragрохім» для колективних господарств розроблялися плани меліорації кислих ґрунтів, які ними ж і реалізовувалися. Орієнтовно на слабо кислих ґрунтах вносилося 3–4 т/га вапна (в

розрахунку на CaCO_3), на середньо кислих – 5–6 т/га і на сильно кислих – 7–9 т/га. Меліорант вносився на поверхню ґрунту з подальшим його заорюванням. Після проведення вапнування вирощувалися найбільш чутливі до кислотності культури – цукрові буряки, конюшина, люцерна, соя, ячмінь, озима пшениця [14, 21].

ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О. Н. Соколовського» запропонував технологію локального окультурювання (меліорації) кислих ґрунтів [30], згідно з якою не передбачається зміни кислотно-основної природи ґрунту у всьому об'ємі орного шару. Пропонується на межі оброблюваного (орного) і необроблюваного (підорного) шарів ґрунту створювати локальні (комфортні) для розвитку кореневої системи рослин мікрозони діаметром 7–10 см з міжсмуговими відстанями 35 см. Такі високородючі мікрозони пропонується створювати за допомогою внесення спеціально підготовленого добрива–меліоранту з високими адсорбційно-десорбційними оптимальними буферними характеристиками (суміш торфу, сапропелю або фосфоритів, аміачних форм азотних добрив, калімагнезії з вапняком). Запровадження зазначеної технології потребує використання спеціальної техніки з внесення органо-мінерального добрива меліоранту.

На кислих радіоактивно забруднених ґрунтах Житомирського Полісся і на даний час доцільно вносити місцеві меліоранти з Білокоровицького родовища на поверхню ґрунту з подальшим їх заорюванням.

6.1 Внесення вапна в польових і кормових сівозмінах

В сучасних умовах ведення агропромислового виробництва, коли переважна частина сільськогосподарських угідь (понад 85 % земельних ділянок) знаходиться в приватній власності, держава практично втратила контроль за проведенням хімічної меліорації кислих ґрунтів. Власники земельних ділянок чи землекористувачі повинні володіти певними знаннями щодо агроекологічного стану їх ґрунтового покриву, зокрема й щодо рівня кислотності ґрунту. Оптимальним варіантом вирішення проблеми усунення шкідливої кислотності вважається замовлення землевласником чи

землекористувачем проекту меліорації ґрунтового покриву в організаціях, які мають ліцензію на виконання такого виду робіт. Переведення проекту в натуру дасть можливість покращити родючість ґрунту, а отже й підвищити продуктивність вирощуваних сільськогосподарських культур.

Ефективність внесеного в ґрунт меліоранта залежить від багатьох чинників – доз і прийомів його внесення, видів і якості вапнякових матеріалів, чутливості культур до їх внесення, властивостей ґрунту, а також поєднання вапнування з використанням органічних і мінеральних добрив.

При внесенні вапна його необхідно рівномірно розподіляти по поверхні поля з наступним заорюванням. Сухі вапнякові матеріали рекомендується розсівати різними туковисіваючими агрегатами. Внесення меліоранта можливе й разом з органічними добривами. Проте через втрати аміаку (NH_3), не рекомендується сумісне внесення гною з гашеним ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), або не гашеним (CaO) вапном. Не рекомендується також вносити фосфоритне і кісткове борошно разом із вапном.

На легких за гранулометричним складом ґрунтах (піщаних і супіщаних) доцільно використовувати доломітове борошно, яке окрім кальцію вміщує ще й магній, оскільки піщані і супіщані різновиди ґрунтів у 5–6 разів бідніші на кальцій і в 15–20 разів – на магній, ніж суглинисті і глинисті. Вносити доломітове борошно рекомендується за рН-буферністю (0,5–0,7 від розрахункової дози).

Внесені в ґрунт вапнякові матеріали забезпечують нейтралізацію не лише шкідливої кислотності, але й фізіологічно кислих мінеральних добрив ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, K_2SO_4 , KCl та ін.). При цьому значно підвищується їх ефективність. Використання високих доз мінеральних добрив під сільськогосподарські культури потребує проведення обов'язкового вапнування ґрунту. Необхідність повторного вапнування в залежності від ґрунтових умов і біологічних особливостей культур може варіювати від 3-х до 5 – 6 років. Ефективність вапнування значно підвищується, якщо цей меліоративний захід проводиться в сівозмінах з науково-обґрунтованою системою удобрення.

В табл. 12 подана схема розміщення культур в типовій 9-пільній польовій сівозміні зони Українського Полісся та орієнтовні

норми внесення добрив і меліорантів, які рекомендуються для внесення в середньо кислий дерново-підзолистий супіщаний ґрунт (з рН_{KCl} 5,1–5,5).

Зазначену сівозміну і систему внесення добрив та меліорантів доцільно запроваджувати в сільськогосподарських підприємствах, які володіють площами сільськогосподарських угідь понад 3 тис га.

Таблиця 12. Схема розміщення культур в 9-пільній польовій сівозміні та норми внесення добрив і меліорантів

Культура	Удобрення	
	основне	підживлення
Овес + пелюшка	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + 5 т/га СаСО ₃ після збирання врожаю	—
Соя	N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀	—
Тритікале ярий	N ₁₅ P ₃₀ K ₃₀	—
Жито озиме	N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅	N ₃₀
Картопля	20 т/га гною + N ₃₀ P ₄₀ K ₄₀ + 3 т/га соломи + 12 т/га зеленої маси сидерату	P ₂₀ K ₂₀
Пшениця яра	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + 4 т/га СаСО ₃ після збирання врожаю пшениці	—
Конюшина (сіно)	P ₃₀ K ₃₀	—
Пшениця озима	N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅	N ₃₀
Кукурудза (зелена маса)	20 т/га гною + N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ + 3 т/га соломи + 12 т/га зеленої маси сидерату	N ₃₀
Всього за ротацію	40 т гною + 6 т соломи + 24 т зеленого сидерату + 9 т СаСО ₃ + N ₃₃₀ P ₃₅₀ K ₃₉₀	
На 1 га сівозмінної площі	4,4 т/га гною + 0,7 т/га соломи + 2,7 т/га зеленої маси сидерату + N _{36,7} P _{38,9} K _{43,3}	

Фермерські та інші відносно невеликі за площею сільськогосподарські підприємства використовують короткоротаційні сівозміни [2]:

Варіант А: 1. Конюшина на зелений корм і сіно; 2. Озима і яра пшениця; 3. Коренеплоди (буряки, морква тощо); 4. Ярі зернові з підсівом конюшини;

Варіант Б: 1. Багаторічні і однорічні трави чи озимі зернові культури; 2. Озима пшениця або горох та інші зернові культури; 3. Просапні культури, гречка; 4. Ярі зернові + багаторічні трави або без них;

Варіант В. 1. Озима пшениця + вика; 2. Овес чи горох; 3. Овес на зелений корм; 4. Ярі зернові, чи зернобобові та круп'яні культури.

Варіанти системи удобрення в зазначених сівозмінах залежать від економічних можливостей підприємств. Вапнякові меліоранти доцільно вносити під попередники коренеплодів, багаторічних трав або зернових культур. Норму їх внесення можна розраховувати залежно від кислотності ґрунтового розчину, за одним із раніше описаних методів, проте за можливості перевагу слід надавати методу, заснованому на рН-буферності.

З урахуванням досвіду регіональних радіологічних центрів Поліського регіону та Інституту сільського господарства Полісся НААН можливі й інші варіанти сівозмін, але важливо, щоб рослинницька продукція регулярно проходила радіоекологічний контроль і відповідала нині діючим Державним гігієнічним нормативам (ДР-2006). Обов'язковим при цьому залишається проведення вапнування радіонуклідно забруднених ґрунтів, на яких вирощується сільськогосподарська продукція.

З метою підвищення продуктивності кормових культур сільськогосподарським підприємствам із розвинутим тваринництвом на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах рекомендується введення у кормову сівозміну люцерни. Система удобрення розподілу добрив в такій сівозміні з обов'язковим проведенням вапнування, а також додатковим внесенням молібденових мікродобрив наведена в табл. 13. Вапняковий матеріал Білорівницького родовища, що вноситься в ґрунт в нормі 8,0 т/га CaCO_3 , в розрахунку на 1 га сівозмінної площі становить 896 кг CaO і 43 кг MgO .

Для встановлення більш точних норм вапна і строків проведення вапнування з урахуванням вимог культур сівозміни і системи удобрення, необхідне проведення подальших

спеціальних польових дослідів в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Таблиця 13. Система удобрення п'ятипільної кормової сівозміни

Культура сівозміни	Спосіб внесення добрив	Гній, т/га	Вапняковий матеріал, т/га)		Мінеральні добрива, кг/га д.р., кг/га			
			CaCO ₃ +MgCO ₃		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MoO
Люцерна 1-го року	1	–	8,0		30	30	30	2,0
Люцерна 2-го року	2	–	–		20	–	–	–
Люцерна 3-го року					15	15	15	–
Кукурудза на силос	1	–	–		30	45	45	–
	2				30	–	–	
Озима пшениця	1	20	–		30	45	45	2,0
	2				30			
Внесено на 1 га сівозмінної площі		4,0	CaO	MgO	37	27	27	Mo
			896	43				0,4

Примітка: 1 – основне удобрення; 2 – підживлення.

6.2 Вапнування ґрунту в господарствах приватного сектору та на присадибних ділянках

У зв'язку з розпаюванням земель колективної власності сільськогосподарських підприємств в Україні з'явилися приватні сільськогосподарські підприємства з обмеженою площею сільськогосподарських угідь (до 100–150 га). В таких умовах не завжди з'являється можливість запровадження науково-обґрунтованих сівозмін. Зазначені господарства можуть спеціалізуватися на вирощуванні певної групи сільськогосподарських культур. Деякі із них практикують також одночасно і ведення тваринництва.

Керівник приватного сільськогосподарського підприємства, а також кожен власник земельної ділянки сільськогосподарського призначення, в тому числі тієї, що передана в оренду, з метою контролю якості ґрунту повинен замовити виготовлення агрохімічного паспорта полів (земельної ділянки). Вказаний документ є результатом агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення, яка проводиться з метою оцінки родючості ґрунтів і встановлення їхнього потенціалу для сільськогосподарського використання; планування раціонального внесення добрив і розробки агротехнічних заходів; встановлення оптимальних режимів обробітку і зрошення земель; розроблення земельного кадастру та регулювання земельних відносин. Роботи, пов'язані з проведенням агрохімічного обстеження ґрунтового покриву сільськогосподарських угідь, а отже і виготовленням паспортів займаються переважно обласні філії ДУ «Інститут охорони ґрунтів». Відомості щодо рівнів забезпечення поживними речовинами ґрунтів та забруднення токсичними речовинами і радіонуклідами вносяться до агрохімічного паспорта поля, земельної ділянки кожні 5 років.

Агрохімічний паспорт поля, земельної ділянки використовується при розрахунку нормативів гранично допустимого забруднення ґрунтів, якісного стану ґрунтів, показників деградації земель та ґрунтів, оптимального співвідношення культур у сівозмінах у різних природно-сільськогосподарських регіонах, які встановлюються для досягнення високих і стабільних урожаїв та запобігання

виснаженню і втраті родючості ґрунтів унаслідок ґрунтовтоми, а також в інших випадках, передбачених чинним законодавством.

Керівникам сільськогосподарських підприємств (агрономам) обов'язково слід звертати увагу на такі показники фізико-хімічного стану ґрунту конкретного поля чи земельної ділянки: гідролітична кислотність (Нг), $\text{pH}_{\text{КСІ}}$, сума поглинутих основ (S), ступінь насичення ґрунту основами (V), а також щільність забруднення ^{137}Cs і ^{90}Sr . Якщо ґрунти зазначених ділянок мають кислу реакцію їх слід вапнувати у відповідності з вище описаними вказівками.

Агроекологічний моніторинг повинен здійснюватися також і стосовно ґрунтового покриву присадибних ділянок, особливо тих, що знаходяться в приміських зонах. Крім підвищеної кислотності, ґрунти тут можуть бути забруднені важкими металами, насамперед такими як свинець (Pb), кадмій (Cd), меркурій (Hg), купрум (Cu), цинк (Zn), нікель (Ni), арсен (As) та ін.

У табл.14 подані гранично – допустимі концентрації валових і рухомих форм важких металів в ґрунті згідно [16].

Таблиця 14. Гранично-допустимі концентрації важких металів у ґрунті

Елемент	Кларк за Виноградовим	ГДК валових форм	ГДК рухомих форм
	мг/кг ґрунту		
Cu	20	55	3,0
Pb	10	32	6,0
Cd	-	3	0,7
Zn	50	100	23,0
Ni	40	85	4,0
Co	8	-	5,0

Найбільшу небезпеку являють рухомі форми важких металів, які є легко доступними для рослин. Їх рухомість істотно залежить від ряду агрохімічних і фізико-хімічних показників (вміст органічної речовини, pH ґрунтового розчину), а також від гранулометричного складу ґрунту (відсоток вмісту мулистої фракції). Виходячи з цього, перспективним напрямком детоксикації забруднених важкими металами ґрунтів є розроблення заходів, спрямованих на зниження рухомості поллютантів, закріплення їх у ґрунті, що в свою

чергу, призводить до зниження доступності токсикантів для рослин та їх накопичення в продукції агроценозів. Одним із таких заходів є вапнування, яке призводить до зниження рухомості важких металів за рахунок утворення важкорозчинних комплексних сполук, а також сорбції їх оксидами і гідрооксидами феруму і мангану. Внесення вапнякових матеріалів крім того збагачує ґрунт кальцієм, покращує його структуру, усуває шкідливу для рослин кислотність ґрунтового розчину, активує процеси окислення тощо.

Власники присадибних ділянок можуть звернутися до обласних філій ДУ «Інститут охорони ґрунтів» або в Інститут сільського господарства Полісся НААН з проханням провести визначення реакції ґрунтового розчину орного шару ґрунту, рН-буферності та вмісту важких металів. Дози CaCO_3 слід розраховувати за одним із вище описаних методів і диференціювати залежно від ступеня забруднення ґрунту важкими металами, оскільки наразі не існує нормативів щодо обсягів внесення вапнякових матеріалів в ґрунт саме з метою його детоксикації.

Для детоксикації забрудненого міддю, цинком і свинцем дерново-підзолистого глеюватого супіщаного ґрунту на водно-льодовикових відкладах, що має такі агрохімічні показники: вміст гумусу – 1,12 %; азоту лужно гідролізованого – 72 мг/кг ґрунту; рухомого фосфору – 270 мг/кг; обмінного калію – 130 мг/кг; pH_{KCl} – 5,1, доцільним є застосування таких норм вапнякових добрив, розрахованих за рН-буферністю (табл. 15).

Таблиця 15. Норми внесення вапнякових матеріалів у дерново-підзолистий ґрунт в залежності від рівня забруднення його цинком, міддю і свинцем [7]

Рівень забруднення частках ГДК валових форм елемента	Кратність норми внесення вапнякових матеріалів	Фізична маса внесення вапнякового матеріалу в розрахунку на CaCO_3 , т/га
1 ГДК	1,0	3,78
5 ГДК	1,5	5,67
10 ГДК	2,0	7,56
15 ГДК	2,5	9,45

Примітка: Коефіцієнт перерахунку внесення фізичної маси CaCO_3 із т/га в кг/м^2 становить 0,10.

Зазначений агрозахід, в залежності від рівня забруднення ґрунту валовими формами елемента і кількості внесеного CaCO_3 , забезпечує зниження вмісту рухомих форм міді на 20–67 %, цинку – на 10–64, свинцю – на 10–72 % у порівнянні з ґрунтом, на якому детоксикація не проводилась.

Варто зауважити, що будь який спосіб закріплення важких металів у ґрунті, у тому числі й вапнування, має свій термін дії. З часом частина забруднювачів починає надходити в ґрунтовий розчин, а звідти за посередництва рослин – в організм тварин і людини. Таким чином, виникає необхідність повторного проведення вапнування ґрунтів, забруднених важкими металами. В залежності від фізико-хімічних і агрохімічних властивостей ґрунту і його забруднення термін ефективної дії вапна може становити не більше 3–5 років.

ВИСНОВКИ

Сучасні деградаційні процеси ґрунтового покриву Полісся під впливом антропогенних чинників, основою яких є кислотні навантаження і обробіток, спричиняють руйнування органічно-мінеральної частини ґрунту, активізують процеси опідзолення, накопичення кремнезему та вільних півтораоксидів. Має місце вимивання катіонів кальцію і магнію, важких металів та радіонуклідів Чорнобильського походження у підґрунті води.

Під впливом осушення перезволожених земель, яке відбувалося в Поліському регіоні в другій половині минулого століття, а також в результаті значного потепління клімату за останнє півстоліття (підвищення суми активних температур $> 10^{\circ}\text{C}$), Житомирське Полісся за природно-кліматичними характеристиками наблизилося до Лісостепової зони. В господарствах аграрного сектору почали вирощувати нетрадиційні для зони Полісся культури, такі як сою, соняшник, цукрові буряки, люцерну та ін. Зазначені культури для продуктивного розвитку потребують близької до нейтральної або нейтральної реакції ґрунтового розчину, а також підвищеного рівня мінерального живлення.

Збалансоване і екологічно обґрунтоване на науковій основі використання кислих ґрунтів, які домінують в структурі земельних угідь Житомирського Полісся, в рекомендаціях розглядається як вагомий резерв для розвитку аграрного виробництва регіону. Їх хімічна меліорація шляхом вапнування є однією із обов'язкових складових сучасних агротехнологій вирощування сільськогосподарських культур.

Дотримання викладених в рекомендаціях настанов і порад дозволить працівникам аграрного сектору створити сприятливий для вирощування сільськогосподарських культур кислотно-основний режим ґрунту, а в комплексі з іншими заходами з підвищення ґрунтової родючості (раціональна система удобрення, екологічно заощадливий обробіток ґрунту, сівоzmіни та ін.) – необхідні умови для надійного забезпечення продуктової безпеки.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрохімія: підручник // М. М. Городній, С. І. Мельник, А. С. Малиновський [та ін.]. – Київ: ТОВ «Алефа», 2003. – 778 с.
2. Агроекологічне обґрунтування способів обробітку дерново-підзолистого ґрунту та систем удобрення польових культур в зоні радіоактивного забруднення Житомирського Полісся: монографія / П. П. Надточій, В. І. Ратошнюк І. Ю. Ратошнюк [та ін.]; за заг. ред. П. П. Надточія і С. М. Рижука. – Житомир: Вид. ПП «Рута», 2020. – 204 с.
3. Агрохимия / Б. Я. Ягодин, П. М. Смирнов, А. В. Петербургский и др.; под ред. Б. Я. Ягодина. – 2-е изд. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с.
4. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 784 с.
5. Агроэкология / В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев и др.; под ред. В. А. Черникова, А. И. Черкеса. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
6. Атлас агроекологічного стану ґрунтового покриву Житомирської області / В. А. Трембіцький, Т. М. Мислива., Ю. А. Білявський, О. М. Мартенюк та ін. – Житомир: ПТЦ «Облдержродючість, 2011. – 56 с.
7. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище (рекомендації) / [Т. М. Мислива, П. П. Надточій, Л. О. Герасимчук та ін.] – Житомир, 2011. – 52 с.
8. Воробьева Л. А., Авдонькин А. А. Потенциальная кислотность. Понятия и показатели // Почвоведение. – 2006. – № 4. – С. 421–431.
9. Географічна енциклопедія України: в 3-х т./ О. М. Маренич (відповід. ред.) – К.: Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1989–1993. – Т. 3: П–Я.– 480 с.
10. Гудков И. Н. Проблемы известкования и применения удобрений на загрязненных радионуклидами почвах. Материалы второй международной конференции «Проблемы сельскохозяйственной радиоэкологии. Десять лет спустя после аварии на Чернобыльской АЭС». – Житомир, 1996.– С. 187–189.

11. Дібров Б. І. Ґрунти Житомирської області; за ред. Н. Б. Вернандер. – К.: Урожай, 1969. – 58 с.
12. Известкование кислых почв; под ред. Н. С. Авдонина, А. В. Петербурского, С. А. Шедорова. – М.: Колос, 1976. – 176 с.
13. Корнилов М. Ф. Известкование почв северо-западной зоны нечерноземной полосы СССР / М. Ф. Корнилов, Н. Л. Благовидов. – М. – Л., 1955. – 156 с.
14. Мазур Г. А. Підвищення родючості кислих ґрунтів / Г. А. Мазур, Г. К. Медвідь, В. Н. Сімачинський. – К.: Урожай, 1984. – 176 с.
15. Мазур Г. А. Вміст і співвідношення форм кальцію і магнію в дерново-підзолистих ґрунтах Українського Полісся / Г. А. Мазур // Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Спец. вип. – Кн. 1. – Харків, 2018. – С. 78–87.
16. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення; за ред. С. М. Рижук, М. В. Лісового, Д. М. Бенцеровського. – К., 2003. – 64 с.
17. Надточий П. П. Опыт составления картограмм кислотности основной буферности почв / П. П. Надточий // Агрохимия. – 1996. – № 4. – С. 34–39.
18. Надточий П. П. Кисотно-основна буферність і проблеми вапнування кислих ґрунтів Полісся: актуальні проблеми агроєкології / П. П. Надточий, В. А. Трембіцький // Вісник державного агроєкологічного університету. – 2003. – №2. – С. 3 – 17.
19. Надточий П. П. Кальцій в почвенном покрове агроценозов Житомирского Полесья / П. П. Надточий, В. А. Трембицкий, С. В. Бобрусь / Доповіді міжнародної конференції «Екологія: проблеми адаптивно-ландшафтного землеробства». – Житомир, 2005. – С. 121–130.
20. Орлов Д. С. Химия почв: Учебник / Д. С. Орлов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 376 с.
21. Панников В. Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В. Д. Панников, В. Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 416 с.
22. Практикум з ґрунтознавства: Навчальний посібник / За ред. Д. Г. Тихоненка. – 6-е вид., перероб. і доп. – Х.: Майдан, 2009. – 448 с.

23. Пристер Б. С. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. С. Пристер, Н. А. Лошилов, О. Ф. Немец [и др.]. – К.: Урожай, 1991. – 47 с.
24. Про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення України (Періодична доповідь) / Київ: ДУ «Інститут охорони ґрунтів України, 2015. – 118 с.
25. Толковий словарь по почвоведению; под ред. А. А Роде. – М.: Наука, 1975. – 286 с.
26. Рекомендації по веденню сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення території України в результаті аварії на Чорнобильській АЕС на період 1996–1998 рр. / Під. ред. Б. С. Прістера. – К.: Вид-во МСГП, 1996. – С. 12–13.
27. Рижук С. М. Перспективи хімічної меліорації ґрунтів України / С. М. Рижук, Р. С. Трускавецький, С. А. Балюк [та ін.]. – Вісник аграрної науки. – 2002. – № 11 (596). – С. 5–8.
28. Сельскохозяйственная радиоэкология / Алексахин Р. М., Васильев А. В., Дмитриев В. Г. [и др.] – М.: Экология, 1991. – 398 с.
29. Статистичний щорічник Житомирської області за 2020 рік / За ред. Г. Пашинської. – Житомир, 2021. – 476 с.
30. Сучасна концепція хімічної меліорації кислих і солонцевих ґрунтів. – Харків: ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського, 2008. – 100 с.
31. Технологія відтворення родючості ґрунтів у сучасних умовах / За ред. С. М. Рижук і В. В. Медведєва. – Харків, 2003. – 214 с.
32. Фокин А. Д. Сельскохозяйственная радиология: учебник для вузов / А. Д. Фокин, А. А. Лурье, С. П. Торшин. – М.: Дрофа, 2005. – 367 с.
33. Nadtochy P. P. Determination of acid-base buffer capacity of soil / P. P. Nadtochy // Eurasian Soil Science. – 1993. – Vol. 25. – N6. – P. 30–38.
34. Nadtochii P. P. Acid-base buffer capacity of soil as a criterion for evolution of its properties / P. P. Nadtochii // Eurasian Soil Science. – 1998. – Vol.31. – № 9. – P. 987–995.
35. Senbayram M. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum / M. Senbayram, A. Gransee, V. Wahle, H. Thiel // Crop and Pasture Science. – 2015. – Vol. 66. – P. 1219–1229.

ДОДАТКИ

Хімічні меліоранти для кислих ґрунтів [1]

Найменування меліоранта	Хімічна формула та вміст компонентів	Коротка характеристика меліоранта
1	2	3
Природні хімічні меліоранти		
Крейда	CaCO_3	Осадова гірська порода білого кольору. Містить незначну домішку піску та глини. Як меліорант малоефективна
Мергель	Суміш CaCO_3 + MgCO_3 + глина	Щільна або сланцювата осадова гірська порода різного кольору (сірого, зеленуватого, жовтого або бурого). Як меліорант середньо ефективна
Доломіт	Суміш CaCO_3 + MgCO_3 з домішками CaO + MgO	Тверда вапнякова порода сірого або темно-сірого кольору з вмістом доломіту від 35 до 90 %. Меліоруюча дія висока
Вапняки природні	CaCO_3	Осадова гірська порода представлена переважно мінералом кальцитом. Зустрічається у вигляді органогенних, хемогенних, уламкових та вторинних вапняків з домішками піску і глини. Меліоруюча дія середня
Вапняковий туф (джерельне вапно)	Вміст CaO + MgO до 42–54 %	Пухка, легко розсипчаста речовина сірого кольору. Поклади зустрічаються на притерасних заплавах в місцях виходу на поверхню водних джерел

Продовження додатка А		
1	2	3
Озерне вапно (гажа)	Вміст CaO + MgO до 48–56 %	Дрібнозерниста легко розсипчаста речовина. Зустрічається в місцях замкнутих водойм, води яких в минулому були збагачені кальцієм і магнієм і з часом висушили
Торфотуфи та торфогажа	Вміст CaO + MgO – 6–28 %	Низинний торф, збагачений вапном. Рекомендується вносити на бідних на органічні речовини ґрунтах, які знаходяться поряд з місцями залягання торфо-туфів та торфогажі
Фосфорити	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	Порошок різних відтінків – від сірого до бурого кольору. Вміст P_2O_5 в залежності від місцезнаходження варіює в межах від 5 до 25 % і більше
Лесові та лесовидні карбонатні породи	Вміст CaO від 10 до 30 %	Карбонатна осадова порода сіро-жовтого або палевого кольору. Внесення ефективне на кислих ґрунтах легкого гранулометричного складу
Відходи промислового виробництва		
Дефекат	CaCO_3 + $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ з домішками органіки і мінерального мулу	Відходи цукрового виробництва, розсипчастий порошок сірого кольору містить до 20 % CaO , до 15% органічної речовини, 0,3-0,5 % азоту, 1– 2 % P_2O_5 , 0,6-0,9 % K_2O . Перед внесенням в ґрунт дефекат просушують і потім просівають крізь сито з отворами діаметром 2-5 мм

		Продовження додатка А
1	2	3
Шлам содового виробництва	$\text{CaCO}_3 + \text{CaCl}_2$	Відходи содового виробництва. Порошок білого кольору. Після висушування не потребує додаткового подрібнення
Нітрат кальцію	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Дуже гігроскопічна речовина. Добриво-меліорант. Транспортують і зберігають у водонепроникних мішках. Перспективний для внесення з поливними водами (фертигація)

Групування сільськогосподарських культур по відношенню до кислотності [4]

Відношення культур до оптимального значення pH		Групи культур				
		зернові і зерно бобові	технічні	овочеві, коренеплоди і силосні	трави	плодово-ягідні
I. pH 5,8–6,5: найбільш чутливі до підвищеної кислотності		–	Цукрові буряки	Кормові і столові, буряки, капуста білоголова, цибуля ріпчаста, часник, селера	Конюшина червона, люцерна, буркун, райграс, костриця безоста, грястиця збірна	Смородина
II. pH 5,3–6,0: чутливі		Пшениця озима і ярова, ячмінь, горох, пелюшка	–	Кукурудза, гарбузи, турнепс, огірки, салат, капуста кольорова	Вика, лисохвіст, вівсяниця лучна, тонконіг,	Яблуня, слива, вишня
III.	а) pH 4,5–6,0: менш чутливі	Овес, жито, гречка	–	–	Тимофіївка	–
	б) pH 4,8–5,7: важко витримують надлишок кальцію	–	Льон	Морква, томати, соняшник	–	Малина, суниця, агрус, груша
IV. pH 4,5–6,0: витримують підвищену кислотність		–	–	Щавель, картопля, люпин	Середела	–

ДОДАТОК В

Потреба ґрунтів у вапнуванні в залежності від гранулометричного складу, значення рН і ступеня насичення ґрунтів основами (V) [4]

Гранулометричний склад	Потреба в вапнуванні							
	сильна		середня		слабка		відсутня	
	pH _{KCl}	V, %	pH _{KCl}	V, %	pH _{KCl}	V, %	pH _{KCl}	V, %
Важко та середньо суглинковий	≤5,0	≤45	5,0–5,5	45–60	5,5–6,0	60–70	≥6,0	≥70
	≤4,5	≤50	4,5–5,0	50–65	5,0–5,5	65–75	≥5,5	≥75
	≤4,0	≤55	4,0–4,5	55–70	4,5–5,0	70–80	≥5,0	≥80
Легкосуглинковий	≤5,0	≤35	5,0–5,5	30–55	5,5–6,0	55–65	≥5,0	≥65
	≤4,5	≤40	4,5–5,0	40–60	5,0–5,5	60–70	≥5,5	≥70
	≤4,0	≤55	4,0–4,5	45–55	4,5–5,0	65–75	≥5,0	≥75
Супіщаний та піщаний	≤5,0	≤30	5,0–5,5	30–45	5,5–6,0	45–55	≥6,0	≥55
	≤4,5	≤35	4,5–5,0	35–50	5,0–5,5	50–60	≥5,5	≥60
	≤4,0	≤40	4,0–4,5	40–55	4,5–5,0	55–65	≥5,0	≥65
Торф'янистий і торф'яно-болотний ґрунт	≤3,5	≤35	3,4–4,2	35–55	4,2–4,8	55–65	≥4,8	≥65

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ І ОЦІНКИ КИСЛОТНО–ОСНОВНОЇ БУФЕРНОСТІ ҐРУНТУ [34]

Методика базується на потенціометричному визначенні зрушення рН ґрунтової суспензії залежно від зміни концентрації кислоти (HCl) і лугу (NaOH) з урахуванням рекомендованого Міжнародним конгресом ґрунтознавців у Оксфорді стандартного відношення *вода : ґрунт* = 2,5.

Хід аналізу. У 13 конічних колб на 100 мл беруть наважки повітряно-сухого ґрунту по 10 г. В одну з колб приливають 25 мл дистильованої води, у наступні шість – по 25 мл розчину HCl, а в решту – по 25 мл NaOH. Їдкий натрій та соляна кислота мають таку концентрацію: 0,005 н, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05 н. Ці розчини готують з фіксаналів на дистильованій воді, з якої попередньо видалений CO₂. Після перерахунку 25 мл розчину кислоти або лугу вказаних нормальностей (у м–екв.) отримали такий ряд:

№ колби	1	2	3	4	5	6	7
HCl, м–екв	0	0,125	0,250	0,500	0,750	1,0	1,250
№ колби	–	8	9	10	11	12	13
NaOH, м–екв		0,125	0,250	0,500	0,750	1,0	1,250

Колби закорковують, збовтують їх вміст на ротаторі протягом години та залишають на добу. Після цього суспензію знову збовтують 10–15 хв і безпосередньо у ній визначають рН за допомогою іонометра. Паралельно визначають рН розчинів NaOH і HCl, які використовують для приготування суспензій. За результатами дослідів на міліметровому папері будують криві залежності рН від зміни концентрації (ΔC) кислоти або лугу.

При цьому на осі абсцис графіка відкладають значення нормальності у масштабі 1 см = 0,01 н, а на осі ординат – значення рН у масштабі 1 см = 1 од. рН. На вісь абсцис графіка

накладають додаткову шкалу переводу нормальності взятого об'єму кислоти і лугу для 10 г у м-екв на 100 г ґрунту (рис.).

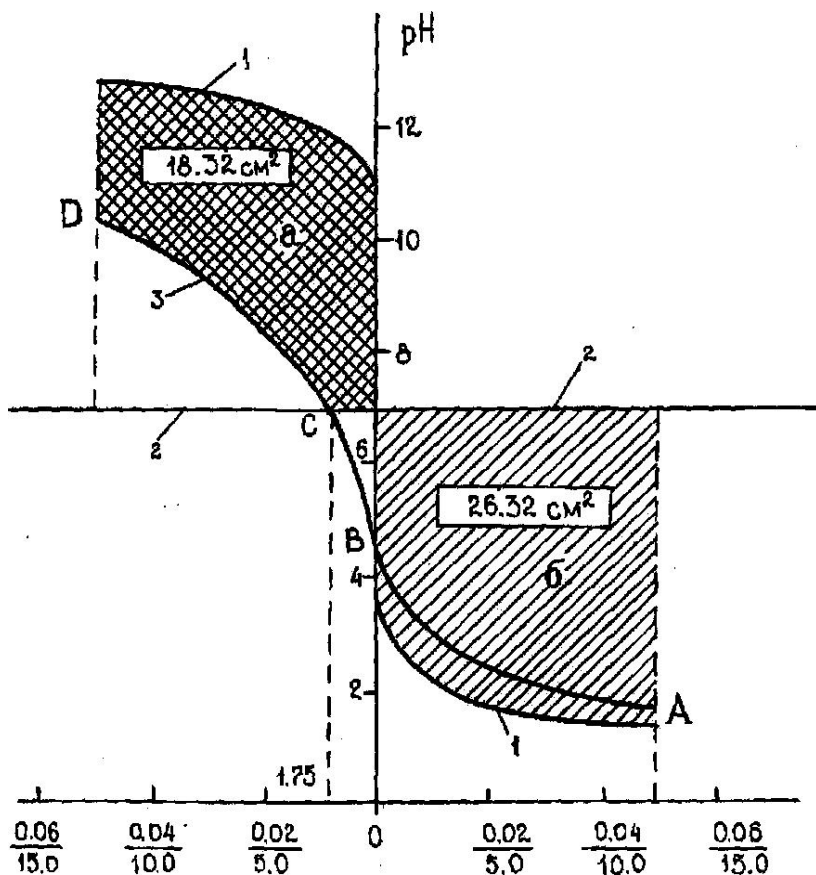


Рис. Кислотно-основна буферність дерново-підзолистого глеювато-піщаного ґрунту (шар 0–20 см)

- 1 – крива залежності pH розчину HCl і NaOH від зміни концентрацій (ΔC);
- 2 – лінія буферності умовно абсолютного буферного еталонного зразка;
- 3 – крива буферності ґрунту;
- а – область буферності у лужному інтервалі (pH = 7,0–12,7);
- б – область буферності умовного еталонного зразка у кислотному інтервалі (pH = 1,3–7,0)

За нульову базисну лінію відрахунку (еталон з нульовою буферністю) беруть криву потенціометричної залежності аналізованої кислоти і лугу від зміни концентрації (ΔC).

Значення рН розчинів NaOH і HCl різної нормальності наведені у таблиці.

Таблиця. Значення рН розчинів NaOH і HCl при різній їх концентрації

Нормальність розчину	HCl	NaOH	Нормальність розчину	HCl	NaOH
0,001	3,00	11,00	0,030	1,5	12,50
0,002	2,70	11,30	0,035	1,46	12,55
0,003	2,52	11,50	0,040	1,40	12,60
0,004	2,40	11,60	0,045	1,35	12,65
0,005	2,30	11,70	0,050	1,30	12,70
0,010	2,00	12,00	0,055	1,26	12,75
0,015	1,80	12,20	0,060	1,24	12,76
0,020	1,70	12,30	0,10	1,02	13,00
0,025	1,60	12,40	0,20	0,75	13,25

Еталоном порівняння слугують також площа буферності умовного зразка, що виявляє повну буферність у досліджуваному інтервалі концентрації кислоти і лугу і має нейтральну реакцію водної суспензії ($\text{pH} = 7$) (його лінійна буферність має вигляд прямої, паралельної осі абсцис, яка проходить на осі ординат графіка через точку, яка відповідає $\text{pH} = 7$). Масштабом буферності такого еталона є площа між кривою потенціометричних розчинів кислоти й лугу, а також лінією його буферності (пряма паралельна осі абсцис, яка проходить на осі ординат графіка через точку, що відповідає нейтральній реакції).

При максимальному введенні у суспензію 12,5 м-екв кислоти чи лугу на 100 г зразка площі буферності кислотного і лужного інтервалу еталона є рівновеликими і в прийнятому масштабі виміру становлять кожна 26,32 cm^2 та приймаються за 100%.

Криві буферності досліджуваних зразків, рН водної суспензії яких не відповідають нейтральній реакції, поділяються ординатою графіка і лінією буферності умовного еталона на три відрізки. За проекціями відрізка ВС, що перебуває за межами буферності еталонного зразка, на осі абсцис розраховують нейтралізуючу здатність, яку виражають у показниках нейтралізації. Цей параметр відповідає кількості міліграм-еквівалентів кислоти (кислотний рН) або лугу (лужний рН) в перерахунку на 100 г ґрунту, що забезпечує нейтральну реакцію. Розміщення відрізків кривої буферності досліджуваних зразків у межах кислотного або лужного інтервалу буферності еталонного зразка характеризує ступінь буферної здатності (СБЗ – відносна частина масштабу буферності умовного еталона, що відповідає площі буферності досліджуваного зразка в заданому діапазоні рН розчинів кислоти і лугу).

Можна визначити площу буферності аналізованих зразків методом чисельного інтегрування за формулою Сімпсона, перетворені варіанти якої мають такий вигляд:

$$S_k = \frac{h}{3} \sum_{j=0}^n C_i [f_2(X_i) - f_1(X_i)];$$

$$S_{\text{л}} = \frac{h}{3} \sum_{j=0}^n C_i [f_1(X_i) - f_2(X_i)],$$

де: S_k – цплова буферності в області кислотного інтервалу, см^2 ;

$S_{\text{л}}$ – це цплова буферності в області лужного інтервалу, см^2 ;

$C_i = 1,42, 4,2, \dots, 4,1$;

$n = 2V$; $V = 1, 2, 3, 4, \dots$;

$f_1(X_i)$ – рН розчину HCl (чи NaOH), що використовується для аналізу;

$f_2(X_i)$ – рН ґрунтової суспензії в області кислотного (чи лужного) інтервалу;

h – значення кроку концентрації (нормальності) розчинів кислоти (чи лугу), що використовувались для аналізу.

Розгорнутий варіант формули для розрахунку площі буферності для кислотного інтервалу має такий вигляд:

$$Sk = \frac{0,5}{3} [y_0 + y_{10} + 2(y_2 + y_4 + y_6 + y_8) + 4(y_1 + y_3 + y_5 + y_7 + y_9)]$$

Отже, за допомогою СБЗ можна порівнювати буферні властивості різних за генезисом ґрунтів у суворо фіксованих діапазонах рН обох інтервалів: 1,3–7,0 в кислотному і 7,0–12,7 – в лужному.

У природних ценозах сформувався високобуферний верхній шар ґрунту з приблизно однаковими значеннями СБЗ обох інтервалів, що зумовило близьке до одиниці значення інтегрального індексу кислотно–основної рівноваги ($K_p = \text{СБЗк} / \text{СБЗл}$). Ця величина може бути використана як додатковий критерій оцінки стійкості функціонування агроєкосистем. Причому чим ближче цей показник до одиниці при порівняно високих значеннях СБЗ, тим стійкіше функціонування даної агроєкосистеми.

Ґрунтові породи та їх мінерали характеризуються різними показниками буферності, проте на відміну від сформованих на них шарів ґрунту мають, як правило, ширший діапазон варіювання K_p . За провідної ролі біологічного фактора закономірно змінювались фізико-хімічні характеристики того чи іншого ґрунту. Наприклад, у процесі формування чорнозему типового знижувались рН водної суспензії шару породи, яка була залучена в ґрунтотворний процес (максимально знизився показник нейтралізації ($\text{ПН} \rightarrow 0$), спостерігалось вирівнювання ступенів буферної здатності у обох інтервалах ($K_p \rightarrow 0$), зростала його сумарна буферна ємкість ($\text{СБЗк} + \text{СБЗл} \rightarrow 200\%$).

Формування таких умов без антропогенного вилучення органічної речовини і зв'язаних з нею біофільних елементів сприяє прояву принципу майже повної замкненості біогеохімічних циклів у окремих екосистемах біосфери (у локальних ландшафтах).

Розглянуті параметри кислотно-основної буферності не повністю характеризують буферні властивості ґрунтів у широкому розумінні цього поняття. Зокрема, з поля зору випадає фактор інтенсивності буферності, що характеризує міцність зв'язку H^+ з твердою фазою ґрунту. Але все ж таки показник нейтралізації, ступінь буферної ємності та індекс кислотно-основної рівноваги можуть бути використані як об'єктивні критерії оцінки якісного стану ґрунту, оскільки вони несуть у собі екологічну інформацію про вплив антропогенних факторів на зміну фізико-хімічних характеристик ґрунтового покриву.

Оцінка якісного складу ґрунтів за вказаними параметрами дозволяє виявити нестійкі агроекосистеми, знайти протиріччя, що спричиняють посилення фізико-хімічної деградації ґрунтового покриву, що виключно важливо при розробленні заходів по вдосконаленню шляхів управління родючістю ґрунтів.

Результати розрахунку параметрів кислотно–основної буферності ґрунту і норм внесення вапнякових меліорантів для оптимізації реакції ґрунтового розчину (за програмою PROJECT 1)

Вхідні дані

Програма розрахунку параметрів кислотно-основної буферності ґрунту

Вхідні дані | Графік | Результати

№ п/п	Нормальність [N]	Відк. вапняк розчину HCl (NaOH) [г/100]	Відк. ґрунтового розчину F(20) [г/100 F(20)]
0	0	3,5	
1	0,005	2,30	
2	0,010	2,00	
3	0,015	1,80	
4	0,020	1,70	
5	0,025	1,60	
6	0,030	1,52	
7	0,035	1,46	
8	0,040	1,40	
9	0,045	1,35	
10	0,050	1,30	
0	0	10,5	
1	0,005	11,70	
2	0,010	12,00	
3	0,015	12,20	
4	0,020	12,30	
5	0,025	12,40	
6	0,030	12,50	
7	0,035	12,55	
8	0,040	12,60	
9	0,045	12,65	
10	0,050	12,70	

Повинна бути одна з:

Висл. вапняку з вапняку, г/100

Висл. вапняку з вапняку, %

Висл. вапняку з вапняку, %

Висл. вапняку з вапняку, %

Обчислити

Програма розрахунку параметрів кислотно-основної буферності ґрунту

Вхідні дані | Графік | Результати

№ п/п	Нормальність [N]	Відк. вапняк розчину HCl (NaOH) [г/100]	Відк. ґрунтового розчину F(20) [г/100 F(20)]
0	0	3,5	
1	0,005	2,30	
2	0,010	2,00	
3	0,015	1,80	
4	0,020	1,70	
5	0,025	1,60	
6	0,030	1,52	
7	0,035	1,46	
8	0,040	1,40	
9	0,045	1,35	
10	0,050	1,30	
0	0	10,5	
1	0,005	11,70	
2	0,010	12,00	
3	0,015	12,20	
4	0,020	12,30	
5	0,025	12,40	
6	0,030	12,50	
7	0,035	12,55	
8	0,040	12,60	
9	0,045	12,65	
10	0,050	12,70	

Повинна бути одна з:

Висл. вапняку з вапняку, г/100

Висл. вапняку з вапняку, %

Висл. вапняку з вапняку, %

Висл. вапняку з вапняку, %

Обчислити

**А.1. Нормальність розчинів HCl і NaOH, що
використовуються для визначення показників кислотно–
основної буферності ґрунту**

Продовження ДОДАТКА Д

Вхідні дані

Програма розрахунку параметрів кислотно-основної буферності ґрунту

О програми
Вхідні дані | Таблиці | Результати

10 а.б. Паралельність 20, дії кислого розчину HCl (моль/л) 10, дії щелочного розчину NaOH (моль/л) 10

В	В	В	В	В	В
0	0	1.5	5.43	1.9	
1	0.005	2.39	3.92	1.62	
2	0.010	2.00	3.43	1.4	
3	0.015	1.80	3.12	1.32	
4	0.020	1.79	2.85	1.15	
5	0.025	1.60	2.63	1.03	
6	0.030	1.52	2.43	0.88	
7	0.035	1.46	2.25	0.79	
8	0.040	1.40	2.10	0.7	
9	0.045	1.35	1.98	0.63	
10	0.050	1.30	1.84	0.54	
11	0	10.5	5.43	5.1	
12	0.005	11.36	6.51	5.19	
13	0.010	12.36	7.10	4.9	
14	0.015	12.39	7.65	4.63	
15	0.020	12.39	8.30	4	
16	0.025	12.46	8.70	3.7	
17	0.030	12.46	9.10	3.4	
18	0.035	12.55	9.35	3.2	
19	0.040	12.68	9.60	3	
20	0.045	12.85	9.81	2.84	
21	0.050	12.78	10.38	2.5	

Товщина шару ґрунту, см	0.75
Активність іонів водню ґрунту, pH	5.1
Висл. ваги вапняку, г	5.1
Висл. ваги вапняку, г	23.9
Висл. ваги вапняку, г	10.5

Обчислити

Г.2. Показники рН ґрунтової суспензії при взаємодії розчинів HCl і NaOH з ґрунтом, а також вхідні дані значень товщини вапнюваного шару ґрунту, його щільність зложення, а також дані аналізу вапнякових матеріалів

Результати

Програма розрахунку параметрів кислотно-основної буферності ґрунту

О програми
Вхідні дані | Таблиці | Результати

Площа ділянки, м ²	1.75
Площа ділянки, м ²	20.43
Площа ділянки, м ²	84.72
Площа ділянки, м ²	2.25 км ²
Висл. ваги вапняку, г	5.1
Висл. ваги вапняку, г	23.9
Висл. ваги вапняку, г	10.5

Г.3. Вихідні результати показників кислотно-основної буферності ґрунту і дози внесення вапнякових меліорантів, розраховані за встановленими параметрами буферності з урахуванням основних якісних показників меліоранта

ДОДАТОК Є

Кількість речовин для приготування 1 л титрованих розчинів різної нормальності

Вихідна хімічна речовина	Молекулярна маса	Еквівалентна маса	1 н	0,5 н	0,2 н	0,1н	0,01 н	Речовини для встановлення титру вказаних розчинів і їх еквівалентна маса для даної реакції
H_2SO_4 , $\rho=1,84$	98,08	49,04	28 мл	14 мл	5,6 мл	2,8 мл	0,28 мл	Тетраборат натрію (бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$, екв. маса 190,72, перекристалізована при температурі не вище 60°C)
HCl , $\rho=1,19$	36,46	36,46	82 мл	41 мл	16,4 мл	8,2 мл	0,82 мл	
HNO_3 $\rho=1,40$	63,02	63,02	67 мл	33,5 мл	13,4 мл	6,7 мл	0,67 мл	
KMnO_2 в кислому середовищі	158,03	31,61	—	—	—	3,16 г	0,32 г	Щавлевокислий натрій $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, екв. маса 67,01
NaOH	40,00	40,00	40,00 г	20,00 г	8,00 г	4,00 г	0,4 г	Бурштинова кислота $\text{H}_6\text{C}_4\text{O}_4$, екв. маса 59,04
KOH	56,11	56,11	56,11 г	28,06 г	11,2 г	5,60 г	0,56 г	—
$\text{Ba}(\text{OH})_2 \times 8\text{H}_2\text{O}$	315,50	157,75	157,75 г	78,88 г	31,54 г	15,77 г	1,58 г	
AgNO_3	169,89	169,89	—	—	—	17,00 г	1,70 г	Хлористий натрій NaCl , екв. маса 58,45
$\text{FeSO}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (сіль Мора)	392,16	392,16	—	—	78,40 г	39,20 г	3,92 г	Титрований розчин KMnO_4 , екв. маса 31,61
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	294,22	49,04	—	—	9,81 г	4,90 г	0,49 г	Сіль Мора, екв. маса 392,16

$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	126,07	63,04	–	–	–	6,30 г	0,63 г	Титрований розчин KMnO_4 , екв. маса 31,61
---	--------	-------	---	---	---	--------	--------	--

ДОДАТОК Ж

Кількість кислот і аміаку для приготування відсоткових розчинів (мл на 1 л відсоткового розчину)

Вихідна речовина	Густина при 15°C	Ваговий відсоток вихідної речовини	25%	20%	10%	5%	2%	1%
HCl	1,19	37,23	634,8	496,8	236,4	115,2	45,4	22,6
H ₂ SO ₄	1,84	95,6	167,7	129,9	60,6	29,3	11,5	5,6
HNO ₃	1,40	65,6	313,0	243,6	115,0	56,0	22,0	10,8
CH ₃ COOH	1,05	99,5	247,8	196,7	97,1	48,2	19,2	9,0
NH ₄ OH	0,91	25,0	1000,0	814,0	422,0	215,4	87,2	43,7

ДОДАТОК З

Префікси кратних одиниць згідно СІ

Кратні одиниці – одиниці, які на цілий ступень десятки перевищують основну одиницю вимірювання деякої фізичної величини. Міжнародна система одиниць СІ рекомендує такі префікси для позначень кратних одиниць:

Кратність	Префікс		Позначення		Приклад
	український	міжнародний	українське	міжнародне	
10 ¹	дека	deca	да	da	дал – декалітр
10 ²	гекто	hecto	г	h	га – гектар
10 ³	кіло	kilo	к	k	кг – кілограм
10 ⁶	мега	mega	М	M	МДж – мегаджоуль
10 ⁹	гіга	giga	Г	G	ГГц – гігагерц
10 ¹²	тера	tera	Т	T	ТВ – теравольт
10 ¹⁵	пета	peta	П	P	Пфлоп – петафлоп
10 ¹⁸	екса	exa	Е	E	–
10 ²¹	зета	zetta	З	Z	–
10 ²⁴	йота	yotta	Й	Y	–

ДОДАТОК І

Префікси частинних одиниць

Частинні одиниці на цілий ступень десятки менші від встановленої одиниці вимірювання деякої величини. Міжнародна система одиниць СІ рекомендує такі префікси для позначень часткових одиниць:

Частка	Префікс		Позначення		Приклад
	український	міжнародний	українське	міжнародне	
10^{-1}	деци	deci	д	d	дм – дециметр
10^{-2}	санти	centi	с	c	см – сантиметр
10^{-3}	мілі	milli	м	m	мл – мілілітр
10^{-6}	мікро	micro	мк	μ	мкм – мікромметр, мікрон
10^{-9}	нано	nano	н	n	нм – нанометр
10^{-12}	піко	pic	п	p	пФ – пікофарад
10^{-15}	фемто	femto	ф	f	фс – фемтосекунда
10^{-18}	ато	atto	а	a	–
10^{-21}	zepto	zepto	з	z	–
10^{-24}	йокто	yocto	й	y	–