

УДК 631.452:631.442

Меліорація кислих ґрунтів – сучасні погляди і шляхи розвитку**Ю.Л. Цапко*, К.О. Десятник, А.І. Огородня****ННЦ “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського”, Харків, Україна**

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 28.04.2018 Отримано після доопрацювання 05.06.2018 Затверджено до друку 06.08.2018 Доступно онлайн 01.10.2018	Статтю присвячено огляду результатів наукових досліджень авторів протягом останніх років за тематикою, пов'язаною з обґрунтуванням застосування кальцієвмісних меліорантів і фітомеліоративних заходів для поліпшення якості кислих ґрунтів. Висвітлено переваги локального способу внесення кальцієвмісних меліорантів на кислих ґрунтах. Наголошено, що для економії матеріальних і енергетичних ресурсів доцільним є використання як меліорантів місцевих сировинних ресурсів та кальцієвмісних відходів виробництва, що значно зменшує витрати на їх транспортування і закупівлю та, водночас, вирішує проблему утилізації відходів. Встановлено диференційовану дію вапняних меліорантів природного та промислового походження на продуктивну функцію ґрунту залежно від його типу та якості. Розкрито роль фітомеліорації як біологічного способу окультурювання ґрунтів, що здійснюється через використання фітопотенціалу грамотно підібраних сільськогосподарських культур і є доволі м'яким та екологічно безпечним заходом, порівняно з хімічною меліорацією.
<i>Ключові слова:</i> <i>меліорація; кислі ґрунти; кальцієвмісні меліоранти; фітомеліорація; буферна здатність ґрунтів.</i>	

*E-mail: TsapkoUL@i.ua

1. Вступ

В регіонах Полісся, Лісостепу, Передкарпаття та Закарпаття України серед земель сільськогосподарського призначення майже 5,5 млн га займають кислі ґрунти, що становить біля 13,5 % площі. Світова Організація Харчування і Сільського господарства (FAO) серед проблемних ґрунтів, в контексті сільськогосподарського виробництва, виокремлює кислі ґрунти. За визначенням FAO кислими є такі ґрунти, у яких кислотність домінує серед проблем, що мають відношення до сільськогосподарського землекористування [1]. Характерною особливістю кислих ґрунтів є зрушення кислотно-основної рівноваги в кислотний бік, що негативно відбивається на їх фізико-хімічних властивостях, біологічній активності та інтенсифікує процеси вимивання двовалентних катіонів, важких металів і радіонуклідів у підґрунтові води, що неодмінно супроводжується деградацією, втратою родючості і значним погіршенням екологічного стану прилеглих ландшафтів. Ефективний розвиток сільськогосподарського виробництва на таких ґрунтах можливий лише за умови зниження кислотності ґрунтового розчину, що здійснюють шляхом вапнування, тобто, насичення верхніх горизонтів (орного та підорного шарів) кислих ґрунтів лужноземельними елементами (Ca та Mg). Разом із цим, цей меліоративний захід є досить витратним, тому в теперішній час особливо актуальними стають нові шляхи вирішення проблеми ґрунтової кислотності, що спрямовані на збереження і відтворення родючості ґрунтів і які базуються на принципах ресурсозбереження та екологічної безпеки. Вирішення проблеми потребує застосування диференційованих меліоративних заходів, з урахуванням агроекологічних та морфогенетичних особливостей ґрунтів. Відповідно до вищенаведеного ми, в даній статті, зосереджуємо увагу на науковому обґрунтуванні застосування кальцієвмісних меліорантів, з урахуванням екологічних ризиків, а також на фітомеліоративних заходах та інших аспектах меліорації кислих ґрунтів.

2. Теоретичні аспекти походження ґрунтової кислотності

Подальший розвиток теоретичних уявлень про природу процесів, які визначають і регулюють кислотно-основну рівновагу у ґрунтовому середовищі є запорукою розробки ефективних заходів із хімічної меліорації та підвищення родючості кислих ґрунтів.

Елювіальні, підзолисті, глейові, глес-елювіальні та інші елементарні ґрунтоутворні процеси формують та визначають кислу ґрунтову реакцію, яка також значною мірою успадковується й від мінерального складу материнських порід. В умовах промивного і застійно-промивного водних режимів із ґрунту інтенсивно вимиваються лужні та лужноземельні катіони, в результаті чого нейтральна або, навіть, лужна реакція ґрунтового середовища змінюється на кислу.

Природна кислотність ґрунту формується в процесі трансформації його органічних речовин [2]. Так, при низькому вмісті в рослинному опаді лужноземельних металів та білкових сполук, більш за все в анаеробному середовищі, процес бродіння завершується утворенням різноманітних органічних кислот, які сильно підкислюють ґрунт, особливо тоді, коли в ньому відсутні нейтралізатори цих кислот. Ґрунтоутворення за елювіально-ілювіальним типом призводить до формування ґрунтів із кислою реакцією ґрунтового розчину навіть на карбонатних породах (наприклад, сірі лісові й опідзолені ґрунти на карбонатних лесах, дернові опідзолені на крейдіяно-мергельних відкладах тощо) [2]. Головним регулятором кислотно-лужної рівноваги цих ґрунтів, безумовно, є кальцій та подекуди магній, які після внесення в ґрунт, завдяки унікальній здатності споріднюватися з його колоїдним комплексом та включатися в ґрунотворні процеси, забезпечують нейтралізацію ґрунтової кислотності. Для ґрунтового середовища кислих буроземів, дерново-підзолистих і буроземно-підзолистих ґрунтів кальцій є антагоністом. Тут він обмежено включається в орґано-мінеральний колоїдний комплекс ґрунту, утворює бікарбонати і швидко вимивається з ґрунтового середовища, посилюючи, водночас, емісію діоксиду вуглецю із ґрунту в аеротоп.

Природні фактори утворення ґрунтової кислотності доповнюються антропогенними, наприклад, через явище вторинного підкислення, що пов'язане з діяльністю промисловості, теплових та атомних електростанцій, транспортних засобів, спалення надлишків супутніх продуктів під час видобутку корисних копалин тощо. Наслідком цього є емісія оксидів сірки й азоту, та перенесення їх на дуже великі відстані з утворенням так званих кислотних дощів, які безпосередньо підкислюють ґрунти. Вторинне підкислення може відбуватись і через різного роду природні катаклізми (вулканічні процеси, повені тощо). Процеси вторинного підкислення, які обумовлені кислотними опадами та незбалансованим застосуванням мінеральних добрив, зачіпають навіть нейтральні за своєю природою чорноземи типові.

Дослідження природи походження ґрунтової кислотності, дозволили нам виявити механізми її саморегуляції та детально дослідити регуляторну дію окремих чинників формування кислотно-основної рівноваги: алюмінію, гумусових кислот, кальцієвмісних сполук.

Наявність у ґрунтовому повітрі CO_2 є вагомим чинником формування ґрунтової кислотності. Так, рН чистої води, що заходиться в рівновазі з атмосферним повітрям (0,03 % CO_2), дорівнює 5,63. У разі підвищення вмісту CO_2 ступінь кислотності рівноважного розчину збільшується і при концентрації в 5-10 % величина рН знижується майже до 4 одиниць. Тобто, постійно присутній компонент – вуглекислий газ, в ідеальних умовах здатний формувати кислотність практично в усіх типах ґрунтів. Наявність інших компонентів – органічних кислот, кальцію та магнію, карбонатів, заліза, алюмінію – підвищує кислотно-основну буферність ґрунтового розчину [3].

Роль алюмінію у формуванні ґрунтової кислотності є важливим теоретичним питанням, особливо з погляду на його взаємодію з іншими складовими ґрунту. Дослідження, проведені в цьому напрямі, дозволили виявити таке: алюміній, що з'являється у рідкій фазі ґрунту внаслідок підкислення останнього [4], не є токсичним для рослин [5] та є важливим чинником функціонування такого складного кислотно-основного буферного механізму ґрунту, як комплексація-декомплексація мінеральних, органічних і орґано-мінеральних сполук [6, 7]. Алюміній виявляє буферні властивості щодо нейтралізації іонів гідрогену і є одним із складових компонентів буферних механізмів ґрунту, які регулюють кислотно-основну рівновагу кислих ґрунтів, що вельми позитивно відображується на зростанні рослин.

Алюміній разом з гумусовими кислотами відіграє важливу роль у саморегуляції кислотно-основного режиму ґрунтів, яка полягає у здатності кислот утворювати з алюмінієм стійкі алюмо-гуматні комплекси, що призводить не тільки до блокування подальшого підкислення ґрунту, але й до часткової його нейтралізації. Крім того, утворення таких орґано-мінеральних комплексів сприяє зменшенню надходження рухомого алюмінію в рослини, що захищає їх від отруєння цим елементом. Встановлено, що гумінові кислоти та фульвокислоти активно протидіють (проявляють буферні властивості) лужним та кислотним навантаженням, при цьому фульвокислоти чинять більший опір порівняно з гуміновими кислотами. Встановлені закономірності протидії гумусових кислот лужним та кислотним навантаженням пояснюються складністю і гетерогенністю їх структурного складу та будови. Зосередження у гумусових кислотах значної кількості карбоксильних угруповань з яскраво вираженими кислотними властивостями, а також гідроксильних, амідних і аміних груп з лужними властивостями, в цілому обумовлюють їх високу амфотерність, як до кислотних, так і до лужних

навантажень. У природі прикладом аналогічної амфотерності для складних органічних сполук є амінокислоти та білки. Перші, у своєму складі також мають лужну амінну групу ($-\text{NH}_2$) та кислотну - карбоксильну групу ($-\text{COOH}$) і, відповідно, здатні «буферити» як кислотні, так і лужні навантаження. Другі, завдяки наявності пептидних ($-\text{CO-NH}-$) та поліпептидних ($\dots\text{CO-NH-CO-NH-CO-NH}\dots$) зв'язків, здатні утворювати солі, як з кислотами, так і з лугами.

Крім вищенаведеного, ми звертаємо увагу й на структурну будову гумусу, який, відповідно, останніх теоретичних напрацювань [8], складається з супрамолекул гумусових речовин трубчастої клатратної будови, молекулярна маса яких становить від сотень тисяч одиниць до мільйона і навіть більше. Запропонована клатратна модель дозволяє чітко обґрунтувати його існування в ґрунтах протягом тисяч років, а також їх здатність надавати ґрунтам стабільність, своєрідну буферність, певний біохімічний фон та забарвлення. З цієї позиції є очевидним, що за високої біологічної активності чорноземних ґрунтів та значного вмісту глинистих мінералів, а відтак, і високого вмісту алюмінію, уповільнюється як підвищення кислотності, так і мінералізація гумусу. На наш погляд, алюміній та його сполуки, входячи до внутрішньої частини клатратів втрачають реакційну здатність і не здатні до підкислення ґрунтового середовища.

Вищенаведене свідчить, що оптимізація кислотно-основного режиму та його регуляція залежить від складного комплексу взаємодій та перетворень між кальцієвмісними речовинами, гумусовими кислотами та алюмінієм і, цілком зрозуміло, також і від кількості внесених мінеральних та органічних добрив, вапняних меліорантів та їх співвідношення у ґрунті.

3. Меліорація кислих ґрунтів на сучасному етапі землеробства

3.1. Вапнування

Потужним заходом прискореного окультурювання малопродуктивних ґрунтів, охорони ґрунтового покриву від деградації та поліпшення агроекологічного стану є меліорація. Поліпшення агрономічних корисних якостей і, відповідно, підвищення родючості кислих ґрунтів прямо пропорційно залежить від проведення хімічної меліорації, зокрема, вапнування, яке набуває особливої ефективності в поєднанні з внесенням органічних і мінеральних добрив. Вапнування позитивно діє на фізико-хімічні, хімічні, фізичні, буферні та біологічні властивості ґрунту, сприяє накопиченню гумусу та підвищує ефективність застосування добрив. Внесене в кислий ґрунт вапно знешкоджує (нейтралізує) ґрунтову кислотність, підвищує насиченість основами, поповнює запаси кальцію в колоїдному комплексі, поліпшує водний і повітряний режими, підвищує вміст гумусу, поліпшує буферну здатність ґрунтів, особливо антикислотну, на 20-40 % підвищує ефективність мінеральних добрив. Вапно активізує діяльність корисної мікрофлори, збільшуючи в складі ґрунтової біоти частку бактерій і зменшуючи частку грибів, що сприяє зниженню захворюваності рослин, посиленню азотофіксації ґрунтів, як бульбочковими бактеріями, так і асоціативними та вільно існуючими азотобактерами.

В даний час на теренах розповсюдження кислих ґрунтів склалась така ситуація, що цілеспрямована хімічна меліорація на постійній основі практично не проводиться, за винятком лише невеликої частки агрогосподарств (лише 1-2 % кислих ґрунтів), де вапнування, все ж таки, входить в систему агрозаходів з підвищення родючості кислих ґрунтів. У зв'язку з цим, доречно нагадати, що внесення вапна в кислий ґрунт один раз у 5-6 років забезпечує щорічні сумарні прирости урожаю, залежно від ступеня кислотності, в обсягах від 5 до 15 ц зернових одиниць з гектара, а рентабельність проведення цього заходу коливається від 50 до 120 %.

Цілком зрозуміло, що ефективність меліорації, багато в чому залежить від точно проведеної діагностики агроекологічного стану кислих ґрунтів і виявлення рівня кислотно-основної рівноваги, з метою розробки управлінських заходів щодо її стабілізації для вирощування конкретної групи сільськогосподарських культур. На жаль, до теперішнього часу, визначення нормативів внесення вапна в кислі ґрунти переважно здійснюється за даними гідролітичної кислотності, що часто призводить до перевапнування (на ґрунтах з низькою рН-буферною здатністю) або ж до недовапнування (на ґрунтах з високою рН-буферною здатністю) кислих ґрунтів. Нагадаємо, що розроблені в ННЦ "ІГА імені О.Н. Соколовського" нормативи розрахунків доз вапняних меліорантів на підставі буферної здатності ґрунтів, дозволяють значно точніше, порівняно з іншими чинними методами, розраховувати кількість вапна, необхідного для хімічної меліорації, та запобігати зайвим втратам кальцієвмісних меліорантів та енергетичних ресурсів [9]. У

цьому сенсі залишається актуальним і питання щодо розкидного внесення вапняних меліорантів у кислі ґрунти, окремо від органічних та мінеральних добрив, за традиційною технологією хімічної меліорації. Встановлено, що на ґрунтах легкого гранулометричного складу традиційна технологія внесення вапнякових добрив призводить до їх значних втрат через вимивання (від 30 до 50 %), як наслідок, марно витрачаються не тільки вапно але й паливно-мастильні матеріали. Вищенаведене обумовлює розвиток процесів мінералізації органічних речовин, нітрифікації та емісії газів в атмосферу, вимивання кальцію і продуктів мінералізації, що призводить до погіршення екологічної рівноваги як у ґрунтах, так і в навколишньому середовищі.

Значного поліпшення такого становища можна досягти шляхом широкого впровадження на кислих і вторинно підкислених ґрунтах ресурсозберезувальної технології локальної меліорації ґрунтів, яка пройшла всебічне теоретичне обґрунтування та виробничу апробацію у Волинській, Чернігівській та Харківській областях і показала високий рівень економії ресурсів та екологічної безпечності. За умов дефіциту органічних і мінеральних добрив ця технологія, порівняно з традиційною, дозволяє суттєво зекономити добрива (у 3-4 рази), хімічні меліоранти (у 6-8 разів) та енергетичні ресурси (у 2-4 рази) при рівноцінних прибавках урожаю та підвищенні якості рослинницької продукції [9].

Враховуючи той факт, що традиційне вапнування є досить витратним заходом, в сучасних умовах, одним із ефективних шляхів є використання, як меліорантів, місцевих сировинних ресурсів та кальцієвмісних відходів виробництва, що значно зменшує витрати на їх транспортування і закупівлю та, водночас, вирішує проблему утилізації відходів. Так в Україні добре розвинуто цементне виробництво, відходом якого є пил з електрофільтрів, який містить значну кількість кальцію, має лужну реакцію та високу нейтралізаційну здатність і тому є привабливою інноваційною альтернативою традиційним вапняним меліорантам, перш за все, на територіях, розташованих недалеко від цементних заводів. Встановлено диференційовану дію вапняних меліорантів природного та промислового походження на продуктивну функцію залежно від ґрунту, на якому вони застосовуються. Долomit, цементний пил та вапняк флюсовий (відхід виробництва скла) відзначаються високою ефективністю на всіх ґрунтах, що досліджувалися. На дерново-підзолистому ґрунті внесення цих вапняних меліорантів підвищило врожай зеленої маси люпину на 4,4 – 9,3 т/га відносно контролю, а також сприяло підвищенню вмісту у рослинах протеїну, порівняно з контролем, на 0,5 % та клітковини – на 0,7 %. На чорноземі опідзоленому найвищу врожайність сільськогосподарських культур протягом трьох років констатовано на варіантах досліду з внесенням вапняку флюсового, доломіту, дефекату та цементного пилу. Внесення меліорантів позитивно вплинуло на якість рослинної продукції – відмічено підвищення цукристості цукрових буряків на варіантах із внесенням доломіту, цементного пилу та червоного шламу на 2,7; 1,5 та 1,4 % відповідно, а також підвищення вмісту основних поживних елементів в рослинах ячменю та кукурудзи.

3.2. Фітомеліорація

Ще одним перспективним заходом у напрямі збереження і відтворення родючості кислих ґрунтів та поліпшення їх агроєкологічного стану слугують біологічні методи меліорації, серед яких, окреме помітне місце належить фітомеліорації, біомеліоративний вплив якої, через використання фітопотенціалу грамотно підібраних сільськогосподарських культур, є доволі м'яким та екологічно безпечним, порівняно з хімічною меліорацією.

На практиці фітомеліорація найбільш ефективна на слабокислих опідзолених ґрунтах, коли цей захід здійснюють шляхом підбору і розташування в сівозміні культур, стійких до підвищеної концентрації іонів водню [10]. Встановлено, що ефективними культурами-фітомеліорантами щодо поліпшення фізико-хімічних властивостей опідзолених ґрунтів є люцерна та еспарцет; агрофізичних – люцерна, еспарцет і гірчиця, а агрохімічних – люцерна, еспарцет, люпин і соя.

За типами кореневої системи і характером її розподілу по профілю ґрунту, ці фітомеліоранти суттєво різняться. Багаторічні бобові трави та суданська трава мають дуже розвинену кореневу систему, яка густо пронизує ґрунтовий профіль. У однорічних культур (соя, гірчиця, люпин) основна маса коренів розташовується у верхньому, найбільш біологічно активному, гумусовому горизонті. Залежно від того, яка структурна фракція переважає у ґрунті – брилувата чи пилувата, з'являється можливість корегувати напрям структуроутворення шляхом підбору сільськогосподарських культур [11]. Отже, проблему зменшення вмісту брилистих агрегатів можна вирішувати завдяки механічній дії кореневої системи таких культур, як суданська трава, гірчиця та багаторічні трави, а для

ґрунтів з переважанням пилюватої фракції більше підходять люцерна, еспарцет та гірчиця. Так, під люцерною у чорноземі опідзоленому сума агрегатів від 10 до 0,25 мм становила 86,8 % у перший рік і 89,2 % – після двох років використання культури, а протягом третього року вирощування цей показник практично не змінився. Вирощування суданської трави призводить до зменшення кількості брил через їх руйнацію та розпорошення. На нашу думку, однією з причин такого явища виступає потужна мичкувата коренева система культури, яка дуже густо пронизує верхній шар ґрунту і, до того ж, сильно висушує його, через що не дає утворюватися великим брилам. Крім того, виявлено, що завдяки підбору фітомеліорантів із добре розвиненими кореневими системами можна впливати на процеси структуроутворення в нижніх горизонтах ґрунтів. Сума агрономічно корисних агрегатів під досліджуваними фітомеліорантами у шарі ґрунту 20-60 см в 1,3-2,8 раза була вищою порівняно з контролем.

Застосування запропонованих меліоративних заходів на кислих ґрунтах сприяє вирішенню основних проблем сучасного сільськогосподарського виробництва – відтворення та підвищення родючості і поліпшення їх агроекологічного стану, з одночасною економією матеріальних і енергетичних ресурсів.

Цитована література

1. *FAO SOILS PORTAL. Acid soils* - <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/acid-soils/en/>
2. *Сучасна концепція хімічної меліорації кислих і солонцевих ґрунтів*. [за редакцією С.А. Балюка і Р.С. Трускавецького]. Харків, 2008. 100 с.
3. *Орлов Д.С.* Химия почв. М.: Изд-во Московского университета, 1985. 376 с.
4. *Зонн С.В., Травлев А.П.* Алюминий. Роль в почвообразовании и влияние на растения: Монография. Днепропетровск: Изд-во ДГУ. 1992. 224 с.
5. *Топольний Ф.П., Гелевера О.Ф.* Роль алюмінію і форм сполук заліза в живленні рослин. *Вісник аграрної науки*. 2001. № 10. С. 16-18.
6. *Цапко Ю.Л.* Вплив алюмінію на кислотно-основну рівновагу ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 10. С. 12-15.
7. *Трускавецький Р.С., Цапко Ю.Л.* Основи управління родючістю ґрунтів: монографія. За наук. ред. Р.С. Трускавецького. Х.: ФОП Бровін О.В., 2016. 388 с.
8. *Цапко Ю.Л.* Дискусійні проблеми природи гумусу. *Ґрунтознавство*. 2015. Том. 16. № 3-4. С. 84-89.
9. *Трускавецький Р.С.* Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції. Харків: Нове слово, 2003. 225 с.
10. *Цапко Ю.Л.* Альтернативні підходи до меліорації кислих ґрунтів / Ю.Л. Цапко, К.О. Десятник, А.І. Огородня, Б. Мешреф Радван. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 10. С. 12-15.
11. *Tsapko Yu., Desyatnik K.O., Ogorodnia A.I.* Ecological Reclamation of Acid Soils. *Soil Science Working for a Living. Applications of Soil Science to Present-Day Problems* – Springer International Publishing. Switzerland, 2017. P. 175-180.

UDC 631.452:631.442

Acid soils amelioration – modern opinions and ways forward

Yu.L. Tsapko*, K.A. Desyatnik, A.I. Ogorodnya

NSC “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky”, Kharkiv, Ukraine

*E-mail: TsapkoUL@i.ua

The article is devoted to reviewing the results of long-term scientific research on topics related to the justification of the use of calcium-containing meliorants and phytomelioration measures to improve the quality of acid soils. The advantages of the local way of introducing calcium-containing meliorants on acid soils are highlighted. It is emphasized that in order to save material and energy resources, it is expedient to use local raw materials and calcium-containing waste products as meliorants, which considerably reduces the costs of their transportation and procurement, and at the same time solves the problem of waste utilization. Differentiated action of lime meliorants of natural and industrial origin is established on the productive function depending on the soil on which they are applied. The role of phytomelioration as a biological method of soil improving, which is carried out through the use of phytopotentials of competently harvested crops, is rather mild and environmentally friendly compared to chemical amelioration.

Keywords: amelioration; acid soils; calcium-containing products; phytomelioration; soil buffer-capacity.