

7. Prymak, I.D. et al. (2007). *Resursozberihaiuchi tekhnologii mekhanichnoho obrobitku hruntu v suchasnomu zemlerobstvi Ukrainy [Resource-saving technologies of mechanical tillage in modern agriculture of Ukraine]*. Kyiv [in Ukrainian].
8. Krovetto, Karlos K. (2007). *NO-TILL. Vzaimosvi-az mezhdru No-Till, rastitelnyimi ostatkami, pitaniem rastenii i pochvy [NO-TILL. The relationship between No-Till, plant residues, plant nutrition, and soil]*. Dnepropetrovsk [in Russian].
9. Kosolap, M.P. & Krotinov, O.P. (2011). *Systema zemlerobstva No-till [No-till farming system]*. Kyiv: Logos [in Ukrainian].
10. Hamaiunova, V.V. & Isakova, H.M. (2005). *Zas-tosuvannia dobryv v umovakh obmezhenoho re-sursnoho zabezpechennia ta yikh rol v vidtvorenni rodiuchosti zroshuvanykh hruntiv [Fertilizer application under conditions of scarce resource provision and its role in reproducing the fertility of irrigated soils]. Ekolohiia: problemy adaptivno landshaftnoho zemlerobstva [Ecology: problems of adaptive landscape farming]* (pp. 25–30). Zhytomyr: Derzhavnyi ahroekolohichnyi universytet [in Ukrainian].
11. Poliovyi, V.M. (2007). *Optimizatsiya system udob-rennia v suchasnomu zemlerobstvi [Fertilizer systems optimization in modern agriculture]*. Rivne: Volynski oberehy [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 13.05.2020

УДК 631.816:631.821.1

DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207682>

КИСЛОТНІ ВЛАСТИВОСТІ СІРИХ ЛІСОВИХ ҐРУНТІВ ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

М.А. Ткаченко¹, А.І. Павліченко¹, І.М. Кондратюк¹, О.В. Дмитренко²

¹ ННЦ «Інститут землеробства НААН» (смт Чабани, Київська обл., Україна);

e-mail: i.z.naan.tkachenko@gmail.com; ORCID: 0000-0001-9145-7003

e-mail: alladvd@ukr.net; ORCID: 0000-0001-6930-2312

e-mail: irina_kondratjuk@ukr.net

² Державна установа «Інститут охорони ґрунтів» (м. Київ, Україна)

e-mail: ecolab23071964@ukr.net; ORCID: 0000-0002-6945-7637

Викладено результати досліджень у системі полігонного моніторингу в довготривалому польовому досліді лабораторії агроґрунтознавства та ґрунтової мікробіології ННЦ «Інститут землеробства НААН», що був закладений у 1992 р. на території дослідного господарства ДП ДГ «Чабани», розташованого у Києво-Святошинському р-ні Київської обл. Простежено зміни різних форм кислотності (актуальної — рН водний, обмінної — рН сольовий, гідролітичної — Нг та обмінного Al^{3+}) сірих лісових ґрунтів за різних систем удобрення та хімічних меліорантів. Аналіз умісту актуальної, обмінної та гідролітичної кислотностей, а також рухомих форм алюмінію в ґрунтах лісового походження свідчить, що вказані величини є динамічними і поряд з ґрунтово-кліматичними умовами значною мірою визначаються локальними агрогенними чинниками — застосуванням різних систем удобрення польових культур у сівозміні та вапнуванням. Встановлено, що під дією природних чинників та на фоні мінеральних добрив обмінна кислотність ґрунту підвищувалась від 0,13 до 0,15, гідролітична кислотність — від 3,29 до 3,65 мг-екв/100 г ґрунту відповідно. Найвищі показники рухомого алюмінію у гумусово-елювіальному горизонті зафіксовано в цінному ґрунті та у варіанті із застосуванням мінеральної системи, де частка алюмінію становить 71,4%. Доведено, що органічна система із застосуванням сидератів і побічної рослинної продукції покращує буферні властивості ґрунту.

Ключові слова: рН водний, рН сольовий, уміст рухомого алюмінію, обмінна кислотність, гідролітична кислотність, система удобрення, вапнування.

ВСТУП

Одні з найпоширеніших ґрунтів в Україні — це ґрунти лісового походження. Існує

кілька версій їх походження, зокрема, що вони утворилися внаслідок погіршення властивостей чорнозему. За іншою теорією ці ґрунти є самостійним типом, що сформувався на території широколистяних

© М.А. Ткаченко, А.І. Павліченко, І.М. Кондратюк, О.В. Дмитренко, 2020

лісів. Крім того, вчені припускають, що вони є поліпшеним типом дерново-глейових і підзолистих ґрунтів [1]. Їхня частка в ґрунтовому покриві країни перевищує 33% і, зокрема, серед сільськогосподарських угідь — 25% [1]. Ці ґрунти є землеробським фондом, раціонально використовувати який неможливо без детального вивчення їх педогенезу, фізико-хімічних властивостей у загальному аспекті. Через різке зменшення в державі обсягів вапнування площі кислих ґрунтів постійно зростають. Внаслідок відсутності цього меліоративного заходу на кислих ґрунтах України не добирається 0,6–1,8 млн т зернових одиниць продукції рослинництва. Тому актуальним є вивчення спрямованості змін кислотних властивостей ґрунтів під впливом перелічених чинників [2].

Кислотність є основою ґрунтової хімії, що передусім впливає на активність у ґрунті елементів живлення та їхнє засвоєння рослинами. Також рН впливає на всю ґрунтову біоту (мікроорганізми, водорості, гриби). Кислотність ґрунтів — це властивість, обумовлена наявністю в ґрунтовому розчині обмінного водню та обмінного алюмінію.

Розрізняють два види кислотності ґрунту: актуальну та потенційну. Актуальна кислотність визначається наявністю в ґрунтовому розчині вільних іонів у формі H^+ і OH^- . Потенційна — обумовлює сумарний уміст кислот і кислотних агентів у ґрунті. Розрізняють дві форми потенційної кислотності (залежно від характеру витіснення): обмінну і гідролітичну.

Обмінна кислотність залежить від наявності у ґрунті поглинальному комплексі обмінного водню або обмінного алюмінію, виявляється за взаємодії твердої фази ґрунту з нейтральними солями. Поява у розчині обмінних алюмінію і водню спричиняє кислу реакцію ґрунту. Гідролітична кислотність демонструє максимально можливий уміст у ньому водню й алюмінію в обмінному стані. Гідролітична кислотність зазвичай є вищою за обмінну і трапляється частіше, оскільки є властивою більшій кількості ґрунтів. Її визначення є важливим

для виконання низки практичних завдань під час розрахунку доз внесення вапна, використання сполук фосфору тощо [3; 4].

Мета досліджень — оцінити зміни кислотних властивостей сірого лісового ґрунту залежно від різних систем удобрення в сівозміні та довготривалій післядії хімічної меліорації на основі порівняння результатів польового дослід з обов'язковою ув'язкою їх із умістом у ґрунті різних форм кислотності до початку експерименту.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Відомий вчений минулого століття Д.М. Прянишников стверджував, що супутником іонів водню в кислих ґрунтах є рухомий алюміній, уміст якого тим вищий, чим кисліший ґрунт [5]. Наразі доволі детально вивчено негативну дію рухомого алюмінію на ріст і розвиток сільськогосподарських культур та, загалом, на їх продуктивність [6–8]. Насамперед, це проявляється в пригніченні розвитку кореневої системи культурних рослин, порушенні обміну речовин, унаслідок чого різко зменшується кількість білків і послаблюється процес утворення генеративних органів. Незважаючи на низку ґрунтових досліджень із вказаної проблематики, і досі залишаються актуальними і невирішеними питання розробки агрозаходів, зниження концентрації рухомих форм алюмінію у ґрунтах. Слід зауважити, що особливо потребують вирішення питання природи алюмінієвої токсичності, а також з'ясування шляхів, що зумовлюють збільшення алюмінію у ґрунтах [9; 10].

Провідні вчені стверджують [8; 10–13], що основним заходом з докорінного поліпшення кислих ґрунтів, зниження в них шкідливого алюмінію і, загалом, загального рівня кислотності, запобігання руйнуванню в них найціннішої її частини, а саме поглинального комплексу як мінерального, так і органічного, який є матеріальним носієм катіонно-обмінної здатності ґрунтів, є вапнування.

Високу ефективність вапнування на продуктивність сільськогосподарських куль-

тур і екологічну стійкість агроценозів визнано низкою вчених, які підкреслювали першочерговість цього заходу в докорінному поліпшенні ґрунту [1; 14–16]. Нині спостерігається інтенсивне збіднення ґрунтів на основні елементи і підвищення кислотності ґрунтового середовища, що зумовлює негативні як агрономічні, так і екологічні наслідки. Численні результати досліджень свідчать, що вапнування в поєднанні із застосуванням органо-мінеральної системи удобрення сприяє поліпшенню структури та накопиченню легкозасвоюваних форм поживних речовин у ґрунті. Завдяки вапнуванню істотно змінюється весь комплекс фізико-хімічних показників кислих ґрунтів: знижується потенційна і гідролітична кислотність, зростають ємність поглинання катіонів, сума увібраних основ та насиченість ними. Необхідно встановити взаємозв'язок між цими чинниками для кращого розуміння ґрунтоформувальних процесів у часі під дією різних доз меліоранту та для використання нових знань під час підготовки практичних рекомендацій з вапнування кислих ґрунтів.

В агрохімічній науці накопичено значний експериментальний досвід щодо впливу добрив і хімічної меліорації на кислотність ґрунту, обґрунтовано теорію та практику їх застосування. Але часто ці результати слугують тільки абсолютним контролем для порівняння в дослідках без прив'язування до показників вихідного стану, що не дає змоги об'єктивно оцінити дію цих агрозаходів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Спостереження за зміною кислотно-основних властивостей сірого лісового ґрунту здійснювали в системі полігонного моніторингу в довготривалому польовому досліді лабораторії агроґрунтознавства та ґрунтової мікробіології ННЦ «Інститут землеробства НААН», закладеному в 1992 р. на території дослідного господарства ДП ДГ «Чабани» (Києво-Святошинський р-н Київської обл.), традиційною для зони системою обробітку ґрунту та інтенсивним

захистом рослин від шкідників та бур'янів.

Рельєф — слабохвиляста рівнина з невеликим ухилом поверхні у бік р. Дніпра. Глибина залягання першого водоносного горизонту від поверхні ґрунту — 3,5–6 м. Клімат — помірно континентальний. Середня річна температура повітря становить 7,7°C. Кількість опадів у середньому за рік — 350–650 мм.

Вивчали вплив меліорантів, органічних (сидерати, рослинна побічна продукція) і мінеральних добрив на властивості сірого лісового ґрунту, продуктивність культур сівозміни. Схему дослідів наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Схема стаціонарного дослідів

1	Без добрив (контроль)
2	CaCO ₃ (1,0 Hг)
3	NPK
4	NPK + CaCO ₃ (1,0 Hг)
5	2NPK + CaCO ₃ (1,0 Hг)
6	NPK за ВГС
7	NPK за ВГС + CaCO ₃ (1,0 Hг)
8	Сидерат + CaCO ₃ (1,0 Hг)
9	Сидерат + побічна продукція + NPK за ВГС
10	Сидерат + побічна продукція + NPK + CaCO ₃ (1,0 Hг)
11	Сидерат + побічна продукція + 1,5NPK + CaCO ₃ (1,0 Hг)

Примітка: * ВГС — видове генотипне співвідношення.

У схему дослідів введено варіанти зі встановленням оптимального рівня удобрення сільськогосподарських культур за їх видовим генотипним співвідношенням (ВГС), біогенними та лужноземельними елементами (NPK, кальцій, магній) з одночасною бактеризацією насіння (Фосфобактерин).

Для об'єктивнішої оцінки впливу вказаних чинників на кислотні властивості ґрунту отримані результати варіантів дослідів порівнювали не лише з абсолютним контролем, а й із їх початковим станом.

Для цього на перелоговій ділянці (вік перелогу 28 років), розташованій поряд з дослідним полем, було викопано повнопрофільний ґрунтовий розріз, у якому згідно з ДСТУ за горизонтами відбирали зразки ґрунту. Ретельно перемішані зразки аналізували одночасно із зразками ґрунту стаціонарного дослідю.

Ботанічні дослідження на цій ділянці впродовж довготривалого періоду засвідчують, що відбулася суцесійна зміна рослинних угруповань. Відразу після виведення із сільськогосподарського обробітку на цій ділянці почали інтенсивно розвиватися бур'яни – у колишні орні землі надходить значна кількість рослинного матеріалу внаслідок розвиненішої кореневої системі та більшому обсягу фітомаси, ніж у культурних рослин. За такої динаміки змін рослинного ценозу і тривалих сучасних процесів формування органопрофілю ґрунту перелогу за своїми властивостями максимально наближаються до категорії «цілинний ґрунт».

Агрохімічний відбір та аналіз ґрунтів здійснювали згідно з загальноприйнятими стандартними методиками (ГОСТ, ДСТУ). Аналітичні дослідження проводили в лабораторії екологічної безпеки земель, якості продукції та довкілля ДУ «Держґрунтохорона» [17].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналізуючи актуальну кислотність сірого лісового ґрунту (табл. 2), слід наголосити, що до закладення дослідю рівень цього показника був надмірним. Так, показник $pH_{\text{водний}}$ у гумусово-елювіальному горизонті становить 5,0. Близькими до вихідного стану були показники контролю у варіанті дослідю із застосуванням тільки мінеральної системи удобрення культур на невапнуваному фоні – $pH_{\text{водний}}$ 5,2 та 5,0 од. відповідно. Вапнування ґрунту за вирощування культур без добрив сприяло зниженню цього показника – до 5,7 од. Унаслідок застосування подвійних норм НРК, навіть за внесення повної дози меліо-

Таблиця 2. Показники змін кислотності сірих лісових ґрунтів за різних систем удобрення та післядії хімічної меліорації

Варіанти досліджень	$pH_{\text{водний}}$	$pH_{\text{сольовий}}$	Вміст рухомого алюмінію, мг-екв/100 г ґрунту	Обмінна кислотність, мг-екв/100 г ґрунту	Al^{3+} у складі $H_{\text{обмін.}}\%$	Гідролітична кислотність (H_f), мг-екв/100 г ґрунту	$(H_f/H_{\text{обмін.}})$
Без добрив (контроль)	5,2	4,6	0,09	0,13	69,2	3,29	25,3
CaCO ₃ (1,0 Нг)	5,7	4,8	0,06	0,09	66,6	2,89	32,1
НРК	5,0	4,4	0,10	0,14	71,4	3,46	24,7
НРК + CaCO ₃ (1,0 Нг)	5,3	4,6	0,07	0,11	63,6	3,04	27,6
2НРК + CaCO ₃ (1,0 Нг)	5,0	4,4	0,08	0,12	66,6	3,48	29,0
НРК за ВГС	5,5	4,5	0,06	0,10	60,0	3,14	31,4
НРК за ВГС + CaCO ₃ (1,0 Нг)	5,7	5,3	0,05	0,08	62,5	2,57	32,1
Сидерат + CaCO ₃ (1,0 Нг)	5,8	5,6	0,04	0,07	57,1	2,13	30,4
Сидерат + ПП + НРК за ВГС	5,6	5,5	0,05	0,09	55,5	2,64	29,3
Сидерат + ПП (побічна продукція) + НРК + CaCO ₃ (1,0 Нг)	5,6	5,5	0,04	0,08	50,0	2,50	31,2
Сидерат + ПП + 1,5 НРК + CaCO ₃ (1,0 Нг)	5,4	5,4	0,06	0,09	66,6	25,7	28,5
Вихідний зразок	5,0	4,4	0,10	0,15	71,4	3,65	26,0

ранту, $pH_{\text{водний}}$ був на вихідному рівні. У цьому разі спостерігалася його нестача для нейтралізації кислотності.

Слід зауважити, що спостерігається доволі різке падіння значення pH водного у зразках ґрунту, відібраних у варіантах із застосуванням сидерату як органічного добрива та побічної продукції рослинництва ($pH_{\text{водний}}$ становить 5,6–5,8 од.).

Отже, завдяки внесенню органічних добрив можна значно покращити буферні властивості ґрунтів. Результати аналізу обмінної кислотності, обумовленої іонами водню і алюмінію в поглиненому стані і здатної витіснятися у розчин за дії на ґрунти нейтральної солі, засвідчили, що $pH_{\text{сольове}}$ становило 4,4 од. За такого рівня $pH_{\text{сольового}}$ ґрунти відносять до сильнокислих.

Найвищий показник обмінної кислотності у початковому ґрунті становить 0,10 мг-екв/100 г ґрунту. У контрольному варіанті pH сольове становить 4,6 од., а обмінна кислотність — 0,09 мг-екв/100 г ґрунту, що характеризує ґрунти як кисл. Вапнування ґрунту за повної дози меліоранту без добрив сприяло зниженню обмінної кислотності у верхньому горизонті ($pH_{\text{сольове}}$ — 4,8 од., а обмінна кислотність — 0,06 мг-екв/100 г ґрунту). У варіанті із застосуванням тільки мінеральних туків обмінна кислотність піднімається до вихідного рівня ($H_{\text{обм.}}$ — 0,10 мг-екв/100 г ґрунту за $pH_{\text{сольове}}$ — 4,4 од.). За внесення НРК на фоні повної дози меліоранту відзначено тенденцію до зниження обмінної кислотності (0,07 мг-екв/100 г ґрунту за $pH_{\text{сольове}}$ — 4,6 од.). За подвійних доз НРК на меліорованому фоні спостерігається підвищення кислотності ґрунту.

Наведені в таблиці дані переконливо засвідчують важливу роль органічних добрив у підсиленні буферності сірих лісових ґрунтів та зниженні підкислюваного впливу мінеральних туків як до показників контрольного варіанта, так і до вихідного рівня. Також слід зауважити, що внесення лише сидератів і побічної продукції рослинництва сповільнює процес підкислення ґрунту. Доволі різке падіння значення

$pH_{\text{сольового}}$ (5,5 од.) і вмісту обмінної кислотності (0,08 мг-екв/100 г ґрунту) спостерігається за сумісного застосування сидератів, побічної рослинної продукції на тлі вапнування за внесення повної дози меліоранту.

За результатами аналізу вмісту рухомого алюмінію у гумусово-елювіальному горизонті встановлено, що найвищі показники цього елемента зафіксовано в цілинному ґрунті та у варіанті із застосуванням мінеральної системи удобрення (0,10 мг-екв/100 г ґрунту за $pH_{\text{сольового}}$ — 4,4 од.), тобто у загальній величині обмінної кислотності частка алюмінію становить 71,4%. За сильнокислої реакції ґрунтового розчину в обмінно-увібраному комплексі поряд з воднем зафіксовано значний уміст рухомого алюмінію.

Рівень вмісту алюмінію різко знижується за внесення НРК за ВГС (у 1,7 раза порівняно з початковими показниками і 1,5 раза — з контролем), а у складі обмінної кислотності він становить — 60%. Внесення повної дози вапна сприяло зниженню вмісту алюмінію до 0,06 мг-екв/100 г ґрунту, що становить 66,6% у складі обмінної кислотності. Застосування повної дози вапна на фоні сидератів та побічної рослинної продукції призводить до ще більшої нейтралізації вмісту цього елемента (від 0,06 до 0,04 мг-екв/100 г ґрунту) і зниження частки у складі обмінної кислотності до 50,0–57,1%.

Отже, цій формі кислотності властиво такі самі закономірності, що і попереднім, але за більших абсолютних значень вони виступають значно рельєфніше. Про значну потенційну кислотність свідчить її високий показник у гумусово-елювіальному горизонті початкового зразка (3,65 мг-екв/100 г) за співвідношення $H_{\text{г}}/H_{\text{обм.}}$ на рівні — 26,0.

У варіанті досліду без добрив величина гідролітичної кислотності становила 3,29 мг-екв/100 г ґрунту. Застосування вапна за повної дози сприяло зниженню рівня цього показника до 2,89 мг-екв/100 г ґрунту, а співвідношення $H_{\text{г}}/H_{\text{обм.}}$ підвищилось до 32,1. Зміни кислотних

властивостей досліджуваного ґрунту за застосування у сівозміні тільки мінеральних туків є поступовим процесом їх переходу за цим показником майже до рівня цілинних сильнокислих ґрунтів ($H_r - 3,46$ мг-екв/100 г ґрунту).

Ознаки підкислення залишаються істотними за збільшення до подвійних доз туків, навіть у разі вапнування з повною дозою меліоранту ($H_r - 3,48$ мг-екв/100 г ґрунту). Істотні показники нейтралізації гідролітичної кислотності спостерігаються за застосування сидератів на тлі вапнування ($H_r - 2,13$ мг-екв/100 г ґрунту). Значні знижки у бік зменшення кислотності проявляються за сумісного застосування сидератів і побічної продукції на вапнованих фонах, навіть за внесення мінеральних туків (H_r варіює у межах 2,50–2,64 мг-екв/100 г ґрунту). Оксид кальцію (СаО), що міститься в сидератах та побічній продукції, не має істотного впливу на реакцію ґрунтового розчину, але позитивна роль їх за сумісного внесення простежується доволі чітко.

ВИСНОВКИ

Аналіз умісту актуальної, обмінної та гідролітичної кислотності, а також рухомих форм алюмінію в ґрунтах лісового по-

ходження свідчить, що ці величини є динамічними і поряд з ґрунтово-кліматичними умовами значною мірою визначаються локальними агрогенними чинниками, а саме — застосуванням різних систем удобрення польових культур у сівозміні та вапнуванням.

Встановлено, що під дією природних чинників та внаслідок внесення мінеральних добрив обмінна кислотність ґрунту підвищувалась від 0,13 до 0,15 мг-екв/100 г, гідролітична кислотність — від 3,29 до 3,65 мг-екв/100 г ґрунту. Найвищі показники рухомого алюмінію у гумусово-елювіальному горизонті зафіксовано у цілинному ґрунті та у варіанті із застосуванням мінеральної системи, де частка алюмінію становить 71,4%.

Гідролітична кислотність, що є одним із основних показників кислотно-основного стану ґрунту, зазнала істотних змін за застосування мінеральної системи удобрення за подвійних доз туків.

Дослідження динаміки змін усіх форм кислотності за різних систем удобрення культур свідчить про незамінну роль вапнування у регулюванні кислотно-основних показників і відтворення родючості ґрунту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисиль В.І., Величко В.А. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України. Київ: Колообіг, 2005. 303 с.
2. Дегодюк Е.Г., Літвінова О.А., Ярмоленко Є.В., Дмитренко О.В. Вплив органічних добрив на родючість сірого лісового ґрунту. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 2. С. 31–36.
3. Хитрук О.Г., Задорожна С.В., Матвєєва В.О., Боярко Ю.В. Динаміка кислотності ґрунтів у зоні Степу. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 4. С. 32–36.
4. Цапко Ю.Л., Чешко Н.Ф., Габріель Г.Й. Зміна фосфатної і калійної функцій кислого ґрунту залежно від удобрення та вапнування. *Агроекологічний журнал*. 2011. № 2. С. 67–71.
5. Прянишников Д.Н. Избранные труды. Москва: Наука, 1976. 591 с.
6. Nduwumuremyi A., Habimana S., Twizerimana A., Mupenzi J. Soil acidity analysis and estimation of lime requirement for rectifying soil acidity. *International Invention Journal of Agricultural and Soil Science*. 2014. Vol. 2(2). P. 22–26.
7. David W., Adrian C., Carl W. Soil pH. Colorado, USA, 2011.
8. Мазур Г.А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів. Київ: Аграрна наука, 2008. 305 с.
9. Defra. The fertiliser manual. TSO, London. 2010.
10. Rahman M.A. et al. Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: current status and opportunities. *Int. J. Mol. Sci.* 2018. Vol. 19(10). P. 30–43.
11. Goulding K.W.T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use Manag.* 2016. Vol. 32(3). P. 390–399.
12. Li Y., Cui S., Chang S.X., Zhang Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*. 2019. Vol. 19(3). P. 1393–1406.
13. Мазур Г.А., Ткаченко М.А., Кондратюк І.М., Лещенко Ю.В. Вапнування як основа підвищення родючості сірих лісових ґрунтів. *Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН*. 2005. Спец. Вип. С. 144–151.

14. Броннікова Л.Ф. Зміна кислотності темно-сірих лісових ґрунтів за різних технологічних чинників їх використання. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. № 4. С. 25–33.
15. Польовий В.М., Лаврук М.М., Кулик С.М. Диференціація фізико-хімічних показників і продуктивності дерново-підзолистого ґрунту внаслідок тривалого застосування різних систем удобрення і доз

- вапна. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 5. С. 12–17.
16. Ткаченко М.А., Кондратюк І.М. Ефективність вапнування на кислих ґрунтах Полісся та Лісостепу. Київ: ВП «Едельвейс», 2018. 174 с.
17. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. І.П. Яцук, С.А. Балюка. Київ, 2019. 108 с.

REFERENCES

1. Polupan, M.I., Solovey, V.B., Kisil, V.I., & Velichko, V.A. (2005). *Vyznachnyk ekolooho-henetychnoho statusu ta rodiuchosti gruntiv Ukrainy [Determinant of ecological and genetic status and soil fertility of Ukraine]*. Kyiv: Koloobih [in Ukrainian].
2. Dehodiuk E.H., Litvinova O.A., Yarmolenko Ye.V., & Dmytrenko O.V. (2019). Vplyv orhanichnykh dobryv na rodiuchist siroho lisovoho gruntu [Influence of organic fertilizers on the fertility of gray forest soil]. *Ahroekologichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 2, 31–36 [in Ukrainian].
3. Khytruk O.H., Zadorozhna S.V., Matvieieva V.O., & Boiarko Yu.V. (2019). Dynamika kyslotnosti gruntiv u zoni Stepu [Dynamics of soil acidity in the steppe zone]. *Ahroekologichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 4, 32–36 [in Ukrainian].
4. Tsapko, Yu.L., Cheshko, N.F., & Habriel, H.Y. (2011). Zmina fosfatu I kaliinoi funksii kysloho grntu za lezhnovidudobrennia ta vapnuvannia [Change of phosphate and potassium functions of acidic soil depending on fertilizer and liming]. *Ahroekologichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 2, 67–71 [in Ukrainian].
5. Pryanishnikov, D.N. (1976). *Izbrannyye trudy [Selected works]*. Moskva: Nauka [in Ukrainian].
6. Nduwumuremyi, A., Habimana, S., Twizerimana, A., & Mupenzi, J. (2014). Soil acidity analysis and estimation of lime requirement for rectifying soil acidity. *International Invention Journal of Agricultural and Soil Science*, 2 (2), 22–26 [in English].
7. David, W., Adrian, C., & Carl, W. (2011). *Soil pH*. Colorado, USA [in English].
8. Mazur, G.A. (2008). *Reproduction and regulation of light soil fertility [Vidtoorennia i rehulivannia rodiuchosti lehkykh gruntiv]*. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
9. Defra. (2010). *The Fertiliser Manual*. TSO, London [in English].
10. Rahman, M.A. et al. (2018). Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: current status and opportunities. *Int J Mol Sci*, 19 (10), 30–43 [in English].
11. Goulding, K.W.T. (2016). Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. *Soil Use Manag*, 32 (3), 390–399 [in English].
12. Li, Y., Cui, S., Chang, S.X., & Zhang, Q. (2019). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19 (3), 1393–1406 [in English].
13. Mazur, G.A., Tkacheko, M.A., Kondratyuk, I.M., & Leshchenko, Yu.V. (2005). Vapnuvannia yak osnova pidvyshchennia rodiuchosti sirykh lisovykh gruntiv [Liming as a basis for increasing the fertility of gray forest soils]. *Zbirnyk naukovykh prats Instytut zemlerobstva UAAN – Collection of scientific works of Institute of Agriculture UAAS, Spec. Issue*, 144–151 [in Ukrainian].
14. Bronnikova, L.F. (2016). Zmina kyslotnosti temno sirykh lisovykh gruntiv za riznykh tekhnolohichnykh chynnykiv yikh vykorystannia [Change of acidity of dark gray forest soils under various technological factors of their use]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisnytstvo – Agriculture and forestry*, 4, 25–33 [in Ukrainian].
15. Polovyi, V.M., Lavruk, M.M., & Kulyk, S.M. (2018). Dyferentsiatsia fizyko-khimichnykh pokaznykiv i produktyvnosti dernovo-pidzolistoho gruntu vnasli-dok tryvaloho zastosuvannia riznykh system udobrennia i doz vapna [Differentiation of physicochemical parameters and productivity of sod-podzolic soil due to long-term use of different fertilizer systems and lime doses]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of agrarian science*, 5, 12–17 [in Ukrainian].
16. Tkachenko, M.A., & Kondratiuk, I.M. (2018). *Efektivnist vapnuvannia na kyslykh gruntakh Polissia ta Lisostepu [Efficiency of liming on acid soils of Polissya and Forest-steppe]*. Kyiv: VP «Edelweis» [in Ukrainian].
17. Yatsuk, I.P., & Baliuk, S.A. (Eds). (2019). *Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia: kerivnyi normatyvnyi dokument [Methods of agrochemical certification of agricultural lands: a guiding normative document]*. Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 18.05.2020