

УДК 631.417.4

З. Г. ГАМКАЛО, доктор біологічних наук

Л. З. ГРИЦІВ, Л. Р. КУРИЛКО, студенти

Львівський національний університет імені Івана Франка

бул. Дорошенка, 41, м. Львів, 79000, e-mail: [zenon.hamkalo@gmail.com](mailto:zenon.hamkalo@gmail.com)

Т. Ю. БЕДЕРНІЧЕК, кандидат сільськогосподарських наук

Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАНУ

бул. Тимірязєвська, 1, м. Київ, 01014, e-mail: [bedernichek@gmail.com](mailto:bedernichek@gmail.com)

Т. В. ПАРТИКА, молодший науковий співробітник

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

бул. Грушевського, 5, с. Оброшине Пустомитівського р-ну Львівської обл.,

81115, e-mail: [tetyana.partyka@gmail.com](mailto:tetyana.partyka@gmail.com)

## ЕКОЛОГІЧНА ЯКІСТЬ ГРУНТУ АГРОЕКОСИСТЕМ: ТЕОРЕТИЧНІ, МЕТОДОЛОГІЧНІ І МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ

Системна діагностика фонду Нітрогену у ґрунті на основі багатоступеневого лужного гідролізу – новий високоінформативний методичний підхід в оцінці органічної речовини ґрунту. Вміст Нітрогену, який визначається гідролізом органічної речовини ґрунту розчином 8 M NaOH протягом 144 год, є об'єктивним критерієм діагностики розміру активного пулу органічної частини ґрунту. Зміни його рівня протягом вегетаційного періоду характеризують співвідношення процесів N-мобілізації та N-іммобілізації: збільшення кількості  $N_{\text{оп}}^{\text{р}}$  вказує на посилення процесів іммобілізації (ресинтезу органічних речовин у ґрунті), а зменшення – мобілізації. Для оцінки критичного стану ОВ-процесів у ґрунті, в разі перевантаження його органічною речовиною добрев, запропоновано концепцію “фронту окиснення”, згідно з якою, послаблення окисних процесів нижче від певної критичної межі ( $Eh=350$  мВ) може загрожувати екологічності ґрунту і зумовлювати втрату його якостей. Зіставлення змін електропровідності ґрунтових суспензій за різних умов удобрення і меліорації дозволило встановити специфіку впливу агрехемогенних засобів як за інтенсивністю, так і рівнем дестабілізації електротрогоенної ситуації у ґрунті.

**Ключові слова:** якість ґрунту, активний пул органічної речовини, фронт окиснення, питома електропровідність.

За останні 20 років проблемі якості ґрунту як “стабілізуючому чиннику функціонування природних і штучних екосистем, засобу

© Гамкало З. Г., Гриців Л. З., Курилко Л. Р.,

Бедернічек Т. Ю., Партика Т. В., 2015

Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2015. Вип. 58 (I)

збереження і покращення якості повітря і вод, забезпечення комфортичних умов для рослин, тварин і людей та гарантії їхнього здоров'я” приділяють особливу увагу [10]. Спочатку, в 1997 р., Спілка ґрунтознавців Америки, а в 1998 р. – Міжнародна спілка ґрунтознавців прийняла новітню (екологічну, *авт.*) концепцію якості ґрунту, яка базується на його здатності до реалізації комплексу екологічних функцій. Ще раніше, в 1993 р., у США створено Інститут якості ґрунту, який власне є лідером у розробці основ теорії, методології і практики якості ґрунту. Особливо активізувалися дослідження якості ґрунтів в Австралії, Канаді, країнах Західної Європи, Азії, Африки. Таке жваве суспільне і наукове зацікавлення проблемою якості ґрунтів, зокрема гемеробних (окультурених) екосистем, є небезпідставним. Сучасний середньорічний темп втрати родючих ґрунтів (ріллі) досягнув катастрофічної межі – 10 млн га, що перевершує історичний тренд у 50 разів [5].

В Україні ж продовжує залишатися панівним застаріле поняття “агрономічної” якості ґрунту як його здатності забезпечувати родючість. За цих умов особливо актуальним є ознайомлення дослідників і спеціалістів із розробками нових теоретичних, методологічних і методичних підходів до екологічної якості ґрунту з урахуванням специфіки локальних гемеробних екосистем та їхнього менеджменту.

Для такої педодіагностики ми розробили принципово нові індикатори, які ґрунтуються на критеріях активного (лабільного) пулу (фази) органічної речовини в ґрунті [1, 11, 12, 14], стані окисновідновної рівноваги, питомій електропровідності [2] та інших показниках едафічного комфорту, що характеризують екологічність ґрунту.

Головними об'єктами для організації агроекологічного моніторингу слугували стаціонарний дослід (СД-1), закладений у 1965 р. на ясно-сірому лісовому поверхнево-глеюватому крупнопилувато-легкосуглинковому ґрунті, та стаціонарний дослід (СД-2) – старосіяні травостої Інституту землеробства і тваринництва Західного регіону УААН.

Агрохімічні показники орного шару ґрунту до закладки досліду (СД-1) були такими: вміст гумусу – 1,44 %, pH<sub>KCl</sub> – 4,2; гідролітична кислотність – 4,5 мМоль (+) · 100 г<sup>-1</sup>; обмінна кислотність – 0,5 мМоль (+) · 100 г<sup>-1</sup>. Сівозміна семипільна з таким чергуванням культур: картопля – ячмінь з підсівом конюшини – конюшина лучна – озима пшениця – цукрові буряки – кукурудза – озима пшениця.

Для вимірювання окисно-відновного потенціалу (ОВП) осінню 1995 р. відбирали зразки ґрунту (у 5-кратній повторності) за допомогою бура у поліетиленовий пакет для максимальної ізоляції від атмосферного кисню. Реєстрацію ОВП здійснено безпосередньо у свіжовідібраних зразках ґрунту за допомогою індикаторного платинового і хлорсрібного електрода порівняння. Електропровідність ґрутових водних суспензій визначали кондуктометричним методом.

Грунт травостоїв (СД-2) – темно-сірий опідзолений легкосуглинковий. Мінеральні добрива вносили у формі суперфосфату, калійної солі та амонійної селітри. У роботі наведено результати досліджень ґрунту (за день до циклу скошування) травостоїв протягом вегетаційних періодів 1992–1996 рр. Для якісно-кількісної характеристики активного пулу органічної речовини в ґрунті застосували лужний гідроліз за Щербаковим і Кіслих [8].

**Азотограми в оцінці активного пулу органічної частини ґрунту.** У сьогоднішньому розумінні органічна речовина ґрунту (ОРГ) структурно є континуумом органічних сполук, починаючи від “свіжої”, “молодої” ще негуміфікованої органічної речовини з високим потенціалом поживних речовин і енергії, до детриту і специфічних, різних стадій біотрансформування, органічних сполук, які в процесі гуміфікації та гумусоутворення втратили поживну цінність і виконують роль “органічного скелета” ґрунту, забезпечуючи головно його мікроструктуризацію (формування мікроагрегатів та інших органо-мінеральних дисперсних фаз).

Беручи до уваги складність структурно-функціональної організації органічної частини ґрунту, яку тривіально назвали “органічною речовою ґрунту”, особливо актуальною є розробка індикаторів її оцінки як складного гетерогенного поліфункціонального комплексу органічних речовин.

Варто зауважити, що понад півстоліття тому українські вчені (Єгоров, Соколовський, Лактіонов) при оцінці якісного складу органічної частини ґрунту пропонували звернати увагу на співвідношення в ній групи стабільних (консервативних) і лабільних сполук. Саме такий методологічний підхід лежить в основі сучасних агрохімічної і ґрунтознавчої наук, що розглянемо детальніше.

Група консервативних сполук об'єднує ті компоненти органічної речовини ґрунту, які формуються протягом тривалого часу і зберігаються у вікових циклах (зрілі гумусові кислоти ґрунту, гумати кальцію, інші органо-мінеральні речовини, гіматомеланові кислоти, гумін). Всі ці речовини практично не беруть участі у живленні рослин, але створюють для них сприятливе середовище [4]. У зв'язку з цим,

потрібно обережніше трактувати роль власне гумусу як джерела поживних речовин, в якому практично відсутні біодоступні елементи живлення, а також процес дегуміфікації, коли мінералізуються неспецифічні «свіжі» органічні речовини.

Група лабільних органічних речовин (ЛОР) включає нерозкладені органічні залишки рослинного і тваринного походження, детрит, низько- і середньомолекулярні вуглеводи, амінокислоти, пептиди і інші неспецифічні сполуки, новоутворені гумінові та фульвокислоти, слабко пов'язані з мінеральною частиною ґрунту. Оскільки ЛОР є найбільш динамічною складовою органічної речовини ґрунтів, вона безпосередньо причетна як енергоречовинний субстрат до багатьох екологічних функцій ґрунтів і біосфери: живлення рослин і ґрутових тварин; біологічної активності ґрунтів; фіксації атмосферного азоту; регулювання складу ґрутового та атмосферного повітря; формування ґрутової структури (особливо макроагрегатів) і фізичних властивостей; сорбції та накопичення важких металів і радіонуклідів та інших забруднювальних речовин. Варто зауважити, що для орних ґрунтів кількість її залежить не від генетичного типу ґрунту, а від характеру використання ріллі.

Враховуючи набутий досвід у дослідженні органічної частини ґрунту, вважаємо, що головна увага при її оцінці має надаватися не тільки Карбону (вуглецю) органічних сполук, що лежить в основі традиційного агрехімічного підходу, але й Нітрогену, оскільки, саме співвідношення C:N є алгоритмом функціонування біотичної складової ґрунту і процесу біокосного ґрутоутворення. Зокрема виконані нами численні дослідження [3, 11] показали високу інформативність методу багатоступеневого лужного гідролізу сполук Нітрогену ґрунту, зокрема можливість контролю за станом активного пулу органічної речовини (АПОР), який є головним природним джерелом біологічно доступних мінеральних сполук [3, 4, 11] і виконує важливу екологічну роль буфера речовини і енергії (енергопластичного буфера) [3], чим захищає конститутивну частину органічної речовини (власне гумус) від мікробної атаки, тобто є одним з гумусопротекторних механізмів. До речі, лише недавно було показано [6], що за відсутності надходження до ґрунту “молодого” Карбону відбувається дестабілізація ОРГ – інтенсивний розклад “старої” органічної речовини, причому процес деструкції був помітним навіть у найстійкіших дрібнопилуватій та мулистій фракціях. Останнє підтверджує наше концептуальне бачення буферної ролі свіжої органічної речовини як головного механізму захисту

гумусу від мікробного розкладу за дефіциту (дисбалансу) енергії чи поживних речовин або дії цих чинників одночасно.

На рис. 1 показано криві лужного гідролізу органічних сполук Нітрогену ґрунту культурних пасовищ за різних способів удобрення протягом вегетаційного періоду (квітень – вересень). З наведених даних видно, що у контрольному ґрунті пасовища (травало неудобрюваного) існує доволі потужний механізм утворення (ресинтезу) активного пулу ОРГ, що спостерігаємо у ранньовесняний період (01.04), коли вміст АПОР досягає  $920 \text{ мг} \cdot \text{kg}^{-1} N_{\text{орг}}$  або 18 % від  $N_{\text{зар}}$ . Подібний ефект встановлено також лише за фосфорно-калієвого удобрення ( $P_{90}K_{120}$ ): вміст АПОР весною становить понад  $800 \text{ мг} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

У разі тривалого застосування нітрогенних добрив ( $240 \text{ кг} \cdot \text{га}^{-1}$ ) утворення запасу Нітрогену в АПОР різко зменшується до  $600$ – $700 \text{ мг} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Отже, отримані дані дають підставу припустити, що у разі тривалого застосування нітрогенних добрив у ґрунті формується певний механізм “пам’яті” про регулярне надходження екзогенного Нітрогену у біодоступній (мінеральний) формі, що усуває потребу його депонування в ґрунті у формі лабільних органічних сполук.

Привертає увагу також те, що за удобрення пасовищ ранньою весною шляхом внесення  $60 \text{ кг} \cdot \text{га}^{-1}$  нітрогенних добрив, коли ріст трав’яних рослин ще сповільнений, відбувається іммобілізація  $N_{\text{мін}}$  добрив мікроорганізмами з утворенням у травні (13.05) додаткової кількості ( $125 \text{ мг} \cdot \text{kg}^{-1} N$ ) АПОР (в.з., пунктирна лінія). Це засвідчує високу ефективність функціонування симбіотрофного комплексу ґрутові мікроорганізми – рослина, коли слабка функціональна активність рослинного компонента компенсується активізацією метаболічної активності ґрутової біоти і в цілому зберігається потенціал біодоступних нітрогенних сполук в едафотопі.

**Окисно-відновний потенціал (ОВП) як критерій екологічності удобрення.** Для оцінки критичного стану ОВ-процесів у ґрунті агроекосистеми ми пропонуємо концепцію “фронту окиснення”, згідно з якою, послаблення окисних процесів нижче від певної критичної межі може загрожувати екологічності ґрунту і призводити до втрати його якостей як біосферного регулювальника. За таку критичну межу взято  $Eh=350 \text{ мВ}$ , який, за Сердобольським [7, С. 235], характеризує посилення денітрифікаційних процесів у ґрунті. Причиною цьому є ліміт кисню у ґрутовому середовищі, а його донорами в процесах відновлення стають оксиди Нітрогену:  $\text{NO}_3^- - \text{NO}_2^- - \text{NO}^- - \text{N}_2\text{O}^- - \text{N}_2$ . Денітрифікація, локалізована в ґрунті, утворює до 70–80 % емісії  $\text{N}_2\text{O}$  в атмосферу, який спричиняє парниковий ефект і руйнує озон.

МГ/КГ

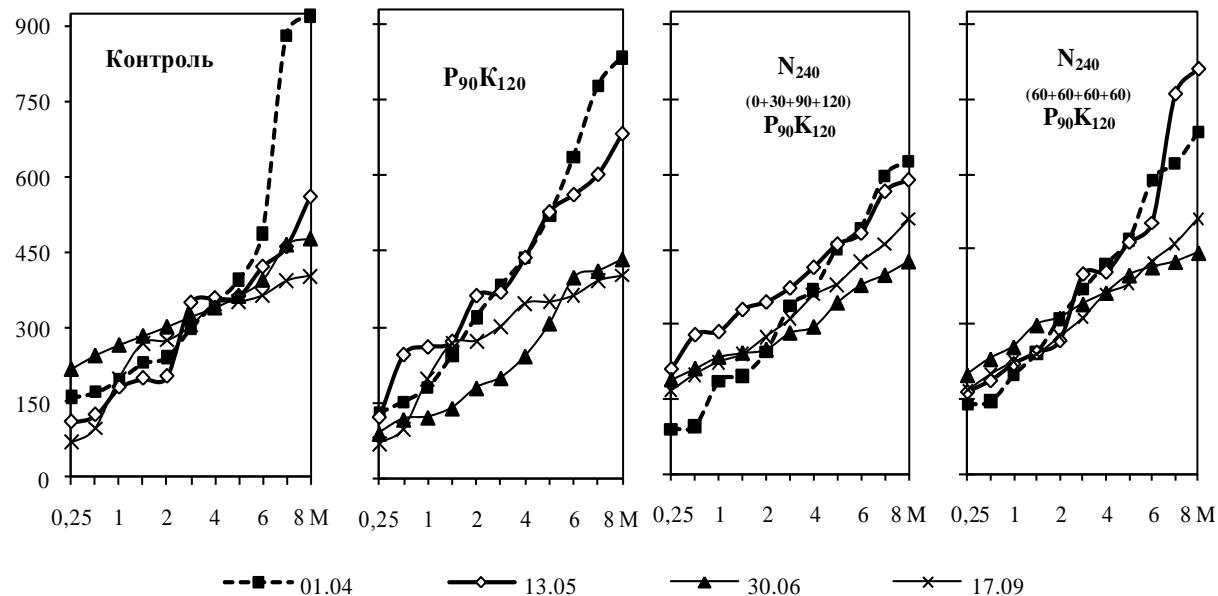


Рис. 1. Криві ефективності лужного гідролізу сполук Нітрогену шару ґрунту 0–20 см культурного пасовища залежно від мінерального удобрення; вісь абсцис – концентрація 0,25–8 М NaOH, час гідролізу 144 год

Розглянемо особливості ОВ-процесів в ясно-сіром лісовому ґрунті стаціонарного досліду (польової сівозміни) за різних варіантів удобрення і меліорації, які впливають на інтенсивність біосинтезу і є найпоширенішими для зони Західного Лісостепу (рис. 2).

З наведених даних видно, що застосовані засоби агроменеджменту впливають на ОВП ґрунту, а за сумісного внесення  $20 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$  стійлового гною і  $\text{N}_{122}\text{P}_{116}\text{K}_{135}$  на фоні вапнування кислого ясно-сірого лісового ґрунту (1,5 н за г.к.) у ґрутовому середовищі виникає стан анаеробізу, про що свідчить зниження Eh до 310 мВ.

Головною причиною такої негативної ОВ- ситуації у ґрунті, наше переконання, є перевантаження його органічною речовиною гною. За даними німецьких вчених [5, 13], для оптимального відтворення органічної речовини ясно-сірого лісового ґрунту (*Albic Luvisol*) потрібно  $10 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$  підстилкового гною.

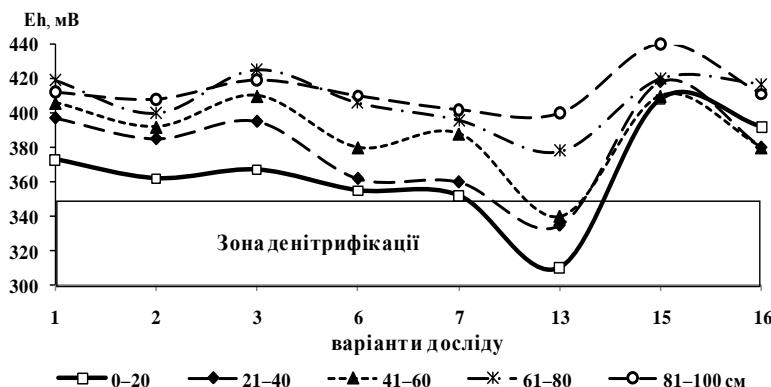
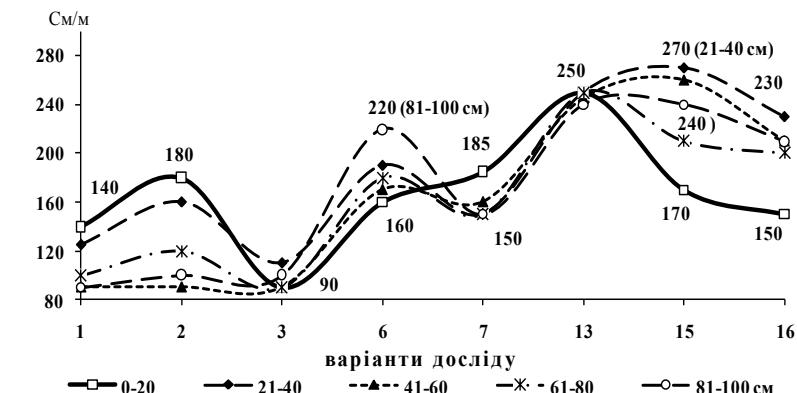


Рис. 2. Зміни окисно-відновного потенціалу за профілем ґрунту залежно від довготривалого удобрення агроценозу (прямокутником виокремлена зона денітрифікації): 1 – контроль (без добрив); 2 – 1,0 н (норма)  $\text{CaCO}_3$ ; 3 – гній,  $10 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ; 6 – 0,5 н  $\text{CaCO}_3$  + гній,  $10 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1} + 1,0 \text{ н NPK}$ ; 7 – 1,0 н  $\text{CaCO}_3$  + гній,  $10 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1} + 1,0 \text{ н NPK}$ ; 13 – 1,5 н  $\text{CaCO}_3$  + гній,  $20 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1} + 1,5 \text{ н NPK}$ ; 15 – 2 н NPK; 16 – 1 н  $\text{CaCO}_3$  + 2 н NPK

**Питома електрична провідність ґрутових суспензій (ЕПГС).** Електропровідність є важливим показником у дослідженнях екологічних функцій ґрунту [2], її зачислено до мінімального набору даних (МНД), рекомендованих Інститутом якості ґрунту (США) для оцінки натуральної і набутої якостей ґрунту [9].

Зіставлення змін ЕПГС за різних умов удобрення і меліорації дало змогу встановити специфіку впливу цих засобів за інтенсивністю і дестабілізацією електротрігеної ситуації у ґрунті (рис. 3).

Із рис. 3 видно, що вапнування кислого ясно-сірого ґрунту (в.2) в 1,3 разу збільшувало ЕПГС і практично не змінювало архітектоніки його йоногенного статусу. Угноення ґрунту варіанта 3 ( $10 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ) зумовило різке зменшення ЕПГС головно у верстві 0–20 см і незначно у підкорному шарі 21–40 см. Цікаве явище інверсії (лат. *inversio* – перевертання, переміщення) спостерігаємо у ґрунті варіантів 6, 15 і 16, за якого йонний профіль ґрунту перевернутий щодо контролю: максимальна ЕПГС характерна для ґрунту нижніх верств, а мінімальна – 0–20 см. Ймовірною причиною цьому є міграція поживних речовин (главно в формі аніонів  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) за відсутності належного едафічного комфорту у системі ґрунт–рослина. У разі внесення подвійної норми гною на варіанті 13 ( $20 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ) ЕПГС суттєво збільшується в межах досліджуваної метрової товщі ґрунту до



250 См·м<sup>-1</sup>.

**Рис. 3.** Вплив засобів удобрення і меліорації на питому електропровідність ґрунтових сусpenзій (1:2,5): 1 – контроль (без добрив); 2 – 1,0 н  $\text{CaCO}_3$ ; 3 – гній,  $10 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ; 6 – 0,5 н  $\text{CaCO}_3$  + гній,  $10 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1} + 1,0 \text{ н NPK}$ ; 7 – 1,0 н  $\text{CaCO}_3$  + гній,  $10 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1} + 1,0 \text{ н NPK}$ ; 13 – 1,5 н  $\text{CaCO}_3$  + гній,  $20 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1} + 1,5 \text{ н NPK}$ ; 15 – 2 н NPK; 16 – 1 н  $\text{CaCO}_3 + 2 \text{ н NPK}$

**Висновки.** Вміст Нітрогену, який визначається шляхом гідролізу ОРГ розчином 8 М  $\text{NaOH}$  протягом 144 год, характеризує

активний пул органічної частини ґрунту (АПОР), який відображає співвідношення процесів N-мінералізації та N-іммобілізації: збільшення його кількості вказує на посилення процесів іммобілізації, а зменшення – посилення процесів мінералізації. Для оцінки перевантаження ґрунту органічною речовиною добрив запропоновано концепцію “фронту окиснення”, згідно з якою, послаблення окисних процесів нижче від певної критичної межі ( $Eh=350$  мВ) може загрожувати екологічності ґрунту. Зіставлення змін електропровідності ґрунтових сусpenзій за різних умов удобрення і меліорації дозволило встановити специфіку впливу агрехемогенних засобів як за інтенсивністю, так і рівнем дестабілізації електрогенної ситуації у ґрунті.

### **Список використаної літератури**

1. Бедернічек Т. Ю. Лабільна органічна речовина ґрунту: теорія, методологія, індикаторна роль / Т. Ю. Бедернічек, З. Г. Гамкало. – К. : Кондор, 2014. – 180 с.
2. Гамкало З. Г. Електропровідність як критерій оцінки іонної активності ґрунту пасовищ при різному мінеральному удобренні травостанів / З. Г. Гамкало // Вісник Львів. ун-ту. Серія географічна. – 2000. – Вип. 27. – С. 147–151.
3. Гамкало З. Г. Активна фаза органічної частини ґрунту як його енергопластичний буфер: теоретичний підхід і проблема оцінки / З. Г. Гамкало // Науковий вісник УДЛУ. – 2003. – Вип. 13.4. – С. 270–275.
4. Ганжара Н. Ф. Процессы трансформации органического вещества в почвах и его качественный состав / Н. Ф. Ганжара, Д. С. Орлов // Концепция оптимизации органического вещества почв в агроландшафтах / В. И. Кирюшин, Н. Ф. Ганжара, И. С. Кауричев. – М. : Изд-во ГХА, 1993. – С. 18–26.
5. Кёршэнс М. Органическое вещество почвы: динамика – воспроизводство – экономически и экологически обоснованные показатели / М. Кёршэнс, Е. Шульц // Методы исследований органического вещества почв / под ред. А. И. Еськова. – М. : Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. – С. 43–86.
6. Идентификация лабильного и устойчивого пулов органического вещества в агросерой почве / А. А. Ларионова, Б. Н. Золотарева, И. В. Евдокимов, С. С. Быховец // Почвоведение. – 2011. – № 6. – С. 685–689.
7. Сердобольский И. П. Методы определения рН и ОВП / И. П. Сердобольский // Агрехимические методы исследования почв

/ под ред. А. В. Соколова, Д. Л. Аскинази. – М. : Наука, 1965. – С. 195–247.

8. Щербаков А. П. Эффективное плодородие почв: методологические аспекты / А. П. Щербаков, Е. Е. Кислых. – М. : Агропромиздат, 1990. – 70 с.

9. Ditzler C. Soil Quality Field Tools / C. Ditzler, A. Tugel // Agronomy Journal. – 2002. – Vol. 94. – P. 33–38.

10. Doran J. W. Defining and assessing soil quality / J. W. Doran, T. B. Parkin // Defining Soil Quality for a Sustainable Environment / ed. by J. W. Doran [et al.]. – Madison : Soil Science Society of America, 1994. – P. 3–21.

11. Hamkalo Z. Nitrogenograms as a method for estimation of an active phase of soil organic matter / Z. Hamkalo // Fertilizers and Fertilization (IV). – 2002. – № 1 (10). – P. 256–263.

12. Hamkalo Z. Total, cold and hot water extractable organic carbon in soil profile: impact of land-use change / Z. Hamkalo, T. Bedernichek // Zemdirbyste-Agriculture. – 2014. – Vol. 101, № 2. – P. 125–132.

13. Lettau T. Kohlenstoff gehalt und bilanzen nach langjährig differenzierter Düngung eines Sandbodens – Ergebnisse aus einem Dauerfeldversuch. 109 / T. Lettau, F. Ellmer // VDLUFA-Kongress 15, Leipzig, 19 September 1997. – VDLUFA-Verlag Darmstadt, 1997. – S. 99.

14. Partyka T. Estimation of oxidizing ability of organic matter of forest and arable soil / T. Partyka, Z. Hamkalo // Zemdirbyste-Agriculture. – 2010. – Vol. 97, № 1. – P. 33–40.

Отримано 12.05.2015