

УДК 631.427.22:631.416.1

## Характеристика результатів визначення мінералізації азотовмісних сполук у ґрунті біологічними методами

А. В. Ревтьє-Уварова <sup>1, а, ✉</sup>, К. Б. Новосад <sup>2, б</sup>

<sup>1</sup>Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна

<sup>2</sup>Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 31.03.2026 Отримано після доопрацювання 07.06.2026 Затверджено до видання 08.06.2026 Доступно онлайн 30.06.2026	Більшість біологічних методів визначення вмісту потенційно доступного рослинам азоту в ґрунті базується на визначенні кількості продуктів мінералізації азотовмісних сполук. У статті представлено результати визначення N-мінералізації та нітрифікації за ДСТУ ISO 14238:2003 і нітрифікаційної здатності ґрунту за ДСТУ 7538:2014. Процедура аналізування включала паралельне компостування зразків чорнозему типового (Нарліс Chernozem) впродовж 7, 12, 14, 21 та 28 діб без додавання азотовмісного субстрату та з додаванням $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . На основі здобутих результатів пропонуємо виокремлювати фактичну нітрифікацію — за вмістом нітратного азоту в ґрунті на момент відбирання проб та потенційну нітрифікацію — за кількістю нітратного азоту, накопиченого впродовж компостування. Для якісної та кількісної характеристики потенційної нітрифікації запропоновано диференціювати амонійний азот за походженням і, виходячи з цього, виокремлювати нітрифікацію «екзогенного» та «ендогенного» амонійного азоту. Нітрифікація «екзогенного» амонійного азоту призводить до утворення нітратів, шляхом окиснення нітрифікувальними бактеріями мінеральних амонієвмісних сполук (наприклад, у складі добрив), що не є продуктами ґрунтових процесів. Нітрифікація «ендогенного» амонійного азоту характеризує потенційну здатність нітрифікувальних бактерій до окиснення амонійного азоту, який є продуктом мінералізації органічного компоненту ґрунту. Для оцінювання потенційної нітрифікації ґрунту пропонуємо використовувати такі градації: дуже низька — менше 5 мг N-NO <sub>3</sub> /кг ґрунту, низька — 6–8, середня — 9–15, підвищена — 16–30, висока — 31–60, дуже висока — більше 60 мг N-NO <sub>3</sub> /кг ґрунту.
<b>Ключові слова:</b>  азотний стан ґрунту; амонійний і нітратний азот; компостування; N-мінералізація; потенційна нітрифікація; фактична нітрифікація	

✉ alina\_rev@meta.ua

ORCID: <sup>а</sup> 0000-0002-6838-5440, <sup>б</sup> 0000-0003-2043-9160

*Форма цитування:* Ревтьє-Уварова А. В., Новосад К. Б. Характеристика результатів визначення мінералізації азотовмісних сполук у ґрунті біологічними методами. *Агрохімія і ґрунтознавство* / ННЦ «Ін-т ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського». Харків, 2026. Вип. 100. С. 73–83. <https://doi.org/10.31073/acss100-06>

*Поширення статті здійснюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY-NC 4.0*

### 1. Вступ

Серед широкого переліку індикаторів якості ґрунту найважливішою для практики є характеристика трофічного стану ґрунту, коли за вмістом N, P і K оцінюють забезпеченість рослин цими елементами живлення. У ґрунтах агроценозів, зазвичай, у першому мінімумі знаходиться азот, який відіграє ексклюзивну фізіологічну роль у рослинному організмі та, як наслідок, зумовлює певний рівень урожайності сільськогосподарських культур [1, 2]. Це спричинює формування чіткої тенденції «азотоцентризму» систем удобрення — домінування в них азотних добрив, які вважають універсальним чинником регулювання продуктивності агроценозів [3]. У структурі внесених мінеральних добрив в Україні впродовж останнього десятиліття їх частка становила 65–70 % зі співвідношенням N : P : K як 1 : 0,2 : 0,2 (узагальнені дані Державної служби статистики України).

За розроблення системи удобрення як науково обґрунтований чинник сталого управління добривами використовують результати ґрунтової діагностики. При цьому найбільш складним є діагностування та оцінювання потреби удобрення

за вмістом у ґрунті азоту, який доступний або потенційно доступний рослинам для живлення [4].

В агрохімічній практиці оперативної ґрунтової діагностики найуживанішим показником є вміст мінеральних форм азоту ( $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ ), який визначають фотометрично з дисульфифеноловою кислотою (нітратний азот) та реактивом Несслера (амонійний азот) згідно із ДСТУ 4729:2007. Поряд з цим «рутинним» аналізом значного поширення набули біологічні методи визначення вмісту потенційно доступних форм азоту в ґрунті, які спрямовані на моделювання *in vitro* процесів трансформації азотовмісних сполук [5].

Серед існуючих біологічних методів часто використовуваними на практиці є різні модифікації методу визначення потенційної мінералізації азоту, запропоновані Стенфордом та Смітом [6]. Їх суть полягає у визначенні вмісту неорганічного азоту ( $N-NO_3^-$  та  $N-NH_4^+$ ), що утворився за паралельного перебігу багатостадійних процесів амоніфікації та нітрифікації, які призводять до мінералізації азотних сполук, під час компостування зразка ґрунту в контрольованих умовах упродовж певного часу. В більшості випадків відміни між методами зумовлені різними умовами та тривалістю компостування зразків ґрунту.

Задля забезпечення однотипності методичних підходів до виконання лабораторно-аналітичних процедур з вимірювання мінералізації та нітрифікації азоту ґрунтовою мікрофлорою Міжнародною організацією зі стандартизації (International Organization for Standardization, ISO) розроблено міжнародний стандарт ISO 14238, якому ідентичним є національний ДСТУ ISO 14238:2003. Використовуючи набір даних, отриманих за цим методом, є можливість розширити описові характеристики азотного стану ґрунту (динамічного за своєю природою).

Мета дослідження — розширення переліку якісних та кількісних характеристик азотного стану ґрунту шляхом використання результатів біологічних методів дослідження трансформації азотовмісних сполук ґрунту.

## 2. Матеріали і методи

Польові роботи виконано на території ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» (с. Коротич Харківського району Харківської області), яке знаходиться в зоні Лісостепу України. Територія досліджень характеризується помірно континентальним кліматом та відноситься до північного середньовологого агрокліматичного району Харківської області. Середньорічна сума позитивних температур становить близько 2790 °С. Середньорічна кількість опадів — близько 520 мм.

Ґрунт — чорнозем типовий малогумусний важкосуглинковий на лесоподібному суглинку (Haplic Chernozem). В орному (0–20 см) шарі ґрунту міститься 51,1 % фізичної глини (гранулометричні елементи <0,01 мм), вміст органічного вуглецю — 2,49 %, загальний вміст азоту — 0,22 %, сума обмінних катіонів — 308 ммоль/кг ґрунту, вміст обмінного кальцію — 258 ммоль/кг ґрунту та  $pH_{KCl}$  — 5,4.

Змішані проби ґрунту для аналізування відібрано методом конверту на фіксованих ділянках розміром 1 м<sup>2</sup> (трикратна повторність) з орного (0–20 см) шару в II декаді жовтня під посівом пшениці озимої, попередником якої була інокульована сочевиця. Добрива під пшеницю озиму та сочевицю не вносили. Температура повітря в день відбирання проб становила + 16,5 °С, відносна вологість повітря — 67 %, польова вологість ґрунту — 16,3 %, кількість опадів за тижневий період до відбору — 0 мм.

Лабораторно-аналітичні дослідження включали паралельне компостування зразків ґрунту (в чотирикратній повторності), взятих з однієї первинної змішаної проби, відібраної з шару 0–25 см, за ДСТУ ISO 14238:2003<sup>1</sup> та ДСТУ 7538:2014<sup>2</sup>.

Компостування за ДСТУ ISO 14238:2003 включало дві групи зразків для визначення N-мінералізації і нітрифікації:

Група 1 – «чисті» зразки ґрунту – без додавання додаткового азоту, для визначення мінералізації азоту (N-мінералізація) органічної речовини ґрунту;

Група 2 – компостування зразків ґрунту з доданим азотним субстратом (сульфат амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) в розрахунку 100 мг N/кг ґрунту, для визначення інтенсивності нітрифікації.

*Умови компостування.* Наважку ґрунту 20 г, поміщали у скляну колбу і зволожували дистильованою водою до вихідної вологості на рівні 60 ( $\pm 5$ ) % від польової вологоємності; колбу зі зразком зважували; температуру в термостаті підтримували на рівні  $28 \pm 2$  °C. Для підтримання заданої вологості зразків через день зважували кожну колбу. У разі зменшення маси через випаровування, ґрунт зволожували дистильованою водою до вихідної маси колби зі зразком. Загальна тривалість компостування — 28 діб. У зразках обох груп через кожні 7 діб (0, 7, 14, 21, 28 доби) в одній аналітичній партії визначали вміст мінерального азоту (N- $\text{NO}_3^-$  та N- $\text{NH}_4^+$ ) в ґрунті з використанням екстрагенту 1 моль/л KCl (за ДСТУ ISO 14238:2003) /TS 14256-1:2005<sup>3</sup>).

N-мінералізацію розраховано за різницею вмісту мінерального азоту після та до компостування «чистих» зразків ґрунту на 7, 14, 21 та 28 доби (у перерахунку на сухий ґрунт). Нітрифікацію розраховано за різницею між вмістом нітратного азоту після компостування зразків ґрунту з додаванням  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (група 2) та його вмістом після компостування «чистих» зразків (група 1) ґрунту, за конкретний проміжок часу (7, 14, 21, і 28 діб).

Компостування зразків ґрунту за ДСТУ 7538:2014<sup>4</sup>, яким передбачене визначення нітрифікаційної здатності ґрунту, проведено за тих самих умов, що і за ДСТУ ISO 14238:2003, але впродовж 12 діб. Вміст нітратного азоту після 12 діб компостування визначено екстракцією 1 % розчином  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (за ДСТУ 4729:2007<sup>5</sup>). Нітрифікаційну здатність ґрунту за методом Кравкова розраховано як різницю між вмістом нітратного азоту після і до компостування.

Статистичну обробку результатів проведено з використанням опцій «Описові статистики» та «Діаграми розмаху» програмного забезпечення Statistica.

## 2. Результати й обговорення

Використання мікробіологічних показників є перспективним інструментом для діагностики і характеристики азотного стану ґрунту [7–10]. Обрані для дослідження методи (ДСТУ ISO 14238:2003 та ДСТУ 7538:2014) призначені для визначення спроможності ґрунту накопичувати амонійний та нітратний азот, який

<sup>1</sup> ДСТУ ISO 14238:2003. Якість ґрунту. Біологічні методи. Визначення мінералізації азоту і нітрифікації в ґрунтах та впливу хімічних речовин на ці процеси. [Чинний від 2004–07–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 15 с.

<sup>2</sup> ДСТУ 7538:2014. Якість ґрунту. Визначення нітрифікаційної здатності ґрунту методом Кравкова. [Чинний від 2015–04–01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 8 с.

<sup>3</sup> ДСТУ ISO/TS 14256-1:2005. Якість ґрунту. Визначення нітрату, нітриту і амонію в ґрунтах польової вологості екстракцією розчином хлориду калію. Частина 1. Ручний метод. [Чинний від 2006-10-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 22 с.

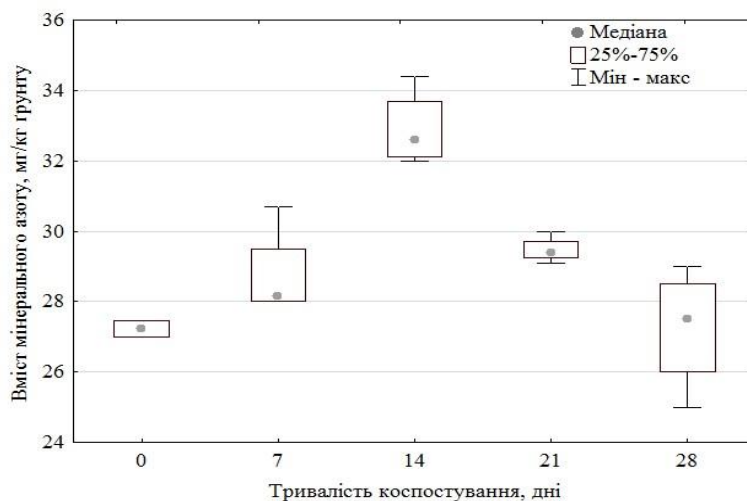
<sup>4</sup> ДСТУ 7538:2014. Якість ґрунту. Визначення нітрифікаційної здатності ґрунту методом Кравкова. [Чинний від 2015–04–01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 8 с.

<sup>5</sup> ДСТУ 4729:2007. Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського. [Чинний від 2008-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 14 с.

утворився в результаті діяльності ґрунтових мікроорганізмів за створення сприятливих режимів температури, вологості та аерації ґрунту упродовж періоду компостування. Для інтерпретації здобутого таким чином масиву експериментальних даних пропонуються такі підходи.

Мінералізація азоту, що входить до складу органічної частини ґрунту — *N-мінералізація*. Показник *N-мінералізації* (базова мінералізація) характеризує мікробіологічні трансформації «ендогенних», власне ґрунтових запасів органічного азоту в мінеральні форми, які доступні для живлення рослин [11, 12]. За вимірювання *N-мінералізації* визначають кількості амонійного та нітратного азоту, що утворюються за амоніфікації азотовмісних органічних сполук ґрунту та наступної нітрифікації продуктів цього процесу [13]. Тобто, цей показник характеризує потенційні ґрунтові, «ендогенні» запаси азоту, які за створення оптимальних гідротермічних умов для перебігу амоніфікації та нітрифікації можуть трансформуватися в мінеральні форми – амонійний і нітратний азот відповідно, які є кінцевими продуктами цих процесів. Тому аналітичне визначення цим методом  $N-NH_4^+$  та  $N-NO_3^-$  дає змогу виокремити інтенсивність перебігу як амоніфікації органічних азотовмісних сполук за вмістом амонійного азоту, так і нітрифікації амонійного азоту за вмістом нітратного азоту. Поряд з цим, потрібно враховувати, що в натурних умовах швидкість трансформації сполук азоту може варіювати залежно від погодних умов конкретного року [14] та впроваджених агротехнологічних прийомів.

Упродовж компостування «чистих» зразків ґрунту найвищий вміст мінерального азоту (Рис. 1) фіксували на 14 добу, тоді як за подовження тривалості компостування його значення суттєво знижувались та значно варіювали у повтореннях. Відповідно, максимальна *N-мінералізація* в чорноземі типовому зафіксована на 14 добу, що на 20,8 % вище порівняно з вмістом мінерального азоту до компостування, тоді як зростання відносно вихідного вмісту на 7, 21 та 28 добу компостування не перевищує 8 %.



**Рис. 1.** Діаграма розмаху вмісту мінерального азоту в «чистих» зразках ґрунту залежно від тривалості компостування

Враховуючи гнучкість вимог до експериментальних умов компостування відповідно до ДСТУ ISO 14238:2003, у тому числі й щодо його тривалості [15], оптимальним за визначення *N-мінералізації* є компостування зразків чорнозему типового впродовж 14 діб. В нашому випадку, за весь період компостування найбільший вміст  $N-NH_4^+$ , який є кінцевим продуктом амоніфікації та джерелом наступної нітрифікації, визначено на 14 день. Пізніше його вміст не перевищував 0,03 мг/кг ґрунту, тобто очікуваною є відсутність зростання нітратного азоту за рахунок амоніфікації «ендогенних» азотовмісних органічних сполук ґрунту.

Нітрифікація при додаванні мінеральних амонієвмісних сполук (азотного субстрату —  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) йде інакше. Спостерігаються інші особливості змін вмісту мінеральних форм азоту впродовж компостування ґрунту — суттєво та поступово в часі зростає вміст нітратного азоту (Рис. 2) і його максимум фіксується на кінець компостування. Це можна пояснити тим, що іони амонію, внесені з добривами, відразу зазнають нітрифікації [16], певна їх частка фіксується ґрунтовим вбирним комплексом [17], створюючи рівновагу між розчинним, обмінним та фіксованим амонієм [18], сприяючи при цьому зниженню використання мікроорганізмами органічного азоту в орних ґрунтах [19].

Порівняно з компостуванням «чистих» зразків ґрунту у зразках з додаванням  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  вміст нітратного азоту в конкретний аналогічний термін визначення є більшим на 48–157 %. Тому, це не виключає й подальшого зростання вмісту нітратного азоту, враховуючи наявність амонійного азоту на 28 добу інкубації на рівні 30,9 мг/кг ґрунту. В таких випадках, за необхідності, можливим є подовження терміну компостування, що дозволить простежити динаміку інтенсивності нітрифікації амонійного азоту добрив за створення оптимальних для перебігу цього процесу гідротермічних умов.

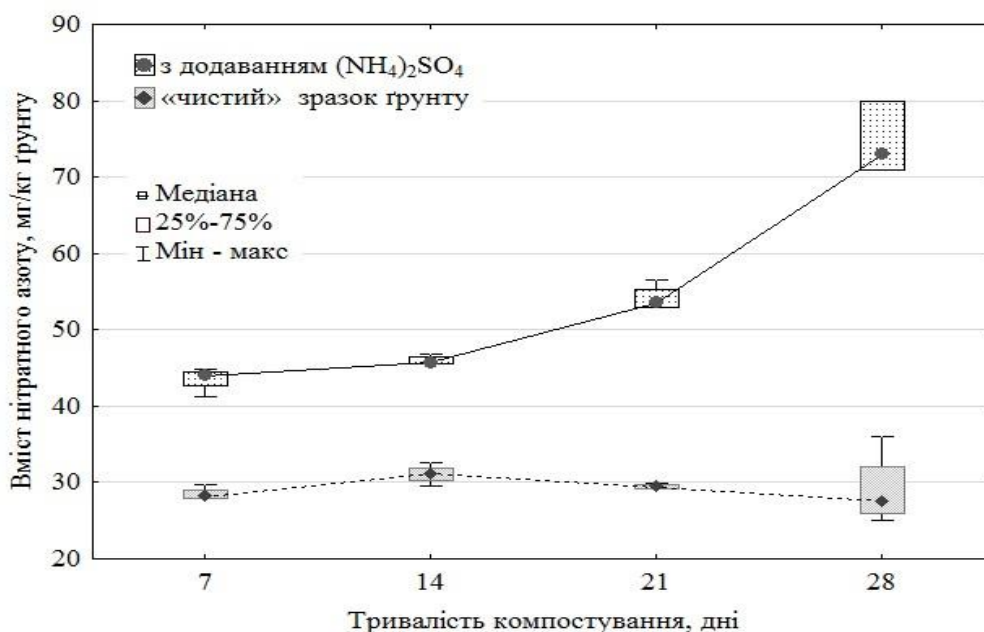


Рис. 2. Діаграма розмаху вмісту нітратного азоту залежно від джерела азоту для нітрифікації та тривалості компостування

**Фактична і потенційна нітрифікація.** Враховуючи динамічність у часі та залежність перебігу нітрифікації від низки природних та антропогенних чинників пропонуємо виокремлювати фактичну та потенційну нітрифікацію.

Фактичну нітрифікацію характеризує вміст нітратного азоту у ґрунті за натурних умов в конкретний проміжок часу (але до внесення нітратовмісних сполук, які можуть суттєво корегувати вміст нітратів у ґрунті і, відповідно, штучно підвищувати параметри фактичної нітрифікації). Тобто, об'єктивно та достовірно оцінити фактичну нітрифікацію і інтенсивність перебігу цього процесу в природних умовах можливо лише за кількістю нітратного азоту, що фактично знаходиться в ґрунтовому розчині і визначається перед компостуванням екстракцією 1 моль/л KCl (за ДСТУ ISO 14238:2003) або 1 % розчину  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (за ДСТУ 4729:2007).

Потенційну нітрифікацію характеризує кількість нітратного азоту, який може бути продукованим за штучного створення гідротермічних умов, оптимальних для життєдіяльності нітрифікувальних мікроорганізмів. Тому, результати, отримані після компостування зразків ґрунту характеризують саме потенційну нітрифікацію,

параметри якої можуть істотно відрізнятися від фактичної нітрифікації, оскільки потенційна швидкість цього процесу в лабораторних умовах вища, ніж за визначення *in-situ* [3, 20], Поряд з цим, за компостування зразків ґрунту з дотриманням принципу єдиної відмінності, результати потенційної нітрифікації будуть прямо залежати від кількості та якості азотовмісного субстрату, будь-то мінерального чи органічного походження. Це дає можливість простежити динаміку накопичення нітратного азоту, що поряд із внесенням азотовмісних добрив, опосередковано свідчитиме про вплив гідротермічних умов року та технологій вирощування на кількість новоутворених органічних решток, що надходять у ґрунт, де зазнають амоніфікації і наступної нітрифікації. Тобто цей показник — кількість нітратного азоту, буде свідчити про потенційну здатність орного ґрунту до нітратонакопичення.

*Походження амонійного азоту для нітрифікації.* Набір даних, отриманий за синхронного компостування «чистих» зразків ґрунту та зразків з додаванням  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , дає змогу диференціювати походження амонійного азоту, який зазнає нітрифікації, на «ендогенне» та «екзогенне». Зокрема, є можливість визначити та виокремити поняття щодо його потенційної нітрифікації:

- нітрифікація, яка характеризує потенційну активність нітрифікувальних бактерій в умовах наявності «ендогенного», суто ґрунтового амонійного азоту;

- нітрифікація мінеральних амонієвмісних добрив, які є «екзогенним», додатково внесеним, доступним  $\text{NH}_4^+$  для окиснення нітрифікувальними бактеріями;

- «загальна» нітрифікація, що об'єднує два вищенаведені джерела утворення нітратного азоту в ґрунті за створення оптимальних умов для перебігу цього процесу.

Розрахунок значень потенційної нітрифікації проведено таким чином:

- нітрифікація «ендогенного» амонію («чиста» нітрифікація) — різниця між вмістом нітратного азоту у «чистих» зразках ґрунту групи 1 після компостування та перед початком компостування;

- нітрифікація «екзогенного» амонію – різниця між вмістом нітратного азоту у зразках ґрунту групи 2 (з додаванням  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), та у «чистих» зразках ґрунту групи 1 за однаковий період компостування;

- «загальна» нітрифікація становить суму нітратного азоту, продукowanego з амонію ґрунту (ендогенний) та амонію добрив (екзогенний).

В орному шарі досліджуваного чорнозему типового на час відбирання проб ґрунту вміст нітратів становив 20,00 мг/кг ґрунту, що відповідає фактичній нітрифікації — характеризує фактичний перебіг (інтенсивність) цього процесу в натурних умовах. «Загальна» потенційна нітрифікація, порівняно із фактичною нітрифікацією, зростає в 1,2 раза на сьому добу компостування та в 2,7 раза на 28 добу, досягаючи максимуму — 54,67 мг  $\text{N-NO}_3/\text{кг}$  ґрунту. Частка потенційної нітрифікації «ендогенного» амонію становить 16–43 %, за додавання  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , що відповідає потенційній нітрифікації «екзогенного» амонію — 57–84 % (Табл. 1).

Запропонований підхід дає можливість виокремити джерела походження нітратного азоту, визначити їх абсолютну та відносну частки в структурі «загальної» нітрифікації. За різницею між нітрифікацією з додаванням амонію сульфату та «чистою» нітрифікацією є змога оцінити інтенсивність перебігу цього процесу за внесення амоніймісних добрив в оптимальних для розвитку нітрифікувальних бактерій умовах.

Для прикладу, швидкість нітрифікації, яку розраховано як відношення параметру нітрифікації до тривалості інкубації (діб) [7], за додавання азотного субстрату в середньому за період компостування становить 1,50 мг  $\text{N-NO}_3/\text{кг}$  ґрунту

за добу, що відповідає 3,2 кг N-NO<sub>3</sub> га/добу. Швидкість «чистої» нітрифікації сягає максимуму 0,79 мг N-NO<sub>3</sub>/кг ґрунту за добу або 1,7 кг N-NO<sub>3</sub> га/добу.

**Таблиця 1**

Динаміка параметрів потенційної нітрифікації у зразках чорнозему типового

Тривалість компостування, діб	Потенційна нітрифікація амонію			Зростання потенційної нітрифікації амонію відносно фактичної нітрифікації, %	
	ендогенного	екзогенного	загальна	ендогенного	екзогенного
	вміст нітратного азоту у зразках компостованого ґрунту, мг/кг				
7	8,53	15,00	23,53	42,6	75,0
14	11,10	14,85	25,95	55,5	74,3
21	9,45	24,68	34,13	47,3	123,4
28	9,00	45,67	54,67	45,0	228,3

Примітка: ендогенний амоній – у зразках «чистого» ґрунту; екзогенний – з додаванням (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; фактична нітрифікація – 20,0 мг N-NO<sub>3</sub>/кг

*Якісна характеристика потенційної нітрифікації.* Максимально подібними за методичною суттю є визначення показника нітрифікаційної здатності ґрунту (за ДСТУ 7538:2014) та показника нітрифікації «ендогенного» амонійного азоту («чиста» нітрифікація), визначеного через N-мінералізацію (за ДСТУ ISO 14238:2003) за різницею вмісту нітратного азоту після та до компостування.

За порівняння результатів «чистої» нітрифікації, визначеної за 14 діб компостування (Табл. 1), з результатами визначення нітрифікаційної здатності ґрунту за 12 діб компостування, встановлено, що різниця між вмістом N-NO<sub>3</sub> в середньому становить 0,53 мг N-NO<sub>3</sub>/кг ґрунту (Табл. 2).

**Таблиця 2**

Статистичні параметри показників «чистої» нітрифікації та нітрифікаційної здатності ґрунту

Статистичний параметр	Потенційна нітрифікація «ендогенного» амонійного азоту	Нітрифікаційна здатність ґрунту (за ДСТУ 7538:2014)	Діаграма розмаху
	мг N-NO <sub>3</sub> /кг ґрунту		
Медіана	11,10	10,37	
Середнє значення	11,10	10,57	
Стандартна помилка	0,61	0,31	
Стандартне відхилення	1,23	0,53	
Нижній квантиль (25 %)	10,30	10,17	
Верхній квантиль (75 %)	11,90	11,17	

До чинників, які зумовлюють різницю абсолютних значень нітрифікації на рівні 5 % належать тривалість компостування зразків ґрунту — 12 і 14 діб та використання за визначення вмісту нітратного азоту різних за концентрацією й хімізмом екстрагентів — 1 моль/л розчин KCl (за ДСТУ ISO 14256-1:2005) і 1 % K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (за ДСТУ 4729:2007). Як свідчать наші попередні дослідження [21], за визначення N-NO<sub>3</sub> як екстрагент можна використовувати як 1 % K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,

так і 1 моль/л КСl, де отримані абсолютні значення не перевищують стандартну похибку та характеризуються тісним ступенем кореляційного зв'язку ( $r > 0,9$ ).

Враховуючи вище зазначене, для якісної характеристики результатів потенційної нітрифікації, визначеної за ДСТУ ISO 14238:2003, пропонується використовувати таку ж градацію групування ґрунтів як і для нітрифікаційної здатності ґрунту, визначеної методом Кравкова (за ДСТУ 7538:2014): дуже низька – менше 5, низька – 6–8, середня – 9–15, підвищена – 16–30, висока – 31–60, дуже висока – більше 60 мг N-NO<sub>3</sub>/кг ґрунту (згідно з ДСТУ 4362:2004<sup>6</sup>).

У нашому дослідженні потенційна нітрифікація «ендогенного» азоту, як і нітрифікаційна здатність чорнозему типового забезпечує середню насиченість його нітратним азотом — на рівні 9–15 мг, тоді як потенційна нітрифікація «екзогенного» азоту на 28 добу компостування характеризує як високу.

#### 4. Висновки

При проведенні процедури з вимірювання мінералізації та нітрифікації азоту ґрунтовою мікрофлорою відповідно до міжнародного стандарту ISO 14238 (аналог ДСТУ ISO 14238:2003) за визначення N-мінералізації в чорноземі типовому можна обмежитися тривалістю компостування зразків ґрунту 14 діб. Для визначення нітрифікації із додаванням амонієвмісних сполук тривалість компостування 28 діб скорочувати не доцільно через перебіг нітрифікації «екзогенного» амонію.

Для розширення якісних і кількісних характеристик азотного стану ґрунту, використовуючи результати визначення N-мінералізації та нітрифікації пропонуємо виділяти фактичну і потенційну нітрифікацію. Фактична нітрифікація характеризується за вмістом нітратного азоту в ґрунті на момент визначення в натурних умовах, потенційна нітрифікація – визначається за кількістю нітратного азоту, який накопичено за час компостування.

За походженням амонійного азоту, який є потенційним джерелом нітратного азоту пропонуємо виокремлювати нітрифікацію «екзогенного» амонійного азоту, що визначається як різниця між вмістом нітратного азоту, утвореного за додавання до компостованого зразка ґрунту мінеральних амонієвмісних сполук та вмістом нітратного азоту, що утворюється з азоту органічної частини ґрунту.

Нітрифікацію «ендогенного» амонійного азоту («чиста» нітрифікація) слід розраховувати за різницею між вмістом нітратного азоту за визначення N-мінералізації та його вмістом перед початком компостування. «Загальна» нітрифікація становить суму нітратного азоту, трансформованого з амоніймістких сполук добрив та ґрунту.

Для оцінки потенційної нітрифікації ґрунту пропонуємо використовувати градацію як і для нітрифікаційної здатності: дуже низька — менше 5, низька — 6–8, середня — 9–15, підвищена — 16–30, висока — 31–60, дуже висока — більше 60 мг N-NO<sub>3</sub>/кг ґрунту.

Дослідження виконано в рамках наукового проєкту "Комплексне наукове дослідження інноваційних рішень з відновлення ґрунтів та запобігання їх деградації з метою поліпшення екологічного стану регіонів України" згідно з договором з МОН України № БФ/Ф01-2025

*Підтримка:* публікація містить результати досліджень за грантом Президента України за конкурсним проєктом Ф75 Державного фонду фундаментальних досліджень.

Автори висловлюють щире подяку А. М. Звонар та І. М. Мірошніченко за виконання лабораторно-аналітичних робіт у відділі агрохімії імені академіка НААН Б. С. Носка.

<sup>6</sup> ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. [Чинний з 2006-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 20 с.

## Список використаних джерел

1. Akhtar K., Ain N., Prasad P. V. V. et al. Physiological, molecular, and environmental insights into plant nitrogen uptake, and metabolism under abiotic stresses. *The Plant Genome*. 2024. Vol. 17. Iss. 2. Article e20461. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20461>
2. Sun X., Miao Q., Gu Y., Yang L., Wang P. Research on the physiological mechanisms of nitrogen in alleviating plant drought tolerance. *Plants (Basel)*. 2025. Vol. 14. Iss. 1. Article 2928. <https://doi.org/10.3390/plants14182928>
3. Удосконалена діагностика рівня азотного забезпечення ґрунту методами польового та лабораторного тестування / А. В. Ревтьє-Уварова, О. В. Карацюба, В. М. Ніконенко, О. І. Сліденко. Харків : ФОП Бровин О. В., 2020. 94 с.
4. Moore Jr. P. A., Daniel T. C., Edwards D. R., Miller D. M. Effect of chemical amendments on ammonia volatilization from poultry litter. *Journal of Environmental Quality*. 1995. Vol. 24. Iss. 2. P. 293–300. <https://doi.org/10.2134/jeq1995.00472425002400020012x>
5. Pansu M., Gautheyrou J. Organic forms of nitrogen, mineralizable nitrogen (and carbon). *Handbook of Soil Analysis*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. P. 497–547. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-31211-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-540-31211-6_14)
6. Stanford G., Smith S. J. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1972. Vol. 36. Iss. 3. P. 465–472. <https://doi.org/10.2136/sssaj1972.03615995003600030029x>
7. Cardoso E. G., de Moraes Sa J. C., Briedis C. et al. Nitrogen dynamics in soil management systems. II – mineralization and nitrification rates. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2011. Vol. 35. Iss. 5. P. 1651–1660. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500019>
8. Moya H., Verdejo J., Yanez C., Alvaro J. E., Sauve S., Neaman A. Nitrification and nitrogen mineralization in agricultural soils contaminated by copper mining activities in Central Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2017. Vol. 17. № 1. P. 205–213. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000016>
9. Wienhold B. J., Comparison of Laboratory Methods and an In Situ Method for Estimating Nitrogen Mineralization in an Irrigated Silt-Loam Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2007. Vol. 38. Iss. 13–14. P. 1721–1732. <https://doi.org/10.1080/00103620701435498>
10. Mengel K. Available nitrogen in soils and its determination by the «Nmin-method» and by electroultrafiltration (EUF). *Fertilizer Research*. 1991. Vol. 28. P. 251–262. <https://doi.org/10.1007/BF01054326>
11. Gale E. S., Sullivan D. M., Cogger C. G., Bary A. I., Hemphill D. D., Myhre E. A. Estimating plant-available nitrogen release from manures, composts, and specialty products. *Journal of Environmental Quality*. 2006. Vol. 35. Iss. 6. P. 2321–2332. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0062>
12. Sullivan D., Moore A., Verhoeven E., Brewer L. Baseline soil nitrogen mineralization: measurement and interpretation: *Technical Report. Oregon State University Extension Service*. 2020. 16 p. URL: <https://extension.oregonstate.edu/sites/extd8/files/documents/em9281.pdf>
13. De Neve S. Organic matter mineralization as a source of nitrogen. In: Tei F., Nicola S., & Benincasa P. (Eds) *Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops. Advances in Olericulture*. Springer, Cham. 2017. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-53626-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-53626-2_3)
14. Reussi Calvo N. I., Wyngaard N., Orcellet J., Sainz Rozas H. R. & Echeverría H. E. Predicting field-apparent nitrogen mineralization from anaerobically incubated nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*. 2018. Vol. 82. Iss. 2. P. 502–508. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.11.0395>
15. Krüger I., Chartin C., van Wesemael B., Malchair S., Carnol M. Integrating biological indicators in a Soil Monitoring Network (SMN) to improve soil quality diagnosis – a case study in Southern Belgium (Wallonia). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2017. Vol. 21. Iss. 3. P. 219–230. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.13482>
16. Maly S., Sarapatka B., Krskova M. Seasonal variability in soil N mineralization and nitrification as influenced by N fertilization. *Plant Soil Environ.* 2002. Vol. 48. Iss. 9. P. 389–396. <https://doi.org/10.17221/4385-PSE>
17. Kowalenko C. G., Cameron D. R. Nitrogen transformations in an incubated soil as affected by combinations of moisture content and temperature and adsorption-fixation of ammonium. *Canadian Journal of Soil Science*. 1976. Vol. 56. № 2. P. 63–70. <https://doi.org/10.4141/cjss76-010>
18. Nömmik H. Fixation and defixation of ammonium in soils. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 1957. Vol. 7. Iss. 4. P. 395–436. <https://doi.org/10.1080/00015125709434240>
19. Mooshammer M., Wanek W., Hämmerle I., et al. Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon: nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. *Nature Communications*. 2014. Vol. 5. Article 3694. <https://doi.org/10.1038/ncomms4694>
20. Knoepp J. D., Swank W. T. Comparison of available soil nitrogen Assays in Control and Burned Forested sites. *Soil Science Society of America Journal*. 1995. Vol. 59. Iss. 6. P. 1750–1754. <https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900060035x>
21. Ревтьє А. В. Вплив вологості проб та екстрагентів на результати визначення мінерального азоту у ґрунті. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2017. Вип. 22. С. 267–277.

UDC 631.427.22:631.416.1

**Characteristics of the results of determining the mineralization of nitrogen-containing compounds by substantiated biological methods****A. V. Revtie-Uvarova**<sup>1, a, ✉</sup>, **K. B. Novosad**<sup>2, b</sup><sup>1</sup> National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine<sup>2</sup> State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

✉ alina\_rev@meta.ua

ORCID: <sup>a</sup> 0000-0002-6838-5440, <sup>b</sup> 0000-0003-2043-9160

Received 31.03.2026; Revised 07.06.2026; Accepted 08.06.2026; Available online 30.06.2026

**Abstract**

Most biological methods for determining the content of nitrogen potentially available to plants in the soil are based on determining the amount of mineralization products of nitrogen-containing compounds. The article presents the results of determining N-mineralization and nitrification according to DSTU ISO 14238:2003 and soil nitrification capacity according to DSTU 7538:2014. The analysis procedure included parallel composting of typical chernozem (Haplic Chernozem) samples for 7, 12, 14, 21, and 28 days without the addition of a nitrogen-containing substrate and with the addition of (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Based on the results obtained, we propose to distinguish between actual nitrification - based on the content of nitrate nitrogen in the soil at the time of sampling, and potential nitrification - based on the amount of nitrate nitrogen accumulated during composting. For qualitative and quantitative characterization of potential nitrification, it is proposed to differentiate ammonium nitrogen by origin and, based on this, to distinguish nitrification of «exogenous» and «endogenous» ammonium nitrogen. Nitrification of «exogenous» ammonium nitrogen leads to the formation of nitrates through the oxidation by nitrifying bacteria of mineral ammonium-containing compounds (for example, in fertilizers) that are not products of soil processes. Nitrification of «endogenous» ammonium nitrogen characterizes the potential ability of nitrifying bacteria to oxidize ammonium nitrogen, which is a product of mineralization of the organic component of the soil. To assess the potential nitrification of soil, we suggest using the following gradations: very low - less than 5 mg N-NO<sub>3</sub>/kg of soil, low - 6-8, medium - 9-15, high - 16-30, high - 31-60, very high - more than 60 mg N-NO<sub>3</sub>/kg of soil.

**Keywords:** soil nitrogen status; ammonium and nitrate nitrogen; composting; N-mineralization; potential nitrification; actual nitrification.

**Cite:** Revtie-Uvarova, A. V. , & Novosad, K. B. (2026). Characteristics of the results of determining the mineralization of nitrogen-containing compounds by substantiated biological methods. *AgroChemistry and Soil Science*, 100, 73–83. <https://doi.org/10.31073/acss100-06> [in Ukrainian].

This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

**References**

1. Akhtar, K., Ain, N., Prasad, P. V. V., Naz, M., Aslam, M. M., Djalovic, I., ... Wen, R. (2024). Physiological, molecular, and environmental insights into plant nitrogen uptake, and metabolism under abiotic stresses. *The Plant Genome*, 17(2), e20461. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20461>
2. Sun, X., Miao, Q., Gu, Y., Yang, L., & Wang, P. (2025). Research on the physiological mechanisms of nitrogen in alleviating plant drought tolerance. *Plants (Basel)*, 14(18), 2928. <https://doi.org/10.3390/plants14182928>
3. Revtye-Uvarova, A. V., Karatsyuba, A. V., Nikonenko, V. N., & Slidenko, A. I. (2020). *Improved diagnostics of the level of nitrogen supply to the soil using field and laboratory testing methods*. Kharkiv: FLP Brovin O. V. [In Ukrainian].
4. Moore, Jr. P. A., Daniel, T. C., Edwards, D. R., & Miller, D. M. (1995). Effect of chemical amendments on ammonia volatilization from poultry litter. *Journal of Environmental Quality*, 24(2), 293–300. <https://doi.org/10.2134/jeq1995.00472425002400020012x>
5. Pansu, M., & Gautheyrou, J. (2006). Organic forms of nitrogen, mineralizable nitrogen (and carbon). In: *Handbook of Soil Analysis* (pp. 497-547). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-31211-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-540-31211-6_14)
6. Stanford, G., & Smith, S. J. (1972). Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 36(3), 465–472. <https://doi.org/10.2136/sssaj1972.03615995003600030029x>
7. Cardoso, E. G., de Moraes, Sa J. C., Briedis, C., de Oliveira Ferreira, A., Borszowskiej, P. R., Santos J. B., ... Baranek E. J. (2011). Nitrogen dynamics in soil management systems. II – mineralization and nitrification rates. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(5), 1651–1660. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500019>
8. Moya, H., Verdejo, J., Yanez, C., Alvaro, J. E., Sauve, S., & Neaman, A. (2017). Nitrification and nitrogen mineralization in agricultural soils contaminated by copper mining activities in Central Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(1), 205–213. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000016>
9. Wienhold, B. J., (2007). Comparison of laboratory methods and an in situ method for estimating nitrogen mineralization in an irrigated silt-loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38(13–14), 1721–1732. <https://doi.org/10.1080/00103620701435498>
10. Mengel, K. (1991). Available nitrogen in soils and its determination by the «Nmin-method» and by electroultrafiltration (EUF). *Fertilizer Research*, 28, 251–262. <https://doi.org/10.1007/BF01054326>

11. Gale, E. S., Sullivan, D. M., Cogger, C. G., Bary A. I., Hemphill, D. D., & Myhre E. A. (2006). Estimating plant-available nitrogen release from manures, composts, and specialty products. *Journal of Environmental Quality*, 35(6), 2321–2332. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0062>
12. Sullivan, D., Moore, A., Verhoeven, E., & Brewer, L. (2020). Baseline soil nitrogen mineralization: measurement and interpretation : *Technical Report. Oregon State University Extension Service*. <https://extension.oregonstate.edu/sites/extd8/files/documents/em9281.pdf>
13. De Neve, S. (2017). Organic matter mineralization as a source of nitrogen. In: F. Tei, S. Nicola, & P. Benincasa (Eds.) *Advances in Research on Fertilization Management of Vegetable Crops. Advances in Olericulture*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-53626-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-53626-2_3)
14. Reussi Calvo, N. I., Wyngaard, N., Orcellet, J., Sainz Rozas, H. R. & Echeverría, H. E. (2018). Predicting field-apparent nitrogen mineralization from anaerobically incubated nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, 82(2), 502–508. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.11.0395>
15. Krüger, I., Chartin, C., van Wesemael, B., Malchair, S., & Carnol, M. (2017). Integrating biological indicators in a Soil Monitoring Network (SMN) to improve soil quality diagnosis – a case study in Southern Belgium (Wallonia). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 21(3), 219–230. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.13482>
16. Maly, S., Sarapatka, B., & Krskova, M. (2002). Seasonal variability in soil N mineralization and nitrification as influenced by N fertilization. *Plant Soil Environ*, 48(9), 389–396. <https://doi.org/10.17221/4385-PSE>
17. Kowalenko, C. G., & Cameron, D. R. (1976). Nitrogen transformations in an incubated soil as affected by combinations of moisture content and temperature and adsorption-fixation of ammonium. *Canadian Journal of Soil Science*, 56(2), 63–70. <https://doi.org/10.4141/cjss76-010>
18. Nömmik, H. (1957). Fixation and defixation of ammonium in soils. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 7(4), 395–436. <https://doi.org/10.1080/00015125709434240>
19. Mooshammer, M., Wanek, W., Hämmeler, I., Fuchslueger, L., Hofhansl, F., Knoltsch, A., ... Wild, B. (2014). Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon: nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. *Nature Communications*, 5, 3694. <https://doi.org/10.1038/ncomms4694>
20. Knoop, J. D., & Swank, W. T. (1995). Comparison of available soil nitrogen Assays in Control and Burned Forested sites. *Soil Science Society of America Journal*, 59(6), 1750–1754. <https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900060035x>
21. Revtye, A. V. (2017). The influence of sample humidity and extractants on the results of determining mineral nitrogen in soil. *Bulletin of the Central Research Institute of Agricultural Sciences of Kharkiv Region*, 22, 267–277 [In Ukrainian].