

DOI: [https://www.doi.org/10.32636/01308521.2020-\(67\)-1-8](https://www.doi.org/10.32636/01308521.2020-(67)-1-8)

УДК 631.416.1:631.445.25

Ю. М. ОЛІФІР, кандидат сільськогосподарських наук

Т. В. ПАРТИКА, кандидат біологічних наук

О. С. ГАВРИШКО, кандидат сільськогосподарських наук

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

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

81115, e-mail: tyana.partyka@gmail.com

ВПЛИВ ТРИВАЛИХ АНТРОПОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ДИНАМІКУ МІНЕРАЛЬНИХ ФОРМ НІТРОГЕНУ ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕСНОГО ГРУНТУ ПІД ЯЧМЕНЕМ ЯРИМ

Головним чинником еволюції азотного фонду ґрунтів при їх сільськогосподарському використанні є застосування органічних і мінеральних добрив. Під їх впливом змінюється структура співвідношення нітратної та амонійної форм Нітрогену. На сірих лісових ґрунтах з низьким вмістом гумусу загальні запаси азоту не перевищують 4–5 т/га в гумусному горизонті. Через високу кислотність і малосприятливий водно-повітряний режим нітрифікаційна здатність цих ґрунтів є низькою, і сільськогосподарські культури відчувають постійний дефіцит азоту, а тому добре реагують на внесення азотних добрив.

Систематичне сумісне застосування на кислих ясно-сірих лісових поверхнево оглєсних ґрунтах органо-мінеральних систем удобрення з внесенням 10 т/га сівозмінної площі гною, однієї ($N_{65}P_{68}K_{68}$) та півтори норми ($N_{105}P_{101}K_{101}$) мінеральних добрив на фоні застосування 1,0 н $CaCO_3$ за гідролітичною кислотністю найбільшою мірою сприяє підвищенню вмісту нітратного та амонійного азоту протягом усього вегетаційного періоду ячменю ярого (до 68,4–8,17 і 62,4–22,8 мг/кг ґрунту за вмісту на контролі без добрив 10,9–0,88 і 34,3–18,6 мг/кг) внаслідок посилення процесів нітрифікації та амоніфікації.

Тривале застосування на ясно-сірому лісовому поверхнево оглєсному ґрунті лише мінеральної системи удобрення через зростання кислотності (рН сольове становить 4,24) та зниження процесів нітрифікації не сприяє нагромадженню достатньої кількості найдоступнішої форми азоту, а активізує накопичення у ґрунті амонію, який знаходиться у поглинутому стані.

За мінеральних систем удобрення при застосуванні півтори дози мінеральних добрив з внесенням безпосередньо під ячмінь ярий $N_{120}P_{135}K_{135}$ на фоні 1,5 н $CaCO_3$ вміст нітратного азоту становить 56,5 мг/кг, що є майже у 2 рази більше за варіант тривалого внесення у сівозміні лише мінеральних добрив (28,6 мг/кг), що в черговий раз підкреслює виключну роль вапнування в інтенсифікації процесів нітрифікації на кислих ґрунтах, де через зростання кислотності ґрунтового розчину не відбувається нагромадження

достатньої кількості найдоступнішої форми азоту.

Ключові слова: нітрати, амонійний азот, добрива, вапнування, ячмінь ярий, ясно-сірий лісовий поверхнево оглеснений ґрунт.

Olifir Y., Partyka T., Havryshko O. The effect of prolonged anthropogenic pressures on dynamics of nitrogen mineral forms of light gray forest surface-gleyed soil under spring barley

The main factor in the evolution of the nitrogen fund of soils during their agricultural use is application of organic and mineral fertilizers. The structure, the ratio of the nitrate and ammonium forms of nitrogen change under their influence. On gray forest soils with low humus content the total nitrogen reserves in the humus horizon do not exceed 4–5 t/ha. Due to the high acidity and poor water-air regime the nitrification capacity of these soils is low and crops experience a constant nitrogen deficiency and therefore ones respond well to nitrogen fertilizers.

Systematic combined application of organo-mineral fertilizer systems on acidic light gray forest surface-gleyed soils with application of 10 t of manure on hectare of crop rotation area, one (N₆₅P₆₈K₆₈) and one and a half rate (N₁₀₅P₁₀₁K₁₀₁) of mineral fertilizers on the background of application of 1,0 CaCO₃ according to hydrolytic acidity to the most degree contribute to increasing the content of nitrate and ammonium nitrogen throughout the growing season of barley spring (to 68,4–8,17 and 62,4–22,8 mg/kg soil in control without fertilizers 10,9–0,88 and 34,3–18,6 mg/kg) due to increased nitrification and ammonification processes.

Prolonged application of only a mineral fertilizer system on light gray forest surface-gleyed soil does not contribute to the accumulation of the most available form of nitrogen due to the increase in acidity (pH_{KCl} 4,24) and reduction of nitrification processes, but activates accumulation of soil ammonia, which found in absorbate state.

In the case of mineral fertilizer systems, when applying a one-half rate of mineral fertilizers, with application directly under barley spring N₁₂₀P₁₃₅K₁₃₅, with the background of 1,5 n CaCO₃ the content of nitrate nitrogen is 56,5 mg kg, which is almost 2 times more than of variant with prolonged application in crop rotation of only mineral fertilizers (28,6 mg/kg), which once again emphasizes the exclusive role of liming in the intensification of nitrification processes on acidic soils where due to the increase in acidity of the soil solution there is no enough accumulation of the most available form of nitrogen.

Key words: nitrates, ammonium nitrogen, fertilizers, liming, spring barley, light gray forest surface-gleyed soil.

Вступ. Головним чинником еволюції азотного фонду ґрунтів при їх сільськогосподарському використанні є застосування органічних і мінеральних добрив. Під їх впливом змінюється співвідношення нітратної та амонійної форм Нітрогену. Мінеральні добрива сприяють накопиченню “екстра”-азоту, який додатково включається в процеси трансформації рухомих форм Нітрогену, впливає на використання його рослинами [6, 9, 13].

Забезпеченість сільськогосподарських культур азотом залежить не стільки від загального вмісту в ґрунті, скільки від наявності його мінеральних форм – нітратів та обмінного амонію, кількість яких становить близько 1 % загального вмісту Нітрогену. Решта азоту міститься у складі органічних, гумусових, білкових та інших сполук (94–95 %) або у формі необмінно-фіксованого глинистими мінералами амонію (3–5 %), який майже недоступний або важкодоступний для засвоєння рослинами [3, 31]. Серед мінеральних сполук Нітрогену головне значення у живленні рослин мають нітратний та амонійний азот ґрунтового розчину або колоїдів. Ці сполуки динамічні в часі, легкорухомі, легкокорозинні й легкодоступні [24]. Сумарний вміст нітратного й амонійного азоту є діагностичним критерієм наявності в ґрунті доступного Нітрогену [12]. Тому для оцінки забезпеченості рослин азотом головну роль відіграє кількість у ґрунті рухомих його сполук. Саме систематичні спостереження за динамікою сполук азоту в процесі росту і розвитку сільськогосподарських культур дають змогу встановлювати або коригувати дози внесення азотних добрив.

Вивчення та оптимізація поживного азотного режиму ґрунту як одного з провідних чинників формування органічної речовини ґрунту сприяє більш повному розкриттю генетичного потенціалу продуктивності рослин, тим самим забезпечуючи можливість підвищення ефективності вирощування шляхом отримання стабільно високих врожаїв сільськогосподарських культур [8].

В останні роки азотних добрив вносять недостатньо (до 39 кг/га), що веде до порушення балансу азоту в землеробстві і формування його від'ємного сальдо до 30–40 кг/га. Таке становище призводить до погіршення азотного режиму ґрунтів і до зниження врожайності сільськогосподарських культур [11].

На сірих лісових ґрунтах з низьким вмістом гумусу загальні запаси азоту не перевищують 4–5 т/га в гумусному горизонті. Через високу кислотність і малосприятливий водно-повітряний режим нітрифікаційна здатність цих ґрунтів є низькою, і сільськогосподарські культури відчувають постійний дефіцит Нітрогену, а тому добре реагують на внесення азотних добрив.

Серед елементів живлення рослин азот є найменш хімічно стабільним, він легко переходить із однієї форми в іншу під впливом мінливих умов зовнішнього середовища [23]. За даними J. Penuelas et al. [20], щороку із добривами в ґрунт вноситься до 118 Тг N. Окрім цього, спричинена людиною біологічна фіксація атмосферного Нітрогену за рахунок вирощування бобових культур і рису сягає 65 Тг на рік. І лише 22 % з цих антропогенних надходжень фіксується в

грунті чи біомасі рослин, тоді як 35 % потрапляє в океани. Разом із вимиванням нітратного азоту за межі орного шару ґрунту внаслідок надмірного зволоження можливі його втрати і при денітрифікації [14, 22, 28, 30].

Матеріали і методи. Дослідження впливу тривалого застосування різних систем удобрення і періодичного вапнування на формування та зміну азотних сполук ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту виконували у стаціонарному досліді, занесеному в Реєстр довгострокових польових дослідів НААН (атестат реєстрації НААН № 29), закладеному в 1965 р. на дослідному полі сектору агрохімії відділу землеробства та відтворення родючості ґрунтів Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН.

Ґрунт дослідної ділянки – ясно-сірий лісовий поверхнево оглеєний грубопильовато-легкосуглинковий на лесоподібних відкладах, орний шар (0–20 см) якого на час закладки досліді характеризувався такими усередненими вихідними показниками родючості: pH_{KCl} – 4,2, гідролітична кислотність (за Каппеном) – 4,5 мг-екв/100 г ґрунту, обмінна (за Соколовим) – 0,6 мг-екв/100 г ґрунту, вміст рухомого алюмінію (за Соколовим) – 60,0 мг/кг, доступного фосфору (за Кірсановим) і обмінного калію (за Масловою) – відповідно 36,0 і 50,0 мг/кг ґрунту.

Стаціонарний дослід розміщений у просторі на трьох полях, варіанти знаходяться у триразовому повторенні. Розмір посівної ділянки – 168 м², облікової – 100 м². Сівозміна чотирипільна із таким чергуванням культур: кукурудза на силос, ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної, конюшина лучна, пшениця озима.

Дослідження проводили у варіантах: без внесення добрив (контроль, вар. 1); вапнування 1,0 н СаСО₃ за Нг (вар. 2); гній, 10 т/га (вар. 3); 1,0 н СаСО₃ + 10 т/га гною (вар. 4); 0,5 н СаСО₃ + 10 т/га гною + NPK (вар. 6); 1,0 н СаСО₃ + 10 т/га гною + NPK (вар. 7); 1,0 н СаСО₃ + 10 т/га гною + 1,5 NPK (вар. 12); 1,5 н СаСО₃ + 15 т/га гною + 0,5 н NPK (вар. 13); NPK (вар. 15); 1,5 н СаСО₃ + 1,5 NPK (вар. 17).

У досліді застосовували середньоперепрілий гній ВРХ на солом'яній підстильці, аміачну селітру (34 %), гранульований суперфосфат (19,5 %), калійну сіль (40 %), в останні роки – нітроамофоску (17 %). Як вапнякові матеріали використовували вапнякове борошно (93,5 % СаСО₃). Черговий тур вапнування проводили перед початком ІХ ротації сівозміни (під кукурудзу на силос). Гній (40–60 т/га) вносили під кукурудзу на силос, фосфорно-калійні добрива – восени, а азотні – під передпосівну культивуацію.

Обробіток ґрунту і догляд за посівами – загальноприйнятий для умов зони.

Зразки ґрунту відбирали та готували до аналізів згідно з ДСТУ ISO 11464-2001. Агрохімічні та фізико-хімічні показники ґрунту визначали за такими методиками: вміст нітратів – потенціометричним методом (ДСТУ 4729:2007), амонійного азоту – фотоколориметричним методом за допомогою реактиву Несслера в модифікації ННЦ ПА імені О. Н. Соколовського (ДСТУ 4729:2007), рН сольової витяжки – потенціометричним методом (ДСТУ ISO 10390-2001), гідролітичну кислотність – за Каппеном у модифікації ЦІНАО (ДСТУ 7537:2014), вміст рухомого алюмінію – за Соколовим (ГОСТ 26485-85) [1, 7].

Результати та обговорення. Дослідження динаміки різних форм азоту ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту проводили впродовж X ротації сівозміни (2018–2019 рр.) під час вегетації ячменю ярого, а саме: у фази кущення, виходу в трубку, цвітіння та повної стиглості в орному (0–20 см) шарі ґрунту.

Проведені дослідження показали, що залежно від рівнів удобрення та вапнування вміст мінеральних форм азоту під час вегетації ячменю ярого в орному шарі ґрунту був різним (рис. 1).

Дослідженнями встановлено, що найбільш інтенсивне нагромадження нітратів під час вегетації ячменю ярого (68,4 мг/кг) відзначено в орному шарі ґрунту у фазі кущення за органо-мінеральної системи удобрення з внесенням на гектар сівозмінної площі 10 т гною, півтори норми NPK на фоні вапнування 1,0 н CaCO_3 за Нг та безпосередньо під ячмінь $\text{N}_{120}\text{P}_{135}\text{K}_{135}$ (вар. 12). За органо-мінеральних систем удобрення за умови систематичного сумісного внесення у сівозміні 10 т/га гною, однієї норми мінеральних добрив ($\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$) на фоні 1,0 (вар. 7) і 0,5 н вапна (вар. 6) вміст нітратів є нижчим і становить під ячменем ярим відповідно 62,8 і 47,7 мг/кг ґрунту. Такі ж тенденції накопичення нітратів у ґрунті ми відзначили у попередніх дослідженнях динаміки азоту під посівами кукурудзи на силос [5].

За мінеральних систем удобрення при застосуванні півтори дози мінеральних добрив з внесенням під ячмінь ярий $\text{N}_{120}\text{P}_{135}\text{K}_{135}$ на фоні 1,5 н CaCO_3 (вар. 17) вміст NO_3^- становить 56,5 мг/кг, що майже у 2 рази більше за варіант тривалого внесення у сівозміні лише мінеральних добрив (28,6 мг/кг). Довготривале внесення мінеральних добрив веде до значного підкислення ґрунту [21, 26, 29], що в свою чергу впливає на природні та антропогенні екосистеми [15]. Це в черговий раз підкреслює виключну роль вапнування в інтенсифікації процесів нітрифікації на кислих ґрунтах [16], у яких зростання

кислотності ґрунтового розчину не сприяє нагромадженню достатньої кількості найдоступнішої форми азоту.

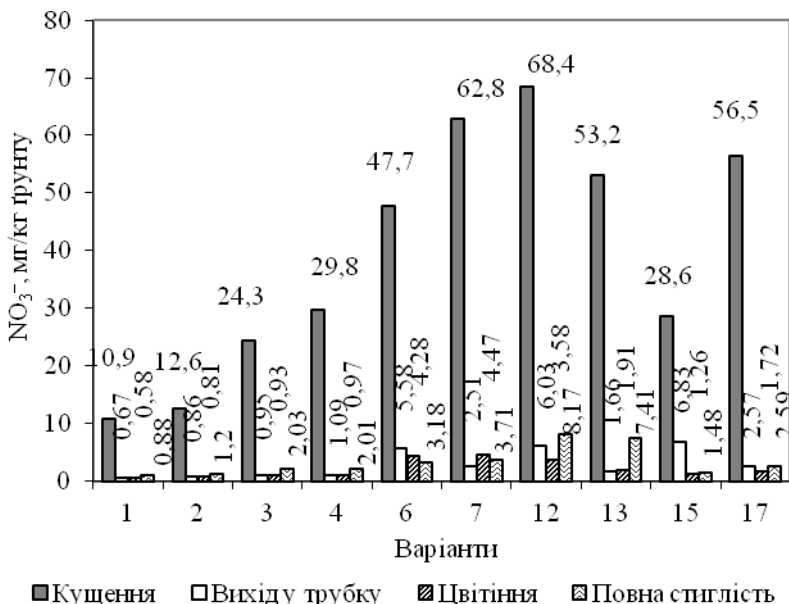


Рис. 1. Динаміка нітратів (NO_3^-) орного шару ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під ячменем ярим залежно від рівнів удобрення і вапнування

Органічна система удобрення з внесенням під кукурудзу на силос (попередника ячменю ярого) 40 т/га гною на фоні 1,0 н вапна (вар. 4) підвищує вміст найбільш доступних нітратних форм азоту до 29,8 мг/кг ґрунту. При цьому рівень NO_3^- на контрольному варіанті без добрив (вар. 1) сягає лише 10,6 мг/кг ґрунту. При роздільному застосуванні органічних добрив (вар. 3) та вапна (вар. 2) вміст нітратів знижується та становить відповідно 24,3 і 12,6 мг/кг ґрунту. Невисокі значення нітратного азоту в ґрунті при застосуванні лише гною пояснюються тим, що цей азот зберігається у органічній формі, гірше мінералізується і повільніше переходить у ґрунтовий розчин на відміну від азоту мінеральних добрив, де він знаходиться у розчинній формі [17]. Вапнування ясно-сірого лісового ґрунту значно поліпшує реакцію ґрунтового розчину, внаслідок чого зростає чисельність бактерій-амоніфікаторів та нітрифікаторів, і тому вміст рухомих

мінеральних сполук вищий у цих умовах, ніж на контролі, де інтенсивність нітрифікації низька.

Щодо подальших змін нітратного азоту за фазами вегетації ячменю ярого, то у фазі виходу в трубку вміст NO_3^- знизився на всіх досліджуваних варіантах. Його високий показник (6,03 мг/кг) у ґрунті відзначено за органо-мінеральної системи удобрення з внесенням півтори норми NPK на фоні вапнування (вар. 12). При застосуванні одинарної норми на тому ж фоні (вар. 7) вміст нітратів знизився до 2,51 мг/кг.

За тривалого внесення лише мінеральних добрив (вар. 15) кількість NO_3^- у фазі виходу в трубку є найвищою – 6,83 мг/кг ґрунту при її значенні на контрольному варіанті без добрив лише 0,67 мг/кг. Однак слід зазначити, що в ґрунті контролю рН сольове становить 4,06 одиниці, гідролітична кислотність – 5,03 мг-екв/100 г ґрунту, вміст рухомого алюмінію – 75,0 мг/кг ґрунту. За умов зниження кислотності під впливом високих доз мінеральних добрив рослини не можуть засвоювати доступні сполуки азоту, відбувається зростання мінералізаційних процесів, що є екологічно небезпечним та призводить до деградаційних процесів в ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах. Використання мінеральної системи було ефективним лише на фоні вапнування. Так, при внесенні півтори дози мінеральних добрив (під ячмінь ярий $\text{N}_{120}\text{P}_{135}\text{K}_{135}$) на фоні 1,5 н CaCO_3 (вар. 17) вміст нітратів під час інтенсивного росту і розвитку рослин знижується до 2,57 мг/кг ґрунту.

Щодо вмісту нітратного азоту у фазі цвітіння та повної стиглості, то слід зазначити, що у варіантах контролю, вапнування та органічної системи удобрення вміст сполук Нітрогену є на достатньо низькому рівні – 0,58–2,03 мг/кг ґрунту. Найбільш інтенсивне нагромадження нітратів у ґрунті під ячменем ярим спостерігали у варіантах органо-мінерального удобрення з внесенням у сівозміні один раз за ротацію 40 т/га гною. При цьому вміст NO_3^- у фазі цвітіння становив 3,58–4,47 мг/кг, а у фазі повної стиглості – 3,18–8,17 мг/кг ґрунту. За цієї системи удобрення з внесенням у сівозміні 60 т/га гною і половинної норми мінеральних добрив ($\text{N}_{30}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$) (вар. 13) кількість нітратів була дещо нижча і становила у фазі цвітіння і повної стиглості відповідно 1,91 і 7,41 мг/кг ґрунту (рис. 1).

У варіантах мінеральної системи удобрення як на фоні вапнування (вар. 17), так і без нього (вар. 15) вміст нітратів в орному шарі ґрунту у фазі цвітіння та повної стиглості був дещо нижчим і становив відповідно 1,72–2,59 і 1,26–1,48 мг/кг ґрунту. Таку ж тенденцію до нижчого накопичення нітратів у орному шарі ґрунту за

внесення лише мінеральних добрив порівняно із органо-мінеральною системою незалежно від дози внесення азоту відзначено і для ґрунтів Люблінського воєводства Польщі [18].

У польових умовах роль аміаку та нітратів у живленні рослин далеко не однакова. У ґрунтах помірної зони серед мінеральних форм азоту зазвичай переважає амонійний [25]. Цінність ґрунтового поглинутого амонію як джерела азоту менша, і наявність досить значної його кількості в ґрунті ще не означає доброї забезпеченості рослин цим елементом живлення. Відомо, що на ґрунтах із середнім та важким гранулометричним складом і нейтральною реакцією рослини краще використовують амонійну форму азоту [10]. Хоча слід зазначити, що вона порівняно з нітратною є менш доступною для рослин, особливо на кислих ґрунтах.

Проведеними дослідженнями встановлено, що у ґрунті під ячменем ярим залежно від норм внесених добрив у сівозміні порізнному складається забезпеченість рослин амонійним азотом. Найбільш інтенсивне нагромадження амонійного азоту в ґрунті під ячменем ярим спостерігали у варіантах органо-мінерального удобрення на фоні вапнування 1,0 н CaCO_3 з внесенням безпосередньо під ячмінь ярій мінеральних добрив у дозі $\text{N}_{120}\text{P}_{135}\text{K}_{135}$ (вар. 12) та $\text{N}_{70}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ (вар. 7). При цьому вміст амонійного азоту у фазі кушення становив відповідно 62,4 і 60,7 мг/кг ґрунту. За органо-мінерального удобрення на фоні вапнування 0,5 н CaCO_3 показник амонійного азоту знижувався до 57,2 за вмісту на контрольному варіанті 34,3 мг/кг ґрунту (рис. 2).

У варіанті застосування мінеральних систем удобрення найвищий вміст амонійного азоту в орному шарі ґрунту (59,0 мг/кг ґрунту) відзначено за внесення під ячмінь ярій $\text{N}_{120}\text{P}_{135}\text{K}_{135}$ на фоні вапнування 1,5 н за гідролітичною кислотністю. Високе забезпечення амонійним азотом (50,7 мг/кг ґрунту) спостерігали при внесенні протягом більше 50 років лише мінеральних добрив. Проте слід зазначити, що при односторонньому тривалому застосуванні подвійної дози мінеральних добрив на кислому ясно-сірому лісовому поверхнево оглееному ґрунті поряд із накопиченням сполук азоту зростали кислотність і вміст рухомого алюмінію, що призводило до блокування активності ферментних систем, зниження процесів поглинання та трансформації поживних речовин, і, як наслідок, врожай зерна ячменю ярого був на рівні контролю без добрив. Такі ж процеси зниження ґрунтового рН, накопичення обмінного алюмінію, зменшення суми обмінних основ (Ca^{2+} і Mg^{2+}) за довготривалого внесення різних форм азотних добрив відзначають й інші автори [2, 4, 19, 27].

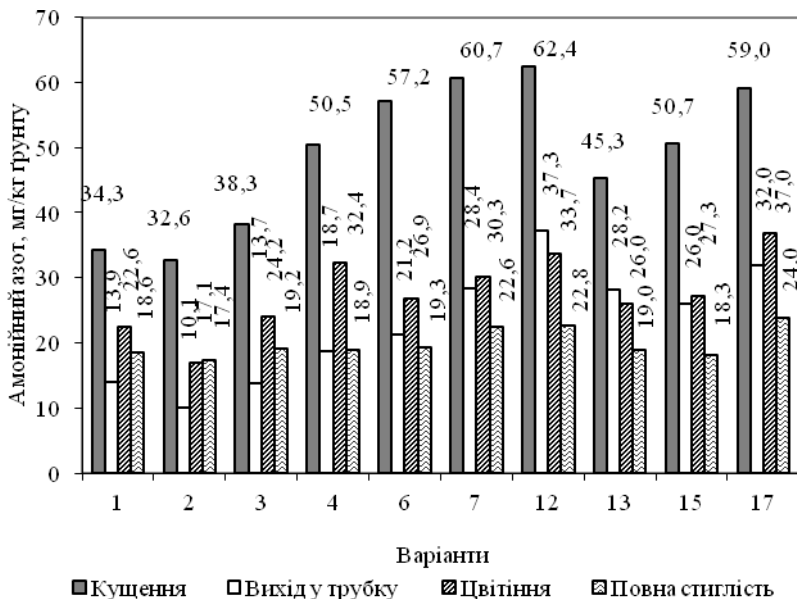


Рис. 2. Динаміка амонійного азоту ($N-NH_4^+$) орного шару ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під ячменем ярим залежно від рівнів удобрення і вапнування

На варіантах контролю без добрив, проведення вапнування та внесення лише гною вміст амонійного азоту є найнижчим і становить у фазі кущення рослин ячменю ярого 32,6–38,3 мг/кг ґрунту. За цих систем удобрення на кінець вегетації ячменю ярого у фазі повної стиглості рівень згаданого показника також залишається найнижчим і становить відповідно 18,6; 17,4 і 19,2 мг/кг ґрунту. В цілому у варіантах досліду вміст амонійного азоту змінювався адекватно кількості внесених добрив.

У міру росту та розвитку рослин ячменю ярого спостерігали зменшення вмісту амонійного азоту в орному шарі ґрунту в усіх варіантах досліду, хоча у фазі цвітіння відзначено незначне його підвищення, а потім у фазі повної стиглості зниження внаслідок поглинання його рослинами. Так, якщо за сумісного застосування однієї норми мінеральних добрив, 10 т/га гною і 1,0 н вапна у фазі кущення вміст амонійного азоту становив 60,7, у фазі виходу в трубку – 28,4, то наприкінці вегетації у фазі повної стиглості – 22,6 мг/кг ґрунту.

Висновки. Систематичне сумісне застосування на кислих ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах органічно-мінеральних систем удобрення з внесенням 10 т/га сівозмінної площі гною, однієї ($N_{65}P_{68}K_{68}$) та півтори норми ($N_{105}P_{101}K_{101}$) мінеральних добрив на фоні застосування $1,0$ н $CaCO_3$ за гідролітичною кислотністю найбільшою мірою сприяє підвищенню вмісту нітратного та амонійного азоту протягом усього вегетаційного періоду ячменю ярого (до 68,4–8,17 і 62,4–22,8 мг/кг ґрунту за вмісту на контролі без добрив 10,9–0,88 і 34,3–18,6 мг/кг) внаслідок посилення процесів нітрифікації та амоніфікації.

Тривале застосування на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті лише мінеральної системи удобрення через зростання кислотності (рН сольове становить 4,24) та зниження процесів нітрифікації не сприяє нагромадженню достатньої кількості найдоступнішої форми азоту, а активізує накопичення у ґрунті амонію, який знаходиться у поглинутому стані.

Список використаної літератури

1. Аринушкіна Е. В. Руководство по химическому анализу почв. Москва : Издательство МГУ, 1970. 488 с.
2. Вплив добрив у сівозміні на родючість ґрунту і продуктивність культур / С. Е. Дегодюк та ін. *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН»*. 2010. Вип. 4. С. 3–10.
3. Господаренко Г. М. Агрохімія : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2013. 406 с.
4. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Трансформація кислотностно-основних властивостей ґрунту за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 1. С. 8–12.
5. Динаміка азотного режиму ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під кукурудзою залежно від тривалого удобрення і періодичного вапнування / Ю. М. Оліфір та ін. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2013. Вип. 55 (1). С. 91–99.
6. Зинковская Т. С. Коэффициент использования азота удобрений озимой рожью и ячменем на дерново-подзолистой

References

1. Arinushkina E. V. Guide on chemical soil analysis. Moscow : Izdatel'stvo MGU, 1970. 488 p.
2. Effect of fertilizers in crop rotation on soil fertility and crop productivity / S. E. Dehodiuk et al. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho naukovoho tsentru «Instytut zemlerobstva NAAN»*. 2010. Issue 4. P. 3–10.
3. Hospodarenko H. M. Agrarian chemistry : textbook. Kyiv : Ahrarna osvita, 2013. 406 p.
4. Hospodarenko H. M., Prokopchuk I. V. Transformation of acid-base soil properties with long-term use of fertilizers in field crop rotation. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 2014. No 1. P. 8–12.
5. Dynamics of the nitrogen regime of light gray forest surface-glued soil under maize depending on long-term fertilization and periodic liming / Yu. M. Olifir et al. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarymytstvo*. 2013. Issue 55 (1). P. 91–99.
6. Zinkovskaja T. S. Coefficient of nitrogen utilization of fertilizers by winter rye and barley on sod-podzolic drained soil. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2015. Issue 3 (34), part 2. P. 20–

- осушаемой почве. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. Вып. 3 (34), ч. 2. С. 20–21.
7. Кирильчук А. А., Бонішко О. С. Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 354 с.
8. Колос М. О. Дослідження азотного режиму та гумусового стану чорноземів звичайних залежно від технологій обробітку ґрунту. *Scientific Journal «Science Rise»*. 2017. № 12 (41). С. 26–29.
9. Котвицький Б. Б. Екстра-азот і калій у дерново-підзолистих ґрунтах Західного Полісся України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2013. Вип. 80. С. 44–48.
10. Марчук І. У. Проблеми азоту в землеробстві. *Пропозиція*. 2010. № 1. С. 62–68.
11. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / С. А. Балюк та ін. Київ : ВИК-ПРИНТ, 2010. 111 с.
12. Новоселов С. И., Завалин А. А. Экспресс-метод определения нитратного азота в почве. *Агрохимия*. 1996. № 6. С. 96–102.
13. Носко Б. С. Азотний режим ґрунтів і його трансформація в агроecosистемах. Харків : Миськдрук, 2013. 130 с.
14. Термодинамічні принципи збереження амонійного азоту в ґрунтовому середовищі дерново-підзолистого ґрунту / Н. Ф. Чешко та ін. *Елементи регуляції в рослинництві* : зб. наук. пр. / за ред. В. П. Кухаря. Київ : ВП «Компас», 1998. С. 106–115.
15. A meta-analysis of the effects of nitrogen additions on base cations: Implications for plants, soils, and streams / R. W. Lucas et al. *Forest Ecology Manage.* 2011. Vol. 262. P. 95–104.
16. Comparison of lime- and biochar-mediated pH changes in nitrification and ammonia oxidizers in degraded acid soil / N. Teutscherova et al. *Biology and Fertility of Soils*. 2017. Vol. 53 (7). P. 811–821. DOI: 10.1007/s00374-017-1222-0.
17. Diacono M., Montemurro F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2010. Vol. 30 (2). P. 401–422.
18. Dresler S., Bednarek W., Tkaczyk P. Nitrate nitrogen in the soils of
- 21.
7. Kyrylchuk A. A., Bonishko O. S. Soil chemistry. Theory fundamentals and practicum. Lviv : LNU imeni Ivana Franka, 2011. 354 p.
8. Kolos M. O. Research of nitrogen regime and humus state of black soils depending on soil tillage technologies. *Scientific Journal «Science Rise»*. 2017. No 12 (41). P. 26–29.
9. Kotvytskyi B. B. Extra-nitrogen and potassium in the sod-podzolic soils of western Polissia of Ukraine. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. 2013. Issue 80. P. 44–48.
10. Marchuk I. U. Problems of nitrogen in agriculture. *Propozytsiia*. 2010. No 1. P. 62–68.
11. National report on soil fertility in Ukraine / S. A. Baliuk et al. Kyiv : VYK-PRYNT, 2010. 111 p.
12. Novoselov S. I., Zavalin A. A. Express method for the determination of nitrate nitrogen in the soil. *Agrohimija*. 1996. No 6. P. 96–102.
13. Nosko B. S. Soil nitrogen regime and its transformation in agroecosystems. Kharkiv : Miskdruk, 2013. 130 p.
14. Thermodynamic principles of the conservation of ammonia nitrogen in the soil environment of sod-podzolic soil / N. F. Cheshko et al. *Elementy rehuliatcii v roslinnystvii* : zb. nauk. pr. / ed. by V. P. Kukhar. Kyiv : VP «Kompas», 1998. P. 106–115.
15. A meta-analysis of the effects of nitrogen additions on base cations: Implications for plants, soils, and streams / R. W. Lucas et al. *Forest Ecology Manage.* 2011. Vol. 262. P. 95–104.
16. Comparison of lime- and biochar-mediated pH changes in nitrification and ammonia oxidizers in degraded acid soil / N. Teutscherova et al. *Biology and Fertility of Soils*. 2017. Vol. 53 (7). P. 811–821. DOI: 10.1007/s00374-017-1222-0.
17. Diacono M., Montemurro F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2010. Vol. 30 (2). P. 401–422.
18. Dresler S., Bednarek W., Tkaczyk P. Nitrate nitrogen in the soils of

18. Dresler S., Bednarek W., Tkaczyk P. Nitrate nitrogen in the soils of eastern Poland as influenced by type of crop, nitrogen fertilisation and various organic fertilizers. *Journal of Central European Agriculture*. 2011. № 12 (2). P. 367–379. DOI: 10.5513/JCEA01/12.2.924.
19. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin / P. Barak et al. *Plant and Soil*. 1997. Vol. 197 (1). P. 61–69. DOI: 10.1023/A:1004297607070.
20. Human-induced nitrogen-phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe / J. Penuelas et al. *Nat. Commun.* 2013. Vol. 4. No 2934. DOI: 10.1038/ncomms3934.
21. Martyniuk S., Pikula D., Koziel M. Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. No 1879. DOI: 10.1038/s41598-018-37087-4.
22. Nitrogen-climate interactions in US agriculture / G. P. Robertson et al. *Biogeochemistry*. 2013. Vol. 114. P. 41–70. DOI: 10.1007/s10533-012-9802-4.
23. Norton J., Ouyang Y. Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils. *Front. Microbiol.* 2019. Vol. 10. No 1931. DOI: 10.3389/fmicb.2019.01931.
24. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms – A review / D. Geisseler et al. *Soil Biology & Biochemistry*. 2010. Vol. 42 (12). P. 2058–2067. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.08.021.
25. Sadej W., Przekwas K. Fluctuations of nitrogen levels in soil profile under conditions of a long-term fertilization experiment. *Plant, Soil and Environment*. 2008. Vol. 54 (5). P. 197–203. DOI: 10.17221/394-PSE.
26. Significant acidification in major Chinese croplands / J. H. Guo et al. *Science*. 2010. Vol. 327. P. 1008–1010. DOI: 10.1126/science.1182570.
27. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat / J. L. Schroder et al. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2011. Vol. 75. P. 956–961. DOI: 10.2136/sssaj2010.0187.
28. The global nitrogen cycle in the eastern Poland as influenced by type of crop, nitrogen fertilisation and various organic fertilizers. *Journal of Central European Agriculture*. 2011. No 12 (2). P. 367–379. DOI: 10.5513/JCEA01/12.2.924.
19. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin / P. Barak et al. *Plant and Soil*. 1997. Vol. 197 (1). P. 61–69. DOI: 10.1023/A:1004297607070.
20. Human-induced nitrogen-phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe / J. Penuelas et al. *Nat. Commun.* 2013. Vol. 4. No 2934. DOI: 10.1038/ncomms3934.
21. Martyniuk S., Pikula D., Koziel M. Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. No 1879. DOI: 10.1038/s41598-018-37087-4.
22. Nitrogen-climate interactions in US agriculture / G. P. Robertson et al. *Biogeochemistry*. 2013. Vol. 114. P. 41–70. DOI: 10.1007/s10533-012-9802-4.
23. Norton J., Ouyang Y. Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils. *Front. Microbiol.* 2019. Vol. 10. No 1931. DOI: 10.3389/fmicb.2019.01931.
24. Pathways of nitrogen utilization by soil microorganisms – A review / D. Geisseler et al. *Soil Biology & Biochemistry*. 2010. Vol. 42 (12). P. 2058–2067. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.08.021.
25. Sadej W., Przekwas K. Fluctuations of nitrogen levels in soil profile under conditions of a long-term fertilization experiment. *Plant, Soil and Environment*. 2008. Vol. 54 (5). P. 197–203. DOI: 10.17221/394-PSE.
26. Significant acidification in major Chinese croplands / J. H. Guo et al. *Science*. 2010. Vol. 327. P. 1008–1010. DOI: 10.1126/science.1182570.
27. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat / J. L. Schroder et al. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2011. Vol. 75. P. 956–961. DOI: 10.2136/sssaj2010.0187.
28. The global nitrogen cycle in the

28. The global nitrogen cycle in the twenty-first century / D. Fowler et al. *Philos. Trans. R. Soc. B. Biol. Sci.* 2013. Vol. 368. No 20130164. DOI: 10.1098/rstb.2013.0164.

29. Tian D. S., Niu S. L. A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition. *Environmental Research Letters*. 2015. Vol. 10 (2). No 024019. DOI: 10.1088/1748-9326/10/2/024019.

30. US agricultural nitrous oxide emissions: context, status, and trends / M. A. Cavigelli et al. *Front. Ecol. Environ.* 2012. Vol. 10. P. 537–546.

31. Xu G. H., Fan X. R., Miller A. J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*. 2012. Vol. 63. P. 153–182.

twenty-first century / D. Fowler et al. *Philos. Trans. R. Soc. B. Biol. Sci.* 2013. Vol. 368. No 20130164. DOI: 10.1098/rstb.2013.0164.

29. Tian D. S., Niu S. L. A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition. *Environmental Research Letters*. 2015. Vol. 10 (2). No 024019. DOI: 10.1088/1748-9326/10/2/024019.

30. US agricultural nitrous oxide emissions: context, status, and trends / M. A. Cavigelli et al. *Front. Ecol. Environ.* 2012. Vol. 10. P. 537–546.

31. Xu G. H., Fan X. R., Miller A. J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*. 2012. Vol. 63. P. 153–182.

Отримано 02.01.2020