УДК 631.416.1:631.445.25

ДИНАМІКА МІНЕРАЛЬНИХ ФОРМ НІТРОГЕНУ ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕСНОГО ҐРУНТУ ЗА ТРИВАЛОГО АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

Т. Партика¹, к. б. н.

ORCID ID: 0000-0001-7912-5292

Ю. Оліфір¹, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-7920-1854,

О. Гавришко¹, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-5458-0691,

І. Турчак², провідний фахівець

ORCID ID: 0000-0001-8757-7045,

¹Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН²Львівська філія ДУ «Держґрунтохорона»<https://doi.org/10.31734/agronomy2020.01.045>

Партика Т., Оліфір Ю., Гавришко О., Турчак І. Динаміка мінеральних форм Нітрогену ясно-сірого лісового поверхнево оглесного ґрунту за тривалого антропогенного впливу

Висвітлено результати, одержані в класичному стаціонарному досліді, щодо впливу тривалого застосування різних систем удобрення і періодичного вапнування на динаміку мінеральних форм Нітрогену ясно-сірого лісового поверхнево оглесного ґрунту під пшеницею озимою. Ефективність використання азоту добрив в агроекосистемах залишається досить низькою. Лише близько 50 % цього елемента використовується для формування врожаю сільськогосподарських культур протягом вегетаційного періоду. Незасвоєний Нітроген створює ризик забруднення навколишнього середовища. Саме вміст мінерального азоту у ґрунті є одним із найважливіших чинників, від яких залежать як високі врожаї сільськогосподарських культур, так і потенційний ризик забруднення довкілля.

Проведені дослідження показали, що протягом усього вегетаційного періоду під пшеницею озимою вміст нітратного та амонійного азоту в ясно-сірому лісовому поверхнево оглесному ґрунті без внесення добрив становив відповідно 0,74–0,12 і 31,0–12,1 мг/кг. Органо-мінеральна система удобрення з внесенням гною 10 т/га сівозмінної площі, однієї норми (N₆₅P₆₈K₆₈) мінеральних добрив на фоні внесення 1,0 н CaCO₃ за гідролітичною кислотністю забезпечує менше накопичення нітратного азоту (1,77–0,35 мг/кг), ніж ця сама система й півтори норми (N₁₀₅P₁₀₁K₁₀₁) мінеральних добрив (3,21–0,64 мг/кг), а отже, менший ризик несприятливого впливу на екосистему. Тривале застосування повної дози мінеральних добрив без вапнування та органічного удобрення сприяє на 25 % більшому накопиченню N-NO₃ у ґрунті порівняно з орґано-мінеральною системою удобрення. Однак через зростання кислотності ґрунтової витяжки (рН сольове становить 4,24) під впливом високих доз мінеральних добрив рослини не спроможні засвоювати доступні сполуки азоту, внаслідок чого відбувається наростання мінералізаційних процесів, що є екологічно небезпечним і призводить до розвитку деградаційних процесів в ясно-сірих лісових поверхнево оглесених ґрунтах.

Ключові слова: нітратний азот, амонійний азот, ясно-сірі лісові поверхнево оглесні ґрунти, мінеральні добрива, гній, вапно, озима пшениця.

Partyka T., Olifir Yu., Havryshko O., Turchak I. Dynamics of mineral forms of nitrogen of light gray forest surface-gleyed soil under long-time anthropogenic impact

The article presents results of the researches, obtained in the classical stationary experiment, concerning the influence of long-term application of different fertilization systems and periodic liming on the dynamics of mineral forms of nitrogen in light gray forest surface-gleyed soil under winter wheat. The nitrogen fertilizer efficiency in agroecosystems remains low. Only about 50 % of nitrogen is used for crop production during the growing season. The undigested nitrogen poses a risk of environmental pollution. The content of mineral nitrogen in the soil is one of the most important factors influencing both high crop yields and the potential risk of environmental pollution.

The studies have shown that during the whole growing season under winter wheat, the content of nitrate and ammonium nitrogen in light gray forest surface-charred soil without fertilizer was 0.74–0.12 and 31.0–12.1 mg/kg respectively. The organic-mineral fertilizer system, with application of 10 t of manure on 1 ha of rotation of area, one norm (N₆₅P₆₈K₆₈) of mineral fertilizers with the background of application of 1,0 n CaCO₃ according to hydrolytic acidity provides less accumulation of nitrate nitrogen (1.77–0.35 mg/kg) than the same system with applying one and a half norm (N₁₀₅P₁₀₁K₁₀₁) of mineral fertilizers (3.21–0.64 mg/kg), and therefore less risk of adverse impact on the ecosystem. The

long-term use of a full norm of mineral fertilizers without liming and organic fertilizer contributes to the 25 % increase in N-NO_3 accumulation in the soil, as compared to the organic-mineral fertilizer system. However, due to the increase of the acidity of soil extract (pH_{KCl} 4.24) under the influence of high doses of mineral fertilizers, the plants cannot absorb the available nitrogen compounds. It leads to an increase in mineralization processes, which is environmentally dangerous and can cause development of the degradation processes in light gray forest surface-gleyed soil.

Key words: nitrate nitrogen, lime, ammonium nitrogen, light-gray forest surface-gleyed soils, mineral fertilizers, manure, winter wheat.

Постановка проблеми. Діяльність людини різко змінила глобальний цикл Нітрогену за рахунок збільшення кількості хімічно активного N у біосфері. Це насамперед відбувається за рахунок використання мінеральних добрив, функціонування галузі тваринництва, а також фіксації азоту сільськогосподарськими культурами. Внаслідок цього антропогенні надходження Нітрогену в наземних екосистемах перевищили природні [5; 16].

Мінеральні добрива є одним з основних чинників, що негативно впливають на стан агроєкосистем, однак забезпечення продуктами харчування майже половини людства від початку XXI століття залежало від використання азотних добрив [10]. За рахунок промислового процесу Габера-Боша, що дає змогу синтезувати аміак з атмосферного Нітрогену, у 2010 році антропогенна фіксація азоту удвічі перевищила природну ($120 \text{ Tg N рік}^{-1}$ проти 63 Tg N рік^{-1}) [16].

Водночас ефективність використання азоту добрив у агроєкосистемах залишається досить низькою. Лише близько 50 % N добрив використовується для формування врожаю сільськогосподарських культур протягом вегетаційного періоду. Незасвоєний Нітроген створює ризик забруднення навколишнього середовища. Тенденції в сучасному аграрному виробництві, зокрема мало-різноманітні сівозміни, осушення сільськогосподарських ґрунтів, можуть призвести до ще більшого вимивання N із ґрунтів у поверхневі та ґрунтові води [12]. Тому точна діагностика азотного ґрунтового режиму необхідна для зниження непродуктивних витрат азотних добрив та зменшення їхнього негативного впливу на довкілля [6; 17].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість загального Нітрогену у ґрунті (95 %) пов'язана з органічними сполуками, а решта перебуває в неорганічних формах, переважно у нітратній (N-NO_3) та амонійній (N-NH_4) [9]. Саме вміст мінерального азоту ($\text{N}_{\text{мін}}$) у ґрунті є одним із найважливіших чинників, від яких залежать як високі врожаї сільськогосподарських культур, так і потенційний ризик забруднення довкілля.

На кількість мінерального азоту у ґрунті значно впливають природні властивості остан-

нього, кліматичні умови та діяльність людини [11; 15]. Для керування процесом нітрифікації існують дві основні стратегії – регулювання внесення амонійного субстрату та інгібування нітрифікаторів. Регулювання доступності амонію в ґрунті для подальшого його окиснення до нітритів і нітратів можна проводити за допомогою раціонального удобрення в періоди найбільшого споживання рослинами, використання тих форм добрив, які повільно вивільняють Нітроген, управління ростом і розвитком рослин так, щоб забезпечити постійну асиміляцію та іммобілізацію азоту [13].

Дослідження показали, що застосування азотних добрив самостійно або з органічними сприяє накопиченню в ґрунті мінеральних форм Нітрогену [7; 14]. За даними S. Dresler et al. [8] концентрація нітратів у ґрунті залежить від доз внесених добрив. Так, у разі застосування N понад 120 кг/га значно зростає кількість накопичених нітратів. Внесення рідких органічних добрив сприяє збільшенню вмісту NO_3^- у ґрунті, а от заорювання соломи веде до зменшення N-NO_3 за рахунок широкого співвідношення C:N, що стимулює ріст мікроорганізмів та іммобілізацію азоту [8]. Усі ці чинники відіграють значну роль у перетворенні азоту та розподілі $\text{N}_{\text{мін}}$ у ґрунтовому профілі.

Постановка завдання. Метою наших досліджень було встановити вплив тривалого застосування різних систем удобрення і періодичного вапнування на закономірності зміни вмісту нітратного та амонійного азоту ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під час вегетації пшениці озимої.

Науково-дослідну роботу виконували в умовах тривалого стаціонарного дослід, закладеного в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН 1965 р. та занесеного до реєстру довгострокових стаціонарних польових дослідів НААН (атестат реєстрації НААН № 29). Дослідження динаміки нітратного та амонійного азоту залежно від тривалого удобрення та періодичного вапнування проводили в орному (0–25 см) шарі ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під час вегетації пшениці озимої,

якою закінчується X ротація сівозміни, у фазах весняного кушення, виходу в трубку, цвітіння та повної стиглості.

Стаціонарний дослід розміщений у просторі на трьох полях, кожне з яких налічує 18 варіантів у триразовому повторенні. Розташування варіантів одноярусне, послідовне. Загальна площа ділянки становить 168 м², облікова – 100 м². Сівозміна чотирирічна з таким чергуванням культур: кукурудза на силос – ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима. Агротехніка вирощування культур, обробіток ґрунту і догляд за посівами загальноприйняті для умов зони Західного Лісостепу.

Агрохімічна характеристика орного шару ґрунту до закладання дослідів така: вміст гумусу (за Тюрнімом) – 1,42 %; рН_{KCl} – 4,2; гідролітична кислотність (за Капеном) – 4,5; обмінна (за Соколовим) – 0,6 мг-екв/100 г ґрунту; вміст рухомого алюмінію – 60,0, рухомого фосфору (за Кірсановим) та обмінного калію (за Масловою) – відповідно 36,0 і 50,0 мг/кг ґрунту.

Зразки ґрунту відбирали та готували до аналізів згідно з ДСТУ ISO 11464-2001. Агрохімічні та фізико-хімічні аналізи ґрунту прово-

дили: вміст нітратного азоту – потенціометричним методом (ДСТУ 4729:2007), амонійного азоту – фотоколориметричним методом за допомогою реактиву Несслера в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського (ДСТУ 4729:2007), рН сольової витяжки – потенціометричним методом (ДСТУ ISO 10390-2001) [1, 4]. Статистичне опрацювання врожайних даних проводили методом дисперсійного аналізу за Б.А. Доспеховим із використанням «STATISTICA».

Виклад основного матеріалу. У фазі весняного кушення пшениці озимої найвищий вміст сполук нітратного азоту – 3,21 мг/кг ґрунту – отримано за орґано-мінеральної системи удобрення з внесенням на гектар сівозмінної площі 10 т гною, півтори норми NPK на фоні вапнування 1,0 н CaCO₃ за Нг та безпосередньо під пшеницю N₁₂₀P₁₃₅K₁₃₅ (вар. 12). За орґано-мінеральних систем удобрення, за умови систематичного сумісного внесення гною у сівозміні 10 т/га, однієї норми мінеральних добрив (N₆₅P₆₈K₆₈), як на фоні 1,0 (вар. 7) і 0,5 н вапна (вар. 6), вміст нітратного азоту під пшеницею озимою є нижчим і становить відповідно 1,77 і 1,64 мг/кг ґрунту (див. табл.).

Таблиця

Динаміка нітратного азоту орного шару ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під пшеницею озимою, мг/кг ґрунту

№ вар.	Зміст варіантів (удобрення 1 га сівозмінної площі)	Удобрення пшениці озимої	Фаза вегетації			
			весняне кушення	вихід у трубку	цвітіння	повна стиглість
1	Без добрив (контроль)	-	0,74	0,21	0,12	0,20
2	CaCO ₃ , 1,0 н за Нг	-	1,25	0,52	0,22	0,31
3	Гній, 10 т/га	-	1,57	0,50	0,23	0,24
4	CaCO ₃ , 1,0 н за Нг+ Гній, 10 т/га	-	1,39	0,57	0,27	0,52
6	Гній, 10 т/га + N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈ + CaCO ₃ , 0,5 н за Нг	N ₇₀ P ₉₀ K ₉₀	1,64	0,77	0,91	0,53
7	Гній, 10 т/га + N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈ + CaCO ₃ , 1,0 н за Нг	N ₇₀ P ₉₀ K ₉₀	1,77	0,61	0,35	0,68
12	N ₁₀₅ P ₁₀₁ K ₁₀₁ + Гній, 10 т/га + CaCO ₃ , 1,0 н за Нг	N ₁₂₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅	3,21	1,97	0,64	0,80
13	Гній, 15 т/га + N ₃₀ P ₃₄ K ₃₄ + CaCO ₃ , 1,5 н за Нг	N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅	2,35	0,68	0,41	1,13
15	N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈	N ₇₀ P ₉₀ K ₉₀	2,66	1,18	0,32	0,33
17	CaCO ₃ , 1,5 н за Нг + N ₁₀₅ P ₁₀₁ K ₁₀₁	N ₁₂₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅	2,49	1,75	0,58	0,38
НР ₀₅ , мг/кг			0,16	0,02	0,04	0,01

Достатньо високий вміст N-NO_3 (2,49 і 2,66 мг/кг ґрунту) відзначено у фазі весняного кущення пшениці озимої у варіантах мінеральної системи удобрення з внесенням півтори норми ($\text{N}_{105}\text{P}_{101}\text{K}_{101}$) на фоні вапнування 1,5 н CaCO_3 (вар. 17) та лише застосування повної дози мінеральних добрив ($\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$) (вар. 15) проти 0,76 мг/кг ґрунту контролю без добрив (вар. 1).

Проведені дослідження показали, що в період інтенсивного росту й розвитку рослин пшениці озимої у фазах виходу в трубку та цвітіння відбувається зниження вмісту N-NO_3 на всіх варіантах досліду внаслідок більшого засвоєння нітратного азоту, який є основною формою азотного живлення рослин [2].

У варіантах мінеральної системи удобрення найвищий вміст нітратного азоту у фазах виходу в трубку та цвітіння – відповідно 1,75 і 0,58 мг/кг ґрунту – відзначено за внесення 1,5 н NPK на фоні вапнування (вар. 17). За цієї системи удобрення без вапнування (вар. 15) кількість N-NO_3 в ґрунті була дещо нижчою й становила в досліджувані фази 1,18 і 0,32 мг/кг ґрунту. Однак вміст нітратного азоту за тривалого застосування мінеральної системи без внесення гною та CaCO_3 (вар. 15) був вищий, ніж за аналогічної органо-мінеральної системи й вапнування (вар. 7), внаслідок низького його засвоєння пшеницею озимою за сильноокислої реакції ґрунтової витяжки (рН сольове становить 4,24).

Тривале застосування органічної системи удобрення із внесенням гною 10 т/га сівозмінної площі (вар. 3) сприяє накопиченню нітратного азоту під пшеницею озимою (1,57 мг/кг ґрунту) у фазі весняного кущення. У фазах виходу в трубку та цвітіння відзначено зниження рівня N-NO_3 до 0,50 та 0,23 мг/кг ґрунту відповідно. Невисокий вміст нітратного азоту в ґрунті під пшеницею озимою за використання лише гною, який вносили під першу культуру сівозміни – кукурудзу на силос, тобто за три роки до пшениці озимої, можна пояснити тим, що цей азот зберігається в органічній формі, гірше мінералізується і повільніше переходить у ґрунтовий розчин на відміну від азоту мінеральних добрив, де він є у розчинній формі. Окрім того, широке співвідношення C:N у гної сприяє швидкому розвитку мікроорганізмів й засвоєнню нітратного азоту.

Вапнування ясно-сірого лісового ґрунту (вар. 2) значно поліпшує реакцію ґрунтового розчину (рН сольове становить 5,72), внаслідок

чого зростає кількість бактерій амоніфікаторів та нітрифікаторів і тому вміст рухомих мінеральних сполук вищий у цих умовах, ніж на контролі (рН сольове 4,20). Саме тому у варіанті проведення лише вапнування 1,0 н CaCO_3 за Нг рівень нагромадження нітратів дещо більший і становить у фазі весняного кущення пшениці озимої 1,25, виходу в трубку – 0,52 і цвітіння – 0,22 мг/кг ґрунту.

Щодо вмісту амонійного азоту під пшеницею озимою, то найінтенсивніше нагромадження його в ґрунті спостерігали у варіантах тривалого органо-мінерального удобрення з внесенням 1,0 і 1,5 н NPK, гною 10 т/га сівозмінної площі на фоні вапнування 1,0 н CaCO_3 за Нг з внесенням безпосередньо під зернові мінеральних добрив у дозі відповідно $\text{N}_{70}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ (вар. 7) і $\text{N}_{120}\text{P}_{135}\text{K}_{135}$ (вар. 12). При цьому вміст амонійного азоту навесні у фазі кущення становив під пшеницею озимою відповідно 78,1 і 86,9 мг/кг ґрунту. За вказаних систем удобрення у фазі виходу в трубку пшениці озимої відзначено зниження сполук амонійного азоту до 58,6 і 59,1 мг/кг (вміст на контролі без добрив відповідно 21,4 мг/кг ґрунту) (див. рис.). Майже співмірні рівні N-NH_4 у цих системах не призводять до однакового накопичення нітратного азоту, тобто органо-мінеральна система за внесення $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ є екологічнобезпечнішою, ніж за внесення $\text{N}_{105}\text{P}_{101}\text{K}_{101}$ на 1 га сівозмінної площі. Значне накопичення нітратного азоту у разі застосування понад 120 кг N порівняно із меншими нормами було зафіксовано і в дослідженнях S. Dresler et al. у ґрунтах Люблінського воєводства (Польща) [8].

У варіантах тривалого застосування лише мінеральної системи удобрення (вар. 15) рівень амонійного азоту у фазі кущення під пшеницею озимою становить 80,0 мг/кг ґрунту. За такої системи удобрення вміст N-NH_4 протягом наступних досліджуваних фаз вегетації пшениці озимої (виходу в трубку, цвітіння, повної стиглості) залишався практично на однаковому рівні з оптимальними органо-мінеральними системами удобрення. Але на врожай пшениці озимої це не вплинуло через його недоступність для рослин. Адже порівняно з нітратною формою амонійний азот є менш доступним і малоефективним, особливо на кислих ґрунтах за рН до 5,5, оскільки основна частина амонію за такої реакції перебуває в ґрунті в поглинутому стані [3].

Рис. Динаміка амонійного азоту орного шару ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під пшеницею озимою.

Протягом росту й розвитку рослин пшениці озимої у фазах весняного кущення, виходу в трубку та цвітіння спостерігали зменшення вмісту амонійного азоту в орному шарі ґрунту за всіма варіантами досліду внаслідок його перетворення в доступні форми і поглинання рослинами. У фазі повної стиглості зерна пшениці озимої відзначено неістотне зростання сполук амонійного азоту до 20,2–27,0 мг/кг ґрунту, особливо на варіантах, де вносили органічні добрива, та внаслідок поступової мінералізації органічних решток попередника – конюшини лучної.

Висновки. Органо-мінеральна система удобрення з внесенням гною 10 т/га сівозмінної площі, однієї норми ($N_{65}P_{68}K_{68}$) мінеральних добрив на фоні внесення 1,0 н $CaCO_3$ за гідролітичною кислотністю забезпечує менше накопичення нітратного азоту (1,77–0,35 мг/кг), ніж та сама система із застосуванням півтори норми ($N_{105}P_{101}K_{101}$) мінеральних добрив (3,21–0,64 мг/кг), а отже, маємо менший ризик несприятливого впливу на екосистему.

Тривале застосування повної дози мінеральних добрив без вапнування й органічного удобрення сприяє на 25 % більшому накопиченню

$N-NO_3$ у ґрунті порівняно з органо-мінеральною системою удобрення. Однак через зростання кислотності ґрунтової витяжки (рН сольове становить 4,24) під впливом високих доз мінеральних добрив рослини не спроможні засвоювати доступні сполуки азоту, внаслідок чого посилюються мінералізаційні процеси, що загрожує порушенням малого біогеохімічного циклу елемента у польовій екосистемі й призводить до розвитку деградаційних процесів в ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах.

Бібліографічний список

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. Москва, 1970. 488 с.
2. Булгакова Н. Н., Большанова Л. С., Киловская Н. Т. Влияние азотного питания на продуктивность яровой пшеницы, ассимиляцию нитрата и его распределение по функциональным фондам. *Агрохимия*. 1996. № 8–9. С. 15–27.
3. Возбуцкая А. Е. Химия почвы. Москва: Высшая школа, 1968. 418 с.
4. Кирильчук А. А., Бонішко О. С. Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 354 с.
5. Марткоплішвілі М. М. Ідентифікація потоків азоту у сільському господарстві. *Агроєкологічний журнал*. 2018. № 4. С. 99–103.

6. Христенко А. О., Мірошніченко М. М., Круподеря Ю. О. Забезпеченість ґрунтів України доступними рослинам формами елементів живлення. *Пропозиція*. 2014. № 12. С. 8–13.
7. Changes in amount of organic and inorganic fractions of nitrogen in an Eutrochrept soil after longterm cropping with different fertilizer and organic manure inputs / K. S. Reddy et al. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2003. Vol. 166. P. 232–238.
8. 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. Vol. 12 (2). P. 367–379. DOI: 10.5513/JCEA01/12.2.924.
9. Follett R. F. Transformation and transport processes of nitrogen in agricultural systems. *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems and Management*. Elsevier, 2008. P. 19–50.
10. How a century of ammonia synthesis changed the world / J. W. Erisman et al. *Nature Geoscience*. 2008. Vol. 1. P. 636–639. DOI:10.1038/ngeo325.
11. Malhi S. S., McGill W. B. Nitrification in three Alberta soil: Effect of temperature, moisture and substrate concentration. *Soil Biology and Biochemistry*. 1982. Vol. 14. P. 393–399.
12. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained midwestern soils / D. L. Dinnes et al. *Agronomy journal*. 2002. N 94. P. 153–171.
13. Norton J., Ouyang Y. Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils. *Frontiers in Microbiology*. 2019. Vol. 10, N 1931. DOI: 10.3389/fmicb.2019.01931.
14. 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.
15. Shaffer M. J., Delgado J. A. Essentials of a national nitrate leaching index assessment tool. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2002. Vol. 57. P. 327–335.
16. The global nitrogen cycle in the twenty-first century / D. Fowler et al. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2013. N 368. DOI: 10.1098/rstb.2013.0164.
17. US agricultural nitrous oxide emissions: context, status, and trends / M. A. Cavigelli et al. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2012. N 10. P. 537–546. DOI: 10.1890/120054.

Стаття надійшла 14.02.2020