

УДК 631.841.8  
© 2013

*М.М. Мірошниченко,*  
доктор біологічних наук  
*Є.Ю. Гладкіх,*  
кандидат сільсько-  
господарських наук  
*А.В. Ревтьє*

Національний  
науковий центр «Інститут  
ґрунтознавства та агрохімії  
імені О.Н. Соколовського»

*К.П. Цуркан,*  
доктор сільсько-  
господарських наук

*С.В. Галушка*

Східне регіональне  
управління ПрАТ Компанія  
«Райз-Максимко»

**Ключові слова:** безводний аміак, азотні добрива, спосіб обробітку ґрунту, мінеральний азот, фізико-хімічні властивості.

## БЕЗВОДНИЙ АМІАК У ЗЕМЛЕРОБСТВІ

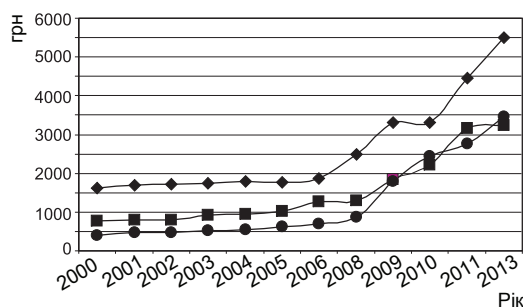
*Визначено переваги та недоліки застосування безводного аміаку в землеробстві. Наведено особливості змін фізико-хімічних властивостей ґрунту, умісту мінерального азоту та чисельності мікробної популяції залежно від унесення різних форм азотних добрив.....*

В оприлюдненій у 2012 р. доповіді об'єднаного дослідницького центру Єврокомісії «NPK: чи буде достатньо живлення рослин для того, щоб нагодувати 9 млрд в 2050 р.?» одним із найбільших ризиків продовольчої проблеми визнано подорожчання азотних добрив [8]. Основними причинами виникнення цього є висока енергоємність процесу виробництва твердих форм азотних добрив та пряма залежність їх собівартості від рівня цін на природний газ (рис. 1). Водночас виробництво рідких азотних добрив обходиться на 30–40% дешевше, оскільки не передбачає таких операцій, як гранулювання, сушка, сортування тощо.

У сільському господарстві США до 50% азотних добрив застосовують у рідкій формі. Постачання аміаку сільгоспвиробникам здійснюється залізничним та автомобільним транспортом від 44-х терміналів на магістральних аміакопроводах довжиною близько 5000 км. В окремих штатах це є найпопулярнішим азотним добривом. Лише в штаті Міннесота кількість унесеного під усі культури безводного аміаку за останні 10 років збільшилася з 205 до 250 тис. т [9]. Парк аміакопроводів США налічує понад 6000 од. з терміном експлуатації до 25-ти років, які здійснюють поставки рідкого аміаку в радіусі 100 миль (160 км) від заправних термі-

налів. За розрахунками канадських аграріїв, затрати на застосування 1 кг азоту у вигляді рідкого аміаку на 57% нижчі, ніж використання карбаміду та аміачної селітри.

Дійсно, безводний аміак має ряд технологічних переваг, унаслідок чого є дуже привабливою формою азотних добрив, особливо для великотоварного виробництва зернової продукції: значно менші витрати на транспортування; передбачає механізацію всіх технологічних операцій; забезпечує більш рівномірний розподіл азоту на полі; дає змогу завчасно (з



**Рис. 1.** Динаміка цін на газ (за 1 тис. м³) та азотні добрива (за 1 т) в Україні у XXI ст.: —◆— безводний аміак; —■— аміачна селітра; —●— природний газ

**1. Уміст мінерального азоту та нітрифікаційна здатність ґрунту за різних форм азотних добрив та способів основного обробітку (через місяць після внесення добрив)**

Спосіб обробітку	Вид і доза добрив	Глибина, см	Уміст мінерального азоту, мг/кг	Нітрифікаційна здатність, мг NO <sub>3</sub> /кг ґрунту за добу
Оранка	Без добрив	0–20	6,3	23,1
		20–40	16,3	13,8
	Безводний аміак N <sub>100</sub>	0–20	13,0	19,1
		20–40	29,4	18,8
	Аміачна селітра N <sub>100</sub>	0–20	44,2	26,8
		20–40	40,0	55,5
Дискування	Безводний аміак N <sub>100</sub>	0–20	15,5	18,3
		20–40	24,3	16,2
	Аміачна селітра N <sub>100</sub>	0–20	42,7	21,3
		20–40	41,6	29,1

осені) створити запас мінерального азоту в кореневмісному шарі ґрунту та зменшити напруженість весняно-польових робіт; менші втрати азоту через вимивання з ґрунту атмосферними опадами.

Попри це безводний аміак не став альтернативою твердим азотним добривам, навіть за умов наявних обсягів виробництва в Україні, що становили у 2012 р. 5,5 млн т. Це можна пояснити потребою в дороговартісній спеціальній техніці для перевезення і внесення добрив, а висока токсичність та вибухонебезпечність аміаку є фактором підвищеного ризику. Унесення в сухий або перезволожений ґрунт аміаку збільшує газоподібні втрати азоту, що зменшує період його застосування. Ці технологічні складнощі доповнюються недостатньою вивченістю всіх позитивних та негативних факторів впливу безводного аміаку на властивості ґрунтів, зміну його ефективної родючості. На жаль, у вітчизняній науковій літературі мало відомостей про аспекти дії аміаку, а тривалих спостережень в Україні взагалі не проводили.

**Мета досліджень** — визначення ефективності різних форм азотних добрив за умов різних способів обробітку ґрунту та впливу безводного аміаку на властивості чорнозему опідзоленого.

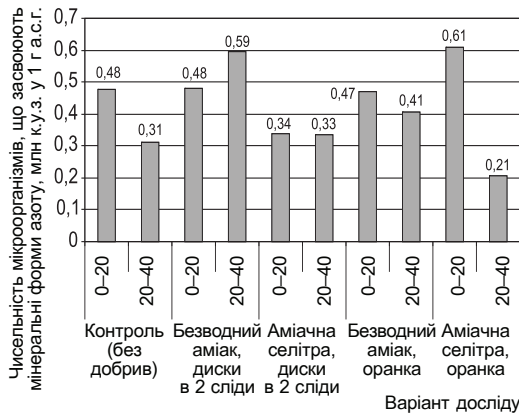
**Методика досліджень.** Польовий дослід було закладено у 2012 р. на чорноземах опідзолених демонстраційного дослідного поля ПрАТ Компанії «Райз-Максимко» у Лохвицькому районі Полтавської області. Досліджувані фактори: способи основного обробітку (диску-

вання у 2 сліди на глибину 12 см та оранка на глибину 20 см); форми азотних добрив під передпосівну культивування (безводний аміак у дозі N<sub>100</sub> стрічками через 56 см на глибину 18 см та аміачна селітра в дозі N<sub>100</sub> урозкид); різні за індексом ФАО гібриди кукурудзи середньоранньої групи стиглості (НС 251 — ФАО 250 та ДК 291 — ФАО 280). Дослідні ділянки площею 120 м<sup>2</sup>, розміщення — систематичне у 3-разовій повторності.

Змішані (з 9-ти індивідуальних) проби ґрунту відбирали за 1 та 6 міс. після внесення добрив. У ґрунті визначали загальний уміст органічного вуглецю (ДСТУ 4289) та його лабільних форм (ДСТУ 4732), обмінну та гідролітичну кислотність (ДСТУ ISO 10390), уміст мінерального азоту (ДСТУ 4729), нітрифікаційну здатність за Кравковим, чисельність основних екологічних груп мікроорганізмів через висів ґрунтової суспензії на щільні поживні середовища. На м'ясо-пептоновому агарі основні екологічні групи мікроорганізмів розкладають органічні сполуки, які містять азот, крохмале-аміачному середовищі — асимілюють мінеральні форми азоту, пептоно-глюкозному агарі Ваксмана — визначають чисельність мікроскопічних грибів, що легко засвоюють доступні вуглеводи, голодному агарі — оліготрофів на середовищі Еш-бі — олігонітрофілів.

Урожайність кукурудзи на зерно визначали суцільним методом з площі облікової ділянки 80 м<sup>2</sup> (захисні смуги: бокові — 0,5 м, кінцеві — 2 м).

**Результати досліджень.** Після внесення безводний аміак переміщується горизонтально



**Рис. 2.** Вплив різних форм азотних добрив та способів основного обробітку на чисельність мікроорганізмів, що засвоюють мінеральний азот

в ґрунті лише на 5–7 см від стрічки, формуючи осередок високої концентрації  $\text{NH}_4^+$  грушоподібної форми. За даними канадських дослідників [5], концентрація азоту всередині цього осередку може сягати 200–250 мг/кг ґрунту. Розміри зони поширення аміаку залежать від фізичних властивостей ґрунту, тому спосіб основного обробітку значною мірою визначає й подальший розподіл мінерального азоту в кореневмісному шарі. Зокрема, у досліді середня концентрація азоту поза стрічкою за внесення аміаку була значно нижчою, ніж після аміачної селітри, яка забезпечує рівномірний розподіл азоту в ґрунті (табл. 1).

Унесення безводного аміаку уповільнює діяльність нітрифікаційних бактерій і нітрифікаційну здатність ґрунту, але це відбувається лише в зоні фіксації аміаку (у стрічці), а не на її периферії [6]. Через місяць після його внесення нітрифікаційна здатність ґрунту в орному та підорному шарах поза стрічкою була нижчою, ніж за внесення селітри, на 14–44% за дискування і 29–66% за оранки.

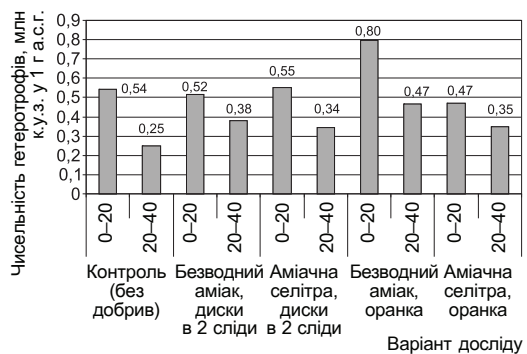
Відновлення мікробної діяльності ґрунту (зокрема нітрифікаційної) після внесення безводного аміаку є одним з визначальних факторів екологічнобезпечного застосування цього виду добрив. Хоча внесення безводного аміаку впливає на мікрофлору ґрунту, однак цей вплив лише тимчасово порушує рівновагу в зоні фіксації аміаку [6]. Водночас відновлення мікробної діяльності після внесення безводного аміаку може призводити до порушення структури мікробних популяцій. Ґрунт після внесення цих добрив набагато швидше колонізувався попу-

ляціями бактерій та актиноміцетів, ніж грибами [13]. Наші дослідження підтверджують ці обидві закономірності. Через 6 міс. після внесення безводного аміаку за оранки загальна чисельність мікроорганізмів, що споживають мінеральні форми азоту, у шарі 40 см досягла рівня чисельності мікроорганізмів у неудобреному ґрунті, а на фоні дискування перевищила його (рис. 2). На відміну від цього азотний фон, створений за рахунок аміачної селітри, уповільнював розвиток цієї групи мікроорганізмів.

Чисельність гетеротрофів не мала таких значних змін, за винятком внесення безводного аміаку за оранки, де спостерігається різке посилення мінералізаційних процесів (рис. 2). Це підтверджується й збільшенням коефіцієнта мобілізації азотного фонду, який визначають як співвідношення чисельності мікроорганізмів, що споживають органічні та мінеральні форми азоту, до чисельності оліготрофів і олігонітрофілів. Цей ефект найбільш виражений за внесення безводного аміаку за дискування (у 1,5–2 рази) та оранки (у 1,5–3 рази), причому найбільші зміни відбувалися в підорному шарі ґрунту (рис. 3). Отже, унесення безводного аміаку сприятиме збільшенню використання азоту не лише з добрив, а й ґрунту (так званого екстра-азоту).

На думку багатьох учених [1, 11, 16], з цим пов'язаний один з найнесприятливіших впливів безводного аміаку на вміст гумусу. Натомість автор [10] стверджував, що ці побоювання не виправдані, оскільки аміак за звичайних умов нітрифікується впродовж 3-х тижнів і втрачає властивості, що негативно впливають на органічно-мінеральний поглинальний комплекс ґрунту.

Результати досліджень свідчать про те, що



**Рис. 3.** Вплив різних форм азотних добрив та способів основного обробітку на чисельність мікроорганізмів, що засвоюють органічний азот

**2. Уміст лабільного гумусу та обмінна кислотність ґрунту за різних форм азотних добрив та способів основного обробітку**

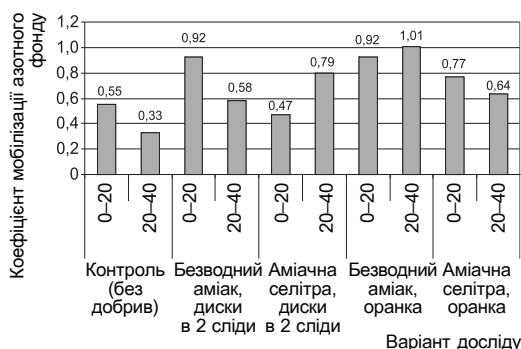
Спосіб обробітку	Вид і доза добрив	Глибина, см	Уміст лабільного гумусу, %		рН сольовий	
			за 1 міс.	за 6 міс.	за 1 міс.	за 6 міс.
Оранка	Без добрив	0–20	0,20	0,20	5,20	5,3
		20–40	0,25	0,17	5,05	5,4
	Безводний аміак N <sub>100</sub>	0–20	0,25	0,25	5,05	5,0
		20–40	0,25	0,12	5,20	5,6
	Аміачна селітра N <sub>100</sub>	0–20	0,22	0,20	5,00	5,1
		20–40	0,25	0,16	4,95	5,3
Дискування	Безводний аміак N <sub>100</sub>	0–20	0,36	0,28	4,80	5,0
		20–40	0,31	0,17	4,85	5,2
	Аміачна селітра N <sub>100</sub>	0–20	0,36	0,25	4,60	4,6
		20–40	0,25	0,12	4,95	5,6

внесення безводного аміаку дійсно сприяє лабілізації органічної речовини ґрунту. Через місяць після внесення безводного аміаку вміст лабільної органічної речовини в складі загальної збільшувався до 17,5% порівняно з 10% у варіанті без добрив (табл. 2). Через 6 міс. ця різниця скоротилася більш, ніж удвічі. Проте аналогічні зміни характерні й для дії аміачної селітри. Отже, стверджувати про катастрофічні наслідки поки що немає підстав. Підвищення концентрації водорозчинного органічного вуглецю в ґрунті після застосування безводного аміаку поступово призупиняється і повертається до вихідних значень [12]. Чи дія аміаку на органічну речовину ґрунту має накопичувальний ефект, що вже помічено дослідниками на чорноземах Саскатчевана (Канада) [2], остаточно не визначено. З урахуванням складної сезонної динаміки органічної речовини та точності

аналітичних досліджень для з'ясування цього питання потрібні дослідження не менш ніж у 3–5-річному циклі.

Ще одним дискусійним питанням впливу аміаку на властивості ґрунту є зміна рН. Хоча це добриво вважається фізіологічно лужним, його внесок у підкислення ґрунту є безперечним. У перші 2–4 тижні після внесення безводного аміаку в стрічці з його найвищою концентрацією відбувається підлучення до значень рН 8–9, але надалі кислотність ґрунтового розчину стабілізується та збільшується [3, 4, 12]. Підкислювальний ефект може бути досить значним, що зменшує ефективність цих добрив. Унаслідок сприятливих для нітрифікаційних процесів гідротермічних умов у проведеному нами досліді за місячний термін обмінна кислотність ґрунту досягла вихідних значень на фоні оранки і збільшилася порівняно з кислотністю неудобреного ґрунту за дискування. Ефект підкислення зберігався 6 міс. після внесення аміаку. Тридцятирічні спостереження [14] показали поступове підкислення ґрунту за щорічного внесення безводного аміаку до значень 4,2–4,4 порівняно з рН 5,1 без добрив, що супроводжувалося значним зниженням урожайності пшениці. Отже, за тривалого внесення безводного аміаку на малобуферних ґрунтах його підкислювальна дія стає фактором зниження його окупності — основного економічного стимулу застосування цього добрива.

Починаючи з робіт Ф.В. Турчина, численними дослідженнями доведено, що вплив безводного аміаку на врожаї сільськогосподарських культур за умов унесення еквівалентних доз



**Рис. 4. Вплив різних форм азотних добрив та способів основного обробітку на коефіцієнт мобілізації азотного фонду**

**3. Урожайність середньоранніх гібридів кукурудзи на зерно за різних форм азотних добрив та способів основного обробітку ґрунту**

Спосіб обробітку	Вид добрив	Урожайність зерна, т/га	
		гібрид НС 251	гібрид ДК 291
Дискування	Безводний аміак N <sub>100</sub>	4,97	5,46
	Аміачна селітра N <sub>100</sub>	4,78	4,97
Оранка	Безводний аміак N <sub>100</sub>	4,91	8,36
	Аміачна селітра N <sub>100</sub>	4,59	5,20
	НІР <sub>095</sub>	0,91	1,01

**4. Вартість 1 т діючої речовини азотних добрив в Україні у 2009–2013 рр.**

Добриво	Вартість 1 т азоту, грн				
	Серпень	Лютий			
		2009	2010	2011	2012
Аміачна селітра	5289	6416	9044	9650	9348
Карбамід	5690	6022	7826	9848	9348
Сульфат амонію	4285	6048	9762	10570	12140
КАС	5938	6438	8594	9030	9840
Аміачна вода	5000	5150	5950	8500	8500
Безводний аміак	3960	4026	4756	7024	6680

азоту рівноцінний впливу твердих азотних добрив. Проте поширення мінімальних та нульових технологій обробітку ґрунту, зміна структури посівних площ та створення нових сортів і гібридів інтенсивного типу спонукають до перегляду традиційних показників окупності азоту добрив.

На думку авторів [15], традиційний обробіток ґрунту має значні переваги щодо врожайності зернових та поглинанні азоту добрив рослинами над іншими способами, інші дослідження свідчать про істотний вплив доз азотних добрив, зокрема безводного аміаку, на врожайність кукурудзи за відсутності впливу способів обробітку ґрунту [7]. Облік урожайності в проведеному досліді виявив істотну різницю дії досліджуваних факторів залежно від строку визрівання гібридів кукурудзи на зерно (табл. 3).

Для більш ранньостиглого гібрида НС 251 не виявилось істотної різниці між формами добрив і способом обробітку ґрунту. Проте збільшення вегетаційного періоду дало можливість

ефективніше використати переваги локального способу внесення безводного аміаку. У зоні локалізації добрив відбувається прискорена проліферація (розгалуження) коренів зі збільшенням їхньої поглинальної поверхні, що сприяє повнішій реалізації генетичного потенціалу. На нашу думку, саме створення осередків живлення на глибині 18 см та кращих фізичних умов для розвитку кореневої системи в цьому шарі є основною передумовою одержання врожайності 8,3 т/га в екстремальних погодних умовах 2012 р.

Вибір форми азотних добрив, які становлять понад 70% від загальної кількості мінеральних добрив у землеробстві України, є агрономічним та економічним питанням. Вартість одиниці азоту збільшилася за останні 5 років в 1,6–2,8 раза, але є найменшою для безводного аміаку (табл. 4). Проте для будь-якого технологічного заходу в землеробстві слід ураховувати не лише пряму окупність витрат, а й імовірні витрати на відновлення родючості ґрунтів, а

також визначити екологічно та економічно обґрунтовані дози внесення азотних добрив за різних умов. Оскільки системно таких досліджень в Україні не проводили, доцільно доповнити цей дослід аналогічними дослідженнями насамперед у поліській та степовій зонах.

джен в Україні не проводили, доцільно доповнити цей дослід аналогічними дослідженнями насамперед у поліській та степовій зонах.

### Висновки

Унесення безводного аміаку пригнічує нітритфікаційну здатність ґрунту сильніше, ніж аміачна селітра, але згодом сприяє розвитку мікроорганізмів, що утилізують мінеральні та органічні форми азоту. Застосування безводного аміаку у рік унесення призводить до підкислення ґрунтового розчину та підвищення вмісту лабільного гумусу на тому самому рівні, що й аміачна селітра. Способи основного обробітку ґрунту істотно впливають на процеси перетворення безводного аміаку, його дію на властивості ґрунту та ефективність застосування. За посушливих умов 2012 р. найоптимальнішим виявилось внесення безводного аміаку на фоні оранки під більш пізнього стиглий гібрид кукурудзи.

ні, що й аміачна селітра. Способи основного обробітку ґрунту істотно впливають на процеси перетворення безводного аміаку, його дію на властивості ґрунту та ефективність застосування. За посушливих умов 2012 р. найоптимальнішим виявилось внесення безводного аміаку на фоні оранки під більш пізнього стиглий гібрид кукурудзи.

### Бібліографія

1. Філон В.І. Діагностика і екологічнобезпечне спрямування трансформації ґрунтів при внесенні добрив: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук. — Х., 2009. — 31 с.
2. Biederbeck V.O., Campbell C.A., Ukrainetz H., Curtin D. and Bouman O.T. Soil microbial and biochemical properties after ten years of fertilization with urea and anhydrous ammonia//Can. J. Soil Sci. — 1996. — Iss. 76. — P. 7–14.
3. Bouman O.T., Curtin D., Campbell C.A., Biederbeck V.O. Soil acidification from long-term use of anhydrous ammonia and urea//Soil Sci. Soc. Am. J. — 1995. — Iss. 59. — P. 1488–1494.
4. Chien S.H., Collamer D.J. and Gearhart M.M. The effect of different ammonia nitrogen sources on soil acidification//Soil Sci. 2008. — Iss. 173. — P. 544–551.
5. Effect of ammonia on soil properties and relevance to soil and water quality. Agriculture Canada. Research Branch Harrow. — Ontario. — 1990. — P. 47.
6. Eno C.F. and Blue W.G. The effect of anhydrous ammonia on nitrification and microbiological population in sandy soils//Soil Sci. Soc. Am. Proc. — 1954. — Iss. 14. — P. 178–181.
7. Mahdi Al-Kaisi, David Kwaw-Mansah. Effect of tillage and nitrogen rate on corn yield and nitrogen and phosphorus uptake in a corn-soybean rotation//Agronomy journal. — 2007. — Iss. 99. — P. 1548–1558.
8. Malingreau J.-P., Eva H., Maggio A. NPK: Will there be enough plant nutrients to feed a world of 9 billion in 2050? JRC Science and Policy Reports. — European Union, 2012. — 30 p.
9. Minnesota's Supply and Demand for Propane and Anhydrous Ammonia. Agricultural Sector Use. — Minnesota Department of Agricultural. — 2011. — URL <http://www.leg.state.mn.us/lrl/lrl.asp>
10. Neuberg J., Kijakic V., Sucha B. Study of the conditions of application of anhydrous ammonia fertilizer for direct crop//Sbornik Ceskoslovenske acad. Zemedelskych ved. rada rostlinna vyroba, 1957. — Iss. 30. — P. 2.
11. Nommik H. and Vahtras K. Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils//Nitrogen in agricultural soils. Agronomy series. — 1982. — № 22. — P. 123–171.
12. Norman R.J., Kurtz L.T. and Stevenson F.J. Solubilization of soil organic matter by liquid anhydrous ammonia//Soil Sci. Soc. Am. J. — 1987. — Iss. 51. — P. 809–812.
13. Parr J.F. Retention of anhydrous ammonia by soil: Recovery of microbiological activity and effect of organic amendments//Soil Sci. 1969. — Iss. 107. — P. 94–104.
14. Schroder J.L., Zhang H., Girma K., Raun W.R., Penn C.J., Payton M.E. Soil Acidification from Long-Term Use of Nitrogen Fertilizers on Winter Wheat//Soil Sci. Soc. Am. J. — 2011. — Iss. 75. — P. 957–964.
15. Teal R.K., Freeman K.W. Effect of Tillage and Anhydrous Ammonia Application on Nitrogen Use Efficiency of Hard Red Winter Wheat//Accepted J. of Sustainable Agriculture, 2008.
16. Tomaszewicz D.J. and Henry J.L. The effect of anhydrous ammonia applications on the solubility of soil organic carbon//Can. J. Soil Sci. — 1985. — Iss. 65. — P. 737–747.

Надійшла 15.04.2013.