



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.811.1

© 2023

НЕОДНОРІДНІСТЬ УМІСТУ СПЛУК АЗОТУ В ДЕЯКИХ ОРНИХ ҐРУНТАХ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

І.В. Пліско¹, К.М. Куцова²

¹доктор сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: ¹irinachujan@gmail.com, ²karinamatveeva48@gmail.com

ORCID: ¹0000-0001-8111-7662, ²0000-0002-7130-2343

Надійшла 28.11.2022

Мета. Дослідити особливості просторового розподілу вмісту сполук азоту (нітратних та амонійних форм) в орних ґрунтах різного генезису Лівобережного Лісостепу України та обґрунтувати впровадження заходів із точного землеробства. **Методи.** Інформаційно-бібліографічний — для узагальнення літературних даних та обґрунтування необхідності проведення досліджень; польовий — для розбивки регулярної сітки та відбору зразків ґрунту; лабораторний — для визначення вмісту сполук азоту; статистичний і геостатистичний — для математичної обробки даних та оцінки достовірності отриманих даних. **Результати.** На основі аналізування літературних джерел визначено роль азотних сполук у живленні рослин. Підтверджено наявність неоднорідного в просторово-часовому континуумі розподілу вмісту сполук азоту (амонійних і нітратних форм) упродовж періоду спостережень. Відзначено важливу роль гранулометричного складу ґрунтів у просторовому розподілі вмісту сполук азоту в досліджуваних ґрунтах. Установлено, що нітратні сполуки азоту є більш динамічними порівняно з амонійними, що дає змогу проводити діагностику та рекомендувати впровадження заходів із точного землеробства саме за вмістом нітратного азоту. **Висновки.** За період спостережень зафіксовано зміни просторової структури поширення амонійних і нітратних форм азоту в межах 2-х земельних ділянок (полів), розташованих у Харківському р-ні Харківської обл. Доведено, що забезпечення ґрунтів азотом визначається наявністю неоднорідних форм рельєфу і меншою мірою, генетичним складом ґрунтів. На основі геостатистичної обробки даних підтверджено наявність неоднорідності вмісту сполук азоту в досліджуваних ґрунтах. Установлено, що нітратні сполуки є більш нестійкими в просторі і часі впродовж періоду спостережень порівняно з амонійними, що дає змогу рекомендувати впровадження заходів із точного землеробства, зокрема

диференційованого внесення азотних добрив на основі діагностики вмісту нітратного азоту в ґрунтах.

Ключові слова: амонійний і нітратний азот, точне землеробство, просторовий розподіл, неоднорідні форми рельєфу.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202301-01>

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Азот є одним з найважливіших макроелементів серед усіх мінеральних елементів, що містяться в ґрунті, достатня його кількість забезпечує процеси метаболізму, розподілу ресурсів, росту та розвитку рослин [1]. Наявність потрібної кількості азоту в ґрунті є важливою передумовою для правильного росту та розвитку сільськогосподарських культур, що сприяє збільшенню врожайності та підвищенню його якості. Азот відіграє життєво важливу роль у біохімічних та фізіологічних функціях рослин [2], бере участь в утворенні ферментів і рослинних пігментів. Найпоширенішим є живлення рослини кореневою системою, завдяки чому азот зазвичай перебуває у формі амонійних (NH_4^+) і нітратних (NO_3^-) сполук [3].

Сільськогосподарські культури споживають азот переважно з ґрунтового середовища. У доступних для живлення рослин мінеральних формах у ґрунтах його міститься лише 1–2%, 94–95% азоту перебуває в складі органічних чи гумусних сполук або міститься у важкодоступних для засвоєння рослинами формах (3–5%). Недоступна або важкодоступна форма може являти собою необмінно-фіксовану глинистими мінералами амонію форму [4]. Загалом уміст азоту в орних ґрунтах становить 0,05–0,50% [5], у гумусному горизонті ґрунтів зони Лісостепу — 0,152–0,197%. Найнижчі його значення зумовлені низьким умістом у ґрунтах органічної речовини [6].

На думку автора [7], зменшення вмісту мінерального азоту відбувається внаслідок перетворення амонійного та нітратного азоту в органічну форму під дією біологічних процесів, що являє собою процес іммобілізації азоту.

Проблемі неоднорідності вмісту елементів живлення, зокрема азоту, в ґрунтах у межах окремих земельних ділянок присвячено

чимало досліджень. Автор [8] зазначав, що саме неоднорідність ґрунтового покриву може впливати на зміну показників родючості ґрунтів, що особливо актуально для розроблення заходів щодо оптимізації умов вирощування сільськогосподарських культур з метою підвищення їхньої врожайності.

На основі узагальнення досвіду вивчення просторової неоднорідності основних властивостей орних різних природно-кліматичних зон України було обґрунтовано пропозиції щодо впровадження заходів точного землеробства, зокрема диференційованого внесення добрив, хімічних меліорантів і механічного обробітку орних ґрунтів [9].

Численні дослідження зарубіжних учених присвячено також вивченню неоднорідності вмісту поживних речовин, зокрема й сполук азоту. Так, китайськими вченими за допомогою геоінформаційної системи та методів геостатистики було доведено, що на просторовий розподіл азоту значно впливають рослинність і топографічні фактори [10, 11].

Дослідниками [12] було дано оцінку просторової мінливості ґрунтової вологи, вуглецю, поживних речовин і структури ґрунту.

Доведено, що неоднорідність за показником опору проникненню ґрунту з використанням геостатистичного аналізу даних дає змогу розділити площу земельної ділянки на 3 кластери й сформувати морфологічно однорідні ґрунтові ділянки, які істотно різнилися за кислотністю ґрунту та вмістом азоту в ньому [13].

Автори [14] підтвердили перевагу детального агрохімічного обстеження земельної ділянки порівняно з традиційним агрохімічним обстеженням, яке проводиться службами ДУ «Інститут охорони ґрунтів» і потребує об'єднаних проб та усереднення параметрів. Саме детальне обстеження дає можливість отримати більш точну інформацію про агрохімічні особливості окремих її частин, що може бути підставою

для відокремлення окремих зон «родючості» на досліджуваній території та розроблення рекомендації щодо певних землеробських заходів. Їх застосування істотно підвищить ефективність унесення мінеральних та органічних добрив. Передусім це стосується азотних добрив, які найчастіше використовують для підживлення культур.

Важливим аспектом вивчення просторової неоднорідності загалом і вмісту азоту зокрема, є використання геостатистичних методів обробки даних, що дає змогу визначити реальну неоднорідність найважливіших властивостей ґрунтів, на основі яких здійснюють основні агротехнічні, меліоративні та ґрунтоохоронні заходи. Геостатистичні методи дають можливість установити контури однотипових просторових структур з метою подальшого диференціювання агротехнічних і меліоративних заходів, тобто впровадження заходів точного землеробства [15,16].

Розвиток ґрунтознавчої та агрохімічної науки на сучасному етапі характеризується пошуком наукових різноспрямованих підходів до вирівнювання неоднорідності ґрунтів за агрохімічними властивостями, зокрема за допомогою внесення добрив із контрольованим вивільненням мікро- та макроелементів у системі точного землеробства. Особлива увага приділяється врахуванню потреб сільськогосподарських культур і ґрунтів із різним рівнем забезпеченості в макроелементах [17–20].

У сучасних складних економічних умовах в Україні цілком очевидною є необхідність оптимізації сільськогосподарського виробництва, що неможливо без розвитку та використання технологій точного землеробства, які ґрунтуються на диференційованому застосуванні засобів хімізації, зокрема азотних добрив, їх раціональному та економному внесенні.

При цьому важливим є проведення детальних поглиблених інформаційно-аналітичних досліджень щодо особливостей просторового розподілу сполук азоту в ґрунтах різного генезису, виявлення оптимальних способів діагностики азотного живлення, розроблення технологічних способів диференційованого внесення азотних добрив із використанням технічних та інформаційних

можливостей точного землеробства з метою отримання сталих урожаїв сільськогосподарських культур.

Мета досліджень — вивчити особливості просторового розподілу вмісту сполук азоту (нітратних та амонійних форм) в орних ґрунтах різного генезису Лівобережного Лісостепу України та обґрунтувати впровадження заходів з точного землеробства.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проведено на 2-х територіальних об'єктах (земельних ділянках), розташованих у межах окремих агроценозів зони Лівобережного Лісостепу України (Харківський р-н Харківської обл.).

Дослідний об'єкт № 1 — земельна ділянка на території ДП ДГ «Граківське» в с. Новий Коротич Харківського району площею 31,7 га. Ґрунтовий покрив представлено чорноземами опідзоленими (Chernic Phaeozem) (зокрема намитими), темно-сірими опідзоленими (Luvic Greyzemic Phaeozem) слабкосероморфними ґрунтами в комплексі з їх еродованими аналогами. Гранулометричний склад (грансклад) досліджуваних ґрунтів за класифікацією [21] є важкосуглинковим, за винятком незначної площі легкоглинистих ґрунтів.

Дослідний об'єкт № 2 — земельна ділянка площею 20 га — частина поля, розташована поблизу смт Буди Харківського р-ну. Ґрунтовий покрив об'єкта представлений сірими лісовими (Haplic Luvisol) і темно-сірими опідзоленими (Luvic Greyzemic Phaeozem) ґрунтами важкосуглинкового та легкоглинистого гранскладу, розміщеними на лесових породах на верхніх частинах схилу, та їх слабо- і середньозмитими аналогами в підніжжі схилу. У межах земельної ділянки трапляються ґрунти легкосуглинкового гранулометричного складу.

Територія досліджень характеризується наявністю підвищених ландшафтів у поєднанні зі степовими низинними. У ландшафтній просторовій структурі налічуються дуже розчленовані лесові височини, на яких розташовані чорноземи типові малогумусні та сірі лісові ґрунти, у межах схилової місцевості зосереджені слабо- і середньородовані темно-сірі ґрунти, чорноземи опідзолені та їх змиті аналоги [22]. На рис. 1 показано схему точок відбирання проб

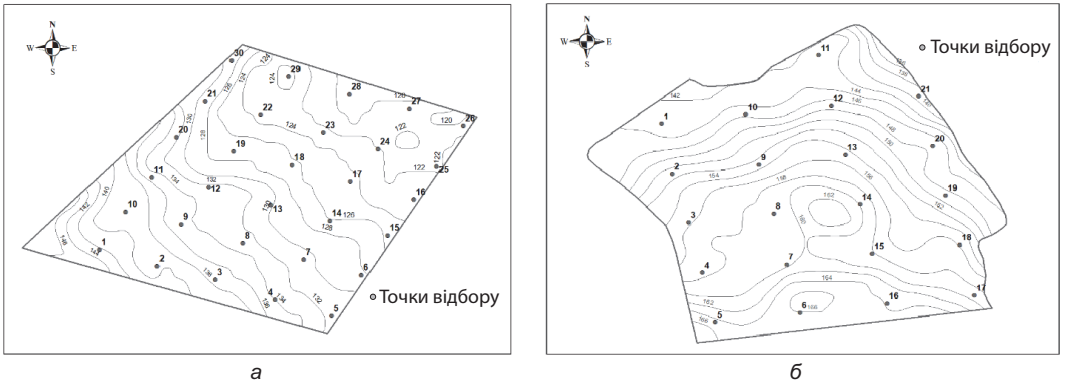


Рис. 1. Розташування точок відбору зразків ґрунту та ізолій рельєфу в межах об'єктів досліджень: *а* — дослідний об'єкт № 1 (с. Новий Коротич); *б* — дослідний об'єкт № 2 (с.мт Буди)

ґрунту та ізолії рельєфу в межах об'єктів досліджень. Відстань між точками — 100 м.

Дослідження проведено впродовж вегетаційного періоду розвитку сільськогосподарських культур у 2020–2021 рр. На жаль, через об'єктивні обставини, що склалися в 2022 р. у зв'язку зі збройною агресією росії проти України та веденням активних бойових дій на території Харківської області, на 3-й рік не було можливості провести польові дослідження. Упродовж періоду спостережень у польових умовах із використанням приладу GPS «Garmin 9» було закладено регулярну сітку елементарних ділянок із розрахунку 1 ділянка на 1 га, у межах яких відібрано проби ґрунту з шару 0–30 см згідно з ДСТУ [23] та визначено гранулометричний склад досліджуваних ґрунтів методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського за ДСТУ [24].

Визначення вмісту нітратного і амонійного азоту проведено в умовах аналітичної лабораторії інструментальних методів досліджень ґрунтів, стандартизації та метрології ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» за ДСТУ 4729:2007 [25].

Статистичний аналіз одержаних результатів здійснено із використанням універсальної інтегрованої системи, призначеної для статистичного аналізу, візуалізації даних — Statistica та стандартної комп'ютерної програми Excel.

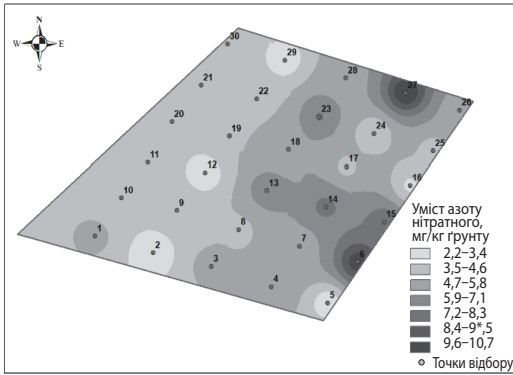
Результати досліджень. Під час досліджень з умісту сполук азоту виявилось, що за період

спостережень істотно змінилася просторова структура поширення амонійних і нітратних форм азоту на обох дослідних об'єктах.

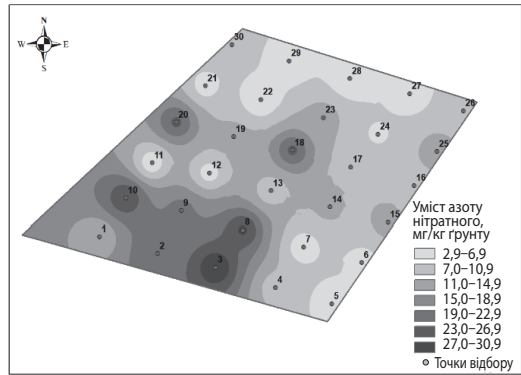
Неоднорідність умісту нітратного азоту. Саме нітратний азот є найпоширенішою формою азотних сполук у ґрунті та найбільш доступним джерелом азотного живлення для рослин порівняно з амонійним азотом. Нітратний азот є досить динамічним, оскільки здатний постійно переміщатися вздовж і поперек профілю ґрунту. При цьому він не поглинається ґрунтовими колоїдами, а навпаки, — відштовхується від них горизонтально та вертикально по профілю. Тому з'являється можливість вносу з ґрунту, особливо якщо в ґрунтовому середовищі є активна зона кореневої системи. За наявності легкого гранулометричного складу ґрунтів є ймовірність вимивання нітратних груп у глибші шари ґрунту [26].

ґрунти дослідного об'єкта № 1 у 1-й рік спостережень характеризувалися дуже низьким умістом нітратного азоту за наявною класифікацією [27], його значення на період відбору зразків не перевищували 2,23–10,67 мг/кг ґрунту. При цьому розподіл цієї форми азоту був нерівномірним (рис. 2, а): зони збільшення показника характерні для чорноземів опідзолених і темно-сірих опідзолених ґрунтів. На 2-й рік спостережень відзначено зростання вмісту нітратного азоту до низьких і середніх рівнів (рис. 2, б).

Аналіз варіабельності визначених показників у ґрунтах дослідного об'єкта № 1 у 1-й



а



б

Рис. 2. Просторовий розподіл умісту нітратного азоту в ґрунтах (об'єкт № 1): а – уміст нітратного азоту (2020 р.); б – уміст нітратного азоту (2021 р.) (для рис. 2, 3)

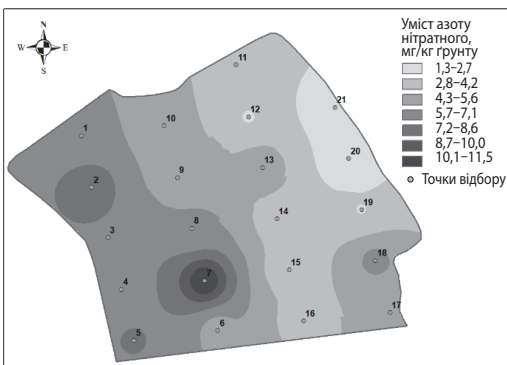
рік досліджень виявив збільшення коефіцієнта варіації (K_v) нітратної форми азоту, який становив 0,41. Упродовж 2-го року досліджень спостерігалось значне підвищення значень K_v до 0,71.

Уміст нітратного азоту для ґрунтів об'єкта № 2 в 1-й рік досліджень характеризувався K_v на рівні 0,49, при цьому його значення варіювали в межах 1,26–11,50 мг/кг ґрунту, що відповідає його дуже низькому вмісту (рис. 3).

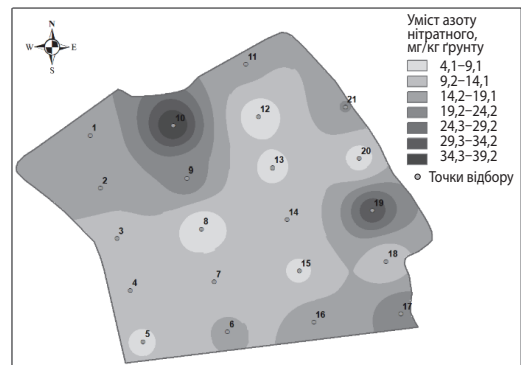
Дані 2-го року досліджень підтверджують збільшення вмісту цих форм азоту до середнього рівня, що характерно для понижених форм рельєфу, де зосереджені чорноземи опідзолені намиті. Слід зазначити, що нітратна форма азоту більше піддається вимиванню атмосферними опадами, тому нормальним явищем

є накопичення його в понижених формах рельєфу. Значення K_v зросли до 0,65, підтверджуючи наявність неоднорідності за досліджуваним показником.

Неоднорідність умісту амонійного азоту. Уміст амонійного азоту характеризується більшою стабільністю порівняно з умістом нітратного азоту саме через його слабку поглинання рослинами завдяки своїм особливостям, тобто відносній нерухомості цієї форми в ґрунтах і стабільному опору промиванню по ґрунтовому профілю. Амонійний азот не накопичується в рослинах, як нітратний, а використовується для того, щоб синтезувати азотні сполуки. Тобто саме амонійний азот добре пов'язаний із генезисом ґрунтів, що створює оптимальні умови для росту кореневої системи рослин, і бере участь в утворенні амінокислот і білків [28].



а



б

Рис. 3. Просторовий розподіл умісту нітратного азоту в ґрунтах (об'єкт № 2)

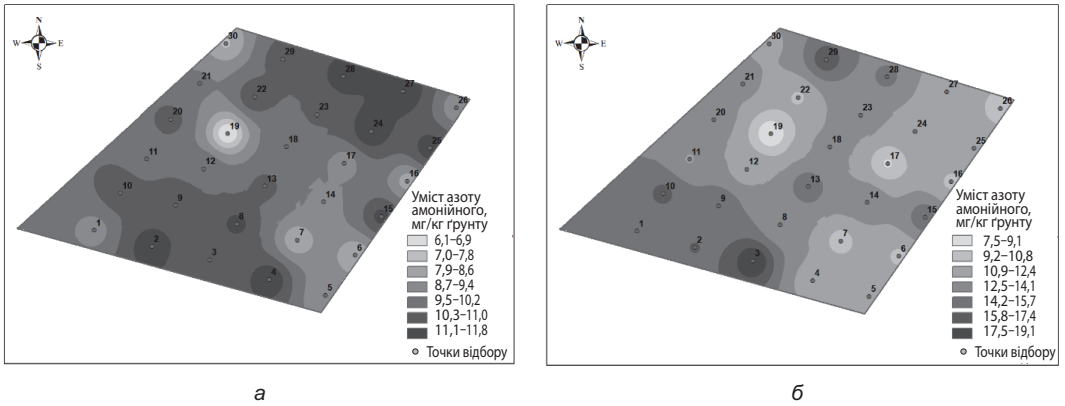


Рис. 4. Просторовий розподіл умісту амонійного азоту в ґрунтах (об'єкт № 1): а – уміст амонійного азоту (2020 р.); б – уміст амонійного азоту (2021 р.) (для рис. 4, 5)

Геостатистична обробка отриманих даних підтвердила наявність неоднорідності за вмістом амонійного азоту в ґрунтах об'єктів досліджень (рис. 4).

Уміст амонійного азоту виявився стабільнішим: орні ґрунти об'єкта № 1 упродовж періоду спостережень характеризувалися дуже низьким умістом амонійного азоту: 11,81 (2020 р.) і 19,06 (2021 р.) мг/кг ґрунту відповідно, K_v дорівнював відповідно 0,14 та 0,20. При цьому максимальні значення вмісту амонійного азоту були зосереджені в перехідній зоні до чорноземів опідзолених і чорноземів типових підвищено зволжених у 2020 р. та в напрямі темно-сірих опідзолених ґрунтів у 2021 р.

Для ґрунтів об'єкта № 2 максимальні значення вмісту амонійного азоту 1-го року досліджень становили 27,41 мг/кг, 2-й рік

досліджень характеризувався зменшенням цього показника до 25,54 мг/кг ґрунту.

Значення K_v за весь період досліджень залишалися на рівні 28%. Загалом максимальні значення вмісту амонійного азоту зафіксовано на підвищених частинах поля, де зосереджені темно-сірі опідзолени ґрунти, з часом спостерігалось підвищення вмісту амонійних сполук азоту в місцях розташування сірих опідзолених слабозмитих ґрунтів (рис. 5).

Слід зазначити, що вміст нітратних форм азоту в досліджуваних ґрунтах виявився досить динамічним, тоді як вміст амонійного азоту був стабільнішим. Значну величину K_v нітратних форм азоту супроводжує неоднорідність на різних відстанях. Така просторова строкатість розподілу вмісту сполук азоту відзначається також за рахунок

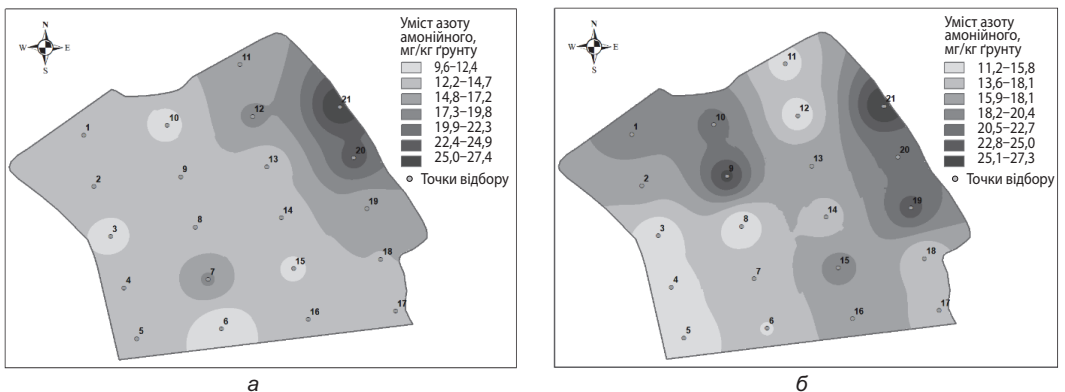


Рис. 5. Просторовий розподіл умісту амонійного азоту в ґрунтах (об'єкт № 2)

перерозподілу тепла і вологи на різних за рельєфом частинах земельних ділянок.

Установлено, що важливу роль у просторовому розподілі вмісту сполук азоту відіграє гранулометричний склад ґрунтів. Збільшення забезпеченості ґрунтів нітратними формами азоту спостерігається на ґрунтах легкоглинистого гранулометричного складу об'єкта № 1. Для об'єкта № 2 характерною є просторова мінливість, що проявляється в нестабільності показника гранулометричного складу від легкосуглинного до легкоглинистого залежно від умісту фізичної глини.

Неоднорідність умісту амонійних форм азоту впродовж періоду спостережень перевищувала варіацію кількісного вмісту показника. Стабільним є накопичення амонійних

форм у темно-сірих опідзолених легкоглинистих ґрунтах на вищих поверхнях, найнижчі показники зафіксовано на темно-сірих опідзолених слабксероморфних ґрунтах у комплексі з їх еродованими аналогами.

Одержані дані підтверджують, що вміст нітратного азоту є дуже динамічним порівняно з аміачним, уміст якого є стабільнішим, оскільки пов'язаний з генетичною природою ґрунтів. У зв'язку з цим діагностику азотного живлення рослин слід проводити за вмістом нітратного азоту й основи отриманих даних обґрунтовувати впровадження елементів точного землеробства, зокрема диференційоване внесення азотних добрив для підживлення культур. Цей факт також підтверджується дослідженнями зарубіжних учених [29, 30].

Висновки

За результатами досліджень, для азотного живлення ґрунту неможливо скласти довгострокові прогнози, оскільки в мінливих природних умовах з урахуванням просторової неоднорідності ґрунтового покриву кількість азоту, мобілізованого з органічної речовини в межах одного різновиду ґрунту, є неоднаковою, що підтверджує доцільність проведення детальних агрохімічних обстежень орних ґрунтів.

Відзначено істотні зміни просторової структури поширення вмісту сполук азоту в ґрунтах обох об'єктів досліджень Лівобережного Лісостепу України. Отримані дані свідчать про те, що вміст нітратного азоту значно переважає уміст амонійного азоту в ґрунтах дослідних об'єктів, що простежувалося особливо на 2-му році досліджень. Спостерігалось збільшення вмісту сполук азоту впродовж періоду досліджень, зокрема вміст амонійного азоту збільшився на 22,4%, нітратного – на 57,7%.

Установлено, що важливу роль у просторовому розподілі вмісту сполук азоту відіграє гранулометричний склад ґрунтів. Збільшення забезпеченості ґрунтів нітратними формами азоту спостерігається на ґрунтах легкоглинистого гранулометричного складу об'єкта № 1. Для об'єкта № 2 характерною є просторова мінливість, що проявляється у нестабільності показника гранулометричного складу від легкосуглинного до легкоглинистого залежно від умісту фізичної глини.

Доведено, що нітратні сполуки є більш нестійкими в просторі та часі впродовж періоду спостережень порівняно з амонійними, що дає змогу рекомендувати впровадження заходів з точного землеробства, зокрема диференційованого внесення азотних добрив саме на основі діагностики вмісту нітратного азоту в ґрунтах для підживлення вирощуваних сільськогосподарських культур з метою отримання сталих урожаїв.

Plisko I.¹, Kutsova K.²

*National Scientific Center «Institute of Soil Science and Agrochemistry named after A.N. Sokolovsky»
4 Chaikovska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail:
¹irinachujan@gmail.com, ²karinamatveeva48@gmail.com; ORCID: ¹0000-0001-8111-7662, ²0000-0002-7130-2343*

The heterogeneity of the content of nitrogen compounds in arable soils in the left-bank forest-steppe of Ukraine

Goal. To research the features of the spatial distribution of the content of nitrogen compounds (nitrate and ammonium groups) in arable soils of different genesis of the Left Bank Forest Steppe

of Ukraine and to substantiate the implementation of precision farming measures. **Methods.** Informational and bibliographic — for summarizing literary data and substantiating the need for conducting research; field — for breaking down a regular grid and taking soil samples; laboratory — to determine the content of nitrogen compounds; statistical and geostatistical — for mathematical processing of data and assessment of the reliability of the obtained data. **Results.** Based on the analysis of literary sources, the role of nitrogen compounds in plant nutrition was outlined, the heterogeneity of the content of agrochemical properties of arable soils, including the content of ammonium and nitrate forms of nitrogen, was analyzed. It was confirmed the existence of heterogeneous distribution of nitrogen compounds content in the spatio-temporal continuum during the observation period. It was established that the nitrate form of nitrogen has a quantitative advantage in the soils of the Left Bank Forest Steppe of Ukraine, which differ in species composition, compared to the ammonium form. The important role of the granulometric composition of soils in the spatial distribution of the content of nitrogen compounds was noted. It was established that nitrate nitrogen compounds are more dynamic compared to ammonium compounds, which makes it possible to carry out diagnostics and recommend

the implementation of precision farming measures based on the content of nitrate nitrogen.

Conclusions. Changes in the spatial structure of the distribution of ammonium and nitrate forms of nitrogen at both production objects were recorded during the observation period. It has been proven that the supply of soil with nitrogen is determined by the presence of heterogeneous landforms and, to a lesser extent, by the genetic composition of soils. It was established that nitrogen nitrate compounds are more unstable in space and time during the observation period compared to ammonium compounds. On the basis of geostatistical data processing, the existence of heterogeneity in the content of nitrogen compounds in the studied soils was confirmed. It was established that nitrate compounds are more unstable in space and time during the observation period compared to ammonium compounds, which makes it possible to recommend the implementation of precision agriculture measures, in particular, differentiated application of nitrogen fertilizers, precisely on the basis of diagnostics of nitrate nitrogen content in soils. Over time, this will allow to equalize the level of soil fertility for the nutrition of agricultural crops in order to obtain stable yield.

Key words: ammonium and nitrate nitrogen, soil, differentiated agricultural measures, spatial heterogeneity.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202301-01>

Бібліографія

1. Yousaf M., Bashir S., Raza H. et al. Role of nitrogen and magnesium for growth, yield and nutritional quality of radish. *Saudi J. of Biological Sciences*, 2021. № 28 (5). P. 3021–3030. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.02.043
2. Leghari S.J., Wahocho N.A., Laghari G.M. et al. Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A review. *Advances in Environmental Biology*. 2016. № 10 (9). P. 209–218.
3. Крамарьов С.М., Крамарьов О.С., Демиденко В.Г. та ін. Економічна ефективність використання карбамід-аміачних сумішей (КАС) в сучасних системах удобрення сільськогосподарських культур. Дніпро: Нова ідеологія, 2020. 195 с.
4. Xu G.H., Fan X.R., Miller A.J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*. 2012. № 63. P. 153–182. doi: 10.1146/annurev-arplant-042811-105532
5. Martynyuk A. Modern ecological production level in agricultural enterprises. *Danish Scientific J*. 2018. № 19. P. 43–51.
6. Резніченко В.П., Ковальов М.М. Забезпеченість азотом гумусного горизонту чорноземів типового та звичайного в умовах Північного Степу України. Меліорація і родючість ґрунтів. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 107. С. 303–311.
7. Носко Б.С. Азотний режим ґрунтів і його трансформація в агроекосистемах. Харків: КП «Міська друкарня», 2013. 130 с.
8. Медведев В.В. Неоднородность почв и точное земледелие. Ч. 1. Введение в проблему: монография. Харьков: Изд-во «13 типография», 2007. 296 с.
9. Неоднородность почв и точное земледелие. Ч. 2. Результаты исследований; под ред. В.В. Медведева. Харьков: Городская типография, 2009. 260 с.
10. Liu Y., Gao P., Zhang L. et al. Spatial heterogeneity distribution of soil total nitrogen and total phosphorus in the Yaoxiang watershed in a hilly area of northern China based on geographic information system and geostatistics. *Ecology and Evolution*. 2016. V. 6. Is. 19. P. 6807–6816. doi: 10.1002/ece3.2410
11. Wang L., Mou P., Huang J. et al. Spatial heterogeneity of soil nitrogen in a subtropical forest in China. *Plant and Soil*. 2007. V. 295. № 12. P. 137–150. doi: 10.1007/s11104-007-9271-z
12. Baas Peter, Mohan Jacqueline E., Markewitz David, Knoepp Jennifer D. Assessing heterogeneity

in soil nitrogen cycling: a plot-scale approach. *Soil Science Society of America J.* 2014. V. 78. P. 237–247. doi: 10.2136/sssaj2013.09.0380nafsc

13. Zadorozhnaya G.A., Andrusyevych K.V., Zhukov O.V. Soil heterogeneity after recultivation: ecological aspect. *Folia Ecologica.* 2018. V. 45. № 1. P. 46–52. doi: 10.2478/foecol-2018-0005]

14. Пліско І.В., Біцюра В.Л. Дослідження просторової неоднорідності параметрів ґрунту за даними агрохімічного обстеження земельної ділянки. *Агрохімія і ґрунтознавство.* 2007. Вип. 67. С. 60–66.

15. Córdova C., Barrera J.A., Magna C. Spatial variation of nitrogen mineralization as a guide for variable application of nitrogen fertilizer to cereal crops. *Nutr Cycl Agroecosyst.* 2018. № 110(1). P. 1–6. doi: 10.1007/s10705-017-9886-2

16. Robert P.C. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. *Plant and Soil.* 2002. № 247. P. 143–149.

17. Mikula K., Izydorczyk G., Skrzypczak D. et al. Controlled release micronutrient fertilizers for precision agriculture — A review. *Science of the Total Environment.* 2020. № 712. Article 136365.

18. Балюк С.А., Носко Б.С., Шимель В.В. та ін. Оптимізація живлення рослин у системі факторів ефективної родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки.* 2019. № 3 (792). С. 12–19. doi: 10.31073/agrovisnyk201903-02

19. Носоненко О.А., Захарова М.А., Воронинцева Л.І., Афанасьєв Ю.О. Вплив диференціації азотного удобрення темно-каштанового солонцюватого ґрунту на його агрохімічні показники та врожайність сільськогосподарських культур. *Вісник аграрної науки.* 2021. № 9. С. 12–19. doi: 10.31073/agrovisnyk202109-02

20. Господаренко Г.М., Прокопчук С.В. Вплив азотних добрив на поживний режим чорнозему опідзоленого та врожай нуту. *Вісник Уманського національного університету садівництва.* 2014. № 1. С. 3–8. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vumncs_2014_1_3

21. *Агрофизические* исследования в опытах по обработке и удобрению почв: методические

рекомендации. Украинский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского. Харьков, 1977. 58 с.

22. Максименко Н.В., Квартенко Р.О., Різник К.Ю. Оновлене фізико-географічне районування Харківської області. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна.* Серія Екологія». 2016. № 14. С. 20–32.

23. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Чинний від 2005-07-01. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с.

24. ДСТУ 4730:2007. Визначення гранулометричного (зернистого) складу ґрунту методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського. Чинний від 2008-01-01. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 24 с.

25. 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, 2008. 9 с.

26. Olness A., Lopez D., Archer D. et al. Factors affecting microbial formation of nitrate-nitrogen in soil and their effects on fertilizer nitrogen use efficiency. *Scientific World J.* 2001. V. 1. P. 122–129. doi: 10.1100/tsw.2001.308

27. Греков В.О., Дацько Л.В., Жилкін В.А. та ін. *Методичні вказівки з охорони родючості ґрунтів.* Київ, 2011. 108 с.

28. Wang J., Tu X., Zhang H. et al. Effects of ammonium-based nitrogen addition on soil nitrification and nitrogen gas emissions depend on fertilizer-induced changes in pH in a tea plantation soil. *Science of the Total Environment.* 2020. V. 747. Article 141340. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141340

29. Hulanicki A., Glab S., Ingman F. Chemical sensors: Definitions and classification. *Pure Appl. Chem.* 1991. 63. P. 1247–1250.

30. Filintas1 Ag., Dioudis P., Pateras D. et al. Irrigation water and applied nitrogens fertilizer effects in soils nitrogen depletion and nitrates GIS mapping. Proc. of First International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE/SECOTOX). 2007. *Skiathos Island, Greece.* V. III. P. 2201–2207.