

## ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ҐРУНТУ ЗА ЙОГО МІКРОБІОЛОГІЧНИМИ ТА БІОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ТРАНСФОРМАЦІЇ СПОЛУК ЦИКЛУ НІТРОГЕНУ

**В. Самохвалова<sup>1\*</sup>, О. Старченко<sup>1</sup>, В. Чебанова<sup>1</sup>,  
В. Чабан<sup>2</sup>, О. Подобед<sup>2</sup>, П. Самохвалова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства  
та агрохімії імені О.Н. Соколовського» НААН України  
вул. Чайковська, 4, Харків 61024, Україна

<sup>2</sup>Державна установа Інститут зернових культур НААН України  
вул. В. Вернадського, 14, Дніпро 49027, Україна

<sup>3</sup>Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
пл. Свободи, 4, Харків 61022, Україна  
e-mail: v.samokhvalova.com@gmail.com

За результатами інформаційно-аналітичних досліджень було встановлено високу інформативність мікробіологічних показників ґрунту, що відображають спрямованість та інтенсивність мікробіологічних процесів трансформації нітрогеновмісних сполук; прогностичну цінність показників інтегральних біохімічних процесів ґрунтів, що пов'язані з трансформацією сполук нітрогену ґрунту; ефективність використання встановленої інформативності та прогностичної цінності мікробіологічних і біохімічних показників трансформації нітрогеновмісних сполук ґрунтів різних типів для прогнозування мікроелементного статусу й одночасного урахування функціонального різноманіття ґрунтових процесів.

Обґрунтовано новий спосіб визначення мікроелементного складу ґрунтів різного генезису з урахуванням спрямованості мікробіологічних процесів трансформації нітрогеновмісних речовин, взаємодії мікробіоценозу та біохімічної складової циклу сполук нітрогену ґрунтів.

Розроблений алгоритм запропонованого способу включає: відбір зразків, їхній аналіз та отримання даних; визначення мікроелементного складу ґрунтів, стану мікробіоценозу (показники чисельності основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів) та біохімічної (інтегральні біохімічні показники – несимбіотичну азотофіксацію, амоніфікацію та нітрифікацію ґрунту) складової циклу сполук нітрогену, що одержують відомими методами; прогнозування елементного складу ґрунтів за регресійними рівняннями з подальшим поширенням алгоритму способу на основні мікроелементи / важкі метали та ґрунти різних типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження.

За рахунок використання математико-статистичного аналізу, встановленням нових кількісних взаємозв'язків діагностичних показників хімічного та біологічного стану ґрунтів забезпечується універсальність, підвищення інформативності, точності, експресності способу за фонових (природних) умов, впливу технологічного навантаження, ризику і наявності техногенного забруднення для управління якістю ґрунтів з урахуванням їхнього мікроелементного складу та біогенності.

Патентно захищений спосіб (патент на корисну модель № 124819 UA, 2018) забезпечує експресність прогнозування мікроелементного статусу та біогенності ґрунту; підвищення точності та прогнозованості якісного стану ґрунту за мікроелементним складом.

*Ключові слова:* ґрунт, мікробіологічні та біохімічні показники, трансформація нітрогеновмісних сполук ґрунту, мікроелементи, важкі метали, техногенне забруднення, технологічне навантаження, спосіб, прогнозування

Ґрунт як біокосна система відрізняється від кори вивітрювання біогенною акумуляцією хімічних елементів (ХЕ) [22, 23], яку здійснюють за геологічної роботи живої речовини, насамперед, мікроорганізми ґрунту. Урахування та використання існуючих структурних зв'язків показників елементного статусу ґрунтів і їхньої біогенності, взаємного впливу цих показників, у тому числі специфічної дії мікроелементів /важких металів (МЕ /ВМ) на мікробіологічну та біохімічну активність ґрунту дає змогу вирішувати спектр практичних завдань щодо раціонального використання мікродобрив і бактеріальних добривних препаратів, підвищення їхньої ефективної дії та взаємодії у ґрунтах різного генезису, подолання труднощів щодо моніторингу функціонування системи «ґрунт – мікроорганізми та ферменти ґрунту – ризосфера рослин» для управління ґрунтовими процесами і режимами (зокрема, баланс нітрогену й карбону, трансформація нітрогеновмісних сполук та сполук МЕ /ВМ ґрунту тощо) у різних ґрунтово-кліматичних умовах і за умов антропогенних навантажень.

Однак показники біологічної активності ґрунтів (мікробіологічні, біохімічні) практично не використовуються за оцінювання їхньої родючості, хоча є важливими для оцінювання процесів і явищ генезису ґрунтів (формування профілю ґрунту, утворення гумусу та водотривких агрегатів і структури, вміст біогенних елементів С, N; трансформація ХЕ та їхня біогенна акумуляція, деструкція мінералів тощо), біохімічних механізмів ґрунтових процесів і живлення рослин. Також використання показників біогенності ґрунту дає змогу оперативно отримувати практичні результати щодо керованого ефективного впливу на систему «ґрунт – мікроорганізми і ферменти ґрунту – ризосфера рослин» за штучного збагачення ґрунту певними видами мікроорганізмів (наприклад, родів *Azotobacter*, *Nitrobacter* тощо), впливаючи на біологічний склад ґрунту певного типу застосуванням біопрепаратів удобрювальної дії, а також на його режими. Зокрема, основним механізмом режиму ґрунту є спряжене функціонування ґрунтового мікробіоценозу, кореневої системи рослин як живої фази ґрунту і колоїдного комплексу ґрунту [2, 27]. Біологічна обумовленість функціонування систем нітрогену ґрунтів значно ускладнює їхнє діагностування. Важливим є використання співвідношення процесів мобілізації – іммобілізації форм нітрогену ґрунту в системі «ґрунт – мікроорганізми і біохімічні процеси та МЕ ґрунту – рослина». Наявність та функціонування у ґрунтах різноманітних груп мікроорганізмів, які відрізняються за фізіологічними та біохімічними особливостями, безперервне надходження у ґрунт органічних речовин обумовлює їхню участь у процесах кругообігу нітрогену ґрунту – азотофіксації, нітрифікації, амоніфікації і денітрифікації, в результаті утворюються нітрогеновмісні речовини, які використовують мікроорганізми та рослини [13, 28]. Отже, мікробіоценоз ґрунту є інформативним для розуміння спрямованості процесів трансформації нітрогену в ґрунті, оцінювання азотного та гумусового стану ґрунту, відтворення ґрунтової родючості [7, 14].

За впливу на мікробний біоценоз антропогенних навантажень, наприклад, застосування мінеральних добрив, встановлено зміну мікробіологічного різноманіття ґрунту як в бік інтесифікації мікробіологічних процесів, так і в бік збіднення на окремі еколого-трофічні групи мікроорганізмів, залежно від дози застосованих добрив [14, 28]. Тому застосування добрив, особливо доз мінерального компонента, потребує нових знань щодо закономірностей перебігу мікробіологічних процесів трансформації нітрогену у відповідності до генетичного типу ґрунту.

Узагальнення результатів проведених багаторічних польових досліджень щодо мікробіологічних процесів трансформації нітрогену в дерново-підзолистому ґрунті, чорноземах типовому і звичайному [10, 30] за технологічного навантаження (тривалий вплив різних систем удобрення) дало змогу встановити закономірності спрямованості мікробіологічних

процесів трансформації нітрогеновмісних речовин у ґрунтах. Визначено, що тривале застосування мінеральної системи удобрення (переважає у сучасному землеробстві країни) не призвело до збільшення кількості органотрофів ґрунту, а збільшення доз добрив навіть зменшує їхню чисельність, як і асоціативних азотофіксаторів. Органо-мінеральна система удобрення найбільш позитивно впливає на перебіг мікробіологічних процесів у ґрунтах різних генетичних типів. Доведено закономірні зв'язки показників мікробіологічних процесів трансформації нітрогеновмісних речовин ґрунтів різних типів за технологічного навантаження. Визначено закономірності трансформації й акумуляції МЕ /ВМ у ґрунті, їхній баланс у системі «добриво – ґрунт – рослина» за тривалого застосування в агрофітоценозі органічних і мінеральних добрив [29] з урахуванням філогенетичних особливостей рослин, що допомогло розробити шляхи оптимізації поживного (зокрема, азотного) режиму ґрунту й удосконалити систему живлення рослин в умовах Північного Степу України.

Розроблено нові методичні підходи щодо прогнозування вмісту МЕ /ВМ, зокрема Zn та Pb, у ґрунтах різного генезису для оцінювання їхнього еколого-енергетичного стану за фонових умов і впливу технологічного навантаження, ризику та наявності техногенного забруднення ВМ [17-18] використанням показників енергоємності ґрунтів із забезпеченням розширення можливостей користувача у визначенні вмісту МЕ /ВМ у ґрунті без тривалих хіміко-аналітичних досліджень, з одночасною економією коштів і часу, за рахунок вибору формул, отриманих на основі комбінаційних пар показників ґрунтових властивостей, згідно з наявною інформацією. Також розроблено спосіб прогнозування родючості ґрунтів за їхнім макроелементним станом [19], що включає використання інтегральних базових показників енергетичного та макроелементного статусу ґрунтів, зокрема, вміст загального нітрогену як біогенного елемента ґрунту, із забезпеченням підвищення інформативності, точності й експресності прогнозування якості ґрунтів за фізичними та хімічними властивостями ґрунтів, у тому числі за умов техногенного забруднення й технологічного навантаження.

За умов впливу поліелементного забруднення чорноземних ґрунтів ВМ (Cd, Pb, Ni, Cr) та використання стабільного ізотопу нітрогену  $^{15}\text{N}$  у системі «ґрунт-рослина» нами встановлено [25, 34] гальмування процесів нітрифікації та порушення співвідношення ХЕ у ґрунті ( $\text{N-NH}_4$  і Cd, Pb, Ni, Cr;  $\text{N-NO}_3$  і Cr;  $\text{N-NH}_4$  і Cr;  $\text{N-NO}_3$  і Cd, Pb, Ni, Cr). До того ж встановлення впливу забруднення ВМ ґрунту на основі використання лише показника нітрифікаційної здатності унеможливує точне визначення рівнів вмісту МЕ /ВМ та нітрогену забрудненого ґрунту і потребує залучення додаткових діагностичних показників для коректного визначення спрямованості й інтенсивності біологічних процесів (мікробіологічних, біохімічних) трансформації нітрогеновмісних речовин ґрунту.

Таким чином, актуалізується необхідність подальшого пошуку та залучення нових додаткових діагностичних показників ґрунтових властивостей для селективного вибору найбільш кореляційно пов'язаних і діагностично придатних із них з можливістю точного й експресного прогнозування, оцінювання якості ґрунтів різного генезису, враховуючи їхню біогенність і макро- та мікроелементний склад.

Мета досліджень – розробити спосіб визначення елементного складу ґрунтів різного генезису з урахуванням їх мікробіологічної та біохімічної складових циклу сполук нітрогену за рахунок встановлення нових кількісних взаємозв'язків показників МЕ складу ґрунту та його біогенності, що забезпечує підвищення інформативності, точності, експресності способу за фонових (природних) умов, впливу технологічного навантаження, ризику і наявності техногенного забруднення для управління якістю ґрунтів за біогенністю й елементним складом. Очікуваний результат – експресність прогнозування елементного статусу та біогенності ґрунту; підвищення точності та прогнозованості екологічного стану ґрунту.

### Матеріали та методи

Алгоритм розроблення способу, що захищено охоронним документом, передбачав обов'язкову етапність проведення комплексних багаторічних наукових досліджень, а саме:

1. Етап інформаційно-аналітичних досліджень. Аналіз наявних методичних підходів щодо визначення та прогнозування мікроелементного, мікробіологічного та біохімічного стану ґрунтів, проведення патентного пошуку згідно з ДСТУ 3574 та ДСТУ 3575 [15, 21] і формування робочої ідеї (гіпотези). Об'єкти – наявні джерела наукової інформації (каталоги періодики, картотеки статей і рецензій із використанням інформаційно-пошукових систем, баз і банків даних, Internet), у тому числі бази даних науково-технічної інформації щодо об'єктів авторського права, які запатентовано в Україні та країнах пострадянського простору, ЄС у площині поставленої мети. Методи досліджень – методи теоретичного аналізу, системний підхід.

2. Етап польових досліджень (протягом 2001–2012 рр.). Проведення ґрунтово-геохімічних досліджень у природно-кліматичних зонах Полісся (Житомирська обл.), Лісостепу (Харківська обл.) та Степу (Дніпропетровська та Донецька обл.) України.

Об'єкти дослідження – мікробіологічні та біохімічні процеси трансформації нітрогену у ґрунтах різних типів (зокрема, опідзоленого й акумулятивного ряду) та мікроелементний статус ґрунтів за впливу технологічного навантаження (системи удобрення) та техногенного забруднення ВМ і без антропогенних навантажень. Методи досліджень – універсальні загальнонаукові методи, методи теоретичного аналізу (структурно-функціональний, системний підхід); екосистемний і ландшафтно-геохімічні підходи.

Відбір зразків з орного (до 20 см) шару ґрунтів різного генезису (дерново-підзолисті, ясно-сірі, сірі, темно-сірі, чорноземи опідзолені, типові та звичайні тощо) здійснено згідно з чинними ДСТУ 4287 і ДСТУ ISO10381-6 [31, 32].

Стаціонарні польові та мікропольові дослідження проводили з урахуванням впливу фактора технологічного навантаження (системи удобрення) на ґрунти Харківської, Житомирської та Дніпропетровської обл. та за умов дії фактора техногенного забруднення ґрунтів за сталого впливу джерел атмотехногенних емісій локального і дифузного забруднення неорганічної природи промислових об'єктів Харківської, Дніпропетровської та Донецької обл. (Зміївська ТЕС ПАТ «Центрэнерго» НАК «Енергетична компанія України» Харківської обл.; ПАТ Дніпровський металургійний комбінат імені Дзержинського Дніпропетровської обл.; ВАТ «Укрцинк» і ВАТ «Авдіївський коксохімічний завод», Миронівська ТЕС і Старобешівська ТЕС ПАТ «Центрэнерго» Донецької обл.). Дослідження у зонах техногенного забруднення проведено у період 1991–1996 рр. та 2002–2015 рр.

Протягом 2009–2011 рр. проведено польові дослідження за розробленими схемами із встановлення закономірностей мікробіологічних процесів трансформації нітрогену за умов застосування сучасних агротехнологій вирощування культур агрофітоценозу в різних ґрунтово-кліматичних умовах.

У зоні Лісостепу досліджували мікробні ценози ґрунтів стаціонарного польового досліді з агроекологічного моніторингу ДП «ДГ Граківське» ННЦ «ІА імені О.Н. Соколовського». Ґрунт – чорнозем типовий середньогумусний легкоглинистий на лесі. Схема польового досліді: 1. контроль (без добрив); 2. мінеральні добрива ( $N_{45}P_{50}K_{45}$ ); 3. мінеральні добрива ( $N_{90}P_{100}K_{90}$ ); 4. органічні добрива (гній 8 т/га); 5. органо-мінеральні добрива (гній 8 т/га+ $N_{45}P_{50}K_{45}$ ); 6. органо-мінеральні добрива (гній 8 т/га+ $N_{90}P_{100}K_{90}$ ).

Чергування культур у сівозміні: пар, озима пшениця (*Triticum aestivum* L.), цукрові буряки (*Beta vulgaris* S. *V. saccharifera*), віко-овес (*Vicia sativa* L. та *Avena sativa* L.), озима пшениця (*Triticum aestivum* L.), кукурудза (*Zea mays*) на силос, ячмінь ярий (*Hordeum*

*vulgare*), соя (*Glycine max Moench.*), люцерна (*Medicago sativa*), озима пшениця (*Triticum aestivum* L.), кукурудза (*Zea mays*) на силос, соняшник (*Helianthus annuus* L.). Культури: 2009 р. – кукурудза (*Zea mays*) на силос; 2010 р. – ячмінь (*Hordeum vulgare*); 2011 р. – соя (*Glycine max Moench.*).

У зоні Полісся досліджували мікробні ценози ґрунтів стаціонарного польового дослідження Житомирської балансово-лізиметричної станції. Ґрунт у лізиметрах дерново-середньопідзолистий супіщаний, з глибини 50–60 см підстиляється мореним суглинком. Дослідження проведено у ланці сівозміни з таким чергуванням культур: кукурудза (*Zea mays*) на зелений корм, озимий ріпак (*Brassica napus* L.), озиме жито (*Secale cereale* L.), горох з вівсом (*Pisum sativum* та *Avena sativa* L.).

Дослідження проведено за такою схемою польового дослідження: 1. контроль (без добрив); 2. мінеральні добрива ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ); 3. органо-мінеральні добрива ( $N_{60}P_{60}K_{60}$  + сидерат (люпин вузьколистий (*Lupinus angustifolius* L.)).

У зоні Степу України досліджували мікробні ценози ґрунтів Єрастівської ДС (стаціонарний польовий дослід відділу землеробства Інституту зернових культур НААН України). Ґрунт: чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинистий на лесі. Сівозміна: чорний пар, озима пшениця (*Triticum aestivum* L.), кукурудза (*Zea mays*) на зерно, соя (*Glycine max Moench.*), ячмінь ярий (*Hordeum vulgare*), горох (*Pisum sativum*), озима пшениця (*Triticum aestivum* L.), соняшник (*Helianthus annuus* L.). Культура: ячмінь ярий (*Hordeum vulgare*), озима пшениця (*Triticum aestivum* L.), соняшник (*Helianthus annuus* L.).

Дослідження проведено за такою схемою польового дослідження: 1. контроль (без добрив); 2. органічні добрива (гній 8,8 т/га); 3. органо-мінеральні добрива (5,0 т/га +  $N_{21}P_{21}K_2$ ); 4. мінеральні добрива ( $N_{43}P_{41}K_{41}$ ).

Усі ґрунтові зразки за проведення польових дослідів відбирали з орного (до 20 см) шару в чотириразовій повторності й у кілька строків (період активної вегетації рослин і збору врожаю тест-рослин).

3) Етап хіміко-аналітичних і лабораторних досліджень. Визначення спрямованості й інтенсивності окремих мікробіологічних і біохімічних процесів трансформації нітрогену ґрунту проводили аналізуючи зразки ґрунту у відділі охорони ґрунтів та секторі мікробіології ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», згідно з чинними нормативними документами і методичною базою.

У зразках ґрунтів визначали такі показники біологічних властивостей: а) чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп методом мікробіологічного посіву (глибинним методом) ґрунтової суспензії відповідного розведення на тверді живильні середовища [6] та рідкі поживні середовища: асоціативних азотофіксаторів – на середовищі Доберейнер; олігонітрофілів – на середовищі Ешбі [9], денітрифікаторів – на середовищі Гільтая та мікроорганізмів роду *Azotobacter* – методом обростання грудочок ґрунту на середовищі Ешбі з додаванням мікроелементів [11]; б) коефіцієнт мінералізації визначали як відношення чисельності мікроорганізмів, що засвоюють нітроген мінеральних сполук, до чисельності мікроорганізмів, що засвоюють нітроген органічних сполук [12]; коефіцієнт мікробіологічної трансформації органічної речовини ґрунту визначали як відношення суми мікроорганізмів, що засвоюють нітроген мінеральних сполук, і мікроорганізмів, що засвоюють нітроген органічних сполук, до коефіцієнта мінералізації [1, 6]; коефіцієнти характеризують напругу мінералізаційних процесів і трофічний режим ґрунту; в) амоніфікаційна та нітрифікаційна здатність ґрунту – за ДСТУ 4729 [5].

Визначення мікроелементного статусу ґрунту (вміст рухомих форм ME /BM (Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb, Cr) здійснено атомно-абсорбційним методом [33]. Отримані дані використано для порівняння з розрахунками.

4) Етап камеральних досліджень. Для підтвердження ідеї ефективності дії розробленого методичного підходу в різних ґрунтово-кліматичних умовах було використано цифрові матеріали звітів відділу охорони ґрунтів ННЦ «ІА імені О.Н. Соколовського» з виконання НДР за 2001–2005 рр. та за 2006–2012 рр. щодо елементного статусу ґрунтів різних типів за фонових умов, впливу техногенного забруднення ВМ та БД «Мікроелементи у ґрунтах України» за їхнього подальшого узагальнення.

Для оцінки мікроелементного статусу та вмісту ВМ використовували встановлені фонові рівні вмісту МЕ /ВМ для ґрунтів певної природно-кліматичної зони України [4].

Встановлювали структурні взаємозв'язки біологічних та хімічних властивостей ґрунтів різного генезису за інформаційного оцінювання мікроелементного статусу ґрунтів шляхом експертного оцінювання нормативно-довідкової документації, проведення розрахунків показників мінералізації та мікробіологічної трансформації органічної речовини ґрунту; статистичної обробки отриманих даних, у тому числі і за впливу технологічного навантаження, техногенного забруднення ВМ.

Математико-статистичну обробку отриманих числових даних здійснено за допомогою модулів «Базові статистики», «Кореляційний аналіз», «Дисперсійний аналіз» у рамках пакета програм *Statistica 10.0* для встановлення кореляційних зв'язків показників біологічних і хімічних властивостей ґрунтів та підтвердження їхньої достовірності. Використанням модуля «Регресійний аналіз» пакета програм *Statistica 10.0* побудовано регресійні рівняння (математичні моделі), включаючи розрахунки за рівняннями лінійної, ступеневої і логарифмічної регресії та визначення точності отриманих числових значень показників біологічних властивостей ґрунтів та вмісту рухомих форм МЕ /ВМ, за розрахунку стандартної похибки оцінки розрахункових значень. Відмінності середніх показників вважали достовірними на рівні значимості  $p < 0,05$ .

Пакет програм *Statistica 10.0* також використано і для візуалізації отриманих даних.

#### Результати і їхнє обговорення

За результатами інформаційно-аналітичних досліджень нами було встановлено: 1) високу інформативність мікробіологічних показників ґрунту, що відображають спрямованість та інтенсивність мікробіологічних процесів трансформації нітрогеновмісних сполук; 2) прогностичну цінність показників інтегральних біохімічних процесів ґрунтів, що пов'язані з трансформацією сполук нітрогену ґрунту; 3) ефективність використання встановленої інформативності та прогностичної цінності мікробіологічних і біохімічних показників трансформації нітрогеновмісних сполук ґрунтів різних типів для прогнозування мікроелементного статусу й одночасного урахування функціонального різноманіття ґрунтових процесів.

Зокрема, показник асоціативної азотофіксації мікроорганізмів ґрунту є важливим у діагностуванні балансу нітрогену ґрунтів, у органічному виробництві – для керованої активізації процесу азотофіксації з підвищенням живлення небобових рослин біологічним нітрогеном і зменшенням доз використання вартісного технічного азоту (азотні мінеральні добрива як джерела для синтезу білкових сполук, з високою енергоємністю як синтезу, так і застосування). Одночасно забезпечується максимальне посилення використання потенціалу азотофіксації ґрунтів і збереження їхнього природного азотофіксувального генофонду.

Азотофіксація як важлива ланка трансформації нітрогену у ґрунті здійснюється функціонуванням усього комплексу мікроорганізмів ґрунту і є способом тісного спряження циклів N та C у біосфері на основі консолідації метаболізму нітрогену і карбону рослин та бактерій, що є джерелом доступних для живих організмів сполук нітрогену ґрунту.

Проте питання рівнів асоціативної азотофіксації в різних типах ґрунтів і під різними видами рослин є досі дискусійним [28]. Невиправданим є широке використання усереднених величин рівнів фіксації азоту вільно існуючими мікроорганізмами ґрунту в балансових розрахунках. Крім того, несимбіотична азотофіксація у ґрунті пов'язана з запасами енергетичного матеріалу, що сприяє використанню аборигенних бактерій-діазотрофів і більш ефективному використанню нітрогену ґрунту. Також активізується азотофіксація у прикореневому шарі небобових рослин, у тому числі і за штучного збагачення ризосфери рослин активними штамми бактерій, що фіксують азот.

Недостатня увага до мікробіологічного фактора трансформації нітрогену у ґрунті сучасних агроценозів є однією із причин незбалансованого забезпечення рослин нітрогеном, надмірного накопичення нітратів у рослинній продукції, низької ефективності використання азотних мінеральних добрив [7], зростання денітрифікаційних процесів, що призводять до забруднення біосфери сполуками нітрогену з порушенням біогеохімічного циклу нітрогену (масоване виділення в атмосферу нітрогеноксиду  $N_2O$ ; міграція нітратів із добрив і органічної речовини ґрунту за її дегуміфікації у ґрунтові води). Вивчення динаміки зміни азотного фонду та мікробіологічних процесів трансформації нітрогену необхідне для розробки практичних заходів, спрямованих на оптимізацію азотного режиму в агроєкосистемах [14], що підвищить біопродуктивність ґрунтів і забезпечить збереження довкілля.

Біохімічна активність сполук нітрогену ґрунту є базовим компонентом його біодинаміки. Оскільки процеси ґрунтоутворення та функції ґрунту тісно пов'язані з постійно триваючими біохімічними процесами, то їхню спрямованість та інтенсивність доцільно використовувати для вирішення задач оцінювання та нормування якості ґрунтів. Окрім того, використання азотофіксації, амоніфікації та нітрифікації, яку здійснюють мікроорганізми ґрунтів різного генезису для визначення елементного статусу, обумовлена їхньою високою інформативністю і прогностичністю внаслідок тісного взаємозв'язку біогеохімії карбону, нітрогену та  $ME/VM$  у ґрунтах, відношення нітрогену до карбону в органічній речовині ґрунту [3, 8, 24] та можливістю об'єднання різних показників інтенсивності біологічних процесів ґрунту (мікробіологічна і біохімічна активність; розкладання, синтез органічних сполук тощо) в єдиних узагальнених показниках його біогенності для коректного визначення спрямованості перетворень речовин, енергії та інформації у sprzęженні з генетичною природою ґрунтів.

Елементний склад ґрунту дає змогу оцінити підсумки процесів ґрунтоутворення. Мікро- та макроелементний склад ґрунтів – один із найважливіших показників еколого-геохімічного стану ґрунтів, їхніх властивостей і генезису. Якість ґрунтів за елементним складом визначається, насамперед, єдністю біогеохімії макроелементів (зокрема, біогенних елементів C і N) та  $ME/VM$  (Cd, Pb, Ni, Cr, Cu тощо). Нітроген як пріоритетний макроелемент біологічного кругообігу елементів є фактором, що обмежує ресурси елементів живлення рослин. Азотофіксація є головним джерелом залучення до кругообігу зв'язаного нітрогену. Факторами, що визначають рівень вмісту і характер розподілу  $ME$  у ґрунтовому профілі, є абіотичні умови ґрунтоутворення, макроелементний склад материнської породи; мінералогічний і гранулометричний склад ґрунтів, їхні фізико-хімічні та хімічні властивості, гумусованість і карбонатність, біологічна складова ґрунтів [3, 8, 16].

Узагальненням результатів проведення ґрунтово-геохімічних досліджень і аналізом отриманих нами даних щодо біогенності та макроелементного статусу ґрунтів різного генезису природно-кліматичних зон України було встановлено, що для ефективного вирішення задачі визначення макроелементного складу ґрунтів різного генезису доцільно використо-

вувати взаємозв'язок біохімічних властивостей мікроорганізмів циклу нітрогену ґрунту, біологічну активність ґрунту, що пов'язана з розкладанням органічних речовин ґрунту з утворенням аміаку (амоніфікації), процесами нітрифікації та азотофіксації, з елементним складом ґрунтів, зокрема вмістом ME /BM.

Аналіз наявної патентної документації показав, що найбільш близьким за механізмом реалізації і результатом, що досягається, є спосіб визначення екологічної стійкості ґрунтів [20], згідно з яким для даного типу регіональних ґрунтів попередньо задають відповідний її рівень. Визначають екологічну стійкість ґрунтів відповідно до запропонованої формули, що враховує окремі біохімічні (активність ферментів пероксидази, поліфенолоксидази, каталази, дегідрогенази) та хімічні (вміст нітрогену, фосфору, окремих BM) показники ґрунтів. Проте спосіб характеризується суб'єктивністю заданих рівнів екологічної стійкості регіональних ґрунтів певного типу. Екологічна стійкість ґрунтів є інтегральною характеристикою, яку неможливо визначити лише на підставі використання довільного співвідношення окремих біохімічних і хімічних показників ґрунтів, що значно обмежує використання способу й ускладнює його практичну реалізацію, збільшує похибку отриманих даних щодо визначення екологічного стану ґрунтів. До того ж варіабельність (часова, просторова) показників активності ферментів потребує проведення додаткових поглиблених інформаційно-аналітичних досліджень особливостей біології ґрунтів і геохімії ґрунтового покриву певних регіонів, що значно збільшує трудомісткість, вартість проведення досліджень, ресурсовитратність цього способу. Також недоліком способу є неможливість точного визначення екологічного стану ґрунтів на рівні типу та підтипу.

Інший підхід щодо визначення стану азотних систем ґрунтів усіх типів за дослідження їхніх нітроген-буферних властивостей [27] передбачає систему лабораторних досліджень процесів мобілізації та іммобілізації (депонування) мінеральних форм нітрогену ґрунту і добрив з охопленням діапазону їхніх можливих перетворень за серії компостувань неудобреного ґрунту та внесення доз азотнокислого амонію, з подальшим визначенням іонів  $\text{NO}_3^-$  і  $\text{NH}_4^+$  та їхніх активностей –  $\text{pNO}_3$ ,  $\text{pNH}_4$ . За результатами аналізу розраховують кількість іммобілізованого (депонованого) ґрунтом нітрогену. Відношення кількостей внесеного нітрогену добрив і вмісту його рухомих форм (мінерального нітрогену) в ґрунтовому розчині характеризує іммобілізаційну нітроген-буферну здатність ґрунту. Відношення величин вилучених із ґрунту мінеральних форм нітрогену та їхнє зменшення після кожного циклу лабораторного компостування приймається за показник нітроген-буферної здатності в мобілізаційному (негативному) крилі буферності. Однак недоліками способу слід вважати: 1) трудомісткість і часовитратність способу, що унеможливує його використання для масових аналізів; 2) зниження функціональних можливостей його реалізації та, відповідно, ефективності його використання внаслідок низького рівня адекватності поведінки нітрогену в ґрунтах за польових умов.

Наступний відомий підхід щодо прогнозування вмісту органічного карбону в ґрунті [20] включає щорічне визначення вмісту органічного карбону в шарі ґрунту до 40 см і вмісту нітратів у шарі до 300 см. За збільшенням відношення вмісту нітратів до вмісту гумусу у ґрунті констатують негативний напрям процесу формування родючості ґрунту, необхідність застосування відповідних агрозаходів. Недоліками способу слід вважати: 1) малу інформативність використаних показників ґрунтових властивостей для вирішення задачі прогнозування внаслідок практичної відсутності зв'язку між вмістом гумусу та рухомих мінеральних сполук нітрогену ґрунту, що призводить до значного зниження точності визначення прогнозованих значень характеристик ґрунту; 2) трудомісткість виконання



способу і не підтверджена доцільність визначання нітратів у шарі ґрунту до 3-х метрів; 3) вміст карбону характеризується просторовою та часовою (1–3 роки) мінливістю з діапазоном коливань ( $\pm 0,2$ – $0,5$ ) % абс. за значного впливу на його значення метеорологічних умов року, кількості рослинних решток у ґрунті тощо [26], похибка методу його визначання становить 15–20 %, що впливає на точність визначення прогнозованих значень характеристик ґрунту.

Розроблений алгоритм запропонованого нами способу включає: відбір зразків, їхнє аналізування й отримання даних; визначення мікроелементного складу ґрунтів, стан їхнього мікробіоценозу (показники чисельності основних еколого-трофічних груп мікроорганізмів) і біохімічної (інтегральні біохімічні показники – несимбіотичну азотофіксацію, амоніфікацію та нітрифікацію ґрунту) активності сполук нітрогену, що одержують відомими методами. Як результат, отримуємо числові дані біологічного та мікроелементного стану ґрунту, розрахованих показників мінералізації, мікробіологічної трансформації органічної речовини ґрунту тощо. Всі отримані результати щодо структури мікробного ценозу і біохімічних процесів циклу нітрогену у ґрунті вносимо в табл. 1 та 2, які використовуємо як базові для подальших розрахунків вмісту МЕ /ВМ залежно від показників спрямованості й інтенсивності окремих мікробіологічних процесів трансформації нітрогену ґрунту за фонових умов, технологічного навантаження і техногенного забруднення ВМ.

За результатами математико-статистичної обробки отриманих даних (кореляційний, дисперсійний, регресійний аналіз) визначають вміст МЕ /ВМ у ґрунтах різного генезису, зокрема, вміст Co, Ni, Cu за фонових умов у ґрунтах опідзоленого ряду (дерново-підзолисті, ясно-сірі, сірі, темно-сірі, чорноземи опідзолені) за встановленими регресійними рівняннями:

$$\begin{aligned} C_{Co} &= 3,82 - 0,069_*x + 0,168_*y + 0,0979_*z & (1) \\ C_{Co \text{ дерново-підзолистий}} &= 3,82 - 0,069_*56,2 + 0,168_*1,1 + 0,0979_*2,1 = 0,30; \\ & C_{Co \text{ фактичний}} = 0,31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Ni \text{ дерново-підзолистий}} &= -1,787 + 0,154_*x - 0,114_*y + 0,0325_*z & (2) \\ C_{Ni \text{ дерново-підзолистий}} &= -1,787 + 0,154_*2,1 - 0,114_*1,1 + 0,0325_*56,2 = 0,23 \\ & C_{Ni \text{ фактичний}} = 0,24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Cu} &= -0,51 + 0,081_*x - 0,1781_*y + 0,0159_*z & (3) \\ C_{Cu \text{ дерново-підзолистий}} &= -0,51 + 0,081_*2,1 - 0,1781_*1,1 + 0,0159_*56,2 = 0,35 \\ & C_{Cu \text{ фактичний}} = 0,36 \end{aligned}$$

де  $C_{Co}$  – прогнозований (розрахунковий) вміст кобальту у ґрунті, мг/кг;  $C_{Ni}$  – прогнозований (розрахунковий) вміст нікелю у ґрунті, мг/кг;  $C_{Cu}$  – прогнозований (розрахунковий) вміст міді у ґрунті, мг/кг;  $x$  – несимбіотична азотофіксація, кг/га;  $y$  – нітрифікаційна здатність, мг/100 г ґрунту;  $z$  – амоніфікаційна здатність, мг/100 г ґрунту.

Результати внесли у табл. 3 і візуалізували на діаграмі (рис. 1), поширенням алгоритму способу на основні МЕ /ВМ та ґрунти різних типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення й технологічного навантаження з метою визначення якості ґрунту певного типу за елементним складом і біогенністю.

У процесі дослідження були визначені регресійні рівняння для основних МЕ /ВМ ґрунтів України: Co, Cu, Ni, Cr, Fe, Mn, Zn, Pb, Cd. Отриманий алгоритм способу показав свою ефективність на різних типах ґрунтів, мікробіоценоз ґрунту відображає спрямованість та інтенсивність мікробіологічних процесів трансформації нітрогеновмісних речовин, а біохімічна активність сполук нітрогену ґрунту відображає функціональне різноманіття ґрунтових процесів.

Таблиця 1

Вихідні дані щодо показників мікробіологічної складової циклу сполук нітрогену ґрунту за фонових умов та впливу антропогенних навантажень (фрагмент)

Мікроорганізми, що засвоюють N орг., млн КУО/г	Мікроорганізми, що засвоюють N мінер., млн КУО/г	Асоціативні азотофіксатори, млн КУО/г	Олігонітрофіли, млн КУО/г	Azotobacter, %	Показник мінералізації, %	Показник трансформації органічної речовини, %	
<i>1. За відсутності навантажень (фонові умови)</i>							
Дерново-підзолистий ґрунт	3,77	3,49	1,75	5,53	81	1,09	8,47
Чорнозем звичайний	65,49	37,3	3,39	17,48	95	0,57	18,0
<i>2. За впливу технологічного навантаження (застосування систем удобрення)</i>							
Дерново-підзолистий ґрунт							
	6,65	20,33	Мінеральна система удобрення				
			5,79	6,88	100	2,48	16,02
	5,49	8,49	Органо-мінеральна система удобрення				
<i>HIP<sub>05</sub></i>			3,06	7,71	100	1,38	10,68
Чорнозем звичайний	0,24	0,31	0,23	0,61	–	–	–
Дерново-підзолистий ґрунт							
	61,75	34,3	Мінеральна система удобрення				
			6,13	30,31	49	0,55	17,4
	69,83	52,91	Органо-мінеральна система удобрення				
<i>HIP<sub>05</sub></i>			9,76	30,76	82	0,75	16,3
	0,53	0,96	0,48	0,53	–	–	–
<i>3. За впливу техногенного забруднення ВМ</i>							
Чорнозем звичайний	21,83	34,9	2,1	7,6	53	1,59	35,6
<i>HIP<sub>05</sub></i>	1,66	1,46	0,53	1,24	–	–	–

**Примітка:** *HIP<sub>05</sub>* – найменша істотна різниця

Таблиця 2

Вихідні дані щодо показників біохімічної складової циклу сполук нітрогену ґрунту за фонових умов і впливу антропогенних навантажень (фрагмент)

Амоніфікаційна здатність, мг N-NH <sub>3</sub> на 100 г ґрунту		Нітрифікаційна здатність, мг N-NO <sub>3</sub> на 100 г ґрунту	
<i>1. За відсутності навантажень (фонові умови)</i>			
Дерново-підзолистий ґрунт	2,22		1,65
Чорнозем звичайний	0,3		0,39
<i>2. За впливу технологічного навантаження (застосування систем удобрення)</i>			
Дерново-підзолистий ґрунт			
	3,62	Мінеральна система удобрення	
			1,12
	5,21	Органо-мінеральна система удобрення	
<i>HIP<sub>05</sub></i>		0,7	2,49
Чорнозем звичайний			0,31
Дерново-підзолистий ґрунт			
	2,5	Мінеральна система удобрення	
			0,74
	3,2	Органо-мінеральна система удобрення	
<i>HIP<sub>05</sub></i>		0,5	0,16
			0,08
<i>3. За впливу техногенного забруднення ВМ</i>			
Чорнозем звичайний	0,12		0,22
<i>HIP<sub>05</sub></i>		0,01	0,04

**Примітка:** *HIP<sub>05</sub>* – найменша істотна різниця

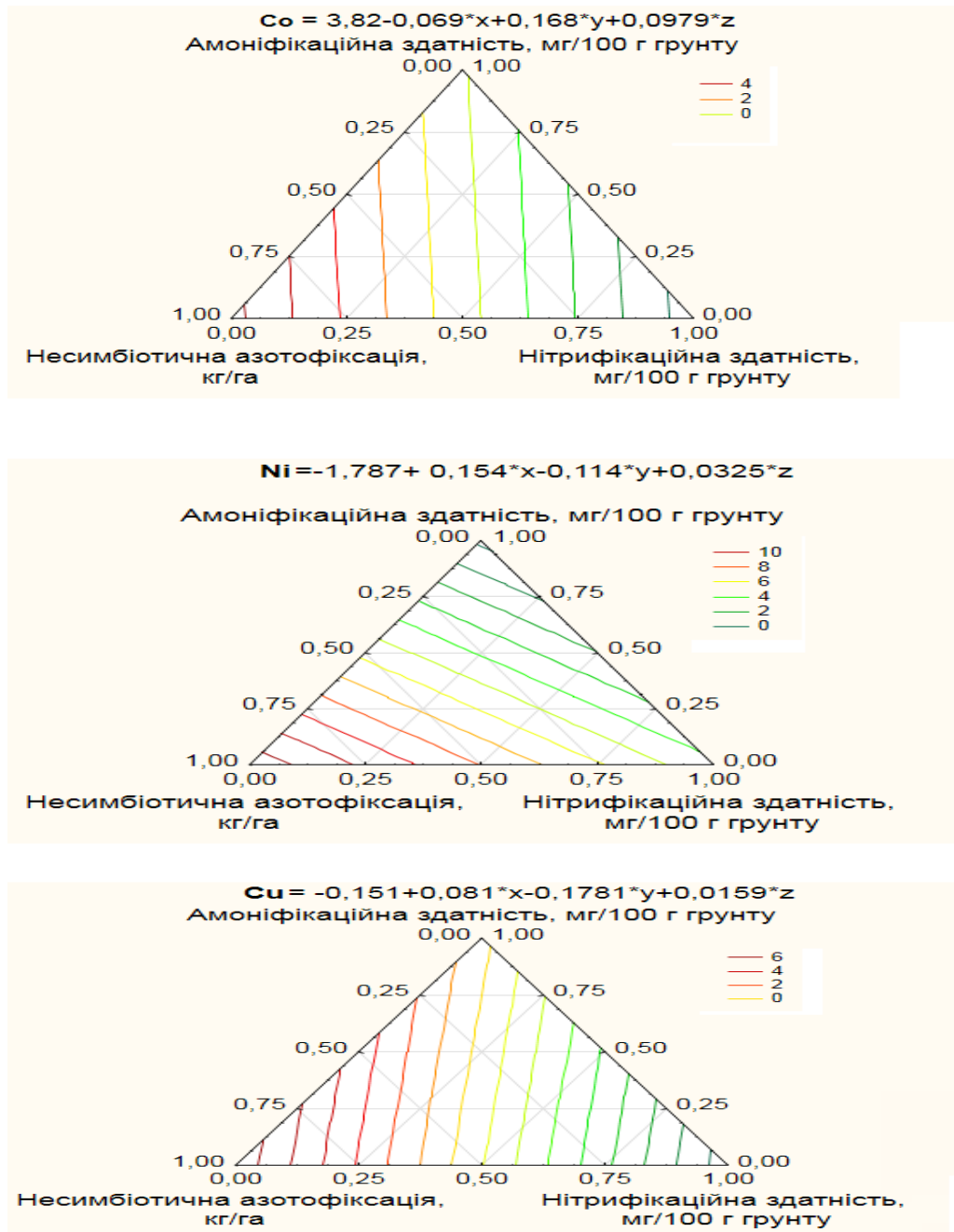


Рис. 1. Візуалізовані моделі встановлених залежностей показників біологічного стану ґрунтів і рівнів вмісту Co, Ni та Cu

Таблиця 3

Розрахункові та фактичні значення показників вмісту Co, Ni у ґрунтах різних типів за фонових умов і впливу антропогенних навантажень

Варіанти впливу	Тип ґрунту	Вміст ME/ВМ, мг/кг ґрунту	
		Co	Ni
За відсутності навантажень на ґрунт (фонові умови)	Дерново-підзолистий	0,30 / 0,31*	0,23 / 0,24*
	Чорнозем опідзолений	0,35 / 0,36*	0,85 / 0,87*
За впливу систем удобрення (технологічне навантаження)	Чорнозем звичайний	0,83 / 0,84*	1,56 / 1,58*
	Чорнозем типовий	0,64 / 0,66*	0,64 / 0,68*
За впливу забруднення ВМ (техногенне навантаження)	Чорнозем звичайний	0,44 / 0,45*	1,52 / 1,55*
	Чорнозем типовий	0,57 / 0,6*	0,6 / 0,68*

**Примітка:** \* – фактичний вміст ME /ВМ у ґрунті

Встановлено найбільш кореляційно пов'язані базові мікробіологічні показники, що з достатньою точністю і достовірністю описують ґрунтові процеси. Зокрема: 1) для характеристики мікроорганізмів, що засвоюють нітроген органічних форм ґрунту – амоніфікаційна та нітрифікаційна здатності ґрунту (з коефіцієнтами кореляції  $(r) = 0,8-0,9$ ), олігонітрофіли та мікроорганізми роду *Azotobacter* ( $(r) = 0,6-0,8$ ), показник засвоєння мінерального нітрогену ґрунту ( $(r) = 0,9$ ); 2) для мікроорганізмів, що засвоюють нітроген мінеральних форм ґрунту – амоніфікаційна та нітрифікаційна здатності ґрунту ( $(r) = 0,8-0,9$ ), асоціативні азотофіксатори ( $(r) = 0,9$ ), олігонітрофіли та мікроорганізми роду *Azotobacter* ( $(r) = 0,7-0,9$ ), показник засвоєння органічного нітрогену ґрунту ( $(r) = 0,7$ ); 3) для характеристики асоціативних азотофіксаторів – олігонітрофіли ( $(r) = 0,8$ ), мікроорганізми роду *Azotobacter* ( $(r) = 0,7$ ), показник трансформації органічної речовини ( $(r) = 0,8$ ), нітрифікаційна ( $(r) = 0,9$ ) та амоніфікаційна здатність ( $(r) = 0,7$ ); 4) для олігонітрофілів – амоніфікаційна ( $(r) = 0,93$ ) та нітрифікаційна здатності ґрунту ( $(r) = 0,7$ ), асоціативні азотофіксатори ( $(r) = 0,9$ ) та мікроорганізми роду *Azotobacter* ( $(r) = 0,9$ ), показники засвоєння нітрогену органічного і мінерального ґрунту ( $(r) = 0,8-0,9$ ), показник мінералізації ( $(r) = 0,9$ ), показник трансформації органічної речовини ( $(r) = 0,7$ ) тощо.

Узагальненням результатів подальшого аналізу даних із використанням математико-статистичних методів нами встановлено закономірні зв'язки між біохімічними показниками циклу нітрогену (амоніфікація, нітрифікація, асоціативна азотофіксація) з мікроелементним складом ґрунтів (з коефіцієнтом кореляції  $(r) = 0,7-0,98$ ;  $0,59-0,99$  і  $0,61-0,99$  відповідно, зокрема, для опідзоленого ряду ґрунтів за фонових умов;  $(r) = 0,52-0,7$ ;  $0,6-0,85$  і  $0,57-0,72$  за технологічного навантаження на чорноземні ґрунти;  $(r) = 0,9-0,97$ ;  $0,85-0,98$  і  $0,81-0,96$  за техногенного забруднення ВМ ґрунтів акумулятивного ряду – чорноземів типових, звичайних).

Визначенням закономірних зв'язків між показниками мікроелементного та біологічного статусу, зокрема вмістом Co, Cu, Ni, Cr, Fe, Mn, Zn, Pb, Cd у ґрунтах різних типів і показниками їхньої біогенності (несимбіотична азотофіксація, нітрифікаційна й амоніфікацій на здатність), як інтегральних показників властивостей, що визначають генетичну належність ґрунту, реалізується можливість оперативного переходу від одних інформативних показників до інших із одночасним спряженим кількісним діагностуванням і оцінюванням інтенсивності ґрунтових процесів.

Отже, можливо прогнозувати екологічний стан ґрунтів певного типу, що забезпечує можливість приймати своєчасні управлінські рішення для екоменеджменту ґрунтовими ресурсами за фонових умов, впливу антропогенних навантажень.

Окрім того, було додатково проведено визначення фактичного вмісту ME /ВМ на тих самих ґрунтах для підтвердження достовірності отриманих розрахункових даних. Результати порівнянн отриманих розрахункових даних із даними фактичного вмісту ME /ВМ

у ґрунтах свідчать про їхню високу відповідність і точність (табл. 3). Таким чином, на основі встановлених закономірних зв'язків доведено взаємозалежність рівня біогенності ґрунту і вмісту МЕ / ВМ та їхній вплив на процеси трансформації біогенного елементу нітрогену, доцільність їхнього використання за фонових умов і впливу антропогенних навантажень. Встановлено закономірні зв'язки, що відображають елементний склад і ґрунтово-мікробіологічні процеси і визначають екологічні та продукційні функції ґрунту, зокрема, родючість як головну його властивість, через участь мікробіоти у біогенній акумуляції ХЕ; біологічній трансформації нітрогеновмісних сполук ґрунту і мінералізації органічних решток. Отже, розширюються можливості користувача у спрямованому регулюванні активності окремих груп мікроорганізмів для оптимізації процесів і режимів ґрунту, зокрема, пов'язаних із біогенним нітрогеном. Окрім того, функціональними властивостями взаємодії МЕ /ВМ і біогенності ґрунту, ймовірно, є механізм запускання послідовних реакцій акумуляції, трансформації та міграції речовин, енергії та інформації у системі «ґрунт – мікроорганізми і ферменти ґрунту – ризосфера рослин», впливаючи на її біохімічний склад з можливістю отримання продукції із заданими властивостями.

Отримані прогнозовані дані щодо вмісту МЕ /ВМ у найбільш поширених в Україні ґрунтах різних типів і підтипів свідчать про універсальність алгоритму способу й ефективність його використання для точного прогнозування родючості ґрунтів різного генезису за мікроелементним складом і біогенністю. Одночасно забезпечується можливість визначати якість ґрунтів за вирішення зворотної задачі розрахунку кількісних параметрів одного показника на підставі кореляційно пов'язаних із ним відомих інших, яку підтверджено, зокрема, для ґрунтів опідзоленого ряду, відповідними математичними рівняннями:

1) несимбіотична азотофіксація мікроорганізмів ґрунтів =  $0,51 + 5,749 \cdot \text{Ni} + 2.36 \cdot \text{Co} - 1.45 \cdot \text{Cu}$ ;

2) нітрифікаційна здатність ґрунтів =  $3,044 + 4,25 \cdot \text{Ni} - 8.24 \cdot \text{Cu}$ ;

3) амоніфікаційна здатність ґрунтів =  $59,75 + 19,89 \cdot \text{Ni} - 22,25 \cdot \text{Cu}$ .

Отже, встановлені структурні взаємозв'язки біологічних і хімічних властивостей ґрунтів різного генезису є критеріями їхньої якості й характеризують інформаційну оцінку екологічного стану ґрунтів.

Таким чином, розроблено спосіб визначення мікроелементного складу ґрунтів за їхніми мікробіологічними та біохімічними показниками трансформації сполук циклу нітрогену (патент на корисну модель № 124819 UA, 2018) встановленням нових взаємозв'язків вмісту МЕ /ВМ у ґрунтах різного генезису з базовими мікробіологічними, біохімічними показниками циклу сполук нітрогену ґрунту – несимбіотична азотофіксація, амоніфікація та нітрифікація за використання математико-статистичного аналізу та отриманням регресійних рівнянь.

Розробка забезпечує: 1) визначення якості ґрунту певного типу за елементним складом і біогенністю з урахуванням спрямованості мікробіологічних процесів трансформації нітрогеновмісних речовин ґрунту, з поширенням алгоритму способу на ґрунти різних типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження; 2) підвищення інформативності, точності, експресності способу за фонових (природних) умов, впливу технологічного навантаження, ризику і наявності техногенного забруднення для управління якістю ґрунтів за елементним складом та біогенністю.

Відмінними рисами та перевагами розробеного підходу, порівняно з відомим, є такі: 1) експресність отримання точних прогнозованих рівнів вмісту МЕ /ВМ у ґрунті з підвищенням точності ґрунтової діагностики на базі встановлення діагностично придатних показників елементного стану та біохімічної складової циклів сполук нітрогену ґрунтів, у

тому числі за негативних впливів антропогенних навантажень і прояву деградаційних процесів; 2) більша результативність прогнозованих даних щодо елементного складу, якості ґрунтів за фонових умов, застосування різних систем удобрення та ризику і наявності забруднення ВМ за одночасної мінімізації витрат матеріальних ресурсів за рахунок використання регресійних рівнянь, отриманих на основі використання базових показників властивостей ґрунтів певного типу та підтипу, згідно з наявною інформацією; 3) можливість для користувача отримати для оцінювання екологічного стану ґрунту певного типу надійні критерії, що характеризують функціональне різноманіття процесів і визначають спрямованість і інтенсивність кругообігу речовин, енергії й інформації для забезпечення виконання ґрунтами різного генезису їхніх екологічних і продукційних функцій; 4) можливість спрямованого регулювання активності окремих груп мікроорганізмів для оптимізації процесів і режимів ґрунту, зокрема, пов'язаних з біогенним нітрогеном, для управління ґрунтовими процесами і режимами у різних природно-кліматичних умовах і отримання продукції із заданими властивостями; 5) універсальність завдяки придатності встановлених залежностей запропонованого способу для ґрунтів усіх типів і підтипів та природно-кліматичних зон і забруднювачів.

Новий спосіб доцільно використовувати у прогнозуванні, оцінюванні й екологічному нормуванні якості ґрунтів за вмістом ХЕ, нормуванні навантажень (техногенних, технологічних) на ґрунтову систему, агроекології за вирішення питань моніторингу родючості ґрунтів, паспортизації земель різного призначення і використання; органічного землеробства за рахунок визначення елементного складу та кількості екологічно чистого, недорогого біологічного нітрогену для поліпшення якості ґрунту; екологічного менеджменту ґрунтів та у науково-дослідній практиці – за моніторингу якості й дослідження біогеохімії ХЕ ґрунтів і суміжних середовищ, біології та екології ґрунтів.

Окремі положення нового способу стали складовою пропозицій, поданих у 2017 р. до Міністерства екології та природних ресурсів України, де опрацьовувались матеріали з адаптації до Нітратної Директиви Ради ЄС 91/676/ЄЕС від 12.12.1991 р. про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами з с.-г. джерел із змінами і доповненнями, внесених Регламентом ЄС №1882/2003 *Cross Nitrogen Balances Handbook*.

*Автори висловлюють щире подяку патентному повіреному ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» науковому співробітнику В.М. Горякіній за сприяння та дієву допомогу в підготовці документації щодо розроблення нового технічного рішення та його інформаційно-аналітичного супроводу.*

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Андреюк К. І., Іутинська Г. О., Антипчук А. Ф.* та ін. Функціонування мікробних угруповань ґрунту в умовах антропогенного навантаження. К.: Обереги, 2001. 240 с.
2. *Башкин В. Н.* Агрогеохимия азота. Пушино, 1987. 270 с.
3. *Башкин В. Н.* Биогеохимия: М.: Высш. школа, 2008. 424 с.
4. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт-рослина /за ред. А.І. Фатеева, В.Л. Самохвалової. Харків: КП «Міськдрук», 2012. 146 с.
5. *ДСТУ 4729:2007* Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». Чинний від 01.01.2008. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 14 с. (Національний стандарт України).
6. *ДСТУ 7847:2015* Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів в ґрунті методом висівання на тверде (агаризоване) поживне середовище. Чинний від 01.07.2016. К.: Держспоживстандарт України, 2016. 10 с. (Національний стандарт України).

7. *Гутинська Г. О.* Ґрунтова мікробіологія. К.: Арістей, 2006. 284 с.
8. *Ковда В. А.* Біогеохімія ґрунтового покриву. М.: Наука, 1985. 263 с.
9. Методи ґрунтової мікробіології та біохімії / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1980. 224 с.
10. *Мірошніченко М. М., Маклюк О. І., Чебанова В. В.* та ін. Вплив систем удобрення на мікробіологічні процеси трансформації азоту за різних ґрунтово-кліматичних умов // Агрохімія і ґрунтознавство. 2012. Вип. 77. С. 24–27.
11. *Муромцев Г. С., Муромцева Г. Н., Павлова В. Ф.* Ґрунтова мікрофлора та фосфорне живлення // Успехи мікробіології. 1985. Т. 28. № 4. С. 174–198.
12. *Муха В. Д.* Естествено-антропогенна еволюція ґрунтів (загальні закономірності та зональні особливості). М.: Колос, 2004. 271 с.
13. Новые элементы биорегуляции для устойчивого развития в агроэкосистемах / под ред. В.П. Кухаря. К.: Наукова думка, 2004. 350 с.
14. *Носко Б. С.* Азотний режим ґрунтів і його трансформація в агроекосистемах. Харків: Міськдрук, 2013. 130 с.
15. Патентні дослідження. Основні положення та порядок проведення: ДСТУ 3575-97. - [Чинний від 1998.01.01.]. К.: Держстандарт України, 1998. 16 с. (Національний стандарт України).
16. Пат. на корисну модель UA № 3239, МПК (2006):G01N 33/00, G01N 33/24 (2006.01), Спосіб визначення екологічної стійкості ґрунтів /Долгова Т. І. (UA) Національний гірничий університет (UA), 49005№: u20040806880 від 17.08.2004; Опубл. 15.10.2004; Бюл. № 10/2004. 4 с.
17. Пат. України на винахід 113828 UA, МПК: G01N 33/24 (2006.01), C01G 21/00 Спосіб прогнозування вмісту цинку у ґрунтах різного генезису для оцінювання їх еколого-енергетичного стану / Самохвалова В. Л. (UA), Скрильник Є. В. (UA), Шедей Л. М. (UA), Лопушняк В. І. (UA), Самохвалова П. А. (UA), Олійник Н. В. (UA); заявник та патентоутримувач ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» (UA). № a201512847; Заявл. 25.12.2015; Опубл. 10.03.2017; Бюл. №5. 8 с.
18. Пат. України на винахід 115014 UA, МПК (2017.01): G01N 33/24 (2006.01), C01G 21/00 Спосіб визначення вмісту свинцю у ґрунтах різного генезису для оцінювання їх еколого-енергетичного стану / Самохвалова В. Л. (UA), Самохвалова П. А. (UA), Філатов В. П. (UA), Горякіна В. М. (UA); заявник та патентоутримувач ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» (UA). № a201612732; Заявл. 14.12.2016; Опубл. 28.08.2017; Бюл. № 16. 8 с.
19. Пат. на корисну модель 120082 UA, МПК: G01N 33/24 (2006.01) Спосіб прогнозування родючості ґрунтів за їх макроелементним станом / Самохвалова В. Л. (UA), Христенко А. О. (UA), Шедей Л. О. (UA), Самохвалова П. А. (UA), Карацуба О. В. (UA); заявник та патентоутримувач ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» (UA). № u201703324; Заявл. 06.04.2017; Опубл. 25.10.2017; Бюл. № 20. 6 с.
20. Пат. SU №1471172, МПК: G01N 33/24, Спосіб прогнозування динаміки зміни вмісту гумусу в ґрунті / Юмагулова А. Н., Кучеров В. С. Казахский НИИ земледелия им. В.Р. Вильямса, Заявка 3818486/30-63 от 03.12.1984; Опубл. 07.04.1989, Бюл. №13. 5 с.
21. Патентний формуляр. Основні положення. Порядок складання та оформлення: ДСТУ3574-97. [Чинний від 1998.01.01.] К.: Держстандарт України, 1998. 14 с. (Національний стандарт України).

22. *Полынов Б. Б.* Кора выветривания. Ч.1.: Процессы выветривания: Основные фазы и формы выветривания и их распределение. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. 210 с.
23. *Полынов Б. Б.* Ландшафт и почва // Природа. 1925. № 1–3. С. 73–84.
24. *Протасова Н. А., Щербаков А. П.* Особенности формирования микроэлементного состава зональных почв Центрального Черноземья // Почвоведение. 2004. № 1. С. 50–59.
25. *Самохвалова В. Л., Фатеев А. И.* Воздействие полиэлементного загрязнения почвы тяжелыми металлами на баланс азота в системе удобрение-почва-растение // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: Тез. конф. Мат. 2 съезда Белорусского об-ва почвоведов; Экологическое состояние почвенных ресурсов и защита их от деградации. (Минск, 2001). Минск, 2001. Кн. 3. С. 164–166.
26. *Смирнов П. М., Муравин Э. А.* Агрохимия. М.: Колос, 1981. 319 с.
27. *Трускавецький Р. С.* Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції. Харків: ППВ «Нове слово», 2003. 225 с.
28. *Умаров М. М., Кураков А. В., Степанов А. Л.* Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 2007. 137 с.
29. *Чабан В. І., Подобед О. Ю.* Баланс мікроелементів в інтенсивних сівозмінах степової зони України // Бюл. Ін-ту сільськ. господарства степової зони НААН України. 2014. № 6. С. 22–25.
30. *Чебанова В. В., Маклюк О. І.* Вплив різних систем удобрення на стан мікробних угруповань азотного циклу за різних ґрунтово-кліматичних умов // Агрохімія і ґрунтознавство: міжвідом. темат. наук. зб. Спец. випуск до VIII з'їзду УТГА. (5–9 липня, 2010 р.). Кн. 3. Житомир: Рута, 2010. С. 348–350.
31. *Якість ґрунту.* Відбирання проб: ДСТУ 4287:2004. [Чинний від 2005-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с. (Національний стандарт України).
32. *Якість ґрунту.* Відбір проб. Частина 6. Настанови щодо відбору, оброблення та зберігання ґрунту для дослідження аеробних мікробіологічних процесів у лабораторії. ДСТУ ISO10381-6 : 2001(ISO10381-6 : 1993, IDT) [чинний від 2002-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2002. 4 с.
33. *Якість ґрунту.* Визначення вмісту рухомих сполук Mn, Zn, Cd, Fe, Co, Cu, Ni, Cr, Pb в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.1:2007 – ДСТУ 4770.2:2007. [Чинні від 2009-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 126 с. (Національні стандарти України).
34. *Fateev A. I., Samokhvalova V. L.* Supply of nitrogen in agricultural cultures in condition of polyelement pollution of soil by the heavy metals // Collection of Papers by Ukrainy Members of ESSC, Kharkiv, 1999. P. 42–46.

Стаття: надійшла до редакції 25.02.19

доопрацьована 08.05.19

прийнята до друку 14.04.19



**DETERMINING THE SOIL MICROELEMENT COMPOSITION USING  
MICROBIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF SOIL NITROGEN  
COMPOUNDS TRANSFORMATION**

**V. Samokhvalova<sup>1</sup>, O. Starchenko<sup>1</sup>, V. Chebanova<sup>1</sup>,  
V. Chaban<sup>2</sup>, O. Podobed<sup>2</sup>, P. Samokhvalova<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>NSC "O.N. Sokolovsky Institute for Soil Science  
and Agrochemistry", NAAS of Ukraine  
4, Chaikovska St., Kharkiv 61024, Ukraine*

*<sup>2</sup>State Institution "Institute of Grain Cultures", NAAS of Ukraine  
14, Vernadskyi St., Dnipro 49027, Ukraine*

*<sup>3</sup>V.N. Karazin Kharkiv National University  
4, Svobody Sq., Kharkiv 61022, Ukraine  
e-mail: v.samokhvalova.com@gmail.com*

By results of information and analytical researches it was established high informational content of soil microbiological indicators, the reflecting direction and intensity of microbiological processes of nitrogen-containing compounds; the predictive value of indicators of soils integrated biochemical processes that are associated with transformation of soil nitrogen compounds; the effectiveness of using the established informativeness and predictive value of microbiological and biochemical indicators in the various types of soils nitrogen-containing compounds transformation for forecasting of the microelement status and simultaneous account the functional diversity of soil processes.

The new method of different genesis soils microelement composition determination is grounded taking into account the orientation of microbiological transformation processes of nitrogen-containing substances, interaction of microbiological and biochemical components of nitrogen compounds of soils. The elaborated algorithm of the method includes: sampling, analysis and data acquisition; determination of soils microelement composition, their microbiological (indicators of the number of basic ecological-trophic microorganisms groups) and biochemical (integral biochemical parameters – non-symbiotic nitrogen fixation, ammonification and nitrification of soil) of the components of nitrogen compounds obtained by known methods; prediction of the soils elemental composition by regression equations, followed by the extension of the method algorithm to the basic trace elements / heavy metals and soils of different types of a certain natural-climatic zone in the conditions of technogenic pollution and technological load.

Due to the use of mathematical and statistical analysis, the establishing of new quantitative relationships of diagnostic indicators of the chemical and biological state of soils provides universality, increase informativeness, accuracy, expressiveness of the method in the background (natural) conditions, the impact of technological load, risk and the presence of technogenic pollution for soils quality management based on microelement composition and soil biogenicity.

The patent protection method (patent for utility model № 124819 UA, 2018) provides the expressiveness of prediction of the soils microelement status and biogenicity; increase of accuracy and predictability of the soils qualitative state for the microelement composition.

*Keywords:* soil, microbiological and biochemical indicators parameters, transformation of nitrogen-containing soil compounds, trace elements, heavy metals, technogenic pollution, technological load, method, forecasting