
THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



V. L. Samokhvalova¹✉ Cand. Sci. (Agri.), Sen. Res. Sci.
A. O. Khristenko¹ Cand. Sci. (Agri.), Sen. Res. Sci.
L. O. Shedey¹ Cand. Sci. (Agri.), Sen. Res. Sci.
P. A. Samokhvalova²
O. V. Karatsuba¹

UDK 631.41; 631.416.1;
631:811.1; 631.4.2; 631.81:504;
504.53.06:504.53.054

¹*National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Institute
for Soil Science and Agrochemistry»,
Chaikovska str., 4, Kharkiv, Ukraine, 61024*
²*V. N. Karazin Kharkov National University,
Svobody square, 4, Kharkiv, Ukraine, 61022*

PREDICTION OF SOIL FERTILITY CONSIDERING THEIR MACRONUTRIENT STATUS

Abstract. The method for prediction of productive functions of soils, according to their macronutrient status, is grounded on the example of the total concentrations of nitrogen as biogenic macronutrient in different soil types of Polesie, Forest-Steppe and Steppe climatic zones of Ukraine including soils contaminated by heavy metals and fertilized (organic-mineral, organic and mineral system of fertilizer) soils. In the elaborated methodical approach the productive function (fertility) of different genesis soils forecasts by establishing new relationships of total nitrogen content with a humus calorific value, the energy reserves of the soil in layer up to 20 cm, the application of mathematical-statistical analysis. For example, according to the total nitrogen content as a biogenic macronutrient in accordance with the fixed gradations, with a further extension of the method algorithm for different soil types of climatic zones by the influence of technogenic pollution and technological load. The technical result of the elaborated method is to improve the known method of soil fertility prediction, considering their macronutrient status, by the selective choice of the most correlation associated, diagnostics capable of integral indicators of the energy and nitrogen status of the soil, which enhances the informativeness, accuracy and quick speed forecasting of production and ecological functions of different genesis soils with the identification of differences in ecological condition of soils for prediction and regulation of their quality. The elaborated methodological approach may find application in the assessment and ecological standardization of soil quality by chemical elements content, regulation of loads (technogenic, technological) on a soil system, in agroecology by investigating the question of soil fertility monitoring, lands certification of different purpose and use; organic farming, bioenergy and energy of soil formation; diagnosis, evaluation, determination of quality of humus and the state of the chemical elements; in environmental management of soils both for background conditions and different anthropogenic impacts and in

✉ Tel.: +38067-687-90-63, e-mail: v.samokhvalova.com@gmail.com

DOI: 10.15421/041711

ISSN 1684-9094. Gruntoznavstvo. 2017. Vol. 18, no. 3-4

5

research practice – investigating the biogeochemistry and nutrient macronutrients of the soil cover. Distinctive features and advantages of the proposed elaboration in comparison with known methods and approaches are: 1) express obtain of the accurate by predicted levels of total nitrogen content as a nutrient in the soil with the improving of the soil diagnosis accuracy by establishing some interconnected diagnostically suitable indicators of soils humus substances and nitrogen systems functioning, the direction of the mobilization and immobilization of nutrients (C, N) processes, the humification-mineralization and energy intensity of soils, including the negative impacts of anthropogenic pressures and degradation processes; 2) providing the opportunity for increasing effectiveness of predicting data on the functioning of the nitrogen systems of different genesis soils, environmental and energy state of soil and level of their potential fertility due to the background conditions, the application of different fertilization systems, and risk the availability of heavy metals pollution while minimizing the consumption of material resources; 3) expansion of the user's ability to determine the total nitrogen content in the soil without long-term chemical analytical research due to the choice of regression equations obtained on the basis of the use of baseline soil properties of a certain type and subtype, according to available information; 4) versatility due to suitability of installed dependencies of the proposed method for all soil types and subtypes, climatic zones and contaminants.

Key words: *soil, productive function, macronutrient, total content of nitrogen, energy capacity content, calorific value of humus, the reserves of energy in the soil layer up to 20 cm, technogenic pollution, technological load, method, prediction.*

УДК 631.41; 631.416.1;
631:811.1; 631.4.2;
631.81:504;
504.53.06:504.53.054

В. Л. Самохвалова¹ канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.
А. О. Христенко¹ канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.
Л. А. Шедей¹ канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.
П. А. Самохвалова²
О. В. Карацуба¹

¹ *Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского», ул. Чайковская, 4, г. Харьков, Украина, 61024, тел.: +38067-687-90-63, e-mail: v.samokhvalova.com@gmail.com*

² *Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, пл. Свободы, 4, г. Харьков, Украина, 61022*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ С УЧЕТОМ ИХ МАКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТОЯНИЯ

Аннотация. Обоснован способ прогнозирования продуктивной функции почв по их макроэлементному состоянию на примере показателя общего содержания биогенного макроэлемента азота в почвах различных типов природно-климатических зон Полесья, Лесостепи и Степи Украины, загрязненных тяжелыми металлами почв и удобренных (органоминеральная, органическая и минеральная системы удобрения) почв. В разработанном методическом подходе за счет установления новых взаимосвязей содержания общего азота с теплотворной способностью гумуса, запасами энергии почвы в слое до 20 см, использования математико-статистического анализа прогнозируется продуктивная функция (плодородие) почв различного генезиса. Алгоритм способа экстраполирован на почвы различных типов и природно-климатических зон в условиях техногенного загрязнения и технологической нагрузки. Техническим результатом разработанного способа является усовершенствование известного способа прогнозирования плодородия почв, учитывая их макроэлементное состояние, за счет селективного выбора наиболее корреляционно связанных, диагностически пригодных интегральных показателей энергетического и азотного статуса почв, использованием которых обеспечивается повышение информативности, точности и экспрессности прогнозирования продукционных и экологических функций почв разного генезиса с выявлением отличий экологического состояния почв для прогноза и нормирования их качества.

Ключевые слова: *почва, продуктивная функция, макроэлементы, валовое (общее) содержание азота, энергоемкость, теплотворная способность гумуса, запасы энергии в слое до 20 см, техногенное загрязнение, технологическая нагрузка, способ, прогнозирование.*

УДК 631.41; 631.416.1;
631:811.1; 631.4.2;
631.81:504;
504.53.06:504.53.054

В. Л. Самохвалова¹ канд. с.-г. наук, ст. наук. співр.
А. О. Христенко¹ канд. с.-г. наук, ст. наук. співр.
Л. О. Шедей¹ канд. с.-г. наук, ст. наук. співр.
П. А. Самохвалова²
О. В. Карацюба¹

¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
ім. О. Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, м. Харків, Україна, 61024,
тел.: +38067-687-90-63, e-mail: v.samokhvalova.com@gmail.com

²Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна,
пл. Свободи, 4, м. Харків, Україна, 61022

ПРОГНОЗУВАННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ ЗА ЇХ МАКРОЕЛЕМЕНТНИМ СТАНОМ

Анотація. Обґрунтовано спосіб прогнозування продуктивної функції ґрунтів за їх макроелементним станом на прикладі показника загального вмісту біогенного макроелементу азоту у ґрунтах різних типів природно-кліматичних зон Полісся, Лісостепу і Степу України, забруднених важкими металами ґрунтів та інтенсивно удобрюваних (орґано-мінеральна, орґанічна та мінеральна системи удобрення) ґрунтів. У розробленому методичному підході встановленням нових взаємозв'язків вмісту загального азоту з теплотворною здатністю гумусу, запасами енергії ґрунту в шарі до 20 см та використанням математико-статистичного аналізу і математичних моделей прогнозується продуктивна функція (родючість) ґрунтів різного генезису. Алгоритм способу поширено на ґрунти різних типів та природно-кліматичних зон за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження. Технічним результатом розробленого способу є удосконалення відомого способу прогнозування родючості ґрунтів за їхнім макроелементним станом за рахунок селективного вибору найбільш кореляційно пов'язаних, діагностично придатних інтегральних базових показників енергетичного та азотного статусу ґрунтів, використанням яких забезпечується підвищення інформативності, точності і експресності прогнозування продукційних та екологічних функцій ґрунтів різного генезису з виявленням відмінностей екологічного стану ґрунтів для прогнозу і нормування їх якості.

Ключові слова: ґрунт, продуктивна функція, макроелементи, валовий (загальний) вміст азоту, енергоємність, теплотворна здатність гумусу, запаси енергії в шарі до 20 см, техногенне забруднення, технологічне навантаження, спосіб, прогнозування.

ВСТУП

Азот, як біогенний макроелемент ґрунту, має виняткове значення у забезпеченні продовольчої та екологічної безпеки населення світу, визначає зростання продуктивності та вміст білку культурфітоценозів (Pryanishnikov, 1945; Mishustin, 1979), проте збільшуються екологічні ризики внаслідок недосконалого управління балансом азоту та використання енергії в системі ґрунт – добриво – рослина – вода (Kovda, 1985; Smil, 1985), біогенного (зокрема, евтрофікація та зміна біоценозів) та біотичного (витіснення аборигенних видів) забруднення довкілля (Mockler, Deakin, Archbold, 2016).

Відомо, що в земній атмосфері запаси азоту складають $4-6 \cdot 10^{15}$ т, в осадових породах – $4-6 \cdot 10^{14}$ т, у Світовому океані – $2,02 \cdot 10^{13}$ т, у рослинності – $1,1 \cdot 10^9$ т, у тваринному світі – $6,1 \cdot 10^7$ т, у ґрунтах – $15 \cdot 10^{10}$ т азоту (Orlov, 1982; Kovda, 1985).

Акумуляція азоту в ґрунті є характерною ознакою ґрунтоутворення, а запаси загального азоту ґрунту визначають його потенційну родючість. В орному шарі ґрунтів України міститься від 0,05 до 0,29 % валового азоту, що складає по масі 1,4–10,8 т/га. Найменша кількість валового азоту знаходиться в дерново-підзолистих ґрунтах Полісся України. Найкращі умови для накопичення азоту склалися в зоні Лісостепу, де на лесах і лесовидних суглинках, за достатньої зволоженості території

інтенсивно розвивалася трав'яниста рослинність, яка під впливом багатовікових процесів замкненого кругообігу зумовила накопичення високого рівня вмісту азоту в орному шарі сірих лісових, темно-сірих опідзолених ґрунтів, чорноземів опідзолених і типових. У цих типах і підтипах ґрунтів вміст валового азоту в орному шарі коливається від 0,13–0,17 % (у сірих лісових і темно-сірих опідзолених ґрунтах) до 0,25–0,30 % у чорноземах типових і опідзолених, а запаси в цьому шарі досягають 4,8–10,8 т/га. Менш забезпечені азотом чорноземи типові малогумусові та чорноземи звичайні, ще менше чорноземи південні та темно-каштанові ґрунти. Забезпеченість чорноземних ґрунтів поживними речовинами змінюється залежно від їх географічного розміщення. У напрямку із заходу на схід Лісостепу вміст загального азоту в чорноземах типових збільшується від 0,13–0,17 % до 0,28–0,30 % (Nosko, 2013). Слід відмітити, що з глибиною кількість азоту в ґрунтах різко зменшується та найбільш суттєво це зменшення проявляється в дерново-підзолистих ґрунтах Полісся. Найбільш «розтягнутий» профіль в чорноземах типових глибоких. Тому вміст валового азоту в шарі ґрунту до 1 м ще більше різниться, ніж кількість його в орному шарі, і перевищує останню величину в 3–4 рази (Nosko, 2013).

Окрім того, азоту належить важлива роль у процесах новоутворення гумусових речовин ґрунту (Orlov, 1990), що тісно пов'язані з трансформацією речовин та енергії.

Доведено перспективність енергетичного підходу для вирішення практичних задач із оптимізації екологічного стану ґрунтів, проведення їх комплексної оцінки та визначення напрямів еволюції (Savich, 2007).

Розроблено сучасні принципи управління ресурсами азоту (Schepers, Raun, 2008), серед базових є концепція стійкості та енергоефективності системи ґрунт – рослина як основи для розуміння та оцінки взаємодії клімату, ґрунтів і рослин з метою більш ефективного районування культурфітоценозів згідно з ґрунтово-кліматичними умовами.

Азотний режим ґрунту оцінюють за показниками, які характеризують як його стабільність, так і динамічний стан. Стійкими показниками є вміст загального азоту, його важкогідролізованих і негідролізованих сполук, що використовують за порівняльної еколого-генетичної характеристики азотного режиму різних типів ґрунтів.

Відсутність точного прогнозування екологічного стану ґрунтів на рівні типу і підтипу актуалізує необхідність подальшого пошуку та залучення нових додаткових інтегральних показників ґрунтових властивостей та, насамперед, показників енергетичного стану і продуктивної функції (родючості) ґрунтів для прогнозування рівнів вмісту макроелементів та систематизації даних з метою визначення діагностичних критеріїв оцінювання якості ґрунту за елементним (макро- та мікроелементним) складом, зокрема вмістом біогенного азоту. До того ж на сьогодні не існує універсального методу визначення вмісту азоту для всіх типів ґрунтів за використання єдиного екстрагенту, що значно ускладнює узагальнення даних щодо статусу біогенного елементу азоту в ґрунтах та знижує їхню точність.

Мета дослідження – розробити спосіб прогнозування родючості ґрунтів за їх макроелементним станом за рахунок встановлення нових закономірних зв'язків та селективного вибору найбільш кореляційно пов'язаних, діагностично придатних інтегральних базових показників енергетичного та азотного статусу ґрунтів, використання яких забезпечується підвищення інформативності, точності і експресності прогнозування продукційних та екологічних функцій ґрунтів різного генезису з виявленням відмінностей екологічного стану ґрунтів для прогнозу і нормування їх якості.

Розробку способу спрямовано на: 1) експресність отримання точних прогнозованих рівнів загального вмісту азоту, як біогенного елементу, у ґрунті з підвищенням точності ґрунтової діагностики за рахунок встановлення

взаємозалежних діагностично придатних показників функціонування систем гумусових речовин та азотних систем ґрунтів, спрямованості процесів мобілізації та іммобілізації біогенних елементів (С, N), гуміфікації – мінералізації та енергоємності ґрунтів, у тому числі за негативних впливів антропогенних навантажень та прояву деградаційних процесів; 2) забезпечення можливості отримання більшої результативності прогнозованих даних щодо функціонування азотних систем ґрунтів різного генезису, еколого-енергетичного стану ґрунтів та рівня їх потенційної родючості за фонових умов, застосування різних систем удобрення та ризику, наявності забруднення ВМ за одночасної мінімізації витрат матеріальних ресурсів; 3) розширення можливостей користувача у визначенні загального вмісту азоту у ґрунті без тривалих хіміко-аналітичних досліджень за рахунок вибору регресійних рівнянь, отриманих на основі використання базових показників властивостей ґрунтів певного типу та підтипу згідно з наявною інформацією; 4) універсальність способу для ґрунтів всіх типів і підтипів та природно-кліматичних зон і забруднювачів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розроблення способу включало:

1. Проведення патентного пошуку згідно з DSTU 3574 та DSTU 3575, формування ідеї (робочої гіпотези). Об'єкти патентного пошуку – об'єкти авторського права, які запатентовано в Україні та країнах пострадянського простору, ЄС в площині поставленої мети. Предмет пошуку – спосіб у цілому; окремі операції (етапи) способу, що є самостійним патентоспроможним об'єктом; способи їх одержання і галузь застосування; обладнання, що використовують при здійсненні способу; методичні підходи щодо прогнозування елементного статусу ґрунтів різних типів, у тому числі і за техногенного забруднення ВМ і технологічного навантаження, за використання методів математичного моделювання для прогнозу стану ґрунтів як компоненти довкілля, включаючи моделі переносу та трансформацій забруднювачів (географічні моделі) та моделі змін стану ґрунтів за впливу забруднення (екологічні моделі); методи екстраполяції та експертних оцінок. Методи досліджень – методи теоретичного аналізу, системний підхід.

2. Польовий етап – ґрунтово-геохімічні дослідження, у тому числі за умов технологічного навантаження на ґрунти Харківської, Полтавської областей та за умов сталого впливу джерел атмотехногенних емісій забруднення неорганічної природи Харківської області і промислових об'єктів Донецької області та проведення серії стаціонарних мікропольових дослідів. Об'єкти дослідження – ґрунти Полісся, Лісостепової і Степової природно-кліматичних зон України за впливу забруднення ВМ та за його відсутності. Методи досліджень – універсальні загальнонаукові методи, екосистемний та ландшафтно-геохімічні підходи.

Дослідження закономірних зв'язків макроелементного, гумусового і енергетичного стану ґрунтів різного генезису та відповідно показників ґрунтових властивостей було проведено із відбором зразків з орного (до 20 см) шару.

ґрунтово-геохімічні дослідження щодо техногенного навантаження ВМ на ґрунт проводили за умов сталого та періодичного впливу джерел поліелементного забруднення Зміївської ТЕС ПАТ «Центрэнерго» НАК «Енергетична компанія України» Харківської області, ВАТ «Укрцинк» і ВАТ «Авдіївський коксохімічний завод» Донецької області. Також для підтвердження ідеї за розробки нового технічного рішення було використано цифрові матеріали щодо вмісту ВМ у ґрунтах з Екологічних атласів Харківської (2005), Донецької (2007) областей.

Польові стаціонарні дослідження щодо технологічного навантаження проводили в Харківській області з вивчення ефективності впливу органо-мінеральної, органічної та мінеральної систем удобрення у встановленій ефективній кількості співвідношення комбінації ґрунтополіпшувачів із відбором ґрунтових зразків та встановленням закономірностей змін вмісту сполук азоту ґрунту на

чорноземі типовому важкосуглинковому. Досліди закладено в 1969 р. на Слобожанському дослідному полі ННЦ ІГА Харківського району Харківської області. Протягом 1969–1983 рр. триразовим внесенням високих доз мінеральних добрив (200, 400 і 600 кг/га д.р.) було створено чотири рівні (природний, середній, підвищений, високий) азотних, фосфорних, калійних і азотно-фосфорно-калійних агрохімічних фонів. На створених фонах було закладено дрібноділянкові досліди, повторність їх варіантів – триразова.

Також було використано створену інформаційну базу даних відділу агрохімії ННЦ ІГА, які містять дані літературних джерел, що характеризують родючість основних типів ґрунтів України відповідно до природно-кліматичних зон Полісся, Лісостепу і Степу.

Енергоємність чорноземних ґрунтів різного гранулометричного складу за впливу систем удобрення визначено у довгострокових польових дослідженнях у Київській (Миронівська ДС), Харківській (ДП Граково), Полтавській (Полтавська ДС) та Луганській (Луганська ДС) областях. Застосовували мінеральну, органічну та органо-мінеральну системи удобрення, які було збалансовано за внесенням основних елементів живлення, а внесення органічних і мінеральних добрив оптимальними дозами проводили за використання чинних методичних рекомендацій (Vlasiuk, Dmytrenko, 1962) відповідно до типу ґрунту і природно-кліматичних умов певної зони (Dobryva ta yikh vykorystannia, 2010).

3. Аналітичний етап – у зразках ґрунтів різних типів (дерново-підзолисті, світло-сірі, сірі, темно-сірі; чорноземи опідзолені, типові, звичайні та південні, каштанові ґрунти тощо) за лабораторно-аналітичних досліджень згідно з чинними ДСТУ та методичною базою визначили: а) загальний вміст органічної речовини – за методом Тюріна (DSTU 4289:2004); б) груповий (за модифікованим методом М. М. Кононової та Н. П. Бельчикової згідно з DSTU 7855:2015) та фракційний склад гумусу ґрунту (модифікований метод В. В. Пономарьової та Т. А. Плотникової згідно з DSTU 7828:2015); в) здійснили препаративне виділення гумусових речовин ґрунту (DSTU 7606:2014); г) питому енергоємність ґрунтів і препаратів ГК – за допомогою калориметричної установки *B – 08 МА ПУ 1.470.000* за показником питомої теплоти згорання зразків (DSTU 7866:2015); д) показники щільності будови ґрунтів за фонових умов, впливу техногенного та технологічного навантаження (DSTU ISO 11272-2001); е) загальний вміст азоту – за модифікованим методом ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» (DSTU 4726:2007) для проведення зіставлення отриманих даних.

4. Камеральний етап – оцінювання екологічного стану ґрунтів за експертного оцінювання нормативно-довідкової документації, розрахунок показника загальних запасів енергії гумусу ґрунту, статистична обробка отриманих даних щодо гумусового, енергетичного стану ґрунтів, у тому числі і за впливу технологічного навантаження, техногенного забруднення ВМ за методом побудови математичних моделей.

Розрахунок показника загальних запасів енергії, що акумульовані гумусом ґрунту, як індикатора енергетичного стану ґрунту, проводили за відомою формулою Д. С. Орлова – Л. А. Гришиної (Orlov, Grishina, 1981; Orlov et al., 2004) у модифікації О. Л. Орлова (Orlov, 2002), що враховує якісний склад гумусу і теплоємність основних його фракцій:

$$Q = (19,96 \text{ ГК} + 9,16 \text{ ФК} + 17,86 \text{ ГЗ}) \times H \times d \times 10 / 100, \quad (1)$$

де Q – запаси енергії, акумульовані гумусом ґрунту, 10^6 кДж /га (або 10^3 МДж /га); 19,96 – теплота згорання гумінових кислот, кДж/г; 9,16 – теплота згорання фульвокислот, кДж /г; 17,86 – теплота згорання гуміну, кДж /г; ГК – вміст гумінових кислот, %; ФК – вміст фульвокислот, %; ГЗ – вміст гуміну, %; H – шар ґрунту, м;

d – щільність будови ґрунту, г/см^3 ; 10 – коефіцієнт переведення в 10^6 кДж /га; 100 – перерахування одиниць виміру показників вмісту ГК, ФК та ГЗ у відсотках.

Аналітичні числові дані щодо акумулятивної енергетичної функції гумусових речовин ґрунту (показники питомої внутрішньої енергії або теплотворної здатності гумусу; запасів енергії, що акумульовані гумусом ґрунту, макроелементного статусу за показниками загального вмісту азоту ґрунту та гумусового стану) статистично обробляли із використанням модулів кореляційного, дисперсійного, регресійного аналізів у рамках пакета *Statistica 10.0*, включаючи розрахунки за рівняннями лінійної, ступеневої і логарифмічної регресії.

Для оперативного аналізу й обробки масивів даних використано СУБД *Access 2007* із застосуванням програм мовою *Visual Basic for Applications (VBA)*. Отримана інформація оброблялася за допомогою інтегрованої з *Access 2007* програми *Microsoft Excel 2007*.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Узагальненням проведених багаторічних польових досліджень та аналізуванням отриманих даних щодо вмісту азоту у ґрунтах різного генезису різних природно-кліматичних зон України (Nosko, Yunakova, 1993; Nosko, Merkulova, Babych, 2000; Nosko, 2013; Khrystenko, Hladkikh, Yunakova, 2013) було встановлено пряму залежність між вмістом у ґрунтах загального азоту і гумусу (коефіцієнт кореляції $(r)=0,92$). Збільшення загального гумусу в ґрунті на 1 % зумовлює підвищення вмісту валового азоту на 0,045 %.

Відомо, що функціонування азотних систем ґрунтів є біологічно обумовленим, у зв'язку з чим важко піддається діагностуванню (Bashkin, 1987; Truskavec'kij, 2003). Основним механізмом азотного режиму ґрунту є спряжене функціонування ґрунтового мікробіоценозу, кореневої системи рослин як живої фази ґрунту і колоїдного комплексу ґрунту. Отже, для діагностування азотного режиму ґрунтів доцільно використовувати співвідношення процесів мобілізації – іммобілізації форм азоту ґрунту.

Використання показників енергоємності ґрунтів різного генезису для визначення макроелементного статусу ґрунтів обумовлено їхньою високою інформативністю та прогностичністю внаслідок тісного взаємозв'язку біогеохімії вуглецю та азоту в ґрунтах різного генезису (Kovda, 1985; Bashkin, 2008), можливістю об'єднання різних показників інтенсивності біологічних процесів ґрунту (мікробіологічна і біохімічна активність; розкладання, синтез органічних сполук тощо) у єдиних узагальнених показниках його енергетичного стану для коректного визначення спрямованості перетворень речовин і енергії в ґрунтах різного генезису.

За умов впливу поліелементного забруднення чорноземних ґрунтів ВМ порушуються процеси азотного режиму ґрунтів, що призводить до значного ускладнення визначення рівнів вмісту азоту забрудненого ґрунту існуючими способами, що знижує точність отриманих даних (Fateev, Samokhvalova, 1999; Samokhvalova, Fateev, 2001). Алгоритм нового методичного підходу, що пропонується, дає можливість отримувати достовірні величини загального вмісту азоту в ґрунті та прогнозувати родючість ґрунтів.

За результатами проведених нами досліджень щодо селективного використання показників стану азотних, вуглецевих та енергетичних систем ґрунтів встановлено підвищення ефективності прогнозування родючості ґрунтів використанням показника вмісту загального азоту ґрунту, що відображає потенційний рівень родючості ґрунту на рівні типу, характеризує забезпеченість відповідно до градації вмісту та запасів валового азоту в ґрунті.

Узагальненням отриманих результатів патентних досліджень встановлено існуючі технічні рішення щодо прогнозування екологічних та продукційних функцій ґрунтів за використання показників вмісту макроелементів. Зокрема, відомо спосіб

визначення стану азотних систем ґрунту за визначення його азот-буферних властивостей (Truskavec'kij, 2003). Спосіб передбачає систему лабораторних досліджень процесів мобілізації та іммобілізації (депонування) мінеральних форм азоту ґрунту і добрив із охопленням діапазону їх можливих перетворень за серії компостувань неудобреного ґрунту та внесення доз азотнокислого амонію з подальшим визначенням іонів нітратів і амонію та їх активностей – pNO_3 , pNH_4 . За результатами аналізу розраховують кількість іммобілізованого (депонованого) ґрунтом азоту. Відношення величин внесеного азоту добрив та вмісту його рухомих форм (мінерального азоту) в ґрунтового розчині характеризує іммобілізаційну азот-буферну здатність ґрунту, що діагностується шляхом визначення потенційно можливого накопичення мінеральних форм азоту за рахунок багаторазового циклічного компостування одного і того ж зразку ґрунту до максимальної втрати ним здатності утворювати ці форми за рахунок мінералізаційних процесів (визначається за відсутністю подальшого накопичення нітратів). Відношення величин вилучених із ґрунту мінеральних форм азоту та їх зменшення після кожного циклу лабораторного компостування приймається за показник азот-буферної здатності в мобілізаційному (негативному) крилі буферності. Проте спосіб характеризується: 1) трудомісткістю та часовитратністю, що унеможлиблює його використання для масових аналізів; 2) зниженням функціональних можливостей його реалізації і, відповідно, ефективності його використання внаслідок низького рівня адекватності поведінки азоту в натурних (польових) умовах використання ґрунтів.

Наступний відомий спосіб прогнозування відтворення родючості ґрунту (Pat. на kogysnu model 1481681 SU) заснований на встановленні енергопотенціалу ґрунту та біомаси рослин методом калориметрії, що передбачає розрахунок за формулою показника відтворення родючості ґрунту (γ) з урахуванням енергопотенціалу ґрунтів, що вкриті рослинами та без них, за період вегетації рослин. За величиною запропонованого показника прогнозують розширене ($\gamma > 1$), просте ($\gamma = 1$) відтворення родючості ґрунту або його деградацію ($\gamma < 1$). Однак недоліками способу є такі: 1) визначення інтенсивності накопичення та витрат енергії для отримання відповідних показників необхідно проводити в ґрунтах за вегетаційний період вирощування різних видів рослин, що значно збільшує трудомісткість і часовитратність реалізації способу; 2) згідно із способом прогноз розширеного відтворення родючості ґрунту є можливим за умови надходження в ґрунт всієї біомаси рослин, що практично є недосяжним та потребує урахування її відчуження, що збільшує похибку способу; 3) спосіб дозволяє прогнозування родючості лише для ґрунтів, приріст енергопотенціалу яких за вегетаційний період буде не менше 1 % вихідної величини, що звужує можливості його застосування; 4) обмеженість або неможливість використання способу внаслідок мінімуму інформації у користувача щодо енергопотенціалу ґрунтів та можливостей її отримання, що потребує значних витрат матеріальних ресурсів та часу за обов'язкового урахування всіх «носіїв» енергії ґрунту.

Відомо інший спосіб прогнозування динаміки змін вмісту гумусу в ґрунті (Pat. на kogysnu model 1471172 SU), що включає щорічне визначення загального вмісту гумусу у шарі ґрунту до 40 см та вмісту нітратів у шарі до 300 см. За збільшенням відношення вмісту нітратів до вмісту гумусу в ґрунті констатують негативний напрям процесу формування родючості ґрунту та необхідність застосування відповідних агрозаходів. Встановленими нами недоліками способу є такі: 1) використані показники ґрунтових властивостей для вирішення задачі прогнозування, внаслідок практично відсутнього зв'язку між вмістом гумусу та рухомих мінеральних сполук азоту ґрунту, мають недостатню інформативність, що призводить до значного зниження точності визначення прогнозованих значень характеристик ґрунту; 2) трудомісткість виконання способу і не підтверджена доцільність визначення нітратів у шарі ґрунту до 3 м; 3) використання самого

діагностичного показника вмісту гумусу в ґрунті ($C_{\text{заг}}$, %), має похибку визначення в 15–20 %, що призводить до зниження точності встановлення прогнозованих значень характеристик ґрунту та, крім того, не враховується просторова та часова (1–3 роки) мінливість вмісту вуглецю з діапазоном коливань ($\pm 0,2$ – $0,5$) % абс. при значному впливі на його значення метеорологічних умов року, кількості рослинних решток у ґрунті тощо (Smirnov, Muravin, 1981).

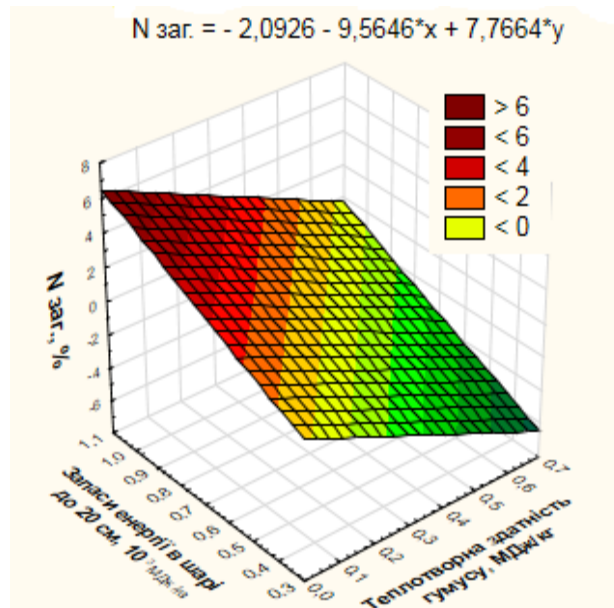
Найбільш близьким за механізмом реалізації і результатом, що досягається, є спосіб визначення потенціальної родючості ґрунтів за показником питомої внутрішньої енергії (Pat. na korysnu model 9282 UA). Спосіб базується на спалюванні підготовленої суміші зразку ґрунту з глюкозою у масовому співвідношенні 1:1 у калориметричному приладі та обчисленні показника питомої теплоти згорання за значенням підвищення температури калориметричної системи з врахуванням теплоємності глюкози із балансу теплоємності калориметричної системи. Спосіб дає можливість підвищити достовірність визначення потенціальної родючості ґрунтів за удосконалення заходів для зниження витрат при вирощуванні рослин. Проте недоліком способу є те, що використання лише показника питомої внутрішньої енергії ґрунту певного типу для точного визначення потенційної його родючості є недостатнім та потребує обов'язкового додаткового визначення запасів енергії в орному шарі ґрунту для отримання повного інтегрального показника енергоємності ґрунту. Для підвищення точності прогнозування родючості ґрунтів різного генезису необхідно додаткове встановлення закономірних зв'язків показників якості ґрунтів за показниками вуглецевого (гумусового) стану, енергетичного та азотного стану, що обумовлено тісним зв'язком між вмістом макроелементів у ґрунтах, а саме тим, що 70–90 % азоту ґрунту (основна частина біогенного елементу) входить до складу специфічних гумусових речовин; 10–30 % – до складу «неспецифічних» органічних речовин; близько 1 % загального вмісту азоту – знаходиться у складі мінеральних солей у ґрунті (Tyurin, 1965), середній вміст азоту складає 1/20 частину вмісту гумусу ґрунту (Gamzikov, 1981). Крім того, вміст основних макроелементів ґрунту значно впливає на рухомість і транслокацію мікроелементів у суміжні з ґрунтом середовища.

Розроблений алгоритм запропонованого нами методичного підходу включає таке: відбір зразків, визначення теплотворної здатності гумусу, за якою визначають потенційну родючість ґрунтів; додаткове визначення загального вмісту гумусу за методом Тюріна, фракційно-групового складу гумусу за методом Пономарьової–Плотникової, запасів енергії ґрунту в шарі до 20 см за формулою Орлова; математико-статистичну обробку отриманих даних з встановленням існуючих залежностей за регресійними рівняннями для ґрунтів різних типів; визначення потенційної родючості ґрунту за отриманими точними значеннями загального вмісту макроелементу – азоту та встановленими градаціями його забезпечення – низька, середня, підвищена, висока (відповідно до $< 0,1$; $0,11$ – $0,2$; $0,21$ – $0,3$; $> 0,3$ у відсотках), з подальшим поширенням алгоритму способу на ґрунти різних типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження.

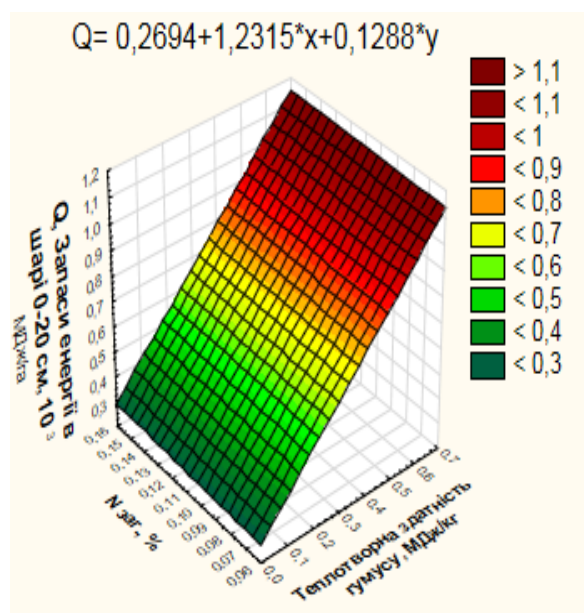
Результатом реалізації розробленого алгоритму отримуємо числові дані азотного, гумусового та енергетичного стану ґрунту. Всі отримані результати та відомі довідкові дані показників властивостей ґрунту певного типу вносимо в базу табл. 1. Далі розраховуємо показник загальних запасів енергії, що акумульовані гумусом ґрунту, як індикатора його енергетичного стану, за відомою формулою Орлова, що враховує якісний склад гумусу і теплоємність основних його фракцій.

Отримані результати розрахунку показника енергоємності ґрунту за формулою також вносимо в табл. 1 та використовуємо як базу для подальших розрахунків вмісту загального азоту в залежності від показників гумусового стану та енергоємності ґрунтів (теплотворна здатність гумусу, запаси енергії ґрунту в шарі до 20 см) за фонових умов, технологічного навантаження і техногенного забруднення ВМ. Після статистичної обробки даних (кореляційний, дисперсійний, регресійний

аналіз) одержуємо відповідні регресійні рівняння з подальшою візуалізацією результатів на діаграмах відповідного формату (рис. 1, а, б).



а



б

Рис. 1. Візуалізовані моделі встановлених залежностей показників енергетичного стану ґрунту та рівнів вмісту біогенного азоту (а – рівняння регресії щодо визначення загального вмісту азоту згідно з встановленими запасами енергії у шарі до 20 см та теплотворною здатністю гумусу ґрунту; б – рівняння регресії щодо визначення запасів енергії у шарі до 20 см за показниками вмісту загального азоту та теплотворною здатністю гумусу ґрунту)

На основі отриманих регресійних рівнянь, зокрема для чорнозему типового, визначають прогнозовані значення вмісту загального азоту:

$$C_{N \text{ загальний}} = 0,12 - 0,7662 \cdot x + 0,4166 \cdot y; \quad (2)$$
$$C_{N \text{ загальний чорнозем типовий}} = 0,12 - 0,7662 \cdot 0,91 + 0,4166 \cdot 2,25 = 0,36;$$
$$C_{N \text{ загальний фактичний}} = 0,36,$$

де $C_{N \text{ загальний}}$ – розрахунковий загальний вміст азоту у ґрунті, %;

x – теплотворна здатність гумусу ґрунту, МДж/кг;

y – запаси енергії в шарі до 20 см ґрунту певного типу, 10^3 МДж/га за формулою

Орлова

з одночасним визначенням точності отриманих числових значень загального вмісту азоту у ґрунті за розрахунку стандартної похибки оцінки, яка для показника $C_{N \text{ загальний}}$ становила 0,037, що підтверджує високу точність розрахункових значень вмісту азоту в ґрунті.

Визначенням закономірних зв'язків між показниками макроелементного та енергетичного статусу, зокрема загальним вмістом азоту у ґрунтах різного генезису та показниками їх енергоємності (базові показники 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, тим самим можливістю прогнозувати стан родючості ґрунтів. Для зручності користувача за відомою формулою та отриманими даними було визначено загальні запаси азоту в шарі ґрунту до 20 см.

Поширюючи алгоритм способу на інші типи ґрунтів, аналогічно за регресійними рівняннями розраховуємо прогнозований загальний вміст азоту в ґрунтах різного генезису за умов технологічного навантаження та техногенного забруднення ВМ з одержанням відповідних рівнянь залежностей та внесенням результатів розрахунків у табл. 2. Таким чином, на основі встановлених закономірних зв'язків доведено взаємозалежність рівня енергоємності ґрунту та загального вмісту азоту і доцільність їхнього використання за фонових умов, впливу технологічного і техногенного навантаження. Отримані прогнозовані дані щодо загального вмісту азоту у найбільш поширених в Україні ґрунтах різних типів та підтипів (табл. 2) свідчать про універсальність встановлених рівнянь та ефективність їхнього використання для точного прогнозування родючості ґрунтів різного генезису, що об'єднані в ряди за ознакою переважання ґрунтового процесу. Наприклад, ґрунти опідзоленого ряду (процес опідзолення) – дерново-підзолисті, ясно-сірі, сірі опідзолені та темно-сірі тощо; акумулятивного ряду (дерновий процес) – чорноземи типові, звичайні і південні тощо. Зокрема, розрахункові величини загального вмісту азоту в ґрунтах опідзоленого ряду за фонових умов становлять 0,13–0,15 %; за технологічного навантаження – 0,16 %; за техногенного забруднення – 0,06 %. Таким чином, отримуємо дані щодо стану азотних систем ґрунтів різного генезису за урахування їхньої енергоємності.

Діагностичну ефективність прогнозування вмісту азоту та спрямованості процесів мобілізації та іммобілізації (депонування) азоту у ґрунтах підтверджено, зокрема для ґрунтів опідзоленого ряду, відповідними математичними рівняннями (рис. 1). Одночасно забезпечується можливість визначення родючості ґрунтів за вирішення зворотної задачі розрахунку кількісних параметрів одного показника на підставі кореляційно пов'язаних з ним відомих інших (рис. 1, а, б). Тобто запропоноване рішення розширює та полегшує можливості користувача у визначенні загального вмісту азоту в ґрунті без тривалих хіміко-аналітичних досліджень за рахунок вибору відповідних математичних рівнянь, отриманих на основі наявних даних. Окрім того, для підтвердження достовірності отриманих розрахункових даних на тих самих ґрунтах було додатково проведено визначення фактичного вмісту азоту

Таблиця 1

Вихідні дані гумусового, азотного та енергетичного стану ґрунтів, щільності їх будови за фонових умов та впливу антропогенних навантажень

Показники родючості ґрунтів різного генезису	Гумусовий стан			d, г/см ³	Родючість (потенційна) ґрунту	Азотний стан		Енергосміність ґрунту		
	C _{ар} , %	C _{ГК} , %	C _{Фк} , %			ГЗ, %	Фактичний загальний вміст N, %	Запаси N у шарі ґрунту до 20 см, т/га	Теплотворна здатність гумусу, МДж/кг	Q, запаси енергії в шарі до 20 см, 10 ³ МДж/га
1. За відсутності навантажень (фонові умови)										
Дерново-підзолистий	0,9	0,17	0,2	0,53	1,5	низька	0,07	2,1	0,106	0,44
Чорнозем опідзолений	2,44	1,0	0,31	1,13	1,2	підвищена	0,21	5,04	0,820	1,03
Чорнозем звичайний	3,9	1,25	0,7	1,95	1,1	підвищена	0,24	5,28	0,900	1,46
Чорнозем типовий	4,8	1,75	0,6	2,45	1,2	висока	0,36	8,64	1,200	2,02
2. За впливу техногенного навантаження (забруднення ВМ)										
Чорнозем опідзолений забруднений	1,9	0,2	0,4	1,3	1,21	підвищена	0,20	4,84	0,650	0,74
Чорнозем звичайний забруднений	2,08	0,38	0,5	1,2	1,22	підвищена	0,23	5,61	0,790	0,82
3. За впливу технологічного навантаження (застосування систем удобрення)										
Чорнозем опідзолений (мінеральна система удобрення)	2,38	0,93	0,29	1,16	1,2	підвищена	0,22	5,28	0,800	1,00
Чорнозем опідзолений (органомінеральна система удобрення)	2,46	0,99	0,30	1,17	1,2	підвищена	0,24	5,76	0,980	1,04

Таблиця 2

Розраховані та фактичні параметри макроселементного статусу ґрунтів різних типів за фонових умов та впливу антропогенних навантажень

Груповий склад сполук N ґрунту	Прогнозований / фактичний* вміст загального азоту у ґрунтах					
	опідзоленого ряду		аккумулятивного ряду		опідзоленого ряду	
	Ясно-сірий	Темно-сірий	Чорнозем типовий	Чорнозем звичайний	Дерново-підзолистий	Чорнозем типовий
За відсутності навантажень на ґрунт (фонові умови)						
C _{N загальний} , %	0,13 / 0,14*	0,15 / 0,15*	0,36 / 0,36*	0,24 / 0,24*	0,22 / 0,23*	0,06 / 0,06*
За впливу забруднення ВМ (техногенне навантаження)						
C _{N загальний} , %	0,21 / 0,23*	0,20 / 0,20*	0,20 / 0,20*	0,21 / 0,23*	0,20 / 0,20*	0,21 / 0,23*

* Фактичний вміст C_{N загальний}

згідно з чинними нормативними та методичними документами. Результати зіставлення отриманих розрахункових даних з даними фактичного вмісту азоту у ґрунтах свідчать про їхню високу відповідність та точність (табл. 2). Отже, узагальненням отриманих даних щодо вмісту загального азоту ґрунту, показників енергоємності ґрунтів різних типів доведено доцільність їх використання як інформативних критеріїв для прогнозування родючості ґрунтів за макроелементним станом, чим забезпечується його технічний результат – підвищення точності та експресності визначення загального вмісту азоту як біогенного елемента ґрунтів різних типів, у тому числі під впливом антропогенних навантажень.

Новий методичний підхід може знайти застосування в оцінюванні та екологічному нормуванні якості ґрунтів за вмістом хімічних елементів, нормуванні навантажень (техногенних, технологічних) на ґрунтову систему, агроекології за вирішення питань моніторингу родючості ґрунтів, паспортизації земель різного призначення та використання; органічного землеробства, біоенергетики і енергетики ґрунтоутворення; діагностики, оцінювання, визначення якості гумусу і стану хімічних елементів; екологічного менеджменту ґрунтів як за фонових умов, так і за різних антропогенних впливів та у науково-дослідній практиці за дослідження біогеохімії та біогенних макроелементів ґрунтового покриву.

ВИСНОВКИ

Розроблено спосіб прогнозування родючості ґрунтів за їх макроелементним станом (Pat. на korysnu model 120082 UA) за рахунок селективного вибору найбільш кореляційно пов'язаних, діагностично придатних інтегральних базових показників енергетичного та макроелементного статусу ґрунтів (зокрема, вмістом загального азоту як біогенного елемента ґрунту), використанням яких забезпечується підвищення інформативності, точності і експресності прогнозування якості ґрунтів різного генезису з можливістю поширення алгоритму способу на ґрунти різних типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження.

Відмінними рисами та перевагами запропонованого технічного рішення, у порівнянні з відомими способами та підходами, є такі: 1) експресність отримання точних прогнозованих рівнів загального вмісту азоту як біогенного елемента у ґрунті з підвищенням точності ґрунтової діагностики за рахунок встановлення взаємозалежних діагностично придатних показників функціонування систем гумусових речовин та азотних систем ґрунтів, спрямованості процесів мобілізації та іммобілізації біогенних елементів (C, N), гуміфікації – мінералізації та енергоємності ґрунтів, у тому числі за негативних впливів антропогенних навантажень та прояву деградаційних процесів; 2) забезпечення можливості отримання більшої результативності прогнозованих даних щодо функціонування азотних систем ґрунтів різного генезису, еколого-енергетичного стану ґрунтів та рівня їхньої потенційної родючості за фонових умов, застосування різних систем удобрення та ризику і наявності забруднення ВМ за одночасної мінімізації витрат матеріальних ресурсів; 3) розширення можливостей користувача у визначенні загального вмісту азоту у ґрунті без тривалих хіміко-аналітичних досліджень за рахунок вибору регресійних рівнянь, отриманих на основі використання базових показників фізичних та хімічних властивостей ґрунтів певного типу та підтипу згідно з наявною інформацією; 4) універсальність завдяки придатності встановлених залежностей запропонованого способу для ґрунтів всіх типів і підтипів та природно-кліматичних зон і забруднювачів.

Окремі положення 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 сільськогосподарських джерел, із

змінами і доповненнями, внесеними Регламентом ЄС №1882/2003 *Cross Nitrogen Balances Handbook* (лист №575/1-04 від 23.06.2017).

* * *

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

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Bashkin, V. N., 1987. *Agrogeohimiya azota* [Agrogeochemistry of nitrogen]. ONTI NCBI, Pushchino (in Russian).
- Bashkin, V. N., 2008. *Biogeochemiya* [Biogeochemistry: scientific edition]. Vyssh. Shk., Moscow (in Russian).
- Dobryva ta yikh vykorystannia, 2010 [Fertilizers and their use: A Handbook]. Aristey, Kyiv (in Ukrainian).
- Fateev, A. I., Samokhvalova, V. L., 1999. Supply of nitrogen in agricultural cultures in condition of polyelement pollution of soil by the heavy metals. Collection of Papers by Ukrainian Members of ESSC, Kharkiv. 42–46.
- Gamzikov, G. P. 1981. *Azot v zemledelii Zapadnoj Sibiri* [Nitrogen in the Agriculture of Western Siberia]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Khrystenko, A. O., Hladkikh, Ye. Yu., Yunakova, T. A., 2013. Otsinka azotnoho stanu gruntiv i rivnya zabezpechenosti roslyn azotom khimichnymi metodamy [Assessment of the nitrogen state of soils and the level of plant nutrition by nitrogen chemical methods]. *Visnyk ahraryoi nauky* 12, 17–20 (in Ukrainian).
- Kovda, V. A., 1985. *Biogeochemiya pochvennogo pokrova* [Biogeochemistry of soil cover]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Mishustin, E. N., 1979. *Krugovorot i balans azota v sisteme pochva – udobrenie – rastenie – voda* [Rotation and balance of nitrogen in the soil – fertilizer – plant – water system]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Mockler, E. M., Deakin, J., Archbold, M., Daly, D., Bruen, M., 2016. Nutrient load apportionment to support the identification of appropriate water framework directive measures. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* 3, 245–263.
- Nosko, B. S., 2013. *Azotnyy rezhym gruntiv i yoho transformatsiya v ahroekosystemakh* [The Nitrogen Regime and its transformation in the Agroecosystems]. Mis'kdruk, Kharkiv (in Ukrainian).
- Nosko, B. S., Merkulova, E. L., Babych, E. V., 2000. *Vynos elementov pytanyua ozymoy pshenytesy yz chernozema typychnoho v zavysymosti ot systemy udobrenny* [Carrying out of elements of a food by a winter wheat from chernozem typical depending on system of fertilizers]. *Ahrokhymyya* 2, 45–53 (in Russian).
- Nosko, B. S., Yunakova, T. A., 1993. *Ahrokhymycheskaya y ahroekologhycheskaya otsenka efektyvnosti udobrenny na chernozeme typychnom* [Agrochemical and agroecological assessment of the effectiveness of fertilizers on chernozem typical]. *Ahrokhymyya* 3, 61–67 (in Russian).
- Orlov, D. S., 1990. *Gumusovyye kisloty pochv i obschaya teoriya gumifikatsii* [Soil humus acids and general theory of humification]. MGU, Moscow (in Russian).
- Orlov, D. S., Birjukova, O. N., Rozanova, M. S., 2004. *Dopolnitelnye pokazateli gumusnogo sostojaniya pochv i ih geneticheskikh gorizontov* [Additional indicators of the humus status of soils and their genetic horizons]. *Eurasian Soil Science* 8, 918–926 (in Russian).
- Orlov, D. S., Grishina, L. A., 1981. *Praktikum po himii gumusa* [Workshop on humus chemistry]. MGU, Moscow (in Russian).
- Orlov, D. S., Lozanovskaya, I. N., 1982. *Azot pochvy: strategiya i taktika* [Nitrogen of soil: strategy and tactics]. *Himiya i zhizn* 3, 27–30 (in Russian).
- Orlov, O. L., 2002. *Enerhoiennist yak kryterii humusovoho stanu gruntiv* [Energy intensity as a criterion of soil humus]. *Bulletin of Lviv NU. Biology Series* 31, 111–115 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model 120082 UA, 2017. *Sposib prohnozuvannya rodyuchosti gruntiv za yikh makroelementnym stanom* [Method of forecasting of soil fertility by their macroelement state]. V. L. Samokhvalova, A. O. Khrystenko, L. O. Shedey, P. A. Samokhvalova, O. V. Karatsyuba, № u201703324; publ. 25.10.2017; Byul. 20 (in Ukrainian).

- Pat. na korynsnu model 1471172 SU 1989. Sposob prognozirovaniya dinamiki izmeneniya sodержaniya gumusa v pochve 1989. [Method for predicting the dynamics of changes in humus content in soil] A. N. Yumagulova, V. S. Kucherov. № 3818486/30-63; appl 03.12.1984; publ 07.04.1989; Byul.13 (in Ukrainian).
- Pat. na korynsnu model 1481681 SU A1, 1989. Sposob prognozirovaniya vosproizvodstva plodorodiya pochvy [Method for predicting the reproduction of soil fertility] V. M. Volodin, A. E. Fedorchenko, L. I. Biryukova, R. F. Eremina, № 1481681; appl. 12.02.1987; publ. 23.05.1989, Byul. 19 (in Ukrainian).
- Pat. na korynsnu model 9282 UA, 2005. Spisib vyznachennya potentsial'noyi rodyuchosti gruntiv. [Method for determining the potential fertility of soils] O. Yu. Nesmashna, Yu. O. Tararyko, N. O. Andryeyeva, I. D. Zholudeva, V. V. Koval'ov, № 200502112 appl 09.03.2005; publ. 15.09.2005, Byul. 9 (in Ukrainian).
- Patentni doslidzhennya. Osnovni polozhennya ta poryadok provedennya [Patent researches are the Substantive provisions and order of realization] : DSTU 3575-97. [Chynnyy vid 1998.01.01.]. Kyiv, Derzhstandart Ukrayiny, 1998 (Nacionalnyj standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Patentnyj formulyar. Osnovni polozhennya. Poryadok skladannya ta oformlennya [Patent formular. Substantive provisions. Order of stowage and registration] : DSTU3574-97. [Chynnyy vid 1998.01.01.]. Kyiv, Derzhstandart Ukrayiny, 1998 (Nacionalnyj standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Pryanishnikov, D. N., 1945. Azot v zhizni rasteniy i zemledelii SSSR [Nitrogen in plants and agriculture of the USSR]. AN SSSR, Moscow (in Russian).
- Samokhvalova, V. L., Fateev, A. I., 2001 Vozdejstvie poliehlementnogo zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami na balans azota v sisteme udobrenie-pochva- rastenie [The effect of polyelement contamination of soil by heavy metals on the nitrogen balance in the fertilizer-soil-plant system]. Book 3. Minsk, 164–166 (in Russian).
- Savich, V. I., Syichev, V. G., Nikolskiy, Yu. V., Zamaraev, A. G., Syunyaev, N. K., 2007. Energeticheskaya otsenka plodorodiya pochv [Energy assessment of soil fertility]. VNIIA. Moscow (in Russian).
- Schepers, J. S., Raun, W. R., 2008. Nitrogen of Agricultural Systems. Agronomy Monograph 49. USA. 947 p.
- Smil, V., 1985. Carbon-nitrogen-sulfur (Modern perspectives in energy): Human Interference in Grand Biospheric Cycles. USA, Plenum press, New York. 412 p.
- Smirnov, P. M., Muravin, E. A., 1981. Agrohimiya [Agrochemistry]. Kolos, Moscow (in Russian).
- Truskavec'kij, R. S., 2003. Buferna zdatnist' rruntiv ta ih osnovni funkciï [Soil buffer capacity and their main functions]. Nove slovo, Kharkiv (in Ukrainian).
- Tyurin, I. V., 1965. Organicheskoe veshchestvo pochvy i ego rol v plodorodii [Organic matter of the soil and its role in fertility]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Vlasyuk, P. A., 1962. Dovidnyk ahronoma po udobrennyu [Handbook of Fertilizer Agronomist]. Derzhsil'hospvydav, Kyiv (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Metody vyznachennya orhanichnoyi rechovyny [The soil quality. Methods for determination of organic matter]: DSTU 4289:2004. [Chynnyy vid 2005-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2005. 14 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Preparatyvne vydilennya humusovykh rechovyn gruntu [The soil quality. Preparation of soil humus substances]: DSTU 7606:2014. [Chynnyy vid 2015-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2014. 13 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Vyznachennya enerhetychnoho potentsialu gruntu kalorymetrychnym metodom [The soil quality. Determination of the energy potential of soil by calorimetric method]: DSTU 7866:2015. [Chynnyy vid 2016-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2015. 13 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Vyznachennya hrupovoho skladu humusu za metodom Tyurina v modyfikatsiyi Kononovoyi ta Byel'chykovoyi [The soil quality. Determination of humus group composition by Tyurin method in modification of Kononova and Belchikova]: DSTU 7855:2015. [Chynnyy vid 2016-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2015. 13 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Vyznachennya hrupovoho ta fraktsiyonoho skladu humusu za za metodom Tyurina u modyfikatsiyi Ponomar'ovoyi ta Plotnykovoyi [The soil quality. Determination of the group and fractional composition of humus by the Tyurin method

- in the modification of Ponomarevoj and Plotnikovej]: DSTU 7828:2015. [Chynnyy vid 2016-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2015. 13 s. (Natsional'nyy standart Ukrainy) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Vyznachennya shchil'nosti skladennya na sukhu masu [The soil quality. Determination of drying density on dry weight]: DSTU ISO 11272-2001. [Chynnyy vid 2003-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003. 12 s. (Natsional'nyy standart Ukrainy) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Vyznachennya zahal'noho azotu v modyfikatsiyi NNTs IHA imeni O. N. Sokolovs'koho [The soil quality. Determination of total nitrogen in the modification of the NSC IGA named after O. N. Sokolovsky]: DSTU 4726:2007. [Chynnyy vid 2008-01-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2008. 14 s. (Natsional'nyy standart Ukrainy) (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію: 25.11.2017