



В. П. Бойко,
викладач кафедри агрохімії і ґрунтознавства,
Уманський національний університет садівництва
м. Умань, Україна
E-mail: boyko_v.p.@ukr.ne



Г. М. Господаренко,
доктор с.-г. наук,
професор кафедри агрохімії і ґрунтознавства,
Уманський національний університет садівництва
м. Умань, Україна
E-mail: Hospodarenko@gmail.com



А. Т. Мартинюк,
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри агрохімії і ґрунтознавства,
Уманський національний університет садівництва
м. Умань, Україна
E-mail: martyniuk_andriy_t@ukr.net

БАЛАНС ФОСФОРУ В ҐРУНТІ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОСФОРДЕФІЦІТНОЇ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ

Анотація. Встановлено вплив тривалого застосування фосфордефіцитної системи удобрення в польовій сівозміні (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя) на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому Правобережного Лісостепу України на вміст фосфору в рослинах, витрати його на формування одиниці врожаю, розраховано баланс фосфору та індекс ефективності застосування різних доз фосфорних добрив. Встановлено, що вміст фосфору в зерні й насінні сільськогосподарських культур під впливом фосфорних добрив змінюється на 12–50 %, а у соломі і стебелинній – на 13–37 % залежно від варіанту дослідів. Показано, що в незерновій частині врожаю міститься незначна частина фосфору – 24–54 % від господарського винесення залежно від культури. Розраховано, що у разі залишення її на полі на добриво за середньорічного внесення $N_{110}P_{60}K_{80}$ це компенсує витрати фосфору на формування врожаю лише на 33 %. Коефіцієнт використання фосфору з мінеральних добрив, що вносилися в сівозміні впродовж восьми років у дозі $N_{110}P_{30-60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміни, становить 36–46 %. За внесення P_{30} і P_{60} на тлі $N_{110}K_{80}$ та залишення нетоварної частини урожаю культур на полі на добриво баланс фосфору в ґрунті формується з інтенсивністю відповідно 67 і 117 %. За індексом комплексного оцінювання (ІКО), який враховує сім показників: окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив; додатково умовно чистий прибуток; чистий енергетичний прибуток; баланс гумусу та інтенсивність балансу азоту, фосфору і калію, найліпшим варіантом дослідів є застосування на 1 га площі польової сівозміни $N_{110}P_{60}K_{80}$. Це свідчить про недоцільність навіть тимчасового зниження дози фосфорних добрив у польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому в Правобережному Лісостепу України. Зменшення її до 30 кг/га д. р. знижувало ІКО з 1,38 до 1,25.

Ключові слова: баланс фосфору, чорнозем опідзолений, удобрення, польова сівозміна, продуктивність.

Н. М. Hospodarenko,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agricultural Chemistry and Soil Science, Uman National Horticulture University (Uman), Ukraine

А. Т. Martyniuk,

PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Chemistry and Soil Science, Uman National Horticulture University (Uman), Ukraine

В. Р. Voiko,

Teacher of the Department of Agricultural Chemistry and Soil Science, Uman National Horticulture University (Uman), Ukraine

PHOSPHORUS BALANCE IN THE SOIL AND THE EFFECTIVENESS OF PHOSPHORUS DEFICIENCY SYSTEM OF FERTILIZATION

Abstract. The study, held on podzolic black heavy loam soil of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, reveals the influence of long-term application of phosphorus deficient fertilization system in field crop rotation (winter wheat, corn, spring barley, soybeans) on phosphorus content in plants, its costs for the formation of the unit of yield, the phosphorus balance. In addition, the efficiency index of different doses of phosphorus fertilizers were calculated. It was found that the content of phosphorus in grains and seeds of agricultural crops under the influence of phosphorus fertilizers varies by 12–50%, and in straw and stalks – by 13–37%, depending on the variant of the experiment. It is shown that the non-grain part of the crop contains a small part of phosphorus – 24–54% of economic application depending on the crop. It is estimated that if it is left in the field for fertilizer with an average annual application of $N_{110}P_{60}K_{80}$, it compensates for the cost of phosphorus for crop formation by only 33%. The utilization rate of phosphorus from mineral fertilizers applied in crop rotation for eight

years at a dose of $i N_{110} P_{30} - P_{60} K_{80}$ per 1 ha of crop rotation area is 36-46%. With the introduction of P_{30} and P_{60} on the background of $N_{110} K_{80}$ and leaving the non-commodity part of the crop in the field for fertilizer, the balance of phosphorus in the soil is formed with an intensity of 67 and 117%, respectively. According to the index of integrated assessment, which takes into account seven indicators (payback of 1 kg of mineral fertilizers; additionally notional net profit; net energy profit; humus balance and intensity of nitrogen, phosphorus and potassium balance), the best variant of the experiment is to apply $N_{110} P_{60} K_{80}$ fertilizer per 1 ha of field crop rotation area. This indicates the inexpediency of even a temporary reduction in the dose of phosphorus fertilizers in field crop rotation on podzolic black heavy loam soil in the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. Reducing it to 30 kg / ha led to a decrease in the complex assessment index from 1.38 to 1.25.

Key words: phosphorus balance, podzolic black earth, fertilization, field crop rotation, productivity.

Постановка проблеми. Характерною ознакою родючості ґрунтів є їх фосфатний рівень, а його підвищення – одним з основних показників окультурення. Для уточнення доз застосування фосфорних добрив у польовій сівозміні та оптимізації фосфорного живлення окремих сільськогосподарських культур, необхідно встановити, як змінюються агрохімічні властивості ґрунту під дією різних доз фосфорних добрив, кількісне засвоєння і витрати фосфору на формування врожаю, його участь у формуванні врожаю та вплив на ефективність систем удобрення.

Аналіз останніх досліджень.

Для уточнення розрахунку балансу елементів живлення і доз добрив у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах вирощування виникає необхідність встановлення оптимальних рівнів вмісту елементів живлення в сільськогосподарських культурах. Відомо [1], що елементарний склад рослин найбільше залежить від хімічного складу земної кори, а також доступності їх із ґрунту та добрив [8]. Щодо впливу ґрунтово-кліматичних умов, рівня застосування добрив та інших чинників на вміст фосфору в рослинах, то вчені [9, 15, 23, 24] єдиної думки не мають. Так, встановлено [24], що зміна оптимального вмісту в них фосфору на різних типах ґрунтів не перевищує 5 %. Проте, за узагальненими даними географічної мережі дослідів [23] вміст фосфору на неодобрених і одобрених ділянках відрізнявся на 3 %, а на неодобрених ділянках між зонами дерново-підзолистих, каштанових і чорноземних ґрунтів на 57 %.

Для розрахунку доз фосфорних добрив зазвичай використовують показник відносного виведення фосфору на одиницю основної і відповідну кількість нетоварної частини врожаю. Цей показник відносно стабільний [3, 15, 18], але його необхідно постійно уточнювати з врахуванням ґрунтово-кліматичних умов регіону, сортів і гібридів культури, оскільки вони відрізняються за генотипом, хімічним складом органів рослин, відношенням товарного до нетоварного врожаю.

Чорноземи мають значні запаси фосфору, тому на ділянках без внесення добрив проходить біопереміщення фосфору з нижніх шарів ґрунту [11]. На нашу думку, це дає можливість допустити незначний тимчасовий від'ємний баланс фосфору в ґрунті.

Вузьким місцем у системі застосування фосфорних добрив є встановлення потреби культури у фосфорі. Перш за все це зумовлено складністю взаємодії між рослиною, добривом, ґрунтом і погодою. Витрата P_2O_5 добрив на збільшення на 10 мг оцтово-розчинних фосфатів на 1 кг ґрунту становить залежно від типу ґрунту 63–222 кг/га, а оптимальний їх вміст залежно від культури змінюється від 100 до 250 мг/кг ґрунту [15]. Враховуючи витрати фосфору на доведення його вмісту до оптимальних рівнів потрібні тонни фосфорних добрив на 1 га. Такий шлях є витратним, а за обмеженої кількості добрив і високої їх вартості – невиправданим. Тому вчені прийшли до висновку про недоцільність перевищення верхньої межі оптимального вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунті. Це не лише безвідсоткове вкладення капіталу, але і причина погіршення якості продукції і джерело забруднення навколишнього природного середовища [19, 20, 25, 26].

На чорноземах типових, вилужених і опідзолених з вмістом рухомих сполук фосфору 10–50 мг/кг (за методом Олсена) у районах нестійкого зволоження коефіцієнт повернення вилученого з урожаю фосфору повинно бути на рівні 1,1–1,8 [5]. Одним з перспективних напрямків є застосування помірних доз мінеральних добрив з додатковим залученням нетоварної продукції рослинництва [14].

Оптимальна доза фосфорних добрив залежить перш за все від ґрунту, менш – від вирощуваної культури, і не залежить від погодних умов року [16, 20].

Отже, раціональне використання фосфорних добрив у зв'язку з обмеженістю їх застосування перетворилось у найважливішу проблему землеробства, тому уточнення можливості зниження їх доз є нині актуальним.

Мета статті – висвітлити питання ефективності застосування фосфордефіцитної системи удобрення на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому Правобережного Лісостепу в польовій сівозміні зернового виду.

Методика досліджень. Дослідження проведено в умовах стаціонарного польового досліді на дослідному полі Уманського НУС [17], що розміщене в Правобережному Лісостепу України з географічними координатами за Гринвічем 48° 46' північної широти і 30° 14' східної довготи.

Дослід закладено у 2011 році одночасно на чотирьох полях з послідовним розміщенням варіантів і триразовим повторенням. Загальна площа дослідної ділянки 110 м², облікова – 72 м². У варіанті досліді виробничого контролю доза добрив ($N_{110} P_{60} K_{80}$) розрахована за середньорічним господарським винесенням основних елементів живлення культурами сівозміни. Схему досліді складено так, щоб за результатами проведених досліджень можна було визначити доцільність зниження доз фосфорних добрив.

Відповідно до схеми досліді застосовували такі види мінеральних добрив: аміачна селітра, суперфосфат гранульований і калій хлористий. Фосфорні та калійні добрива вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивуацію та в підживлення пшениці озимої. Вирощували пшеницю озиму сорту Місія одеська, ячмінь ярий сорту Командор, сою сорту Аннушка і гібрид кукурудзи ДКС 3730.

Збирання врожаю зерна й насіння проводили прямим комбайнуванням. Урожайність нетоварної продукції обліковували методом пробного снопа. Нетоварну частину врожаю культур сівозміни (солону, стебелиння) залишали на полі на добриво.

Для комплексного оцінювання системи удобрення в польовій сівозміні визначали і розраховували низку показників. У ґрунтових зразках визначали: вміст загального вуглецю за методом Тюрина в модифікації Симакова згідно з ДСТУ 4289:2004; вміст азоту легкогідролізованих сполук за методом Корнфілда згідно з ДСТУ 7863:2015; рухоми сполуки фосфору і калію – за модифікованим методом Чирікова згідно з ДСТУ 4115-2002.

У рослинних зразках визначали: вміст сухої речовини – термогравіметричним методом; вміст загальних форм азоту, фосфору, калію методом мокрого озолення за МВВ 31-497058-019-2005 [13].

Для спрощення розрахунків балансу елементів живлення скоротили кількість статей як у частині надходження, так і їх вилучення [5].

Економічну та енергетичну ефективність застосування добрив розраховували за загальноприйнятими методиками, з урахуванням витрат за технологічними картами та реалізаційних цін ІV кварталу 2021 р. [5].

Індекс комплексного оцінювання (ІКО) системи удобрення в польовій сівозміні розраховували за формулою

$$IKO = \sqrt[n]{\frac{\Phi_1}{O_1} + \frac{\Phi_2}{O_2} + \dots + \frac{D_1}{\Phi_1} + \frac{D_2}{\Phi_2} + \dots +}$$

де Φ – фактичне значення показника; O – оптимальне значення показника; D – допустиме значення показника; n – кількість показників.

Оптимальні та допустимі значення окремих показників визначали з урахуванням типових нормативів коефіцієнтів повернення елементів живлення від виношення врожайми і екологічно безпечних нормативів інтенсивності балансу фосфору і калію залежно від вмісту їх рухомих сполук у ґрунті [5]. При цьому, з урахуванням вмісту в ґрунті азоту легкогідролізованих сполук (за методом Корнфілда), рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирікова), вважали що екологічно безпечна інтенсивність балансу азоту, фосфору і калію відповідно становить 120; 130 і 70 %.

Для статистичної обробки результатів досліджень і визначення достовірності одержаних експериментальних даних використовували пакет стандартних програм (ПІК «Agrostat», MSOfficeExcel).

Основні результати досліджень. Вважається, що з основних елементів живлення рослини мають найбільшу здатність регулювати вміст фосфору, але вона є недостатньою, щоб повністю обмежити його засвоєння за високого вмісту в ґрунті [15].

Дослідження показали, що навіть за високих доз внесення мінеральних добрив ($N_{110}P_{60}K_{80}$), вміст фосфору в зерні пшениці озимої, кукурудзи і ячменю ярого підвищувався відповідно лише на 19; 14 і 12 % (табл. 1). Значне підвищення його вмісту було в насінні сої – з 1,08 до 1,62 % у перерахунку на суху речовину. В досліді

чітко проявився позитивний вплив фосфорних добрив на вміст фосфору в основній продукції. При цьому за внесення азотних добрив живлення рослин фосфором також поліпшувалося, тоді як впливу калійних добрив не було відмічено.

У вегетативній масі культур сівозміни вміст фосфору, порівняно з генеративними органами, був значно менший і зміни під впливом удобрення були меншими. Так, у пшеничній і соєвій соломі він підвищувався під впливом високої дози добрив ($N_{110}P_{60}K_{80}$) лише на 13 %, а в ячмінній – на 33 %. У стебеліній кукурудзи підвищення вмісту фосфору склало 37 %.

Витрати фосфору на формування врожаю найбільші у сої, що пояснюється високим його вмістом у соломі – 23,7 кг P_2O_5 /т насіння (табл. 2). Найменше фосфору на формування врожаю зерна і відповідної листкостеблової маси витрачає кукурудза – 7,0 кг P_2O_5 /т. Для розрахунку доз добрив важливо знати, яка частка фосфору, що була використана для формування господарського врожаю, повертається в ґрунт у разі залишення на полі на добриво соломи і стебеліній. Як видно з даних табл. 2, з нетоварною продукцією у ґрунт може повертатися незначна кількість фосфору від його господарського виношення. Найбільше фосфору (47–54 % залежно від варіанту досліді) у ґрунт повертається з соломою сої. З нетоварною продукцією інших культур коефіцієнт повернення не перевищує 0,36.

Таблиця 1

Вміст фосфору (P_2O_5) в урожаї культур залежно від доз мінеральних добрив у польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Варіант досліді	Культура сівозміни			
	Пшениця озима	Кукурудза	Ячмінь ярий	Соя
<i>вміст в основній продукції, % на суху речовину</i>				
Без добрив (контроль)	0,72	0,56	0,68	1,08
$N_{110}K_{80}$ – фон	0,76	0,58	0,69	1,10
Фон + P_{30}	0,82	0,62	0,72	1,58
Фон + P_{60}	0,86	0,64	0,76	1,62
HIP_{05}	0,04–0,05	0,03–0,04	0,04–0,05	0,09–0,11
<i>вміст у нетоварній продукції, % на суху речовину</i>				
Без добрив (контроль)	0,24	0,15	0,19	1,08
$N_{110}K_{80}$ – фон	0,24	0,16	0,21	1,10
Фон + P_{30}	0,26	0,18	0,25	1,20
Фон + P_{60}	0,27	0,20	0,26	1,23
HIP_{05}	0,02	0,01–0,02	0,02	0,08–0,10

Таблиця 2

Відносне виношення калію (P_2O_5) врожаєм сільськогосподарських культур за різного удобрення в польовій сівозміні, 2016–2018 рр.

Культура	Виношення з 1 т продукції, кг		
	товарної	нетоварної	товарної і відповідної кількості нетоварної
Пшениця озима	$\frac{6,9}{6,2-7,4}$	$\frac{2,2}{2,0-2,3}$	$\frac{10,6}{9,7-11,3}$
Кукурудза	$\frac{5,2}{4,8-5,5}$	$\frac{1,5}{1,30-1,7}$	$\frac{7,0}{6,3-7,6}$
Ячмінь ярий	$\frac{6,1}{5,8-6,5}$	$\frac{2,0}{1,6-2,2}$	$\frac{8,5}{7,8-9,2}$
Соя	$\frac{11,7}{9,5-14,2}$	$\frac{10,0}{9,30-10,6}$	$\frac{23,7}{20,6-26,9}$

Примітка. Над рискою – середнє значення, під рискою – діапазон змін.

Для розрахунку доз добрив зазвичай користуються показником господарського виношення фосфору запланованим урожаєм, хоч це і не відповідає біологічним вимогам культур для його формування. При цьому вважають, що частину фосфору рослини візьмуть з ґрунту, а з метою оптимізації їх живлення необхідно повернути лише той

фосфор, який витрачений на формування основного і нетоварного врожаю та потрібен для підвищення ґрунтової родючості [3]. Баланс фосфору для чорноземів має особливе значення [4, 7, 15]. Його колообіг простіший, ніж азоту, тобто його складовими зазвичай є лише ґрунт і рослини. Вважається [10], що для підвищення родючості

ґрунту необхідно мати інтенсивність балансу фосфору 180–200 %, що забезпечується середньорічним внесенням 60–80 кг/га P_2O_5 . У Білорусі система застосування добрив під сільськогосподарські культури передбачає компенсацію винесення фосфору з урожаєм і забезпечує поступове підвищення запасів P_2O_5 до 200–300 мг/кг ґрунту [12]. Проте, існує й думка [22], що з підвищенням вмісту фосфору в чорноземних ґрунтах дози фосфорних добрив можна зменшити, оскільки високий рівень фосфатів знижує якість сільськогосподарської продукції і доступність рослинам низки мікроелементів.

Розрахунки показали, що з поліпшенням умов

мінерального живлення рослин, вилучення з ґрунту із зерном і насінням у середньому за дві ротації сівозміни було незначним (21,1–51,4 кг P_2O_5 /(га·рік) сівозміної площі) і збільшувалося більш ніж у два рази за внесення повного мінерального добрива ($N_{110}P_{60}K_{80}$) (табл. 3).

Як видно з даних табл. 3, баланс фосфору у варіантах дослідів з внесенням фосфорних добрив формувалася додатним лише за внесення фосфорних добрив у дозі 60 кг/га д. р. з інтенсивністю 116,7 %. На тлі $N_{110}K_{80}$, за проведеними розрахунками, урівноважений баланс фосфору буде забезпечуватись внесенням з мінеральними добривами 51 кг/га P_2O_5 .

Таблиця 3
Баланс фосфору (P_2O_5) у ґрунті польової сівозміни та його інтенсивність за різного удобрення та залишення на полі нетоварної частини урожаю, 2011–2018 рр.

Показник	Варіант дослідів			
	Без добрив (контроль)	$N_{110}K_{80}$ – фон	Фон + P_{30}	Фон + P_{60}
Надходження, кг/(га·рік)	–	–	30,0	60,0
Вилучення, кг/(га·рік)	21,1	34,2	45,0	51,4
Баланс, кг/(га·рік)	-21,1	-34,2	-15,0	8,6
Інтенсивність балансу, %	–	–	66,7	116,7

Застосування на добриво нетоварної продукції культур сівозміни без додаткового внесення мінеральних добрив, компенсує витрати фосфору на формування врожаю лише на 34 %, а у варіанті дослідів Фон + P_{60} цей показник знижувався до 33 %.

Наявність у досліді варіантів з парними комбінаціями основних елементів живлення дає можливість розрахувати коефіцієнти їх використання з добрив у середньому за дві ротації польової сівозміни. Коефіцієнт використання фосфору знижується з 44 до 36 % за підвищення дози внесення фосфорних добрив з 30 до 60 кг д. р./(га·рік).

Сучасне рослинництво характеризується значними витратами техногенної енергії. Особливо вони великі на виробництво та застосування добрив, які, як відомо, в цій галузі становлять більш як 50 %. Тому встановлення економічно виправданих доз добрив є одним з важливих важелів виходу сільського господарства України з кризового стану. Складність розрахунку економічної ефективності полягає у диспаритеті та нестабільності цін на мінеральні добрива і продукцію рослинництва, а також неможливості точно врахувати їх післядію. Найбільш достовірну та діалектично взаємозв'язану інформацію з цих питань дають дані тривалих стаціонарних дослідів.

Нині добрива є одним із найсуттєвіших чинників підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. При цьому не викликає сумніву і те, що за економічно обґрунтованої дози добрив проблема полягає у формуванні не якомога більшого врожаю, а такого, який забезпечує найліпші економічні показники [21].

Зазвичай вважається, що найефективнішою системою удобрення є та, що забезпечує максимальний приріст урожаю сільськогосподарських культур. З економічного погляду це не завжди є доцільним у тривалій перспективі, тому що ціни на мінеральні добрива ростуть більшими темпами, ніж на продукцію рослинництва. Тому нині надають перевагу оптимізації системи удобрення за комплексним показником [1, 6].

Індекс комплексного оцінювання (ІКО) системи удобрення в польовій сівозміні розраховували із врахуванням семи показників: окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив; додатково умовно чистий прибуток; чистий енергетичний прибуток; баланс гумусу та інтенсивність балансу азоту, фосфору і калію.

Розрахунки показали, що найвищим ІКО був у варіанті дослідів $N_{110}P_{60}K_{80}$ – 1,38, за показника на тлі $N_{110}K_{80}$ – 1,20. Значно йому уступав варіант дослідів $N_{110}P_{30}K_{80}$ – 1,25. Це вказує на те, що навіть на тлі залишення на полі нетоварної частини урожаю культур на добриво не допустимо і виправдано створювати дефіцитний баланс фосфору в польовій сівозміні зернового виду.

Висновки.

1. Вміст фосфору в зерні й насінні сільськогосподарських культур під впливом фосфорних добрив змінюється на 12–50 %, а в соломі і стебелинній – на 13–37% залежно від варіанту дослідів.

2. Із соломою й стебелинним у разі залишення їх на полі на добриво залежно від культури сівозміни у ґрунт повертається 24–54 % фосфору від господарського винесення. У варіанті дослідів Фон + P_{60} це компенсує витрати фосфору на формування врожаю лише на 33 %.

3. Коефіцієнт використання фосфору з мінеральних добрив, що вносилися в сівозміні впродовж восьми років у дозі $N_{110}P_{30-60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміни, становить 36–46 %.

4. За умови залишення нетоварної частини урожаю культур на полі на добриво баланс фосфору у варіантах дослідів з внесенням P_{30} і P_{60} формується з інтенсивністю відповідно 67 і 117 %.

5. За індексом комплексного оцінювання, який враховує сім показників: окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив; додатково умовно чистий прибуток; чистий енергетичний прибуток; баланс гумусу та інтенсивність балансу азоту, фосфору і калію, найліпшим варіантом дослідів є застосування на 1 га площі польової сівозміни $N_{110}P_{60}K_{80}$. Зменшення дози фосфорних добрив у складі повного мінерального добрива до 30 кг/га д. р. знижувало ІКО з 1,38 до 1,25.

Література.

- Бойко В. П. Ефективність доз і співвідношень мінеральних добрив у польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. н.: 06.01.04. Харків, 2020. 22 с.
- Вибрані праці академіка В. І. Вернадського. Київ, 2011. Т. 1. Кн. 2. 584 с.
- Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2019. 560 с.
- Господаренко Г. М. Основні принципи побудови системи удобрення в польовій сівозміні. Агрохімія і ґрунтознавство (спецвипуск). Харків, 2002. Кн. 3. С. 200–203.
- Господаренко Г. М. Практикум з агрохімії. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. 148 с.
- Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. Агрохімія калію / за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с.
- Господаренко Г. М., Черно О. Д., Сухомуд О. Г. До питання оптимального вмісту рухомих форм фосфору і калію в чорноземі опідзоленому для культур польової сівозміни. Фактори родючості ґрунту та їх ефективність.

Умань, 1998. С. 66–71.

8. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт–рослина /за ред.: А. І. Фатєєва, В. П. Самохвалової. Харків : КП «Міськдрук», 2012. 146 с.

9. Ивойлова А. В., Шильников И. А., Шелкунова А. В. Вывос N, P, K и Ca культурами зернопопашного севооборота. *Агрохимия*. 1990. №1. С. 26–32.

10. Крамарьов С. М., Крамарьов О. С. Зміна вмісту рухомих форм фосфору в чорноземах звичайних на ріллі в порівнянні з цілиною та фінансовий механізм його підвищення. *Агрохімія і ґрунтознавство (спецвипуск)*. 2018. Кн. 2. С. 173–174.

11. Крупеников И. А. Черноземы. Возникновения, совершенство, трагедия деградации, пути охраны и возрождения. Кишинев : Pontos, 2008. 285 с.

12. Лапа В. В., Цибулько Н. Н. Проблемы повышения плодородия и защиты от деградации почв Беларуси. *Агрохімія і ґрунтознавство (спецвипуск)*. 2018. Кн. 2. С. 74–82.

13. МВВ 31–497058–019–2005 Рослини. Визначення загальних форм азоту, фосфору, калію в одній наважці рослинного матеріалу. Методики визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків : КП «Друкарня №13», 2005. С. 189–208.

14. Медведев В. В., Пліско І. В., Накісько С. Г., Тітенко Г. В. Деградація ґрунтів у світі, досвід її попередження і подолання. Харків : Стильна типографія, 2018. 168 с.

15. Носко Б. С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків : ФОП «Бровін О. В.», 2017. 476 с.

16. Свисюк И. В. Возделывание зерновых культур в условиях потепления климата. Ростов-на-Дону: АКРА, 2004. 48 с.

17. Стационарні польові досліді України. Київ : Аграрна наука, 2014. 146 с.

18. Ткаченко М. А., Драч Ю. О. Видове генотипове співвідношення елементів живлення як основа оптимізації удобрення сільськогосподарських культур. 36. наук. пр. ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2016. Вип. 1. С. 113–123.

19. Фатеев А. И. Локальный способ внесения удобрений. Почвено-агрохимические аспекты. Харьков, 2002. 160 с.

20. Харченко О. В. Прасол В. І., Захарченко Е. А., Петренко Ю. М., Собко М. Г. До проблеми аналітичної оцінки ефективності мінеральних добрив та екологічних обмежень їх норми. Суми: Університетська книга, 2016. 32 с.

21. Ходаківська О. В. Корчинська С. Г., Матвієнко А. П. Еколого-економічні аспекти відтворення родючості ґрунтів. *Землеробство*. 2017. №1. С. 16–22.

22. Цвей Я. П., Бондар С. О., Семчук С. М. Формування родючості чорнозему в сівозмінах Лісостепу. *Матер. Міжнар. н.-практ. конф. 7–8 червня 2018 р. «Інноваційні технології у рослинництві: проблеми та їх вирішення»*. Житомир: Рута, 2018. С. 267–271.

23. Юркин С. Н., Пименов Е. А., Макаров Н. Б. Почвенно-зональные различия расхода питательных веществ в связи с применением удобрений. *Агрохимия*. 1979. №12. С. 127–130.

24. Ягодин Б. А., Буторина Е. П., Феофанов С. Н. Уточнение некоторых вопросов применения тканевой диагностики в регулировании азотного питания озимой пшеницы. *Агрохимия*. 1993. №4. С. 19–28.

25. Ortas I., Lal R., Kapur S. Significance of manure application on aeration and soil Structure. 8th International Soil Science Congress on «Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management». Izmir, Turkey, 2012. Pp. 192.

26. Poletschny H. Bodenvorräte als Nährstoffspeicher, Auswaschungspotential oder unverzinsliche Kapitalanlage. *LandwirtschaftlicheZeitschriftRheinland*. 1990. Bd. 157. Vol. 6. P. 6–12.

References

1. Boiko V. P. (2020) Efficiency of doses and ratios of mineral fertilizers in field crop rotation on podzolic blacksoils of Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine [Synopsis thesis (PhD), 06.01.04. – agrochemistry, Kharkiv]. (in Ukrainian)

2. Selected works of Academician V.I. Vernadsky. Kyiv, 2011. Vol. 1. Book. 2. (in Ukrainian)

3. Hospodarenko, H. M. (2019). *Agrochemistry: Textbook*. SIC GROUP UKRAINE LLC. (in Ukrainian)

4. Hospodarenko, H.M. (2002). Basic principles of construction of fertilizer system in field crop rotation. *Agrochemistry and soil science (special issue)*. Book 3. Kharkiv. (In Ukrainian)

5. Hospodarenko, H. M. (2020). *Agrochemistry: Workshop*. SIC GROUP UKRAINE LLC. (in Ukrainian)

6. Hospodarenko, H. M., Cherny, O.D. & Nikitina, O.V. (2021). Potassium agrochemistry. Hospodarenko, H.M. (Ed.), Kyiv: TROPEA. (in Ukrainian)

7. Hospodarenko, H. M., Cherny, O.D. & Sukhomud, O. H. (1998). On the question of the optimal content of mobile forms of phosphorus and potassium in podzolic blacksoils for field crop rotation. Factors of soil fertility and their efficiency. Uman, 66-71. (in Ukrainian)

8. Fatieieva, A.I., Samokhvalova, V. P. (Eds.) (2012). *Diagnosis of the state of chemical elements of the soil-plant system*. Kharkiv: KP "Miskdruk". (in Ukrainian)

9. Ivoylova, A. V., Shilnikov, I. A. & Shelkunova A. V. (1990). Removal of N, P, K and Ca by crops of grain crop rotation. *Agrochemistry*, No. 1, 26–32. (in Russian)

10. Kramariov, S. M, Kramariov, O. S. (2018). Change in the content of mobile forms of phosphorus in ordinary black soils on arable land in comparison with virgin land and the financial mechanism of its increase. *Agrochemistry and soil science (special issue)*, Book. 2, 173–174. (in Ukrainian)

11. Krupenikov, I. A. (2008). Black soils. Emergence, perfection, tragedy of degradation, ways of protection and revival. Chisinau: Pontos. (In Russian)

12. Lapa, V. V, Tsibulko, N. N. (2018). Problems of increasing fertility and protection from soil degradation in Belarus. *Agrochemistry and soil science (special issue)*, Book. 2, 74–82. (in Russian)

13. Plants. Determination of general forms of nitrogen, phosphorus, potassium in one sample of plant material. Methods for determining the composition and properties of soils. (2005). MVV 31–497058–019–2005. Kharkiv: KP "Printing House №13", 189–208. (in Ukrainian)

14. Medvediev, V. V., Plisko, I. V., Nakisko, S. H. & Titenko, H. V. (2018). Soil degradation in the world, the experience of its prevention and overcoming. Kharkiv: Stylish printing house. (in Ukrainian)

15. Nosko, B. S. (2017). Phosphorus in soils and agriculture of Ukraine. Kharkiv: FOP "Brovin OV". (in Ukrainian)

16. Svisyuk, I. V. (2004). Cultivation of grain crops in conditions of climate warming. Rostov-on-Don: AKRA. (in Russian)

17. Stationary field test-trials of Ukraine (2014). Kyiv: agricultural science. (in Ukrainian)

18. Tkachenko, M. A., Drach, Yu. O. (2016). Species genotypic ratio of nutrients as a basis for optimizing fertilization of crops. In collection of scientific works TRC "Institute of Agriculture NAAS" (pp. 113-123). Issue. 1. (in Ukrainian)

19. Fateev, A. I. (2002). Local method of fertilizer application. Soil and agrochemical aspects. Kharkiv. (In Russian)

20. Kharchenko, O. V., Prasol, V. I., Zakharchenko, E. A., Petrenko, Y. M. & Sobko, M. H. (2016). On the problem of analytical assessment of the effectiveness of mineral fertilizers and environmental constraints of their norm. Sumy: University Book. (in Ukrainian)

21. Khodakivska, O. V., Korchynska, S. H., Matviienko, A. P. (2017). Ecological and economic aspects of soil fertility reproduction. *Agriculture*, №1, 16–22. (in Ukrainian)

22. Tsvey, Ya. P., Bondar, S. O., Semchuk, S. M.

(2018). Formation of black soil fertility in forest-steppe crop rotations. In Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, June 7-8, "Innovative technologies in crop production: problems and their solutions". Zhytomyr: Ruta. (in Ukrainian)

23. Yurkin, S. N., Pimenov, Ye. A., Makarov, N. B. (1979). Soil-zonal differences in nutrient consumption in connection with the use of fertilizers. *Agrochemistry*, #12, 127-130. (in Russian)

24. Yagodin, B. A., Butorina, Ye. P., Feofanov, S. N. (1993). Clarification of some issues of tissue diagnostics in the regulation of nitrogen nutrition of winter wheat. *Agrochemistry*, No. 4, 19-28. (in Russian)

25. Ortas, I., Lal, R., Kapur, S. (2012). Significance of manure application on aeration and soil Structure. In the 8th International Soil Science Congress on "Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management". Izmir, Turkey. (In English)

26. Poletschny, H. (1990). Bodenvorräte als Nährstoffspeicher, Auswaschungspotential oder unverzinsliche Kapitalanlage. *LandwirtschaftlicheZeitschrift Rheinland*, Bd. 157, Vol. 6, 6-12. (in German)