

Shah, Talha Javed, Muhammad Afzal, Sikandar Ali, Mustafa I. B. Abdullah Enhancing drought stress tolerance in Camelina (*Camelina sativa* L.) through exogenous application of potassium. *Physiologia Plantarum*. 2022. Vol. 174, 5 <https://doi.org/10.1111/ppl.13779>

18 Ejaz Ahmad Waraich, Muhammad Ahmad, Walid Soufan, Muhammad Taimoor Manzoor, Zahoor Ahmad, Muhammad Habib-Ur-Rahman, Ayman EL Sabagh (2021) Seed Priming with Sulphydral Thiourea Enhances the Performance of *Camelina sativa* L. under Heat Stress Conditions. *Agronomy* 2021, 11, 1875

<https://doi.org/10.3390/agronomy11091875>

19. Rozhkov A. O., Puzik V. K., Kalenska S. M., Puzik L. M., Popov S. I., Muzafarov N. M., Bukhalo V. I., Kryshchop Ye. A. Theoretical aspects of the research work. Kharkiv: Maidan. 2016a. 316 p.

20. Saiko V. F., Kaminsky V. F., Vyshnivskyi P. S., Hubenko L. V., Korniiichuk M. S., Buslaieva N. Kh., Shliakhturov D. S. Peculiarities of conducting research on cruciferous oilseed crops. Kyiv. 2011. 76 p.

21. Rozhkov A. O., Puzik V. K., Kalenska S. M., Puzik L. M., Popov S. I., Muzafarov N. M., Bukhalo V. I., Kryshchop Ye. A. Statistical processing of the results of achronomic research. Kharkiv: Maidan. 2016b. 342 p.

Отримано: 06.04.2026. Прийнято: 17.04.2026. Опубліковано: 22.05.2026.

DOI <https://doi.org/10.31359/2413.7642.2026.1.102>

УДК 631.811:631.55

**Чикін І. В.**, аспірант кафедри агрохімії і ґрунтознавства

E-mail: igor.chykin@gmail.com ,ORCID: 0009-0001-9449-7462

**Господаренко Г. М.**, д-р с.-г. наук, професор

E-mail: hospodarenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6495-2647

Уманський національний університет, Умань, Україна

## **ВИНЕСЕННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ ВРОЖАЯМИ КУЛЬТУР І ЇХ БАЛАНС У ҐРУНТІ ПОЛЬОВОЇ СІВОЗМІНИ**

**Анотація.** Метою досліджень було встановлення раціональних параметрів балансу елементів живлення з урахуванням властивостей чорнозему опідзоленого важкосуглинкового Правобережного Лісостепу та перспектив їх поліпшення з урахуванням структури сівозміни і рівня її продуктивності та насичення добривами. Встановлено, що середньорічний приріст урожаю основної продукції культур сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя) залежно від системи удобрення порівняно з абсолютним контролем (5,04 т/га кормопротейнових одиниць) підвищується на 1,57–3,58 т/га кпо або на 31–71%. Доведено, що у формуванні продуктивності сівозміни на чорноземі опідзоленому найбільший вплив має застосування азотних добрив. Виключення зі складу повного мінерального добрива

( $N_{110}P_{60}K_{80}$  на 1 га сівозмінної площі) азотної складової знижує продуктивність сівозміни на 36 %, фосфорної – на 17 і калійної – на 12 %. Найменше її зниження (на 4–6 %) відзначено у варіантах досліду  $N_{110}P_{60}K_{40}$  і  $N_{110}P_{30}K_{80}$ . Середньорічне винесення азоту, фосфору ( $P_2O_5$ ) і калію ( $K_2O$ ) основною продукцією культур польової сівозміни змінюється відповідно в межах 87,2–148,6 кг/га, 34,3–60,3 і 31,9–57,0 кг/га і є найбільшим за внесення  $N_{110}P_{60}K_{80}$ . При цьому їх частка становить відповідно 56–57 %, 22–23 і 21–22 % залежно від системи удобрення, а відношення  $N : P_2O_5 : K_2O - 1 : 0,39-0,41 : 0,36-0,39$ . За балансом основних елементів живлення в ґрунті, розрахованого за умови винесення їх з поля лише з основною продукцією культур (зерно й насіння), кращими варіантами досліду є з середньорічним внесенням  $N_{110}P_{60}K_{80}$  і  $N_{110}P_{60}K_{40}$ . Як тимчасовий також може бути варіант  $N_{110}P_{60}$ , з урахуванням того, що чорнозем опідзолений важкосуглинковий має значні запаси калію як у власне ґрунті, так і в материнській породі, який можуть використовувати рослини.

**Ключові слова:** удобрення, основна продукція, азот, фосфор, калій, інтенсивність балансу

**I. Chykin**, post-graduate student

E-mail: igor.chykin@gmail.com

ORCID: 0009-0001-9449-7462

**Н. Носподаренко**, doctor of agricultural sciences, professor

E-mail: [hospodarenko@gmail.com](mailto:hospodarenko@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-6495-2647

Uman National University, Uman, Ukraine

## Nutrient Uptake by Crops and Their Balance in the Soil of a Field Crop Rotation

**Formulation of the problem.** To achieve a neutral level of soil degradation, it is necessary to apply agrotechnologies that ensure the restoration of soil fertility and prevent environmental pollution. At the same time, it is important to establish rational parameters of the nutrient balance, taking into account soil properties and prospects for their improvement. **The purpose of the research** – to determine the effect of fertilizer application systems in a field crop rotation on the removal of main nutrients with the main products, as well as their balance and its intensity in podzolized chernozem of the Right-Bank Forest Steppe. **Research methods.** The study was conducted in a long-term (since 2010) stationary field experiment of the Uman National University. The balance of the main nutrients in the soil was calculated using a simplified scheme. The input part of the balance included only the supply of nutrients by mineral fertilizers, and for nitrogen, also symbiotic fixation by soybeans. Since the efficiency of nitrogen fixation was not studied in the experiment, the nitrogen fixation coefficient was assumed to be 60 %. In the output part, the removal of nutrients from the main products was taken into account. **Research results.** The average annual increase in the yield of the main products of crop rotation crops, depending on the fertilization system, compared to the absolute control (5.04 t/ha of grain units), increased by 1.57–3.58 t/ha of grain units, or by 31–71 %. Exclusion of the nitrogen component from the complete mineral fertilizer ( $N_{110}P_{60}K_{80}$  per 1 ha of crop rotation area) reduced crop rotation productivity by 36%, phosphorus by 17 %, and potassium by 12 %. The smallest decrease (4–6 %) was observed in the experimental variants  $N_{110}P_{60}K_{40}$  and  $N_{110}P_{30}K_{80}$ . The average annual removal of nitrogen,  $P_2O_5$ , and  $K_2O$  with the main products of field crop rotation crops ranged within 87.2–148.6 kg/ha, 34.3–60.3, and 31.9–57.0 kg/ha, respectively, and was the highest under the application of  $N_{110}P_{60}K_{80}$ . Their share was 56–57 %, 22–23 %, and 21–22 %, respectively, depending on

the fertilization system, while the ratio of N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O was 1 : 0.39–0.41 : 0.36–0.39. The intensity of the balance of the main nutrients depends on their application rates in the crop rotation and varies within a wide range. The application of nitrogen fertilizers at a rate of 110 kg a.i./ha ensured the formation of a nitrogen balance intensity within 93–108 %, which can be considered balanced. The application of phosphorus fertilizers at a rate of 30 kg a.i./ha covered the removal of phosphorus with grain and seed yield by only 52–59 %. A rate of 60 kg a.i./ha, in combination with nitrogen or with nitrogen and potassium, ensured a phosphorus balance intensity of 100–109 %. Potassium fertilizers (40 kg a.i./ha) provided potassium balance intensity at the level of 73–84 %, depending on the experimental variant. This is sufficient for heavy loamy podzolized chernozem with a high potassium content. **Conclusions.** According to the balance of the main nutrients in the soil, calculated under the condition of their removal from the field only with the main products (grain and seeds), the best experimental variants are N<sub>110</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80</sub> and N<sub>110</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>, as well as N<sub>110</sub>P<sub>60</sub> as a temporary option, considering that heavy loamy podzolized chernozem has significant potassium reserves both in the soil itself and in the parent material.

**Keywords:** fertilization, main product, nitrogen, phosphorus, potassium, balance intensity

**Вступ. Постановка проблеми.** Для сучасних агроформувань характерними є сівозміни з короткою ротацією, що насичені високорентабельними зерновими культурами. Проте відсутність органічних удобрювальних продуктів, від’ємний балансу органічної речовини призводить до зміни агрохімічних властивостей ґрунту. Тому використання рослинної біомаси як органічного добрива в агроекосистемах набуває особливого значення. Застосування агротехнологій, що забезпечують відновлення родючості ґрунтів і запобігають забрудненню довкілля, належить важливе значення в реалізації концепції досягнення нейтрального рівня деградації ґрунтів [23]. При цьому важливим є встановлення раціональних параметрів балансу елементів живлення з урахуванням властивостей ґрунту та перспектив їх поліпшення, структури сівозмін і рівня їх продуктивності та насичення удобрювальними продуктами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пом’якшення наслідків зміни клімату, уникнення шкоди довкіллю є основними завданнями сучасного сталого сільського господарства [4, 7]. Оптимізація систем удобрення в сівозміні з метою зменшення витрат за одночасного збереження досягнутого рівня продуктивності та якості ґрунту є основою вирішення цього завдання [5, 6].

Вплив мінеральних добрив на якість ґрунту необхідно досліджувати у тривалих дослідах, що дозволяє оцінити їх вплив на властивості, які змінюються повільно [9].

У ґрунтах агроценозів зазвичай у першому мінімумі знаходиться азот, що обумовлює формування чіткої азотонаправленості системи застосування добрив і вважається універсальним чинником підвищення їх продуктивності [8]. Проте вчені [31, 34] вважають, що від’ємний

баланс фосфору призведе до зменшення вмісту в ґрунтах рухомих фосфатів і до зниження посухостійкості та продуктивності сільськогосподарських культур, а також ефективності азотних добрив.

Чорноземи мають значні запаси фосфору, а також проходить його біопереміщення з нижніх шарів ґрунту [24]. Це дає можливість тимчасово мати незначний від'ємний баланс фосфору в ґрунті [17]. З підвищенням вмісту фосфору в чорноземних ґрунтах завдяки внесенню фосфорних добрив їх дози можна частково зменшити [39]. На чорноземі типовому Лівобережного Лісостепу в польових сівоzmінах упродовж 10–15 років можна мати незначний від'ємний баланс фосфору [21]. Але найперспективнішим є застосування помірних доз фосфорних добрив з обов'язковим залученням на удобрення нетоварного врожаю культур сівоzmіни [19, 28].

У польовій сівоzmіні на чорноземі опідзоленому в умовах Правобережного Лісостепу встановлено, що за умови залишення нетоварної продукції культур на полі та внесення фосфорних добрив у дозі 30–60 кг/га д. р. баланс фосфору в ґрунті формується з інтенсивністю 67–117 % [14].

На чорноземі опідзоленому встановлено, що збільшення вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунті та продуктивність сівоzmіни не еквівалентне дозам фосфорних добрив [14]. Тому класичні системи застосування фосфорних добрив є витратними щодо досягнення найвищої їх окупності [15]. Складність встановлення оптимальної дози фосфорних добрив обумовлена різновекторною взаємодією в системі рослина–добриво–ґрунт–погода і є проблемним у системі їх застосування [38]. Вона залежить перш за все від фосфатного стану ґрунту, менш – від вирощуваної культури і не залежить від погодних умов [37].

Отже, раціональне застосування фосфорних добрив у зв'язку з обмеженістю їх ресурсів нині є найважливішою проблемою землеробства, тому пошук можливостей зниження доз їх внесення є актуальним. Зазвичай рекомендовані дози фосфорних добрив не враховують фосфатного стану ґрунтів і були розраховані для умов, коли весь господарський урожай нетоварної продукції видалявся з поля для тваринництва або на інші потреби. Тому в умовах енергетичної кризи важливо встановити мінімально оптимальну дозу фосфорних добрив на тлі залишення на полі нетоварної продукції.

За даними агрохімічного обстеження в Україні площі орних ґрунтів з низьким і середнім вмістом рухомих сполук калію поступово збільшуються [28]. Вважається [26], що це може відбуватися ще інтенсивніше, ніж азоту та фосфору, особливо за переважаючого в складі повного добрива азотної складової.

У ґрунтах України є значні запаси валового калію, близько 2–5 %, що у 5–8 разів більше, ніж азоту та в 10–15 разів – ніж фосфору [18, 32]. За даними [30] високі валові запаси калію у ґрунті дозволяють упродовж 50 років отримувати стабільні врожаї сільськогосподарських культур без внесення калійних добрив. Це пояснюється тим, що до 50 % потреба рослин у калії може забезпечуватися із запасів підорних шарів ґрунту [3]. При цьому вміст рухомих сполук калію в метровому шарі залишається відносно стабільним. Тому вважається, що насиченість калійними добривами чорноземів повинна бути 35 кг  $K_2O$  на 1 га посівної площі, що забезпечить підтримання вихідного калійного режиму ґрунту [28].

Значна частина калію, що була засвоєна рослинами, може повертається в ґрунт з нетоварною продукцією (соломою, стебелинням). Цей калій добре доступний наступним культурам сівозміни. Тому вважають допустимим і виправданим слабкодефіцитний баланс калію в польових сівозмінах [3, 12, 16, 18, 30, 36, 40]. Про ефективність застосування в сівозмінах короткої ротації нетоварного врожаю, сидератів відмічається й у інших роботах [13, 22, 27, 29, 33].

Баланс поживних речовин у ґрунті є найбільш об'єктивним показником ступеня збіднення або збагачення ґрунту певними елементами [10]. Вважалось, що для одержання високої продуктивності культур і польових сівозмін у цілому без зниження родючості ґрунту система удобрення повинна забезпечувати компенсацію винесення з врожаєм азоту і калію не менш як на 70–80 %, а фосфору – на 100–110 % [11].

Одним з основних індикаторів деградації ґрунтів є від'ємний баланс елементів живлення [1]. Величина гранично-допустимого дефіциту елементу живлення залежить від вмісту його рухомих сполук у ґрунті та рівня продуктивності культур сівозміни. Наприклад, для переважної більшості ґрунтових відмін необхідності повної компенсації винесеного калію в середньому за ротацію сівозміни немає [18].

Впровадження високоефективних агротехнологій потребує розроблення інтегрованих систем удобрення. Чорноземи Правобережного Лісостепу зазвичай мають середню забезпеченість рослин азотом, підвищену фосфором і високу калієм. Тому для більшості сільськогосподарських культур оптимальне відношення  $N : P_2O : K_2O$  є  $1 : 0,5-0,7 : 0,2-0,5$ . Його порушення, особливо між азотом і фосфором, не відповідає біологічним потребам рослин і не забезпечує нормативної ефективності застосування добрив [25].

**Мета проведених досліджень** – визначити вплив систем застосування добрив у польовій сівозміні на винесення основних елементів живлення з основною продукцією та їх баланс і його інтенсивність на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу.

**Матеріали та методи досліджень.** Дослідження проводили у тривалому (з 2010 року) стаціонарному польовому досліді Уманського національного університету [35]. Ґрунт чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі, за визначенням [2] – Phaeosems.

Продуктивність польової сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя) обчислювали як суму добуток показників урожайності зерна й насіння на вихід кормопротеїнових одиниць (кпо) з 1 т відповідної продукції (соя – 2,14, пшениця озима – 1,15, кукурудза – 1,06, ячмінь ярий – 1,01).

Баланс основних елементів живлення в ґрунті розраховували за методикою [20]. Для спрощення розрахунків скоротили кількість статей як у частині надходження, так і їх вилучення. Так, кількість азоту, яка надходить у ґрунт з атмосфери опадами, насінням і фіксується вільноіснуючими мікроорганізмами прирівнювали до його сумарних витрат від вимивання, ерозії і звітрювання. Сумарну кількість фосфору й калію, що надходять з атмосфери та з насінням прирівняли до витрат від ерозії і вимивання. Тому, в підсумку, до прибуткової частини балансу ввійшло лише надходження елементів живлення з мінеральними добривами, а для азоту – ще й симбіотична фіксація соєю. Оскільки ефективність азотфіксації в досліді не досліджували, то коефіцієнт азотфіксації приймали за 60 %.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Як видно з рис., середньорічний приріст урожаю основної продукції культур сівозміни залежно від системи удобрення порівняно з абсолютним контролем змінювався від 1,57 до 3,58 т/га кпо або на 31–71% (рис. 1). При цьому внесення в сівозміні лише азотних добрив підвищувало середньорічний приріст урожаю основної продукції культур сівозміни на 31–44 % за дози внесення 55–110 кг/га д. р. За внесення парних комбінацій основних елементів живлення найбільший приріст – 57 % забезпечував варіант досліді N<sub>110</sub>P<sub>60</sub>, а найменший – 25 % варіант P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>.

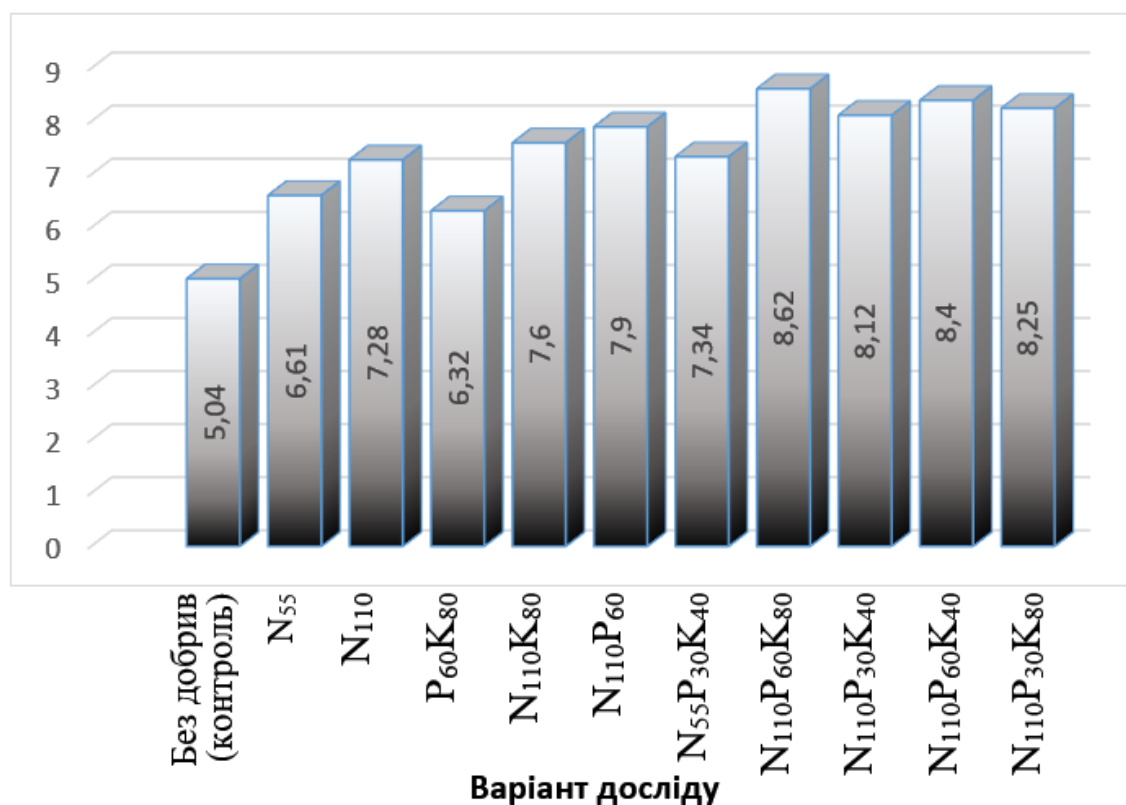


Рис. 1. Продуктивність польової сівозміни за різних систем удобрення (2011–2025 рр.), т/га кпо

Зменшення дози повного мінерального добрива вдвічі – до N<sub>55</sub>P<sub>30</sub>K<sub>40</sub> середньорічний приріст урожаю знижувався порівняно з абсолютним контролем з 71 до 46 %. За зниження в його складі частки фосфору, калію або обох цих елементів живлення вдвічі знижувало цей показник відповідно до 64; 67 і 61 %.

Окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив у варіантах досліджу була в межах 9,1–28,5 кг кпо. При цьому найвищу окупність забезпечувало внесення азотних добрив, як окремо, так і на тлі інших видів мінеральних добрив.

Внесення в сівозміні лише фосфорних і калійних добрив було найменш ефективним, але на їх тлі азотні добрива підвищували окупність 1 кг д. р. добрив з 9,1 до 14,3 кг кпо (N<sub>110</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>), або на 57 %. Застосування на азотно-калійному тлі фосфорних добрив сприяло підвищенню цього показника з 13,5 до 14,3 кг кпо, або на 6 %. На азотно-фосфорному тлі застосування калійних добрив було ефективним за їх дози 40 кг/га д. р. (варіант N<sub>110</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>), що забезпечувало окупність добрив 16,0 кг кпо/кг д. р. або підвищувалося на 6 %. Підвищення дози калійних добрив до 80 кг/га д. р. на тлі N<sub>110</sub>P<sub>60</sub> знижувало окупність одиниці діючої речовини на 5 %. За показником окупності 1 кг д. р. мінеральних добрив необхідно звернути увагу на варіанти досліджу

$N_{55}P_{30}K_{40}$  і  $N_{110}P_{30}K_{40}$ , які, порівняно з виробничим контролем ( $N_{110}P_{60}K_{80}$ ), підвищували її відповідно на 29 і 20 %.

Внесення основних елементів живлення врожайми дозволяє розрахувати їх баланс, оцінити динаміку азотного, фосфатного та калійного режимів ґрунту та розробити систему управління його родючістю. Як видно з даних табл. 1, за внесення  $N_{110}P_{60}K_{80}$  у середньому з 1 га площі сівозміни з урожаєм щорічно виносилось 148,6 кг азоту, або на 70 % більше порівняно з абсолютним контролем. У варіанті досліду  $N_{110}$  внесення азоту збільшувалося на 44 %, тоді як за внесення такої ж дози азотних добрив на тлі  $P_{60}$  або  $K_{80}$  – відповідно на 54 і 50 %. Внесення половинної дози мінеральних добрив від виробничого контролю ( $N_{55}P_{30}K_{40}$ ) знижувало в середньому внесення азоту культурами сівозміни на 17 %. За зменшення в складі повного мінерального добрива ( $N_{110}P_{60}K_{80}$ ) дози фосфору і калію або їх обох, це зниження було значно меншим – на 3–6 %.

**Таблиця 1. Вплив систем удобрення на виносення основних елементів живлення з основною продукцією культур сівозміни (2011–2025 рр.), кг/га**

Варіант досліду	Елемент живлення		
	N	$P_2O_5$	$K_2O$
Без добрив (контроль)	87,2	34,3	31,9
$N_{55}$	113,8	45,7	42,9
$N_{110}$	125,3	50,8	48,3
$P_{60}K_{80}$	105,5	41,5	38,4
$N_{110}K_{80}$	131,2	53,2	50,7
$N_{110}P_{60}$	134,2	55,1	52,6
$N_{55}P_{30}K_{40}$	127,2	50,9	47,6
$N_{110}P_{60}K_{80}$	148,6	60,3	57,0
$N_{110}P_{30}K_{40}$	139,6	56,4	53,3
$N_{110}P_{60}K_{40}$	144,5	58,5	55,1
$N_{110}P_{30}K_{80}$	141,5	57,4	54,2

Отже, виносення азоту з основною продукцією сільськогосподарських культур значно зростає з підвищенням насиченості сівозміни мінеральними добривами і в першу чергу азотними.

Внесення фосфору з урожаєм основної продукції також залежало від системи удобрення (див. табл. 1). У середньому за роки проведення досліджень виносення фосфору з основною продукцією культур з 1 га площі сівозміни збільшувалося порівняно з абсолютним контролем на 21–76 % і було найвищим за внесення  $N_{110}P_{60}K_{80}$ . У варіантах досліду з внесенням лише  $N_{110}$  або  $N_{110}P_{60}K_{80}$  виносення фосфору збільшувалося відповідно на 6,5 і 8,9 кг/га сівозмінної площі або на 19 і 26 %.

Зі зменшенням у складі повного мінерального добрива  $N_{110}P_{60}K_{80}$  дози фосфору до 30 кг/га його виносення з урожайми зменшувалося

лише на 2,9 кг/га або на 5 %. Ці дані свідчать про те, що з поліпшенням азотного і калійного живлення рослин вони здатні засвоювати фосфор з важкорозчинних сполук і материнської породи.

Як видно з даних табл. 1, культури сівозміни виносять з ґрунту з урожаєм основної продукції менше калію, ніж азоту або фосфору. У варіанті досліду з виробничим контролем ( $N_{110}P_{60}K_{80}$ ) порівняно з абсолютним контролем винесення калію культурами сівозміни у середньому за 15 років збільшувалося на 79 %. За внесення половини цієї дози добрив удвічі (варіант  $N_{55}P_{30}K_{40}$ ) винесення калію в середньому з 1 га сівозмінної площі зменшувалося на 16 %. За зменшення дози калійних добрив у складі повного мінерального добрива до 40 кг/га д. р. (варіант  $N_{110}P_{60}K_{40}$ ) винесення калію з урожаєм основної продукції культур порівняно з варіантом досліду  $N_{110}P_{60}K_{80}$  знижувалося лише на 1,9 кг/га або на 3 %. Це свідчить про добру здатність рослин засвоювати калій з ґрунтових запасів.

Встановлено, що на тлі внесення лише фосфорних і калійних добрив (варіант  $P_{60}K_{80}$ ) культури польової сівозміни збільшували у середньому винесення азоту основною продукцією на 20 %, на тлі  $N_{110}K_{80}$  – фосфору на 55 %, а на  $N_{110}P_{60}$  – винесення калію на 65 %.

Частка азоту, фосфору ( $P_2O_5$ ) та калію ( $K_2O$ ) у загальному їх винесенні з урожаєм культур у середньому за 2011–2025 рр. становила відповідно 56–57 %, 22–23 і 21–22 %. При цьому відношення  $N : P_2O_5 : K_2O$  у загальному їх винесенні з урожаєм сільськогосподарських культур сівозміни становило 1 : 0,39–0,41 : 0,36–0,39.

Як видно з даних табл. 2, баланс основних елементів живлення в ґрунті істотно залежав від видів мінеральних добрив, доз їх внесення та поєднання в системі удобрення. Баланс азоту змінювався від –81,7 кг/га на фосфорно-калійному тлі до +10,3 кг/га у варіанті досліду із середньорічним внесенням лише азотних добрив у дозі 110 кг/га д. р. За внесення азотних добрив у дозі 55 кг/га д. р. навіть на тлі  $P_{30}K_{40}$  формувалася від’ємний баланс азоту з показником –45,4 кг/га.

За внесення повного мінерального добрива з дозою азоту 110 кг/га на тлі  $P_{30}K_{40}$  і  $P_{30}K_{80}$  баланс азоту наближався до урівноваженого з показником відповідно –1,2 і –2,9 кг/га). Зі збільшенням дози фосфорних і калійних добрив до  $P_{60}K_{80}$  (варіант виробничого контролю) він був від’ємним – з показником –9,1 кг/га.

Баланс фосфору в ґрунті за умови видалення з поля лише врожаю зерна та насіння культур сівозміни у варіанті досліду з виробничим контролем ( $N_{110}P_{60}K_{80}$ ) був урівноваженим – –0,3 кг/га, а за зменшення в його складі дози калійних добрив до 40 кг/га д. р. був додатним – +1,5 кг/га. За внесення в сівозміні лише азотних добрив, азотних з калійними, а також за зменшення в складі повного мінерального добрива дози

фосфору з 60 до 30 кг д. р/га баланс фосфору складався різко дефіцитним з показником  $-20,9 \dots -53,3$  д. р.

**Таблиця 2. Баланс основних елементів живлення в ґрунті та його інтенсивність за різних систем удобрення в польовій сівозміні, 2011–2025 рр.**

Варіант досліджу	Баланс, кг/га			Інтенсивність балансу, %		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P	K
Без добрив (контроль)	-67,1	-34,3	-31,9	22	–	–
N <sub>55</sub>	-34,9	-45,7	-42,9	69	–	–
N <sub>110</sub>	+10,3	-50,8	-48,3	108	–	–
P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	-81,7	+18,5	+41,6	22	145	208
N <sub>110</sub> K <sub>80</sub>	+3,7	-53,2	+29,3	104	–	158
N <sub>110</sub> P <sub>60</sub>	+3,5	+4,9	-52,6	101	109	–
N <sub>55</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>	-45,4	-20,9	-7,6	64	59	84
N <sub>110</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	-9,1	-0,3	+27,0	93	100	140
N <sub>110</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>	-1,2	-26,4	-13,3	98	53	75
N <sub>110</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	-5,3	+1,5	-15,1	97	103	73
N <sub>110</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub>	-2,9	-27,4	+25,8	97	52	148

Отже, можна зробити висновок, що навіть за умови залишення на полі незернової частини урожаю доза фосфорних добрив повинна бути 60 кг д. р/га, що сприятиме формуванню урівноваженого або навіть додатного балансу фосфору в ґрунті.

На відміну від азоту й фосфору, баланс калію в ґрунті у варіанті досліджу з виробничим контролем (N<sub>110</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>) формувалася додатним з показником +27 кг/га, а найбільш від’ємним він був у варіанті N<sub>110</sub>P<sub>60</sub> – -52,6 кг/га.

У варіанті досліджу N<sub>55</sub>P<sub>30</sub>K<sub>40</sub> доза калійних добрив не покривала лише 7,6 кг/га винесеного з основною продукцією калію. Зі зменшенням дози калійних добрив удвічі (до 40 кг д. р/га) у складі повного мінерального добрива (N<sub>110</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>) баланс калію був від’ємним – -15,1 кг/га.

Як видно з даних табл. 2, інтенсивність балансу основних елементів живлення значно залежить від доз їх внесення в сівозміні та змінюється в широких межах. Так, інтенсивність балансу азоту була найнижчою (22 %) на ділянках досліджу без удобрення та за внесення в сівозміні лише фосфорних і калійних добрив. Внесення азотних добрив у дозі 55 кг д. р/га і симбіотична азотфіксація сої покривали винесення азоту з урожаєм основної продукції культур сівозміні на 64–69 % залежно від варіанту досліджу.

Внесення азотних добрив у дозі 110 кг д. р/га забезпечує формування інтенсивності балансу азоту в межах 93–108 %, що можна вважати урівноваженим. При цьому найвищим його показник був у варіанту досліджу N<sub>110</sub>, що пояснюється зменшенням винесення меншим

урожаєм, порівняно з іншими варіантами досліджу, де азот вносився в поєднанні з фосфором, калієм або з їх обома.

Дослідженнями встановлено, що внесення в зерновій сівозміні фосфорних добрив у дозі 30 кг д. р/га покривало винесення фосфору з урожаєм зерна й насіння лише на 52–59 %. Лише доза фосфорних добрив 60 кг д. р/га у поєднанні з азотом, або з азотом і калієм забезпечувала інтенсивність балансу фосфору 100–109 %.

Внесення калійних добрив у сівозміні з розрахунку 40 кг д. р/га забезпечувало формування інтенсивності балансу калію на рівні 73–84 % залежно від варіанту досліджу, що на нашу думку є достатнім на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому з високим вмістом калію.

**Висновки.** 1. Середньорічний приріст урожаю основної продукції культур сівозміні залежно від системи удобрення порівняно з абсолютним контролем (5,04 т/га кпо) підвищується на 1,57–3,58 т/га кпо або на 31–71%.

2. Виключення зі складу повного мінерального добрива ( $N_{110}P_{60}K_{80}$  на 1 га сівозмінної площі) азотної складової знижує продуктивність сівозміні на 36 %, фосфорної – на 17 і калійної – на 12 %. Найменше її зниження (на 4–6 %) відзначено у варіантах досліджу  $N_{110}P_{60}K_{40}$  і  $N_{110}P_{30}K_{80}$ .

3. Середньорічне винесення азоту,  $P_2O_5$  і  $K_2O$  основною продукцією культур польової сівозміні змінюється в межах відповідно 87,2–148,6 кг/га, 34,3–60,3 і 31,9–57,0 кг/га і є найбільшим за внесення  $N_{110}P_{60}K_{80}$ . При цьому їх частка становить відповідно 56–57 %, 22–23 і 21–22 % залежно від системи удобрення, а відношення  $N : P_2O_5 : K_2O$  – 1 : 0,39–0,41 : 0,36–0,39.

4. За балансом основних елементів живлення в ґрунті, розрахованого за умови винесення їх з поля лише з основною продукцією культур (зерно й насіння), кращими варіантами досліджу є  $N_{110}P_{60}K_{80}$  і  $N_{110}P_{60}K_{40}$ , а також  $N_{110}P_{60}$ , як тимчасовий, з урахуванням того, що чорнозем опідзолений важкосуглинковий має значні запаси калію як у власне ґрунті, так і в материнській породі.

### **Список використаних джерел**

1. Bekunda M., Manzi G. Use of the partial nutrient budget as an indicator of nutrient depletion in the highlands of southwestern Uganda. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2003. № 67. P. 187–195. <https://doi.org/10.1023/A:1025509400226>

2. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. Vienna: International Union of Soil Sciences, 2022. URL: [https://eurasian-soil-portal.info/wp-content/uploads/2023/02/wrb\\_fourth\\_edition\\_2022-12-18.pdf](https://eurasian-soil-portal.info/wp-content/uploads/2023/02/wrb_fourth_edition_2022-12-18.pdf)

3. Köster W. Nährstoffbilanzen landwirtschaftlich genutzter Boden und Auswirkungen auf die Düngung. *Wasser und Boden*. 1990. Bd. 42, Nr. 5. S. 330–360

4. Kulkarni S., Goswami A. Effect of excess fertilizers and nutrients: a review on impact on plants and human population. Proceedings of International Conference on Sustainable Computing in Science, Technology and Management (SUSCOM). Jaipur, 2019. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3358171>

5. Lehmann J., Bossio D. A., Kögel-Knabner I., Rillig M. C. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth and Environment*. 2020. Vol. 1, № 10. P. 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>

6. Monther M., Kholoud M., Yahia A., Daniel I. Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, № 12. 4859. <https://doi.org/10.3390/su12124859>

7. Nasser H. A., Mahmoud M., Tolba M. M. et al. Pros and cons of using green biotechnology to solve food insecurity and achieve sustainable development goals. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2021. Vol. 6. 29. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00240-5>

8. Revtie-Uvarova A. V., Karatsiuba O. V., Nikonenko V. M., Slidenko O. I. Improved diagnostics of the level of soil nitrogen supply by field and laboratory testing methods. Kharkiv, 2020. 94 p.

9. Šimanský V., Jonczak J., Horváthová J. et al. Does long-term application of mineral fertilizers improve physical properties and nutrient regime of sandy soils? *Soil and Tillage Research*. 2022. Vol. 215. 105224. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105224>

10. Балюк С. А., Барахтян В. О., Лазебна М. Є. Методики визначення складу та властивостей ґрунтів. Харків, 2005. Кн. 2. 224 с.

11. Бердніков О. М., Лісовий Ю. Г., Сорока Ю. В. Баланс азоту, фосфору, калію. У: Біоенергетичні зрошувані агроєкосистеми. Київ, 2010. С. 48–54

12. Бойко В. П. Ефективність доз і співвідношень мінеральних добрив у польовій сівозміні на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Умань, 2020. 17 с.

13. Войтовик М. В. Продуктивність короткоротаційних сівозмін на чорноземі типовому. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. № 3 (40). С. 15–20. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-3.2>

14. Господаренко Г. М., Мартинюк А. Т., Бойко В. П. Баланс фосфору в ґрунті та ефективність фосфордефіцитної системи удобрення. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2021. № 1. С. 21–26. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2021-1-21-26>

15. Господаренко Г. М., Мартинюк А. Т., Невлад В. І. Обґрунтування межі доцільності застосування фосфорних добрив. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2021. № 2. С. 13–19. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2021-2-13-19>
16. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В., Стасіневич О. Ю., Бойко В. П. Продуктивність польової сівозміни за різних доз і співвідношень добрив. *Наукові горизонти*. 2019. № 3 (76). С. 80–86. URL: <https://sciencehorizon.com.ua/uk/journals/3-76-2019>
17. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Баланс основних елементів живлення за тривалого застосування добрив. *Землеробство*. 2015. Вип. 2. С. 47–50
18. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. Агрохімія калію. Київ, 2021. 264 с.
19. Господаренко Г. М. Значення нетоварної продукції у відновленні родючості чорнозему опідзоленого в польовій сівозміні. У: *Ґрунти України: трансформація і відновлення родючості: матеріали міжнародної науково-практичної конференції*. Київ, 2021. С. 36–38
20. Господаренко Г. М. Практикум з агрохімії. Київ, 2020. 148 с.
21. Доценко О. В. Вплив тривалого застосування добрив на агрохімічні показники чорнозему типового та ефективність ресурсноощадних систем удобрення: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Харків, 2013. 23 с.
22. Камінська В. В., Клименко І. І. Продуктивність культур ланки зернопросапної сівозміни залежно від удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 8. С. 10–13. URL: [https://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk\\_08\\_2014.pdf](https://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk_08_2014.pdf)
23. Концепція досягнення нейтрального рівня деградації земель (ґрунтів) України. Харків, 2018. 32 с.
24. Крупеников И. А. Черноземы. Возникновения, совершенство, трагедия деградации, пути охраны и возрождения. Кишинев, 2008. 285 с.
25. Лісовий М. В. Регіональний асортимент мінеральних добрив та ефективні агротехнології їх застосування. *Вісник аграрної науки*. 2006. Спецвипуск. С. 52–55
26. Лопушняк В. І. Агрохімічні та агроекологічні аспекти систем удобрення Західному Лісостепу України. Львів, 2015. 217 с.
27. Мащенко Ю. В., Семеняка І. М., Черячукін М. І., Григор'єва О. М. Ефективність короткоротаційних сівозмін при різних системах удобрення у зоні недостатнього зволоження Правобережного Степу України. *Зернові культури*. 2022. Т. 6, № 1. С. 169–176. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0220>
28. Медведєв В. В., Пліско І. В., Накісько С. Г., Тітенко Г. В. Деградація ґрунтів у світі, досвід її попередження і подолання. Харків, 2018. 168 с.

29. Молдован В. І., Квасницька Л. С. Вплив сівозмін і удобрення на вміст гумусу в чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 8. С. 13–16

30. Нікітіна О. В. Зміна калійного стану чорнозему опідзоленого за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні в умовах Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Харків, 2017. 23 с.

31. Носко Б. С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків, 2017. 476 с.

32. Носко Б. С., Гладкіх Є. Ю. Післядія мінеральних добрив на калійний фонд чорнозему типового. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 10. С. 14–16

33. Олійник В. С. Урожайність і якість зерна культур ланки короткоротаційної сівозміни залежно від удобрення та обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 12. С. 65–68

34. Сергеев В. В., Бенцаровський Д. М., Кисіль В. І. Агрохімічні пріоритети охорони родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 11. С. 5–7

35. Стационарні польові дослідження України. Реєстр атестатів. Київ, 2014. 146 с.

36. Ткаченко М. А., Кондратюк І. М., Задубинна Є. В. та ін. Зміни фізико-хімічних властивостей чорнозему типового за інтенсивного землеробства в агроландшафтах Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2023. № 3 (9). С. 5–14. <https://doi.org/10.54651/agri.2023.03.01>

37. Харченко О. В., Прасол В. І., Захарченко Е. А. та ін. До проблеми аналітичної оцінки ефективності мінеральних добрив та екологічних обмежень їх норми. Суми, 2016. 32 с.

38. Христенко А. О. Теоретичні проблеми методології балансового оцінювання кругообігу макроелементів живлення в системі «добриво–ґрунт–рослина». *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. № 90. С. 47–56. <https://doi.org/10.31073/acss90-05>

39. Цвей Я. П., Бондар С. О., Семчук С. М. Формування родючості чорнозему в сівозмінах Лісостепу. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології у рослинництві: проблеми та їх вирішення». Житомир, 2018. С. 267–271

40. Ятчук В. Я. Баланс елементів живлення в зерновій сівозміні за різних способів основного обробітку сірого лісового ґрунту. *Землеробство*. 2014. № 1–2. С. 20–23. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/opac/search.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DB>

N%3DUJRN%26IMAGE\_FILE\_DOWNLOAD%3D1%26Image\_file\_name%3DPDF/Zemlerobstvo%255F2014%255F1%252D2%255F6%252Epdf

### **REFERENCES**

1. Bekunda, M., & Manzi, G. (2003). Use of the partial nutrient budget as an indicator of nutrient depletion in the highlands of southwestern Uganda. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67, 187–195. <https://doi.org/10.1023/A:1025509400226>
2. IUSS Working Group WRB. (2022). World reference base for soil resources: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (4th ed.). International Union of Soil Sciences. [https://eurasian-soil-portal.info/wp-content/uploads/2023/02/wrb\\_fourth\\_edition\\_2022-12-18.pdf](https://eurasian-soil-portal.info/wp-content/uploads/2023/02/wrb_fourth_edition_2022-12-18.pdf)
3. Köster, W. (1990). Nährstoffbilanzen landwirtschaftlich genutzter Boden und Auswirkungen auf die Düngung. *Wasser + Boden*, 42(5), 330–360.
4. Kulkarni, S., Kulkarni, S., & Goswami, A. (2019, February 23). Effect of excess fertilizers and nutrients: A review on impact on plants and human population. In *Proceedings of the International Conference on Sustainable Computing in Science, Technology and Management (SUSCOM)*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3358171>
5. Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
6. Monther, M., Kholoud, M., Yahia, A., & Daniel, I. (2020). Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 12(12), 4859. <https://doi.org/10.3390/su12124859>
7. Nasser, H. A., Mahmoud, M., Tolba, M. M., et al. (2021). Pros and cons of using green biotechnology to solve food insecurity and achieve sustainable development goals. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 6, 29. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00240-5>
8. Revtie-Uvarova, A. V., Karatsiuba, O. V., Nikonenko, V. M., & Slidenko, O. I. (2020). Improved diagnostics of the level of soil nitrogen supply by field and laboratory testing methods. Kharkiv.
9. Šimanský, V., Jonczak, J., Horváthová, J., et al. (2022). Does long-term application of mineral fertilizers improve physical properties and nutrient regime of sandy soils? *Soil and Tillage Research*, 215, 105224. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105224>
10. Baliuk, S. A., Barakhtian, V. O., & Lazebna, M. Ye. (2005). *Metodyky vyznachennia skladu ta vlastyvostei gruntiv [Methods for determining soil composition and properties] (Vol. 2)*. Kharkiv: Drukarnia No. 13.

11. Berdnikov, O. M., Lisovyi, Yu. H., & Soroka, Yu. V. (2010). Balance of nitrogen, phosphorus, potassium. In Yu. O. Tarariko (Ed.), *Bioenergetychni zroshuvani ahroekosystemy [Bioenergetic irrigated agroecosystems]* (pp. 48–54). Kyiv: DIA.

12. Boiko, V. P. (2020). *Efektyvnist doz i spivvidnoshen mineralnykh dobryv u polovii sivozmini na chornozemi opidzolenomu Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Efficiency of doses and ratios of mineral fertilizers in field crop rotation on podzolized chernozem of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]* (Abstract of PhD dissertation). Uman.

13. Voitovyk, M. V. (2023). Productivity of short-rotation crop rotations on typical chernozem. *Podilskyi Visnyk: Agriculture, Engineering, Economics*, 3(40), 15–20. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-3.2>

14. Hospodarenko, H. M., & Martyniuk, A. T. (2021). Balance of phosphorus in soil and efficiency of phosphorus-deficient fertilization system. *Visnyk Umanskoho NUS*, 1, 21–26. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2021-1-21-26>

15. Hospodarenko, H. M., Martyniuk, A. T., & Nevlad, V. I. (2021). Substantiation of the limits of expediency of phosphorus fertilizer application. *Visnyk Umanskoho NUS*, 2, 13–19. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2021-2-13-19>

16. Hospodarenko, H. M., Prokopchuk, I. V., Stasinievykh, O. Yu., & Boiko, V. P. (2019). Productivity of field crop rotation under different fertilizer doses and ratios. *Naukovi horyzonty*, 3(76), 80–86. <https://sciencehorizon.com.ua/uk/journals/3-76-2019>

17. Hospodarenko, H. M., & Chernov, O. D. (2015). Balance of main nutrients under long-term fertilizer application. *Zemlerobstvo*, 2, 47–50.

18. Hospodarenko, H. M., Chernov, O. D., & Nikitina, O. V. (2021). *Ahrokhimiia kaliuu [Agrochemistry of potassium]*. Kyiv: TROPEA.

19. Hospodarenko, H. M. (2021). Importance of non-marketable products in restoring fertility of podzolized chernozem in crop rotation. In *Grunty Ukrainy: transformatsiia i vidnovlennia rodiuchosti* (pp. 36–38). Kyiv: NUBiP.

20. Hospodarenko, H. M. (2020). *Praktykum z ahrokhimii [Workshop on agrochemistry]*. Kyiv: SIK GROUP UKRAINE.

21. Dotsenko, O. V. (2013). *Vplyv tryvaloho zastosuvannia dobryv na ahrokhimichni pokaznyky chornozemu typovoho ta efektyvnist resursooshchadnykh system udobrennia [Influence of long-term fertilizer application on agrochemical properties of typical chernozem]* (Abstract of PhD dissertation). Kharkiv.

22. Kaminska, V. V., & Klymenko, I. I. (2014). Productivity of crops in grain-row crop rotation depending on fertilization. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 8, 10–13. [https://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk\\_08\\_2014.pdf](https://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk_08_2014.pdf)

23. Baliuk, S. A., Medvedev, V. V., & Miroshnychenko, M. M. (Eds.). (2018). *Kontseptsiiia dosiahnennia neitralnoho rivnia dehradatsii zemel (gruntiv) Ukrainy* [Concept of achieving land degradation neutrality in Ukraine]. Kharkiv.

24. Krupenikov, I. A. (2008). *Chernozemy: Voznikoveniia, sovershenstvo, tragediia dehradatsii, puti okhrany i vozrozhdeniia* [Chernozems: Formation, perfection, degradation and restoration]. Chisinau: Pontos.

25. Lisovyi, M. V. (2006). Regional assortment of mineral fertilizers and effective agrotechnologies of their application. *Visnyk ahrarnoi nauky, special issue*, 52–55.

26. Lopushniak, V. I. (2015). *Ahrokhimichni ta ahroekolohichni aspekty system udobrennia v Zakhidnomu Lisostepu Ukrainy* [Agrochemical and agroecological aspects of fertilization systems]. Lviv: Liha-pres.

27. Mashchenko, Yu. V., Semeniaka, I. M., Cheriachukin, M. I., & Hryhorieva, O. M. (2022). Efficiency of short crop rotations under different fertilization systems in insufficient moisture conditions. *Zernovi kultury*, 6(1), 169–176. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0220>

28. Medvediev, V. V., Plisko, I. V., Nakisko, S. H., & Titenko, H. V. (2018). *Dehradatsiia gruntiv u sviti, dosvid yii poperedzhennia i podolannia* [Soil degradation in the world and ways to overcome it]. Kharkiv.

29. Moldovan, V. I., & Kvasnytska, L. S. (2011). Effect of crop rotations and fertilization on humus content in podzolized chernozem. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 8, 13–16.

30. Nikitina, O. V. (2017). *Zmina kaliinoho stanu chornozemu opidzolenoho za tryvaloho zastosuvannia dobryv* [Changes in potassium status of podzolized chernozem] (Abstract of PhD dissertation). Kharkiv.

31. Nosko, B. S. (2017). *Fosfor u gruntakh i zemlerobstvi Ukrainy* [Phosphorus in soils and agriculture of Ukraine]. Kharkiv.

32. Nosko, B. S., & Hladkikh, Ye. Yu. (2011). Residual effect of mineral fertilizers on potassium pool of typical chernozem. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 10, 14–16.

33. Oliinyk, V. S. (2014). Yield and grain quality in short crop rotations depending on fertilization and tillage. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 12, 65–68.

34. Serheiev, V. V., Bentsarovskiy, D. M., & Kysil, V. I. (2004). Agrochemical priorities of soil fertility protection. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 11, 5–7.

35. Zaryshniak, A. S., Baliuk, S. A., & Lisovyi, M. V. (Eds.). (2014). *Statsionarni poliovi doslidy Ukrainy: Reiestr atestativ* [Stationary field experiments of Ukraine]. Kyiv.

36. Tkachenko, M. A., Kondratiuk, I. M., Zadubynna, Ye. V., et al. (2023). Changes in physicochemical properties of typical chernozem under

intensive agriculture. *Zemlerobstvo ta roslynnystvo*, 3(9), 5–14.  
<https://doi.org/10.54651/agri.2023.03.01>

37. Kharchenko, O. V., Prasol, V. I., Zakharchenko, E. A., et al. (2016). Do problemy analitychnoi otsinky efektyvnosti mineralnykh dobryv [On analytical evaluation of fertilizer efficiency]. Sumy.

38. Khrystenko, A. O. (2020). Theoretical problems of methodology of balance assessment of macronutrient cycling.

39. Tsvei, Ya. P., Bondar, S. O., & Semchuk, S. M. (2018). Formation of chernozem fertility in crop rotations. In *Proceedings of international conference* (pp. 267–271). Zhytomyr.

40. Yatchuk, V. Ya. (2014). Nutrient balance in grain crop rotation under different tillage systems. *Zemlerobstvo*, 1–2, 20–23.

Отримано: 06.04.2026. Прийнято: 17.04.2026. Опубліковано: 22.05.2026.