

ВИНОС ТА БАЛАНС ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ ЗА ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ НА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ

ЯЩЕНКО Л.А. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0003-1407-0133

Національний університет водного господарства та природокористування

ЮВЧИК Н.О. – старший викладач

orcid.org/0000-0001-5629-0201

Національний університет водного господарства та природокористування

Постановка проблеми. Високу продуктивність сільськогосподарських культур можна сформувати лише за умови оптимального забезпечення елементами живлення, що досягається не лише внесенням високих доз добрив, а й оптимізацією всіх властивостей та життєвих процесів у ґрунті, які забезпечують відновлення його родючості, створення сприятливих для рослин режимів відповідно до їхніх біологічних потреб і підтримання стабільного мікробоценозу [1, 2]. Рослини пшениці озимої добре реагують як на застосування добрив так і проведення вапнування, що відображається у вмісті основних елементів живлення в її тканинах [3]. При цьому відносно винесення поживних елементів істотно варіює залежно від ґрунтово-кліматичних умов, величини урожаю, пропорції в урожаї між товарною і нетоварною продукцією, якості врожаю та сортових особливостей культури [4].

З урахуванням такої значної мінливості показників, а також складності кількісної оцінки балансу поживних речовин на великих просторових масштабах через різноманітність умов землекористування (найбільш точне визначення можливе на рівні окремого поля [5]), особливої ваги набувають дослідження, які сприяють розробці науково-обґрунтованих систем удобрення пшениці озимої в конкретних умовах вирощування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Збалансоване застосування добрив є одним із найважливіших факторів підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Для одержання запланованої врожайності дози добрив розраховують із використанням показників винесення азоту, фосфору та калію [6]. Ці величини дають можливість певною мірою оцінити потребу рослин в елементах живлення [7, 8]. Винос елементів живлення з ґрунту врожаєм сільськогосподарських культур належить до одного з найважливіших агроекологічних показників, насамперед тому, що є важливою статтею їх балансу – критерієм оцінки стану поживного режиму ґрунту.

Баланс елементів живлення дає можливість встановити недоліки існуючої системи удобрення та дозволяє визначити оптимальні дози і співвідношення складових системи живлення [9]. На формування показників балансу найбільший вплив має застосування добрив [10]. При цьому рівень інтенсивності його визначається дозою добрив і рівнем урожаю сільськогосподарської культури. Водночас, надмірне накопичення поживних речовин у ґрунті та неефективне використання добрив може спричинити негативні явища в навколишньому

природному середовищі [11, 12]. Тому визначення балансу елементів живлення в ґрунті має значення для стабільної продовольчої безпеки і формування високого рівня врожайності культури без негативного антропогенного впливу на біоценоз [13].

Метою роботи є вивчення динаміки виносу елементів живлення пшеницею озимою та оцінка балансових показників азоту, фосфору і калію залежно від умов вирощування пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті.

Матеріали і методика досліджень. Польові дослідження проведені протягом 2021–2023 рр. у стаціонарному досліді Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН на дерново-підзолистому зв'язнопіщаному ґрунті. Досліджувана культура – пшениця озима. Площа посівної ділянки 99 м², облікової 50 м², повторність – триразова, розміщення – послідовне. Технологія вирощування загальноприйнята для зони Полісся.

Схема досліду включала рекомендовану для зони Західного Полісся дозу добрив ($N_{120}P_{60}K_{90}$) та розраховані за нормативним методом дози на основі витрат елементів живлення на формування 5,0 т/га зерна ($N_{130}P_{25}K_{35}$) та зерна з відповідною кількістю соломи ($N_{150}P_{50}K_{125}$). Мінеральні добрива були використані у формі аміачної селітри, амофосу і калію хлористого. Хімічні меліоранти вносили перед висівом пшениці у формі доломітового ($CaMg(CO_3)_2$) та вапнякового ($CaCO_3$) борошна. Дози меліорантів розраховані за показниками гідролітичної кислотності досліджуваних ділянок за формулою $D = Hg \times 1,5$, де Hg – гідролітична кислотність, ммоль/100 г ґрунту. Позакореневе підживлення мікродобривом Нутрівант Універсальний у дозі 2 кг/га проводили у фазу весняного кущення і виходу в трубку пшениці озимої. Облік урожаю проводився шляхом збирання і зважування основної продукції з усієї площі облікової ділянки з подальшим перерахунком на стандартну вологість (14 %).

Методика проведення досліду передбачала залишення і заорювання побічної продукції (соломи) пшениці озимої в ґрунт, тому розрахунки балансу NPK були проведені з урахуванням їх винесення лише основною продукцією (зерном). Для азоту використані середні наукові показники азотфіксації вільноживучими мікроорганізмами, надходження з опадами у зоні Полісся, для азоту, фосфору і калію – надходження з посівним матеріалом культури [14]. У варіанті без добрив і у фоні із вказаних

джерел (опадів, мікроорганізми, насіння) у ґрунт надходило 14,0 кг/га азоту, 2,0 кг фосфору і 1,4 кг/га калію.

Математичну обробку даних проводили методом дисперсійного аналізу (ANOVA). За критерієм Фішера при $p \leq 0,05$ визначали істотність результатів дослідження.

Результати дослідження. Важливим критерієм оцінки будь-якого елементу технології вирощування культури є їх вплив на величину врожаю. На дерново-підзолистому ґрунті поєднання хімічної меліорації та удобрення є найбільш дієвим способом управління продуктивністю пшениці озимої (рис. 1).

Величина урожаю зерна пшениці озимої підвищувалась залежно від внесення різних доз і видів меліорантів у 1,8–2,4 рази порівняно з контролем (без добрив), та з фоновим варіантом – у 1,4–1,9 рази. Найвищою (4,97 т/га) вона була за внесення дози добрив, розрахованої нормативним методом на винос NPK основною і відповідною кількістю побічної продукції ($N_{150}P_{50}K_{125}$) із дворазовим позакореневим підживленням мікродобривом на фоні 1,0 Нг $CaMg(CO_3)_2$.

За використання у системі живлення культури дози добрив, розрахованої аналогічним методом, але з урахуванням винесення лише зерном ($N_{130}P_{25}K_{35}$), забезпечило врожайність 4,38 т/га. Порівняно з рекомендованою дозою ($N_{120}P_{60}K_{90}$) різниця була неістотною 0,14 т/га при $p \leq 0,05$. Отже, за високої забезпеченості ґрунту рухомих фосфором і середнього рівня рухомого калію є можливість зменшення доз фосфорних і калійних добрив до рівня відчуження їх товарною продукцією пшениці озимої без істотної втрати її продуктивності.

За умови повного виключення фосфорних і калійних добрив із системи удобрення пшениці озимої у варіанті

Фон + N_{130} (нормат. зерно) + мікродобриво урожайність зерна була меншою на 0,72 т/га порівняно з її рівнем у варіанті Фон + $N_{130}P_{25}K_{35}$ + мікродобриво. Це ще раз підкреслює важливість правильного підбору і балансування мінеральних добрив для досягнення стабільно високої продуктивності культури.

При порівнянні ефективності видів хімічних меліорантів, за застосування $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Нг) отримано вищу урожайність зерна на 6,0 % порівняно з $CaCO_3$ (1,0 Нг) за сумісного внесення з рекомендованою дозою ($N_{120}P_{60}K_{90}$) і позакореневим підживленням.

Для ефективного використання ґрунту з метою вирощування високоякісної сільськогосподарської продукції необхідно враховувати вміст біогенних елементів у біомасі врожаю, а також баланс поживних речовин, який є одним із ключових чинників розвитку процесів ґрунтоутворення та формування родючості ґрунту [15].

За внесення різних доз мінеральних добрив на фоні вапнування із зерном найбільше виносилось азоту від 93,3 до 132,7 кг/га (табл. 1). Відчуження фосфору із зерном залежно від досліджуваних факторів становило в межах 27,5–41,5 кг/га, калію 18,9–30,7 кг/га. Винос азоту, фосфору і калію з соломой пшениці у варіантах дослідів змінювався в межах 21,5–29,8 кг/га, 9,82–16,1 і 40,4–65,3 кг/га відповідно.

Максимальні значення винесення азоту (132,7 кг/га із зерном і 29,8 кг/га із соломой) і калію (30,7 кг/га із зерном і 65,3 кг/га із соломой) спостерігалися у варіанті з найвищою врожайністю і вмістом елементів у варіанті $N_{150}P_{50}K_{125}$ із мікродобривом на фоні 1,0 Нг дози $CaMg(CO_3)_2$. Тоді як найбільші показники винесення фосфору (41,5 кг/га у зерні і 16,1 кг/га у соломі) встановлені

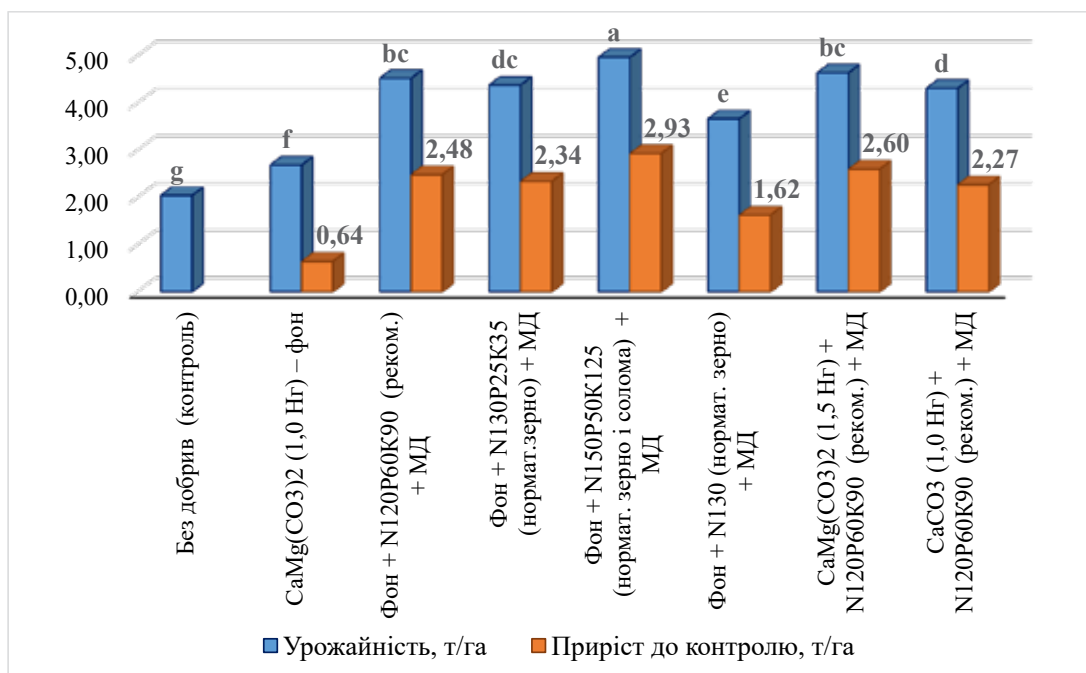


Рис. 1. Урожайність зерна пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті за мінерального удобрення і вапнування, середнє за 2021–2023 рр.

Примітка: $НР_{05}$ 0,16–0,19 т/га; значення з однаковими буквами не мають статистичної різниці за $p \leq 0,05$.

Таблиця 1

Винос елементів урожаєм пшениці озимої залежно від удобрення та вапнування, середнє за 2021–2023 рр., кг/га

Варіант	Основна продукція			Побічна продукція			Господарський винос		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	48,6	13,8	10,2	11,9	5,6	21,5	60,5	19,4	31,7
CaMg(CO ₃) ₂ (1,0 Нг) – фон	65,3	19,5	14,0	14,9	7,0	27,9	80,3	26,5	41,8
Фон + N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ (реком.) + МД	116,8	39,4	26,1	27,1	14,7	59,6	143,9	54,1	85,8
Фон + N ₁₃₀ P ₂₅ K ₃₅ (нормат. зерно) + МД	114,5	34,8	24,4	26,2	11,7	52,9	140,7	46,5	77,3
Фон + N ₁₅₀ P ₅₀ K ₁₂₅ (нормат. зерно і солома) + МД	132,7	40,8	30,7	29,8	14,2	65,3	162,4	55,1	96,0
Фон + N ₁₃₀ (нормат. зерно) + МД	93,8	27,5	18,9	21,5	9,82	40,4	115,3	37,3	59,4
CaMg(CO ₃) ₂ (1,5 Нг) + N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ (реком.) + МД	121,7	41,5	26,7	28,2	16,1	59,4	149,9	57,7	86,1
CaCO ₃ (1,0 Нг) + N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ (реком.) + МД	109,5	36,1	23,9	24,7	13,1	51,6	134,2	49,2	75,5
Частка виносу від господарського*, %	81,3	73,2	31,8	18,7	26,8	68,2			

Примітка *середній показник частки виносу елементів від господарського у досліді, %

у варіанті з підвищеною дозою вапнякового матеріалу у варіанті з 1,5 Нг дози CaMg(CO₃)₂ сумісно з рекомендованою дозою N₁₂₀P₆₀K₉₀ за позакореневого підживлення. Проведений статистичний аналіз між зазначеними варіантами для винесення калію як зерном, так і соломою при $p \leq 0,05$ вказує на те, що на накопичення калію в рослинах впливає доза калійного добрива (K₁₂₅) у складі мінерального удобрення N₁₅₀P₅₀K₁₂₅ на фоні 1,0 Нг CaMg(CO₃)₂.

Вплив доз елементів порівняно з вапняковими матеріалами також підтверджується статистичною різницею між максимальними показниками у варіанті з дозами азоту (N₁₅₀) і калію (K₁₂₅), що визначені нормативним методом на винос NPK зерном і соломою, та рекомендованою дозою N₁₂₀P₆₀K₉₀ на фоні 1,0 Нг дози CaMg(CO₃)₂, яка становила у середньому за роки досліджень 15,9 і 2,7 кг/га азоту та 4,6 і 5,6 кг/га калію відповідно у зерні та соломі, що вище показника НІР при $p \leq 0,05$.

При порівнянні розрахункової дози добрив на винос елементів основною продукцією N₁₃₀P₂₅K₃₅ і рекомендованою дозою N₁₂₀P₆₀K₉₀ за інших однакових умов, для останньої істотний приріст накопичення у рослині отримано лише для калію у соломі. Для інших елементів винесення у середньому було в межах похибки, що свідчить про необхідність корегування доз калію у системі живлення культур за повернення соломи у ґрунт.

За господарського винесення елементів спостерігався подібний розподіл між досліджуваними варіантами. Найменше сумарне накопичення азоту, фосфору і калію у рослинах пшениці озимої за 2021–2023 рр. встановлено у контролі без добрив і за вапнування, найвищі показники пов'язані з максимальною дозою елементів у системі удобрення.

У досліді основним джерелом надходження елементів живлення у ґрунт були мінеральні добрива, що зумовило різницю між варіантами у даній статті балансу. Стаття відчуження включала дані про винесення

елементів на 1 т зерна (солома не врахована, оскільки залишалася у полі) та непродуктивні втрати азоту (20 %), величина яких урахувала дози внесеного азоту у варіантах.

Баланс елементів як величина різниці між їх надходженням та відчуженням показав, що у контролі і фоні по всіх елементах його сальдо було від'ємним із вищими показниками порівняно з варіантом вапнування (табл. 2). Це доводить, що пшениця озима збільшує споживання азоту, фосфору і калію за зміщення кислотності ґрунту у сторону нейтралізації.

Баланс елементів живлення за рекомендованою (N₁₂₀P₆₀K₉₀) та розрахованою на винос основною і побічною продукцією (N₁₅₀P₅₀K₁₂₅) доз удобрення на фоні 1,0 Нг CaMg(CO₃)₂ + мікроелементи показав від'ємне сальдо по азоту (–16,6 і –8,5 кг/га) та додатне по фосфору (22,7 і 11,2 кг/га) і калію (61,8 і 92,3 кг/га). Внесення підвищеної дози доломітового борошна (1,5 Нг CaMg(CO₃)₂) чи одинарної дози CaCO₃ не змінювало тенденції розподілу балансових показників показаних для попередніх варіантів. Слід відзначити, що у варіанті розрахункової дози добрив на основну продукцію (N₁₃₀P₂₅K₃₅) на фоні 1,0 Нг CaMg(CO₃)₂ із мікроелементами величина негативного балансу азоту зменшилася до –6,5 кг/га, однак, баланс фосфору був показаний як від'ємний (–7,7 кг/га) за додатного по калію (8,5 кг/га).

Деякі інші показники балансу були сформовані у варіанті застосування одних азотних добрив у дозі N₁₃₀ на фоні вапнування та позакореневого удобрення. Рівень відчуження азоту за рахунок виносу нижчими урожаями порівняно з виносом за повного мінерального живлення не перевищував його сумарного надходження з добривами та іншими джерелами, що дозволило отримати баланс на рівні 14,3 кг/га. Однак, повна відсутність фосфорних і калійних добрив у даному варіанті спричинила від'ємні баланси цих елементів, що перевищували показники у контролі і фоні.

Таблиця 2

Баланс НРК за вирощування пшениці озимої за заорювання побічною продукцією залежно від удобрення та вапнування (середнє за 2021–2023 рр.), кг/га

Стаття балансу	Елементи живлення	Варіант							
		Без добрив (контроль)	CaMg(CO ₃) ₂ (1,0 Нг) – фон	Фон + N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ (реком.) + МД	Фон + N ₁₃₀ P ₂₅ K ₃₅ (нормат. зерно) + МД	Фон + N ₁₅₀ P ₅₀ K ₁₂₅ (нормат. зерно і солома) + МД	Фон + N ₁₃₀ (нормат. зерно) + МД	CaMg(CO ₃) ₂ (1,5 Нг) + N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ (реком.) + МД	CaCO ₃ (1,0 Нг) + N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ (реком.) + МД
Надходження, кг/га	N	14,0	14,0	134,0	144,0	164,0	144,0	134,0	134,0
	P ₂ O ₅	2,0	2,0	62,0	27,0	52,0	2,0	62,0	62,0
	K ₂ O	1,4	1,4	91,4	36,4	126,4	1,4	91,4	91,4
Відчуження, кг/га	N	58,6	75,2	150,6	150,5	172,5	129,7	155,6	144,8
	P ₂ O ₅	13,7	19,5	39,3	34,7	40,8	27,5	41,5	36,5
	K ₂ O	13,7	17,4	29,6	27,9	34,1	22,4	30,1	27,6
Баланс, кг/га	N	-44,6	-61,2	-16,6	-6,5	-8,5	14,3	-21,6	-10,8
	P ₂ O ₅	-11,7	-17,5	22,7	-7,7	11,2	-25,5	20,5	25,5
	K ₂ O	-12,3	-16,0	61,8	8,5	92,3	-21,0	61,3	63,8
Інтенсивність балансу, %	N	23,9	18,6	89,0	95,7	95,1	111,0	86,1	92,6
	P ₂ O ₅	14,6	10,3	157,7	77,7	127,6	7,3	149,6	169,9
	K ₂ O	10,2	8,0	309,1	130,6	370,1	6,2	303,6	330,7

У результаті досліджень визначено, що по азоту показники інтенсивності балансу знаходяться у допустимих межах для усіх удобрених варіантів (86,1–111,1 %) [16]. При цьому у варіанті із рекомендованою дозою азоту інтенсивність балансу була найнижчою серед варіантів застосування повного мінерального живлення, тобто за дози N₁₂₀ показник інтенсивності балансу азоту був на 6,7 % нижчим ніж за дози N₁₃₀ розрахованої на винос основною продукцією.

Відсутність фосфору у системі живлення культури спричинила зниження інтенсивності балансу до 7,3 %, що як наслідок може спричинити збіднення ґрунтів на даний елемент та зниження продуктивності пшениці озимої за його дефіциту. Інтенсивність балансу за дози P₂₅ на рівні 77,7 % у порівнянні з науково-обґрунтованими даними також є недостатньою, але враховуючи, що рівень забезпеченості ґрунтів рухомих фосфором дуже високий, а внесення вищих P₅₀₋₉₀ доз фосфору спричиняє зростання інтенсивності балансу елементу до 127,6–169,9 кг/га і накопичення рухомих фосфатів у ґрунті, то такий рівень удобрення фосфору в умовах дослідів є екологічно та економічно обґрунтованим.

Найбільш раціональним за показниками інтенсивності балансу калію з урахуванням його виносу лише основною продукцією є розрахункова доза мінеральних добрив визначена нормативним методом на винос елементів живлення зерном пшениці озимої – N₁₃₀P₂₅K₃₅ на фоні 1,0 Нг CaMg(CO₃)₂ із мікроелементами. За такого удобрення інтенсивність балансу калію становила 130,6 %, тоді як за інших доз приймала критичні значення: 6,2 % за відсутності калію K₀ або 309,1–370,1 за доз K₉₀₋₁₂₅ на різних фонах вапнування.

Висновки. Найбільш дієвим способом управління продуктивністю пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті є поєднання хімічної меліорації та удобрення. Залежно від внесення різних доз і видів меліорантів урожайність зерна пшениці озимої зростала більше ніж у два рази порівняно з контролем. Найвищу врожайність (4,97 т/га) було отримано при внесенні добрив у дозі N₁₅₀P₅₀K₁₂₅ із дворазовим позакореневим підживленням мікродобривом на фоні 1,0 Нг CaMg(CO₃)₂, що забезпечило приріст урожаю до контролю на 143,6 %.

У господарському виносі елементів урожаєм рослин пшениці озимої найбільша кількість відзначена для азоту – 60,5–162,4 кг/га, потім калію – 31,7–96,0 кг/га, найменше виноситься фосфор – 19,4–57,7 кг/га. Максимальні значення величини виносу азоту і калію із основною і побічною продукцією спостерігалися за внесення N₁₅₀P₅₀K₁₂₅+мікродобриво на фоні 1,0 Нг дози CaMg(CO₃)₂, тоді як фосфору у варіанті N₁₂₀P₆₀K₉₀ (реком.) + мікродобриво на фоні 1,5 Нг дози CaMg(CO₃)₂.

Найбільш оптимальним варіантом за балансовими показниками для вирощування пшениці озимої при залишенні побічної продукції в полі є застосування розрахункової дози добрив, що компенсує винос НРК основною продукцією (N₁₃₀P₂₅K₃₅), у поєднанні з позакореневим внесенням мікроелементів на фоні 1,0 Нг CaMg(CO₃)₂. Така система удобрення забезпечує високий рівень інтенсивності балансу калію (130,6 %), запобігає дефіциту азоту (95,7 %) та уникає перенасичення ґрунту фосфору (77,7 %) за високого вмісту в ньому рухомих сполук, що є важливим для підтримання оптимальної родючості ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Господаренко Г.М., Черно О.Д., Мартинюк А.Т., Бойко В.П. Внесення основних елементів живлення з ґрунту культурами польової сівозміни за різного удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник*. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2021. С. 31–40. <https://doi.org/10.31073/acss91-04>.
2. Ågren G.I., Weih M. Plant stoichiometry at different scales: element concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist*. 2012. 194: P. 944–952. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04114.x>.
3. Фатєєва А. І., Самохвалова В. П. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт – рослина. Харків: КП «Міськдрук», 2012. 146 с.
4. Система удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку XXI століття. / За ред. С. А. Балюка, М. М. Мірошніченка. Київ: Альфа-стевія, 2016. 400 с.
5. Roy, R.N.; Misra, R.V.; Lesschen, J.P.; Smaling, E.M. Assessment of soil nutrient balance: approaches and methodologies. 2003, Rome, Italy: FAO, 101 p. URL: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/y5066e>
6. Любич В. В. Вплив абіотичних та біотичних чинників на продуктивність сортів і ліній пшениці спельти. *Вісник Полтавської ДАА*. 2017. № 3. С. 18–24.
7. Польовий В.М., Яценко Л.А., Ровна Г.Ф., Гук Б.В., Ювчик Н.О. Еколого-економічні аспекти вирощування пшениці озимої на дерново-підзолистих ґрунтах залежно від удобрення і вапнування. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 2. С. 64–70.
8. Польовий В.М., Яценко Л.А., Ювчик Н.О. Винос елементів живлення пшеницею озимою залежно від удобрення і вапнування в умовах Західного Полісся. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 5. С. 5–12.
9. Господаренко Г. М., Любич В. В., Мартинюк А. Т. Агрохімічні властивості ґрунту за тривалого застосування мінеральних добрив. *Аграрні інновації*. 2023. № 19. С. 34–38.
10. Господаренко Г.М. Любич В.В., Сіліфонов Т.В. Формування балансу основних елементів живлення за вирощування різних сортів пшениці м'якої озимої залежно від системи удобрення. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. Випуск 105. Частина перша. 2024. С. 338–352.
11. Гамаюнова В.В., Томницький А.В. Баланс основних елементів живлення у ґрунті залежно від внесення мінеральних добрив під нут. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2013. Вип. 1. С. 103–108.
12. Losacco D., Ancona V., De Paola D., Tumolo M., Massarelli C., Gatto A., Uricchio V.F. Development of Ecological Strategies for the Recovery of the Main Nitrogen Agricultural Pollutants: A Review on Environmental Sustainability in Agroecosystems. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. 7163.
13. Ju X., Xing G., Chen X., Zhang S., Zhang L., Liu X., Cui Z., Yin B., Christie P., Zhu Z., et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2009. Vol. 106. P. 3041–3046.
14. Господаренко Г. М. Система застосування добрив. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА». 2022. 376 с.
15. Камінський В.Ф., Сайко В.Ф. Землеробство XXI століття – проблеми та шляхи вирішення. *Землеробство*. 2015. Вип. 2. С. 3–11.
16. Лісовал А.П., Макаренко В.М., Кравченко С.М. Система застосування добрив. К.: Вища школа. 2002. 317 с.

REFERENCES:

1. Hospodarenko H.M., Cherny O.D., Martyniuk A.T., Boiko V.P. (2021). Vnesennia osnovnykh elementiv zhyvlennia z gruntu kulturamy polovoi sivozminy za riznoho udobrennia [Removal of the main nutrients from the soil by crops of field crop rotation under different fertilisers]. *Ahrokhimiia i gruntoznastvo*, 91, 31–40. <https://doi.org/10.31073/acss91-04>. [in Ukrainian].
2. Ågren G.I., Weih M. (2012). Plant stoichiometry at different scales: element concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist*, 194, 944–952. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04114.x>.
3. Fatieieva A. I., Samokhvalova V. P. (2012) Diahnostyka stanu khimichnykh elementiv systemy grunt – roslyna [Diagnostics of the state of chemical elements of the soil-plant system]. Kharkiv: KP «Miskdruk», 146 s. [in Ukrainian].
4. Baliuk S. A., Miroshnychenko M. M. (2016). Systema udobrennia silskohospodarskykh kultur u zemlerobstvi pochatku XXI stolittia [The system of crop fertilisation in agriculture of the early XXI century]. Kyiv: Alfa-steviiia, 400 [in Ukrainian].
5. Roy, R.N.; Misra, R.V.; Lesschen, J.P.; Smaling, E.M. (2003). Assessment of soil nutrient balance: approaches and methodologies. Rome, Italy: FAO, 101. URL: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/y5066e>
6. Liubych V. V. (2017). Vplyv abiotychnykh ta biotychnykh chynnykiv na produktyvnist sortiv i liniy pshenytsi spelti [Influence of abiotic and biotic factors on the productivity of spelt varieties and lines]. *Visnyk Poltavskoi DAA*, 18–24. [in Ukrainian].
7. Polovyi V.M., Yashchenko L.A., Rovna H.F., Huk B.V., Yuvchik N.O. (2021). Ekolohe-ekonomichni aspekty vyroshchuvannia pshenytsi ozymoi na dernovo-pidzolystrykh gruntakh zalezno vid udobrennia i vapnuvannia [Ecological and economic aspects of winter wheat cultivation on sod-podzolic soils depending on fertilisation and liming]. *Ahroekolohichnyi zhurnal*, 2, 64–70. [in Ukrainian].
8. Polovyi V.M., Yashchenko L.A., Yuvchik N.O. (2021). Vynos elementiv zhyvlennia pshenytsiei ozymoiu zalezno vid udobrennia i vapnuvannia v umovakh Zakhidnoho Polissia [Removal of nutrients by winter wheat depending on fertilisation and liming in Western Polissia]. *Visnyk ahrranoi nauky*, 5, 5–12. [in Ukrainian].
9. Hospodarenko H. M., Liubych V. V., Martyniuk A. T. (2023). Ahrokhimichni vlastyivosti gruntu za tryvaloho zastosuвання mineralnykh dobrov [Agrochemical properties of soil with long-term use of mineral fertilisers]. *Ahrrarni innovatsii*, 19, 34–38. [in Ukrainian].
10. Hospodarenko H.M. Liubych V.V., Silifonov T.V. (2024). Formuvannia balansu osnovnykh elementiv zhyvlennia za vyroshchuvannia riznykh sortiv pshenytsi miakoi ozymoi zalezno vid systemy udobrennia [Formation of the balance of basic nutrients in the cultivation of different varieties of soft winter wheat depending on

- the fertilisation system]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho NUS*, 105(1), 338–352. [in Ukrainian].
11. Hamaiunova V.V., Tomnytskyi A.V. (2013). Balans osnovnykh elementiv zhyvlennia u grunti zalezno vid vnesennia mineralnykh dobryv pid nut [Balance of the main nutrients in the soil depending on the application of mineral fertilisers for chickpea]. *Visnyk ahraryi nauky Prychornomoria*, 1, 103–108. [in Ukrainian].
 12. Losacco D., Ancona V., De Paola D., Tumolo M., Massarelli C., Gatto A., Uricchio V.F. (2021). Development of Ecological Strategies for the Recovery of the Main Nitrogen Agricultural Pollutants: A Review on Environmental Sustainability in Agroecosystems. *Sustainability*, 13, 7163.
 13. Ju X., Xing G., Chen X., Zhang S., Zhang L., Liu X., Cui Z., Yin B., Christie P., Zhu Z., et al. (2009). Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 106, 3041–3046.
 14. Hospodarenko H. M. (2022). Systema zastosuvannia dobryv [Fertiliser application system]. Kyiv : TOV «SIK HRUP UKRAINA», 376 s. [in Ukrainian].
 15. Kaminskyi V.F., Saiko V.F. (2015). Zemlerobstvo XXI stolittia – problemy ta shliakhy vyrishennia [Agriculture in the 21st century – problems and solutions]. *Zemlerobstvo*, 2, 3–11. [in Ukrainian].
 16. Lisoval A.P., Makarenko V.M., Kravchenko S.M. Systema zastosuvannia dobryv. K.: Vyshcha shkola. 2002. 317 s. [in Ukrainian].

Яценко Л.А., Ювчик Н.О. Винос та баланс елементів живлення за вирощування пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті

Мета досліджень. Вивчення динаміки виносу елементів живлення пшеницею озимою та оцінка балансових показників азоту, фосфору і калію залежно від умов вирощування пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті. **Методика досліджень.** Польовий дослід для вивчення впливу досліджуваних факторів; агрохімічний аналіз для кількісного визначення вмісту елементів живлення в ґрунті та рослинах; статистичні методи для обґрунтування істотності отриманих результатів. **Результати досліджень.** У середньому за 2021–2023 рр. роки досліджень величина урожаю зерна пшениці озимої підвищувалась залежно від внесення різних доз і видів меліорантів у 1,8–2,4 рази порівняно з контролем (без добрив), та з фоновим варіантом – у 1,4–1,9 рази. Найвищою (4,97 т/га) вона була за внесення дози добрив, розрахованої нормативним методом на винос NPK основною і відповідною кількістю побічної продукції ($N_{150}P_{50}K_{125}$) із дворазовим позакореневим підживленням мікродобривом на фоні 1,0 Нг $CaMg(CO_3)_2$. У господарському виносі елементів урожаєм рослин пшениці озимої найбільша кількість відзначена для азоту – 60,5–162,4 кг/га, потім калію – 31,7–96,0 кг/га, найменше виноситься фосфор – 19,4–57,7 кг/га. Баланс елементів живлення за рекомендованої ($N_{120}P_{60}K_{90}$) та розрахованої на винос основною і побічною продукцією ($N_{150}P_{50}K_{125}$) доз удобрення на фоні 1,0 Нг $CaMg(CO_3)_2$ + мікроелементи показав від’ємне сальдо по азоту (–16,6 і –8,5 кг/га) та додатне по фосфору (22,7 і 11,2 кг/га) і калію (61,8 і 92,3 кг/га). Внесення підвищеної дози доломітового борошна (1,5 Нг $CaMg(CO_3)_2$) чи одинарної дози $CaCO_3$ не змінювало тенденції розподілу балансових показників показаних для попередніх

варіантів. У варіанті розрахункової дози добрив на основу продукцію ($N_{130}P_{25}K_{35}$) на фоні 1,0 Нг $CaMg(CO_3)_2$ із мікроелементами величина негативного балансу азоту зменшилася до –6,5 кг/га, однак, баланс фосфору був показаний як від’ємний (–7,7 кг/га) за додатного по калію (8,5 кг/га). **Висновки.** Найбільш дієвим способом управління продуктивністю пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті є поєднання хімічної меліорації та удобрення. Залежно від внесення різних доз і видів меліорантів урожайність зерна пшениці озимої зростала більше ніж у два рази порівняно з контролем. Максимальні значення величини виносу азоту і калію із основною і побічною продукцією спостерігалися за внесення $N_{150}P_{50}K_{125}$ + мікродобриво на фоні 1,0 Нг дози $CaMg(CO_3)_2$, тоді як фосфору у варіанті $N_{120}P_{60}K_{90}$ (реком.) + мікродобриво на фоні 1,5 Нг дози $CaMg(CO_3)_2$. Найбільш оптимальним варіантом за балансовими показниками для вирощування пшениці озимої при залишенні побічної продукції в полі є застосування розрахункової дози добрив, що компенсує винос NPK основною продукцією ($N_{130}P_{25}K_{35}$), у поєднанні з позакореневим внесенням мікроелементів на фоні 1,0 Нг $CaMg(CO_3)_2$. Така система удобрення забезпечує високий рівень інтенсивності балансу калію (130,6 %), запобігає дефіциту азоту (95,7 %) та уникає перенасичення ґрунту фосфору (77,7 %) за високого вмісту в ньому рухомих сполук, що є важливим для підтримання оптимальної родючості ґрунту.

Ключові слова: озима пшениця, удобрення, вапнування, господарський винос, баланс елементів живлення.

Yashchenko L.A., Yuvchik N.O. Removal and balance of nutrients in winter wheat cultivation on sod-podzolic soil

Purpose. To study the dynamics of nutrient removal by winter wheat and to estimate the balance indices of nitrogen, phosphorus and potassium depending on the conditions of winter wheat cultivation on sod-podzolic soil. **Methods.** Field experiment to study the impact of the factors under study; agrochemical analysis to quantify the content of nutrients in soil and plants; statistical methods to substantiate the significance of the results. **Results.** On average, in 2021–2023, the yield of winter wheat increased by 1.8–2.4 times compared to the control (without fertilisers) and by 1.4–1.9 times compared to the background variant, depending on the application of different doses and types of ameliorants. It was the highest (4.97 t/ha) when applying a fertiliser dose calculated by the normative method for the removal of NPK with the main and corresponding amount of by-products ($N_{150}P_{50}K_{125}$) with two foliar fertilisation with microfertiliser on a background of 1.0 Hh $CaMg(CO_3)_2$. In the economic removal of elements by the harvest of winter wheat plants, the largest amount was recorded for nitrogen – 60.5–162.4 kg/ha, then potassium – 31.7–96.0 kg/ha, and the least amount of phosphorus – 19.4–57.7 kg/ha. The balance of nutrients at the recommended ($N_{120}P_{60}K_{90}$) and calculated for removal by the main and by-products ($N_{150}P_{50}K_{125}$) doses of fertiliser against the background of 1.0 Hh $CaMg(CO_3)_2$ + microelements showed a negative balance for nitrogen (–16.6 and –8.5 kg/ha) and a positive balance for phosphorus (22.7 and 11.2 kg/ha) and potassium (61.8 and 92.3 kg/ha). The introduction of an increased dose of dolomite flour (1.5 Ng $CaMg(CO_3)_2$) or a single dose of $CaCO_3$ did not change the trend of distribution of balance indicators shown for the previous variants. In the

variant of the calculated dose of fertiliser for the main product ($N_{130}P_{25}K_{35}$) on the background of 1.0 Hh $CaMg(CO_3)_2$ with microelements, the value of the negative nitrogen balance decreased to -6.5 kg/ha, however, the phosphorus balance was shown as negative (-7.7 kg/ha) with a positive potassium balance (8.5 kg/ha). **Conclusions.** The most effective way to manage the productivity of winter wheat on sod-podzolic soil is a combination of chemical amelioration and fertilisation. Depending on the application of different doses and types of ameliorants, the yield of winter wheat grain increased more than twice compared to the control. The maximum values of nitrogen and potassium removal with the main and by-products were observed when $N_{150}P_{50}K_{125}$ + microfertiliser was applied against the background of 1.0 Hh dose of $CaMg(CO_3)_2$, while phosphorus

in the variant $N_{120}P_{60}K_{90}$ (rec.) + microfertiliser against the background of 1.5 Hh dose of $CaMg(CO_3)_2$. The most optimal option in terms of balance indicators for growing winter wheat while leaving by-products in the field is the use of a calculated dose of fertiliser that compensates for the removal of NPK by the main product ($N_{130}P_{25}K_{35}$), combined with foliar application of trace elements on the background of 1.0 Hh $CaMg(CO_3)_2$. This fertilisation system ensures a high level of potassium balance intensity (130.6%), prevents nitrogen deficiency (95.7%) and avoids soil oversaturation with phosphorus (77.7%) due to the high content of mobile compounds, which is important for maintaining optimal soil fertility.

Key words: winter wheat, fertilisation, liming, economic removal, balance of nutrients.