

ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ НА ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОМУ ҐРУНТІ ЗА УДОБРЕННЯ І ВАПНУВАННЯ В ЗАХІДНОМУ ПОЛІССІ УКРАЇНИ

Польовий В. М., Яценко Л. А.

ВСТУП

Пшениця озима є однією з головних стратегічних культур в економіці України. Характерною тенденцією розвитку світового виробництва зерна являється підвищення темпів зростання виробництва пшениці, порівнюючи з іншими культурами. В основу сучасних технологій вирощування зернових культур покладено теорію формування врожаю, що забезпечує скорочення розриву між потенційною і реальною продуктивністю рослин шляхом управління продукційним процесом посівів за допомогою агротехнічних заходів¹. Їхня дія, зокрема удобрення, на продуктивність культур багатогранна і потребує подальшого вивчення².

Площа посівів пшениці озимої щороку складає 6-7 мільйонів гектарів. Потенційні можливості сучасних сортів цієї культури коливаються в межах 8-15 т / га, проте середня врожайність зерна в Україні становить 2,8-3,5 т/га. Тому питання вдосконалення агротехнологій із урахуванням ґрунтово-кліматичних умов мають бути вирішені та рекомендовані виробництву³.

¹ Сайко В.Ф. Сучасні технології вирощування конкурентоспроможного зерна *Особливості ведення зернового господарства України залежно від кон'юнктури ринку: Зб. наук. праць Інституту землеробства*. Спецвипуск. Київ : ЕКМО, 2004. С. 26–31.

² Господаренко Г.М., Любич В.В., Калантир В.В. Удобрення пшениці твердої озимої. *The XI International Science Conference «Topical issues of modern science and education»*, March 11-13, 2021, Tallin, Estonia. P. 12–15 doi:10.46299/ISG.2021.I.XI.

³ Гамаюнова В.В., Литовченко А.О. Реакція сортів пшениці озимої на фактори та умови вирощування в зоні Степу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. Серія : Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання*. 2017. № 1. С. 43–52.

У регіонах Західної України, зважаючи на дещо кращі умови зволоження порівняно з іншими, врожайність зерна пшениці озимої може перевищувати 10 т/га⁴.

Проте кислотність ґрунту та незбалансоване забезпечення поживними речовинами – основні обмежуючі факторами врожайності та якості пшениці озимої. Оптимальними параметрами потенційної кислотності ґрунту для пшениці озимої є нейтральні і слаболужні рівні⁵. Дослідження показали, що рівень рН 4,66-5,29 є критичним: зменшилася висота рослин пшениці, кількість сухої речовини і хлорофілу⁶.

Переважаання підзолистого процесу ґрунтоутворення у Західному Поліссі обумовлює поширення дерново-підзолистих ґрунтів легкого гранулометричного складу, які вирізняються підвищеною кислотністю ґрунтового розчину та збіднені на поживні речовини. Проте внесення органічних і мінеральних добрив, Са-вмісних сполук (вапно, гіпс, крейда, мергель, дефекат тощо), заорювання рослинних решток, соломи, сидератів тощо призводить до поступової структурної, екологічної реорганізації ґрунтової маси. Зміна природних процесів, режимів і заміна їх новими агрогенними зумовлює зростання акумулятивних і адекватне зниження інтенсивності елювіальних процесів дерново-підзолистих ґрунтів⁷.

Отже, системний підхід в управлінні продуктивністю пшениці озимої на основі кількісного розуміння реакції врожаю на поживні речовини, яка заснована на взаємодії між необхідними вимогами до поживних речовин культури та у відповідь на динамічні умови

⁴ Лукащук Л.Я. Вплив зміни клімату на продуктивність пшениці озимої залежно від строків сівби. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2012. Вип. 9(24). С. 91–94.

⁵ Pijkić, D., Kovačević, V., Rastija, M., Antunović, M., Horvat, D., Josipović, M. i Varga, I. Long term effect of Fertdolomite on soil, maize and wheat status on acid soil of eastern Croatia. *Journal of Central European Agriculture*. 2019. Vol. 20 (1). P. 461–474. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.1.2140>.

⁶ Vaquy, M. A.-A., Li, J.-Y., Xu, C.-Y., Mehmood, K., and Xu, R.-K.: Determination of critical pH and Al concentration of acidic Ultisols for wheat and canola crops. *Solid Earth*. 2017. Vol. 8. P. 149–159. <https://doi.org/10.5194/se-8-149-2017>.

⁷ Тихоненко Д.Г., Новосад К.Б., Гавва Д.В. Елементарні ґрунтові процеси (ЕГП) агрогенних дерново-підзолистих і чорноземних ґрунтів Лісостепу і Полісся України. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. Серія : Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2017. № 1. С. 5–11.

навколишнього середовища, сприятиме реалізації її потенційних можливостей⁸. Забезпечення потреби рослин елементами живлення на оптимальному рівні упродовж вегетації є обов'язковим технологічним прийомом для отримання високого врожаю зерна пшениці. Сумарне відчуження поживних елементів урожаєм сільськогосподарських культур залежить від умісту їх у одиниці продукції та масі врожаю основної і побічної продукції. У свою чергу, обидві частини сумарного відчуження залежать від умов вирощування⁹.

Чітке уявлення про зміну вмісту і, відповідно, вносу елементів живлення з продукцією залежно від агротехнічних елементів вирощування культури дозволяє проводити розрахунок балансових показників азоту, фосфору і калію і охарактеризувати особливості колообігу елементів у системі ґрунт-рослина-добриво, що слугує науковою основою для розробки раціональних систем удобрення сільськогосподарських культур¹⁰.

Таким чином, враховуючи вищезазначене, **метою роботи** є комплексний аналіз динаміки поживного режиму дерново-підзолистого ґрунту, особливостей вносу елементів живлення пшеницею озимою, формування її основної і побічної продукції та оцінка балансових показників азоту, фосфору і калію залежно від умов вирощування культури.

Матеріали і методика досліджень. Польові дослідження проведені у стаціонарному досліді Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН. Досліджувана культура – пшениця озима, яка вирощувалася у 2017-2019 рр. на дерново-підзолистому зв'язно-піщаному ґрунті у II-й ротації сівозміні: пшениця озима, кукурудза на зерно, ячмінь ярий, ріпак озимий. Площа посівної ділянки 99 м², облікової 50 м², повторність – триразова, розміщення – послідовне. Технологія вирощування загальноприйнята для зони Полісся.

⁸ Dobermann, A., Cassman, K. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil*. 2002. Vol. 247. P. 153–175. <https://doi.org/10.1023/A:1021197525875>

⁹ Дегоддок С.Е., Літвінова О.А., Кириченко А.В. Баланс поживних речовин за тривалого застосування добрив у зернопросапній сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2014. №7. С. 16–19.

¹⁰ Польовий В.М. *Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві* : монографія. Рівне : Волинські береги, 2007. 320 с.

Мінеральні добрива $N_{120}P_{60}K_{90}$ вносили відповідно схеми досліду у формі аміачної селітри, амофосу, калію хлористого. Норма хімічних меліорантів визначена за величиною гідролітичної кислотності ґрунту (Нг) і внесена у 2011 році перед закладанням стаціонарного досліду. У фізичній масі одинарній нормі (1,0 Нг) відповідає 4,6 т/га вапнякового ($CaCO_3$) та 3,8 т/га доломітового борошна ($CaMg(CO_3)_2$). Азотні (N_{30}), фосфорні, калійні та сірчані (S_{40}) добрива вносили в основне удобрення. У ході вегетації пшениці озимої проводили підживлення азотом у дозі N_{60} у фазу весняного кущення і N_{30} на початку виходу в трубку. Для позакореневого підживлення мікроелементами (МЕ) використовували мікродобриво Нутривант Плюс зерновий (2 кг/га) у відповідні фази.

Аналіз ґрунту виконано методами: рН – потенціометрично, гідролітична кислотність – за Каппеном, азот сполук, що легкогідролізовані – за Корнфілдом, рухомі сполуки фосфору і калію – за Кірсановим. Аналіз рослинного матеріалу у повітряно-сухому стані на вміст елементів живлення після мокрого озолення за К'ельдаєм проводили методами: азот – із реактивом Несслера, фосфор фотометрично, калій методом полуменевої фотометрії¹¹.

1. Зміна фізико-хімічних та агрохімічних показників дерново-підзолистого ґрунту

Досліджуваний дерново-підзолистий ґрунт перед закладкою досліду мав кислу реакцію ґрунтового розчину, показник pH_{KCl} коливався в межах 4,25-4,57, гідролітичної кислотності 2,27–3,05 ммоль/100 г ґрунту. Залежно від дози, виду та тривалості післядії внесення вапнякових матеріалів відбулася диференціація ґрунту за рівнем потенційної кислотності.

За вирощування пшениці озимої без проведення хімічної меліорації простежується стійка тенденція зниження рівня обмінної (рис. 1) і підвищення гідролітичної (табл. 1) кислотностей.

¹¹ *Агрохімічний аналіз: практикум* / За ред. М.М. Городнього. Київ : Арістей, 2007. 273 с.

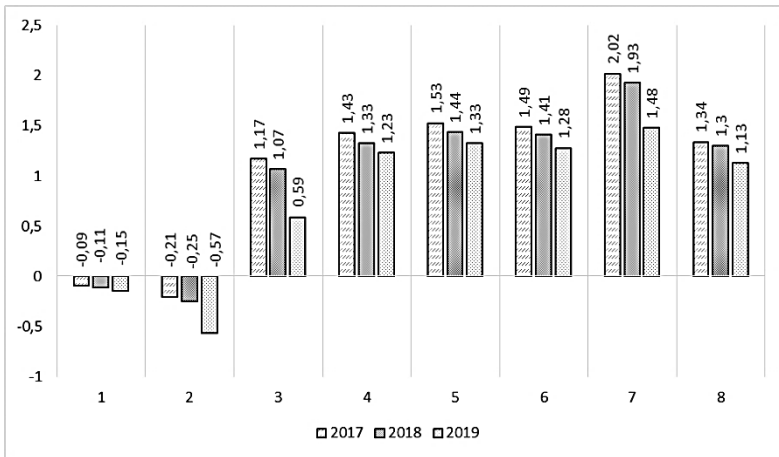


Рис. 1. Δ pH ґрунтового розчину дерново-підзолистого зв'язно-піщаного ґрунту від застосування хімічних меліорантів за мінерального живлення культури відносно вихідних показників

Варіанти досліджу: 1 – Без добрив (контроль); 2 – $N_{120}P_{60}K_{90}$ (фон); 3 – Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (0,5Hz); 4 – Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Hz); 5 – Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Hz) + S_{40} ; 6 – Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Hz) + S_{40} + ME; 7 – Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,5 Hz); 8 – Фон + $CaCO_3$ (1,0 Hz)

При цьому одностороннє використання мінеральних добрив має істотніший підкислюючий ефект. У період другої ротації чотирипільної сівозміни відбулося зміщення рівня ґрунтового розчину до дуже сильноокислої. Порівняно з показниками 2011 р. під пшеницею озимою показник гідролітичної кислотності зріс у 2019 р на 0,53 ммоль/100 г ґрунту. При цьому Δ рН протягом 2017-2019 рр. становила -0,21 – -0,57 одиниць.

Вапнування сприяло різкому підвищенню показника pH_{KCl} і зниженню Нг порівно з непровапнованими варіантами.

Таблиця 1

**Показники гідролітичної кислотності ґрунту залежно від
хімічних меліорантів і мінеральних добрив (шар ґрунту 0-20 см)**

Варіант	Гідролітична кислотність (Н _r), ммоль/100 г ґрунту				
	вихідні дані	2017	2018	2019	±2019 до вихідних даних
Без добрив – контроль	2,45	2,65	2,67	2,71	0,26
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ – фон	2,27	2,45	2,48	2,8	0,53
Фон + СаMg(CO ₃) ₂ (0,5Нг)	2,80	2,15	2,18	2,23	-0,57
Фон + СаMg(CO ₃) ₂ (1,0 Нг)	2,62	1,61	1,7	1,76	-0,86
Фон + СаMg(CO ₃) ₂ (1,0 Нг) + S ₄₀	2,97	1,63	1,72	1,78	-1,19
Фон + СаMg(CO ₃) ₂ (1,0 Нг) + S ₄₀ +ME	3,05	1,66	1,74	1,81	-1,24
Фон + СаMg(CO ₃) ₂ (1,5 Нг)	2,8	1,22	1,24	1,49	-1,31
Фон + СаСО ₃ (1,0 Нг)	2,8	1,49	1,57	1,84	-0,96

Хоча на час проведення досліджень 2017–2019 рр. відбувалося погіршення якості фізико-хімічних показників ґрунту порівняно із найбільшим нейтралізуючим ефектом на третій-четвертий рік проведення вапнування, проте відзначено стабілізацію кислотності у сторону нейтралізації порівняно як із контролем, так і вихідними даними. При цьому інтенсивність змін залежала від виду і дози вапнякового матеріалу. Так, післядія внесення 1,5 Нг дози СаMg(CO₃)₂ у роки дослідження забезпечила нейтралізацію обмінної кислотності відносно даних 2011р. на ΔрН 2,02–1,48 одиниць. Менший ефект мала післядія 1,0 Нг дози СаMg(CO₃)₂ порівняно з попереднім варіантом, однак переважала післядію 1,0 Нг дози СаСО₃. Якщо ΔрН на 8-й рік внесення 1,0 Нг дози СаСО₃ становила 1,13 одиниць, то 1,0 Нг СаMg(CO₃)₂ – 1,23 одиниці. Подібна позитивний вплив доломітового борошна відмічено і на величину гідролітичної кислотності. Найнижчі показники – 1,22-1,49 ммоль/100 г – отримані у варіанті післядії 1,5 Нг дози СаMg(CO₃)₂. У досліді додаткове внесення S₄₀ і мікродобрива Нутривант істотно не впливало на величину потенційної кислотності ґрунту. Отже, результати дослідження показують, що застосування 1,5 Нг дози доломітового борошна забезпечує протягом тривалішого періоду нейтралізуючу дію щодо кислотності ґрунтового середовища дерново-підзолистого ґрунту.

Щоб створити якомога сприятливіші умови для росту й розвитку сільськогосподарських рослин, необхідно знати закономірності вмісту і трансформації в ґрунті різних елементів живлення, а також особливості живлення самої рослини. Як відомо, спроможність ґрунту забезпечувати рослини поживними речовинами характеризують агрохімічні параметри родючості земель. Достатній уміст елементів живлення у ґрунті – обов’язкова умова нормального розвитку рослин, а їх нагромадження – раціонального землекористування¹².

Особливо актуальним є забезпечення ґрунту необхідною кількістю елементів живлення на дерново-підзолистому ґрунті Західного Полісся, що характеризуються низьким рівнем природної родючості, що без застосування добрив і вапнування унеможливило подальший ріст урожайності пшениці озимої і призводить до прогресивного зниження родючості ґрунту¹³.

Подібна закономірність встановлена у варіанті без добрив. Вирощування пшениці озимої без удобрення і вапнування спричинило погіршення основних агрохімічних показників дерново-підзолистого ґрунту (рис. 2). Відзначено зниження вмісту досліджуваних сполук азоту на -9,4 мг/кг, фосфору -3,5 мг і калію на -5,4 мг/кг ґрунту.

Заходами для поліпшення умов живлення культур на дерново-підзолистому ґрунті є застосування добрив і вапнування. Проте у ході досліджень встановлено, що вміст сполук азоту, що легкогідролізовані, у меншій мірі змінювався під дією вапнякових матеріалів.

¹² Григорів Я., Стельмах О. Зміна поживного режиму дерново-підзолистого ґрунту за вирощування ріпаку озимого в короткоротаційній сівозміні. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія*. 2019. № 23. С. 41–44. URL : <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.041>.

¹³ Польовий В.М., Кулик С.М. Вплив застосування добрив та вапнякових меліорантів на поживний режим дерново-підзолистого ґрунту за вирощування сої в умовах Західного Полісся *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Агрономія*. 2017. Вип. 269. С. 185–193.

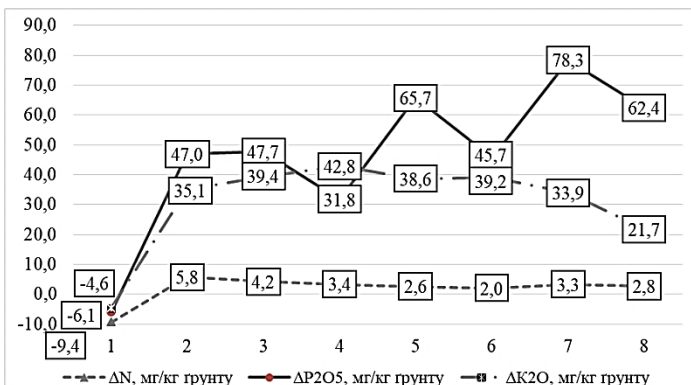


Рис. 2. Динаміка вмісту легкогідролізованих сполук азоту (ΔN), рухомих фосфору (ΔP_2O_5) і калію (ΔK_2O) у дерново-підзолистому ґрунті, середнє за 2017-2019 рр. до вихідних даних (шар ґрунту 0-20 см)

Варіанти досліді: 1 – Без добрив (контроль); 2 – $N_{120}P_{60}K_{90}$ (фон);

3 – фон + $CaMg(CO_3)_2$ (0,5 Нг); 4 – фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Нг);

5 – фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Нг) + S_{40} ; 6 – фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Нг) + S_{40} + ME;

7 – фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,5 Нг); 8 – фон + $CaCO_3$ (1,0 Нг)

Так, якщо у варіанті мінеральних добрив ($N_{120}P_{60}K_{90}$) приріст вмісту азоту становив 5,8 мг/кг ґрунту, то за післядії доломітового борошна на їх фоні у межах 2,0-4,2 мг/кг ґрунту залежно від його дози. Така динаміка показників пов'язана з виносом елемента зростаючими урожаєми пшениці на інтенсивно удобрюваних варіантах.

Тоді як систематичне застосування добрив призводить до поступового збагачення ґрунту рухомими сполуками фосфору у зв'язку з низькою його рухомістю в ґрунті та ступенем використання з добрив на формування врожаю. За проведення хімічної меліорації на фоні мінерального удобрення вміст рухомих сполук фосфору збільшився на 31,8-78,3 мг/кг ґрунту порівняно з вихідними даними, при цьому найбільший приріст кількості рухомих сполук фосфору забезпечило сумісне внесення 1,5 Нг дози доломітового борошна та мінеральних добрив, що, ймовірно, зумовлено переходом P_2O_5 із важкодоступних у легкокорозчинні форми за зменшення кислотності ґрунтового розчину.

У вмісті рухомого калію в ґрунті також відзначається позитивна динаміка підвищення показників. Найвищий приріст вмісту калію (42,8 мг/кг ґрунту) відзначається у варіанті 1,0 Нг дози $CaMg(CO_3)_2$ на фоні $N_{120}P_{60}K_{90}$ із додаванням S_{40} , що на 8,90 мг/кг вище порівняно з

варіантом 1,5 Нг дози хімічного меліоранта. Очевидно, що зростання урожайності культур за рахунок зниження кислотності ґрунту при цьому зумовило підвищення виносу елементів, також знижується мобілізація калію із ґрунтових запасів скелету ґрунту. Крім того, у також слід враховувати антагонізм між катіонами Ca^{2+} і K^+ .

2. Урожайність пшениці озимої та винос основних елементів живлення за удобрення і вапнування

Результати досліджень засвідчили, що врожайність пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті, насамперед, залежить від його окультурення. Зокрема, без внесення добрив і хімічних меліорантів у середньому за три роки було зібрано зерна лише 1,46 т/га. Це свідчить про те, що такі ґрунти є малопродатними для вирощування пшениці озимої без попереднього проведення комплексу агрохімічних заходів для зменшення кислотності та поліпшення поживного режиму (рис. 3).

Відомо, що культура характеризується позитивною реакцією на вапнування кислих ґрунтів, і найвищу окупність удобрення забезпечує нейтральна реакція ґрунтового розчину. Тому, хоча одностороннє внесення $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ і збільшило урожайність до 2,50 т/га, покращення лише мінерального живлення є недостатнім заходом для конкурентоспроможного вирощування пшениці озимої на дерново-підзолистих ґрунтах, які відносяться до кислих за реакцією ґрунтового розчину.

Лише сумісне застосування добрив із вапнуванням забезпечило стрімке підвищення врожайності у досліді. У результаті проведених досліджень встановлено, що величина урожаю зерна пшениці озимої підвищувалась залежно внесення різних доз і видів меліорантів більше ніж у два рази порівняно з контролем.

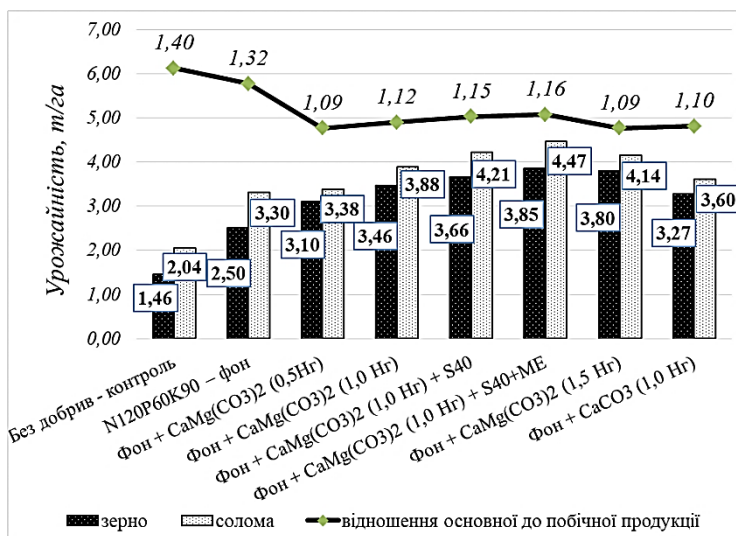


Рис. 3. Урожайність пшениці озимої залежно від удобрення та хімічних меліорантів (середня за 2017–2019 рр.), т/га

Примітка: НІР₀₅, т/га: зерно – 0,16; солома – 0,29

На фоні вапнування 0,5-1,5 Нг дози доломітового борошна врожайність відповідно становила 3,10-3,80 т/га. Найвищою 3,85 т/га вона була за післядії 1,0 Нг дози CaMg(CO₃)₂ у комплексі з внесенням мінеральних добрив (N₁₂₀P₆₀K₉₀), сірки (S₄₀) і дворазовим позакореневим підживленням мікроелементами (Нутривант Плюс зерновий).

Для порівняння ефективності дії хімічних меліорантів у схему дослідження включено варіант із внесенням 1,0 Нг дози CaCO₃. Отримані дані показали на 5,81% вищу врожайність зерна за застосування доломітового борошна, що, імовірно, пов'язано з наявністю в ньому крім кальцію також і магнію, який, як правило, є дефіцитним на легких ґрунтах.

Забезпеченість польових культур елементами живлення залежить від норм застосування мінеральних добрив, маси рослинних решток, що заробляють у ґрунт. Також рослині рештки є цінним елементом і незамінним джерелом відтворення органічної речовини у ґрунті, поживним і енергетичним субстратом для ґрунтових мікроорганізмів, фактором регулювання умісту біогенних

елементів живлення рослин¹⁴. Проте значна кількість елементів живлення витрачається з ґрунту на формування побічної рослинницької продукції. Визначення величини її виходу та вмісту в ній елементів дозволить об'єктивно оцінити відчуження елементів при обрахунку господарського виносу та балансу в цілому. Результати досліджень засвідчили, що врожайність соломи змінювалась із тією ж закономірністю, що й зерна, і найвищою 4,47 т/га була за внесення на фоні 1,0 Нг дози $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ та $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{90} + \text{S}_{40}$ + мікроелементи. Таким чином, у варіантах без добрив та за внесення $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ спостерігалось найширше, відповідно 1:1,4 і 1:1,3, співвідношення між зерном і соломою пшениці озимої. Застосування добрив та вапнякових матеріалів незалежно від досліджуваних видів і норм меліорантів сприяло звуження співвідношення до 1:1,1 – 1:1,2.

Розроблення науково обґрунтованих заходів щодо підвищення родючості ґрунту неможливе без визначення параметрів колообігу фітомаси та елементів живлення, що входять до її складу¹⁵. За цілеспрямованого використання ґрунту для вирощування якісної сільськогосподарської продукції необхідно враховувати вміст біогенних елементів живлення в біологічній масі врожаю, а також баланс поживних речовин як один із найбільш важливих факторів розвитку культурного процесу ґрунтоутворення і формування родючості ґрунту¹⁶.

Оскільки винос елементів живлення у варіантах удобрення більшою мірою залежав від урожайності культури, ніж від зміни вмісту елементів, закономірно, що максимальні значення показника спостерігались за найвищої врожайності основної чи побічної продукції. Аналізуючи результати розрахунків, встановили, що винос азоту, фосфору і калію врожаєм зерна пшениці озимої без удобрення і вапнування значно нижчий порівняно з іншими варіантами (табл. 2).

¹⁴ Єщенко В.О. Польові сівозміни України, якими їм бути: довго- чи короткоротаційними? *Зб. наук. пр. Уманського національного університету садівництва*. 2016. Вип. 89. Ч. 1: Сільськогосподарські науки. С. 43–49.

¹⁵ Літвінов Д.В., Борис Н.С. Зміна органічної речовини та біогенних елементів під культурами у сівозмінах. *Землеробство*. 2018. Вип. 2. С. 14–19.

¹⁶ Камінський В.Ф., Сайко В.Ф. Землеробство ХХІ століття – проблеми та шляхи вирішення. *Землеробство*. 2015. Вип. 2. С. 3–11.

Таблиця 2

**Винос елементів живлення пшеницею озимую
на дерново-підзолистому ґрунті (середнє за 2017–2019 рр.)**

Варіант	Елемент живлення	Господарський винос, кг/га	Винос з урожаєм зерна, кг/га	Відносний винос із урожаєм зерна, %	Винос з урожаєм соломи, кг/га	Відносний винос із урожаєм соломи, %
Без добрив – контроль	N	47,1	37,1	78,8	10,0	21,2
	P ₂ O ₅	16,4	12,1	73,8	4,30	26,2
	K ₂ O	29,4	7,6	25,9	21,8	36,7
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ – фон	N	84,9	64,5	76,0	20,4	24,0
	P ₂ O ₅	32,3	21,5	66,6	10,8	67,5
	K ₂ O	49,5	13,8	27,9	35,7	72,1
Фон + CaMg(CO ₃) ₂ (0,5Нг)	N	100,7	80,9	80,3	19,8	19,7
	P ₂ O ₅	38,5	27,3	70,9	11,3	29,4
	K ₂ O	60,3	18,0	29,9	42,3	70,1
Фон + CaMg(CO ₃) ₂ (1,0 Нг)	N	111,9	91,3	81,6	20,6	18,4
	P ₂ O ₅	42,8	32,5	75,9	10,3	24,1
	K ₂ O	70,3	21,1	30,0	49,1	69,8
Фон + CaMg(CO ₃) ₂ (1,0 Нг) + S ₄₀	N	120,7	98,1	81,3	22,6	18,7
	P ₂ O ₅	48,0	35,1	73,1	12,9	26,9
	K ₂ O	77,5	23,1	29,8	54,4	70,2
Фон + CaMg(CO ₃) ₂ (1,0 Нг) + S ₄₀ +ME	N	130,0	105,9	81,5	24,1	18,5
	P ₂ O ₅	52,9	38,1	72,0	14,8	28,0
	K ₂ O	85,4	26,6	31,1	58,8	68,9
Фон + CaMg(CO ₃) ₂ (1,5 Нг)	N	121,3	99,6	82,1	21,7	17,9
	P ₂ O ₅	45,4	34,6	76,2	10,9	24,0
	K ₂ O	72,5	23,6	32,6	48,9	67,4
Фон + CaCO ₃ (1,0 Нг)	N	107,3	88,9	82,9	18,4	17,1
	P ₂ O ₅	40,2	29,4	73,1	10,8	26,9
	K ₂ O	63,2	19,6	31,0	43,6	69,0

Причому якщо за внесення лише мінеральних добрив показники перевищували дані контролю у 1,7-1,8 раза, то за вапнування 1,0 і 1,5 Нг дозою доломітового борошна у 2,5-3,1 раза. Додавання до мінерального фону і вапнування S₄₀ і мікроелементів у формі мікродобрива Нутривант Плюс зерновий зумовлювало посилене споживання основних елементів, що проявилось у найвищому їх

виносі серед досліджуваних варіантів. Так, винос азоту зріс на 68,8 кг/га, фосфору 26 кг/га, калію 19 кг/га порівняно з варіантом без добрив і відповідно на 14,6; 5,6; 5,5 кг/га порівняно з дозою 1,0 Нг СаМg(CO₃)₂.

У сучасному землеробстві практично вся побічна продукція вирощуваних культур залишається в полі і заробляється в ґрунт. Таким чином, у ґрунт повертається частина елементів живлення винесених рослинами, що зменшує величину господарського виносу. Як видно з наведених даних, винос азоту, фосфору і калію із соломою пшениці в розрізі варіантів досліду змінювався в межах 10,0-24,1 кг/га, 4,3-14,8 і 21,8-58,8 кг/га відповідно. Максимальні значення величини виносу із соломою кожного з елементів спостерігались за внесення N₁₂₀P₆₀K₉₀ + S₄₀ + мікроелементи на фоні післядії застосування 1,0 Нг дози СаМg(CO₃)₂. Відповідно, у цьому варіанті отримано найбільший господарський винос пшеницею озимою: 130 кг/га азоту, 52,9 кг/га фосфору і 85,4 кг/га калію.

Таким чином, слід відзначити, що 72,8-82,9% азоту і 66,6-76,2% фосфору у складі біомаси припадає на основну продукцію і вилучається з полів, тоді як основна частина калію зосереджена в соломі – 36,7-72,0% – повертається при заробці її у ґрунт і слугує джерелом надходження як органічної речовини, так і елементів живлення, що необхідно враховувати в розрахунках їх балансів.

3. Баланс основних елементів живлення за вирощування пшениці озимої на дерново-підзолистому ґрунті

Одним із найважливіших критеріїв екологічної зрівноваженості систем удобрення сільськогосподарських культур є показники балансів елементів живлення в ґрунті, які вони забезпечують. Дані свідчать, що винос азоту, фосфору і калію з ґрунту врожаєм пшениці озимої варіював у дуже широкому інтервалі, насамперед, у зв'язку з активним його накопиченням у рослинах на бідних дерново-підзолистих ґрунтах за оптимізації умов живлення (табл. 3).

Таблиця 3

Баланс NPK за вирощування пшениці озимої залежно від удобрення та вапнування (середнє за 2017–2019 рр.), кг/га

Стаття балансу	Елементи живлення	Варіант							
		Без добрив – контроль	$N_{120}P_{60}K_{90}$ – фон	Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (0,5 Нг)	Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Нг)	Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Нг) + S_{40}	Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,0 Нг) + S_{40} + ME	Фон + $CaMg(CO_3)_2$ (1,5 Нг)	Фон + $CaCO_3$ (1,0 Нг)
Надходження	N	51,3	195,6	195,9	202,2	207,8	212,2	206,1	196,9
		10,0	20,4	19,8	20,6	22,6	24,1	21,7	18,4
	P_2O_5	6,3	72,8	73,4	72,3	74,9	76,8	73,0	72,9
		4,3	10,8	11,3	10,3	12,9	14,8	10,9	10,8
	K_2O	31,4	135,3	141,9	148,7	154,0	158,4	148,5	143,2
		21,8	35,7	42,3	49,1	54,4	58,8	48,9	43,6
Відчуження	N	62,5	132,4	148,4	160,9	170,6	180,6	171,0	155,6
	P_2O_5	16,4	32,3	38,5	42,8	48,0	52,9	45,4	40,2
	K_2O	32,9	53,0	63,8	73,8	81,0	88,9	76,0	66,7
Баланс	N	-11,2	63,2	47,4	41,3	37,2	31,6	35,2	41,3
	P_2O_5	-10,1	40,5	34,9	29,5	26,9	23,9	27,6	32,7
	K_2O	-1,5	82,3	78,1	74,9	73,0	69,5	72,5	76,5

Примітка: надходження: чисельник – всього, знаменник – в т.ч. з соломою

Так, якщо у варіанті без добрив із зерном, соломою та непродуктивними втратами з ґрунту відчужувалось 62,5; 16,4 і 32,9 кг/га відповідно азоту, фосфору і калію, то за сумісного внесення 1,0 Нг дози $CaMg(CO_3)_2$, мінеральних добрив $N_{120}P_{60}K_{90}$ із додаванням S_{40} і мікродобрива відповідно 180,6; 52,9 і 88,9 кг/га.

У досліді основним джерелом надходження елементів живлення у ґрунт були мінеральні добрива, тому на їх фоні різниця між варіантами обумовлювалась тією кількістю, яка поступала в ґрунт із соломою. У варіанті без добрив із різних джерел у ґрунт надходило 51,3; 6,3 і 31,4 кг/га відповідно азоту, фосфору і калію. На фоні $N_{120}P_{60}K_{90}$ загальне надходження цих елементів у розрізі варіантів становило відповідно 195,6-212,2; 72,8-76,8 і 135,3-158,4 кг/га. Частка азоту, фосфору і калію, яка надійшла з соломою в загальній їх кількості, становила відповідно 10–11%, 15–19% і 26–37%, що вказує її важливу роль у поповненні ґрунтових запасів не лише органіки, а й мінеральних елементів.

Розрахунки балансу елементів живлення в ґрунті за різних варіантів системи удобрення пшениці озимої показали, що внесення $N_{120}P_{60}K_{90}$ забезпечувало його формування з найвищим додатнім сальдо: N – 63,2; P_2O_5 – 40,9 і K_2O – 82,3 кг/га. Проте за внесення вказаної дози добрив у комплексі з 1,0 Нг дози $CaMg(CO_3)_2$ із додаванням S_{40} і мікродобрива різниця між надходженням і виносом становила 31,6 кг/га азоту, 23,9 кг/га фосфору і 69,5 кг/га калію. Погіршення балансових показників у зазначеному варіанті порівняно з фоном обумовлене покращенням умов живлення пшениці озимої, що призвело до різкого підвищення врожайності і, відповідно, виносу елементів. Однак збільшення виносу у зв'язку зі зростанням урожайності є позитивним явищем, якщо відбувається в межах додатніх балансів азоту, фосфору і калію та свідчить про ефективніше використання внесених добрив.

ВИСНОВКИ

1. Диференціація дерново-підзолистого ґрунту за рівнем ґрунтової родючості відбувалася залежно від удобрення, норм і видів вапнякових матеріалів. Систематичне внесення $N_{120}P_{60}K_{90}$ за відсутності меліорації спричинило найбільш істотне підвищення гідролітичної кислотності (Нг) на 0,53 ммоль/100 г ґрунту і зниження обмінної кислотності ($pH_{КСІ}$) на 0,57 одиниць. Під час другій ротації сівозміни у 2017–2019 рр. стабілізацію кислотності на рівні ΔpH 2,02–1,48 одиниць у сторону нейтралізації порівняно з вихідними даними відзначено за післядії 1,5 Нг дози $CaMg(CO_3)_2$.

2. У досліді не відзначено істотного впливу післядії вапнякових матеріалів на накопичення азоту в ґрунті. Динаміка його показників більшою мірою зумовлена рівнем виносу елемента урожаєм у розрізі варіантів. Систематичне застосування добрив на післядії вапнякових матеріалів призвело до збагачення дерново-підзолистому ґрунту на рухомі форми фосфору. Хімічна меліорація сумісно з мінеральним удобренням сприяла збільшенню доступного фосфору на 31,8–78,3 мг/кг ґрунту порівняно з вихідними даними. Найвищий приріст вмісту рухомого фосфору в орному шарі отримано за післядії 1,5 Нг дози $CaMg(CO_3)_2$. У вмісті рухомого калію в ґрунті також відзначено позитивну динаміку підвищення показників відносно вихідних даних у варіантах із меліорацією. Величина накопичення калію за 1,0 Нг $CaMg(CO_3)_2$ на фоні $N_{120}P_{60}K_{90}$ із додаванням S_{40} на 8,90 мг/кг ґрунту вища порівняно з дозою 1,5 Нг, що очевидно пов'язано як зі зростаючим виносом калію з ґрунту, так і зі зниженням його мобілізації за підвищеної нейтралізуючої дії полуторної дози вапнякового матеріалу.

3. Динамічним показником рівня окультурення дерново-підзолистого ґрунту є урожайності пшениці озимої. Встановлено, що без попереднього зменшення кислотності та поліпшення поживного режиму урожайність зерна в середньому за 2017–2019 рр. становила 1,46 т/га. Одностороннє внесення $N_{120}P_{60}K_{90}$ є недостатнім заходом для формування конкурентоспроможної продуктивності культури. Лише сумісне застосування добрив із вапнуванням забезпечило істотне підвищення врожайності у досліді. Найвищою (3,85 т/га) вона була за післядії 1,0 Нг дози $CaMg(CO_3)_2$ у комплексі з внесенням мінеральних добрив ($N_{120}P_{60}K_{90}$), сірки (S_{40}) і дворазовим позакореневим підживленням мікроелементами (Нутривант Плюс зерновий). Тенденція формування урожайності соломи у варіантах відповідала урожайності зерна.

4. Із поліпшенням умов живлення рослин пшениці озимої за внесення добрив і проведення вапнування зростає винос основних елементів як основною так і побічною продукцією. У цілому господарський винос пшеницею озимою за таких умов збільшився на 37,8–82,9 кг/га по азоту, 15,9–36,5 по фосфору і 20,1–56,0 по калію порівняно з контролем. При цьому в межах 70–80% азоту і фосфору відчужується з ґрунту з зерном, тоді як 36,7–72,0% калію від загального вносу повертається у ґрунт при заорюванні побічної продукції. Підвищення господарського вносу азоту, фосфору і калію пшеницею озимою за удобрення і вапнування призвело до збільшення відчуження елементів. Найбільші втрати азоту, фосфору і калію відповідно 180,6; 52,9 і 88,9 кг/га при розрахунках їхнього балансу встановлено за сумісного внесення 1,0 Нг дози $CaMg(CO_3)_2$, мінеральних добрив $N_{120}P_{60}K_{90}$ із додаванням S_{40} і мікродобрива.

5. Балансові показники слугують критерієм врівноваженості системи удобрення. Основним джерелом надходження елементів живлення у ґрунт були мінеральні добрива та кількість елементів, яка надійшла в ґрунт із соломою. Їх частка в загальному надходженні становила 10–11%, 15–19% і 26–37% азоту, фосфору і калію відповідно. Найвище додатне сальдо балансів у досліді забезпечене внесенням $N_{120}P_{60}K_{90}$: 63,2 кг/га для азоту, 40,9 кг/га фосфору і 82,3 кг/га для калію. Зниження балансових показників у провапнованих варіантах та за додавання сірки і мікроелементів спричинене різким підвищенням продуктивності пшениці озимої за оптимізації умов живлення і, відповідно, виносом поживних елементів культурою. Проте розрахунки показали, що різниця між надходженням і відчуженням елементів для всіх удобрюваних

варіантів є додатною, що свідчить про ефективну дію досліджуваних факторів при вирощування культури.

АНОТАЦІЯ

Стабілізація виробництва високоякісного продовольчого зерна пшениці озимої в умовах Західного Полісся на дерново-підзолистому ґрунті, який вирізняється підвищеною кислотністю і низькою природною родючістю, можлива за провадження комплексу із мінерального удобрення і вапнування. Проведені дослідження показали, що найбільшу нейтралізуючу дію щодо кислотності ґрунтового розчину мала 1,5 Нг доза доломітового борошна на фоні мінеральних добрив. У роки досліджень обмінна кислотність змістилася на ΔpH 2,02–1,48 одиниць у бік нейтралізації порівняно як із контролем, так і вихідними даними. Нейтралізація ґрунтової кислотності сприяла накопиченню в орному шарі ґрунту рухомих сполук фосфору і калію, тоді як вміст азоту сполук, що легкогідролізовані, залежав від виносу елемента зростаючими урожаєми культури. У свою чергу, найвищий рівень продуктивності культури (3,85 т/га зерна і 4,47 т/га соломи) у середньому за 2017–2019 рр. визначений за післядії 1,0 Нг дози доломітового борошна у комплексі з внесенням мінеральних добрив ($N_{120}P_{60}K_{90}$), сірки (S_{40}) і дворазовим позакореневим підживленням мікроелементами (Нутривант Плюс зерновий). Критерієм оцінки рівня оптимізації умов живлення пшениці озимої могут слугувати баланс основних елементів. Господарський винос азоту, фосфору і калію становить основну частину їх відчуження з ґрунту. Із ростом урожайності основної і побічної продукції пшениці озимої відбувалося підвищення показників виносу азоту, фосфору і калію. Відповідно, у вищезазначеному варіанті відчуження елементів із урахуванням непродуктивних втрат були найбільшими: 180,6 кг/га N; 52,9 кг P_2O_5 і 88,9 кг/га K_2O . Загальне надходження елементів визначалося як нормою мінеральних добрив, так і кількістю НРК. Їхня частка в загальному надходженні становила 10–11%, 15–19% і 26–37% азоту, фосфору і калію відповідно, яка надійшла в ґрунт із соломою. У досліді показники балансів по варіантах, окрім контролю, мають додатній показник сальдо. Таким чином, вапнування дерново-підзолистого ґрунту 1,0-1,5 Нг дозою доломітового борошна за систематичного внесення мінеральних добрив $N_{120}P_{60}K_{90}$ сумісно з сіркою S_{40} і мікроелементами, як додатковими заходами, є дієвим способом оптимізації живлення пшениці озимої та збереження родючості.

Література

1. Сайко В.Ф. Сучасні технології вирощування конкурентоспроможного зерна *Особливості ведення зернового господарства України залежно від кон'юнктури ринку: Зб. наук. праць Інституту землеробства*. Спецвипуск. Київ : ЕКМО, 2004. С. 26–31.

2. Господаренко Г.М., Любич В.В., Калантир В.В. Удобрення пшениці твердої озимої. *The XI International Science Conference «Topical issues of modern science and education»*, March 11-13, 2021, Tallin, Estonia. P. 12–15 doi:10.46299/ISG.2021.I.XI.

3. Гамаюнова В.В., Литовченко А.О. Реакція сортів пшениці озимої на фактори та умови вирощування в зоні Степу України. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва. Серія : Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання*. 2017. № 1. С. 43–52.

4. Лукашук Л.Я. Вплив зміни клімату на продуктивність пшениці озимої залежно від строків сівби. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2012. Вип. 9(24). С. 91–94.

5. Ijkić, D., Kovačević, V., Rastija, M., Antunović, M., Horvat, D., Josipović, M. i Varga, I. Long term effect of Fertdolomite on soil, maize and wheat status on acid soil of eastern Croatia. *Journal of Central European Agriculture*. 2019. Vol. 20 (1). P. 461–474. URL : <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.1.2140>.

6. Baquy, M. A.-A., Li, J.-Y., Xu, C.-Y., Mehmood, K., and Xu, R.-K.: Determination of critical pH and Al concentration of acidic Ultisols for wheat and canola crops. *Solid Earth*. 2017. Vol. 8. P. 149–159. URL: <https://doi.org/10.5194/se-8-149-2017>, 2017.

7. Тихоненко Д.Г., Новосад К.Б., Гавва Д.В. Елементарні ґрунтові процеси (ЕГП) агрогенних дерново-підзолистих і чорноземних ґрунтів Лісостепу і Полісся України. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва. Серія : Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2017. № 1. С. 5–11.

8. Dobermann, A., Cassman, K. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil*. 2002. Vol. 247. P. 153–175. URL: <https://doi.org/10.1023/A:1021197525875>.

9. Дегодюк С.Е., Літвінова О.А., Кириченко А.В. Баланс поживних речовин за тривалого застосування добрив у зернопросапній сівозміні. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 7. С. 16–19.

10. Польовий В.М. *Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві*: монографія. Рівне : Волинські обереги, 2007. 320 с.

11. *Агрохімічний аналіз*: практикум. За ред. М.М. Городнього. Київ : Арістей, 2007. 273 с.

12. Григорів Я., Стельмах О. Зміна поживного режиму дерново-підзолистого ґрунту за вирощування ріпаку озимого в короткоротаційній сівозміні. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія*. 2019. № 23. С. 41–44. URL : <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.041>.

13. Польовий В.М., Кулик С.М. Вплив застосування добрив та вапнякових меліорантів на поживний режим дерново-підзолистого ґрунту за вирощування сої в умовах Західного Полісся *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Агрономія*. 2017. Вип. 269. С. 185–193.

14. Єщенко В.О. Польові сівозміни України, якими їм бути: довго– чи короткоротаційними ? *Зб. наук. пр. Уманського національного університету садівництва*. 2016. Вип. 89. Ч. 1: Сільськогосподарські науки. С. 43–49.

15. Літвінов Д.В., Борис Н.Є. Зміна органічної речовини та біогенних елементів під культурами у сівозмінах. *Землеробство*. 2018. Вип. 2. С.14–19.

16. Камінський В.Ф., Сайко В.Ф. Землеробство ХХІ століття – проблеми та шляхи вирішення. *Землеробство*. 2015. Вип. 2. С. 3–11.

Information about the authors:

Polovyi Volodymyr Mefodiiiovych,

Doctor of Agricultural Science, Professor,

Academic of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,

Director

Institute of Agriculture of Western Polissia of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

5, Rivnenska str., Shubkiv, Rivne region, 35325, Ukraine

Yashchenko Liudmyla Anatoliivna,

Candidate of Agricultural Science,

Leading Researcher

Institute of Agriculture of Western Polissia of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

5, Rivnenska str., Shubkiv, Rivne region, 35325, Ukraine