

# ОПТИМІЗАЦІЯ ЖИВЛЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL CROPS' NUTRITION

УДК 631.8

## Дев'ять наблизень сучасної системи удобрення сільськогосподарських культур

М.М. Мірошніченко\*, Є.Ю. Гладкіх, А.В. Ревтьє-Уварова, Є.В. Панасенко,  
А.М. Звонар, Г.В. Сорокотяга, С.С. Коваленко, В.М. Смиченко

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 07.07.2018 Отримано після доопрацювання 05.08.2018 Затверджено до друку 06.08.2018 Доступно онлайн 01.10.2018</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>елементи живлення; системи удобрення рослин; керування живленням; сільськогосподарські культури; діагностика живлення; неоднорідність ґрунтового покриву.</p>	<p>Піднято проблему підвищення коефіцієнтів використання елементів живлення з добрив та наблизення до максимально можливої окупності системи удобрення врожаєм за якнайбільшого врахування усіх чинників, що впливають на ці показники. Основною метою було обґрунтувати доцільність подальших послідовних наблизень системи удобрення до реальних потреб кожної вирощуваної рослини. Показано необхідність врахування сучасних селекційно-генетичних досягнень та сортової специфіки живлення у розробці систем удобрення, а саме, збалансованості елементів живлення, для більш повної реалізації потенціалу сортів та гібридів. Однак, проблемним питанням у цьому напрямі залишається складність та недостатня точність методів рослинної діагностики живлення, для ефективного вирішення якого запропоновано використання функціональної рослинної діагностики. Акцентовано увагу на врахуванні гідротермічних умов року при коригуванні норм та способів внесення добрив, глибини їх заробки, комбінуванні із стресопротекторами та стимуляторами росту для досягнення високих врожаїв. На останок зазначено важливу роль у стратегії господарств економічної доцільності максимально можливої окупності систем удобрення та шляхи досягнення оптимізації прибутковості й окупності витрат.</p>

\*E-mail: [ecosoil@meta.ua](mailto:ecosoil@meta.ua)

### 1. Вступ

Менеджмент живлення сільськогосподарських культур у сучасних технологіях їх вирощування займає одне з чільних місць за фінансовими витратами, і водночас, є надзвичайно поліваріантним, що обумовлено різноманіттям форм, видів та марок добрив, слабкістю прогнозу погодних умов вегетаційного періоду, специфікою господарської стратегії та неоднаковими ресурсними можливостями різних агровиробників.

Згідно з даними V.C. Baligar та N.K. Fageria [1], частка вартості внесення добрив у сучасній агрономії становить, в середньому, близько 30 % загальних витрат. У землеробстві України ці цифри значно нижчі. Розрахунки, виконані А.В. Кучером [2] за даними держслужби статистики на 2016 р., показують, що частка витрат коштів на мінеральні добрива становить в середньому 18,8 % (від 16,9 % для соняшника до 25,5 % для пшениці озимої).

Середня ефективність використання азоту добрив у світі становить близько 33 %, фосфору – менше 20 %, калію – менше 40 %, мікроелементів – від 10 до 15 % [3]. Ці показники дуже сильно варіюють у різних країнах залежно від сільськогосподарської культури, забезпеченості ґрунтів поживними елементами, гідротермічних умов, норми внесення добрив, їхньої форми, способу та глибини внесення, збалансування живлення тощо [4, 5]. Унаслідок цього, завданням розробників системи удобрення в кожному конкретному випадку є максимальне врахування усіх впливових чинників, кожен з яких сприяє підвищенню коефіцієнтів використання елементів живлення з добрив. Із кожним врахованим чинником ми досягаємо все більшого наблизення до максимально можливої окупності системи удобрення врожаєм та якістю вирощуваної продукції. Мета цієї статті, як нового циклу досліджень відділу агрохімії ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» – обґрунтувати доцільність подальших послідовних наблизень системи удобрення до реальних потреб кожної вирощуваної рослини.

### 2. Чотири базові наблизення

Традиційна система удобрення, яка домінувала в нашій країні у 80-ті роки минулого століття, базувалася на чотирьох основних наблизеннях: (1) фізіологічна

потреба окремих видів сільськогосподарських культур в елементах живлення протягом вегетації; (2) запланований або очікуваний рівень врожаю; (3) зональні ґрунтово-кліматичні умови території; (4) ступінь насиченості ґрунтів доступними рослинам формами елементів живлення. Урахування цих особливостей дозволяло досягти рівня окупності 1 кг NPK добрив зерном пшениці озимої в межах 2,3–5,7 кг у Степу, 2,3–6,1 кг у Лісостепу, 3,3–7,7 кг у Поліссі, зерном кукурудзи 1,4–4,1 кг у Степу, 3,0–4,7 кг у Лісостепу [6], що було достатнім та економічно виправданим на той час.

Подальше удосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур, засобів захисту рослин, сільськогосподарської техніки та селекційно-генетичні досягнення дозволили значно підняти як рівень урожайності, так і окупність мінеральних добрив. За даними вчених Інституту зернових культур НААН, якщо за період 2001–2008 рр. за норми внесення  $N_{60}P_{60}K_{30}$  окупність 1 кг д.р. становила 6,3–7,3 кг зерна пшениці озимої, то у 2008–2015 рр. – 9,7–17,0 кг [7]. Неабиякої вагомості у підвищенні врожайності сільськогосподарських культур та окупності добрив набувають врахування глобальних змін клімату та зростання концентрації  $CO_2$  в атмосферному повітрі. Узагальнення 38-річного тренду (1976–2013) врожайності культур польової сівозміни на чорноземі типовому центрально-лівобережного Лісостепу [8] свідчить про збільшення віддачі від внесених добрив на 123 %. На цей час генетично та екологічно обумовлена окупність добрив істотно збільшилася [9], і нормою вже стає 12–14 кг зерна на 1 кг діючої речовини та більше [2, 10]. На жаль, темпи дорожчання енергоносіїв та вартості мінеральних добрив в Україні є вищими, ніж позитивний тренд збільшення ефективності добрив. Це змушує намагатися досягати більш високого рівня наближення системи удобрення до реальних потреб кожної рослини на полі.

### 3. Наближення п'яте: збалансованість живлення

Вміст та співвідношення основних елементів живлення у сільськогосподарських рослинах сучасної селекції значно відрізняється від параметрів 20–30-річної давнини. Останніми роками селекційно-генетичні розробки були спрямовані на більш ефективне споживання азоту, завдяки чому значною мірою й було досягнуто вищого рівня врожайності культур. Це призвело до зміни як співвідношення між основними елементами живлення, так і до посилення важливості мезо- та мікроелементів. Наприклад, на відміну від співвідношення N:P:K як 1 : 0,35 : 0,24, закріпленого у нормативах вмісту поживних речовин у зерні пшениці [11,12], ця пропорція у сучасних сортах, що знаходяться на випробуванні, становить 1 : 0,27–0,30 : 0,22 (Табл. 1).

**Таблиця 1**

Вміст елементів живлення в основній та побічній продукції пшениці озимої 30 сортів, що знаходилися на сортовипробуванні у 2016–2017 рр.

Продукція	Елемент живлення	Масова частка елементів, %					
		2016 р.			2017 р.		
		середнє значення	межі відхилень	стандартне відхилення	середнє значення	межі відхилень	стандартне відхилення
Зерно	N	2,13	1,84-2,55	0,21	2,31	1,69-2,67	0,23
	P	0,64	0,53-0,78	0,05	0,62	0,54-0,77	0,05
	K	0,47	0,42-0,53	0,03	0,50	0,45-0,58	0,03
Солома	N	0,36	0,25-0,73	0,12	0,50	0,34-0,71	0,10
	P	0,08	0,05-0,15	0,03	0,09	0,04-0,14	0,02
	K	2,21	1,53-2,79	0,30	1,23	0,75-1,80	0,23

Як було показано в роботі М.А. Ткаченко та Ю.М. Драч [13], неврахування генотипного співвідношення елементів живлення та орієнтація на застарілі норми внесення NPK може призвести навіть до збитковості системи удобрення, натомість, правильне співвідношення та доповнення мезоелементами Ca і Mg дозволяє мало не вдвічі збільшити прибутковість цього заходу. Зміна співвідношення NPK у системі удобрення у бік посилення азотної складової є загальносвітовою тенденцією. В 1980 році у світі середнє співвідношення  $N : P_2O_5 : K_2O$  у складі внесених добрив становило

2,5 : 1,3 : 1, але у 2008 р. вищезазначена пропорція вже дорівнювала 3,6 : 1,4 : 1 [14]. Поряд із цим, ефективність використання внесеного азоту залишає бажати кращого. За оцінкою В.Н. Shoshetal [15], якщо коефіцієнт використання азоту добрив для більшості польових культур у наукових польових дослідках становить від 46 % до 65 %, то у виробничих умовах – не перевищує 20–40 %. За узагальненням результатів 241 досліді з добривами у Китаї, Індії та Північній Америці, Р.Е. Fixen та ін. [16] виявили, що збалансована система удобрення забезпечує 54 % ефективного використання внесених поживних елементів, тоді як за традиційної системи цей показник становить лише 21 %.

На жаль, у виробничих умовах дуже важко досягти високого ступеня збалансованості живлення рослин на кожному полі, адже методи рослинної діагностики до цього часу залишаються занадто складними для пересічного користувача та недостатньо точними. Ці недоліки обмежують практичне застосування нормативного методу діагностики, розробленого В.В. Церлінг [17], та методу критичних концентрацій (Critical Nutrition Concentrations (CNC), Critical Value Approach), обґрунтованого А. Ulrigh, F.J. Hill [18] та Т.Е. Bates [19]. Причиною невідповідності цих методів вимогам практики є постійна зміна концентрації елементів живлення у тканинах унаслідок росту рослини, що робить оцінювання за нормативами дуже довільним. Подальший розвиток методів діагностики живлення пов'язаний із розробкою методу DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System), заснованого на нормуванні парних співвідношень концентрації елементів живлення у рослинах високоврожайних популяцій, які приймаються за умовний еталон збалансованості живлення [20]. Парний принцип оцінки збалансованості живлення використовується також і в інших методах: способі визначення елементів, що лімітують живлення [21], або оптимального співвідношення елементів у тканинах [22]. Отже, сучасні дослідники пов'язують дефіцит живлення рослин більше із порушенням співвідношень елементів, аніж з дефіцитом одного з них.

Спробою обійти громіздкі обчислення за вищенаведеними методами є запропонований Б.О. Ягодіним метод функціональної діагностики, заснований на реакції хлоропластів на уведення до їх суспензії речовин, що містять окремі елементи живлення. Через нестабільність суспензії цей метод має низьку відтворюваність результатів, тому належить до напівкількісних. Застосування функціональної діагностики також обмежене за дефіциту вологи у ґрунті або за недостатнього освітлення рослин [23], тому її доцільно проводити у комплексі з азотною ґрунтовою діагностикою у найбільш відповідальні фази розвитку рослин. Економічна ефективність такого підходу до оптимізації живлення, що випробувався Є.В. Панасенком [24, 25] на ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» впродовж 2011–2013 рр., становила для жита озимого від 320 до 1000 грн/га, ячменю – від 1040 до 1160 грн/га, сояшника – від 340 до 720 грн/га (Табл. 2).

#### Таблиця 2

Урожайність культур зерно-просапної сівозміни за підживлення за результатами оперативної діагностики ґрунтів та рослин

Культура	Система удобрення	Урожайність, т/га
Жито озиме	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,07
	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + підживлення в фазу куцїння та виходу в трубку	4,56
Ячмінь ярий	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1,70
	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + підживлення в фазу куцїння та виходу в трубку	2,06
Сояшник	N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	2,58
	N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> + підживлення у фазу 7-9 листків	2,87

Наведені дані доводять доцільність подальшого вдосконалення методів рослинної діагностики для розширення можливостей коригування співвідношення елементів живлення в процесі онтогенезу. Найчастіше така потреба виникає позапланово у зв'язку з погодними аномаліями – посухою або перезволоженням, різким похолоданням або спекою.

#### 4. Наближення шосте: гідротермічні умови

Початок XXI ст. відзначився низкою інтенсивних посух на території України: навесні 2002 та 2003, восени 2011 та 2015, у весняно-літній період 2007, 2009, 2012 та 2018 та у літньо-осінній період 2017 років. Поряд з цим, кліматологи прогнозують загальне

поліпшення агрокліматичних умов вирощування пшениці озимої та деяких інших культур, які позитивно реагують на тренд перерозподілу гідротермічних ресурсів впродовж року [26, 27]. Узагальнення результатів тривалого стаціонарного дослідження відділу агрохімії ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» [28, 29] показують, що за останні 45 років дійсно простежується тенденція як до збільшення врожайності пшениці озимої, так і до підвищення окупності мінеральних добрив. Визначальний вплив на окупність має сума опадів у квітні-травні (Рис. 1), коли «ростове розбавлення» концентрації поживних речовин у тканинах рослин найбільш виражено.

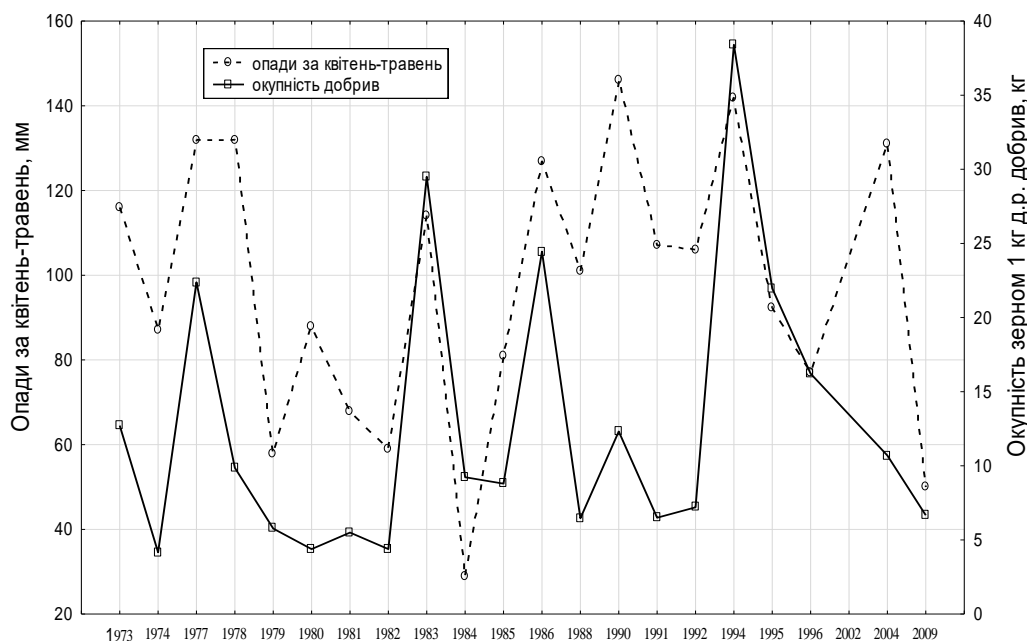
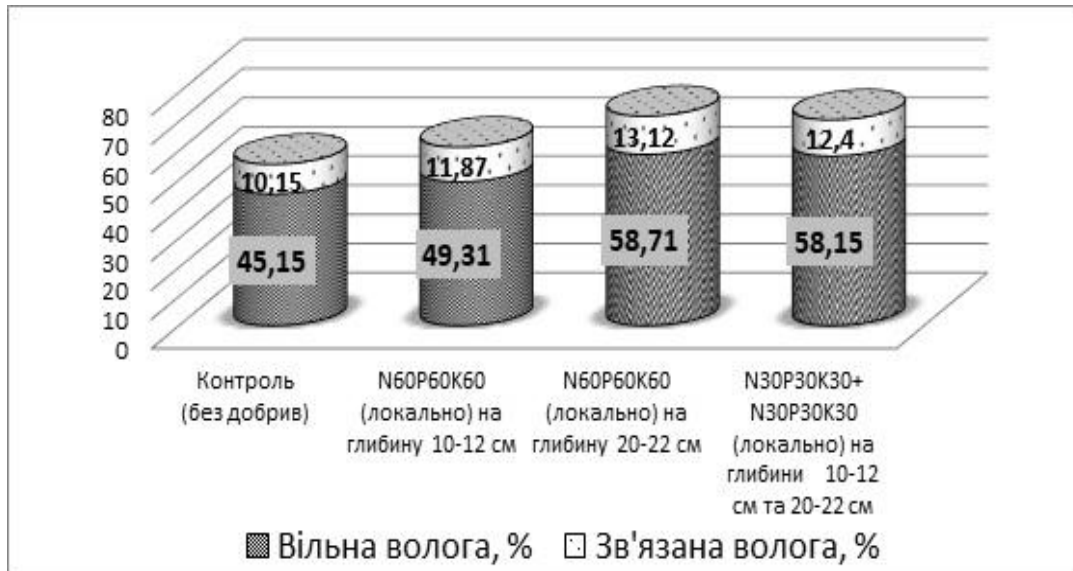


Рис. 1. Варіювання окупності мінеральних добрив зерном пшениці озимої на чорноземі типовому важкосуглинковому за різної суми опадів у квітні-травні

За високого ризику настання посушливих умов у критичні фази розвитку пшениці необхідно мати можливість скоригувати норму внесення азоту під час вегетації. Наприклад, для «зернового поясу» австралійського штату Вікторія, де кількість опадів є дуже мінливою, Р. Нортон [30] рекомендує переносити у підживлення від 50 до 100 % азотних добрив для запобігання утворенню занадто великої вегетативної маси та недобору зерна. Аналогічно чинять і в Україні, роблячи 1–2 підживлення на більш посушливому сході та 2–3 підживлення у західному краї. Однак, проблема падіння ефективності добрив за умов посушливої весни повністю не вирішується диференціацією доз азоту. Не менш важливими факторами є глибина внесення добрив, їх форма та вдале поєднання добрив і стимуляторів росту рослин. Локальне внесення добрив на глибину від 15 до 20 см, що є цілком можливим для сучасних технічних засобів, стимулює кореневу систему до розвитку у більш глибоких шарах. Результати наших досліджень у посушливу весну 2018 р. (у межах польового дослідження на чорноземі типовому) свідчать, що локалізація добрив на глибині 20–22 см нижче насіння та внесення їх у дві стрічки (на глибинах 10–12 та 20–22 см) сприяє збереженню вільної вологи у тканинах рослин у 1,2–1,3 раза більше, ніж на варіанті з унесенням добрив у стрічку на глибину 10–12 см (Рис. 2).

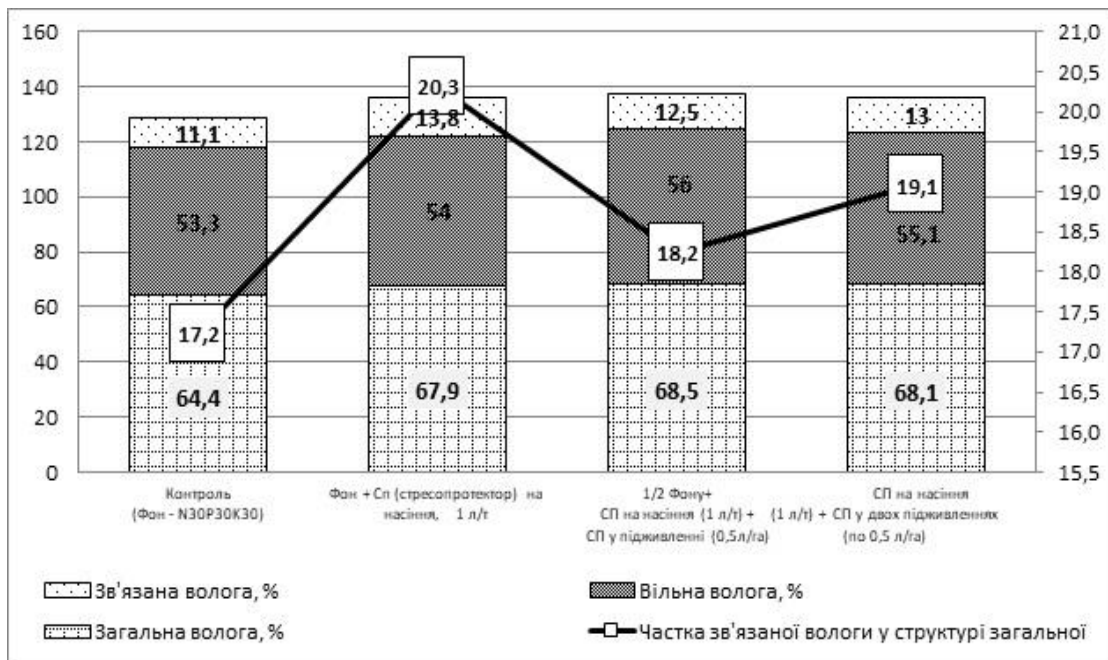
На наш погляд, важливість підорного шару в живленні рослин є недооціненою. Між тим, потужність активного кореневмісного шару, в якому відбувається активне «перехоплення» нітратного азоту коренями польових культур, становить не менше 100 см [31]. Дослідження у цьому напрямі ведуться у різних країнах і, судячи з публікацій, показують непогані результати [32, 33]. Узагальнення результатів 34 польових експериментів з локалізації добрив, проведених у світі в період з 2000 до 2015 р. і 40 дослідів у період з 1985 до 2015 р., показало, що локалізація фосфатів у поєднанні із сечовиною збільшує приріст урожаю у середньому на 27,3 %, сечовини – на 11,70 %, амонійних добрив – на 3,8 %, причому ефективність підвищується за збільшення глибини більше ніж на 10 см [34]. Важливість більш глибокого розміщення добрив зростає ще й тому, що система біохімічної регуляції азотного обміну в рослинному організмі та складність зворотного зв'язку транспорту N на цей час перешкоджають подальшому збільшенню поглинання нітратів шляхом генетичної модифікації рослин.



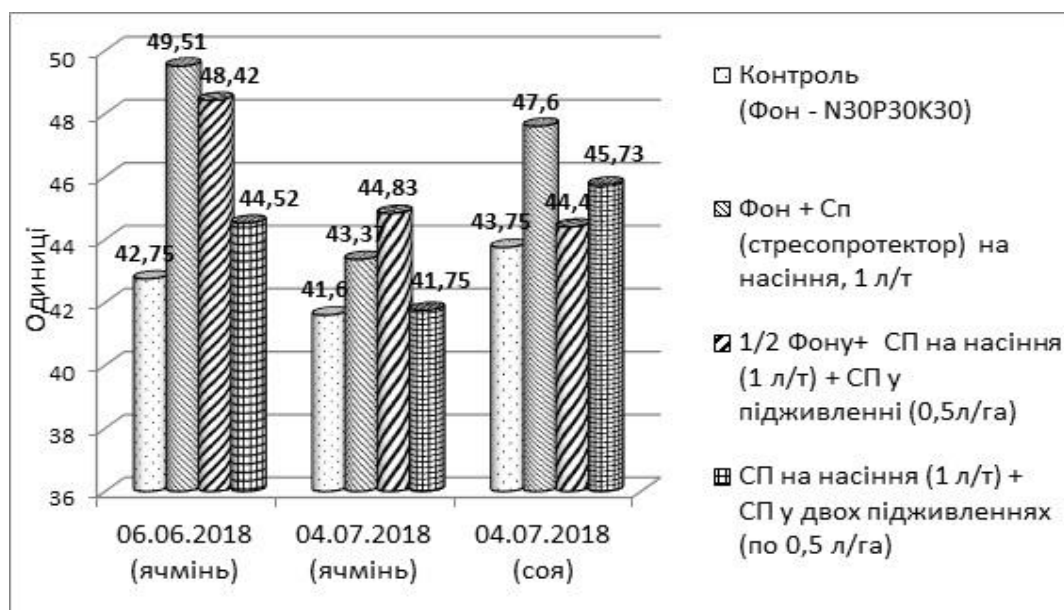
**Рис. 2.** Вплив різноглибинного внесення мінеральних добрив на фракційний склад вологи у тканинах рослин ячменю ярого

На сучасному етапі подальшою метою генетичних удосконалень вважають збільшення потужності проростання та росту рослин у ранній вегетативній фазі, що в поєднанні з відповідним позиційним розміщенням добрив ще більше посилить ефективність споживання цього елемента [35].

Другим напрямом наближення системи удобрення до гідротермічних умов поточного року є комбінування добрив із стресопротекторами та стимуляторами росту, на які покладено завдання активізувати природні захисні механізми рослини у періоди абіотичних стресів та прискорити відновлення нормального живлення після їх завершення. За нашими даними, передпосівна обробка насіння стресопротектором на фоні удобрення сприяє накопиченню та збільшенню частки зв'язаної вологи у тканинах рослин під час весняної посухи, що підтримує структуру колоїдів та забезпечує функціонування як ферментної системи, такі клітини загалом (Рис. 3). Завдяки цьому досягається значне збільшення вмісту хлорофілу у листках рослин (Рис. 4) та відповідне накопичення пластичних речовин у тканинах.



**Рис. 3.** Основні характеристики фракційного складу вологи у тканинах рослин ячменю ярого за комбінування добрив із препаратом стресопротекторної (СП) дії (Польовий дослід на чорноземі типовому в Харківській області, 2018)



**Рис. 4.** Вміст хлорофілу у рослинах ячменю та сої за комбінування добрив із препаратом стресспротекторної (СП) дії (Польовий дослід на чорноземі типовому в Харківській області, 2018)

## 5. Наближення сьоме: сортова специфіка живлення

У фундаментальному огляді, присвяченому механізмам генотипової варіабельності мінерального живлення, V.C. Valigarand та R.R. Duncan [5] ще у 1990 р. резюмували, що інформація щодо процесів живлення різних сортів рослин дуже обмежена та потребує більшої уваги. Маса врожаю, що припадає на 1 кг фосфору (внесеного з добривами), для «найбільш ефективного» та «неефективного сорту» кукурудзи становить 625 та 125 кг, калію – 46 та 18 кг, кальцію – 256 та 115 кг, магнію – 476 та 333 кг відповідно [3]. Було запропоновано поділяти генотипи на чотири групи за їхнім відкликом на удобрення: неефективні нечутливі (NENR), неефективні чутливі (NER), ефективні чутливі (ER) та ефективні нечутливі (ENR). Відзначається також, що критичні концентрації (CNC) можуть бути однаковими для різних сортів, але їхній відгук на удобрення буде неоднаковим [36]. Зокрема, P.V. Barraclough та ін. [37] виявили, що вміст азоту в зерні пшениці озимої різних сортів коливається від 1,1 % до 2,8 %, а вихід азоту на 1 кг виносу азоту надземною біомасою – від 27 до 77 кг сухої речовини. Аналогічна різниця притаманна сортам пшениці озимої і щодо фосфору [38].

Однак, до цього часу системою удобрення сільськогосподарських культур сортів особливості живлення рослин не враховуються, що знижує ефективність споживання поживних речовин. Окрім того, для реалізації генетичного потенціалу нових сортів необхідним є ще більш детальне (ніж раніше) врахування їхніх специфічних потреб щодо мінерального живлення. Серед досліджених нами у 2017 р. 30 сортів пшениці озимої, найбільші відмінності за вмістом азоту спостерігали в фазу трубкування (2,3–4,4 %), а фосфору та калію – у фазу куцнення (0,59–1,1 % та 3,8–6,2 % відповідно) (Рис. 5). Значні розбіжності між сортами встановлено також за вмістом мікроелементів. Зокрема, виявлено, що за рахунок ростового розбавлення середній вміст цинку в тканинах рослин пшениці зменшується від фази куцнення до фази трубкування з 32 до 17 мг/кг, міді – з 10 до 2 мг/кг, заліза – з 164 до 94 мг/кг, марганцю – з 58 до 48 мг/кг, що відображує їхню відносну фізіологічну значущість у цей період: Cu – 80 %, Zn – 50 %, Fe – 42 %, Mn – 17 %.

У науковій літературі є достатньо багато свідчень про значно відмінну реакцію окремих сортів на певні види добрив або системи удобрення. Особливо наочною є різниця для сортів та гібридів різних груп стиглості. За нашими даними, якщо формування врожаю гібриду кукурудзи НС 251 з ФАО 250 на чорноземі опідзоленому майже не залежало від способу внесення та форми азотних добрив, то за вирощування гібриду ДК 291 з ФАО 280 більш ефективним виявилось локальне внесення безводного аміаку, що сформувало осередок накопичення азоту у більш глибоких шарах ґрунту (Рис. 6).

На наш погляд, ці відмінності між сортами є настільки вагомими, що обов'язково мають бути визначеними ще на етапі сортовипробування, а їх урахування у системі удобрення дійсно дозволить наблизити її до реальних потреб рослин.

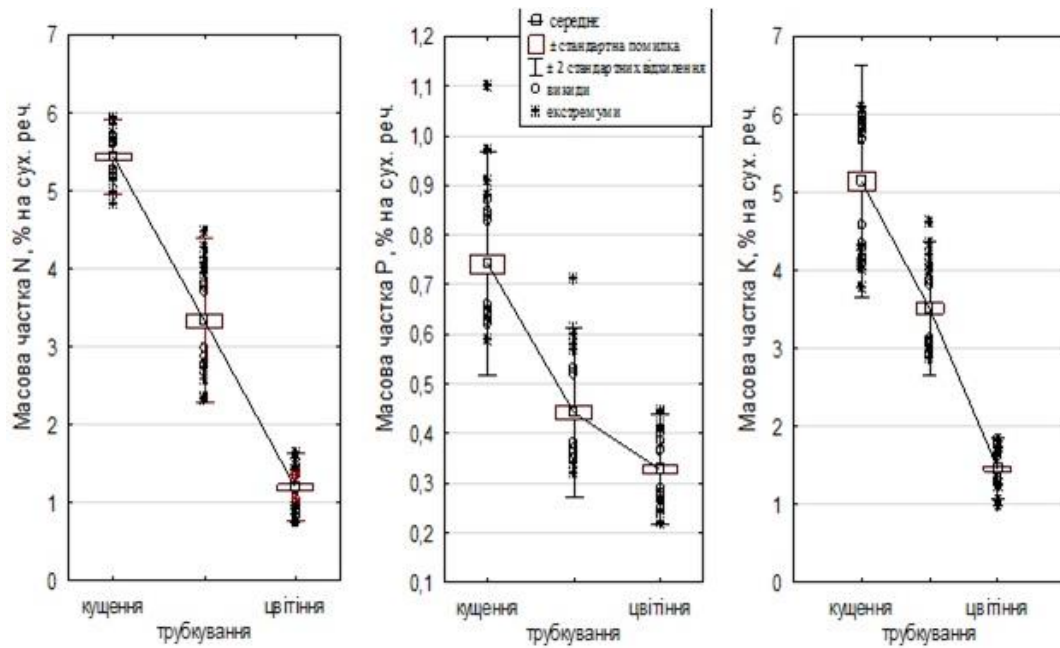


Рис. 5. Динаміка вмісту NPK у надземній масі пшениці озимої з урахуванням сортової специфіки

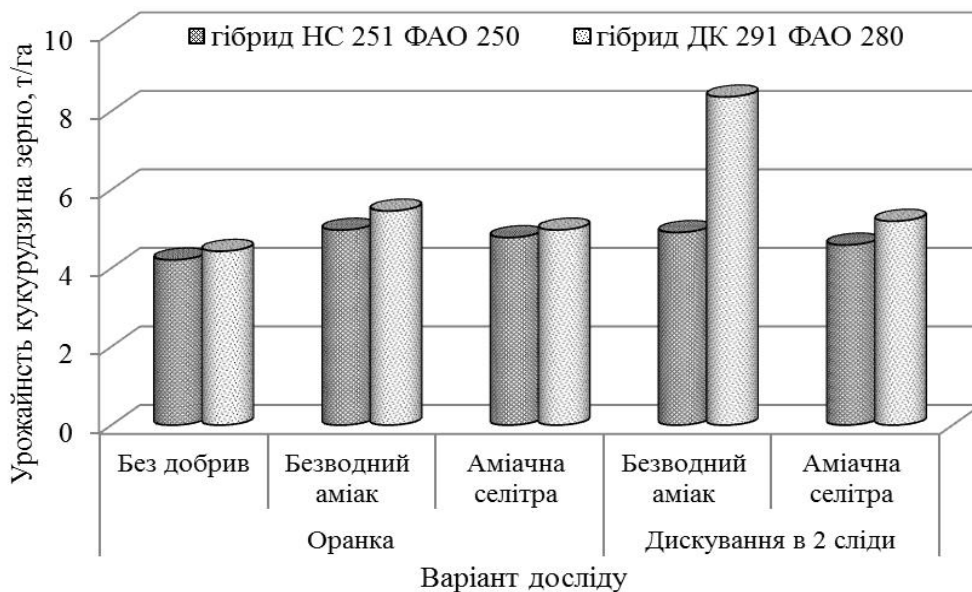


Рис. 6. Урожайність зерна середньоранніх гібридів кукурудзи за внесення різних азотних добрив на фоні різних способів обробітку ґрунту

## 6. Наближення восьме: просторова неоднорідність

Наближення системи удобрення до потреб кожної окремої рослини на полі не є можливим без адекватного урахування неоднорідності ґрунтового покриву. Однак, на фоні вражаючого прогресу в технічному забезпеченні точного землеробства, успіхи у точному керуванні живленням рослин за останні 20 років досить невеликі. На цей час більш-менш відпрацьованою та реалізованою є технологія точного азотного підживлення, диференційованого у просторі за даними супутникового зондування, аерофотозйомки або надземних методів діагностики. Просторовий розподіл фосфорних, калійних, сіркових добрив та мікродобрив у межах поля залишається рівномірним, а норми внесення коригуються тільки на середні показники по полю. На наш погляд, причин цього декілька, а саме:

1) просторовий розподіл доступних рослинам форм фосфору та калію визначається різними чинниками, тому ареали різного ступеня насиченості ними ґрунтів не співпадають;

2) у зв'язку зі збільшенням вартості фосфорних та калійних добрив, господарства зменшують норми їх внесення до фізіологічно мінімального рівня – 15–20 кг д.р. на 1 га, а найбільш поширеною їх формою є нітроаммофоска;

3) мікродобрива найчастіше застосовуються шляхом обробки насінневого матеріалу та позакоренево у складі бакової суміші із засобами захисту рослин та стимуляторами росту, що унеможлиблює диференціацію;

4) довести економічну доцільність просторової диференціації норм внесення добрив дуже важко, адже кожне поле є унікальним і виключає можливість «господарського контролю» для порівняння.

Перші три причини можуть бути непереборними перешкодами для впровадження технології точного керування живленням рослин, якщо не буде усунуто четверту причину, тобто, доки наочно не буде доведено економічної ефективності просторової диференціації удобрення. Методичні засади таких науково-виробничих дослідів добре викладені Р.О. Афанасьєвим [39], а ґрунтовий покрив Полісся та більшої частини Лісостепу України дуже добре підходить для організації полігону, на якому б можна було довести переваги точного землеробства у площині агрохімічного забезпечення.

### 7. Наближення дев'яте: економічна доцільність

Висока окупність добрив урожаєм не є самоціллю, а лише одним із цільових орієнтирів. У англійській агрохімічній літературі навіть є такий фразеологізм «efficient does not necessarily mean effective», що означає «дієвий не обов'язково означає результативний» [15]. Найвищу окупність, як правило, досягають за найбільш низьких норм внесення добрив, але це не завжди відповідає економічній стратегії господарства. Залежно від специфіки останньої, наявних фінансових та сировинних ресурсів доцільними можуть бути різні варіанти системи удобрення (Табл. 3).

**Таблиця 3**

*Стратегії удобрення за різної забезпеченості господарства фінансовими та сировинними ресурсами*

Фінансові ресурси	Сировинні ресурси	Цільовий орієнтир прибутку	Цільовий орієнтир окупності витрат	Цільовий орієнтир підвищення родючості ґрунту
достатні	наявні	максимум	оптимум	легко досяжний
	відсутні	оптимум	мінімум	досяжний
обмежені	наявні	оптимум	максимум	досяжний
	відсутні	мінімум	оптимум	важко досяжний

Найкращих результатів можна досягти за використання місцевих сировинних ресурсів (відходів тваринництва та птахівництва, сапропелю, торфу тощо). У цьому випадку досить легко оптимізувати прибутковість і окупність витрат та досягти простого або розширеного відтворення родючості ґрунту. Таку стратегію, наприклад, обрано в ТОВ «Науково-виробнича фірма «Урожай», де на значній частині землекористування площею понад 90 тис. га вже досягнуто високого та дуже високого рівня вмісту у ґрунті рухомого фосфору. За таких умов упровадження системи удобрення, максимальне наближення дозволяє у сприятливі роки одержувати врожайність сільськогосподарських культур на рівні генетично обумовленої. З іншого боку, за відсутності власних джерел поповнення балансу поживних речовин підвищення рівня наближення системи удобрення дає можливість збільшити врожайність за рахунок інтенсифікації кругообігу поживних речовин у ґрунті і, таким чином, оптимізувати процеси відтворення родючості.

### Список використаної літератури

1. Baligar V.C., Fageria N.K. Nutrient Use Efficiency in Plants: An Overview. Nutrient Use Efficiency: from Basis to Advances. Eds. A. Rakshit, H. B. Singh, A. Sen. New Delhi: Springer India, 2015. P. 1–16.
2. Кучер А., Кучер Л. Економіка використання мінеральних добрив в сільському господарстві. Пропозиція : електрон. версія журн. URL <https://propozitsiya.com/ua/ekonomika-vykorystannya-mineralnyh-dobryv-v-silskomu-gospodarstvi> (дата звернення 23.01.2017).
3. Baligar V. C., Fageria N. K., He Z. Nutrient efficiency in plants. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 2001. Vol. 32, № 7-8. P. 921–950.
4. Roberts T.L. Improving Nutrient Use Efficiency. *Turkish Journal Agriculture and Forestry*. 2008. Vol. 32. № 3. P. 177–182.



5. Baligar V.C., Duncan R.R. Crops as Enhanced of Nutrient Use. San Diego: Academic Press Inc., 1990. 574 p.
6. Довідник працівника агрохімслужби / За ред. Б. С. Носка. Київ : Урожай, 1991. 263 с.
7. Вплив агроекологічних і технологічних чинників на формування врожайності пшениці озимої у Південно-східному Степу / А. В. Черенков, В. Г. Нестерець, М. М. Солодушко [та ін.]. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 5. С. 18–26.
8. Demydenko A.V., Velychko V.A. Climatic Change Impact on the Grain Crops Yielding Capacity at Various Soil Cultivation Ways within Crop-Sugar Beet Rotation Agrocenoses in the Left-Bank Ukrainian Forest-Steppe. *Agricultural science and practice*. 2014. Vol. 1, № 2. P. 61–71.
9. Харченко О.В., Прасол В.І., Петренко Ю.М. До проблеми оцінки ефективності мінеральних добрив та екологічних обмежень їх норми. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвідомчий тематичний збірник. С. 10-18. 2015. № 82. Харків, ННЦ ІГА. С. 50–54.
10. Доценко А.В. Норми мінеральних добрив: агроматематика. Пропозиція : електрон. версія журн. URL<https://propozitsiya.com/ua/normy-mineralnyh-dobryv-agromatematyka>(дата звернення 15.08.2016).
11. Розрахунок балансу гумусу і поживних речовин у землеробстві України на різних рівнях управління / С.А. Балюк, В.О. Греков, М.В. Лісовий, А.В. Комариста. Харків : КП «Міська друкарня», 2011. 30 с.
12. Господаренко Г.М. Система застосування добрив : навч. посібник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2015. 332 с.
13. Ткаченко М.А., Драч Ю.М. Видове генотипне співвідношення елементів живлення як основа оптимізації удобрення сільськогосподарських культур. Збірник наук. праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2016. Вип. 1. С. 27–35.
14. Magen H. Balanced Crop Nutrition: Fertilizing for Crop and Food Quality. *Turkish Journal Agriculture and Forestry*. 2008. Vol. 32, № 3. P. 183–193.
15. Ghosh B.N., Singh R.J., Mishra P.R. Soil and Input Management Options for Increasing Nutrient Use Efficiency. Nutrient Use Efficiency: from Basis to Advances. Eds. A. Rakshit, H. B. Singh, A. Sen. New Delhi: Springer India, 2015. P. 17–27.
16. Capitalizing on multi-element interactions through balanced nutrition – a pathway to improve nitrogen use efficiency in China, India and North America /P. E. Fixen, J. Jin, K. N. Tiwari, M. D. Stauffer. *Science in China*. Series C Life Sciences. 2005. Vol. 48. P. 1–11.
17. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур : справочник. Москва: Агропромиздат, 1990. 235 с.
18. Ulrich A., Hill F. J. Principles and practices of plant analysis. Soil Testing and Plant Analysis. Ed. G. W. Hardy. Part II. Madison: SSSA, 1967. P. 11–24.
19. Bates T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation. *Soil Science*. Vol. 112. P. 116–130.
20. Bhaduri D., Pal Sh. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): Concept and Application on Nutritional Diagnosis of Plants: A Review. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2013. Vol. 12 (1). P. 70–79.
21. Патент РФ 2073423. Способ определения лимитирующих элементов питания растений / И.И. Ельников, А.И. Кочетов. А01Н1/04, А01G7/00. Заявл. 10.02.1993. Опубл. 20.02.1997.
22. Determination of optimum nutrient element ratios in plant tissue. A.G. Sinclair, J.D. Morrison, L.C. Smith, K.G. Dodds. *Journal of Plant Nutrition*. 1997. Vol. 20. Is. 9. P. 1069–1083.
23. Сапрыкина Т.И. Экологические особенности влияния малых доз хелатов металлов на биологические показатели ячменя и фитозэкстракцию ксенобиотиков : автореф. дис. на соиск.науч. степени канд. биол. наук.: [спец.] 03.02.08 «Экология (биология)». Владимир, 2012. 22 с.
24. Панасенко Є.В., Голота Є.В., Акімова Р.В. Ефективність корегування мінерального живлення ярого ячменю за різних рівнів удобрення та умов року. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомч. тематичн. наук. зб. Спец. випуск до IX з'їзду УТГА (30 червня – 4 липня 2014 року, м. Миколаїв). Кн. 3: Охорона ґрунтів від ерозії і техногенного забруднення, рекультивация, агрохімія, біологія ґрунтів. Харків: ТОВ «Смугаста типографія», 2014. С. 215-216.
25. Мірошниченко М.М., Панасенко Є.В. Диагностика та коригування живлення зернових та олійних культур. *Аграрна наука – виробництво*. 2015. № 2. С. 5.
26. Семенова І.Г. Синоптичні та кліматичні умови формування посушливих явищ в Україні :дис. д-ра геогр. наук. Одеса : Одеський держ. екол. університет, 2015. 296 с.
27. Кліматичні зміни та їх вплив на сфері економіки України : [монографія]. С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Н.С. Лобода [та ін.] / за ред. С.М. Степаненка та А.М. Польового. Одеса : Вид. «ТЕС», 2015. 520 с.
28. Носко Б.С., Гладких Е.Ю., Бабынин В.И. Агрогенная эволюция агрохимических показателей черноземов типичных. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тематичн. наук.зб. Вип. 81. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2014. С. 105-112.
29. Гладких Е.Ю. Продуктивность культур ланки сівозміни залежно від запасного внесення добрив та систематичного їх застосування. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тематичн. наук. зб. Вип. 79. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського». 2013. С. 15-21.
30. Нортон Р. Система применения удобрений под пшеницу в условиях изменчивого климата. *Питание растений*. 2012. № 4. С. 12–15.
31. Thorup-Kristensen K. Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses? *Plant and Soil*. 2009. Vol. 322. P. 101–114. DOI 10.1007/s11104-009-9898-z.
32. Depth of nitrogen fertilizer placement affects nitrogen accumulation, translocation and nitrate-nitrogen content in soil of reinfed wheat. W. Duan, Y. Shi, J. Zhao[et al.]. *International Journal of Plant Production*. 2015. Vol. 9 (2). P. 237–256.
33. Влияние разноглубинного внесения минеральных удобрений на продуктивность пшеницы в различных почвенно-климатических условиях сухой степи Забайкалья. А.С. Билтуев, Л.В. Буджапов, С.В. Хугакова [и др.]. *Агрохимия*. 2015. № 10. С. 18–24.
34. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: a review and meta-analysis. P.M. Nkebiwe,

M. Weinmann, A. Bar-Tal, T. Muller. *Field Crop Research*. 2016. Vol. 196. P. 389–401.

35. Sinclair T.R., Rufty T.W. Genetic improvement of water and nitrogen use to increase crop yields: A whole plant physiological perspective. *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*. Eds. P. Dreshel, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen, D. Wichelns. Paris: IFA, IWMI, IPNI, IPI, 2015. P. 87–108.

36. *Plant analysis: an interpretation manual*. 2<sup>nd</sup> ed. / Ed. D. J. Reuter, J. B. Robinson. Australia: CSIRO, 1997. 572 p.

37. *Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement*. P. B. Barraclough, J. R. Howarth, J. Jones[et al.]. *European Journal of Agronomy*. 2010. Vol. 33. P. 1–11.

38. *Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil*. L. Ozturk, S. Eker, B. Torun, I. Cakmak. *Plant and Soil*. 2005. Vol. 269. P. 69–80.

39. Афанасьев Р.А. Методика полевых опытов по дифференцированному применению удобрений в условиях точного земледелия. *Проблемы агрохимии и экологии*. 2010. № 1. С. 38–44.

UDC 631.8

## Nine approximations of modern fertilizer system of agricultural crops

**M.M. Miroshnichenko\***, E.Yu. Hladkikh, A.V. Revtie-Uvarova, E.V. Panasenko, A.M. Zvonar, G.V. Sorokotiaga, S.S. Kovalenko, V.M. Smichenko

NSC “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky”, Kharkiv, Ukraine

\*E-mail: [ecosoil@meta.ua](mailto:ecosoil@meta.ua)

The problem of increasing the rates of use of nutrient elements from fertilizers and approaching the maximum possible payback of the fertilizer system with the crop has been raised, taking into account all the factors influencing these indicators. The main objective was to substantiate the feasibility of further consistent fertilization system approximation to the real needs of each cultivated plant.

The necessity of taking into account modern breeding genetic achievements and specific nutritional characteristics is shown in the development of fertilizer systems, namely, the balance of nutrients, in order to realize the potential of varieties and hybrids more fully. However, the complexity and inadequate accuracy of the methods of plant nutrition diagnostics remains problematic, in order to solve the problem effectively, the use of functional plant diagnostics is proposed. The emphasis is on taking into account the hydrothermal conditions of the year when adjusting the norms and methods of fertilizing, the depth of their earnings, combining with stress-protectors and growth stimulators to achieve high yields. Finally, it is indicated an important role in economic strategy of farms for expediency of the maximum possible payback of fertilizer systems and ways to achieve optimization of profitability and return on costs.

**Keywords:** *elements of nutrition; fertilizer systems of plants; nutrition management; agricultural crops; nutrition diagnostics; heterogeneity of soil cover.*