

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ СОНЯШНИКУ В УМОВАХ ПАСМОВОГО ПОБУЖЖЯ

**Д. В. БАРАНСЬКИЙ**, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії)

Львівський національний університет природокористування

*Упродовж 2023–2024 рр. у фізико-географічному районі Пасмового Побужжя Лісостепу Західного проведено експерименти з нормами, видами і формами мінеральних добрив під соняшник. Мета досліджень – з'ясувати вплив мінеральних добрив на агрохімічні показники ґрунту та врожайність соняшника. Встановлено істотний позитивний вплив мікрогранульованих добрив, збагачених сіркою в нормах  $N_{2,2}P_{9,4}+S_1$  та  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$  за внесення в рядки при сівбі на фоні  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Це забезпечило ріст урожаю до 3,83–4,35 т/га, що на 0,10–0,62 т/га більше від традиційного контролю  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Статистичне моделювання зв'язків показало тісну залежність рівнів урожаю соняшника від показників родючості ґрунту, які регулювалися внесенням добрив.*

**Ключові слова:** легкогідролізний азот, рухомий фосфор, обмінний калій, сірка, мікрогранульоване добриво, соняшник.

**Постановка проблеми.** Збереження родючості ґрунтів України залишається актуальною проблемою, особливо в умовах ринкових відносин в агросекторі. Ріст цін на добрива зумовлює обмеження щодо їх застосування, спричинює порушення науково обґрунтованих норм та співвідношень внесення поживних елементів під культури з економічних мотивів. Порушення оптимальних систем удобрення культур загострює питання охорони родючості ґрунтів з активізацією трансформації клімату [1–4]. Зміщення природних зон у північному напрямку сприяє просуванню нових теплолюбних культур у нетрадиційні для них регіони. Зокрема, соняшник і кукурудза – культури, що потребують великої кількості поживних елементів для високих врожаїв. Тому вони можуть активніше виснажувати ґрунти, займаючи велику частку полів у сівозмінах. Прагнення отримати швидкий прибуток на тлі зміни структури посівних площ в Україні призвело до нещадної, ірраціональної експлуатації ґрунтових ресурсів [5, 6] та виснаження ґрунтів [7, 8]. Тому варто передбачати такі негативні наслідки для ґрунтів Західного Лісостепу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як показують розрахунки [1, 9], застосування мінеральних добрив упродовж 2015–2019 рр. в Україні зростало. Аграрні виробники 2019 року внесли 76 кг N, по 17 кг  $P_2O_5$  і  $K_2O$  на один гектар орних ґрунтів. Показник сумарної кількості N, P і K значно вищий у країнах Європи і коливається в межах 200–300 кг/га. Виробники не вносили необхідні

норми добрив і співвідношення між елементами живлення при удобренні культур. Перевага була надана азотним добривам.

Ефективність добрив залежить від гідротермічного режиму зон вирощування культур [6, 10–12]. У посушливі періоди вегетації мінералізація в ґрунті знижується, а у вологу погоду, коли вологість ґрунту зростає, в зоні кореневої системи мінералізація активізується. При регулярному застосуванні високих норм мінеральних добрив у ґрунтах створюється запас поживних речовин (N, P, K, Ca, Mg та інші) [11, 13]. Важливо поєднувати внесення азотних, фосфорних і калійних добрив з внесенням сірки, кальцію, магнію і враховувати їх вплив на рН орного шару ґрунту [5, 14, 15].

Вирощування соняшника вигідне, але має свої технологічні особливості, визначені біологією гібридів. Соняшник належить до культур із високою вимогливістю до родючості ґрунтів. Посів формує високоенергетичну біомасу, внаслідок чого споживає велику кількість елементів мінерального живлення. Для утворення 1 ц зерна він використовує в середньому 5,8–6,2 кг азоту, 2,5–2,7 – фосфору і 18,3–18,9 кг калію. Рівень споживання елементів живлення залежить від багатьох факторів: строків і способів внесення добрив, вологозабезпеченості, погодних умов, а також від генетичних особливостей сорту чи гібрида [16, 17]. У соняшника період засвоєння поживних речовин розтягнутий та нерівномірний, тому він потребує їх значно більше (особливо калію), ніж зернові культури.

У живленні соняшника виділяють три критичні періоди: 1) від появи сходів до формування кошика, коли рослини помірно засвоюють азот і калій та посилено – фосфор; 2) від початку формування кошика до початку цвітіння, коли рослини посилено засвоюють усі елементи живлення; 3) від початку цвітіння до початку наливання насіння і досягання, коли рослини знову помірно засвоюють азот і фосфор та посилено – калій [18]. Не вивченим до нині залишається питання мінерального живлення соняшнику азотом, фосфором, калієм і сіркою в нових для культури зонах промивного і напівпромивного режиму зволоження [19, 20].

**Метою наших досліджень** було вивчення дії азотного, фосфорно-калійного удобрення з внесенням сірки за різних норм і форм добрив на агрохімічні показники ґрунту та врожайність соняшника.

**Методика досліджень.** Досліди виконані у Львівському національному університеті природокористування (ЛНУП) впродовж 2023–2024 років. Дослідне поле знаходиться у м. Дубляни географічному районі Пасмового Побужжя природо-кліматичної підзони Західного Лісостепу: N 49°54'14"; E 24°05'10". Висота над р. м. 258 м. Польові дослідні заклали за традиційною методикою в агрономії, описаною В. О. Єщенком та ін. [21]. Дослідження ґрунтового шурфа перед початком робіт для з'ясування генетико-морфологічної будови профілю та відбору зразків для аналізу показало поширення тут темно-сірого опідзоленого ґрунту. Рельєф дослідної ділянки – виположена частина схилу. Вид угіддя – рілля. Поверхня ґрунту – грудкувата. Ґрунт – темно-сірий лісовий опідзолений легкосуглинковий слабогумусований – Greyic Luvic Phaeozem (WRB, 2015) [22].

Відповідно до плану експерименту перед закладанням дослідів до сівби, під час вегетації, фази бутонізації і після збирання було взято зразки ґрунту з

глибини 0–20 см. Аналізи виконали на базі філіалу кафедри агрохімії та ґрунтознавства ЛНУП в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН. Проби ґрунту відбирали і готували до аналізів згідно з ДСТУ ISO 11464 2001. Вміст легкогідролізного азоту за методом Корнфілда в шарі 0–20 см становить 92–95 мг/кг ґрунту, фосфору (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) за Чириковим (ДСТУ 4115-2002) у верхньому 20 см шарі становить 63–66 мг/кг ґрунту, рухомих сполук калію (K<sub>2</sub>O) за Чириковим (ДСТУ 4115-2002) – 70–73 мг/кг ґрунту.

Для експериментування з нормами і формами добрив і розробили схему дослідження (табл. 1). Технологія вирощування соняшника традиційна для зони.

**Табл. 1. Схема польового дослід з вивчення впливу припосівного удобрення мікрогранульованими добривами на врожай і якість насіння соняшнику**

Зміст варіанту	Форма добрив (фізична маса, кг/га)	Норма діючої речовини
Без удобрення (контроль)	–	
Фон – N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub>	НАФ* (400)	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>
Без фону + N <sub>10</sub> P <sub>46</sub> + S <sub>5</sub>	АФ** (22)	N <sub>2,2</sub> P <sub>10,1</sub> +S <sub>1,1</sub>
Без фону + N <sub>10</sub> P <sub>46</sub> + S <sub>5</sub>	АФ (44)	N <sub>4,4</sub> P <sub>20,2</sub> +S <sub>2,2</sub>
Без фону + N <sub>11</sub> P <sub>47</sub> + S <sub>5</sub>	МГД*** (20)	N <sub>2,2</sub> P <sub>9,4</sub> +S <sub>1</sub>
Без фону + N <sub>11</sub> P <sub>47</sub> + S <sub>5</sub>	МГД (40)	N <sub>4,4</sub> P <sub>18,8</sub> +S <sub>2</sub>
Фон + N <sub>10</sub> P <sub>46</sub> + S <sub>5</sub>	НАФ (400) + АФ (22)	N <sub>62,2</sub> P <sub>70,1</sub> K <sub>60</sub> +S <sub>1,1</sub>
Фон + N <sub>10</sub> P <sub>46</sub> + S <sub>5</sub>	НАФ (400) + АФ (44)	N <sub>64,4</sub> P <sub>80,2</sub> K <sub>60</sub> +S <sub>2,2</sub>
Фон + N <sub>11</sub> P <sub>47</sub> + S <sub>5</sub>	НАФ (400) + МГД (20)	N <sub>62,2</sub> P <sub>69,4</sub> K <sub>60</sub> +S <sub>1</sub>
Фон + N <sub>11</sub> P <sub>47</sub> + S <sub>5</sub>	НАФ (400) + МГД (40)	N <sub>64,4</sub> P <sub>78,8</sub> K <sub>60</sub> +S <sub>2</sub>

*Примітка: \* НАФ – нітроамофоска (гранули, до 4 мм) N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>15</sub> під передпосівну культивування в нормі 400 кг/га згідно схеми дослід; \*\* АФ – амофос із сіркою (гранули, до 5 мм) N<sub>10</sub>P<sub>46</sub> + S<sub>5</sub> при сівбі в нормі 22 та 44 кг/га згідно схеми дослід; \*\*\* МГД – мікрогранульоване добриво, мікрогранули UltraStart (мікрогранули 0,5-1,5 мм) N<sub>11</sub>P<sub>47</sub> + S<sub>5</sub> при сівбі в нормі 20 та 40 кг/га згідно схеми дослід.*

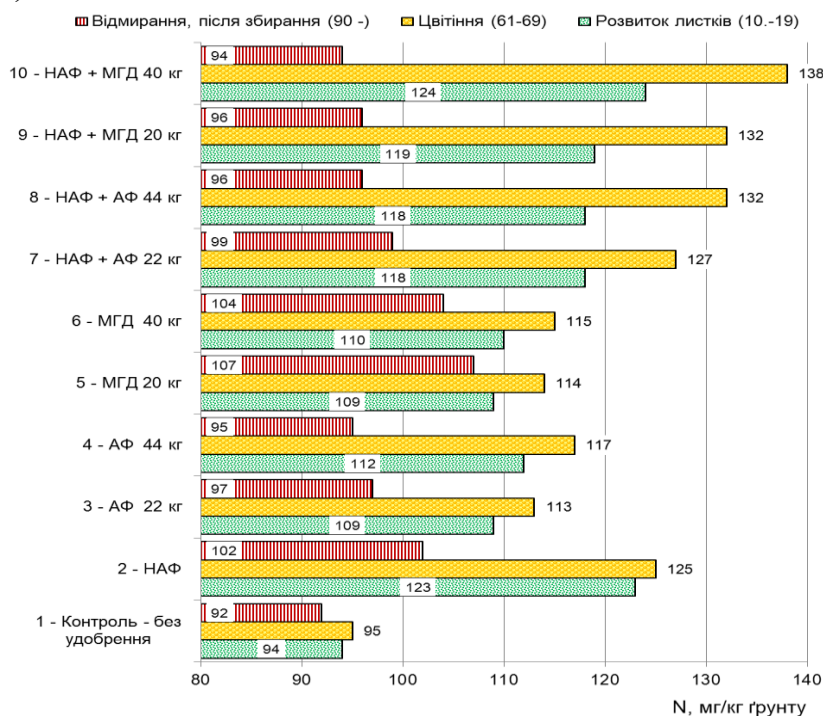
Статистичний аналіз даних виконали за допомогою програм MS Excel, Statistica 12, а також за допомогою програми Dispersion.exe. (<https://github.com/dimbaida/variance-analysis>).

**Результати досліджень.** На початку дослідження було зроблено агрохімічні аналізи орного шару темно-сірого опідзоленого ґрунту, результати яких потрапляють у діапазони параметрів, раніше встановлених багатьма авторами [5, 23, 24]. Наприклад: рН<sub>KCl</sub> – 5,7–5,9; гідролітична кислотність і сума ввібраних основ становили, відповідно, 2,80–2,40 і 22,0–22,7 ммоль/100 г ґрунту, вміст гумусу – 2,18–2,38 %, азоту легкогідролізних сполук – 71–92, рухомих сполук фосфору – 78–105 та калію – 75–96 мг/кг ґрунту.

Дослідженнями у Пасмовому Побужжі Західного Лісостепу [25, 26] встановлено, що за впливу різних доз мінеральних добрив в темно-сірому опідзоленому ґрунті при вирощуванні ячменю ярого вагомо змінюється вміст

азоту легкогідролізних сполук. Результати досліджень показали позитивну динаміку вмісту легкогідролізного азоту в темно-сірому опідзоленому ґрунті у варіантах із внесенням  $N_{60}P_{45}K_{45}$  і  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Вміст у ґрунті в орному шарі легкогідролізного азоту був більшим порівняно з неудобрененими ділянками відповідно на 42–43 і 50–55 мг/кг ґрунту.

Раніше не проводилися дослідження щодо мінерального удобрення соняшнику у Пасмовому Побужжі, який поступово завойовує більші посівні площі в регіоні. У дослідженнях 2023 року за відсутності удобрення ґрунту спостерігали малий (природний) вміст легкогідролізного азоту в орному і підорному пласті – 92–95 мг/кг (рис. 1).



**Рис. 1. Зміни вмісту легкогідролізного азоту у ґрунті упродовж вегетації залежно від систем удобрення соняшнику у 2023 році ( $p < 0,05$ ) (зміст варіантів подано у таблиці 1)**

Внесення в ґрунт нітроамофоски у нормі  $N_{60}P_{60}K_{60}$  спричинило збільшення концентрації легкогідролізного азоту до 123–125 мг/кг у пласті 0–20 см. До збирання ресурси легко гідролізного азоту були використані соняшником і його вміст знизився до 102 мг/кг ґрунті (вар. 2). Мікрогранульоване добриво за внесення 20 і 40 кг/га ( $N_{2,2}P_{9,4}+S_1$  та  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$  – вар. 5 і 6) вагомо вплинуло на рівень забезпеченості ґрунту у критичну фазу вегетації соняшнику – квітання. Вміст легкогідролізного азоту в ґрунті становив 109–115 мг/кг. На ще вищому рівні ресурс доступних форм азоту був за внесення нітроамофоски перед сівбою та амофосу при сівбі в рядки ( $N_{62,2}P_{70,1}K_{60}+S_{1,1}$  та  $N_{64,4}P_{80,2}K_{60}+S_{2,2}$  – вар. 6 і 7). Поєднання фонового внесення  $N_{60}P_{60}K_{60}$  (нітроамофоска) перед сівбою та мікрогранульованого добрива (UltraStart NP 11:47 + 5S) при сівбі в нормах  $N_{62,2}P_{69,4}K_{60}+S_1$  та  $N_{64,4}P_{78,8}K_{60}+S_2$  зумовило найвагомніше збільшення стартового

ресурсу гідролізного азоту в ґрунті – до 119 і 124 мг/кг сухої маси, а також у фазі квітання соняшника – до 132 і 138 мг/кг сухої маси.

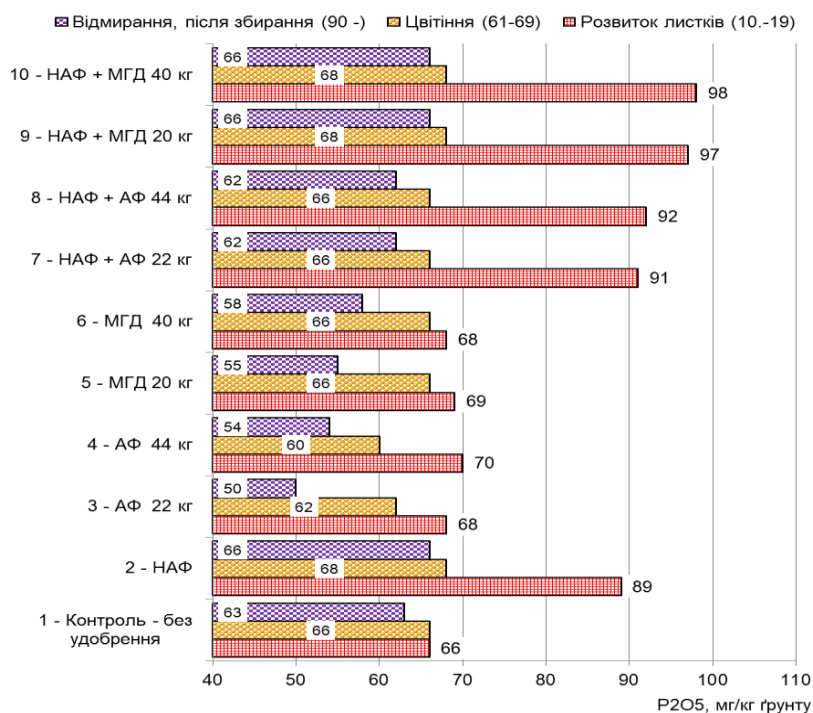
Варто акцентувати, що позитивний ефект від внесення мікрогранульованого добрива в рядки на фоні передпосівного повного удобрення призвело до стрімкого зменшення ресурсу гідролізного азоту в ґрунті на час збирання врожаю – залишки становили 96 і 94 мг/кг сухої маси. Отже до збирання врожаю рівень концентрації легкогідролізного азоту знижувався до природного для ґрунту вмісту, але стрімкіше у тих ефективних варіантах, які забезпечили вищий врожай соняшника. На темно-сірому опідзоленому ґрунті Північного Лісостепу України І. П. Поліщук [27] з'ясував, що дворазове внесення мінеральних добрив ( $N_{50}P_{50}K_{100} + N_{20}P_{20}K_{20}$ ) сприяло підвищенню вмісту азоту, що легко гідролізуються, на 20 % порівняно з контролем (без добрив).

Встановлено, що упродовж вегетації неудобрений темно-сірий опідзолений ґрунт Північного Лісостепу втрачає за поступового зменшенням вмісту  $P_2O_5$  у варіантах без внесення добрив 5–8 % його запасу до кінця вегетації [27, 28]. Автори вважають, що за систематичного внесення добрив можна досягти підвищення вмісту в орному шарі ґрунту рухомих форм фосфору порівняно з фоном без добрив до 10 %. Забезпеченість ґрунту рухомих фосфором за систематичного внесення може бути доведена до ступеня високої.

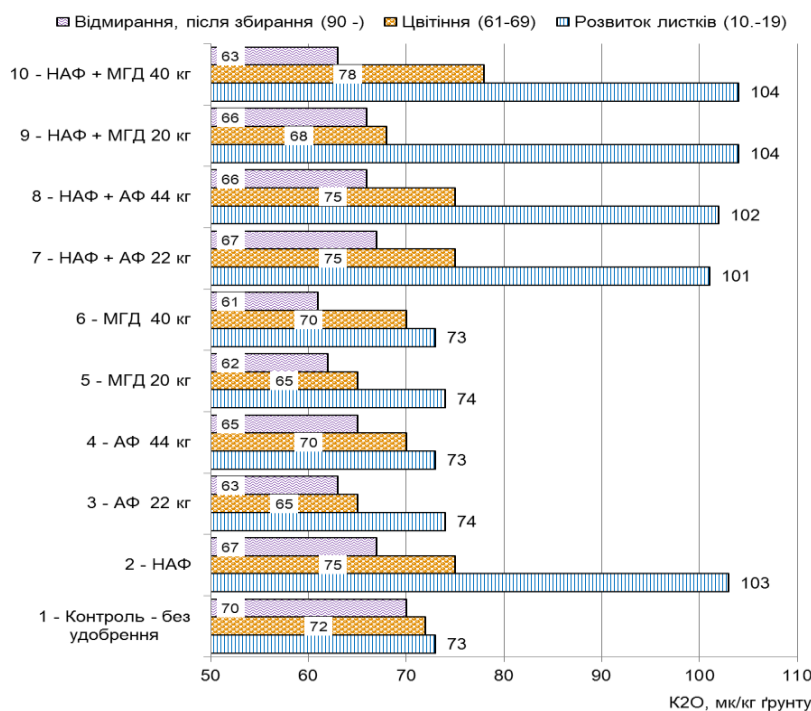
Формування фітомаси соняшнику в ході росту і розвитку рослин потребувало асиміляції ґрунтового фосфору, тому його ресурси в орному і підорному шарі до збирання врожаю зменшилися (рис. 2). За однакового фону  $N_{60}P_{60}K_{60}$  бачимо виразну тенденцію більшого виснаження ґрунту до 62–66 мг/кг ґрунту. Особливо великий вміст рухомих фосфатів у фазі розвитку листків соняшника виявлено за внесення фону ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ), а також за додавання в рядки 22 або 44 кг амофосу з сіркою ( $N_{2,2}P_{10,1}+S_{1,1}$  або  $N_{4,4}P_{20,2}+S_{2,2}$ ), чи 20 і 40 кг мікрогранульованого добрива ( $N_{2,2}P_{9,4}$  або  $N_{4,4}P_{18,8}$ ) (вар. 7, 8, 9 і 10). Порівняно з фоновим удобренням нітроамофоскою, усі ці варіанти мали перевагу.

Отже, на початку вегетації, коли потреба соняшника у фосфорі велика, додаткове рядкове внесення амофосу або мікрогранульованих добрив вагомо збільшувало ресурс фосфатів у фазі розвитку листків та у фазі квітання культури. Проте, мікрогранульоване добриво збільшувало вміст рухомого фосфору на 0,06 мг/кг порівняно з амофосом та на 0,10 мг/кг порівняно з фоном  $N_{60}P_{60}K_{60}$ .

Неудобрений контроль у фазі розвитку листків був найменше забезпечений обмінним калієм – 73 мг/кг ґрунту (рис. 3). Низькими були показники у варіантах 3, 4, 5 і 6, де не було мінерального фону, а вносили лише рядкове добриво містилося 73–74 мг/кг ґрунту обмінного калію. За вегетаційний період соняшник максимально асимілював орієнтовно від 36 мг/кг ґрунту калію у фоновому варіанті до 41 мг/кг на варіанті де до фону в рядки вносили мікрогранульоване добриво ( $N_{4,4}P_{18,8}$ ). Без внесення калію з нітроамофоскою на варіантах 3–6 особливо помітно зменшувалися ресурси елемента в орному шарі до збирання врожаю (61 мг/кг ґрунту).



**Рис. 2. Зміни вмісту рухомих сполук фосфору у ґрунті упродовж вегетації у 2023 році залежно від систем удобрення соняшнику ( $p < 0,05$ )**



**Рис. 3. Зміни вмісту обмінного калію в ґрунті упродовж вегетації у 2023 році залежно від систем удобрення соняшнику ( $p < 0,05$ )**

Таким чином, калійне удобрення ґрунту, як фонове, дозволяє підтримувати вміст обмінного калію в орному шарі у приблизно півтора рази вищим від неудобрених калієм варіантів за різних систем удобрення соняшнику. Але збільшення обсягів азоту і фосфору, внесених з добривами, зумовлює активніше виснаження ґрунту на калій.

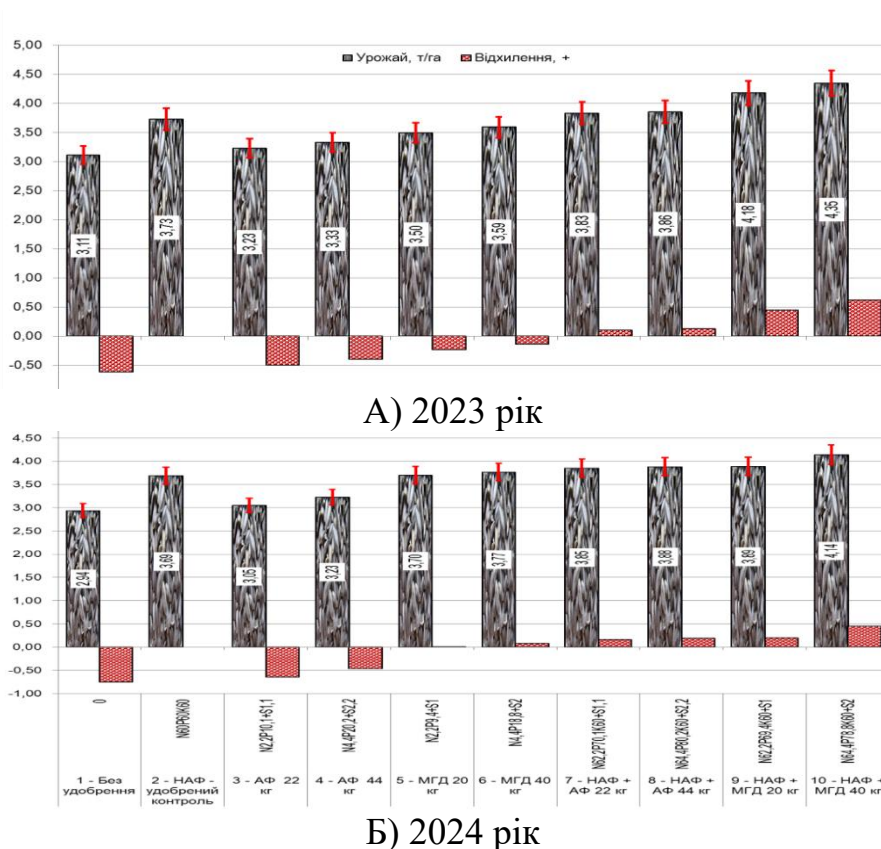
Застосування мінеральних добрив в нормі  $N_{30}P_{30}K_{30}$  та  $N_{45}P_{30}K_{30}$  під ячмінь ярий в умовах Пасмового Побужжя [25] упродовж 2013–2015 рр. супроводжувалося підвищенням вмісту рухомого фосфору у орному шарі відповідно на 24 та 35 мг/кг ґрунту. З підвищенням норми добрив перевищення варіанту без удобрення сягало вже 32 і 41 мг/кг ґрунту відповідно. Найвищий вміст фосфатів спостерігали на фоні мінерального живлення  $N_{60}P_{45}K_{45}$  – 124 мг/кг ґрунту, що перевищувало контроль на 42 мг/кг ґрунту, або на 51 %.

Доведено [28], що під впливом систематичного застосування добрив помітно поліпшувався калійний режим темно-сірого опідзоленого ґрунту. На початку вегетації вміст обмінного калію в орному шарі підвищувався на 17, у фазу 6–8 листків – на 20, 9–10 листків – на 11 %, на період технічної стиглості – на 30 % порівняно з контролем (без добрив). На початку дослідів на неудобреному фоні забезпеченість цього ґрунту калієм відповідала низькому рівню, тоді як у варіантах із внесенням добрив вона досягла середнього рівня. Подібні висновки опублікував О. В. Шевчук [29].

Головним аргументом ефективності добрив і певних концентрацій поживних речовин у ґрунті є їхній вплив на кінцевий результат росту і розвитку соняшника – врожай насіння. Без мінеральних добрив можна отримувати на темно-сірому лісовому опідзоленому легкосуглинковому середньогумусованому ґрунті врожайність 3,11 т/га, залежно від умов року (рис. 4).

Основне внесення перед сівбою нітроамофоски у нормі  $N_{60}P_{60}K_{60}$  вважали виробничим контролем. На цьому фоні врожайність зерна становила 3,73 т/га 2023 року та 3,69 т/га – 2024 року. Відсутність основного удобрення, але внесення рядкового у формі збагаченого сіркою амофосу в нормі  $N_{2,2}P_{10,1}+S_{1,1}$  забезпечило на 0,5–0,7 т/га менший урожай. Очевидно, що зменшення на 14 мг/кг ґрунту доступного азоту, на 21 – рухомого фосфору та на 29 – обмінного калію у фазі розвитку листків, а також відповідно на 12, 6 та 10 мг/кг у фазі квітування стало причиною певного погіршення умов кореневого живлення соняшника. Подвоєння норми збагаченого сіркою амофосу до  $N_{4,4}P_{20,2}+S_{2,2}$  не дуже вагомо збільшувало ресурс рухомого фосфору в ґрунті. Мікрогранульоване добриво в нормах  $N_{2,2}P_{9,4}+S_1$  та  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$  істотніше покращувало азотно-фосфорний ресурс ґрунту без фону основного удобрення порівняно з амофосом. Це забезпечило на 0,26 т/га більший урожай соняшника на одинарній та подвійній нормах мікрогранульованого добрива, внесеного в рядки.

Вищий рівень урожайності отримано на основному фоні  $N_{60}P_{60}K_{60}$  нітроамофоски як за внесення в рядки амофосу, так і мікрогранульованого добрива. Прибавка врожаю від нової форми добрива, внесеного в рядки в нормах  $N_{2,2}P_{9,4}+S_1$  та  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$ , становила відповідно 0,45 та 0,62 т/га порівняно з удобреним контролем у 2023 році та 0,20 і 0,45 т/га – 2024 року. Найвищу в досліді врожайність соняшнику 4,35 т/га 2023 року та 4,14 т/га 2024 року отримано на основному фоні  $N_{60}P_{60}K_{60}$  нітроамофоски та за внесення в рядки мікрогранульованого добрива в подвійній нормі  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$ .



**Рис. 4. Врожайність соняшника залежно від систем удобрення та відхилення відносно виробничого контролю, т/га (2023 рік  $НР_{05} = 0,14$  т/га; 2024 рік  $НР_{05} = 0,15$  т/га)**

В таблиці 2 показані коефіцієнти взаємозв'язку параметрів важливих для рослин елементів живлення – азоту і фосфору.

**Табл. 2. Високі і середні коефіцієнти кореляції Пірсона (r) між параметрами агрохімічних змін у ґрунті впродовж періоду вегетації під впливом норм удобрення та врожаєм соняшника**

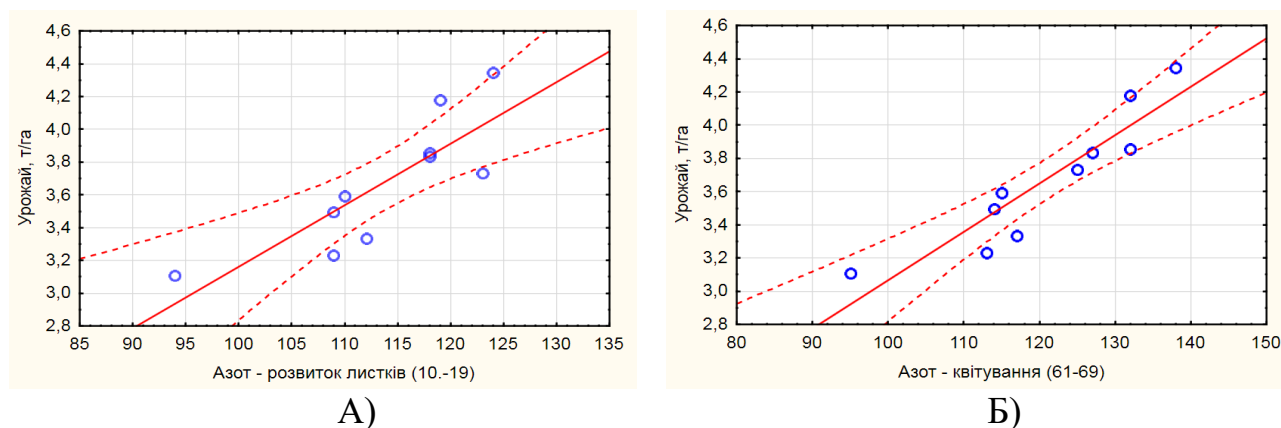
Урожай, т/га	Середнє	Стандартне відхилення	Урожай 2023 р., т/га
	3,67	0,39919	1,00
N у фазі розвитку листків (10–19)	113,61	8,86	0,83
N у фазі цвітіння (61–69)	120,81	12,58	0,92
N у фазі відмирання, після збирання (90-)	98,21	4,76	-0,05
P у фазі розвитку листків (10–19)	80,81	13,57	0,92
P у фазі цвітіння (61–69)	65,61	2,63	0,66
P у фазі відмирання, після збирання (90-)	60,21	5,67	0,68

На початку розвитку соняшника у 2023 році азот і фосфор у доступних формах дуже позитивно корелювали між собою ( $r = 0,66-0,92$ ). До збирання ситуація змінилася. Встановлена позитивна кореляція ( $r = -0,68$ ) лише для



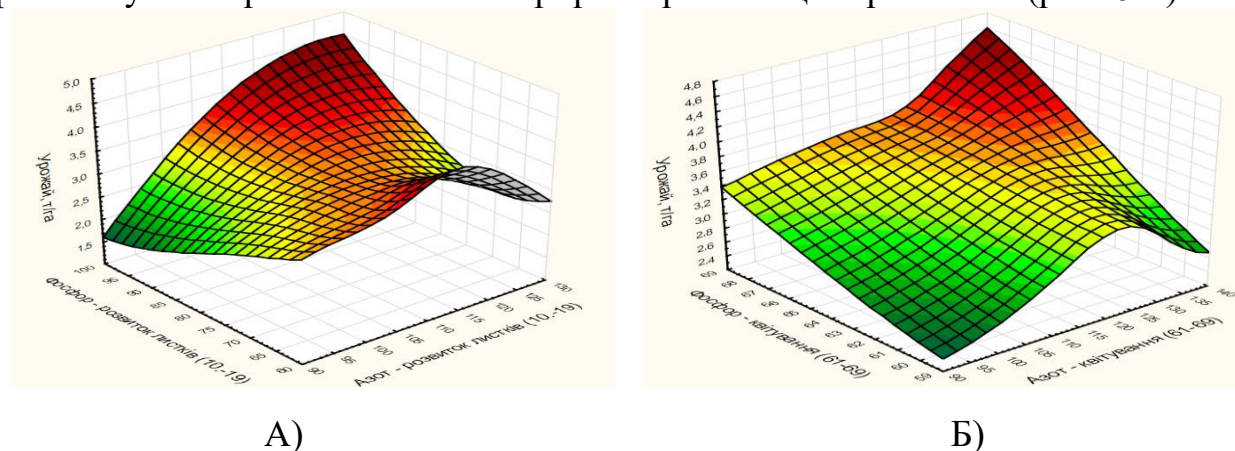
доступного азоту. Залишки фосфатів у ґрунті до збирання не корелювали з урожаєм 2023 року.

Залежність величини врожаю соняшника від ресурсів легкогідролізного азоту в ґрунті у фазі формування листків описується формулою квадратичної регресії:  $Y_c = 0,5852 + 0,0375 \times N^2$  за  $r = 0,83$ . Залежність врожаю соняшника від ресурсів легкогідролізного азоту в ґрунті у зростає фазі квітування та описується формулою квадратичної регресії:  $Y_c = 0,1577 + 0,0291 \times N^2$  за ще вагомішого коефіцієнта  $r = 0,92$ . Графічні моделі парних кореляцій зображені на рис. 5.



**Рис. 5. Парні кореляції між величиною врожаю та ресурсами легкогідролізного азоту у критичні фази вегетації соняшника:**  
 А) розвиток листків (BBCH 10-19); Б) квітування рослин (BBCH 61-69)

Розрахунки багатьох парних кореляцій підтвердили, що можуть існувати поліноміальні залежності, які було описано за допомогою 3D-моделей зв'язків врожайності з параметрами відразу двох агрохімічних показників. Так на рис. 6-А видно, що одночасне підвищення запасів легкогідролізного азоту та рухомого фосфору у фазі формування листків сприяє пропорційному зростанню врожаю соняшника. За синергійного зростання доступних ресурсів азоту та фосфору у фазі квітування рослин вплив на приріст врожаю ще стрімкіший (рис. 6-Б).



**Рис. 6. 3D-моделі зв'язків параметрів ресурсів легкогідролізного азоту та рухомого фосфору в ґрунті з урожайністю зерна соняшника:**  
 А) у фазі розвитку листків; Б) у фазі квітування.

**Висновки.** На традиційному фоні мінеральних добрив  $N_{60}P_{60}K_{60}$  (у формі нітроамофоски під передпосівну культивуацію) у Пасмовому Побужжі на темно-сірому лісовому опідзоленому легкосуглинковому слабогумусованому ґрунті (Greyic Luvic Phaeozem (WRB, 2015) соняшник сформував урожайність 3,73 та 3,69 т/га відповідно у 2023 та 2024 роках. При цьому в орному шарі у фазі формування листків та у фазі квітування у 2023 році містилося відповідно 123 та 125 мг/кг легкогідролізного азоту, 89 та 68 – рухомого фосфору, 103 та 75 мг/кг – обмінного калію. Це створювало добрі умови для формування врожаю соняшнику.

Заміна основного удобрення рядковим при сівбі в нормах  $N_{2,2}P_{10,1}+S_{1,1}$  і  $N_{4,4}P_{20,2}+S_{2,2}$  амофосу або  $N_{2,2}P_{9,4}+S_1$  та  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$  мікрогранульованого добрива спричинила зменшення врожайності соняшника до 3,23–3,59 т/га у 2023 році та 3,05–3,77 т/га – у 2024 році. Мікрогранульоване добриво в рядки забезпечило збільшення врожаю на 0,23 т/га порівняно з амофосом за рівних норм внесення лише у сприятливішому для соняшника 2023 році. Недобір врожаю можна пояснити помітним зменшенням до 109–117 мг/кг запасів легкогідролізного азоту, до 60–69 мг/кг рухомого фосфору та до 65–74 обмінного калію в ґрунті порівняно з основним удобренням нітроамофоскою в нормі  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Поєднання повного основного удобрення  $N_{60}P_{60}K_{60}$  із внесенням при сівбі в рядки у нормах  $N_{2,2}P_{10,1}+S_{1,1}$  і  $N_{4,4}P_{20,2}+S_{2,2}$  амофосу або  $N_{2,2}P_{9,4}+S_1$  та  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$  мікрогранульованого добрива сприяло росту врожайності до 3,83–4,35 т/га у 2023 році та до 3,85–4,13 т/га у 2024 році, що на 0,19–0,62 т/га вище від традиційного контролю.

Найвищу врожайність соняшнику отримано за системи удобрення з внесенням  $N_{60}P_{60}K_{60}$  (нітроамофоска перед сівбою) та  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$  мікрогранульованого добрива, що вносили при сівбі в рядки – 4,35 т/га у 2023 році та 4,14 т/га – у 2024 році. Основою формування максимального в досліді врожаю стали найбільші запаси легкогідролізного азоту у фазі квітування (138 мг/кг ґрунту), рухомого фосфору (98 мг/кг ґрунту) та обмінного калію (109 мг/кг ґрунту) у фазі формування листків.

Статистичне моделювання парних та потрійних зв'язків показало тісну залежність рівнів урожайності соняшника від показників родючості ґрунту. Найбільші ресурси поживних речовин у критичні фази росту й розвитку культури забезпечує внесення повного мінерального добрива перед сівбою  $N_{60}P_{60}K_{60}$  та використання мікрогранульованого добрива при сівбі в рядки у нормах  $N_{2,2}P_{9,4}+S_1$  та  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$ .

### Література:

1. Балюк С. А., Медведєв В. В., Мірошніченко М. М., Скрильник Є. В., Тимченко Д. О., Фатєєв А. І, Христенко А. О., Цапко Ю. Л. Екологічний стан ґрунтів України. *Український географічний журнал*. 2012. № 2. С. 38–42.
2. Польовий В. М. Оптимізація систем удобрення в сучасному землеробстві: монографія. Рівне: Волинські обереги. 2007. 320 с.
3. Haskevych O., Snitynskyu V., Hnativ P., Lahush N., Haskevych V., Ivaniuk V. Agro-ecological assessment of the farmlands of the Hologoro-

Kremenetskiy Highlands. *Soil under stress*. 2021. AG. XV. P. 143–151. DOI: 10.1007/978-3-030-68394-8\_14.

4. Polovyy V., Hnativ P., Balkovskyy V., Ivaniuk V., Lahush N., Shestak V., Szulc W., Rutkowska B., Lukashchuk L., Lukyanik M., Lopotych N. The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. № 11(1). P. 384–390. DOI: 10.15421/2021\_56.

5. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Корнійчук О. В. Обґрунтування причин деградації і опустелювання ґрунтів України. *Корми і кормовиробництво*. 2020. Вип. 90. С. 10–20. DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo202090-01.

6. Polovyy V., Snitynsky V., Hnativ P., Szulc W., Lahush N., Ivaniuk V., Furmanets M., Kulyk S., Balkovskyy V., Poliukhovych M., Rutkowska B. Agroecological efficiency of the system of crop fertilization with the use of phytomass residues in the Western Forest Steppe of Ukraine. *Journal of Elementology*. 2021. № 26(3). P. 293–306. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.1.2120.

7. Chambers B. J., Dampney P. M. R. Nitrogen efficiency and ammonia emissions from urea-based and ammonium nitrate fertilisers. *Proc Intl Fert Soc*. 2009. Vol. 657. P. 1–20.

8. Hege U., Offenberger K. Effect of N fertilizer with nitrification inhibitors on winter wheat yield in German Bavarian State Research Center for Agriculture. 2011. URL: <http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/mineralisch/09628/>.

9. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Опустелювання України. *Зерно*. 2020. Вип. 4. С. 42–48.

10. Babulicová M., Dyulgerova B. Winter barley production in relation to crop rotations, fertilisation and weather conditions. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*. 2018. Vol. 64. №1. P. 35–44.

11. IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition, International Fertilizer Association. Paris. 2019. P. 182–194. URL: [https://www.fertilizer.org/Public/News\\_\\_Events/IFA\\_News/IFA\\_News.aspx](https://www.fertilizer.org/Public/News__Events/IFA_News/IFA_News.aspx).

12. Lykhochvor V., Hnativ P., Petrichenko V., Ivaniuk V., Szulc W., Rutkowska B., Veba N., Olifir Y. Threat of degradation of agricultural land in Ukraine through a negative balance of nutritional elements in growing of field cultures. *J. Elem.* 2022. № 27. P. 695–707. DOI: 10.5601/jelem.2022.27.2.2290.

13. Lykhochvor V., Gnativ P., Andrushko O., Ivanyuk V., Olifir Yu. The role of nutrients in the formation of yield and grain quality of winter wheat. *Bulg. J. Agric. Sci.* 2022. № 28 (1). P. 103–109.

14. Семенко Л. О. Агрохімічна оцінка використання добрив за вирощування капусти білоголової ранньої на темно-сірому опідзоленому ґрунті Лісостепу Правобережного України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.04 «Агрохімія». Київ, 2009. 17 с.

15. Hospodarenko H., Chernov O., Ryabovol L., Leonova K., Liubchenko A. Fractional composition of mineral phosphates of podzolized chernozem after prolonged use of fertilisers in field crop rotation. *Scientific Horizons*. 2022. V. 25(2). P. 28–35. DOI: 10.48077/SCIHOR.25(2).2022.28-35.

16. Господаренко Г. Удобрення соняшнику: влучно і вчасно. *Пропозиція*. 2019. №4. С. 58–61.

17. Коваленко А. Оптимізація мінерального живлення соняшнику. *Пропозиція*. 2016. № 6. С. 62–64.

18. Басанець О. Технологія вирощування соняшнику: етапи, нюанси від сівби до збирання. Режим доступу: <https://superagronom.com/articles/720-tehnologiya-viroschuvannya-sonyashniku-etapi-nyuansi-vid-sivbi-do-zbirannya>.
19. Linzmeier W., Gutser R., Schmidhalter U. The new nitrification inhibitor DMPP ENTEC allows increased N-efficiency with simplified fertilizing strategies. Proceedings of the 14th. Int. Plant Nutrition Colloquium. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001. P. 760–761.
20. Pahlmann I. Using nitrification inhibitors in fertilization of rapeseed – Developing fertilization strategies under controlled and field conditions in German MSc Dissertation. Bingen University of Applied Science. 2008. 150 p.
21. Єщенко В. О. та ін. Основи наукових досліджень в агрономії. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
22. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. 2015. 106 p. URL: <http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>.
23. Андрушко М. О. Оптимізація елементів технології вирощування гороху посівного в умовах Західного Лісостепу : дис. ... доктора філософії: 201 Агрономія. Кам'янець-Подільський, 2020. 202 с.
24. Андрушко М. О. Формування продуктивності гороху залежно від елементів системи удобрення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2019. Вип. 66. С. 8–20.
25. Лопушняк В. І., Вега Н. І. Вплив рівня мінерального живлення ячменю ярого на вміст рухомих сполук фосфору в темно-сірому опідзоленому ґрунті Західного Лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2015. Том 1. Вип. 2. Ч. 2. С. 30–37.
26. Лопушняк В., Полюхович М., Лагуш Н. Вплив систем удобрення на родючість темно-сірих опідзолених ґрунтів та продуктивність культур польової сівозміни Західного Лісостепу України. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2017. Вип. 51. С. 214–223.
27. Поліщук І. П. Агрохімічна оцінка застосування добрив під моркву столову на темно-сірому опідзоленому ґрунті Північного Лісостепу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.01.04 «Агрохімія». Київ, 2005. 19 с.
28. Бикін А. В., Поліщук І. П. Вплив добрив на агрохімічні показники темно-сірого лісового ґрунту та продуктивність моркви столової. *Науковий вісник НАУ*. Київ, 2000. Вип. 32. С.185–188.
29. Шевчук О. В. Поживний режим темно-сірого опідзоленого ґрунту та продуктивність сільськогосподарських культур за альтернативних систем удобрення в Західному Лісостепу України : дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Київ, 2014. 200 с.

### References:

1. Baliuk, S. A., Medvediev, V. V., Miroshnychenko, M. M., Skrylnyk, Ye. V., Tymchenko, D. O., Fatieiev, A. I, Khrystencko, A. O., Tsapko, Yu. L. (2012). Ecological condition of the soils of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, no. 2, pp. 38–42. [in Ukrainian].
2. Polovyi, V. M. (2007). Optimization of fertilization systems in modern agriculture. Rivne: Volyn charms. 320 p. [in Ukrainian].

3. Haskevych, O., Snitynskyy, V., Hnativ, P., Lahush, N., Haskevych V., Ivaniuk, V. (2021). Agro-ecological assessment of the farmlands of the Hologoro-Kremenetskiy Highlands. *Soil under stress*, AG. XV, pp. 143–151. DOI: 10.1007/978-3-030-68394-8\_14.
4. Polovyy, V., Hnativ, P., Balkovskyy, V., Ivaniuk, V., Lahush, N., Shestak, V., Szulc W., Rutkowska B., Lukashchuk L., Lukyanik M., Lopotych N. (2021). The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, no. 11(1), pp. 384–390. DOI: 10.15421/2021\_56.
5. Petrychenko, V. F., Lykhochvor, V. V., Kornichuk, O. V. (2020). Justification of the causes of soil degradation and desertification of Ukraine. *Fodder and fodder production*, iss.. 90, pp. 10-20. DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo 202090-01. [in Ukrainian].
6. Polovyy, V., Snitynskyy, V., Hnativ, P., Szulc, W., Lahush, N., Ivaniuk, V., Furmanets, M., Kulyk, S., Balkovskyy, V., Poliukhovych, M., Rutkowska, B. (2021). Agro-ecological efficiency of the system of crop fertilization with the use of phytomass residues in the Western Forest Steppe of Ukraine. *Journal of Elementology*, no. 26(3), pp. 293–306. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.1.2120.
7. Chambers, B. J., Dampney, P. M. R. (2009). Nitrogen efficiency and ammonia emissions from urea-based and ammonium nitrate fertilisers. *Proc Intl Fert Soc*, vol. 657, pp. 1–20.
8. Hege, U., Offenberger, K. (2011). Effect of N fertilizer with nitrification inhibitors on winter wheat yield in German Bavarian State Research Center for Agriculture. URL: <http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/mineralisch/09628/>.
9. Lykhochvor, V. V., Petrychenko, V. F. (2020). Desertification of Ukraine. *Grain*, iss. 4, pp. 42–48. [in Ukrainian].
10. Babulicová, M., Dyulgerova, B. (2018). Winter barley production in relation to crop rotations, fertilisation and weather conditions. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 64, no. 1, pp. 35-44.
11. IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition, International Fertilizer Association. Paris. 2019. P. 182–194. URL: [https://www.fertilizer.org/Public/News\\_\\_Events/IFA\\_News/IFA\\_News.aspx](https://www.fertilizer.org/Public/News__Events/IFA_News/IFA_News.aspx).
12. Lykhochvor, V., Hnativ, P., Petrichenko, V., Ivaniuk, V., Szulc, W., Rutkowska, B., Veha, N., Olifir, Y. (2022). Threat of degradation of agricultural land in Ukraine through a negative balance of nutritional elements in growing of field cultures. *J. Elem*, no. 27, pp. 695–707. DOI: 10.5601/jelem.2022.27.2.2290.
13. Lykhochvor, V., Gnativ, P., Andrushko, O., Ivanyuk, V., Olifir, Yu. (2022). The role of nutrients in the formation of yield and grain quality of winter wheat. *Bulg. J. Agric. Sci*, no. 28 (1), pp. 103–109.
14. Semenko, L. O. (2009). Agrochemical evaluation of the use of fertilizers for the cultivation of early white cabbage on the dark gray podzolized soil of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine: author's abstract. thesis ... candidate agr. science. Kyiv, 2009. 17 p. [in Ukrainian].
15. Hospodarenko, H., Chernov, O., Ryabovol, L., Leonova, K., Liubchenko, A. (2022). Fractional composition of mineral phosphates of podzolized chernozem after prolonged use of fertilisers in field crop rotation. *Scientific Horizons*, v. 25(2), pp. 28–35. DOI: 10.48077/SCIHOR.25(2).2022.28-35.
16. Hospodarenko, H. (2019). Fertilizing sunflower: apt and timely. *Offer*, no. 4, pp. 58–61. [in Ukrainian].

17. Kovalenko, A. (2016). Optimization of mineral nutrition of sunflower. *Offer*, no. 6, pp. 62–64. [in Ukrainian].
18. Basanets, O. Sunflower cultivation technology: stages, nuances from sowing to harvesting. URL: <https://superagronom.com/articles/720-tehnologiya-viroschuvannya-sonyashniku-etapi-nyuansi-vid-sivbi-do-zbirannya>. ([in Ukrainian].
19. Linzmeier, W., Gutser, R., Schmidhalter, U. (2001). The new nitrification inhibitor DMPP ENTEC allows increased N-efficiency with simplified fertilizing strategies. Proceedings of the 14th. Int. Plant Nutrition Colloquium. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. P. 760–761.
20. Pahlmann, I. (2008). Using nitrification inhibitors in fertilization of rapeseed – Developing fertilization strategies under controlled and field conditions in German MSc Dissertation. Bingen University of Applied Science. 150 p.
21. Yeshchenko, V. O. Et al (2014). Basics of scientific research in agronomy. Vinnytsia: PE "TD "Edelweiss and K". 332 p. [in Ukrainian].
22. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports*. 2015. 106 p. URL: <http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>.
23. Andrushko, M. O. (2020). Optimization of elements of the technology of growing peas for sowing in the conditions of the Western Forest Steppe: diss. ... doctor of philosophy. Kamianets-Podilskyi. 202 p. [in Ukrainian].
24. Andrushko, M. O. (2019). Formation of pea productivity depending on the elements of the fertilization system. *Foothill and mountain agriculture and animal husbandry*, iss. 66, pp. 8–20. [in Ukrainian].
25. Lopushniak, V. I., Veba, N. I. (2015). The effect of the level of mineral nutrition of spring barley on the content of mobile phosphorus compounds in the dark gray podsolized soil of the Western Forest Steppe of Ukraine. *Herald of Agrarian Science of the Black Sea Region*, iss. 2, pp. 30–37. [in Ukrainian].
26. Lopushniak, V., Poliukhovych, M., Lahush, N. (2017). The influence of fertilization systems on the fertility of dark gray podzolized soils and the productivity of crops in the field rotation of the Western Forest Steppe of Ukraine. *Bulletin of Lviv University*. The series geographical, iss. 51, pp. 214–223. [in Ukrainian].
27. Polishchuk I. P. (2005). Agrochemical evaluation of the use of fertilizers for table carrots on the dark gray podzolized soil of the Northern Forest Steppe of Ukraine: autoref. thesis for obtaining sciences. candidate of agr. science. Kyiv, 19 p. [in Ukrainian].
28. Bykin, A. V., Polishchuk, I. P. (2000). Effect of fertilizers on agrochemical parameters of dark gray forest soil and productivity of table carrots. *Scientific Bulletin of NAU*, iss. 32, pp. 185–188. [in Ukrainian].
29. Shevchuk, O. V. (2014). Nutrient regime of dark gray podzolized soil and productivity of agricultural crops under alternative fertilization systems in the Western Forest Steppe of Ukraine: thesis. ... candidate agr. science. Kyiv. 200 p. [in Ukrainian].

## Annotation

**Baranskyi D.**

### **Improvement of sunflower fertilization system in the conditions of the Pasmovo Pobuzhia region**

**Aims.** Aspects of the mineral nutrition of sunflower with nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur in the new growing conditions in the Western Forest Steppe, where the flushing and semi-flushing mode of moistening, have not been studied.

**Methods.** During 2023–2024, experiments on sunflower fertilization norms, types, and forms of mineral fertilizers were conducted at the experimental field of Lviv National University of Nature Management, located in the physical-geographical region of the Pasmovo Pobuzhia. The purpose of the research is to determine the effect of mineral fertilizers on soil agrochemical indicators and sunflower yield. The soil is dark grey podzolic loamy, with low humus content (Greyic Luvic Phaeozem). Traditional field research methods and standard laboratory analysis techniques were used.

**Results and conclusions.** When mineral fertilizers were applied at a rate of  $N_{60}P_{60}K_{60}$  (in the form of nitroammophoska during pre-sowing cultivation), sunflower yielded 3.73 t/ha of grain on the studied soil in the Pasmovo Pobuzhia region. This result can be explained by the presence of 123 and 125 mg/kg of easily hydrolyzable nitrogen, 89 and 68 mg/kg of available phosphorus, and 103 and 75 mg/kg of exchangeable potassium in the soil during the leaf formation and flowering phases, respectively. Row fertilization during sowing at rates of  $N_{2,2}P_{10,1}+S_{1,1}$  and  $N_{4,4}P_{20,2}+S_{2,2}$  using ammonium phosphate or  $N_{2,2}P_{9,4}+S_1$  and  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$  using microgranulated fertilizer, without baseline fertilization, resulted in a decrease in sunflower yield to levels of 3.23–3.59 t/ha. Microgranulated fertilizer applied in rows increased grain yield by 0.23 t/ha compared to ammonium phosphate at equivalent application rates. The reduction in yield occurred against the backdrop of a noticeable decrease in easily hydrolyzable nitrogen reserves to 109–117 mg/kg, available phosphorus to 60–69 mg/kg, and exchangeable potassium to 65–74 mg/kg in the soil, compared to the balanced baseline fertilization rate of  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . The application of baseline fertilization ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) combined with row fertilization during sowing at rates of  $N_{2,2}P_{10,1}+S_{1,1}$  and  $N_{4,4}P_{20,2}+S_{2,2}$  using ammonium phosphate or  $N_{2,2}P_{9,4}+S_1$  and  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$  using microgranulated fertilizer resulted in a grain yield increase to 3.83–4.35 t/ha, which is 0.10–0.62 t/ha higher than the traditional control.

The highest sunflower grain yield of 4.35 t/ha was achieved with a combined fertilization system of  $N_{60}P_{60}K_{60}$  (nitroammophoska before sowing) and  $N_{4,4}P_{18,8}+S_2$  microgranulated fertilizer applied at sowing. The best agrochemical indicators of soil fertility provided the highest yield in the experiment. The largest reserves of easily hydrolyzable nitrogen during the flowering phase were 138 mg/kg of soil, available phosphorus was 98 mg/kg, and exchangeable potassium reached 109 mg/kg during the leaf formation phase. Statistical modeling of relationships showed a strong correlation between sunflower grain yield and soil fertility indicators.

**Key words:** easily hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, exchangeable potassium, sulfur, microgranulated fertilizer, sunflower.