

ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ БІОЛОГІЗАЦІЇ ФОСФОРНОГО ЖИВЛЕННЯ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО В УМОВАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

О. Л. РУДІК, доктор сільськогосподарських наук

О. В. ЛОТОЦЬКИЙ, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії)

Одеський державний аграрний університет

У дослідженнях 2023–2025 рр. проаналізовано вплив біологічного препарату Біофосфорин на складові структури урожаю та врожайність насіння льону олійного сорту Водограй, окремо та у поєднанні із внесенням фосфору, в умовах посушливого Степу. Встановлено істотне збільшення кількості коробочок з однієї рослини на 2,57 %, та кількості насінин в одній коробочці на 3 %, що призводить до підвищення урожайності насіння на 6,6 % до 9,45 ц/га. Інокуляція, як захід, співставна за врожайністю із внесенням 18,6 кг/га мінерального фосфору.

Ключові слова: льон кудряш, фосфат-мобілізація, біологічні препарати, органічне виробництво, структура урожаю, біологізація виробництва

Постановка проблеми. Щорічно зростаючий попит Європейського ринку на льон олійний та продукти його переробки, спонукає агровиробників до розширення посівних площ під цю давню олійну культуру [1–3]. Враховуючи, що сівозміна Півдня України перенасичена соняшником та ріпаком, поширення льону олійного одночасно покращує економіку рослинництва, оптимізує структуру посівів та позитивно впливає на родючість ґрунтів.

Олія з насіння льону має сприятливий для людини жирнокислотний склад, з низьким рівнем насичених жирів, помірним рівнем мононенасичених жирів та високою часткою поліненасичених жирних кислот (омега-3, омега-6, омега-9) [4]. Натепер спостерігається зміна технологій вирощування сільськогосподарських культур в бік органічного виробництва, внаслідок Світової тенденції до покращення якості харчування людини [5]. Тому питання ефективного, економічно вигідного удобрення культури та напрацювання складових її органічного виробництва набувають нового змісту.

Недостатнє або несвоєчасне надходження до рослин льону, як олійної культури, макроелементів, в тому числі і фосфору призводить до порушення росту і розвитку рослини, знижує біомасу та різко скорочує кількісні та якісні показники урожаю. Встановлено, що льон олійний характеризується швидкими темпами споживання елементів живлення та засвоює 32–43 % фосфору у період від фази «ялинка» до бутонізації [6]. В останні роки температурний режим має стабільно зростаючу тенденцію, що супроводжується сильними посухами [7, 8]. Враховуючи посушливість клімату, коли ефективність добрив знижується, і високі ціни на хімічні добрива, чи не єдиним варіантом вирішення питання

покращення фосфорного живлення і одночасно переходом до органічного виробництва є запровадження в технологію вирощування культур біологічних препаратів, що мають у складі штами фосфатмобілізувальних бактерій.

Вітчизняними та закордонними виробниками запропоновано цілу низку біологічних препаратів покликаних покращувати живлення, в тому числі і фосфорне, сільськогосподарських культур, зокрема льону. Деякі з них випробовуються в посушливих умовах Степу [9]. На ринку пропонуються препарати з різними штамми бактерій фосфат-мобілізаторів (*Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* та ін.), як самостійно так і в поєднанні із фітогормонами, амінокислотами та мікроелементами. Ефективність таких препаратів аргументується, переважно лабораторними дослідженнями [10]. Проте випробування таких препаратів у реальних польових умовах або відсутні або поодинокі. Виникла нагальна потреба у проведенні польових дослідів, результати яких можуть відповісти на питання який саме біологічний фосформобілізувальний препарат у даній зоні під конкретну польову культуру буде мати ефективність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За результатами наукових пошуків фосфор має вирішальний вплив на мікроорганізми у ризосфері льону. Внесення фосфору, головним чином, сприяє підвищенню чисельності домінантних таксонів корисних бактерій для культури [11].

Результати досліджень Інституту зрошуваного землеробства НААН на темно-каштановому ґрунті Півдня України демонструє високу реакцію льону олійного на внесення фосфору в складі комплексних добрив. За внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ льон збільшував урожайність на 1,4 ц/га або на 13 %. При збільшенні в системі удобрення частки фосфору ($N_{30}P_{60}K_{30}$) урожайність зростала на 3,2 ц/га, що відповідає 29,9 %, порівняно із варіантом без внесення добрив [12].

Дослідники ЖНАЕУ в умовах Полісся виявили вплив фосфатмобілізувального препарату Поліміксобактерин на структуру врожаю та врожайність льону. Бактеризація насіння Поліміксобактерином збільшувала кількість коробочок на одну рослину на 10,72 % та кількість насінин в одній коробочці на 8,78 % порівняно із контролем. У варіанті із сумісним застосуванням мінеральних добрив $N_{30}P_{60}K_{90}$ приріст кількості коробочок склав 57,0 %, а середньої кількості насінин в коробочці 31,5 % [13].

Відомо і про побічний позитивний ефект фосфатмобілізувальних препаратів. Науковці Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України встановили, що найвищий рівень обмеження захворювання помідорів хворобою альтернарія, забезпечило використання препарату Біофосфорин – 66,8 %. Фітофтору було обмежено препаратом на рівні 77,5 % від контролю [14].

Вчені мікробіологи Південної дослідної станції Інституту сільськогосподарської мікробіології УААН встановили, що використання Фосфоентерину для бактеризації насіння збільшувало кількість мікроорганізмів у фазі кушіння ячменю на 2,3 млн КУО/г сухого ґрунту, тоді як Поліміксобактерин збільшував їх кількість на 3,8 млн КУО/г сухого ґрунту порівняно із контролем, показник якого в абсолютній величині становив

8,9 млн КУО/г сухого ґрунту. У фазу трубкування фосфатмобілізвальні бактерії збільшували показники відповідно на 2 та 1,9 млн КУО. У фазу молочної стиглості зерна на 2 і 2,1 млн колонії утворюючих організмів [15].

Дослідниками Білоцерківського національного аграрного університету встановлено, що препарат Діазобактерин збільшував вміст білка в зерні з 11,5 до 12,8 % а вміст крохмалю – з 69,6 до 70,1 %. Препарат Альбобактерин збільшував ці показники відповідно з 11,5 до 12,1 % та 69,6 до 70,0 %. У варіанті із поєднанням комплексного добрива з біопрепаратом $N_{45}P_{45}K_{45}$ + Альбобактерин, якісні показники зерна зросли – вміст білка на 1,5 пункти, а вмісту крохмалю на 3 пункти [16].

Співробітниками Інституту землеробства і тваринництва західного регіону НААН було встановлено, що передпосівна обробка насіння ріпаку озимого препаратами бактеріального походження поліміксобактерином і альбобактерином сприяла мобілізації доступного фосфору з мінеральних сполук ґрунту, що поліпшувало живлення рослин та зумовлювало підвищення врожайності насіння на 0,21–0,22 ц/га [17].

Науковці Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН у зоні Південного Степу досліджували вплив на фосфорне живлення льону олійного бактеріального препарату на основі штаму бактерії *Bacillus sp.4*. Досліджено, що препарат показав достовірну прибавку кількості коробочок на одну рослину на 7,15 % у сорту Орфей та 5,18 % у сорту Живинка. Вплив на збільшення кількості насінин в одній коробочці був відповідно на рівні 9,05 % та 9,54 %. Що стосується урожайності льону, то *Bacillus sp.4* збільшив її на 1,1 ц/га у сорту Орфей та на 1,3 ц/га у сорту Живинка [18].

Аналіз літературних джерел показує, що питання впливу фосфатмобілізувальних біологічних препаратів на врожайність льону олійного та його якісні характеристики на Півдні України є актуальними і вивчені ще не достатньо.

Метою статті є дослідження впливу біологічного препарату Біофосфори і мінеральних добрив на оптимізацію фосфорного живлення та врожайність льону олійного, обґрунтування доцільності запровадження таких складових технології для вирощування культури у посушливих умовах Півдня України.

Методика досліджень. Роботи проводили на дослідному полі Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України у 2023–2025 рр. Ґрунт дослідного поля чорнозем південний малогумусний на лесових породах, з умістом гумусу в орному шарі 2,70–2,88 %, щільність ґрунту – 1,2–1,3 г/см³. Ґрунти дослідного поля забезпечені азотом – в межах 11,6–12,3 мг/кг ґрунту; фосфором 28,63–41,85 мг/кг та калієм від 223,6 до 318,2 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину лужна: знаходиться в межах рН 7,5–7,7. Серед елементів живлення, азот та фосфор знаходяться у мінімумі.

Попередник у досліді пшениця тверда озима. Повторність – чотириразова. Розміщення ділянок – рендомізоване. Посівна площа ділянок останнього порядку 37,2 м², облікова – 25 м². Агротехнологія загальноприйнята, за винятком досліджуваних факторів. Основний обробіток ґрунту передбачав оранку на

глибину 20–22 см під яку згідно схеми досліду вносили мінеральне добриво, суперфосфат простий із вмістом фосфору 19,0 %, виробництва ПАТ «Сумихімпром», м. Суми.

Схема досліду передбачала шість варіантів із обробкою насіння та внесення добрив: 1) Контроль – сівба насінням, обробленим водою (1 л/т); 2) P_{15} + сівба насінням, обробленим водою (1 л/т); 3) P_{30} + сівба насінням, обробленим водою (1 л/т); 4) обробка насіння Біофосфорин (1 л/т); 5) P_{15} + обробка насіння Біофосфорин (1 л/т); 6) P_{30} + обробка насіння Біофосфорин (1 л/т).

У досліді висівали сорт льону олійного Водограй селекції Інституту олійних культур НААН України. Норма висіву насіння – 6 млн шт./га. Сівбу проводили із міжряддям 15 см селекційною сівалкою з електронною системою висіву Клен-1,5. Контроль двосім'ядольних бур'янів забезпечували гербіцидом Агрітокс (1 л/га) у фазі «ялинки», та проти односім'ядольних бур'янів із інтервалом у 10 діб гербіцидом Квістарт (1,5 л/га).

Насіння льону олійного обробляли біологічним препаратом за рекомендаціями виробника безпосередньо перед сівбою. В дослідях використано продукт відділу загальної та ґрунтової мікробіології Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України – (Біофосфорин). Біофосфорин створений на основі рістстимулювальних фосфатмобілізувальних ґрунтових бактерій *Bacillus megaterium* IMB B-5724, призначений для обробки насіння сільськогосподарських культур до сівби та під час вегетації з метою покращення фосфорного живлення рослин та для збільшення їх продуктивності. Титр живих клітин рістстимулювальних фосфатмобілізувальних бактерій у препараті становить не менше $0,5 \cdot 10^9$ клітин/мл. Препарат одночасно проявляє рістстимулювальний механізм впливу.

Методи досліджень: польовий – для визначення залежності об'єкта досліджень від антропогенних факторів і врожайності, аналітичний – для оцінки умов вирощування культури, статистичний – для розрахунків і оцінки отриманих результатів.

Результати дослідження. У роки проведення досліджень погодні умови істотно відхилялися від середніх багаторічних показників. Насамперед це стосувалося температурного режиму, суми опадів, що визначають урожайність льону олійного, а також вміст олії в його насінні та жирнокислотний склад [19].

Погодні умови 2023 року характеризувалися як екстремально-посушливі. Виняток становив квітень, упродовж якого випала тримісячна норма опадів, що сприяло отриманню сходів та вегетації культури на початковому етапі. Проте решту періоду вегетації рослини перебували у режимі недостатнього зволоження, що вплинуло на формування біомаси культури і як наслідок на величину урожаю. ГТК впродовж травня – липня був від 0,1 до 0,65 (рис. 1).

За температурними умовами найбільш спекотним був 2024 рік, проте завдяки надходженню опадів показник ГТК (IV-VII) перебував в межах від 0,24 до 1,64. 2025 рік вирізнявся помірним температурним режимом проте нерівномірність надходження опадів зумовила періодичну сильно виражену посушливість, із значеннями коливань ГТК (IV-VII) від 0,11 до 1,39.

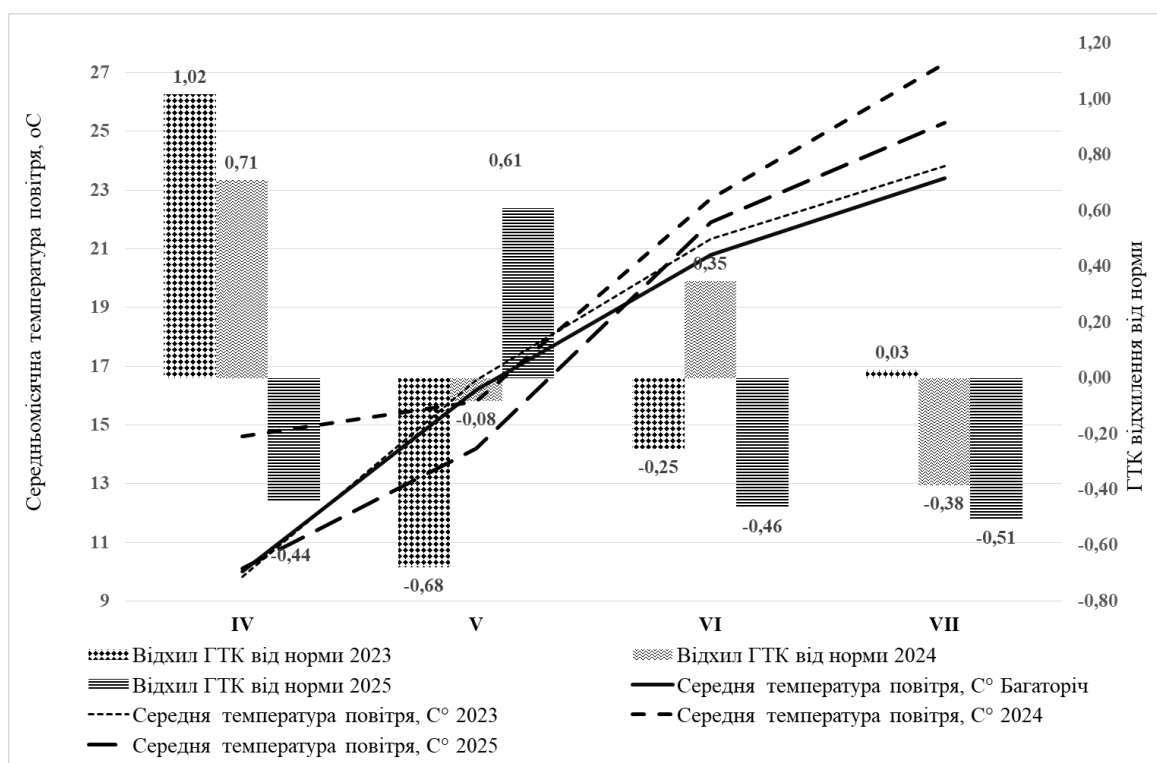


Рис. 1. Відхилення ГТК та показники температур у весняно-літній період 2023–2025 рр. порівняно із кліматичною нормою

Гідротермічний режим у період досліджень позначався на активності ґрунтової біоти, обмінних процесах, що формувало поживний режим та впливало на формування біологічної маси та як результат – урожаю льону олійного.

Заходи покращення режиму фосфорного живлення, удобрення та інокуляція насіння фосфатмобілізувальними бактеріями позитивно позначилися на складових, які формують структуру урожаю культури (табл. 1).

Табл. 1. Структура урожаю льону олійного сорту Водограй залежно від заходів оптимізації фосфорного живлення, (2023–2025 рр.)

Варіант досліджу	Кількість		Маса 1000 насінин, г
	коробочок, шт/рослину	насіння, шт/коробочці	
Обробка насіння водою	5,07	6,35	5,98
P ₁₅	5,11	6,53	6,05
P ₃₀	5,42	6,65	6,14
Біофосфорин (1 л/т)	5,20	6,54	6,08
P ₁₅ + Біофосфорин (1 л/т)	5,27	6,79	6,22
P ₃₀ + Біофосфорин (1 л/т)	5,42	6,85	6,25
<i>НІР_{0,5}</i>	0,09	0,13	0,16

У варіанті контролю, де була проведена виключно обробка насіння водою, рослини у середньому сформували 5,07 коробочок. Внесення мінерального фосфору забезпечило підвищення даного показника. На фоні P₃₀ їх було на

0,35 штук більше, що складає 6,9 % та є достовірною різницею. Проте на фоні внесення добрив P_{15} спостерігалось виключно перевищення за абсолютним значенням, меншим за величиною $НІР_{05}$. Використання біопрепарату Біофосфорин (1 л/т) мало позитивний достовірний вплив, забезпечивши збільшення кількості коробочок на 0,13 шт. що складає 2,6 %. Комбіноване застосування добрив і біопрепарату показало синергічний ефект, із достовірним перевищенням рівня контролю. У варіант P_{15} + Біофосфорин (1 л/т) кількість коробочок була вищою на 0,2 шт., а у варіанті P_{30} + Біофосфорин (1 л/т) на 0,37 шт., що відповідно складає 3,9 та 6,9 %.

Відмічений і позитивний вплив досліджуваних факторів на кількість насіння в коробочці. Від рівня контролю 6,35 шт. їх кількість достовірно зростала на 0,18 та 0,3 шт. при внесенні мінеральних добрив P_{15} та P_{30} , що відповідає 2,8 та 4,7 %. Застосування інокуляції Біофосфорин (1 л/т) за ефективністю було близьким до внесення добрив P_{15} , та забезпечувало збільшення кількості насіння на 3,0 %. Найвищою була результативність сумісного застосування P_{15} + Біофосфорин + (1 л/т) та P_{30} + Біофосфорин (1 л/т), де перевищення контролю складало відповідно 0,44 та 0,5 шт./коробочку що відповідає 6,9 та 7,9 %.

Найменших змін зазнавала маса 1000 насінин. В усіх досліджуваних варіантах цей показник був вищим за контроль, проте математично достовірним було перевищення за умови сумісного застосування – внесення добрив та інокуляції насіння. У варіантах P_{15} + Біофосфорин + (1 л/т) та P_{30} + Біофосфорин (1 л/т) маса 1000 насінин була більшою на 0,24 та 0,27 г, що відповідає перевищенню на 4,0 та 4,5 %.

Під впливом метеорологічних умов та досліджуваних факторів рівень урожайності вагомо змінювався за роками. Умови 2023 року були найбільш несприятливими для культури. Попри більш високі абсолютні значення врожайності на функціональних варіантах достовірне підвищення було встановлено лише на фонах сумісного застосування P_{15} + Біофосфорин (1 л/т) – 0,43 ц/га (5,8 %), та P_{30} + Біофосфорин (1 л/т) – 0,53 ц/га (7,1 %).

У більш сприятливих для культури умовах (2024 р.) достовірне підвищення врожайності насіння було встановлено в усіх варіантах досліді (табл. 2).

Табл. 2. Урожайність насіння льону сорту Водограй залежно від заходів оптимізації фосфорного живлення, ц/га (середня за 2023–2025 рр.)

Варіант досліді	Рік проведення досліджень			Середнє
	2023	2024	2025	
Обробка насіння водою	7,42	8,47	10,68	8,86
P_{15}	7,77	8,97	11,37	9,37
P_{30}	7,81	9,78	11,50	9,70
Біофосфорин (1 л/т)	7,54	9,41	11,41	9,45
P_{15} + Біофосфорин (1 л/т)	7,85	9,73	11,45	9,68
P_{30} + Біофосфорин (1 л/т)	7,95	9,84	11,57	9,79
$НІР_{0,5}$	0,40	0,37	0,49	0,25

При внесенні фосфорних добрив P_{15} та збільшенні їх норми до P_{30} зростання врожайності становило відповідно 5,9 та 15,5 %. Ще вищим було збільшення врожайності на фоні внесення P_{15} + Біофосфорин (1 л/т) де перевищення досягло 14,9%, та P_{30} + Біофосфорин (1 л/т) де таке зростання досягло 16,2 %. Інокуляція насіння забезпечила прибавку урожаю в 0,94 ц/га.

Аналогічною була тенденція і у 2025 році, коли в усіх варіантах оптимізації фосфорного живлення були отримані достовірні прибавки врожайності. Дещо меншими вони були за внесення виключно мінеральних добрив, відповідно на фоні P_{15} та P_{30} збільшення складало 0,69 та 0,82 ц/га (6,5 та 7,7 %). При внесенні добрив P_{15} та інокуляції насіння Біофосфорин (1 л/т) перевищення контролю складало 0,77 ц/га, що відповідає підвищенню в 7,2 %, а на фоні P_{30} + Біофосфорин (1 л/т) відповідно 0,89 ц/га та 8,3 %. Виключно завдяки інокуляції урожайність зростала на 6,8 %.

У середньому за роки проведення дослідження також у варіантах покращення фосфорного живлення отримано математично достовірні прибавки урожайності відносно контролю. Підвищення дози фосфорних добрив та застосування біологічних препаратів окремо або у комплексі сприяло підвищенню урожайності. Якщо застосування мінерального фосфору забезпечило зростання врожайності порівняно з контролем на варіант P_{15} на 5,6 %, то при збільшенні норми добрив до P_{30} – складало 9,5 %.

Використання для інокуляції насіння препарату Біофосфорин (1 л/т) проявило позитивний вплив, забезпечивши урожайність, що перевищує контроль на 6,6 %. За результатами наближених розрахунків інокуляція співставна із внесенням 18,6 кг діючої речовини мінерального фосфору. Проте найвищий ефект був досягнутий за поєднання мінерального фосфору з біопрепаратом. У варіанті P_{15} + Біофосфорин (1 л/т) прибавка складала 9,2 % а у варіанті P_{30} + Біофосфорин (1 л/т) перевищення досягло 10,5 %.

Тому збільшення дози фосфорних добрив та застосування біологічного препарату сприяли поступовому і стабільному підвищенню врожайності, однак найбільш ефективним виявилось поєднання внесення мінерального фосфору у формі суперфосфату гранульованого P_{30} та сівба інокульованим насінням препаратом Біофосфорин (1 л/т), що дозволило отримати урожайність насіння 9,79 т/га.

Висновки. В умовах Південного Степу України на чорноземах південних із забезпеченістю фосфором в середньому на рівні 35,24 мг/кг ґрунту, льон олійний сорту Водограй позитивно реагує на заходи покращення фосфорного живлення. Препарат фосфатмобілізувальної дії Біофосфорин (1 л/т) для передпосівної обробки насіння льону забезпечує підвищення кількості коробочок однієї рослини на 2,6 %, та кількості насінин в одній коробочці на 3,0 %, що призводить до підвищення врожайності насіння на 6,6 % до 9,45 ц/га. Інокуляція, як захід, співставна за впливом на врожайність із внесення 18,6 кг мінерального фосфору. Поєднання мінеральних фосфорних добрив із біопрепаратом Біофосфорин забезпечує більш виражений позитивний вплив на урожайність льону олійного. Найвищий урожай (9,79 ц/га) отримано за комбінованого застосування P_{30} + Біофосфорин, що свідчить про позитивний характер взаємодії біологічного та

мінерального складових технології. Комплексне використання різних складових оптимізації фосфорного живлення забезпечує найвищу ефективність та є найбільш результативним підходом для підвищення урожайності.

Питаннями подальших наукових робіт мають бути пошук більш продуктивних штамів та вивчення післядії застосування препаратів фосфатомобілізуючої дії в сучасних сівозмінах.

Література:

1. Stavropoulos P., Mavroeidis A., Papadopoulos G., Roussis I., Bilalis D., Kakabouki I. On the Path towards a “Greener” EU: A Mini Review on Flax (*Linum usitatissimum* L.) as a Case Study. *Plants*. 2023. Vol. 12. P. 1–13.
2. Жуйков О. Г., Мельник М. А. Льон олійний в Україні – культура втрачених можливостей. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 123. С. 62–67. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.9>.
3. Чуприн О. В., Пономарьова М. С. Агротехнічні та економічні аспекти вирощування льону олійного як механізм забезпечення високоефективного агровиробництва. *КНЕУ. Вчені записки*. 2023. № 33. С. 315–322. DOI: https://doi.org/10.33111/vz_kneu.33.23.04.29.201.207.
4. Newkirk R. Flax feed industry guide. *Flax Canada*. 2015. P. 1 – 23.
5. Tse T. J., Guo Y., Shim Y. Y., Purdy S. K., Kim J. H., Cho J. Y., Alcorn J., Reaney M. J. T. Availability of bioactive flax lignan from foods and supplements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 63(29). P. 9843-9858. DOI: [doi:10.1080/10408398.2022.2072807](https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2072807).
6. Рудік О. Л., Заєць С. О., Онуфран Л. І. Особливості споживання елементів живлення льону олійного за різних умов вологозабезпечення в зоні Сухого Степу України. *Аграрні інновації*. 2020. № 1. С. 69-73.
7. Вожегова Р. А., Нетіс І. Т., Онуфран Л. І. Зміна клімату та проблема аридизації Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2021. №7. С. 16–20.
8. Майданович Н., Сайдак Р., Книш В. Порівняльний аналіз частоти посушливих явищ на Півдні України за показниками SPI та ГТК. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2022. № 31. С. 137–144.
9. Сябрук Т. А., Коновалова В. М., Левенець Т. П., Рудік О. Л. Вплив біологічних препаратів на продуктивність льону олійного в умовах Південного Степу України. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2021. № 34. С. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.61-68>
10. Гончар А. М., Пати́ка М. В. Вплив бактерій *Bacillus subtilis* на стан і активність фотосинтетичного апарату рослин пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2022. № 36. С. 28–35.
11. He1 N., Huang F., Luo D., Liu Z., Han M., Zhao Z., Sun X. Oilseed flax cultivation: optimizing phosphorus use for enhanced growth and soil health. *Crop and Product Physiology*. 2024. Vol. 15. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1432875>
12. Біднина І. О. Ефективність удобрення льону олійного на темно-каштановому ґрунті Півдня України. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2014. № 21. С. 60–64.
13. В’юнцов С. М. Формування продуктивності льону-довгунця залежно від

застосування мікробного препарату Поліміксобактерин. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. № 1 (53). С. 125–131.

14. Borzykh O., Sergiienko V., Tytova L., Biliavska L., Boroday V., Tkalenko G., Balan G. Potential of some bioagents in fungal diseases controlling and productivity enhancement of tomatoes. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 2022. Vol. 55(15). P. 1750–1765. DOI: 10.1080/03235408.2022.2116685

15. Чайковська Л. О., Баранська М. І., Овсієнко О. Л., Якубова Е. Р. Вплив фосфатмобілізувальних бактерій на активність мікрофлори темно-каштанового ґрунту в ризосфері ячменю ярого. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2008. №8. С. 40–51.

16. Писаренко П. В., Москалець В. В. Агроекологічні особливості впливу мікробних препаратів на кількісні параметри якості зерна тритикале озимого. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 1. С. 7–11.

17. Степ'як Т. І. Фосформобілізуючі бактерії та їх роль у формуванні врожайності ріпаку озимого. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2010. № 52. С. 114–120.

18. Zaiets S., Melnyk M., Zhygailo T., Yuzyuk S., Kyryllov Y., Zhygailo O., Tytova L., Shevchuk N. Productivity of oilseed flax varieties with the use of microbiological preparations in the system of organic farming in southern Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26. P. 315–325.

19. Махно Ю. О., Дрозд І. Ф., Лях В. О., Левчук Г. М., Ніконова В. М., Левченко В. І. Вплив умов вирощування на якісний та кількісний склад олії різних сортів льону. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2022. № 32. С. 52–61.

References:

1. Stavropoulos, P., Mavroeidis, A., Papadopoulos, G., Roussis, I., Bilalis, D., Kakabouki, I. (2023). On the path towards a “greener” EU: A mini review on flax (*Linum usitatissimum* L.) as a case study. *Plants*, 12, 1–13.

2. Zhuikov, O. H., Melnyk, M. A. (2022). Oilseed flax in Ukraine – a crop of lost opportunities. *Tavriia Scientific Bulletin*, 123, 62–67. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.9>. [in Ukrainian].

3. Chupryn, O. V., Ponomarova, M. S. (2023). Agrotechnical and economic aspects of oilseed flax cultivation as a mechanism for ensuring highly efficient agricultural production. *KNEU. Scientific Notes*, 33, 315–322. https://doi.org/10.33111/vz_kneu.33.23.04.29.201.207. [in Ukrainian].

4. Newkirk, R. (2015). Flax feed industry guide. Flax Canada, 1–23.

5. Tse, T. J., Guo, Y., Shim, Y. Y., Purdy, S. K., Kim, J. H., Cho, J. Y., Alcorn, J., Reaney, M. J. T. (2023). Availability of bioactive flax lignan from foods and supplements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(29), 9843–9858. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2072807>.

6. Rudik, O. L., Zaiets, S. O., Onufron, L. I. (2020). Features of nutrient consumption by oilseed flax under different moisture conditions in the Dry Steppe of Ukraine. *Agrarian Innovations*, 1, 69–73. [in Ukrainian].

7. Vozhehova, R. A., Netis, I. T., Onufron, L. I. (2021). Climate change and the problem of aridization in the Southern Steppe of Ukraine. *Agrarian Innovations*, 7, 16–20. [in Ukrainian].

8. Maidanovych, N., Saidak, R., Knysh, V. (2022). Comparative analysis of drought frequency in southern Ukraine according to SPI and HTC indicators. *Technological Aspects of Development and Testing of New Agricultural Machinery and Technologies*, 31, 137–144. [in Ukrainian].
9. Siabruk, T. A., Konovalova, V. M., Levenets, T. P., Rudik, O. L. (2021). Influence of biological preparations on the productivity of oilseed flax in the Southern Steppe of Ukraine. *Agricultural Microbiology*, 34, 61–68. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.61-68>. [in Ukrainian].
10. Honchar, A. M., Patyka, M. V. (2022). Influence of *Bacillus subtilis* on the state and activity of the photosynthetic apparatus of winter wheat plants (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Microbiology*, 36, 28–35. [in Ukrainian].
11. He, N., Huang, F., Luo, D., Liu, Z., Han, M., Zhao, Z., Sun, X. (2024). Oilseed flax cultivation: optimizing phosphorus use for enhanced growth and soil health. *Crop and Product Physiology*, 15, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1432875>.
12. Bidnina, I. O. (2014). Efficiency of oilseed flax fertilization on dark chestnut soils of southern Ukraine. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oil Crops NAAS*, 21, 60–64. [in Ukrainian].
13. Viuntsov, S. M. (2016). Formation of fiber flax productivity depending on the use of the microbial preparation Polimiksobakteryn. *Bulletin of ZhNAEU*, 1(53), 125–131. [in Ukrainian].
14. Borzykh, O., Sergiienko, V., Tytova, L., Biliavska, L., Boroday, V., Tkalenko, G., Balan, G. (2022). Potential of some bioagents in fungal disease control and productivity enhancement of tomatoes. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 55(15), 1750–1765. <https://doi.org/10.1080/03235408.2022.2116685>.
15. Chaikovska, L. O., Baranska, M. I., Ovsienko, O. L., Yakubova, E. R. (2008). Influence of phosphate-mobilizing bacteria on the activity of microflora in dark chestnut soil in the rhizosphere of spring barley. *Agricultural Microbiology*, 8, 40–51. [in Ukrainian].
16. Pysarenko, P. V., Moskalets, V. V. (2013). Agroecological features of the influence of microbial preparations on quantitative parameters of winter triticale grain quality. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 7–11. [in Ukrainian].
17. Stepiak, T. I. (2010). Phosphorus-mobilizing bacteria and their role in the formation of winter rapeseed yield. *Foothill and Mountain Agriculture and Animal Husbandry*, 52, 114–120. [in Ukrainian].
18. Zaiets, S., Melnyk, M., Zhygailo, T., Yuzyuk, S., Kyryllov, Y., Zhygailo, O., Tytova, L., Shevchuk, N. (2025). Productivity of oilseed flax varieties using microbiological preparations in organic farming systems in southern Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 26, 315–325.
19. Makhno, Yu. O., Drozd, I. F., Liakh, V. O., Levchuk, H. M., Nikonova, V. M., Levchenko, V. I. (2022). Influence of cultivation conditions on the qualitative and quantitative composition of oil in different flax varieties. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oil Crops NAAS*, 32, 52–61. [in Ukrainian].

Annotation

Rudik O. L., Lototsky O. V.

Justification of measures for biologization of phosphorus nutrition of oilseed flax in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine

Objective. To determine the productivity formation of oilseed flax using the biological preparation Biophosphorin and different phosphorus fertilizers rates.

Methods. Field, measurement, calculation-comparative, analytical, and statistical methods.

Results. Studies have shown that phosphate-mobilizing biopreparation Biophosphorin (1 l/t), when pre-sowing treated with flax seeds, increases the number of capsules per plant by 2.57%, and the number of seeds in one capsule by 3%, which leads to an increase in seed yield by 6.6% to 0.95 t/ha. Inoculation, as a measure, is comparable in yield to the application of 18.6 kg of active substance mineral phosphorus. The highest effect was achieved by combining mineral phosphorus with a biological preparation. In the variant P15 + Biophosphorin (1 l/t) the increase of yield was 9.2%, and in the variant P30 + Biophosphorin (1 l/t) the excess reached 10.5%.

Conclusions. In the conditions of the Southern Steppe of Ukraine, on southern chernozem soils with an average phosphorus content of 35.24 mg/kg of soil, the oilseed flax variety Vodohrai responds positively to measures aimed at improving phosphorus nutrition. The phosphate-mobilizing preparation Biofosforin (1 l/t) used for pre-sowing seed treatment increases the number of capsules per plant by 2.6% and the number of seeds per capsule by 3.0%, which leads to a 6.6% increase in seed yield, reaching 9.45 t/ha. Inoculation as a measure has an effect on yield comparable to the application of 18.6 kg of mineral phosphorus. The combination of mineral phosphorus fertilizers with the biological preparation Biofosforin provides a more pronounced positive effect on the yield of oilseed flax. The highest yield (9.79 t/ha) was obtained with the combined application of P30 + Biofosforin, which indicates a positive interaction between the biological and mineral components of the technology. The integrated use of various components for optimizing phosphorus nutrition ensures the highest efficiency and is the most effective approach for increasing yield.

Key words: oilseed flax, phosphate mobilization, biological preparations, organic production, yield structure, biologization of production