

DOI: 10.32636/01308521.2022-(72)-1-8

УДК 631.82/1/7:633.162

В. Г. ШЕСТАК, аспірант

Львівський національний університет природокористування

вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни Львівського р-ну Львівської обл.,
80381, e-mail: volodyash25@gmail.com

ЗНАЧЕННЯ ФОСФОРНО-КАЛІЙНИХ ДОБРИВ ДЛЯ ДІЇ АЗОТУ ТА НІТРАПРИНУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО В ЗАХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ

Проведено дослід у Львівському національному університеті природокористування в районі Пасового Побужжя природо-кліматичної зони Західний Лісостеп від осені 2019 до 2021 р. Мета досліджень – з'ясувати дію фосфорно-калійних добрив за різних норм внесення азоту та застосування інгібітора уреазі «N-Лок™», який стримує утворення нітратів, на агрохімічні показники ґрунту та врожайність ячменю озимого. Ґрунт – темно-сірий лісовий опідзолений легкосуглинковий слабо гумусований (*Greyic Luvic Phaeozem*). Використано традиційні методи польових досліджень та стандартизовані методики лабораторних аналізів. На фосфорно-калійному фоні $P_{60}K_{60}$ застосування різних систем азотного удобрення ячменю озимого в темно-сірому лісовому опідзоленому легкосуглинковому слабо гумусованому ґрунті до початку весняної вегетації в орному пласті 0–20 см містилося на 35–45 мг/кг ґрунту більше (залежно від року) рухомих фосфатів та на 29–33 мг/кг більше обмінного калію, ніж без фону. Системи азотного удобрення $N_{97}(NH_4NO_3)$ при відновленні вегетації + «N-Лок™» (перед сівбою) або $N_{97}(NH_4NO_3)$ + «N-Лок™» при відновленні вегетації на фосфорно-калійному фоні $P_{60}K_{60}$ та сумарного N_{120} забезпечували стартовий вміст легкогідролізного азоту в орному шарі 132–136 мг/кг ґрунту залежно від умов року.

Внесення під ячмінь озимий $N_{97}(NH_4NO_3)$ + «N-Лок™» у 2020 р. при відновленні вегетації на фоні $N_{23}P_{60}K_{60}$ під оранку забезпечило прибавку врожаю зерна 0,94 т/га, у 2021 р. – 1,09 т/га. Натомість внесення $N_{97}(NH_4NO_3)$ при відновленні вегетації + «N-Лок™» восени перед сівбою на тому ж фоні сприяло підвищенню врожаю на 0,87 т/га у 2020 р. та 1,26 т/га у 2021 р. при врожаї з нормами $N_{23}P_{60}K_{60}$ з осені та N_{37} при відновленні вегетації 6,52 і 6,65 т/га, відповідно, у 2021 та 2020 рр.

Відсутність фосфорно-калійного фону в системі удобрення озимого ячменю зменшувала врожайність культури на 0,25–0,73 т/га залежно від норм азоту та погодних умов вегетації. Урожай зерна за відсутності будь-яких добрив на природно родючому темно-сірому лісовому опідзоленому легкосуглинковому слабо гумусованому ґрунті коливався по роках

дослідження в межах 4,33–4,55 т/га. Але відсутність усіх видів добрив збіднювала орний шар на 12–15 мг/кг ґрунту рухомих фосфатів та на 13–15 мг/кг ґрунту обмінного калію. За внесення лише N_{120} кількість фосфатів зменшувалася ще на 7–9 мг/кг ґрунту, калію – на 6–7 мг/кг ґрунту в різні роки досліджень. Отже, внесення під озимий ячмінь азотних добрив без фосфорно-калійного фону виснажує ґрунт на фосфати й калій більше, ніж без добрив узагалі.

Ключові слова: рухомий фосфор, обмінний калій, легкогідролізний азот, нітрати, інгібітор уреаз, ячмінь озимий, урожайність зерна.

Volodymyr Shestak

Lviv National University of Nature Management

The value of phosphorus-potassium fertilizers for the action of nitrogen and nitropryrin by the winter barley cultivation in Western Forest-Steppe

Experiments were conducted at the Lviv National University of Nature Management in the area of Pasmovye Pobuzhzhia of the Western Forest-Steppe nature-climatic zone from the fall of 2019 to 2021. The research aim – to find out the effect of phosphorus-potassium fertilizers at different rates of nitrogen application and the use of the urease inhibitor N-LokTM, which deters nitrates' formation, on the agrochemical parameters of the soil and the yield of winter barley. The soil is a dark-gray forestal gleyed light-loamy with low humus content (Greyic Luvic Phaeozem). Traditional methods of field research and standardized methods of laboratory analyzes were used. On the phosphorus-potassium background $P_{60}K_{60}$, the application of various nitrogen fertilization systems of winter barley in dark-gray forestal gleyed light-loamy soil with low humus content before the beginning of spring vegetation, the 0–20 cm arable layer contained 35–45 mg/kg of soil more (depending on the year) mobile phosphates and 29–33 mg/kg more exchangeable potassium than without background.

Nitrogen fertilization systems $N_{97}(NH_4NO_3)$ during vegetation restoration + N-LokTM (before sowing) or $N_{97}(NH_4NO_3)$ + N-LokTM during vegetation restoration on phosphorus-potassium backgrounds $P_{60}K_{60}$ and total N_{120} ensured the initial content of easily hydrolyzable nitrogen in the arable layer 132–136 mg/kg of soil, depending on the conditions of the year.

Application under winter barley $N_{97}(NH_4NO_3)$ + N-LokTM in 2020 during the restoration of vegetation on the background of $N_{23}P_{60}K_{60}$ under plowing provided an increase in grain yield by 0.94 t/ha, in 2021 – 1.09 t/ha. Instead, application of $N_{97}(NH_4NO_3)$ during the restoration of vegetation + N-LokTM in the fall before sowing on the same background contributed to an increase in yield by 0.87 t/ha in 2020 and 1.26 t/ha in 2021 when harvested with $N_{23}P_{60}K_{60}$ norms from the fall and N_{37} during the restoration of vegetation 6.52 and 6.65 t/ha in 2021 and 2020, respectively.

The absence of a phosphorus-potassium background in the fertilization system of winter barley reduced the yield of the crop by 0.25–0.73 t/ha, depending on the nitrogen rates and weather conditions of the growing season. The grain yield

in the absence of any fertilizers on the naturally fertile dark-gray forestal gleyed light-loamy with low humus content fluctuated in the range of 4.33–4.55 t/ha over the years of the study. But the absence of all types of fertilizers impoverished the arable layer by 12–15 mg/kg of soil in mobile phosphates, and by 13–15 mg/kg of soil in exchangeable potassium. With the application of only N₁₂₀, the amount of phosphates decreased by 7–9 mg/kg of soil, potassium – by 6–7 mg/kg of soil in different years of research. Therefore, the introduction of nitrogen fertilizers under winter barley without a phosphorus-potassium background depletes the soil of phosphates and potassium more than without fertilizers at all.

Keywords: mobile phosphorus, exchangeable potassium, easily hydrolyzable nitrogen, nitrates, urease inhibitor, winter barley, grain yield.

Вступ. Деградація ґрунтів України активізувалася 30 років тому за значного зменшення внесення оптимальних мінеральних і органічних добрив та посилюється в умовах несприятливої трансформації клімату [5, 18, 21, 35]. Прагнення отримати швидкий прибуток у максимальному обсязі на тлі стрімких змін клімату в Україні призвело до нещадної, ірраціональної експлуатації ґрунтових ресурсів [16, 22] та проблем довкілля [24, 27]. Тому в недалекому майбутньому країні загрожують катастрофічні наслідки.

Розрахунки свідчать [16], що разом із сумарним збором зерна з українських полів у 2019 р. вилучено 1888 тис. тонн азоту, 275 тис. тонн фосфору, 386 тис. тонн калію. Водночас 1295 тис. тонн азоту, 187 тис. тонн фосфору і 262 тис. тонн калію транспортовано за кордони України в складі експортного зерна цього ж року. Пшениця озима містила найбільше Р і К, експортованих із зерном за кордон. 144 тис. тонн N і 26 тис. тонн К експортовано із зерном сої. 100 тис. тонн азоту, 18 тис. тонн фосфору і 23 тис. тонн калію вивезено за кордони України у 2019 р. із зерном ячменю озимого.

Згідно з розрахунками [5, 11], застосування добрив упродовж 2015–2019 рр. в Україні зростає. Сільськогосподарські виробники у 2019 р. внесли 76 кг N, по 17 кг Р і К на 1 га сільськогосподарських земель. Показник сумарної кількості N, Р і К значно вищий у країнах Європи й коливається в межах 200–300 кг/га. Виробники не вносили необхідні норми добрив і не дотримувались співвідношення між елементами живлення при удобренні культур. Перевагу було надано азотним добривам.

Виробники аграрної продукції в Україні мають бути зобов'язані урядом держави вносити на поля всі види добрив, що містять не менше N₁₅₀P₄₁K₃₅ [12]. Для цього вони повинні відмовитися від

отримання максимального прибутку на природно родючих ґрунтах завдяки економії витрат на їхнє удобрення та меліорації.

Ефективність добрив коливається залежно від клімату зон і погодних умов вегетації [23, 29, 35]. У посушливу пору року мінералізація органічних складових ґрунту знижується, а у вологу пору року, коли вологість його найвища, в зоні кореневої системи мінералізація активізується. При регулярному застосуванні високих норм мінеральних добрив, окрім збору високих врожаїв, у ґрунтах створюється запас поживних речовин (N, P, K, Ca, Mg та ін.) [29, 36]. Важливо поєднувати внесення всіх мінеральних добрив (NPK) і гною, що також позитивно впливає на pH верхнього шару ґрунту [16, 19, 28].

Вирощування ячменю озимого вигідне, але має свої технологічні особливості, визначені біологією сортів. Унаслідок швидкого проходження фаз розвитку й швидкого росту навесні ячмінь озимий вирізняється підвищеними вимогами до рівня живлення [2, 6, 10]. На формування 1 тонни зерна ячмінь озимий використовує приблизно: N – 15–20 кг; P_2O_5 – 6–10 кг; K_2O – 4–8 кг; CaO – 0,6–2,0 кг; MgO – 1–3 кг [8, 9]. Тому для нього дуже важливим є збалансоване мінеральне живлення, особливо в початковий період росту та розвитку. На початку кущення рослини ячменю потребують приблизно половину фосфору, що засвоюється рослиною, у фазі виходу в трубку – 2/3 кількості калію і більше 50% азоту. На початок цвітіння потреба в елементах живлення ячменем досягає 80–85% [7].

Не вивченим залишається питання стабілізації азоту в ґрунті інгібіторами нітрифікації при вирощуванні ячменю озимого в зонах промивного й напівпромивного режиму зволоження [31, 33]. Високі норми азотного удобрення зазвичай або діють надто активно, провокуючи ріст рослин у висоту, або за дощової погоди спричиняють втрати нітратних форм із ґрунту. Зокрема, внесення нітрапірину в різних препаратних формах запобігає втраті ґрунтового азоту через вилуговування або змив нітратів (NO_3^-), або газоподібних викидів азоту (N_2) та закису азоту (N_2O) [25, 26, 30, 34]. Уже 40 років нітрапірин застосовують у США як інгібітор уреазы з метою підвищення врожайності культур і зменшення впливу на довкілля азотних добрив, які використовують у сільському господарстві [36].

Метою наших досліджень було вивчення дії фосфорно-калійних добрив за різних норм внесення азоту та застосування інгібітора нітрифікації «N-Лок™» на агрохімічні показники ґрунту та врожайність ячменю озимого.

Матеріали і методи. Досліди провели у Львівському національному університеті природокористування (ЛНУП). ЛНУП має дослідне поле в м. Дубляни, розташоване в районі Пасмового Побужжя природо-кліматичної зони Західний Лісостеп. Координати: N 49°54'14"; E 24°05'10". Висота над рівнем моря – 258 м. Польові досліди закладали за традиційною методикою в агрономії.

На досліді ми описали розріз темно-сірого опідзоленого ґрунту перед початком робіт для з'ясування генетико-морфологічної будови профілю та відбору зразків для аналізу. Рельєф дослідної ділянки – нижня виположена частина схилу. Вид угіддя – рілля. Поверхня ґрунту – грудкувата. Ґрунт – темно-сірий лісовий опідзолений легкосуглинковий слабо гумусований – *Greyic Luvic Phaeozem* (WRB, 2015) [37].

До закладання дослідів вміст легкогідролізного азоту за методом Корнфілда в товщі 0–20 см становив 65–70 мг/кг ґрунту. Він знижувався в пласті 20–40 см до 50–53 мг/кг ґрунту. Визначення азоту легкогідролізного (Nh) проводили згідно з ДСТУ 7863:2015. Для цього наважку ґрунту гідролізували 1 моль/л розчином NaOH в чашках Конвея протягом 48 годин в термостаті при 28°C. В результаті цього виділявся азот органічних сполук у вигляді NH₃, який поглинався розчином борної кислоти й потім кількісно визначався титруванням 0,02 моль/л розчином H₂SO₄. Вміст нітратного азоту (Nn) визначали потенціометрично за допомогою йонселективного нітратного електрода в сольовій витяжці 1%-го розчину алюмокалієвого галууну при співвідношенні ґрунту до розчину 1:2,5. За показниками йономіра і калібрувального графіка визначали вміст нітратного азоту. Стандартні розчини для калібрування приладу й калібрувальний графік готували з використанням 1•10⁻¹М KNO₃ шляхом поступового десятиразового розбавлення його дистильованою водою до концентрації 1•10⁻²М, 1•10⁻³М, 1•10⁻⁴М. Вміст нітратів у ґрунті, в мг/кг, знаходили за величиною рNO₃.

До закладання дослідів вміст нітратного азоту змінювався від 20–28 мг/кг ґрунту в пласті 0–20 см до 16–18 мг/кг у пласті 20–40 см. Вміст фосфору у верхньому 20-сантиметровому шарі становить 49–50 мг/кг ґрунту. Рухомі сполуки фосфору визначали за Чириковим (ДСТУ 4115-2002). Вміст фосфору поступово знижується до 43–45 мг/кг чистого з глибиною. Вміст обмінного калію за Чириковим (ДСТУ 4115-2002) у перерахунку на K₂O становить 34–36 мг/кг ґрунту в пласті 0–20 см. Його кількість зменшується до 25–28 мг/кг ґрунту в пласті 20–40 см.

За програмою досліджень перед закладанням досліду до сівби, по відновленню вегетації, перед початком колосіння й перед збиранням було взято зразки ґрунту з глибини 0–20 та 20–40 см. Аналізи виконали на базі філіалу кафедри агрохімії та ґрунтознавства ЛНУП в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН. Проби ґрунту відбирали й готували до аналізів згідно з ДСТУ ISO 11464 2001.

Для експериментування з нормами й формами азотних добрив і внесенням нітрапірину розробили схему дослідження (табл. 1).

1. Схема польового експерименту

№ ва-ріанта	Зміст варіанта	N, кг/га д. р.
1	Без добрив	0
2	Без добрив + «N-Лок™»	0
3	Фон – $N_{23}P_{60}K_{60}(NH_4)_2HPO_4 + NH_4NO_3 + KCl$ (перед сівбою)	23
4	Фон + «N-Лок™» (перед сівбою)	23
5	Фон + $N_{97}(CH_4N_2O)$ (перед сівбою)	120
6	Фон + $N_{97}(CH_4N_2O)$ + «N-Лок™» (перед сівбою)	120
7	Фон + $N_{97}(CH_4N_2O)$ + «N-Лок™» (відновлення вегетації)	120
8	$N_{23}(NH_4NO_3)$ (перед сівбою) + N_{67} (відновлення вегетації) + N_{30} (початок колосіння)	120
9	Те саме + «N-Лок™» (відновлення вегетації)	120
10	Фон + $N_{37}(NH_4NO_3)$ (відновлення вегетації) (контроль)	60
11	Фон + $N_{37}(NH_4NO_3)$ + «N-Лок™» (відновлення вегетації)	60
12	Фон + $N_{67}(NH_4NO_3)$ (відновлення вегетації)	90
13	Фон + $N_{67}(NH_4NO_3)$ + «N-Лок™» (відновлення вегетації)	90
14	Фон + $N_{97}(NH_4NO_3)$ (відновлення вегетації)	120
15	Фон + $N_{97}(NH_4NO_3)$ (відновлення вегетації) + «N-Лок™» (перед сівбою)	120
16	Фон + $N_{97}(NH_4NO_3)$ + «N-Лок™» (відновлення вегетації)	120
17	Фон + N_{67} (відновлення вегетації) + N_{30} (початок колосіння)	120
18	Фон + N_{67} (відновлення вегетації) + N_{30} (початок колосіння) + «N-Лок™» (відновлення вегетації)	120

Технологію вирощування ячменю озимого було використано традиційну: оранка на 20–22 см, внесення добрив – діаміфоски $(NH_4)_2HPO_4 + NH_4NO_3 + KCl - N_{10}P_{26}K_{26}$ під передпосівну культивування в нормі згідно зі схемою досліду, сівба сортом Хайлайт [15] в оптимальні терміни з рекомендованою нормою висіву насіння

3,8 млн зерен на га. Карбамід ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} - \text{N}_{46}$) вносили під передпосівну культивуацію в нормі згідно зі схемою досліджу. Частину азотних добрив у формі аміачної селітри ($\text{NH}_4\text{NO}_3 - \text{N}_{34}$) було внесено весною при відновленні вегетації, частину – перед початком колосіння (в нормах згідно зі схемою досліджу, табл. 1). Інгібітор нітрифікації «N-Лок™» вносили за схемою досліджу в нормі 1,2 л/га. Препарат «N-Лок™» – промисловий стабілізатор азоту, що має діючу речовину (д. р.) 2-Хлор-6-(трихлорметил)-піридин, хімічна формула $\text{C}_6\text{H}_3\text{Cl}_4\text{N}$. Д. р. є ґрунтовим бактерицидом, функціонує як інгібітор утворення ензиму уреазу, чим запобігає гідролізу аміачних сполук. Його дія на бактериоценоз ґрунту й пригнічення нітрифікації триває 8–10 тижнів. Нітрапирин повністю розкладається як у ґрунті, так і в рослинах [32].

Статистичний аналіз даних проводили за допомогою пакетів «Microsoft Excel», «Statistica 10», а також власної програми «Dispersion.exe», розміщеної в інтернеті (<https://github.com/dimbaida/variance-anlysis>).

Результати та обговорення. Генетично темно-сірий опідзолений ґрунт має такі природні усереднені агрохімічні показники [1, 2, 14]: pH_{KCl} – 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%, легкогідролізних сполук мінерального азоту – 71–91, рухомих сполук фосфору – 94–105 та обмінних сполук калію – 84–96 мг/кг ґрунту.

Упродовж вегетації неудобрений темно-сірий опідзолений ґрунт Північного Лісостепу України [3, 17] втрачає за поступового зменшення вмісту P_2O_5 у варіантах без внесення добрив 5–8% його запасу до кінця вегетації. За систематичного використання добрив слід розраховувати на підвищення вмісту в орному шарі ґрунту рухомих форм фосфору порівняно з контролем (без добрив) до 10%. Забезпеченість ґрунту рухомих фосфором за систематичного внесення добрив досягає високого ступеня.

В районі Пасового Побужжя, де розташоване дослідне поле ЛНУП, внесення фосфорно-калійних туків у нормі $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ перед сівбою озимого ячменю у 2019 р. зумовлювало підвищення ресурсу рухомого фосфору на початку вегетації у 2020 р. на 73% (від 112 мг/кг у неудобреному варіанті 1 до 154 мг/кг ґрунту на удобреному фоні, рис. 1). Такий рівень вмісту рухомого фосфору – 151–154 мг/кг ґрунту – підтримувався в усіх 14 фонових варіантах, де змінювалася лише система азотного удобрення. Тільки у варіантах 8 і 9, де внесли під

ячміль озимий по 120 кг/га азоту без фосфорно-калійного фону, ресурс фосфатів на весну залишався на рівні контролю без добрив.

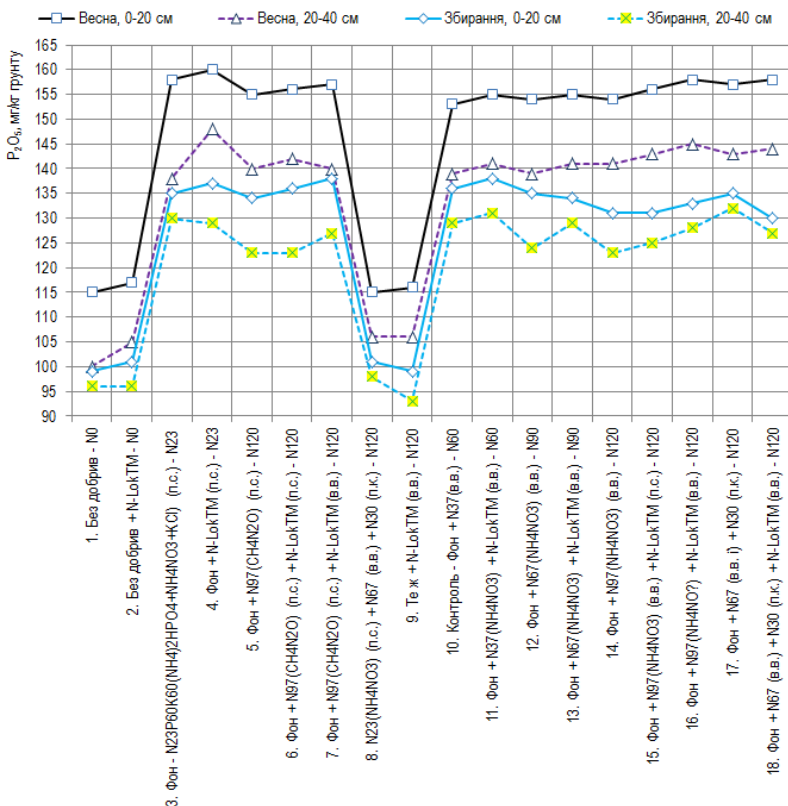


Рис. 1. Зміни вмісту доступних солей фосфору в ґрунті упродовж вегетації залежно від систем удобрення ячменю озимого у 2020 р. ($p < 0,05$)

Слід звернути увагу, що підорний горизонт 20–40 см темно-сірого лісового опідзоленого легкосуглинкового слабо гумусованого ґрунту є достатньо потужним резервом кореневого живлення ячменю озимого. Він містить лише на 50 мг/кг ґрунту менше фосфатів за якісної глибокої заробки ґуків під оранку.

Подібна закономірність повторилася у 2021 р. тільки на ледь помітно вищому рівні вмісту фосфатів – 153–160 мг/кг ґрунту в орному шарі (рис. 2).

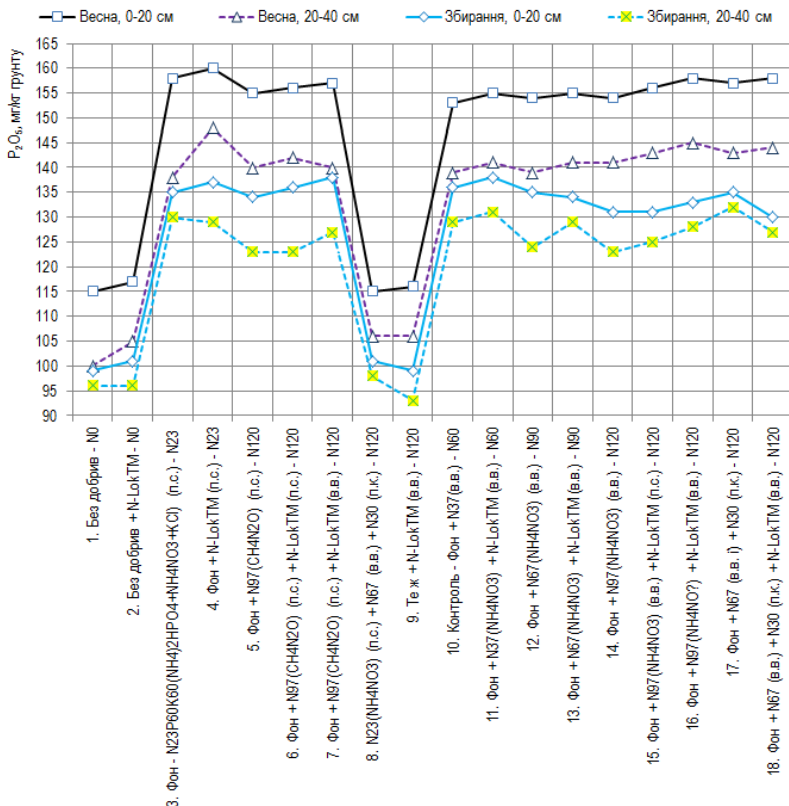


Рис. 2. Зміни вмісту доступних солей фосфору в ґрунті упродовж вегетації залежно від систем удобрення ячменю озимого у 2021 р. ($p < 0,05$)

Формування фітомаси ячменю озимого під час росту й розвитку рослин потребувало асиміляції ґрунтового фосфору, тому його ресурси в орному й підорному шарах до збирання врожаю зменшилися (див. рис. 1 і 2). За однакового фосфорно-калійного фону $P_{60}K_{60}$ як у 2020 р.,

так і у 2021 р. простежується виразна тенденція більшого виснаження ґрунту за збільшення норми азоту до 120 кг/га д. р.

Особливо велике зниження вмісту рухомих фосфатів виявлено за внесення 120 кг/га д. р. азоту без фосфорно-калійних добрив (вар. 8 і 9). У 2020 р. воно становило по 4 мг/кг ґрунту в орному й підорному пластах, у 2021 р. – 3 мг/кг ґрунту в підорному шарі порівняно з природним вмістом у неудобреному варіанті 1. Порівняно з удобреним варіантом 3, де внесли $P_{60}K_{60}$ та N_{23} , зменшення становило 38–40 в орному та 34–36 мг/кг ґрунту в підорному пласті.

Отже, ресурси ґрунтового фосфору, який вагомо збільшується при внесенні P_{60} під осінню оранку, виснажуються до збирання врожаю тим більше, чим більше внесено під ячмінь озимий азотних добрив – 23, 60, 90 чи 120 кг/га д. р.

Застосування мінеральних добрив у нормі $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{45}P_{30}K_{30}$ під ячмінь ярий в умовах Пасмового Побужжя упродовж 2013–2015 рр. [13] супроводжувалося підвищенням вмісту рухомого фосфору в орному шарі, відповідно, на 24 та 35 мг/кг ґрунту. З підвищенням норми добрив перевищення варіанта 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%.

А. В. Бикін і І. П. Поліщук довели [3], що під впливом систематичного використання добрив під моркву столову 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%, у період технічної стиглості – на 30% порівняно з контролем (без добрив). На початку дослідів на неудобреному фоні забезпеченість вказаної ґрунтової відміни калієм відповідала низькому рівню, тоді як у варіантах із внесенням добрив вона досягла середнього рівня. Такі висновки опублікували й інші автори [20].

На неудобреному контролі у фазі відновлення вегетації у 2020 р. в орному пласті темно-сірого лісового опідзоленого легкосуглинкового слабо гумусованого ґрунту містилося 41 мг/кг ґрунту, у підорному – 33 мг/кг ґрунту обмінного калію (рис. 3).

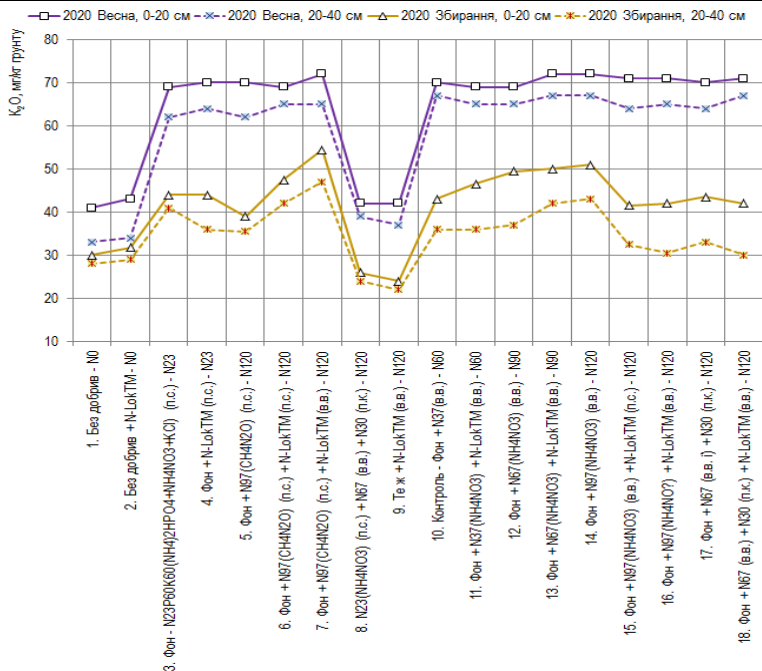


Рис. 3. Зміни вмісту обмінного калію в ґрунті упродовж вегетації залежно від систем удобрення ячменю озимого у 2020 р. ($p < 0,05$)

Близькими були параметри у варіантах 8 і 9, де також не було фосфорно-калійного фону, відповідно, містилося 42 і 39 мг/кг ґрунту та 42 і 37 мг/кг ґрунту обмінного калію.

Внесення під ячмінь озимий 120 кг д. р. азоту, особливо з нітрапірином, спричинило глибше виснаження ґрунту як на рухомі фосфати, так і на обмінний калій унаслідок вищого врожаю, ніж у варіанті 1 – зовсім без добрив. Залишок ресурсу калію до збирання врожаю становив в орному шарі 26–24 мг/кг ґрунту. Отже, нітрапирин зумовлює додаткове виснаження ґрунту у зв'язку з підвищенням врожаю зерна ячменю ярого. Дещо менше калію винесено ячменем у 2021 р., хоча закономірності повторюються в усіх варіантах (рис. 4).

У 2020 р. внесення калійних добрив під оранку в нормі $P_{60}K_{60}$ забезпечило підвищення ресурсу обмінного калію як в орному, так і підорному шарах ґрунту в середньому на 30 мг/кг ґрунту (рис. 3). За

вегетаційний період ячмінь озимий асимілював орієнтовно 20–25 мг/кг ґрунту калію залежно від фону азотного живлення. Чим більша норма удобрення культури – 23, 60, 90, 120 азоту, тим сильніше виснаження ґрунту на обмінні форми калію. Нітрапірин у кожному випадку застосування спричиняв ще більше збіднення ґрунту на калій.

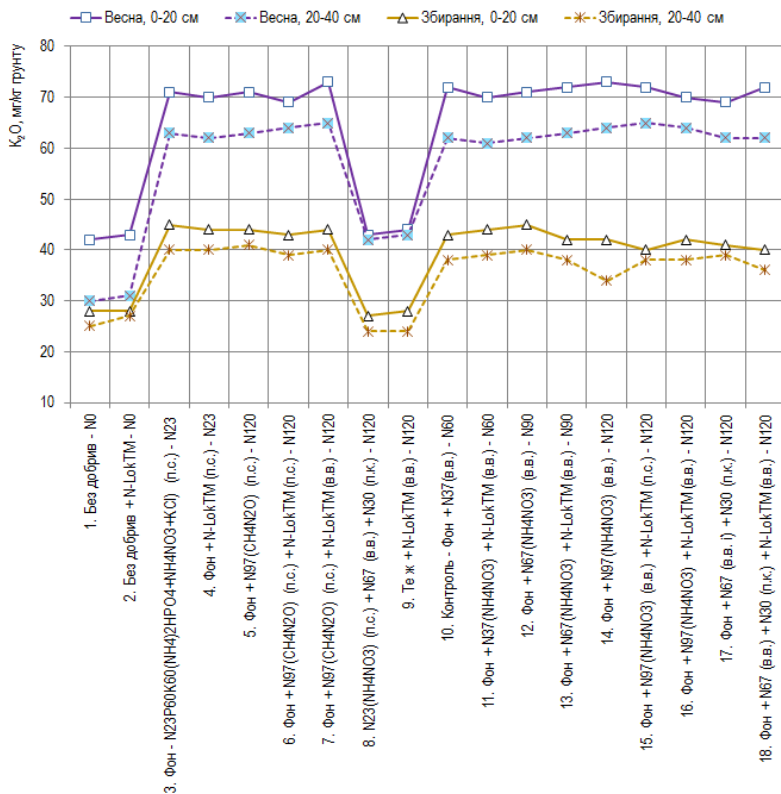


Рис. 4. Зміни вмісту обмінного калію в ґрунті упродовж вегетації залежно від систем удобрення ячменю озимого у 2021 р. ($p < 0,05$)

Проте до збирання в ґрунті залишалося приблизно на 10–20 мг/кг ґрунту більше обмінного калію у варіантах застосування $P_{60}K_{60}$ під оранку.

Максимальне середнє по профілю 0–40 см зниження обмінного калію до збирання у варіантах 15 і 18 за удобрення N_{120} на фоні $P_{60}K_{60}$ досягло 36–40 мг/кг ґрунту. Отже, його використання в цих варіантах становило 27–37 мг/кг ґрунту. Нітрапирин призводив до додаткового виносу калію в обидва роки за різних норм азоту під ячмінь озимий.

Отже, калійне удобрення ґрунту під ячмінь озимий дає змогу підтримувати вміст обмінного калію в орному й підорному пластах у приблизно півтора-два рази вищим від фонового неудобреного варіанта за різних норм азоту. Але основний життєдайний асимілят рослин – азот – спричинює активніше виснаження ґрунту залежно від величини норми азотних добрив.

Дослідженнями в Пасмовому Побужжі Західного Лісостепу [4] встановлено, що за впливу різних норм мінеральних добрив вагомо змінюється вміст легкогідролізних форм азоту в темно-сірому опідзоленому ґрунті при вирощуванні ячменю ярого. Результати досліджень виявили 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 неудобреним варіантом на 42–43 і 50–55 мг/кг ґрунту відповідно.

Проте немає даних щодо впливу підвищених і високих норм азотного удобрення ячменю озимого в Пасмовому Побужжі на ресурси легкогідролізних форм основного елемента живлення, який визначає величину максимального врожаю в сортів колосових культур інтенсивного типу.

У наших дослідженнях за відсутності удобрення спостерігали малий (природний) вміст легкогідролізного азоту в орному й підорному пластах ґрунту, і він ще зменшився до збирання врожаю до 44–67 мг/кг сухої маси (рис. 5 і 6).

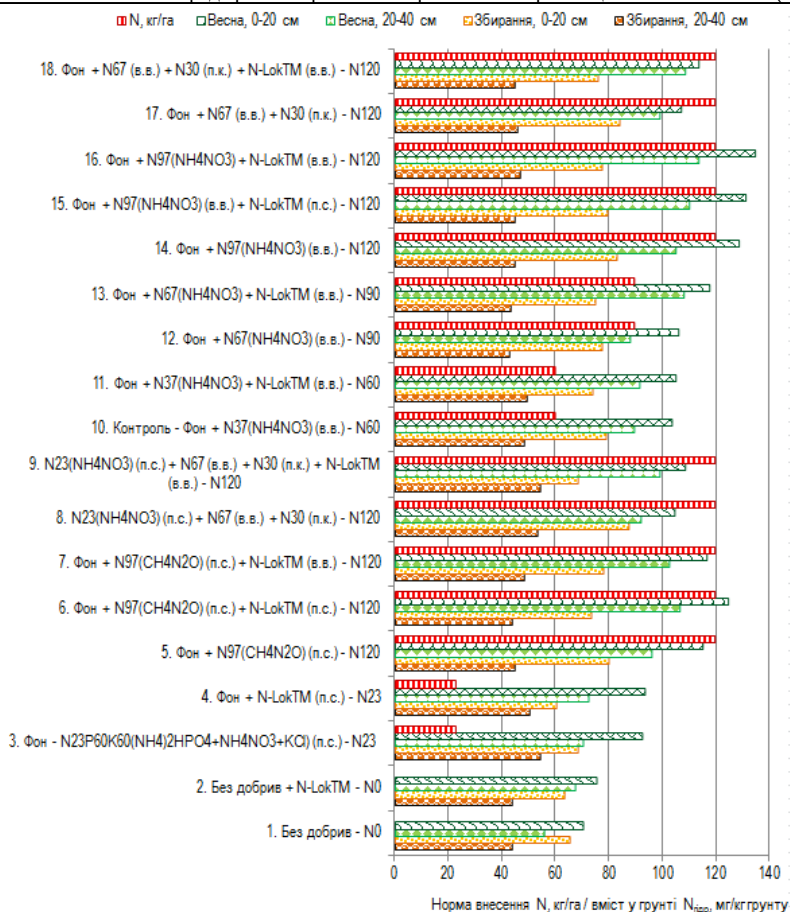


Рис. 5. Зміни ресурсів легкогідролізного азоту в ґрунті під впливом азотного удобрення та нітрапірину упродовж вегетації у 2020 р. ($p < 0,05$): п. с. – перед сівбою; в. в. – відновлення вегетації; п. к. – початок колосіння

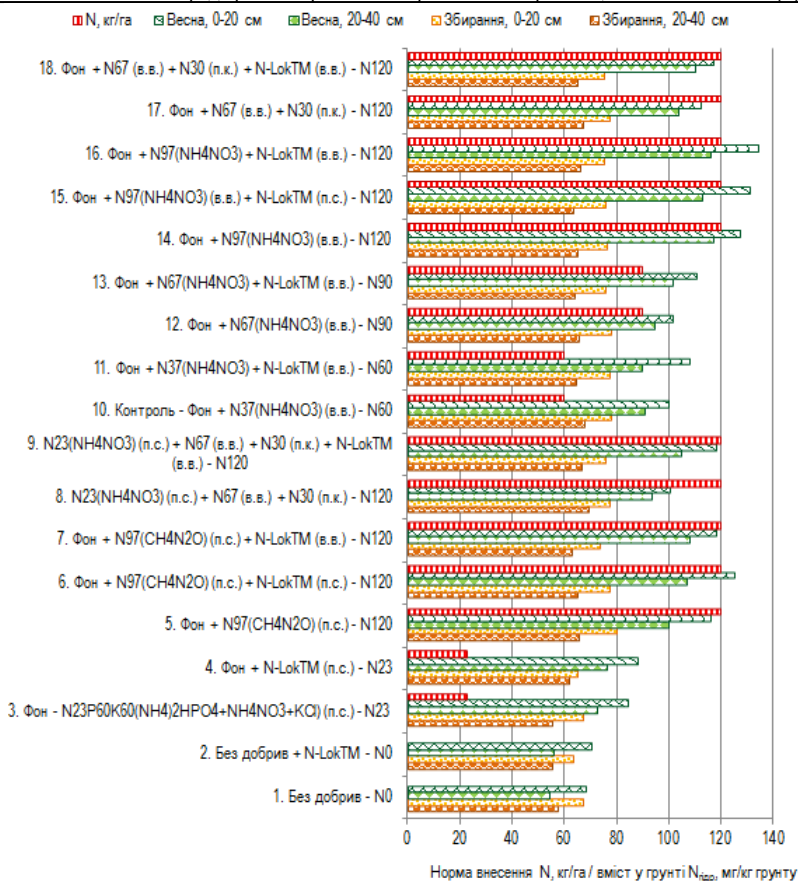


Рис. 6. Зміни ресурсів легкогідролізного азоту в ґрунті під впливом азотного удобрення та нітрапірину упродовж вегетації у 2021 р. ($p < 0,05$): п. с. – перед сівбою; в. в. – відновлення вегетації; п. к. – початок колосіння

Внесення в ґрунт N₁₂₀P₆₀K₆₀ (N₂₃ перед сівбою та N₉₇ при відновленні вегетації у формі карбаміду – варіант 5) спричинило збільшення концентрації легкогідролізного азоту на 31–37 мг/кг в пласті 0–20 см в обидва роки досліджень. Нітрапірин у 2020 р. діяв ефективніше при внесенні препарату під передпосівну культивування

ячменю (вар. 6) порівняно з його внесенням у період відновлення вегетації озимого ячменю.

Збільшення ресурсу легкогідролізного азоту на початку вегетації спостерігалось при внесенні $N_{23}P_{60}K_{60}$ восени + N_{37} у відновлення вегетації (вар. 10). Внесення нітрапірину і збільшення норми на N_{37} (вар. 11) та N_{67} (вар. 12) у відновлення вегетації ще більше підвищувало концентрацію легкогідролізного азоту в орному пласті. Проте його вміст сягнув найвищого діапазону – 110–132 та 113–131 мг/кг – від внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$ восени + N_{97} у відновлення вегетації без нітрапірину (вар. 15) та з нітрапірином 111–135 і 116–135 мг/кг (вар. 16) у 2020 та 2021 рр. дослідження (див. рис. 6).

Інгібітор уреазы сприяв підвищенню вмісту легкогідролізного азоту в ґрунті як при внесенні до сівби (восени – на 3 мг/кг), так і у відновлення вегетації (весною – на 6 мг/кг) в обидва роки дослідження. В усіх варіантах поєднання дози азоту з внесенням нітрапірину спричиняло відносно підвищення ресурсу легкогідролізного азоту в орному та підорному пластах ґрунту. Про ефективність інгібіторів нітрифікації в регулюванні азотного живлення є багато досліджень за кордоном [27, 31, 32, 33].

До збирання врожаю рівень концентрації легкогідролізного азоту знижувався до природного для ґрунту вмісту, але стрімкіше в тих ефективних варіантах, які забезпечили вищий врожай ячменю озимого. Отже, винос фітомасою ячменю там був інтенсивніший, ніж у менш врожайних варіантах дослідів.

На темно-сірому опідзоленому ґрунті Північного Лісостепу України систематичне внесення роздрібнених доз мінеральних добрив ($N_{50}P_{50}K_{100}$ + $N_{20}P_{20}K_{20}$) за вирощування моркви столової сприяло мінеральному живленню й вимогам рослин [17]. Порівняно з контролем (без добрив) на період сходів вміст форм азоту, що легко гідролізуються, підвищувався на 20%, а мінеральних сполук – на 66%. До завершення вегетації підвищення становило, відповідно, 20 і 42%, що свідчить про достатню забезпеченість рослин азотом.

Головним критерієм оцінювання дієвості певних концентрацій поживних речовин у ґрунті є їхній вплив на кінцевий результат росту й розвитку ячменю озимого – врожай зерна. Без мінеральних добрив можна отримувати на темно-сірому лісовому опідзоленому легкосуглинковому середньо гумусованому ґрунті 4,33–4,55 т/га зерна залежно від умов року. Внесення перед сівбою $N_{23}P_{60}K_{60}$ ($(NH_4)_2HPO_4$ + NH_4NO_3 + KCl) + N_{37} при відновленні вегетації було прийнято за виробничий контроль (вар. 10).

У 2020 р. поєднання фонового удобрення $N_{23}P_{60}K_{60}$ з різними нормами азоту N_{67-97} у формі аміачної селітри (вар. 12, 14 і 17) підвищувало врожай зерна в діапазоні від 0,26 до 0,44 т/га (рис. 7). Застосування нітрапірину в цих варіантах (вар. 13, 15, 16 і 18) максимально підвищувало врожайність ячменю ярого в діапазоні від 0,38 до 0,77 т/га відносно виробничого контролю – $N_{23}P_{60}K_{60}(NH_4)_2HPO_4 + NH_4NO_3 + KCl$ (перед сівбою) + $N_{37}(NH_4NO_3)$ (відновлення вегетації). Внесення під озимий ячмінь лише азотних добрив у максимальній нормі N_{120} у формі аміачної селітри без фосфорно-калійного фону не забезпечило істотного підвищення врожаю відносно виробничого контролю. Лише внесення весною нітрапірину істотно підвищило збір зерна на 0,28 т/га порівняно з контролем (вар. 10).

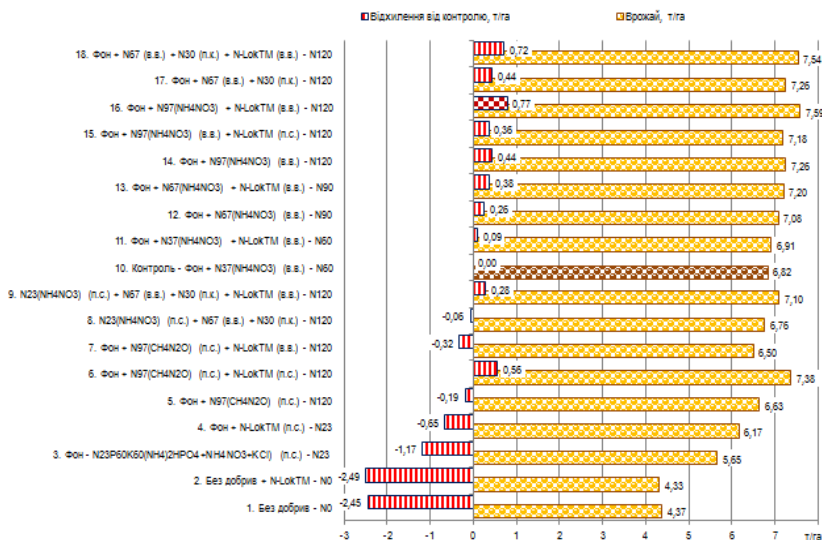


Рис. 7. Врожайність ячменю озимого залежно від норм азотного удобрення та нітрапірину у 2020 р. та відхилення відносно контролю ($P < 0,05$; помилка різниці середніх, 0,13 т/га; $HP_{05} = 0,26$ т/га; коефіцієнт варіації, 2,4%)

Використання карбаміду замість аміачної селітри за максимальної норми N_{120} і внесення добрива перед сівбою ячменю озимого мало позитивний результат лише в поєднанні з одночасним

внесенням нітрапірину. Приріст врожайності становив у 2020 р. 0,56 т/га, у 2021-му (рис. 8) – 0,38 т/га порівняно з контролем. Перенесення застосування нітрапірину на весну у фазу відновлення вегетації знівело його ефективність. Отже, за використання сечовини під озимий ячмінь з осені стабілізатор азоту слід вносити під передпосівну культивуцію.

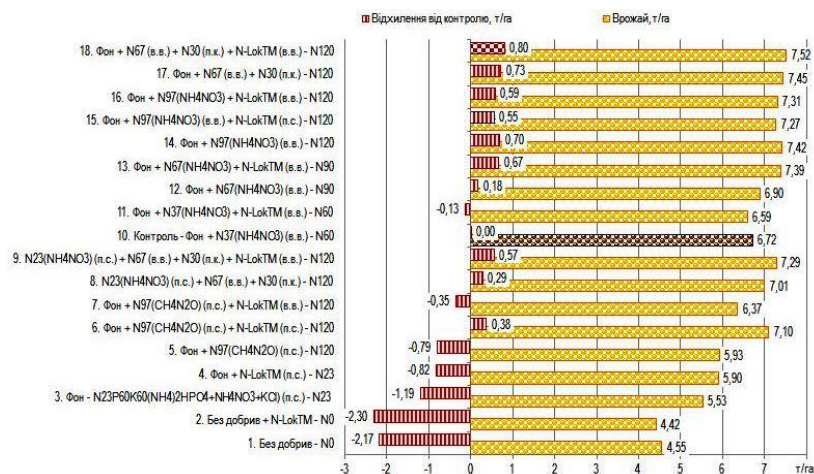


Рис. 8. Врожайність озимого ячменю залежно від норм азотного удобрення та нітрапірину у 2021 р. та відхилення відносно контролю ($P < 0,05$; помилка різниці середніх, 0,164 т/га; $HP_{05} = 0,33$ т/га; коефіцієнт варіації, 3,0%)

2021 р. вирощування був менш сприятливим за попередній. Проте позитивна дія стабілізатора азоту проявилася ще виразніше. Приріст врожаю за внесення $N_{23}P_{60}K_{60}(NH_4)_2HPO_4 + NH_4NO_3 + KCl$ + N_{67} (у відновлення вегетації) + N_{30} (у початок колосіння) + «N-Лок™» при відновленні вегетації (вар. 18) досяг 0,80 т/га відносно виробничого контролю – $N_{23}P_{60}K_{60}(NH_4)_2HPO_4 + NH_4NO_3 + KCl$ (перед сівбою) + $N_{37}(NH_4NO_3)$ (відновлення вегетації).

У таблиці 2 наведено коефіцієнти взаємозв'язку параметрів основних поживних ресурсів для рослин. На початку весняної вегетації азот, фосфор і калій у доступних формах виключно позитивно – від помірно до значно (Chaddock, 1925) – корелювали між собою ($r = 0,30-0,52$). До збирання ситуація змінилася на дзеркально

ISSN 0130-8521. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2022. Вип. 72 (1)
протилежну. В усіх випадках встановлено негативну помірну
кореляцію ($r = -0,33-0,47$).

**2. Значні та помірні коефіцієнти кореляції Пірсона
між параметрами агрохімічних змін у ґрунті
упродовж періоду вегетації під впливом норм удобрення
при вирощуванні ячменю озимого, $r \pm$**

Показники	2020				2021		
	N _{гiдp} , весна, 0–20 см	N _{гiдp} , весна, 20–40 см	N _{гiдp} , збирання, 0–20 см	N _{гiдp} , збирання, 20–40 см	N _{гiдp} , весна, 0–20 см	N _{гiдp} , весна, 20–40 см	N _{гiдp} , збирання, 0–20 см
P ₂ O ₅ , весна, 0–20 см	0,49	0,47	–0,36	–0,33	0,30	0,39	–0,47
P ₂ O ₅ , збирання, 0–20 см	0,26	0,23	–0,43	–0,42	0,26	0,35	–0,45
P ₂ O ₅ , збирання, 20–40 см	0,22	0,18	–0,47	–0,46	0,24	0,33	–0,38
K ₂ O, весна, 0–20 см	0,52	0,51	–0,39	–0,34	0,35	0,44	–0,44
K ₂ O, збирання, 0–20 см	0,18	0,18	–0,44	–0,37	0,19	0,29	–0,44

Урожайність ячменю озимого упродовж двох років формувалась на різних фонах мінерального удобрення. З таблиці 3 видно, що рівень врожаю 2020 р. тісніше корелював з азотно-фосфорними фонами живлення, ніж 2021 р. Тіснішу кореляцію залишків обмінного калію в усій товщі ґрунту виявлено у 2021 р. порівняно з попереднім роком, який був дещо сухішим у вегетацію ячменю. Високі коефіцієнти кореляції азоту, фосфору й калію на старті вегетації з урожаєм 2020 р. свідчать про вирішальне значення мінерального удобрення для отримання високих зборів зерна, особливо в менш сприятливі роки.

3. Коефіцієнти кореляції Пірсона між параметрами агрохімічних змін у ґрунті упродовж періоду вегетації під впливом норм удобрення та врожайністю ячменю озимого, $r_{\pm}$

Показники	Урожайність	
	2020	2021
N _{гдп} , весна, 0–20 см	0,87	0,84
P ₂ O ₅ , весна, 0–20 см	0,59	0,69
P ₂ O ₅ , збирання, 0–20 см	0,34	0,67
K ₂ O, весна, 0–20 см	0,59	0,68
K ₂ O, збирання, 0–20 см	0,39	0,73
K ₂ O, збирання, 20–40 см	0,17	0,60
Урожайність 2021 р.	0,97	–

Співвідношення доступних форм азоту в ґрунті має велике значення для ефективного використання азоту й запобігання втратам нітратів у період інтенсивних опадів. В таблиці 4 показано, що існувала тісна позитивна кореляція двох досліджених форм азоту на старті вегетації у 2020 р. ($r = 0,79$ – $0,84$).

4. Високі й середні коефіцієнти кореляції Пірсона між параметрами змін азотних агрохімічних показників у ґрунті упродовж періоду вегетації під впливом норм удобрення та врожайністю ячменю озимого у 2020 р., $r_{\pm}$

Показники	Урожайність	N _{гдп} , весна, 0–20 см	N _{гдп} , весна, 20–40 см	N _{гдп} , збирання, 0–20 см	N _{гдп} , збирання, 20–40 см
N _{гдп} , весна, 0–20 см	0,87	X	–	–	–
N _{гдп} , весна, 20–40 см	0,89	0,97	X	–	–
N _{гдп} , збирання, 0–20 см	0,17	–0,08	0,09	X	–
N _{гдп} , збирання, 20–40 см	0,31	0,16	0,42	0,96	X
Нітрати, весна, 0–20 см	0,88	0,84	0,82	0,22	0,41
Нітрати, весна, 20–40 см	0,86	0,81	0,79	0,21	0,41
Нітрати, збирання, 0–20 см	–0,44	–0,54	–0,49	0,59	0,48
Нітрати, збирання, 20–40 см	–0,34	–0,48	–0,41	0,60	0,46

До збирання встановлювався тісний обернено пропорційний зв'язок вмісту нітратів із вмістом легкогідролізного азоту на старті

вегетації. Проте в жнива вміст обох форм азотних сполук проявляв помірну й значну пряму кореляцію, що свідчить про збіднення ґрунту на доступні форми азоту. Величина врожаю прямо пропорційно тісно залежала від стартових ресурсів легкогідролізного азоту ($r = 0,87-0,89$) та нітратів ($r = 0,86-0,88$) у всій товщі ґрунту.

Вирощування ячменю озимого у 2021 р. виявило, що умови погоди дещо нівелювали тісноту кореляцій між показниками вмісту форм азотних сполук (табл. 5). Послабилася залежність величини врожаю 2021 р. від ресурсів легкогідролізного азоту в орному шарі ґрунту на старті вегетації ($r = 0,84$).

5. Високі й середні коефіцієнти кореляції Пірсона між параметрами змін азотних агрохімічних показників у ґрунті упродовж періоду вегетації під впливом норм удобрення та врожайністю ячменю озимого у 2021 р., $r \pm$

Показники	Урожайність	N _{гдр} , весна, 0–20 см	N _{гдр} , весна, 20–40 см	N _{гдр} , збирання, 0–20 см
Урожайність	X	–	–	–
N _{гдр} , весна, 0–20 см	0,84	X	–	–
N _{гдр} , весна, 20–40 см	0,89	0,95	X	–
N _{гдр} , збирання, 20–40 см	0,39	0,16	0,41	0,92

Розрахунок парних кореляцій дав змогу припустити складніші залежності й побудувати 3D-моделі зв'язків показника врожайності з параметрами відразу двох агрохімічних показників. Так, на рис. 9, А, видно, що за одночасного зростання ресурсів нітратів та азоту, який легко гідролізується, на старті весняної вегетації врожай пропорційно збільшується. За одностороннього зростання однієї форми азоту він менший. Рис. 9, Б, демонструє, що створення більших запасів доступних фосфору та калію сприяє зростанню врожайності, особливо за низьких початкових показників.

Збільшення врожаю до 6,5–6,7 т/га не збіднює ґрунт на доступні форми фосфору, а його подальше підвищення до 7,5 т/га зменшує їхній ресурс на 20 мг/кг ґрунту за максимального вмісту обмінного калію. Натомість дефіцит калію, що утворюється до збирання врожаю, супроводжується дефіцитом і фосфору за високих врожаїв. Позитивну тісну кореляцію між цими поживними речовинами до збирання з'ясовано на рівні $r = 0,85$.

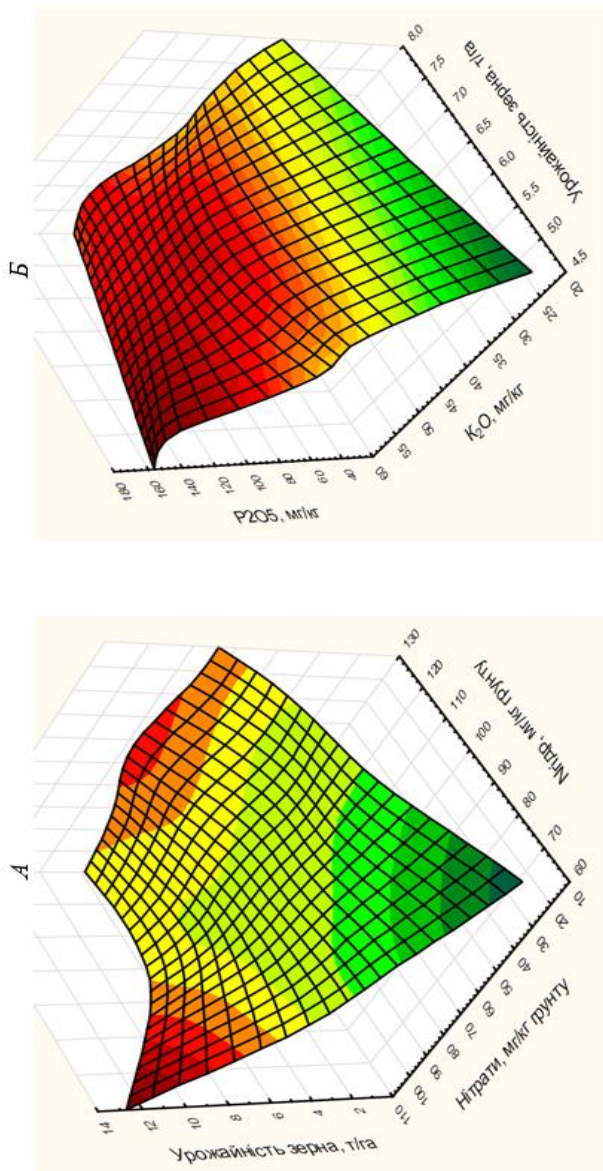


Рис. 9. 3D-моделі зв'язків параметрів форм доступного азоту орного пласту (0–20 см) темно-сірого лісового опідзоленого легкоуглинистого середньо гумусованого ґрунту на старті весняної вегетації з урожайністю зерна ячменю озимого: *A* – вплив вмісту легкогідролізного азоту й нітратів; *B* – вплив норм внесення азотних добрив і вмісту азоту, що легко гідролізується

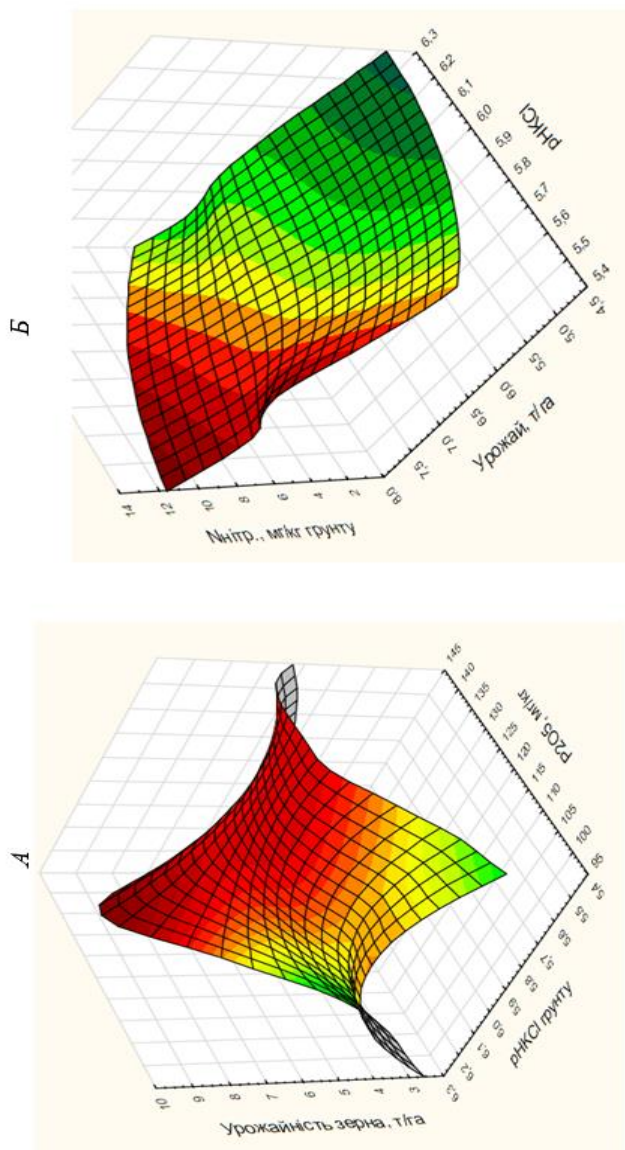


Рис. 10. 3D-моделі зв'язків параметрів доступних форм фосфору, нітратів та pH_{KCl} орного пласту (0–20 см) темно-сірого лісового опідзоленого легкосуглинкового середньо гумусованого ґрунту на старті весняної вегетації з урожайністю зерна ячменю озимого: А – вплив вмісту P₂O₅ і кислотності ґрунту; Б – вплив вмісту нітратного азоту в орному шарі та pH_{KCl} ґрунту на урожайність

Площини регресії ілюструють, що рівні вмісту доступних фосфатів і нітратів, зв'язаних із кислотністю ґрунту, вагомо впливають на збір зерна (рис. 10, А і Б). Рис. 10, А, показує, що тенденція до нейтралізації реакції ґрунту, яка супроводжується збільшенням кількості рухомих форм фосфору, пропорційно позитивно впливає на врожайність ячменю озимого. На рис. 10, Б, чітко видно, що підвищена кількість нітратів супроводжується підкисленням ґрунту. Проте, незважаючи на певне підкислення ґрунту, вона позитивно впливає на збір зерна за рівня pH_{KCl} не нижче 5,4–5,5. Це означає, що бажана концентрація нітратів у ґрунті – невисока, але достатня упродовж періоду активного росту ячменю озимого.

Висновки. На фосфорно-калійному фоні $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ у темно-сірому лісовому опідзоленому легкосуглинковому слабо гумусованому ґрунті створюються сприятливі умови для живлення ячменю озимого. До початку весняної вегетації в орному пласті 0–20 см містилося на 35–45 мг/кг ґрунту більше (залежно від року) рухомих фосфатів та на 29–33 мг/кг більше обмінного калію, ніж без фону.

Системи азотного удобрення N_{97} (NH_4NO_3) при відновленні вегетації + «N-Лок™» (перед сівбою) або N_{97} (NH_4NO_3) + «N-Лок™» при відновленні вегетації на фосфорно-калійному фонах $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ та сумарного N_{120} забезпечували стартовий вміст легкогідролізного азоту в орному шарі 132–136 мг/кг ґрунту залежно від умов року.

У 2020 р. внесення під ячмінь озимий N_{97} (NH_4NO_3) + «N-Лок™» при відновленні вегетації на фоні $\text{N}_{23}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ під оранку забезпечило прибавку врожаю зерна 0,94 т/га, у 2021 р. – 1,09 т/га порівняно з традиційною нормою $\text{N}_{23}\text{P}_{60}\text{K}_{60}(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCl}$ (під основний обробіток з осені) + $\text{N}_{37}(\text{NH}_4\text{NO}_3)$ (у відновлення вегетації), яка слугувала контролем. Натомість внесення N_{97} (NH_4NO_3) при відновленні вегетації + «N-Лок™» восени перед сівбою на тому ж фоні сприяло підвищенню врожаю на 0,87 т/га у 2020 р. та на 1,26 т/га у 2021 р. при врожаї з нормами $\text{N}_{23}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ з осені та N_{37} при відновленні вегетації 6,52–6,65 т/га, відповідно, у 2021 та 2020 рр. Відсутність фосфорно-калійного фону в системі удобрення озимого ячменю зменшувала врожайність культури на 0,08–0,24 т/га залежно від норм азоту та погодних умов вегетації. Урожай зерна за відсутності будь-яких добрив на природно родючому темно-сірому лісовому опідзоленому легкосуглинковому слабо гумусованому ґрунті коливався по роках дослідження в межах 4,33–4,55 т/га. Але відсутність усіх видів добрив збіднювала орний шар на 12–15 мг/кг ґрунту рухомих фосфатів та на 13–15 мг/кг ґрунту обмінного калію. За

ISSN 0130-8521. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2022. Вип. 72 (1)
внесення лише N_{120} кількість фосфатів зменшувалася ще на 7–9 мг/кг ґрунту, калію – на 6–7 мг/кг ґрунту в різні роки досліджень. Отже, внесення під ячмінь озимий азотних добрив без фосфорно-калійного фону виснажує ґрунт на фосфати й калій більше, ніж без добрив узагалі.

Список використаної літератури

1. Андрушко М. О. Оптимізація елементів технології вирощування гороху посівного в умовах Західного Лісостепу : дис. ... д-ра філософії : 201 – Агрономія. Кам'янець-Подільський, 2020. 202 с.
2. Андрушко М. О. Формування продуктивності гороху залежно від елементів системи удобрення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2019. Вип. 66. С. 8–20. DOI: <http://phzt-journal.isgkr.com.ua/ua-66/1.pdf>.
3. Бикін А. В., Поліщук І. П. Вплив добрив на агрохімічні показники темно-сірого лісового ґрунту та продуктивність моркви столової. *Науковий вісник НАУ*. 2000. Вип. 32. С. 185–188.
4. Вега Н. І. Зміна вмісту лужногідролізованого азоту в темно-сірому опідзоленому ґрунті під впливом мінерального удобрення ячменю ярого. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 83. С. 100–104. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrohimgn_2015_83_19.
5. Екологічний стан ґрунтів України / С. А. Балюк, В. В. Медведєв, М. М. Мірошніченко та ін. *Український географічний журнал*. 2012. № 2. С. 38–42. URL: https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ-2012-2-38_0.pdf.
6. Заєць С. О. Підживлення озимого ячменю різними видами азотних добрив. *Агроном*. 2018. № 4. С. 76–78. URL: <https://www.agronom.com.ua/pidzhylennya-ozymogo-yachmenyu-riznymy-vydamy-azotnyh-dobryv/>.
7. Заєць С. О. Продуктивність ячменю озимого залежно від видів

References

1. Andrushko M. O. Optimization of elements of the technology of growing pea for sowing in the conditions of the Western Forest Steppe: diss. ... Doctor of Philosophy : 201 – Agronomy. Kamianets-Podilskyi, 2020. 202 p.
2. Andrushko M. O. Formation of pea productivity depending on the elements of the fertilization system. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2019. Is. 66. P. 8–20. DOI: <http://phzt-journal.isgkr.com.ua/ua-66/1.pdf>.
3. Bykin A. V., Polishchuk I. P. Effect of fertilizers on agrochemical parameters of dark gray forest soil and productivity of table carrots. *Naukovyi visnyk NAU*. 2000. Is. 32. P. 185–188.
4. Vega N. I. Change in the content of alkaline hydrolyzed nitrogen in dark gray podzolized soil under the influence of spring barley mineral fertilization. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. 2015. Is. 83. P. 100–104. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrohimgn_2015_83_19.
5. Ecological condition of the soils of Ukraine / S. A. Balyuk, V. V. Medvedev, M. M. Miroschnychenko et. al. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2012. No. 2. P. 38–42. URL: https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ-2012-2-38_0.pdf.
6. Zayets S. O. Fertilization of winter barley with different types of nitrogen fertilizers. *Ahronom*. 2018. No. 4. P. 76–78. URL: <https://www.agronom.com.ua/pidzhylennya-a-ozymogo-yachmenyu-riznymy-vydamy-azotnyh-dobryv/>.
7. Zayets S. O. Productivity of winter barley depending on the types of nitrogen fertilizers and top dressing. *Biuletен Instytutu silskoho hospodarstva*

азотних добрив та підживлення. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2016. № 11. С. 73–79.

8. Климишена Р. І. Вплив позакореневого підживлення рослин ячменю на пивоварну якість зерна за числом Кольбаха. *Агробіологія* : зб. наук. праць. 2020. № 1. С. 49–56. DOI: 10.33245/2310-9270-2020-157-1-49-56.

9. Климишена Р. І. Обґрунтування елементів технології вирощування пивоварного ячменю озимого в умовах південної частини Лісостепу Західного : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : спец. 06.01.09 «Рослинництво». Кам'янець-Подільський, 2012. 22 с.

10. Лихочвор В. В., Матковська М. В. Урожайність сортів озимого ячменю залежно від норм добрив, морфорегуляторів та фунгіцидів в умовах Західного Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2017. Вип. 62. С. 91–101. URL: <https://phzt-journal.isgkr.com.ua/wp-content/uploads/zbirnik/62ua/10.pdf>.

11. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Опустелювання України. *Зерно*. 2020. Вип. 4. С. 42–48. URL: <https://www.zerno-ua.com/journals/2020/kviten-2020/opustelyuvannya-ukra%d1%97ni/>.

12. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Про революційні зміни у технологіях в рослинництві. *Зерно*. 2010. № 7. С. 42–48. URL: <https://www.zerno-ua.com/journals/2010/iyul-2010-god/v-lihochvor-pro-revoluciyni-zmini-u-tehnologiyah-v-roslinnictvi/>.

13. 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. Вип. 2. Т. 1. Ч. 2. С. 30–37. URL: <https://visnyk.mnau.edu.ua/n85v2r2015t1lopushnyak/>.

14. Лопушняк В., Полюхович М., Лагуш Н. Вплив систем удобрення на

stepovoi zony NAAN Ukrainy. 2016. No. 11. P. 73–79.

8. Klymyshena R. I. The effect of foliar fertilization of barley plants on the quality of brewing grain according to the Kolbach number. *Ahrobiolohiia* : zb. nauk. prats. 2020. No. 1. P. 49–56. DOI: 10.33245/2310-9270-2020-157-1-49-56.

9. Klymyshena R. I. Justification of the elements of the technology of growing malting barley in the conditions of the southern part of the Western Forest Steppe: autoref. thesis for obtaining sciences. candidate degree s.-g. Sciences : spec. 06.01.09 "Vegetation". Kamianets-Podilskyi, 2012. 22 p.

10. Lykhochvor V. V., Matkovska M. V. The yield of winter barley varieties depending on the norms of fertilizers, morpho-regulators and fungicides in the conditions of the Western Forest Steppe. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2017. Is. 62. P. 91–101. URL: <https://phzt-journal.isgkr.com.ua/wp-content/uploads/zbirnik/62ua/10.pdf>.

11. Lyhochvor V. V., Petrychenko V. F. Desolation of Ukraine. *Zerno*. 2020. Is. 4. P. 42–48. URL: <https://www.zerno-ua.com/journals/2020/kviten-2020/opustelyuvannya-ukra%d1%97ni/>.

12. Lyhochvor V. V., Petrychenko V. F. About revolutionary changes in technologies in crop production. *Zerno*. 2010. No. 7. P. 42–48. URL: <https://www.zerno-ua.com/journals/2010/iyul-2010-god/v-lihochvor-pro-revoluciyni-zmini-u-tehnologiyah-v-roslinnictvi/>.

13. Lopushnyak V. I., Vega N. I. The influence of the level of mineral nutrition of spring barley on the content of mobile phosphorus compounds in the dark gray podzolized soil of the Western Forest Steppe of Ukraine. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomor'ia*. 2015. Is. 2. Vol. 1. Part 2. P. 30–37. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1769/1/n85v2r2015t1lopushnyak.pdf>.

14. Lopushnyak V., Polyukhovych M., Lagosh N. The effect of fertilization

родючість темно-сірих опідзолених ґрунтів та продуктивність культур польової сівозміни Західного Лісостепу України. *Вісник Львівського університету*. Серія географічна. 2017. Вип. 51. С. 214–223.

15. Мойсієнко В. В., Подольський О. М. Продуктивність ячменю озимого сорту Хайлайт залежно від елементів технології вирощування. *Наукові горизонти*. 2019. № 10. С. 13–19. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-83-10-13-19.

16. 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.

17. Поліщук І. П. Агрохімічна оцінка застосування добрив під моркву столову на темно-сірому опідзоленому ґрунті Північного Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : спец. 06.01.04 «Агрохімія». Київ, 2005. 19 с.

18. Польовий В. М. Оптимізація систем удобрення в сучасному землеробстві : монографія. Рівне : Волинські обереги, 2007. 320 с.

19. 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.

20. 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.

21. Agro-ecological assessment of the farmlands of the Hologoro-Kremenetskiy Highlands. Soil under stress / O. Haskevych, V. Snitynsky, P. Hnativ et al. ; by Yu. Dmytruk & D. Dent. Springer International Publishing,

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. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya heohrafichna*. 2017. Is. 51. P. 214–223.

15. Moisienko V. V., Podolskyi O. M. Productivity of winter barley of the Highlight variety depending on the elements of growing technology. *Naukovi horyzonty*. 2019. No. 10. P. 13–19. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-83-10-13-19.

16. Petrychenko V. F., Lykhochvor V. V., Korniychuk O. V. Justification of the causes of soil degradation and desertification of Ukraine. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. 2020. Is. 90. C. 10–20. DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo202090-01.

17. Polishchuk I. P. 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 degree s.-g. sciences : spec. 06.01.04 "Agrochemistry". Kyiv, 2005. 19 p.

18. Polovyy V. M. Optimization of fertilizer systems in modern agriculture: monograph. Rivne : Volyn amulets. 2007. 320 p.

19. Semenکو L. O. Agrochemical evaluation of fertilizer use for growing early white-headed cabbage on the dark-gray podzolized soil of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine: author's abstract. thesis for obtaining sciences. candidate degree s.-g. sciences : 06.01.04 "Agrochemistry". Kyiv, 2009. 17 p.

20. Shevchuk O. V. Nutrient regime of dark gray podzolized soil and productivity of agricultural crops under alternative fertilization systems in the Western Forest Steppe of Ukraine: diss. ... candidate s.-g. sciences: 06.01.04. Kyiv, 2014. 200 p.

21. Agro-ecological assessment of the farmlands of the Hologoro-Kremenetskiy Highlands. Soil under stress / O. Haskevych, V. Snitynsky, P. Hnativ

Switzerland. 2021. AG. XV. P. 143–151. DOI: 10.1007/978-3-030-68394-8_14.

22. Agro-ecological efficiency of the system of crop fertilization with the use of phytomass residues in the Western Forest Steppe of Ukraine / V. Polovyy, V. Snitynskyy, P. Hnativ et al. *Journal of Elementology*. 2021. Vol. 26 (3). P. 293–306. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.1.2120.

23. Babulicová M., Dylgerova B. Winter barley production in relation to crop rotations, fertilisation and weather conditions. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*. 2018. Vol. 64. No. 1. P. 35–44.

24. 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.

25. Effects of nitrification inhibitor and herbicides on nitrification, nitrite and nitrate consumptions and nitrous oxide emission in an Australian sugarcane soil / M. Y. Zhang, W. J. Wang, L. Tang et al. *Biol Fertil Soils*. 2018. Vol. 54. P. 697–706. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-018-1293-6>.

26. Effect of nitrification inhibitors on mitigating N₂O and NO emissions from an agricultural field under drip fertigation in the North China Plain / D. Tian, Y. Zhang, Y. Zhou et al. *Science of The Total Environment*. 2017. No. 598. P. 87–96. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.220.

27. 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/>.

28. Hlisenkovský L., Kunzová E. The content of topsoil nutrients, pH and organic carbon as affected by long-term application of mineral and organic fertilisers. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*. 2014. Vol. 60 (4). P. 142–148. DOI: 10.1515/agri-2015-0003.

29. IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition, International

et al. ; by Yu. Dmytruk & D. Dent. Springer International Publishing. Switzerland. 2021. AG. XV. P. 143–151. DOI: 10.1007/978-3-030-68394-8_14.

22. Agro-ecological efficiency of the system of crop fertilization with the use of phytomass residues in the Western Forest Steppe of Ukraine / V. Polovyy, V. Snitynskyy, P. Hnativ et al. *Journal of Elementology*. 2021. No. 26 (3). P. 293–306. DOI: 10.5601/jelem.2021.26.1.2120.

23. Babulicová M., Dylgerova B. Winter barley production in relation to crop rotations, fertilisation and weather conditions. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*. 2018. Vol. 64. No. 1. P. 35–44.

24. 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.

25. Effects of nitrification inhibitor and herbicides on nitrification, nitrite and nitrate consumptions and nitrous oxide emission in an Australian sugarcane soil / M. Y. Zhang, W. J. Wang, L. Tang et al. *Biol Fertil Soils*. 2018. Vol. 54. P. 697–706. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-018-1293-6>.

26. Effect of nitrification inhibitors on mitigating N₂O and NO emissions from an agricultural field under drip fertigation in the North China Plain / D. Tian, Y. Zhang, Y. Zhou et al. *Science of The Total Environment*. 2017. No. 598. P. 87–96. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.220.

27. 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/>.

28. Hlisenkovský L., Kunzová E. The content of topsoil nutrients, pH and organic carbon as affected by long-term application of mineral and organic fertilisers. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*. 2014. Vol. 60 (4). P. 142–148. DOI: 10.1515/agri-2015-0003.

- Fertilizer Association. Paris. 2019. P. 182–194. URL: https://www.fertilizer.org/Public/News___Events/IFA_News/IFA_News.aspx.
30. Impact of fertiliser nitrogen formulation, and N stabilisers on nitrous oxide emissions in spring barley / L. Roche, P. Forrestal, G. Lanigan et. al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016. No. 233. P. 229–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.031>.
31. Linzmeier W., Gutser R., Schmidhalter U. The new nitrification inhibitor DMPP ENTEC allows increased N-efficiency with simplified fertilizing strategies, in: Horst et al. (Eds.), *Proceedings of the 14th. Int. Plant Nutrition Colloquium*. 2001. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. P. 760–761.
32. Nitrogen Stabilizer Products that Must Be Registered under FIFRA. Substances excluded from the definition of a nitrogen stabilizer. U. S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/pesticide-registration/nitrogen-stabilizer-products-must-be-registered-under-fifra#substances>.
33. 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.
34. Reducing NH_3 , N_2O and $\text{NO}_3\text{-N}$ losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers / M. Zaman, M. L. Nguyen, J. D. Blennerhassett, B. F. Quin. *Biol Fertil Soils*. 2008. No. 44. P. 693–705. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-007-0252-4>.
35. The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine / V. Polovyy, P. Hnativ, V. Balkovskyy et. al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11 (1). P. 384–390. DOI: [10.15421/2021_56](https://doi.org/10.15421/2021_56).
36. The role of nutrients in the formation of yield and grain quality of
29. 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.
30. Impact of fertiliser nitrogen formulation, and N stabilisers on nitrous oxide emissions in spring barley / L. Roche, P. Forrestal, G. Lanigan et. al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016. No. 233. P. 229–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.031>.
31. Linzmeier W., Gutser R., Schmidhalter U. The new nitrification inhibitor DMPP ENTEC allows increased N-efficiency with simplified fertilizing strategies, in: Horst et al. (Eds.), *Proceedings of the 14th. Int. Plant Nutrition Colloquium*. 2001. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. P. 760–761.
32. Nitrogen Stabilizer Products that Must Be Registered under FIFRA. Substances excluded from the definition of a nitrogen stabilizer. U. S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/pesticide-registration/nitrogen-stabilizer-products-must-be-registered-under-fifra#substances>.
33. 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.
34. Reducing NH_3 , N_2O and $\text{NO}_3\text{-N}$ losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers / M. Zaman, M. L. Nguyen, J. D. Blennerhassett, B. F. Quin. *Biol Fertil Soils*. 2008. No. 44. P. 693–705. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-007-0252-4>.
35. The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine / V. Polovyy, P. Hnativ, V. Balkovskyy et. al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. No. 11 (1). P. 384–390. DOI: [10.15421/2021_56](https://doi.org/10.15421/2021_56).
36. The role of nutrients in the formation of yield and grain quality of

winter wheat / V. Lykhochvor, P. Gnativ, O. Andrushko et al. *Bulg. J. Agric. Sci.* 2022. Vol. 28 (1). P. 103–109. URL: <https://www.agrojournal.org/28/01-14.pdf>.

37. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015 / IUSS Working Group WRB. *World Soil Resources Reports*. No. 106. FAO. Rome, 2015. 106 p. URL: <http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>.

winter wheat / V. Lykhochvor, P. Gnativ, O. Andrushko et al. *Bulg. J. Agric. Sci.* 2022. Vol. 28 (1). P. 103–109. URL: <https://www.agrojournal.org/28/01-14.pdf>.

37. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015 / IUSS Working Group WRB. *World Soil Resources Reports*. FAO. Rome, 2015. 106 p. URL: <http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>.

Отримано: 12 липня 2022 р.

Погоджено до друку: 15 вересня 2022 р.