

# БІОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ (*TRITICUM VULGARE* L.) ЗА ЗБАЛАНСОВАНОСТІ ЦИНКУ ТА МІДІ У СИСТЕМІ «ГРУНТ–РОСЛИНА»

Т.М. Єгорова<sup>1</sup>, І.В. Шумигой<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут садівництва НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: [egorova\\_geochem@ukr.net](mailto:egorova_geochem@ukr.net); ORCID: 0000-0038-2148-7738

<sup>2</sup> Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: [innashum27@gmail.com](mailto:innashum27@gmail.com); ORCID: 0000-0002-0432-2651

У статті зазначено, що роль мікроелементів як чинника формування біохімічних особливостей зернових культур є питанням дискусійним і вкрай малодослідженим. Водночас, екологічне значення збалансованості поживних елементів для нормального функціонування рослин широко висвітлюється у біології та агрономії. Метою дослідження визначено взаємозалежність біохімічних і біогеохімічних особливостей і виявлення впливу біогеохімічної збалансованості Zn і Cu на біохімічні показники пшениці у різних агроландшафтах Лісостепу України. Розроблено оригінальну методику регіональної просторової кореляції між збалансованістю поживних мікроелементів у системі «грунт–рослина» та біохімічними показниками якості рослинної продукції. Просторову кореляцію запроваджено на територіях вирощування пшениці у двох агроландшафтах, а саме, з темно-сірими опідзоленими ґрунтами у Київській обл. та сірих опідзолених ґрунтах у Вінницькій обл. Регіональні особливості поширення Zn і Cu в агроландшафті зазначеної території характеризують їх біогеохімічні форми, що висвітлюють п'ять оціночних характеристик системи у підстильних гірських породах, ґрунтах та зернових культурах. Особливості якості пшениці на території агроландшафтів виявлено за статистичними даними вмісту білка, клейковини та склоподібності. Результатом просторової кореляції зазначених характеристик є виявлення взаємозалежностей біохімічних параметрів харчової якості пшениці й збалансованості Zn, Cu у досліджених агроландшафтах. Охарактеризовані відмінності між особливостями ланок біогеохімічних ланцюгів цинку і міді засвідчують можливість зниження у зерні пшениці склоподібності та білка як результат нестачі цих поживних мікроелементів, навіть в умовах природно-антропогенного їх накопичення у ґрунті. Невідповідність процесів у ґрунтах і агроценозі агроландшафту вказує на доцільність змін ґрунтозахисних систем та агрохімічної меліорації. Особливої уваги потребують дослідження з позакореневого живлення культури пшениці, як чинника підвищення фізичності поживних мікроелементів і відповідного збільшення вмісту білка і склоподібності зерна пшениці.

**Ключові слова:** мікроелементи, якість продукції, біогеохімія, агроландшафт, просторова кореляція, зернові культури.

## ВСТУП

Сільськогосподарським культурам властиві різні рівні їх потреби у поживних мікроелементів (МЕ), а саме певний МЕ має значення «важливе», «життєво важливе» або «ключове». Ці рівні виглядають досить схематично і слабо обґрунтованими. Втім, є єдиними «офіційними» підходами до агрохімічного підживлення мікроелементами зернових культур та кормових трав. Багаторічні агроекологічні й біохімічні дослідження доводять вплив поживних

мікроелементів на більшість фізіологічних процесів як у ґрунті, так і рослинних та тваринних організмах [1–3]. Однак, роль МЕ як чинника у формуванні біохімічних особливостей зернових культур є питанням дискусійним і вкрай малодослідженим. Пшеницю озиму відносять до культур із високими потребами міді і середніми потребами цинку, що визначило зміст кореляції її харчових показників із поширенням цих поживних мікроелементів.

**Метою дослідження** є визначення впливу біогеохімічної (БГХ) збалансова-

ності Zn і Cu на біохімічні показники якості пшениці в агроландшафтах Лісостепу України.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Екологічне значення збалансованості поживних елементів для нормального функціонування рослин широко висвітлюється у біології та агрономії. Цим питанням присвячені розвідки та регіональні узагальнення А. Кабата-Пендіас, П.А. Власюка, В.В. Ковальського, С.Г. Корсун, С.А. Балюка, А.І. Фатеева та ін. [4–7].

Збалансованість поживних елементів посилює захисні властивості культур до несприятливих кліматичних чинників, що є досить актуальним у сучасних умовах змін клімату. Широко доведено фізіологічне значення певних поживних мікроелементів на функціонування агросфери. Наприклад, синтез гумусу і фіксація азоту у ґрунті пов'язані зі вмістом Zn, Cu, Mo; дихання і фотосинтез рослин — із Zn, Cu, Mo; синтез білків і кровотворення у тварин — із Zn, Cu; стійкість зернових культур до окремих інфекційних фітопатологій — із Cu. Натомість, цинк — сприяє азотистому обміну, в результаті чого вміст білка в зерні підвищується; білково-крохмальний комплекс формує склоподібність і відповідну міцність зерна; мідь — впливає на білковий обмін та синтез хлорофілу, а її нестача знижує утримання води рослиною [8–10].

Значення поживних МЕ як ознак якості зерна пшениці розглядається вкрай обмежено. Одне із пояснень такого підходу до харчової якості цієї культури пов'язано з тим, що мікроелементи не входять до числа показників товарної якості зерна пшениці, як і інших сільськогосподарських культур. Новітні агроекологічні дослідження з вирощування зернових культур стосуються переважно впливу на врожайність та інфекційні хвороби культур таких традиційних чинників, як строки сівби, кліматичні зміни, удобрення та хімічні методи боротьби зі шкідниками [9; 11–14].

Біогеохімія і агробіологія розглядають вплив дисбалансу МЕ на біохімію та захво-

рюваність культур, худоби, свійської птиці, населення [8–17].

Встановлено, що життєва необхідність хімічних елементів визначається не скільки їх кількісним умістом в організмі, стільки активністю участі в процесах утворення органічної речовини. БГХ збалансованість поживних мікроелементів посилює захисні властивості культур до несприятливих кліматичних чинників і має розглядатися як важлива ознака якості сільськогосподарської продукції.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методика представлених досліджень передбачає розв'язання питання залежності біохімічних властивостей зерна пшениці від біогеохімічних особливостей агроландшафтів на територіях вирощування культури. Для цього нами розроблено оригінальну методику регіонального просторового аналізу та кореляції харчових властивостей зерна і біогеохімічних ланцюгів поживних мікроелементів у системі «підстильні гірські породи — ґрунти — рослина». Сутність аналізу полягає в оцінюванні регіональних особливостей якості рослинної продукції (вміст білка, клейковини та склоподібність зерна пшениці) й біогеохімічних характеристик поширення цинку і міді у компонентах агроландшафтів (наявність геохімічних аномалій у підстильних гірських породах, напрям ґрунтової міграції і хімічне забруднення ґрунтів, біогеохімічна збалансованість і особливості біофільності у рослинній продукції).

Кількісними характеристиками біохімічних ознак зерна пшениці обрано їх середньостатистичне значення на території області та для України загалом. Кількісними характеристиками біогеохімічних ланцюгів Zn і Cu є їх вміст у ґрунтах і культурах локального агроландшафту; якісними параметрами — кларк концентрації (*KKi*), хімічне забруднення ґрунту відносно гранично допустимій концентрації, біогеохімічна збалансованість у культурі щодо порогових концентрацій, біофільність мікроелементів у культурі стосовно

глобального значення для рослин (Ах) [3; 18].

За складання статистичних вибірок враховувались усі наявні дані статистичних збірників, а саме як для умов природної, так і ефективної родючості ґрунтів. Для порівняльного аналізу кількісних характеристик і параметрів обирались медіани вибірок наявних даних (Me), що є одним із можливих середньостатистичних значень.

Територіями дослідження обрано локальні агроландшафти з темно-сірими опідзоленими ґрунтами у Київській обл. та сірими опідзоленими ґрунтами у Вінницькій обл. Це лісостепові правобережні ландшафти лесових височин з антропогенним покривом на докембрійських та палеозойських породах, перекритих палеоген-неогеновими відкладами, розчленованих ярами та балками, врізаними до кристалічних порід [19].

Аналіз біохімічних властивостей зерна пшениці озимої базується на регіональних даних Державної служби статистики України (для умов природної і ефективної родючості ґрунтів) [20–22]. Кількісно-

якісні параметри біогеохімічних ланцюгів ґрунтуються на регіональних металогенічних характеристиках кристалічних порід Українського щита та локальних матеріалах агрохімічних дослідів у межах Києво-Святошинського р-ну Київської обл. і Вінницького р-ну Вінницької обл. [16; 23; 24].

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Оціночні параметри просторового кореляційного аналізу біохімічних характеристик зерна пшениці та біогеохімічних параметрів цинку і міді досліджених агроландшафтів узагальнено у *табл.*

Представлені результати регіонального кореляційного аналізу включають оцінки дев'яти ланок біогеохімічних ланцюгів Zn, Cu, що сполучені із середніми оцінками вмісту білка, клейковини і склоподібності зерна пшениці. На території Лісостепу України зазначені показники якості пшениці є нижчими, ніж для території України загалом. Найбільш знижується склоподібність зерна (у 1,3 раза), менше – вміст білка та клейковина (у 1,1 раза).

#### Біохімічні та біогеохімічні характеристики зерна пшениці озимої в агроландшафтах Лісостепу

Біохімічні характеристики, у %			Оціночні біогеохімічні параметри Zn (у чисельнику) і Cu (у знаменнику)		
показник якості зерна пшениці	Україна	Лісостеп	металогенічні аномалії у підстильних гірських породах	напрям ґрунтової міграції і БГХ збалансованість ґрунту	напрям біогенної міграції, БГХ збалансованість і відносна біофільність для культури

#### Агроландшафт лесових височин із сірими опідзоленими ґрунтами (вміст гумусу 1–2%) на неогенових і докембрійських відкладах (Вінницька обл.)

Білок	12,8	11,6	відсутні присутні	концентрація і надлишок	рівновага, нестача і знижена біофільність
Клейковина	29,3	26,0		концентрація і надлишок	розсіювання, нестача і знижена біофільність
Склоподібність	78,5	60,0			

#### Агроландшафт лесових височин із темно-сірими опідзоленими ґрунтами (вміст гумусу 2–2,1%) на палеогенових і докембрійських відкладах (Київська обл.)

Білок	12,8	12,1	відсутні відсутні	розсіювання і збалансованість	рівновага, нестача і знижена біофільність
Клейковина	29,3	29,0		немає даних	немає даних
Склоподібність	78,5	62,0			

Просторовий кореляційний аналіз дає змогу визначити спільні та відмінні ознаки агроландшафтних систем Лісостепу.

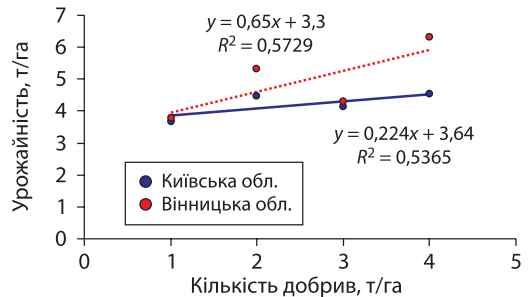
У досліджених агроландшафтах Лісостепу однорідність біогеохімічних ланцюгів цинку визначає відсутність його істотно підвищеного вмісту (на рівні металогенічних аномалій) у підстильних гірських породах та низький вміст у зерні пшениці. Це розкриває наслідки в агроландшафтах таких процесів, як врівноважена біогенна міграція цинку ( $KKi = 0,5-1,5$ ), його біогеохімічна нестача ( $<20$  мг/кг сухої речовини), зниження інтенсивності переходу з ґрунту у рослину ( $Ax \leq 10$ ) та відповідну відсутність хімічного забруднення продукції. Такі процеси здатні негативно впливати на склоподібність і вміст білка у зерні пшениці через порушення обміну азоту.

Неоднорідність біогеохімічних ланцюгів цинку в агроландшафтах визначають процеси його міграції та біогеохімічної збалансованості у ґрунтах. Це концентрація ( $KKi \geq 1,5$ ), біогеохімічний надлишок ( $>70$  мг/кг) і забруднення цинком у межах сірих опідзолених ґрунтів Вінницької обл. та розсіювання ( $KKi \leq 0,5$ ), біогеохімічна збалансованість (30–70 мг/кг) і відсутність забруднення цинком у межах темносірих опідзолених ґрунтів Київської обл. Імовірно, відмінність ґрунтових процесів за однорідності процесів функціонування культури пшениці може вказувати на доцільність змін ґрунтозахисних та ґрунтовідновлювальних систем у напрямі підвищення біофільності цинку як чинника збільшення білка і склоподібності зерна пшениці.

Біогеохімічні ланцюги міді характеризує як просторова, так і внутрішня неоднорідність між окремими ланками. У підстильних гірських породах наявне підвищення вмісту міді у межах Вінницької обл. та його відсутність у Київській обл. Низький вміст міді у зерні пшениці агроландшафту у межах Вінницької обл. виявляють наслідки таких процесів, як біогенне розсіювання ( $KKi \leq 0,5$ ), біогеохімічна нестача ( $<0,1$  мг/кг сухої речовини), зниже-

на біофільність ( $Ax \leq 2$ ) і відповідну відсутність хімічного забруднення продукції. Підвищений вміст міді у сірих опідзолених ґрунтах узгоджується із металогенічними особливостями підстильних гірських порід і розкриває наслідки таких процесів, як концентрація ( $KKi \geq 1,5$ ), біогеохімічний надлишок ( $>60$  мг/кг) і забруднення ґрунтів. Відмінності між особливостями ланок БГХ ланцюгів міді свідчать про можливість зниження склоподібності і білка у зерні пшениці як результат нестачі цього поживного мікроелементу, навіть в умовах природно-антропогенного забруднення ґрунтів.

Варто зазначити, що кожен орган рослини концентрує певний МЕ, і рослина буде володіти різним ступенем винесення цього мікроелементу з ґрунту, а це, своєю чергою, залежить від ґрунтових умов та біологічних особливостей рослин. Також було встановлено, що кількість МЕ залежить від віку рослин. Внесення мікродобрив одночасно з посівом або позакореневе підживлення рослин у молодому віці здатне зумовити як покращання його якості, так і підвищення врожайності, що висвітлено на рис.



Кореляційна залежність врожайності пшениці озимої у Лісостепу від внесення добрив

Примітка: розроблена авторами на основі [17].

## ВИСНОВКИ

Проведений нами порівняльний аналіз вмісту МЕ засвідчив, що сільськогосподарські рослини, вирощені в різних агроландшафтних умовах, відрізняються незначно.

Водночас, різняться особливості перерозподілу МЕ у системі «грунт–рослина».

Складовою агроекологічного значення поживних мікроелементів є вплив на харчові властивості зернових та інших сільськогосподарських культур. Представлена методика регіонального просторового кореляційного аналізу біогеохімічних і біохімічних характеристик дала можливість виявити взаємозалежність між зниженням якості та низьким вмістом цинку і міді у зерна пшениці на території Лісостепу. Встановлено, що в агроландшафтах із темно-сірими та сірими опідзоленими ґрунтами перерозподіл Zn і Cu не має узгодженості між ланками ґрунт–пшениця. У ґрунтах уміст цих мікроелементів варіює й може відповідати їх концентрації і розсіюванню, біогеохімічному надлишку та збалансованості, хімічному забрудненню

або його відсутності. Для зерна пшениці характерні процеси зниження біофільності Zn і Cu, їх біогеохімічна нестача, розсіювання або рівноважена біогенна міграція.

Визначені відмінності між особливостями ланок біогеохімічних ланцюгів цинку і міді вказують на можливість зниження у зерні пшениці склоподібності й білка як результат нестачі цих поживних мікроелементів, навіть в умовах природно-антропогенного їх накопичення у ґрунті. Невідповідність процесів у ґрунтах і агроценозі агроландшафту визначає доцільність змін ґрунтозахисних та систем агрохімічної меліорації. Особливої уваги потребують дослідження з позакореневого живлення культури пшениці, як чинника підвищення біофільності поживних мікроелементів і відповідного збільшення вмісту білка і склоподібності зерна пшениці.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Потреба культур в мікроелементах і винесення мікроелементів. URL: <https://aidamin.com/ua/articles/potrebnyty-kulturny-v-mikroelementah-i-vynos-mikroelementov>.
2. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення (керівний нормативний документ) / за ред. І.П. Ялука, С.А. Балука. Київ, 2019. 108 с.
3. Єгорова Т.М. Агроекологічні системи біогеохімічних ланцюгів поживних елементів. Actual problem of natural sciences: modern scientific discussions: collection monograph. Riga, Latvia-Lublin, Poland: «Baltija Publishing», 2020. P. 35–51. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-025-4-3>.
4. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. Third edition. CRC Press. 2001. 412 p.
5. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. А.І. Фатєєва, Я.В. Пашенко. Харків: КП Друкарня № 13, 2003. 117 с.
6. Kovalsky V.V. Geochemical ecology and problems of health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 1979. Vol. 288. P. 185–191. DOI: <http://doi.org/10.1098/rstb.1979.0100>.
7. Власюк П.А. Биологические микроэлементы в жизнедеятельности растений. Киев: Наук. думка, 1992. 144 с.
8. Мікроелементи: друзі і вороги. Як взаємодіють елементи в рослині та що потрібно врахувати агроному? URL: <https://superagronom.com/articles/135-mikroelementy-druzy-i-vorogy-yak-vzayemodiyut-elementy-v-roslini-ta-scho-potribno-vrahuvati-agronomu>.
9. Шувар А.М., Беген Л.Л., Тимків М.Ю., Войтович Р.М. Формування врожаю і якості зерна пшениці озимої залежно від строків сівби та рівня живлення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2018. Вип. 63. С. 161–173.
10. Показники якості зерна пшениці та фактори, які на них впливають. 2022. URL: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/novyny/3737-pokaznyky-iakosti-zerna-pshenytsi-ta-faktory-yaki-na-nykh-vplyvayut>.
11. Шумиґай І.В., Конішук В.В., Мороз В.В., Манішевська Н.М. Біогеохімічна, фізіологічна адаптивність пшениці озимої (*Triticum L.*) за впливу важких металів у Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2023. № 1. С. 101–109. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276734>.
12. Умрихін Н.Л., Гайденко О.М., Коршунова Ю.В., Мостіпан Т.В. Показники якості зерна пшениці. Агробізнес. 2021. URL: <http://agro-business.com.ua/ahrarni-kultury/item/21615-pokaznyky-iakostizerna-pshenytsi.html>.
13. Demydov O., Hudzenko V., Pravdziva I. et al. Manifestation and variability level of yield and grain quality indicators in winter bread wheat depending on natural and anthropogenic factors. *Romanian Agricultural Research*. 2022. No. 39. P. 175–185. URL: <https://www.inceda-fundulea.ro/rar/nr39fol/rar39.36.pdf>.
14. Bilgin O., Guzman C., Başer I. et al. Evaluation of grain yield and quality traits of bread wheat genotypes cultivated in Northwest Turkey. *Crop Science*. 2016. Vol. 56. Iss. 1. P. 73–84. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.03.0148>.
15. Домарацький Є.О., Базалій В.В., Бойко М.О., Пічура В.І. Агробіологічне обґрунтування вирощування зернових культур в зоні Степу. / Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 334 с.

16. Єгорова Т.М. Екологічна геохімія агроландшафтів України: моногр. Київ: «ДІА», 2018. 264 с.
17. Шумидай І.В., Конішук В.В., Єрмішев О.В. та ін. Екологічна оцінка особливостей вмісту та міграції мікроелементів Cu, Mo, Zn у біогеохімічних, трофічних ланцюгах: метод. реком. Київ: ДІА, 2023. 76 с.
18. Єгорова Т.М., Шумидай І.В., Сапсай Т.П. Біогеохімічні ланцюги поживних елементів та система оцінки їх агротехногенних деформацій: метод. реком. / за ред. О.І. Фурдичка. Київ: ТОВ «ДІА», 2020. 26 с.
19. Мартин А.Г., Осипчук С.О., Чумаченко О.М. Природно-сільськогосподарське районування України: моногр. Київ: ЦП «Компринт», 2015. 328 с.
20. Прогноз фітосанітарного стану агроценозів України та рекомендації щодо захисту рослин у 2022 р. / за ред. В.В. Сідляренко, В.Б. Калашнікова. Київ, 2022. 327 с.
21. Сільське господарство України за 2019 р.: статистичний збірник. Київ: Державна служба статистики України, 2020. 235 с.
22. Довідник нормативних показників якості продукції сільськогосподарських культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах України (Довідково-нормативна інформація) / за ред. С.А. Балука, М.В. Лісового. Харків: Смуґаста типографія, 2016. 46 с.
23. Корсун С.Г., Голодна А.В., Шляхтуров Д.С., Клименко І.І. Особливості адаптації зернобобових культур до забруднення ґрунту важкими металами. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2016. № 2. С. 69–79.
24. Ткачук О.П. Екологічні засади оптимізації стану агроценозів і ґрунту Центрального Лісостепу: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 03.00.16. Київ, 2018. 44 с.

## REFERENCES

1. Potreba kul'tur v mikroelementakh i vnesennya mikroelementiv [The need of cultures in microelements and removal of microelements]. (n.d.). URL: <https://aidamin.com/ua/articles/potrebnosty-kulytur-v-mikroelementah-i-vynos-mikroelementov> [in Ukrainian].
2. Yatsuk, I.P. & Baluk, S.A. (Eds.). (2019). *Metodyka provedennya ahrokhimichnoyi pasportyzatsiyi zemel'sil's'kohospodars'koho pryznachennya (kerivnyy normatyvnyy dokument) [Methodology of agrochemical certification of agricultural lands (guideline normative document)]*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Yehorova, T.M. (2020). Ahroekolohichni systemy bioheokhimichnykh lantsyuhiv pozhvyvnykh elementiv [Agroecological systems of biogeochemical chains of nutrient elements]. *Actual problem of natural sciences: modern scientific discussions: collection monograph. Riga, Latvia-Lublin, Poland*. (pp. 35–51). DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-025-4-3> [in Ukrainian].
4. Kabata-Pendias, A. (2001). Trace elements in soils and plants. Third edition [in English].
5. Fateeva, A.I. & Pashchenko, Ya.V. (Eds.). (2003). *Fonovyy vmist mikroelementiv u gruntakh Ukrainy [Background content of trace elements in the soils of Ukraine]*. Kharkiv [in Ukrainian].
6. Kovalsky, V.V. (1979). Geochemical ecology and problems of health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B.*, 288, 185–191. DOI: <http://doi.org/10.1098/rstb.1979.0100> [in English].
7. Vlasnyuk, P.A. (1992). *Biologicheskkiye mikroyelementy v zhiznedeyatel'nosti rasteniy [Biological microelements in plant life]*. Kyiv [in Russian].
8. Mikroelementy: druzi i vorohy. Yak vzayemodiyut' elementy v roslyni ta shcho potribno vrakhuvaty ahronomu? [Microelements: friends and enemies. How do the elements in the plant interact and what should the agronomist take into account?]. (n.d.). URL: <https://superagronom.com/articles/135-mikroelementi-druzi-i-vorogi-yak-vzayemodiyut-elementi-v-rosli-ni-ta-scho-potribno-vrakhuvaty-agronomu> [in Ukrainian].
9. Shuvar, A.M., Begen, L.L., Tymkiv, M.Yu. & Voytovych, R.M. (2018). Formuvannya vrozhayu i yakosti zerna pshenytsi ozymoyi zalezho vid strokiv sivby ta rivnya zhvylnyha [Formation of the yield and quality of winter wheat grain depending on the timing of sowing and the level of nutrition]. *Peredhirne ta hirs'ke zemlerobstvo i tvarynytsvo — Foothill and mountain agriculture and animal husbandry*, 63, 161–173 [in Ukrainian].
10. Pokaznyky yakosti zerna pshenytsi ta faktory, yaki na nykh vplyvayut' [Wheat grain quality indicators and factors affecting them]. (2022). URL: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/novyny/3737-pokaznyky-iakosti-zerna-pshenytsi-ta-faktory-iaki-na-nykh-vplyvaiut> [in Ukrainian].
11. Shumyhai, I.V., Konishchuk, V.V., Moroz, V.V. & Manishevska, N.M. (2023). Bioheokhimichna, fiziolohichna adaptyvnyts' pshenytsi ozymoyi (*Triticum* L.) za vplyvu vazhkykh metaliv u Lisostepu Ukrainy [Biogeochemical and physiological adaptability of winter wheat (*Triticum* L.) under the influence of heavy metals in the Forest Steppe of Ukraine]. *Ahroekolohichnyy zhurnal — Agroecological journal*, 1, 101–109. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2023.276734> [in Ukrainian].
12. Umrykhin, N.L., Haydenko, O.M., Korshunova, Yu.V. & Mostipan, T.V. (2021). Pokaznyky yakosti zerna pshenytsi [Wheat grain quality indicators]. *Ahrobiznes — Agribusiness*. URL: <http://agro-business.com.ua/ahramni-kultury/item/21615-pokaznyky-iakostizerna-pshenytsi.html> [in Ukrainian].
13. Demydov, O., Hudzenko, V., Pravdziva, I. et al. (2022). Manifestation and variability level of yield and grain quality indicators in winter bread wheat depending on natural and anthropogenic factors. *Romanian Agricultural Research*, 39, 175–185. URL: <https://www.inceda-fundulea.ro/rar/nr39fol/rar39.36.pdf> [in English].

14. Bilgin, O., Guzman, C., Başer, I. et al. (2016). Evaluation of grain yield and quality traits of bread wheat genotypes cultivated in Northwest Turkey. *Crop Science*, 56, 1, 73–84. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.03.0148> [in English].
15. Domaratskyi, E.O., Bazalii, V.V., Boyko, M.O. & Pichura, V.I. (2018). *Ahrobiolohichne obgruntuvannya vyroshchuvannya zernovykh kul'tur v zoni Stepu: monohrafiya* [Agrobiological substantiation of the cultivation of grain crops in the Steppe zone: monograph]. Kherson [in Ukrainian].
16. Yehorova, T.M. (2018). *Ekolohichna heokhimiya ahrolandshaftiv Ukrainy: monohrafiya* [Ecological geochemistry of agricultural landscapes of Ukraine: monograph]. Kyiv [in Ukrainian].
17. Shumyhai, I.V., Konishchuk, V.V., Yermishev, O.V. et al. (2023). *Ekolohichna otsinka osoblyvostey vmistu ta mihratsiyi mikroelementiv Cu, Mo, Zn u bioheokhimichnykh, trofichnykh lantsyuhakh: metodychni rekomendatsiyi* [Ecological assessment of the features of the content and migration of microelements Cu, Mo, Zn in biogeochemical, trophic chains: guidelines]. Kyiv [in Ukrainian].
18. Yehorova, T.M., Shumyhai, I.V., Sapsai, T.P. & Furdychko, O.I. (Ed.). (2020). *Bioheokhimichni lantsyuyi pozhyvnykh elementiv ta systema otsinky yikh ahrotekhnohennykh deformatsiy (metodychni rekomendatsiyi)* [Biogeochemical chains of nutrient elements and the system of evaluation of their agrotechnological deformations (methodical recommendations)]. Kyiv [in Ukrainian].
19. Martyn, A.G., Osypchuk, S.O. & Chumachenko, O.M. (2015). *Pryrodno-sil's'kohospodars'ke rayonuvannya Ukrainy: monohrafiya* [Natural and agricultural zoning of Ukraine: monograph]. Kyiv [in Ukrainian].
20. Sidlyarenko, V.V. & Kalashnikov, V.B. (Eds.). (2022). *Prohroz fitosanitarnoho stanu ahrotsenoziv Ukrainy ta rekomendatsiyi shchodo zakhystu roslyn u 2022 r.* [Prognosis of the phytosanitary state of agrocenoses of Ukraine and recommendations for plant protection in 2022]. Kyiv [in Ukrainian].
21. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. (2020). *Sil'ske hospodarstvo Ukrainy za 2019 rik: Statystychnyi zbirnyk* [Agriculture of Ukraine for 2019: Statistical collection]. Kyiv [in Ukrainian].
22. Balyuk, S.A. & Forest, M.V. (Eds.). (2016). *Dovidnyk normatyvnykh pokaznykiv yakosti produktsiyi sil's'kohospodars'kykh kul'tur u riznykh gruntovo-klimatychnykh zonakh Ukrainy (Dovidkovo-normatyvna informatsiya)* [Handbook of normative indicators of the quality of agricultural crops in different soil and climatic zones of Ukraine (Reference and normative information)]. Kharkiv [in Ukrainian].
23. Korsun, S.G., Holodna, A.V., Shlyakhturov, D.S. & Klymenko, I.I. (2016). Osoblyvosti adaptatsiyi zernobobovykh kul'tur do zabrudnennya gruntu vazhkymy metalamy [Peculiarities of adaptation of leguminous crops to soil contamination with heavy metals]. *Zbirnyk naukovykh prats' NNTS «Instytut zemlerobstva NAAN» — Collection of scientific works of the NSC «Institute of Agriculture of the National Academy of Sciences»*, 2, 69–79 [in Ukrainian].
24. Tkachuk, O.P. (2018). *Ekolohichni zasady optymizatsiyi stanu ahrotsenoziv i gruntu Tsentral'noho Lisostepu* [Ecological principles of optimization of the state of agrocenoses and soil of the Central Forest Steppe]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 16.01.2024