



Г. М. Господаренко,
доктор сільськогосподарських наук, професор, професор
кафедри агрохімії і ґрунтознавства
Уманського національного університету садівництва
(м. Умань), Україна
E-mail: hospodarenko@gmail.com



В. В. Любич,
доктор сільськогосподарських наук, професор, професор
кафедри харчових технологій
Уманського національного університету садівництва
(м. Умань), Україна
E-mail: LyubichV@gmail.com



О. Д. Черно,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
завідувачка кафедри агрохімії і ґрунтознавства
Уманського національного університету садівництва
(м. Умань), Україна
E-mail: o.cherno@ukr.net

ВПЛИВ ВАПНУВАННЯ ТА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ НА ЧОРНОЗЕМІ ОПІДЗОЛЕНОМУ

Одним із чинників деградації ґрунтів є підкислення, що проявляється навіть у чорноземів, які своєю природою мають близьку до нейтральної або нейтральну реакцію ґрунтового розчину. У відношенні до кислотності пшениця належить до групи сільськогосподарських культур, які надають перевагу слабкокислій та близькій до нейтральної реакції ґрунтового середовища і добре реагує на вапнування не лише сильно- середньокислих, а й слабкокислих ґрунтів. Тому одержання об'єктивних даних щодо її реакції на різні дози вапна та систем удобрення в умовах тривалого стаціонарного дослідження є актуальним.

Метою проведення досліджень було встановити вплив вапнування в поєднанні з внесенням різних видів і доз мінеральних добрив на динаміку врожайності пшениці озимої на чорноземі опідзоленому в польовій сівозміні.

Дослідження проведено в стаціонарному досліді (атестат НААН №86), закладеному на дослідному полі Уманського НУС, з географічними координатами 48°46' 56,47" пн. ш. і 30°14' 48,51" сх. д.

Дослід закладено в 4-пільній польовій сівозміні (пшениця озима, буряк цукровий, кукурудза, горох) на трьох полях. Вирощували сорти пшениці озимої Місія одеська та Лазурна. Повну дозу вапна розраховували за рівнем обмінної кислотності. Одинарна доза дефекату, що містив 60 % CaCO₃, становила 9,0 т/га. Дефекат, у дозах 4,5 т/га 9,0 і 13,5 т/га було внесено під перші три культури сівозміни – пшеницю озиму, буряк цукровий і кукурудзу. На тлі вапнування мінеральні добрива вносили у вигляді селітри аміачної, суперфосфату гранульованого і калію хлористого.

Розглянуто питання комплексного впливу різних доз дефекату і мінеральних добрив на продуктивність пшениці озимої на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому Правобережного Лісостепу України. Проведення вапнування дозою дефекату 9,0 т/га в першій ротації підвищило врожайність пшениці озимої за внесення мінеральних добрив у дозі N90P60K60 на 0,83 т/га, або на 12 %, а в другій ротації – на 0,41 т/га, або на 7 %. За внесення 0,5 і 1,5 дози вапна приріст урожайності відповідно за дві ротації сівозміни склав 4 % і 10 %. Внесення 1,5 дози вапна, розрахованої за обмінною кислотністю, має менший стартовий ефект порівняно з одинарною дозою, але тривалішу післядію. Внесення дефекату в дозі 4,5–13,5 т/га сприяло підвищенню врожайності в середньому за дві ротації сівозміни на 0,17–0,35 т/га. Поліпшення калійного живлення рослин підвищує ефективність вапнування – приріст урожайності зерна складає 0,28–0,63 т/га.

Ключові слова: пшениця озима, чорнозем опідзолений, вапнування, мінеральні добрива.

Н. М. Hospogarenko,
Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Uman National University of Horticulture

V. V. Liubych,
Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Uman National University of Horticulture

O. D. Cherny,
Phd of Agricultural Sciences Uman National University of Horticulture

INFLUENCE OF LIMESTONE AND MINERAL FERTILIZERS ON YIELD OF WINTER WHEAT ON ON CHERNOZEM PODZOLIC

One of the factors of soil degradation is acidification, which is manifested even in chernozems that have a close to neutral or neutral in nature reaction of the soil solution. In terms of acidity, wheat belongs to the group of crops that prefer slightly acidic and close to neutral reaction of the soil environment and responds well to liming not only strong and medium acid, but also weakly acidic soils. Therefore, obtaining objective data on its response to different doses of lime and fertilizer systems in a long stationary experiment is relevant.

The aim of the research was to establish the effect of liming in combination with the application of different types and doses of mineral fertilizers on the dynamics of winter wheat yield on chernozem podzolic in field crop rotation.

The study was conducted in a stationary experiment (certificate NAAS №86), laid on the research field of Uman NUS, with geographical coordinates of 48 ° 46 '56,47' 'N. w. and 30 ° 14 '48,51' 'east. e.

The experiment was based on a 4-field field crop rotation (winter wheat, sugar beet, corn, peas) in three fields. Growing a variety of winter wheat Mission Odesa and Lazurna. The total dose of lime was calculated by the level of metabolic acidity. A single dose of defect containing 60% CaCO₃ was 9.0 t/ha. Defect, in doses of 4.5 t/ha 9.0 and 13.5 t/ha was introduced under the first three crops of crop rotation - winter wheat, sugar beet and corn. Against the background of liming mineral fertilizers were applied in the form of ammonium nitrate, granular superphosphate and potassium chloride.

The issue of complex influence of different doses of defects and mineral fertilizers on the productivity of winter wheat on chernozem podzolic heavy loam of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine is considered. Carrying out liming with a defect dose of 9.0 t/ha in the first rotation - increased the yield of winter wheat with the application of mineral fertilizers at a dose of N90P60K60 by 0.83 t/ha, or 12%, and in the second rotation - by 0.41 t/ha, or 7%. With the introduction of 0.5 and 1.5 doses of lime, the increase in yield for two rotations of crop rotation, respectively, was 4% and 10%. Applying 1.5 doses of lime, calculated on the basis of metabolic acidity, has a lower starting effect compared to a single dose, but has a longer aftereffect. The application of defect at a dose of 4.5–13.5 t/ha contributed to an increase in yield on average for two rotations of crop rotation by 0.17–0.35 t/ha. Improving the potassium nutrition of plants increases the efficiency of liming - the increase in grain yield is 0.28–0.63 t/ha.

Key words: winter wheat, podzolic chernozem, liming, mineral fertilizers.

Постановка проблеми. Одержання високих урожаїв сільськогосподарських культур можливе за поєднання високого рівня родючості ґрунту, оптимального застосування мінеральних добрив і вирощування інтенсивних сортів і гібридів. Площі посіву пшениці озимої в Лісостепу України залишаються стабільними. У відношенні до кислотності пшениця належить до групи сільськогосподарських культур, які надають перевагу слабкокислій і близькій до нейтральної реакції ґрунтового середовища і добре реагує на вапнування не лише сильно- і середньокислих, а й слабкокислих ґрунтів [1]. Оптимальний рівень рН для її вирощування 6,3–7,5. Нині на тлі застосування мінеральних добрив вапнування ґрунтів проводиться недостатньо, що викликало тенденцію погіршення їх родючості [2]. В таких умовах актуальним є вивчення впливу доз вапна у поєднанні з мінеральними добривами на формування рівня врожайності пшениці озимої.

Мета статті – встановити вплив післядії вапнування в поєднанні з внесенням різних видів і доз мінеральних добрив на динаміку врожайності пшениці озимої на чорноземі опідзоленому в польовій сівозміні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тривале землеробське використання ґрунту, особливо із застосуванням мінеральних добрив зумовлюють погіршення його кислотно-основних властивостей, які мають важливе значення у формуванні його родючості [3, 4]. Водночас знижується ефективність мінеральних добрив [5, 6]. Пшениця озима добре реагує на поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунту [7, 8–11]. Ефективність вапнування кислих ґрунтів залежить від форм, доз, строків і способів внесення вапнувальних матеріалів, чутливості культур і кислотно-основних властивостей ґрунту, поєднання вапнування із застосуванням мінеральних добрив [1, 9, 12–17]. Тому вивчення питання впливу цих чинників на формування врожайності пшениці озимої на чорноземі опідзоленому є актуальним.

Методика досліджень. Дослідження проведено в стаціонарному досліді (атестат НААН №86), закладеному на дослідному полі Уманського НУС, що розміщене в Маньківському природно-сільськогосподарському районі Середньо-Дніпровсько-Бузького Лісостепової Правобережної провінції зони Лісостепу з географічними координатами 48°46' 56,47" пн. ш. і 30°14' 48,51" сх. д. з висотою над рівнем моря 245 м. За даним метеостанції Умань, розміщеної за 2 км від стаціонарного досліді, клімат дослідного поля помірно континентальний із середньорічною температурою 8,8 °С і кількістю опадів 586 мм. ґрунт класифікується як чорнозем опідзолений

важкосуглинковий на лесі й характеризується низьким вмістом азоту легкогідролізованих сполук за методом Корнфілда [18], підвищеним і високим – відповідно рухомих сполук фосфору й калію за методом Чирікова [19].

Дослід закладено в 4-польній польовій сівозміні (пшениця озима, буряк цукровий, кукурудза, горох) на трьох полях. Вирощували сорти пшениці озимої Місія одеська та Лазурна. Повну дозу вапна розраховували за рівнем обмінної кислотності. Одинарна доза дефекату, що містив 60 % CaCO₃, становила 9,0 т/га. Дефекат, у дозах згідно схеми досліді, було внесено під перші три культури сівозміни – пшеницю озиму, буряк цукровий і кукурудзу. На тлі вапнування мінеральні добрива під пшеницю озиму вносили у вигляді суперфосфату гранульованого і калію хлористого (під основний обробіток ґрунту) та селітри аміачної у підживлення – напровесні й у фазах початку виходу в трубку та початку колосіння (табл.). До схеми досліді входив варіант без внесення добрив (контроль) і з насиченням 1 га площі сівозміни мінеральними добрива дозою N₉₇P₇₅, N₉₇P₇₅K₇₅ і N₁₃₀P₁₀₀K₁₀₀. Повторення досліді триразове з послідовним розміщенням варіантів. Загальна площа дослідної ділянки 36 м², облікової – 30 м². Збирання урожаю зерна проводили прямим комбайнуванням.

Результати досліджень. Попередніми дослідженнями встановлено, що під впливом вапнування поліпшуються фізико-хімічні властивості ґрунту, посилюється азотне та фосфорне живлення рослин [9, 20].

Після вапнування збільшувалися прирости врожайності пшениці озимої як в абсолютних, так і у відносних величинах. Так, у першій ротації сівозміни приріст врожайності від повного мінерального добрива (N₉₀P₆₀K₆₀) становив 3,43 т/га, тоді як на тлі внесення 4,5 т/га, 9,0 і 13,5 т/га дефекату відповідно 3,56 т/га, 3,83 і 3,82 т/га (див. табл.).

Найбільші прирости врожайності зерна від вапнування були у перші роки його дії і залежали від дози внесення дефекату. Так, у перший рік дії 4,5 т/га дефекату проріст урожаю склав 6 %, 9,0 т/га – 14 і 13,5 т/га – 10 %. Зниження ефективності високої дози дефекату, розрахованої на тривалий термін дії, можна пояснити надлишком кальцію в початковий період. При цьому виникає мікроелементоз, тобто зниженням доступності для рослин низки фізіологічно важливих елементів для живлення, які блокує кальцій, – кальцій, магній, калій, залізо, бор, цинк і мідь, але підвищує доступність азоту [21]. З часом, на 3–4 рік післядії вапнування в цьому варіанті досліді підвищується до 12 %. За першу ротацію

Урожайність пшениці озимої залежно від вапнування та удобрення, т/га

Варіант досліджу	Рік проведення дослідження			За першу ротацію сівозміни	Рік проведення дослідження			За другу ротацію сівозміни	За дві ротації сівозміни
	2013	2015	2016		2017	2019	2020		
Без добрив (контроль)	3,84	3,26	3,47	3,52	4,01	4,02	3,98	4,00	3,76
N ₉₀ P ₆₀	6,63	6,61	7,12	6,79	6,73	6,62	4,84	6,06	6,43
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	6,71	6,85	7,29	6,95	6,89	6,73	5,02	6,21	6,58
N ₁₂₀ P ₈₀ K ₈₀	7,04	7,01	7,84	7,30	7,14	6,96	5,21	6,44	6,87
0,5 CaCO ₃	4,07	3,43	3,65	3,72	4,16	4,14	4,10	4,13	3,93
0,5 CaCO ₃ + N ₉₀ P ₆₀	6,79	6,82	7,28	6,96	6,91	6,79	4,96	6,20	6,58
0,5 CaCO ₃ + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	7,01	7,20	7,62	7,28	7,13	6,98	5,17	6,43	6,86
0,5 CaCO ₃ + N ₁₂₀ P ₈₀ K ₈₀	7,42	7,39	8,30	7,70	7,45	7,19	5,37	6,67	7,19
1,0 CaCO ₃	4,38	3,66	3,82	3,95	4,25	4,23	4,14	4,21	4,08
1,0 CaCO ₃ + N90P60	7,34	7,30	7,61	7,42	7,04	6,85	5,06	6,32	6,87
1,0 CaCO ₃ + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	7,66	7,68	7,99	7,78	7,30	7,03	5,26	6,53	7,16
1,0 CaCO ₃ + N ₁₂₀ P ₈₀ K ₈₀	8,04	7,88	8,85	8,26	7,59	7,30	5,43	6,77	7,52
1,5 CaCO ₃	4,22	3,62	3,89	3,91	4,37	4,30	4,22	4,30	4,11
1,5 CaCO ₃ + N ₉₀ P ₆₀	7,09	7,34	7,76	7,40	7,20	6,98	5,14	6,44	6,92
1,5 CaCO ₃ + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	7,39	7,62	8,16	7,73	7,45	7,24	5,36	6,68	7,21
1,5 CaCO ₃ + N ₁₂₀ P ₈₀ K ₈₀	7,75	7,90	8,79	8,15	7,79	7,46	5,54	6,93	7,54
HIP ₀₅	0,36	0,38	0,46		0,35	0,34	0,29		

сівозміни приріст урожайності пшениці озимої від вапнування склав 6–12 % залежно від дози дефекату. Приріст урожайності озимої пшениці від вапнування на сьомий рік його післядії був 3–7 % залежно від дози дефекату.

Кальцій є антагоністом калію, крім того, на тлі вапнування врожайність культур підвищується, що потребує більшого засвоєння калію рослинами [22]. Дослідження показали, що калійні добрива в дозі 60 кг/га д. р. у середньому за дві ротації сівозміни сприяли підвищенню врожайності пшениці озимої на 0,15 т/га, тоді як на тлі вапнування – на 0,28–0,29 т/га.

На одному і тому самому ґрунті одні культури можуть бути достатньо забезпечені калієм, інші – відчувати явну нестачу [22]. Так, вчені [23–25] звернули увагу на те, що культури, які засвоюють більше силіцію, відчувають меншу потребу в калійних добривах. Це пояснюється здатністю кореневих систем рослин діяти на каліємісні мінерали ґрунту. До таких культур відноситься й пшениця озима.

У середньому в першій ротації сівозміни приріст урожайності пшениці озимої з підвищенням дози мінеральних добрив з N₉₀P₆₀K₆₀ до N₁₂₀P₈₀K₈₀ склав 0,35 т/га, тоді як на тлі вапнування (9,0 і 13,5 т/га дефекату) – відповідно 0,48 і 0,42 т/га. У середньому за дві ротації сівозміни він склав без вапнування 0,29 т/га, а на його тлі – 0,33–0,36 т/га.

Залежно від доз внесення дефекату приріст урожайності зерна за дві ротації сівозміни становив 0,17–0,35 т/га, тоді як на тлі внесення N₉₀P₆₀ – 0,15–0,49 т/га. Поліпшення калійного живлення рослин у варіанті досліджу N₉₀P₆₀K₆₀ підвищувало ефективність вапнуван-

ня – приріст урожайності за дві ротації сівозміни склав 0,28–0,63 т/га залежно від дози вапна.

Висновки. 1. Проведення вапнування дозою дефекату 9,0 т/га в першій ротації 4-пільної сівозміни підвищило врожайність пшениці озимої за внесення мінеральних добрив у дозі N₉₀P₆₀K₆₀ на 0,83 т/га, або на 12 %, а в другій ротації – на 0,41 т/га, або на 7 %. За внесення 0,5 і 1,5 дози вапна приріст урожайності за дві ротації сівозміни відповідно склав 4 % і 10 %.

2. Внесення 1,5 дози вапна, розрахованої за обмінною кислотністю, має менший стартовий ефект порівняно з одинарною дозою, але має тривалішу післядію.

3. Внесення дефекату в дозі 4,5–13,5 т/га сприяло підвищенню врожайності пшениці озимої в середньому за дві ротації сівозміни на 0,17–0,35 т/га. Поліпшення калійного живлення рослин підвищує ефективність вапнування – приріст урожайності зерна складає 0,28–0,63 т/га.

Література.

1. Господаренко Г. М. Система застосування добрив. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2022. 376 с.
2. Демиденко О. В. Відтворення чорнозему в агроценозі. Чорнобай : Чорнобайське КПП, 2022. 108 с.
3. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Трансформація кислотньо-основних властивостей ґрунту за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2014. №1. С. 8–12.
4. Сипко А. О., Стрілець О. П., Зацерковна Н. С., Костащук М. В. Оптимізація фізико-хімічних властиво-

стей чорнозему типового вилугованого слабокислого при застосуванні дефекату, отриманого за новою технологією. *Цукрові буряки*. 2017. №1. С. 11–13.

5. Baldock J. A., Hawke B., Sanderman J., Macdonald L. M. Predicting contents of carbon and its component fractions in Australian soils from diffuse reflectance mid-infrared spectra. *Soil Research*. 2013. no. 51. P. 577–595. <https://doi.org/10.1071/SR12374>.

6. Long-term effect of lime application on the chemical composition of soil organic carbon in acid soils varying in texture and liming history / Wang X. et al. *Biology and Fertility of Soils*. 2016. Vol. 52. P. 295–306. DOI: 10.1007/s00374-015-1076-2.

7. Польовий В. М., Яценко Л. А., Ровна Г. Ф., Гук Б. В., Ювчик Н. О. Еколого-економічні аспекти вирощування пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) на дерново-підзолистих ґрунтах залежно від удобрення і вапнування. *Агро-екологічний журнал*. 2021. № 2. С. 64–70. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234459>

8. Polovyi V. M., Yashchenko L. A. Optimization of growing conditions for winter wheat on sod-podzolis soil by the fertilization and melioration in Western Polissia of Ukraine/Achievements of Ukraine and the EU in ecology, biology, chemistry, geography and agricultural sciences. Riga, Latvia: "Baltija Publishing" 2021. P. 90-108.

9. Прокопчук І. В. Ефективність вапнування чорнозему опідзоленого Правобережного Лісостепу України за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.04. Харків, 2003. 20 с.

10. Рязанова М. Е., Бацманова Л. М., Коваленко М. С. Вплив іонів міді та рН середовища на антиоксидантну активність у тканинах коренів проростків озимої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2015. № 6. С. 497–504.

11. Швартау В. В., Михальська Л. М. Фізіологічні основи живлення високопродуктивних посівів зернових злаків. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. Т. 48. № 4. С. 298–309.

12. Ткаченко М. А., Кондратюк І. М., Борис Н. Е. Хімічна меліорація кислих ґрунтів. Вінниця : ТОВ «Твори», 2019. 318 с.

13. Haddad S. A., Tabatabai M. A. Loynachan T. E. Effects of liming and selected heavy metals on ammonium release in waterlogged agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils* 2017. Vol. 53. Issue 2. P. 153–158.

14. Long-Term Effects of Forest Liming on Soil, Soil Leachate, and Foliage Chemistry in Northern Pennsylvania / Long R. P. et al. *Soil Science Society of America Journal Abstract – Forest, Range & Wildland Soils*. 2015. Vol. 79. №4. P. 1223–1236.

15. Nang Seng Aye, Peter W. G. Sale, Caixian Tang. The impact of long-term liming on soil organic carbon and aggregate stability in low-input acid soils. *Biology and Fertility of Soils*. 2016. Vol. 52. P. 697–709.

16. Organic anion-to-acid ratio influences pH change of soils differing in initial pH / Rukshana F. et al. *J Soils Sediments*. 2014. no. 14. P. 407–414.

17. Paradelo R., Virto I., Chenu C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015. Vol. 202. P. 98–107.

18. ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда. [Чинний від 2016-07-01]. Київ, 2016. 9 с.

19. ДСТУ 4115-2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002. 12 с.

20. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Ефективність застосування дефекату на чорноземі опідзоленому у польовій сівозміні. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2004. Вип. 26. С. 78–81

21. Господаренко Г., Карнаух О., Alexander A. Мікроелементи і добрива в живленні рослин / за заг. ред. Г. Господаренка. Кам'янець-Подільський: ТОВ Друкарня «Рута», 2020. 348 с.

22. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. Агрохімія калію / за заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с.

23. Alzahrana Y., Kuşvuranb A., Alharbya H. F., Kuşvuranb S., Radyc M. M. The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced bydrought, salinity or cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 2018; 154: 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.057>.

24. Gong H. J., Chen K. M., Chen G. C., Wang S. M., Zhang C. L. Effects of silicon on growth of wheat under drought. *J. Plant Nutr.* 2003; 26 (5): 1055–1063.

25. Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти / за наук. ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, Б. С. Носка. Харків: Стильна типографія, 2018. 364 с.

References

- Hospodarenko, H. M. (2022). Fertilizer application system. Kyiv: LLC "SIK GROUP UKRAINE", 2022. 376 p.
- Demydenko, O. V. (2022). Reproduction of black soil in agrocenosis. Chornobay: Chornobayiv checkpoint, 2022. 108 p.
- Hospodarenko, H. M., Prokopchuk, I. V. Transformation of acid-base properties of the soil during long-term use of fertilizers in field crop rotation. Bulletin of the Uman National University of Horticulture, 2014, no. 1, pp. 8–12 (in Ukrainian).
- Sipko, A. O., Strelets, O. P., et al. Optimization of the physicochemical properties of a typical leached weakly acidic chernozem when using feces obtained by a new technology. Sugar beets, 2017, no. 1, pp. 11–13. (in Ukrainian).
- Baldock, J. A., Hawke, B., et al. Predicting contents of carbon and its component fractions in Australian soils from diffuse reflectance mid-infrared spectra. *Soil Research*, 2013, no. 51, pp. 577–595. <https://doi.org/10.1071/SR12374>. (in English).
- Long-term effect of lime application on the chemical composition of soil organic carbon in acid soils varying in texture and liming history / Wang X. et al. *Biology and Fertility of Soils*, 2016, Vol. 52, pp. 295–306. DOI: 10.1007/s00374-015-1076-2. (in English).
- Polovyi, V. M., Yashchenko, L. A. et al. (2021). Ecological and economic aspects of growing winter wheat (*Triticum aestivum* L.) on sod-podzolic soils depending on fertilization and liming. *Agroecological journal*, 2021, no. 2, pp. 64–70. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234459>.
- Polovyi V. M., Yashchenko L. A. Optimization of growing conditions for winter wheat on sod-podzolis soil by the fertilization and melioration in Western Polissia of Ukraine/Achievements of Ukraine and the EU in ecology, biology, chemistry, geography and agricultural sciences. Riga, Latvia: "Baltija Publishing" 2021, pp. 90–108. (in English).
- Prokopchuk I.V. Efficiency of liming chernozem podzolic of the right-bank forest steppe zone of Ukraine under long-term application of fertilizers in field crop rotation. Cand. agric. sci. diss. Kharkiv, 2003. 20 p. (Ukrainian).
- Ryazanova, M. E., Batsmanova, L. M., Kovalenko, M. S. Influence of copper ions and pH of the environment on antioxidant activity in root tissues of winter wheat seedlings. *Physiology of plants and genetics*, 2015, no. 6, pp. 497–504. (Ukrainian).
- Shvartau, V.V., Mikhalska, L.M. Physiological basis of nutrition of high-yielding crops of cereals. *Physiology of plants and genetics*, 2016, Vol. 48, no. 4, pp. 298–309. (Ukrainian).
- Tkachenko, M. A., Kondratyuk, I. M., Borys, N. E. (2019) Chemical reclamation of acidic soils. Vinnytsia: LLC "Tвори", 2019. 318 p. (in Ukrainian).
- Haddad ,S. A., Tabatabai, M. A. Loynachan, T.

- E. (2017). Effects of liming and selected heavy metals on ammonium release in waterlogged agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils*, 2017, Vol. 53, Issue 2, pp. 153–158. (in English).
14. Long-Term Effects of Forest Liming on Soil, Soil Leachate, and Foliage Chemistry in Northern Pennsylvania / Long R. P. et al. *Soil Science Society of America Journal Abstract – Forest, Range & Wildland Soils*. 2015. Vol. 79. №4. P. 1223–1236. (in English).
15. Nang Seng Aye, Peter W. G. Sale, Caixian Tang (2016). The impact of long-term liming on soil organic carbon and aggregate stability in low-input acid soils. *Biology and Fertility of Soils*, 2016, Vol. 52, pp. 697–709. (in English).
16. Organic anion-to-acid ratio influences pH change of soils differing in initial pH / Rukshana F. et al. *J Soils Sediments*, 2014, no. 14, pp. 407–414. (in English).
17. Paradelo R., Virto I., Chenu C. (2015). Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, Vol. 202, pp. 98–107.
18. State Standard 7863:2015. Soil quality. Determination of easily hydrolyzable nitrogen by the Kornfield method. Kyiv, 2016. 9 p. (Ukrainian).
19. State Standard 4115-2002. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium according to the modified Chirikov method. Kyiv, 2002. 12 c. (Ukrainian).
20. Hospodarenko, H. M., Prokopchuk, I. V. Effectiveness of application of feces on podzolized chernozem in field crop rotation. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Region*, 2004, no 26, pp. 78–81. (Ukrainian).
21. Hospodarenko, G., Karnaukh, O., Alexander, A. (2020) Microelements and fertilizers in plant nutrition. Kamianets-Podilskyi: LLC "Ruta Printing House", 2020. 348 p. (Ukrainian).
22. Hospodarenko, H. M., Chernov, O. D., Nikitina, O. V. (2021). Agrochemistry of potassium. Kyiv: LLC "TROPEA", 2021. 264 p. (Ukrainian).
23. Alzahrana, Y., Kuşvuranb, A., et al. (2018). The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 2018, no 154, pp. 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.057>. (in English).
24. Gong, H. J., Chen, K. M., et al. (2003)/ Effects of silicon on growth of wheat under drought. *J. Plant Nutr.* 2003, Issue 26 (5), pp. 1055–1063. (in English).
25. Adaptation of agricultural technologies to climate change: soil and agrochemical aspects / by Sci. ed. S. A. Balyuk, V. V. Medvedeva, B. S. Noska. Kharkiv: Stylish Typography, 2018. 364 p. (Ukrainian).