УДК 631.816.11
DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.146.2.11

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ДАНИХ АНАЛІЗУ ВМІСТУ ФОСФОРУ ҐРУНТУ ЗА РІЗНИХ МЕТОДИК ЙОГО ВИЗНАЧЕННЯ

Фурманець О.А. *– к.с.-г.н., доцент,*
доцент кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства,
Національний університет водного господарства та природокористування
orcid.org/0000-0003-0082-7895
Лико Д.В. *– д.с.-г.н., професор,*
Національний університет водного господарства та природокористування
orcid.org/0000-0003-0184-0549
Крайна М. А. *– аспірантка кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства,*
Національний університет водного господарства та природокористування
orcid.org/0009-0008-7755-8252

Дослідження мало на меті оцінити збіжність даних вмісту фосфору в одних і тих же зразках ґрунтів, що виконані із використанням різних методів екстракції, спробувати виявити можливості для їх взаємної конвертації та приведення до єдиної системи оцінки. Для цього було сформовано вибірку із зразків ґрунту, виконано їх підготовку та подальший лабораторний аналіз за загальноприйнятими методами. Для кращої оцінки збіжності у вибірку були включені зразки різних типів ґрунтів (дерново-підзолистий супіщаний, сірий лісовий опідзолений, темно-сірий опідзолений, чорнозем опідзолений середньосуглинковий) які є зональними для регіону.

Результати досліджень показали неоднозначність у трактуванні результатів залежно від конкретної обраної методики. Так абсолютні значення вмісту фосфору дуже коливаються, залежно від типу обраної методики, що є наслідком різної сили екстрагуючого агента. При цьому пряме порівняння рівнів забезпеченості також не є достатньо ефективним, оскільки вплив фактора pH витяжки (та відповідною зміною фактично екстрагованої фракції фосфору) не може напряму бути врахований корекцією градації забезпеченості. Тому у випадку використання загальноприйнятих державних методик визначення важливо прагнути до максимальної відповідності типу витяжки та реакції ґрунтового розчину конкретного типу ґрунту. У випадку необхідності порівняння даних, що отримані в різний час вітчизняним та закордонними методиками (Mehlich3, Bray, Olsen) таку інтерпретацію бажано виконувати маючи контрольну вибірку даних, що виконана одночасно двома методиками. Якщо такої змоги немає, то можна опиратись на методику Mehlich3 як на найбільш адаптивну і менш залежну від складу конкретного зразка ґрунту.

За будь-яких умов оцінка даних визначення вмісту фосфору повинна виконуватись із врахуванням сукупності агрохімічних показників ґрунту (вміст органічної речовини, показників кислотності, ємкості катіонного обміну). Для відслідковування динаміки зміни вмісту фосфору в ґрунті вкрай рекомендовано використовувати одну і ту ж методику, оскільки використання навіть не оптимального, для конкретних умов, методу може принести менше похибки, ніж спроби приведення різних даних до одного знаменника.

Ключові слова: *вміст фосфору у ґрунті, методологія визначення, агрохімічний стан ґрунтів, порівняння методів визначення, фосфатний режим.*

Furmanets O.A., Lyko D.V., Krayna M.A. Interpretation of soil phosphorus content analysis data which obtained with different methods of its determination

The study aimed to assess the convergence of phosphorus content data in the same soil samples, which were performed using different extraction methods and to try to identify opportunities for

© Фурманець О.А., Лико Д.В., Крайна М. А., 2025
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

their mutual conversion and reduction to a single evaluation system. For this purpose, a number of soil samples was formed and were performed subsequent laboratory analysis using generally accepted methods. For a better assessment of the convergence, samples of different types of soils which are zonal for the region (sod-podzolic sandy loam, gray forest podzolic, dark gray podzolic, chernozem podzolic medium loam) were included in the sample.

The results of the studies showed ambiguity in the interpretation of the results depending on the specific method chosen. Thus, the absolute values of phosphorus content fluctuate greatly, depending on the type of selected method, which is a consequence of the different strength of the extracting agent. At the same time, a direct comparison of the levels of availability is also not sufficiently effective, since the influence of the pH factor of the extract (and the corresponding change in the actually extracted phosphorus fraction) cannot be directly taken into account by correcting the gradation of availability. Therefore, in the case of using generally accepted state methods of determination, it is important to strive for maximum compliance with the type of extract and the reaction of the soil solution of a specific type of soil. In the case of the need to compare data obtained at different times by state and foreign methods (Mehlich3, Bray, Olsen), such an interpretation is desirable to perform with a control sample of data performed simultaneously by two methods. If this is not possible, then one can rely on the Mehlich3 method as the most adaptive and less dependent on the composition of a specific soil sample.

Under any conditions, the assessment of phosphorus content data should be carried out taking into account the complex of soil agrochemical indicators (organic matter content, acidity indicators, cation exchange capacity). To track the dynamics of changes in soil phosphorus content, it is highly recommended to use the same methodology, since the use of even a method that is not optimal for specific conditions may result in less error than attempts to reduce different data to a single denominator.

Key words: *phosphorus content in soil, determination methodology, agrochemical condition of soils, comparison of determination methods, phosphate regime.*

Постановка проблеми. Фосфор є важливим хімічним елементом для розвитку рослин, який відіграє фундаментальну роль у різних фізіологічних процесах. Він присутній у клітинах рослин як структурний компонент ДНК, РНК та АТФ, та у системах транспорту енергії та вуглеводного обміну [1].

Дефіцит фосфору може призвести до недостатнього росту, низької продуктивності та якості сільськогосподарських культур.

В той же час надлишок фосфору може спричинити цілу низку негативних екологічних наслідків. Надмірне накопичення фосфору в матрицях навколишнього середовища, таких як ґрунт, вода та повітря, спричиняє серйозні екологічні ризики [2, 3]. Надлишок фосфору спричиняє евтрофікацію водних систем, що призводить до цвітіння водоростей, що знижують рівень кисню та порушують водне життя. У той час як аерозолі, що містять фосфор, сприяють забрудненню атмосфери твердими частинками, накопичення фосфору в ґрунті може змінити мікробну активність та знизити доступність поживних речовин [4]. Тому розуміння методів визначення фосфору в різних ґрунтах, має першорядне значення для оптимізації живлення рослин та забезпечення управління поживними речовинами [3, 4].

Серед основних елементів живлення фосфор є найдорожчим за одиницю діючої речовини, а обмеженість наявних сировинних ресурсів, в т.ч. в контексті агресії з боку РФ, сприяє постійному зростанню ринкової вартості фосфорних добрив. Таким чином економічна складова є ще одним важливим елементом, який обґрунтовує необхідність максимально коректної та своєчасної діагностики вмісту фосфору у ґрунтах різного складу.

Стандартизованими методиками визначення фосфору в ґрунтах України є методи Кірсанова, Чирікова та Мачигіна (ДСТУ 4114-2002, ДСТУ 4115-2002). На території США та європейських країн поширена низка інших методик – **Olsen, Mehlich, Bray та їх** модифікації. Частина комерційних лабораторій активно

імплементує закордонні методи визначення, ще частина напряму виконує аналізи за межами України. Все це призводить до значної варіативності даних вмісту фосфору в ґрунтах, що ускладнює їх інтерпретацію, оцінку фосфорного режиму ґрунтів в динаміці та робить неможливим якісну побудову режиму живлення в ротації польових культур.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Перші спроби виконати порівняльний аналіз різних методик визначення фосфору були ще наприкінці минулого сторіччя. Багато наукових праць присвячено питанням оптимізації методів діагностики доступного фосфору у ґрунтах. Над цим працювали вітчизняні науковці з різних регіонів – Стахів М. П. [5], Ященко Л. А. [6], Крамарьов С. М., Кирильчук А. М. [7] та закордонні вчені з усього світу Ziadi N [8], Cadet A. [9], Guerin J. [10], Wuencher R. [11] та інші.

Проблема порівняльної інтерпретації різних методик, актуальна для України, також активно обговорюється і в світовій науковій спільноті. Так R. Wuenscher виконав порівняльний аналіз чотирнадцяти різних методів екстракції фосфору з ґрунту та проаналізував їх застосовуваність для вибірки з п'ятидесяти різних ґрунтів [12]. A. Cadet наголосив на проблемі коректного підбору методу екстракції для найбільш точного визначення саме доступних для рослин фосфатів ґрунту на прикладі ґрунтового покриву Франції [9]. M. Latrou розмежував оптимальні методи визначення фосфатів ґрунту залежно від його типу, зокрема за показником природного pH, для методів Олсена та Меліха [13].

Серед вітчизняних учених також популярна тема порівняльної оцінки методів визначення фосфору, серед публікацій на цю тему варто виділити працю М. Мірошниченко та А. Христенка [12] у якій наведені дані обширного порівняння загальнопоширених методів та побудовані окремі регресійні рівняння для переведення даних, що отримані за однією методикою, до рівня даних іншої.

Зі свого ми зробили спробу оцінити коректність запропонованих авторами рівнянь перетворення для умов ґрунтового покриву Західної України та виконати порівняльну оцінку власних даних, що отримані різними методами.

Мета. Оцінити збіжність даних вмісту фосфору в одних і тих же зразках ґрунтів, що виконані із використанням різних методів екстракції, спробувати виявити можливості для їх взаємної конвертації та приведення до єдиної системи оцінки. З цією метою впродовж 2022-2024 років було відібрано низку зразків ґрунту, виконано їх підготовку та подальший лабораторний аналіз за загальноприйнятими методами. Для кращої оцінки збіжності у вибірку були включені зразки різних типів ґрунтів (дерново-підзолистий супіщаний, сірий лісовий опідзолений, темно-сірий опідзолений, чорнозем опідзолений середньосуглинковий) які є зональними для регіону.

Матеріали та методи. Для порівняльного тесту використано близько 300 зразків ґрунтів. Визначення фосфору методами Чирікова, Мачигіна та Кірсанова виконувались згідно ДСТУ 4114-2002, 4115-2002, 4405-2005. Методом Mechlich 3 в модифікації університету Огайо [16], методами Bray та Olsen відповідно до стандартних операційних процедур FAO [14, 15].

Результати досліджень. На первинному етапі була сформована вибірка зрізків, що відібрані із основних типів зональних ґрунтів (горизонт 0-30 см). В кожному із зразків було проведене визначення основних агрохімічних показників (вміст органічної речовини, pH водний та сольовий, вміст основних катіонів, фосфору та калію). Визначення вмісту фосфору виконане суцільно за методом Чирікова, а також дублюючими методиками – при pHсол < 5,5 – методом Кірсанова, при

pHсол > 5,5 – методом Мачигіна. При виконанні потокових аналізів часто виникають складнощі із підбором коректної методики визначення, наприклад коли реакція ґрунтового розчину понад 7,2 але ґрунт при цьому не закипає від кислоти. Або навпаки – коли ґрунт демонструє кипіння, але визначення pH показує результат менше 7,2. Тому на первинному етапі наша задача полягала у тому, щоб оцінити можливість виникнення та вагу потенційних похибок при оцінці вмісту фосфору за невірного вибору методики.

Порівняння результатів вмісту фосфору у зразках ґрунтів, що отримані за методиками Чирікова та Кірсанова наведено на рис 1.

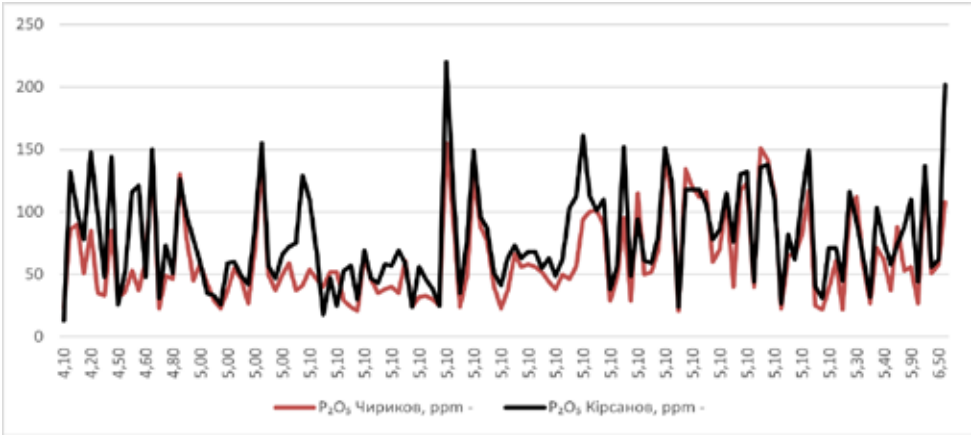

Рис. 1. Вміст фосфору у зразках, що отримані за методиками Кірсанова та Чирікова, абсолютні значення мг/кг

Оцінюючи отримані результати, слід відмітити, що у дуже кислому діапазоні реакції ґрунтового розчину дані, отримані за методикою Кірсанова, демонструють чисельно вищі значення. Така ситуація є закономірною і свідчить про те, що екстракція 0,5 н оцтовою кислотою вилучає менше фосфору в порівнянні із більш активною 0,2 н HCl. Власне на цьому і побудована основна теорія розподілу методик визначення, що розроблена і активно використовується на території пострадянського простору.

Тим не менше, показовою є достатньо хороша збіжність даних в діапазоні pH 5,0…6,0, особливо за низького та середнього вмісту фосфору.

Наступним кроком було виконано аналогічне порівняння методик Чиріков-Мачигін (рис 2.).

В даному випадку вибірка була дещо меншою, та охоплювала зразки в діапазоні pH 5,5… 7,4.

Навіть первинна оцінка результатів показує значний розкид даних, залежно від обраної методики, при цьому амплітуда відхилень зростає із збільшенням pH.

Оскільки градації забезпечення ґрунтів за двома аналізованими методиками дуже відмінні, то більш логічно в даному випадку оцінювати не абсолютні значення, а рівні забезпеченості ґрунту (рис 3.). В даному випадку рівень 1 відповідає дуже низькій забезпеченості, 6 – дуже високій.

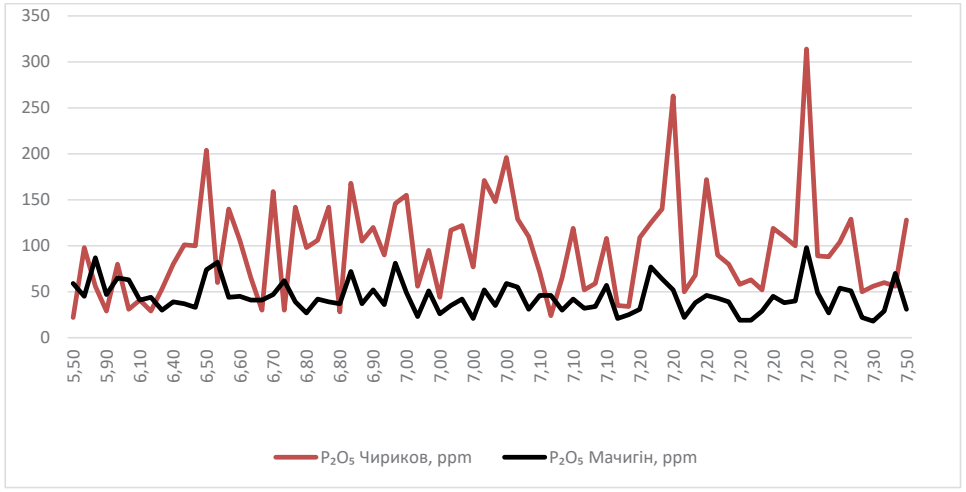

Рис. 2. Вміст фосфору у зразках, що отримані за методиками Мачигіна та Чирікова, абсолютні значення мг/кг

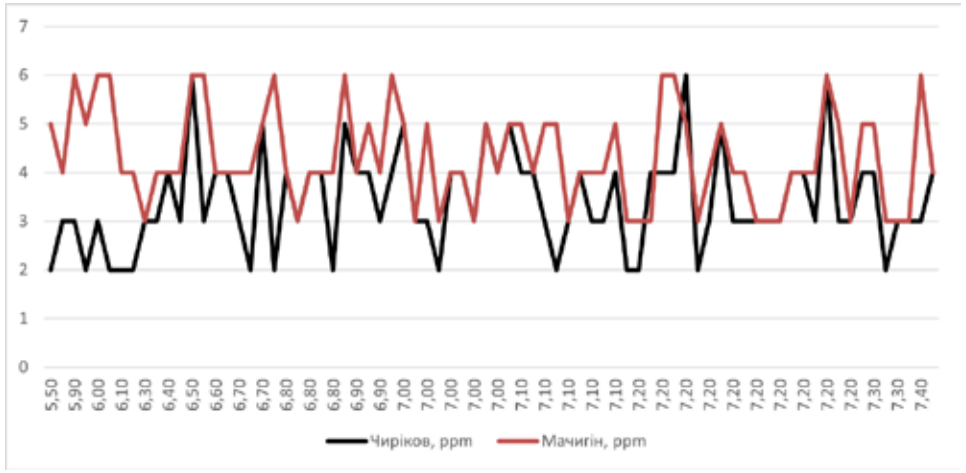

Рис. 3. Вміст фосфору у зразках, що отримані за методиками Мачигіна та Чирікова, рівні забезпеченості

В діапазоні pH 5,5-6,5 розбіжність забезпеченості дуже значна і може досягати 3-4 рівнів (низький – дуже високий), на попередній діаграмі було помітно, що абсолютні значення отримані за двома мметодиками дуже близькі, а розкид рівнів забезпеченості зкмовлений відмінними градаціями (наприклад 46 мг/кг за Чириковим відповідає низькій забезпеченості, за Мачигіним – високій).

У випадку порівняння даних в слаболужному діапазоні, де типовою прийнятою методикою є метод Мачигіна розкид рівнів забезпеченості не такий значний, однак все ще помітний. Кореляція рядів даних в цьому випадку складає близько

0,6. При цьому на рівні загальної тенденції метод Чирікова показує занижені дані забезпеченості, особливо в діапазоні низький-середній вміст фосфору. Більш актуальним для сучасного аграрія є питання інтерпретації даних вмісту фосфору, що отримані закордонними методиками, особливо у випадку наявності попередніх даних стандартизованими методиками.

На меншій вибірці даних було виконано повний спектр аналітичних визначень за методиками Чирікова, Мачигіна, Mehlich3, Bray та Olsen. Результати визначень наведені на рисунках 4 та 5.

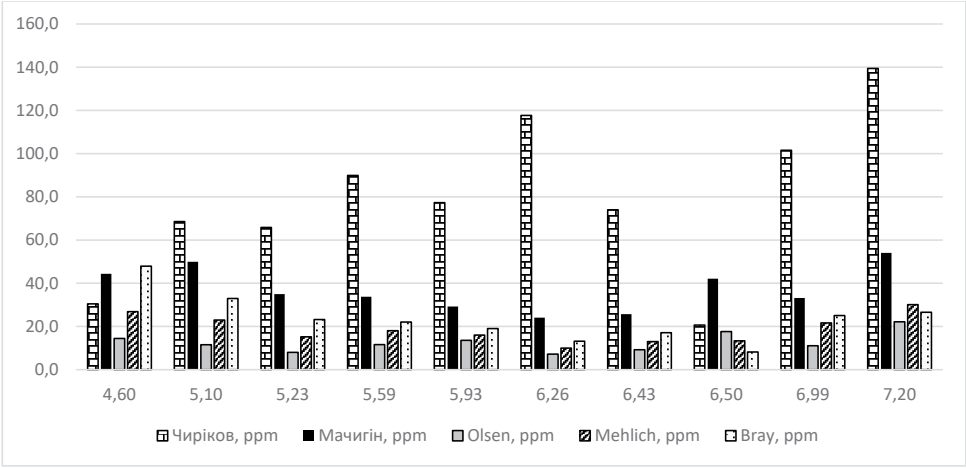

Рис. 4. Порівняння результатів Чиріков-Мачигін-Mehlich-Bray-Olsen, абсолютні значення, мг/кг ґрунту

З точки зору формування абсолютних значень найвищі результати показує методика Чирікова, при цьому кількість екстрагованого фосфору в кілька разів вища, порівняно із іншими методами екстракції. Подібну тенденцію ми вже відмічали при прямому порівнянні даних на рис. 3.

Можна також відмітити близькість даних, що отмані за методами Bray та Mehlich3.

Порівнюючи рівні забезпеченості можна відмітити наступні тенденції:

– За кислої реакції ґрунтового розчину лужні витяжки показують завищені результати по забезпеченості (вже відмічали вище), в слаболужному – навпаки;

– За pH близького до нейтрального – нейтрального збіжність даних досить висока, і варіює в межах +-одного рівня забезпеченості;

– методика Mehlich3 показує себе найбільш адаптивно за різних умов.

Висновки. Проведені дослідження показали, що пряме порівняння даних вмісту фосфору, які отримані за різними методиками неможливе для сукупності різних типів ґрунтів. При цьому важливим є дотримання принципів диференціації загальноприйнятих методик визначення (Кірсанов, Чиріков, Мачигін) залежно від реакції ґрунтового розчину. В іншому випадку виникають похибки даних, які неможливо коректно враховувати в подальшому аналізі.

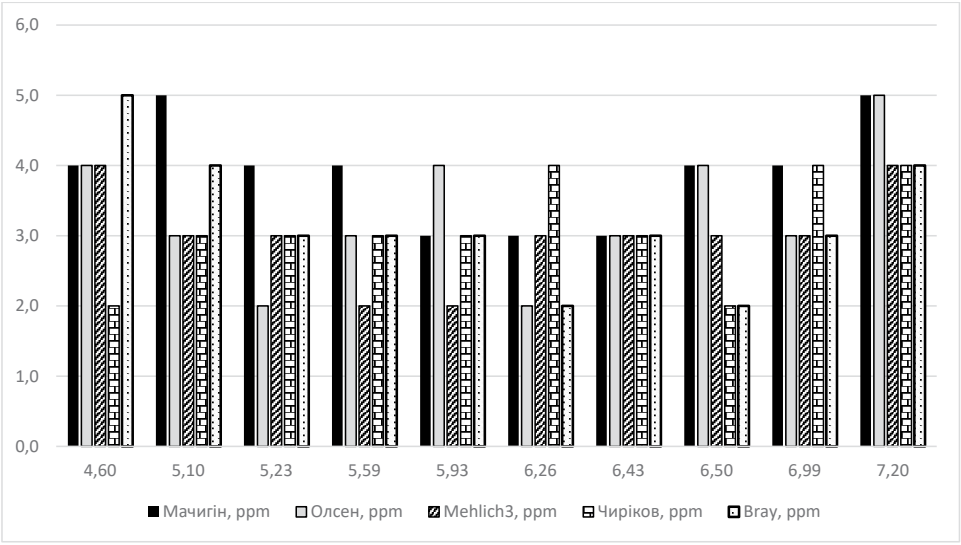

Рис. 5. Порівняння результатів Чиріков-Мачигін-Mehlich-Bray-Olsen, рівні забезпеченості

У випадку необхідності порівняння даних, що отримані в різний час вітчизняним та закордонними методиками (Mehlich3, Bray, Olsen) таку інтерпретацію бажано виконувати маючи контрольну вибірку даних, що виконана одночасно двома методиками. Якщо такої змоги немає, то можна опиратись на методику Mehlich3 як на найбільш адаптивну і менш залежну від складу конкретного зразка ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Valdinei Souza, Silas Silva, Lílian Maia. Development of a methodology for phosphorus determination in soils, water, and biofertilizer using digital image analysis – DIA, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Volume 240, 2023, 104929, ISSN 0169-7439, https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2023.104929. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016974392300179X)
2. Wieczorek, D.; Żyszka-Haberecht, B.; Kafka, A.; Lipok, J. Determination of phosphorus compounds in plant tissues: From colourimetry to advanced instrumental analytical chemistry. Plant Methods 2022, 18, № 22.
3. Garske, B.; Stubenrauch, J.; Ekardt, F. Sustainable phosphorus management in European agricultural and environmental law. Review of European. Comp. Int. Environ. Law 2020, 29, 107–117.
4. Johan, P.D.; Ahmed, O.H.; Omar, L.; Hasbullah, N.A. Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. Agronomy 2021, 11, 2010.
5. Стахів М.П. Фосфорне живлення рослин та методичні аспекти визначення рухомих сполук фосфору в ґрунті. Ґрунтознавство. 2010. Т. 11. № 3–4. С. 88–95.
6. Ященко Л.А. Оцінка методів визначення рухомого фосфору в лучно-чорноземному ґрунті. Вісник ХНАУ. Сер. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів. 2013. № 1. С. 152–156.
7. Крамарьов С. М., Христенко А. О., Токмакова Л. М. Порівняльна оцінка вмісту рухомого фосфору в різних генетичних горизонтах чорнозему звичайного. Вісник Полтавської державної аграрної академії, 2015, № 1-2, с. 29-31.

8. Ziadi N., Whalen J.K., Messiga A.J., Morel C. Assessment and Modeling of Soil Available Phosphorus in Sustainable Cropping Systems. Advances in Agronomy. Ed. Donald L. Sparks. Burlington: Academic Press, 2013. V. 122. P. 85 – 126. doi:10.1016/B978-0-12-417187-9.00002-4

9. Cadet A., Scheiner J.D., Favarel J.-L., Garcia M. Validation of the Mechlich-3 method to determine the amount of phosphorus availability and exchangeable bases in diverse viticultural soils of south west France. 2nd International Symposium pn Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Continuum. Castanet Tolosan – France, Sept. 2003. doi:10.13140/RG.2.2.34691.30244

10. Guerin J., Parent L., Abdelhafid R. Agrienvironmental Tresholds using Mehlich III Soil Phosphorus Saturation Index for Vegetables in Histosols. J. of Environmental Quality. 2007. 36. P. 975–982. doi: 10/2134/jeq2006.0424

11. Wuenscher R., Unterfrauner H., Peticzka R., Zehetner F. A comparison of 14 soil phosphorus extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe. Plant, Soil and Environment. 2015. V. 61. № 2. P. 86–96. doi: 10.17221/932/2014-PSE

12. Мірошніченко М. М., Христенко А. О., Ревтье-Уварова А. В., Лісовий М. В. Гармонізація визначення фосфору і калію в ґрунті за національними та міжнародними методами. Вісник аграрної науки, 2022, № 7, с. 13-21. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202207-01

13. Iatrou M., Papadopoulos A., Papadopoulos F. et al. Determination of soil available phosphorus using the Olsen and Mehlich 3 methods for Greek soils having variable amounts of calcium carbonate. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 2014. V. 45. Is. 16. P. 2207–2214. doi: 10.1080/00103624.2014.911304 19.

14. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Standard operating procedure for soil available phosphorus – Olsen method, Rome, 2021, 18 p.

15. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Standard operating procedure for soil available phosphorus – Bray I and Bray II method, Rome, 2021, 17 p.

16. The Ohio State University. Standard Operating Procedure Mehlich3. 2020, 6 p.

Дата першого надходження рукопису до видання: 07.11.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 22.12.2025
Дата публікації: 31.12.2025