



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.423;
631.416.631.811

© 2022

ГАРМОНІЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФОСФОРУ І КАЛІЮ В ҐРУНТІ ЗА НАЦІОНАЛЬНИМИ ТА МІЖНАРОДНИМИ МЕТОДАМИ

М.М. Мірошніченко¹, А.О. Христенко², А.В. Ревтьєв-Уварова³, М.В. Лісовий⁴

¹доктор біологічних наук, член-кореспондент НААН

^{2,3}кандидати сільськогосподарських наук

⁴доктор сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: ¹ecosoil@meta.ua, ²khristenko53@gmail.com, ³alina_rev@meta.ua

ORCID: ¹0000-0003-2830-5933, ²0000-0003-4389-9274, ³0000-0002-6838-5440

Надійшла 26.05.2022

Мета. Гармонізувати національні та міжнародні методичні підходи щодо визначення рівня забезпеченості ґрунтів фосфором і калієм. **Методи.** Статистико-математичний аналіз даних агрохімічних досліджень, паралельних випробувань у різних лабораторіях, літературних і фондових даних щодо забезпеченості ґрунтів елементами живлення. **Результати.** Розроблено регресійні рівняння для перерахунку результатів визначення вмісту рухомого фосфору і калію в ґрунті за стандартизованими методами Чирікова та Мачигіна в прогнозовані дані за методами Mehlich 3 (для РК) і Olsen (для Р). Установлено, що така конвертація має певні винятки, тому її краще застосовувати лише для якісної оцінки рівня забезпечення ґрунту цими елементами живлення. Для якісної оцінки забезпеченості ґрунтів України запропоновано такі рівні вмісту фосфору (Р) і калію (К) за Mehlich 3: низький – менше за 6 мг/кг і 110, середній – 6–24 і 111–155, підвищений – 25–42 і 156–200 мг/кг, високий – 43–60 і 201–245, дуже високий – понад 60 і 245 мг/кг відповідно. Оцінювати забезпеченість ґрунтів рухомим фосфором за Olsen рекомендовано за такими рівнями: низький – менше за 8 мг/кг, середній – 8–15, підвищений – 16–22, високий – 23–30, дуже високий – понад 30 мг/кг. **Висновки.** Результати вимірювань умісту рухомого фосфору та калію за методом Мачигіна (ДСТУ 4114) та Чирікова (ДСТУ 4115) можуть бути конвертовані в результати за методами Mehlich 3 або Olsen (лише для Р) для якісного оцінювання рівня забезпеченості ґрунтів цими елементами живлення. Перерахунок результатів із методу Мачигіна дає більш точний результат, ніж із методу Чирікова.

Ключові слова: конвертація даних, фосфатний і калійний стани, національні і міжнародні методи.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202207-01>

Гармонізація національного та європейського технічного законодавств є однією з умов пришвидшення вступу України до ЄС та розвитку економічного співробітництва в усіх галузях АПК [1]. Нині у сфері агрохімічного забезпечення землеробства потреба в такій гармонізації зростає в зв'язку з переорієнтацією вітчизняних виробників добрив і сільськогосподарської продукції на європейські та світові ринки, впровадженням цифрових технологій, які потребують стандартизованої вихідної інформації, переоснащенням парку засобів вимірювальної техніки в агрохімічному сервісі тощо. Ці питання особливо актуальні в приватному секторі, оскільки на початок 2022 р. в Україні функціонувало майже 40 комерційних агрохімічних лабораторій. Застосовувана ними методологія аналітичних робіт часто відрізняється від національних стандартів, що дуже ускладнює інтерпретацію результатів аналізів, погіршує точність і правильність оцінки трофічного стану ґрунтів та перешкоджає оптимізації систем удобрення.

З проблемою надмірного різноманіття вихідної інформації про трофічний стан ґрунтів стикаються й інші країни. Зокрема, для визначення рухомого (або «доступного» (available)) фосфору в країнах Азії, Африки та Латинської Америки найбільш поширені методи Bray-1, Mehlich 3, Olsen, в Австралії та Новій Зеландії — Bray-1, Colwell, Olsen. У Канаді використовують 4 різні методи, у США — 5, серед яких також є методи Mehlich-3 та Olsen, у Європі — 11 [2]. Різноманіття методів зумовлено відмінністю ґрунтових умов, за яких краще працюють певні екстрагенти [3]. Також немає єдиного підходу до визначення рухомого (або обмінного (exchangeable)) калію, навіть у європейських країнах: офіційним методом у Німеччині та Австрії є екстрагування ацетатом Ca і лактатом Ca в буферному розчині CH_3COOH з рН 3,7, Польщі та Латвії — лактатом Ca в буферному розчині HCl з рН 3,5, Литві, Словенії та Угорщині — лактатом амонію в буферному розчині CH_3COOH з рН 3,7, в Естонії, Чехії і Словакії прийнято метод Mehlich 3 [4]. Загалом найпоширенішим у світі методом визначення рухомого фосфору є Olsen (0,5 н розчин NaHCO_3 з рН 8,5; співвідношення ґрунту

і розчину 1:100), рухомого калію — екстрагуванням $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (рН 7,0), тому саме їх було використано для складання загальноєвропейської бази даних «Land Use/Cover Area frame statistical Survey Soil» (LUCAS) та відповідних тематичних картосхем [5].

З метою забезпечення порівняння, взаємозамінності та полегшення інтерпретації ґрунтового-аналітичної інформації, отриманої в різних лабораторіях, країнах чи регіонах, Глобальним ґрунтовым партнерством FAO у 2017 р. створено Глобальну мережу ґрунтових аналітичних лабораторій (GLOSOLAN), одним із завдань якої є уніфікація вимірювань фосфору та калію в ґрунтах.

В економічному аспекті найпривабливішим для агрохімічного аналізу є застосування комплексного екстрагування, яке дає змогу визначати відразу кілька елементів живлення [6]. Зокрема, чи не найбільш поширений метод Mehlich 3 являє собою композицію з кислот — оцтової (0,2 н CH_3COOH) та азотної (0,013 н HNO_3), солей — фториду амонію (0,015 н NH_4F) та нітрату амонію (0,25 н NH_4NO_3), хелатного агента — етилендіамінтетраоцтової кислоти (0,001 М EDTA) й рекомендується для визначення не лише PK, а й Ca, Mg, Na, B, Cu, Zn, Fe, Mo, Mn тощо. Розроблений у 1984 р. у США метод Mehlich 3 не тільки став рутинним у низці американських і канадських штатів [7–9], а й був успішно апробований у багатьох європейських країнах: Чехії [10], Польщі [4, 11], Франції [12], Естонії [13]. На жаль, досліджень із використання цього методу в Україні обмаль [14–16].

Заміна методу екстрагування або перерахунок даних одного методу в інший є складним науковим завданням через відмінність механізмів екстрагування. Екстракція за Olsen відбувається за рахунок зв'язування кальцію в карбонати з відповідним вивільненням фосфатів і збільшення їхньої конкуренції з аніонами HCO_3^- , CO_3^{2-} та OH^- . За Mehlich 3 механізм вилучення фосфору інший — кислотне розчинення фосфатів кальцію, заліза та алюмінію і комплексоутворення, інтенсивність якого залежить від рН [17]. Тому коли екстрагент за Olsen вилучає з ґрунту 40 мг P, витяжка за Mehlich 3 може містити майже 100 мг P [3]. Обидва методи можна застосовувати

на ґрунтах з кислою реакцією і Са-насичених ґрунтах із високим рН [18]. Більше того, авторами [19] доведено, що для ґрунтів тропіків і помірного поясу можна досить точно перераховувати результати вимірювань фосфору за Mehlich 3 в дані за Olsen за допомогою трансферних функцій із мінімальною невизначеністю в діапазоні до 10 мг/кг (за Olsen), а результати вимірювання калію за Mehlich 3 та у витяжці 1 М ацетату амонію майже ідентичні ($R^2=0,86-1,00$) [19].

В Україні для визначення доступних рослинам форм РК у ґрунті донині застосовували систему методів, розроблену колишнім Центральним науково-дослідним інститутом агрохімічного обстеження сільського господарства (ЦИНАО, м. Москва), який координував агрохімічні дослідження в СРСР. Зокрема, для степової зони було рекомендовано метод Мачигіна (екстракція 10 г/дм³ (NH₄)₂CO₃), Лісостепу — метод Чирікова (0,5 М CH₃COOH). З набуттям незалежності ці методи були адаптовані до ґрунтово-кліматичних умов України та стандартизовані [20, 21], але залишилися базовими для майже всіх агрохімічних досліджень в країні, зокрема агрохімічної паспортизації земель. Отже, було забезпечено узгодженість з раніше отриманими даними, але конвертації до системи міжнародних методів не відбулося. Нині продовжувати орієнтацію на методи, невикористовувані навіть у найближчих європейських країнах, щонайменше нелогічно й однозначно це не сприятиме європейській інтеграції України.

Мета досліджень — гармонізувати національні та міжнародні методичні підходи щодо визначення рівня забезпеченості ґрунтів фосфором і калієм.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили на вибірці проб з орного шару 214 ґрунтів, відібраних співробітниками ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського» на території Харківської, Дніпропетровської, Полтавської, Черкаської та Волинської областей у рамках спільних наукових проєктів із голандською дослідницькою групою SoilCares Research B.V. Визначення рухомого фосфору та калію за методами Мачигіна, Чирікова та Olsen проводили у відділі агрохімії імені О.Н. Носка ННЦ «ІГА

імені О.Н. Соколовського» згідно з ДСТУ [20–22]. Хімічний аналіз ґрунту за Mehlich 3 проводили в лабораторії Golden Standard (Нідерланди). Досліджувана вибірка містила також результати вимірювань у ґрунтах польових дослідів, агрохімічних обстежень, літературні та фондові матеріали із загальною кількістю майже 400 проб ґрунтів. Для аналізу й обробки масиву даних використано СУБД Access 98, Microsoft Excel 98, Statistica 10.0.

Результати досліджень. Проведений нами раніше порівняльний аналіз визначення рухомого фосфору за методом Mehlich 3 та стандартизованими в Україні методами Чирікова та Мачигіна виявив досить високу кореляцію результатів [14], тому перерахунок даних можна проводити за такими формулами:

$$P_{M3} = 0,91P_{Mach} - 4,75 \quad r = 0,92; \quad r^2 = 0,85 \quad (1)$$

$$P_{M3} = 0,31P_{Chir} - 7,05 \quad r = 0,87; \quad r^2 = 0,75, \quad (2)$$

де P_{M3} — уміст P за методом Mehlich 3, мг/кг ґрунту; P_{Mach} — уміст P₂O₅ за методом Мачигіна, мг/кг ґрунту; P_{Chir} — уміст P₂O₅ за методом Чирікова, мг/кг ґрунту.

Важливо враховувати, що за національними стандартами результати вимірювань фосфору подають у розрахунок на P₂O₅, а згідно з міжнародними методами — на елементарний фосфор (P). Коефіцієнти детермінації рівнянь (1, 2) дають підставу проводити конвертацію результатів за певних винятків, які насамперед стосуються багатих на органічну речовину лучних, заплавних і цілинних ґрунтів. Вилучення фосфору багатоконпонентним екстрагентом за Mehlich 3 є сукупністю кількох процесів, інтенсивність яких різна й залежить від складу та властивостей ґрунту. Тому не можна очікувати тісної кореляції між лужним методом Мачигіна, кислотним методом Чирікова і кислотно-сольовим комплексонатним методом Mehlich 3. У ґрунті кругообіг сполук, які вилучаються 0,5 М NaHCO₃ за рН 8,5, відбувається за кілька днів або тижнів, а кислотнорозчинних сполук — упродовж років [23]. Близький до отриманого нами рівень детермінації ($r^2=0,67-0,72$) за методом Mehlich 3 показало екстрагування водно-екстрагованих форм фосфору на ґрунтах Угорщини [24]. Крім того, екстракція за

Mehlich 3 вилучає з ґрунту навіть ті органічні форми фосфатів, що недоступні рослинам і зазвичай міцно утримуються ґрунтом, зокрема одним із фітатів є міоїнозитолгексафосфат [25]. Частково засвоєння фітатів із ґрунту може посилюватися за рахунок позаклітинних фосфатаз коренями рослин, однак, цей спосіб поліпшення фосфорного живлення має підпорядковане значення [26, 27]. Тому при вимірюваннях за допомогою ІСР-спектрометрії метод Mehlich 3 характеризує не лише рухомі форми, а й частину найближчого резерву фосфатного живлення [6].

Неодмінною складовою гармонізації методів має бути узгодження різних шкал якісної оцінки забезпеченості ґрунтів елементами живлення, які можуть різнитися через відмінності ґрунтового покриву та вирощуваних культур. Гармонізацію градацій проводили на основі прийнятих в Україні градацій для методів Чирікова і Мачигіна з перерахунком за рівняннями (1, 2) та усередненням отриманих параметрів. Рівень забезпеченості ґрунтів рухомим фосфором за результатами, конвертованими в значення за методом Mehlich 3, рекомендується оцінювати за такими градаціями: низька — до 6 мг Р на 1 кг ґрунту, середня — 6–24 мг/кг, підвищена — 24–42, висока — 42–60, дуже висока — понад 60 мг/кг. Аналогічний спосіб узгодження даних різних методів було застосовано авторами [28] для просторового оцінювання фосфатного стану ґрунтів ЕС у рамках проекту LUCAS.

Досить тісний зв'язок між даними за національними методами та методом Mehlich 3 спостерігався також для калію:

$$K_{M3} = 0,63K_{Mach} + 17 \quad r = 0,92; \quad r^2 = 0,85 \quad (3)$$

$$K_{M3} = 0,80K_{Chir} + 101 \quad r = 0,80; \quad r^2 = 0,63, \quad (4)$$

де K_{M3} — уміст К за методом Mehlich 3, мг/кг ґрунту; K_{Mach} — уміст K_2O за методом Мачигіна, мг/кг ґрунту; K_{Chir} — уміст K_2O за методом Чирікова, мг/кг ґрунту.

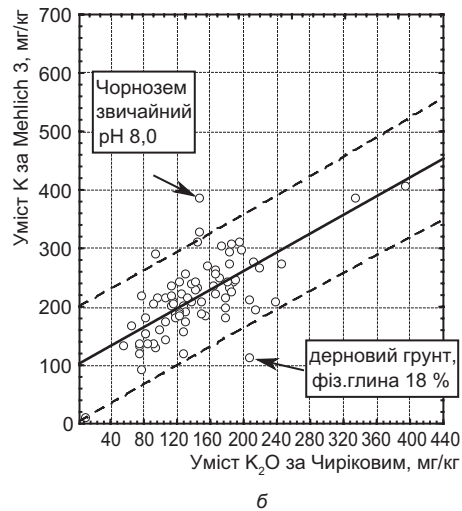
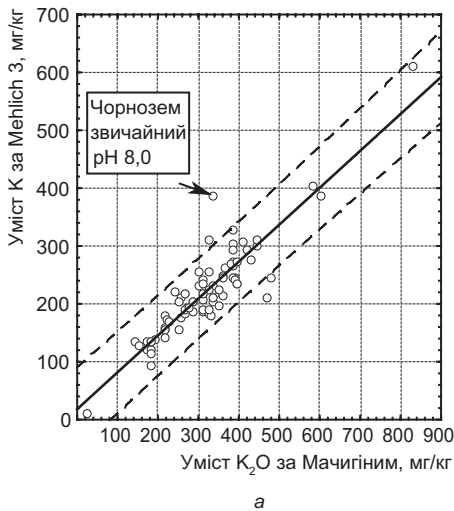
Результати вимірювань рухомого калію за Mehlich 3 подають у розрахунку на елементарний калій (К), а не на K_2O , як це передбачено ДСТУ [20, 21]. Аналогічну роботу було проведено в США для переходу від прийнятого раніше методу вилучення доступного калію ацетатом амонію

до методу Mehlich 3, який дає змогу екстрагувати на 13–20% більше за дуже тісної кореляції в усіх інтервалах концентрацій [8]. Слід зауважити, що перерахунок параметрів умісту рухомого калію з одного методу на інший краще застосовувати для якісної оцінки рівня забезпеченості на цей елемент живлення, ніж для моніторингу показників родючості чи інших спостережень за динамікою трофічного стану ґрунтів.

Згідно з прийнятими в Україні градаціями забезпеченості ґрунтів рухомим калієм більша частина досліджуваної вибірки відповідала підвищеному і високому рівням за методом Мачигіна (71% в інтервалі 200–400 мг/кг) та Чирікова (53% в інтервалі 80–180 мг/кг), але діапазон низьких і дуже низьких значень, характерних для ґрунтів легкого гранулометричного складу, майже не був представлений (рисунк).

Тому розраховані на підставі регресійних рівнянь (3, 4) градації рівнів низької та дуже низької забезпеченості ґрунтів рухомим калієм за Mehlich 3 дуже різняться й потребують додаткової експериментальної перевірки. Натомість градації в інтервалі значень від середнього та дуже високого рівнів забезпечення можуть бути прийнятні для якісної оцінки результатів вимірювань за Mehlich 3 в ґрунтово-кліматичних умовах України (табл. 1). Нормалізовані градації, що рекомендуються, мають однаковий крок між собою — 45 мг/кг. В інтервалі оптимальних і високих значень вони є дуже близькими до градацій, прийнятих на родючих чорноземних ґрунтах (Mollisols) штату Айова в США [29], в інтервалі низьких і дуже низьких значень — до градацій, властивих опідзоленим лісовим ґрунтам (Luvisols) штату Кентукі [9] (табл. 2). Різниця між градаціями, прийнятими в різних штатах, показує, що в жодному разі не можна механічно переносити методи визначення трофічного стану ґрунтів інших країн в Україну та навпаки.

Можна стверджувати, що всі без винятку екстрагенти, які мають кислу реакцію ($pH < 5,0$), майже незалежно від його складу частково вилучають із ґрунту недоступні рослинам апатитоподібні сполуки, що може призвести до хибної оцінки реального фосфатного стану ґрунтів [30]. Крім поширених в Україні методів Кірсанова (0,2 н HCl,



Взаємозв'язок результатів вимірювань умісту рухомого калію в ґрунті за Mehlich 3 та згідно з методами Мачигіна (а) і Чирікова (б)

pH 1,0) і Чирікова (0,5 н CH_3COOH , pH 2,5), такими методами є Brau-Kurtz 2 (pH 1,0), Mehlich 1 (pH 1,2), Arrhenius (pH 2,0), Mehlich 3 (pH 2,5), Mehlich 2 (pH 2,6), Kelowna (pH 2,7), Truog (pH 3,0), Egner-Riehm (pH 3,6), Brau-Kurtz 1 (pH 3,5), Egner-Riehm-Domingo (pH 4,2) тощо.

З урахуванням цього, особливої уваги заслуговує метод визначення рухомого фосфору за Olsen згідно з міжнародним стандартом ISO 11263 [22], який забезпечує екстрагування фосфору адекватно реакції рослин та інших «м'яких» методів, зокрема із застосуванням іонообмінних смол [31]. Метод Olsen можна використовувати

на більшості ґрунтів України: від кислих дерново-підзолистих і буроземних ґрунтів до чорноземів південних і каштанових ґрунтів. Його недоліком, як і іншого методу Мачигіна, є штучне заниження параметрів на ґрунтах із лужною реакцією. Щоб уникнути цього, розроблено математичні моделі коригування даних з урахуванням значень pH_{KCl} або $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ [32].

Для конвертації даних умісту рухомого фосфору з методів Мачигіна та Чирікова у дані доступного фосфору за методом Olsen рекомендуємо користуватися рівняннями:

$$P_{\text{Olsen}} = 0,51P_{\text{Mach}} - 0,3 \quad r = 0,92; \quad r^2 = 0,85 \quad (5)$$

$$P_{\text{Olsen}} = 0,15P_{\text{Chir}} + 0,2 \quad r = 0,78; \quad r^2 = 0,61, \quad (6)$$

1. Оцінні рівні забезпечення ґрунтів України рухомим калієм за Mehlich 3, рекомендовані за результатами досліджень

Рівень забезпечення	Уміст рухомого К за Mehlich 3, мг/кг ґрунту		
	за перерахунком із Мачигіна згідно з (3)	за перерахунком із Чирікова згідно з (4)	нормалізовані градації, рекомендовані для України
Дуже низький	<50	<118	<65
Низький	51–80	118–133	66–110
Середній	81–143	134–165	111–155
Підвищений	144–206	166–197	156–200
Високий	207–270	198–245	201–245
Дуже високий	>270	>245	>245

2. Оцінні рівні забезпечення ґрунтів США рухомим калієм за Mehlich 3, рекомендовані в різних штатах

Рівень забезпечення	Уміст рухомого К за Mehlich 3, мг/кг ґрунту			
	Айова [29]	Кентуккі [9]	Північна Кароліна [9]	Оклахома [9]
Дуже низький	<120	<50	<17	<25
Низький	121–160	51–95	18–44	26–75
Оптимальний/середній	161–200	96–150	45–87	76–125
Високий	201–240	151–175	88–175	126–175
Дуже високий	>240	>175	>175	>175

де P_{Olsen} — уміст P за методом Olsen, мг/кг ґрунту; P_{Mach} — уміст P_2O_5 за методом Мачігіна, мг/кг ґрунту; P_{Chir} — уміст P_2O_5 за методом Чирікова, мг/кг ґрунту.

Враховуючи подібність хімічних процесів екстрагування за Olsen і Мачігіним, останній забезпечуватиме найбільшу точність перерахунку. До подібних висновків дійшли автори [33], які встановили відсутність достатньої кореляції даних за Olsen з іншими методами через відмінності в хімічному складі, кислотності та силі вилучення фосфору.

Крім високих вимог у ДСТУ [22] до точності проведення вимірювань, оцінні градації забезпеченості ґрунтів у різних країнах істотно різняться між собою, оскільки так званий «критичний рівень» умісту рухомого фосфору, за якого досягається 90–95% потенційної врожайності культур, значно залежить від ґрунтово-кліматичних умов. Як зазначали автори [34], на карбонатних, нейтральних і кислих ґрунтах 3-х провінцій Китаю нижня межа оптимального вмісту P

за Olsen становила 10–29 мг/кг, верхня — 40 мг/кг [34]. Авторами [35] встановлено критичні рівні вмісту фосфору за Olsen для пшениці — 11,1–16,1 мг/кг (середнє 13,1 мг/кг) і кукурудзи — 14,6–28,2 мг/кг (середнє 21,4 мг/кг) [35]. Подібний критичний рівень P відзначають також автори [36] — 23–25 мг/кг і [37] — 28 мг/кг, а на легких і важких суглинках Великої Британії для ячменю ярого, пшениці озимої, буряків цукрових і картоплі ці значення становлять 8–36 мг/кг залежно від рівня азотного живлення та погодних умов вегетації [38]. Істотну залежність критичних значень P для оптимального врожаю райграсу на основі тесту Olsen від властивостей ґрунту, зокрема pH, оксидів Mn, Fe, Al, підтверджують автори [39].

Установлені експериментально критичні рівні є орієнтиром для відокремлення інтервалу високих і дуже високих рівнів забезпечення ґрунту рухомим фосфором, оскільки будь-який хімічний метод адекватно

3. Групування забезпеченості ґрунтів за вмістом рухомого фосфору, визначеного за методом Olsen

Ступінь забезпеченості фосфором	Уміст рухомого фосфору (P) за Olsen, мг/кг				
	Нормалізовані градації, рекомендовані для України	Велика Британія [41]	Австралія (штат Вікторія) [42]	США (штат Айова) [29]	
				пшениця, люцерна	інші культури
Низький	<8	0–9	< 9	<9	<5
Середній	8–15	10–15	9–14	10–13	6–9
Підвищений	16–22	16–25	14–20	14–16	10–13
Високий	23–30	26–45	20–27	17–19	14–18
Дуже високий	>30	>45	>27	>20	>19

відображує стан фосфатного живлення лише за тих ґрунтово-кліматичних умов, за яких він був розроблений. Зокрема, для умов України було доведено критичний рівень рухомого P_2O_5 для методу Чирікова зі значеннями в інтервалі 150–200 мг/кг [40]. На підставі експериментальних досліджень і порівняння шкал оцінювання за іншими хімічними методами, прийнятими в Україні, нами запропоновано вдосконалене групування забезпеченості ґрунтів фосфором за методом Olsen (табл. 3).

Рекомендовані градації мають крок 6–8 мг/кг і дещо відрізняються від рекомендованих у Великій Британії та США, насамперед в інтервалі високих значень. Урахування досвіду інших країн щодо оцінки фосфатного стану ґрунтів за методом Olsen буде потрібно для подальшого вивчення питання диференціації рівнів забезпеченості ґрунтів рухомим фосфором, зокрема для потреб різних культур [29, 35, 38], видів землекористування [41] та запобігання забрудненню природних вод [7, 11].

Висновки

Гармонізація національних і міжнародних методів вимірювань рухомого (доступного) фосфору та рухомого (обмінного) калію в ґрунтах сприятиме взаємозамінності та полегшенню інтерпретації ґрунтово-аналітичної інформації, отриманої в Україні та інших країнах світу. Результати вимірювань умісту рухомого фосфору та калію за методом Мачигіна (ДСТУ 4114) можуть бути конвертовані в результати за методом Mehlich 3 або методом Olsen (лише

для P) із коефіцієнтом детермінації 0,85. Метод визначення фосфору та калію за Чиріковим (ДСТУ 4115) показав гіршу сумісність результатів з методами Mehlich 3 та Olsen ($r^2=0,61-0,75$). Для якісної оцінки результатів вимірювань РК за Mehlich 3 та P за Olsen у ґрунтово-кліматичних умовах України розроблено нормалізовані градації рівнів забезпеченості ґрунту, які відповідають шкалам стандартизованих національних методів.

Miroshnichenko M.¹, Khrystenko A.², Revtie-Uvarova A.³, Lisovy M.⁴

National Scientific Center «O.N. Sokolovsky Institute for Soil Science and Agrochemistry Research», 4 Chaikivska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: ¹ecosoil@meta.ua, ²khrystenko53@gmail.com, ³alina_rev@meta.ua; ORCID: ¹0000-0003-2830-5933, ²0000-0003-4389-9274, ³0000-0002-6838-5440

Harmonization of the determination of phosphorus and potassium in soil according to national and international methods

Goal. To harmonize national and international methodical approaches to determining the level of phosphorus and potassium in soils. **Methods.** Statistical-mathematical analysis of agrochemical research data, parallel tests in various laboratories, and literary and stock data on soil nutrient availability. **Results.** Regression equations were developed to convert the results of determining the content of mobile phosphorus and potassium in the soil according to the standardized methods of Chyrikov and Machyghin into predicted data according to the Mehlich 3 (for RK) and Olsen (for P) methods. It was established that such conversion has certain

exceptions, so it is better to use it only for a qualitative assessment of the level of soil supply with these nutrients. The following levels of phosphorus (P) and potassium (K) content according to Mehlich 3 are proposed for a qualitative assessment of soil in Ukraine: low — less than 6 mg/kg and 110, medium — 6–24 and 111–155, high — 25–42 and 156–200 mg/kg, very high — over 60 and 245 mg/kg, respectively. According to Olsen, it is recommended to evaluate the availability of mobile phosphorus in the soil according to the following levels: low — less than 8 mg/kg, medium — 8–15, high — 16–22, very high — 23–30, very high — over 30 mg/kg. **Conclusions.** The results of measurements of the content of mobile phosphorus and potassium according to the Machyghin (DSTU 4114) and Chyrikov (DSTU 4115) methods can be converted into results according to the Mehlich 3 or Olsen methods (only for P) for a qualitative assessment of the level of soil supply with these nutrients. Recalculation of the results from the Machyghin method gives a better result than from the Chyrikov method.

Key words: data conversion, phosphate and potassium states, national and international methods. DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202207-01>

Бібліографія

1. 2014/295/EU: Council Decision of 17 March 2014 on the signing, on behalf of the European Union, and provisional application of the Association Agreement between the European Union and the European Atomic Energy Community and their Member States, of the one part, and Ukraine, of the other part, as regards the Preamble, Article 1, and Titles I, II and VII thereof. Official J. of European Union. 29 May 2014. V. 59. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2014:161:TOC>
2. 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
3. Wuenschel 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
4. Fotyra M., Ochal P., Łabętowicz J. Potassium in Soils of Glacial Origin. *Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment* Ed. Maria C. Hernandez Soriano. IntechOpen, 2013. P. 207–228. doi: 10/5772/52005
5. Orgiazzi A., Ballabio C., Pangos P. et al. LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. *European Journal of Soil Science*. 2018. 69. P. 140–153. doi: 10/1111/ejss.12499
6. Mattila T.J., Rajala J. Do different agronomic soil tests identify similar nutrient deficiencies? *Soil Use Manage*. 2022. 38. P. 635–648. doi: 10/1111/sum.12738
7. Guerin J., Parent L., Abdelhafid R. Agri-environmental Thresholds 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
8. Culman S.W., Mann M., Sharma S. et al. Calibration of Mehlich-3 and Ammonium Acetate in the Tri-State Region of Ohio, Indiana and Michigan. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 2000. 51(1). P. 86–97. doi: 10/1080/00103624.2019.1695825
9. Zhang H., Antonangelo J., Grove J. et al. Variation in soil-test-based phosphorus and potassium rate recommendation across the southern USA. *Soil Science of America J*. 2021. P. 1–14. doi: 10.1002/saj2.20280
10. Zbiral J., Nemeč P. Integrating of Mehlich 3 extractant into the Czech soil testing scheme. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 2000. V. 31. Is. 11. P. 2171–2182.
11. Szara E., Sosulski T., Szymanska M., Szyzkowska K. Usefulness of Mehlich-3 test in the monitoring of phosphorus dispersion from Polish arable soils. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018. 190: 298. doi: 10/1007/s10661-018-6685-4
12. Cadet A., Scheiner J.D., Favarel J.-L., Garcia M. Validation of the Mehlich-3 method to determine the amount of phosphorus availability and exchangeable bases in diverse viticultural soils of south west France. *2nd International Symposium on Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Continuum*. Castanet Tolosan – France, Sept. 2003. doi: 10.13140/RG.2.2.34691.30244
13. Loide V., Nõges M., Rebane J. Assessment of the agrochemical properties of the soil using the extraction solution Mehlich 3 in Estonia. *Agronomy Research*. 2005. 3(1). P. 73–80.
14. Христенко А.О., Петер ван Ерп, Мірошниченко І.М. Використання методу Mehlich 3 для оцінки фосфатного стану ґрунтів України. *Вісник центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2017. Вип. 22. С. 278–287.
15. Яценко 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.
16. Стахів М.П. Фосфорне живлення рослин та методичні аспекти визначення рухомих сполук фосфору в ґрунті. *Ґрунтознавство*. 2010. Т. 11. № 3–4. С. 88–95.
17. Penn C.J., Camberato J.J. A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants. *Agriculture*. 2019. 9. 120. doi: 10.3390/agriculture9060120
18. 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. Breure M.S., Eynde E.V., Kempen B. et al. Transfer functions for phosphorus and potassium soil tests and implications for the QUEFTS model. *Geoderma*. 2022. 406. 115458. doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115458
20. ДСТУ 4114:2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна: Київ: Держспоживстандарт України, 2002. 9 с.
21. ДСТУ 4115:2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирікова: Київ: Держспоживстандарт України, 2002. 10 с.
22. ДСТУ ISO 11263-2001. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук фосфору.

Спектрометричний метод визначення фосфору в розчині гідрокарбонату натрію: Київ: Держспоживстандарт України, 2002. 15 с.

23. Hou E., Tan X., Heenan M., Wen D. A global dataset of plant available and unavailable phosphorus in natural soils derived by Hedley method. *Scientific Data*. 2018. 5:180166. doi: 10.1038/sdata.2018.166

24. Vona V., Centeri C., Biro Z. et al. Comparing Different Phosphorus Extraction Methods: Effects of Influencing Parameters. *Sustainability*. 2022. 14. 2158. doi: 10/3390/su14042158

25. Cade-Menun B.J., Elkin K.R., Bryant R.B. et al. Characterizing the phosphorus forms extracted from soil by the Mehlich III soil test. *Geochemical Transactions*. 2018. 19:7. doi: 10.1186/s12932-018-0052-9

26. Bovill W.D., Huang C.Y., McDonald G.K. Genetic approaches to enhancing phosphorus-use efficiency (PUE) in crops: challenges and directions. *Crop and Pasture Science*. 2013. № 64. P. 179–198. doi: 10.1071/CP13135

27. Грабчук С.М., Михальська Л.М., Швартау В.В. Шляхи підвищення ефективності фосфорного живлення рослин. *Физиология растений и генетика*. 2017. Т. 49. № 6. С. 482–494.

28. Toth G., Guicharnaud R.-A., Toth B., Hermann T. Phosphorus levels in croplands of the European Union with implications for P fertilizer use. *European J. of Agronomy*. 2014. V. 55. P. 42–52. doi: 10/1016/j.eja.2013.12.008

29. Mallarino A.P., Sawyer J.E., Barnhart S.K. A General Guide for Crop Nutrient and Limestone Recommendations in Iowa. Iowa State University Extension and Outreach, 2013. PM 1668. 16 p. <https://store.extension.iastate.edu/product/A-General-Guide-for-Crop-Nutrient-and-Limestone-Recommendations-in-Iowa>

30. Христенко А.А. Теоретические и практические аспекты оценки состояния и динамики азотных, фосфатных и калийных систем почв. Харьков: ФЛП Бровин А.В., 2019. 180 с.

31. Khristenko A.A., Ivanova S.E. Diagnosis accuracy improvement of the phosphate status of Ukrainian soils. *Better crops*. 2012. V. 96. № 2. P. 5–7.

32. Пат. № 41725 Україна, МПК (2009) G01N 33/24 Спосіб корегування точності оцінки фосфатного стану ґрунтів за методом Олсена (на основі гідрокарбонату натрію). Христенко А.О.;

заявник і власник ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», заявл. 10.11.2008; опубл. 10.06.2009. Бюл. № 11. 6 с.

33. Shwiekh R., Schick J., Kratz S. et al. Comparative investigation and inter-calibration of different soil P test. *J. of Cultivated Plants*. 2015. 67 (2). P. 61–72. doi: 10.5073/jfk.2015.02.02

34. Wu Q., Zhang S., Feng G. et al. Determining the optimum range of soil Olsen P for high P efficiency, crop yield, and soil fertility in three typical cropland soils. *Pedosphere*. 2020. V. 30. № 6. P. 832–843. doi: 10.1016/S1002-0160(20)60040-6

35. Bai Z., Li H., Yang X. et al. The critical soil P levels for crop yield, soil fertility and environmental safety in different soil types. *Plant and Soil*. 2013. V. 37. P. 27–37. doi: 10.1007/s1104-013-1696-y

36. Ros M.B.H., Koopmans G.F., van Groenigen K.J. et al. Towards optimal use of phosphorus fertilizer. *Scientific Reports*. 2020. 10: 17804. doi: 10/1038/s41598-020-74736-z

37. Ibrahim K., Wang Q., Wang L. et al. Determine the Optimal level of Soil Olsen Phosphorus and Phosphorus Fertilizer Application for High Phosphorus-Use Efficiency in Zea mays L. in Black Soil. *Sustainability*. 2021. 13. 5983. doi: 10.3390/su13115983

38. Johnston A.E., Poulton P.R., White R.P. Plant-available soil phosphorus. Part II: the response of arable crops to Olsen P on a sandy clay loam and a silty clay loam. *Soil Use and Management*. 2013. V. 29. Is. 1. P. 12–21. doi: 10.1111/j.1475-2743.2012.00449.x

39. Tandy S., Hawkins J.M.B., Dunham S.J. et al. Investigation of the soil properties that affect Olsen P critical values in different soil types and impact on P fertiliser recommendations. *European J. of Soil Science*. 2021. V. 72. Is. 4. P. 1802–1816. doi: 10.1111/ejss.13082

40. Носко Б.С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив. Київ: Урожай, 1990. 224 с.

41. *Fertiliser Manual (RB209)* / 8th ed. Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA), 2010. <https://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/rb209-fertiliser-manual-110412.pdf>

42. *Dairy Soils and Fertiliser Manual: Australian Nutrient Management Guidelines Adapted by Dairy Australia*, Level 5, IBM Centre, 60 City Road, Southbank, Victoria 2013, 335 p.