

Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.811.2
© 2012

*Б.С. Носко,
академік НААН*

Є.Ю. Гладкіч

*ННЦ «Інститут
грунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського»*

ДО ПРОБЛЕМИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ТРИВАЛОСТІ ПІСЛЯДІЇ ФОСФОРНИХ ДОБРИВ У ЧОРНОЗЕМАХ

Установлено параметри змін фосфатного рівня чорнозему типового під впливом застосування фосфорних добрив у запас. Побудовано рівняння регресії, за допомогою якого можна прогнозувати тривалість післядії фосфорних добрив. Виявлено головні фактори зниження вмісту рухомого фосфору в орному шарі ґрунту та частку кожного з них у загальному обсязі втрат фосфатів, доступних для рослин.

Тривале систематичне запасне внесення мінеральних добрив за створення агрохімічних фонів сприяє накопиченню залишкових фосфатів у ґрунті, змінюючи природний зрівноважений стан фосфатного фонду ґрунтів та забезпечуючи післядію добрив. У вітчизняній та зарубіжній літературі є чимало відомостей щодо тривалої післядії фосфорних добрив. Так, у дослідях на чорноземах легкого гранулометричного складу встановлено 30-річну післядію фосфорних добрив [1, 9], на чорноземах типових дослідники засвідчили понад 50-річну їхню післядію [2, 3]. У дослідях відомої Ротамстедської дослідної станції (Великобританія) залишкові кількості фосфору добрив, внесені в 1852–1901 рр., у 70-ті роки минулого століття забезпечили вдвічі більший урожай ячменю порівняно з ділянками, де фосфорні добрива ніколи не вносили [10]. В.І. Нікітишен у своїх дослідженнях, здійснених на різних типах ґрунтів, виявив, що за умов застосування високих доз фосфорних добрив у сівозмінах значна частина невикористаного рослинами фосфору накопичується в кореневмісному шарі ґрунту у вигляді засвоєваних сполук, забезпечуючи тривалу його післядію [4, 5]. Тому важливо, як довго триватиме післядія фосфорних добрив.

Мета роботи — встановити параметри змін фосфатного рівня чорнозему типового впродовж 6-ти ротаций, отримати рівняння регресії і прогноз тривалості післядії фосфорних добрив та виявити головні фактори, які зменшують вміст рухомих фосфатів у чорноземі типовому.

Методика досліджень. Дослідження здійснювали в довгостроковому стаціонарному досліді, закладеному у 1969 р. на чорноземі типовому важкосуглинковому Коротичанського дослідного

поля ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Перед закладанням досліді ґрунт мав такі фізико-хімічні та агрохімічні показники: $pH_{\text{сол}}$ в орному шарі — 5,2, насиченість основами — 89%, вміст загального гумусу — 5,2, загального азоту — 0,22, валового фосфору — 0,12, калію — 2,05%. До відбору проб ґрунту завершено 6 ротаций 6-пільної зерно-бурякової сівозміни. З метою вивчення тривалості післядії фосфорних добрив ґрунтові зразки було відібрано в 2008 р. у варіантах: 1 — абсолютний контроль; 2 — гній (140 т/га) + P_{1800} (у запас) — післядія триває з 1983 р. У зразках визначено вміст валового фосфору, його рухомих форм та фракційний склад мінеральних фосфатів відповідно до методик Гінзбург-Лебедевої, Чирікова, Чанга-Джексона. Для аналізу матеріалів, отриманих упродовж досліджень, розрахунку сумарної кількості внесених у досліді добрив та виносу поживних речовин культурами сівозміни використано фондові матеріали стаціонарного досліді лабораторії агрохімії ННЦ ІГА. Математичну та статистичну обробку аналітичних досліджень ґрунтів здійснено за допомогою пакета програм «Excel» і «Statistica».

Результати досліджень. За результатами досліджень встановлено вплив 25-річної післядії фосфорних добрив, унесених в запас дозою 1800 кг/га, на зміну вмісту всіх форм фосфору в чорноземі типовому (табл. 1). Вміст рухомого фосфору (за Чиріковим) у варіанті з унесенням фосфорних добрив у запас у 2,5 раза перевищує відповідний показник контрольного варіанта, що відповідає високому рівню забезпеченості чорноземів типових фосфором. У цьому варіанті виявлено накопичення залишкових фосфатів ґрунту,

1. Уміст різних форм фосфору в орному шарі чорнозему типового за умов застосування фосфорних добрив у запас

| Варіант досліджу | Уміст різних форм фосфору, мг/100 г ґрунту | | | | | | |
|------------------------|--------------------------------------------|------------|---------|------------------------------|------|------|------|
| | Валовий | Рухомий за | | Фракції мінеральних фосфатів | | | |
| | | Чиріковим | Олсеном | неміцнозв'язані | Al-P | Fe-P | Ca-P |
| Абсолютний контроль | 112,0 | 4,7 | 1,3 | 0,19 | 5,6 | 6,0 | 11,9 |
| Гній+P ₁₈₀₀ | 148,2 | 11,7 | 4,8 | 0,26 | 15,2 | 12,2 | 19,4 |

що становить 280 кг/га в шарі 1 м відносно абсолютного контролю. Отже, тривалість збереження такого рівня забезпечення ґрунтів рухомими формами фосфору має надзвичайно велике практичне значення.

Вивчення закономірностей 25-річної взаємодії фосфору добрив з ґрунтом дало змогу встановити параметри змін фосфатного рівня чорнозему типового важкосуглинкового після припинення їх унесення. Дослідження показали поступове зниження вмісту рухомого фосфору (за Чиріковим) в орному шарі ґрунту після створення високого агрохімічного фону (рис. 1). Найінтенсивніше це відбувалося в перші роки після припинення внесення добрив.

Отримане рівняння регресії показників кількісних змін фосфатного режиму чорнозему типового (рис. 1) дає можливість прогнозувати спрямованість зміни рівня фосфатного забезпечення ґрунту після припинення застосування фосфорних добрив. Зниження фосфатного рівня ґрунту з 15,2 мг/100 г ґрунту до квазірівноваженого стану (уміст рухомих фосфатів, що відповідає природному рівню) очікується не раніше ніж через 50 років.

Для підтвердження достовірності цієї моделі розраховано вміст рухомого фосфору через 25 років після внесення добрив за отриманою формулою. Згідно з моделлю він мав становити 10,6 мг/100 г ґрунту, фактичне значення вмісту рухомого фосфору — 11,7–10,8 мг/100 г ґрунту, що істотно не відрізняється від розрахункових даних.

Слід зазначити, що впродовж шести ротацій 6-пільної сівозміни зміни фосфатного режиму, зокрема динаміка вмісту рухомих форм фосфору, на агрохімічному фоні гній+P₁₈₀₀ (у запас) відбувалися на фоні позитивного балансу фосфору в ґрунті (880 кг/га). Дослідження динаміки вмісту валового фосфору в орному шарі ґрунту за цей період не виявили істотних змін цього показника за ротаціями сівозміни. Тому важливим питанням залишається визначення факторів поступового зниження вмісту рухомих форм фосфору в чорноземі типовому та частки кожного з них у загальному обсязі втрат рухомих фосфатів. На нашу думку, головними факторами слід вважати внос P₂O₅ культурами сівозміни; трансформацію рухомих форм фосфору у важкорозчинні, недоступні для рослин форми; міграцію

рухомих доступних форм фосфору в глибокі шари ґрунту.

Дослідженнями встановлено, що за шість ротацій 6-пільної сівозміни сумарний внос P₂O₅ культурами сівозміни з орного шару ґрунту становив 1200 кг/га (у перерахунку на мг/100 г ґрунту — 14,2 мг) (рис. 2). Коефіцієнт кореляції між динаміками сумарного вносу фосфору культурами сівозміни впродовж 6-ти ротацій та зміни вмісту рухомих форм фосфору в орному шарі ґрунту показав тісну зворотну кореляційну залежність (R=-0,97).

Розрахунковим методом визначено частку рухомих фосфатів ґрунту в загальному обсязі втрат, вилучену з орного шару ґрунту вносом з культурами сівозміни, за 6 ротацій 6-пільної сівозміни, яка становила 81%. Проте цей показник підлягає коригуванню, оскільки при цьому не було враховано частки фосфатів, що повертається в загальний біологічний кругообіг речовин з корневими рештками та післязливними залишками культур сівозміни.

Безперервне надходження в ґрунт рослинних залишків та їхня мікробіологічна трансформація є необхідними умовами гумусонакопичення і, головним чином, накопичення рухомої органічної речовини, яка містить близько 1,5% P₂O₅. Застосування фосфорних добрив підвищує продуктивність культур сівозміни, відповідно ґрунт удобрених ділянок збагачується рослинними рештками, що містять фосфору більше, ніж на контролі. Тому в орному шарі зростає кількість неспецифічних сполук органічних фосфатів (табл. 2) [6].

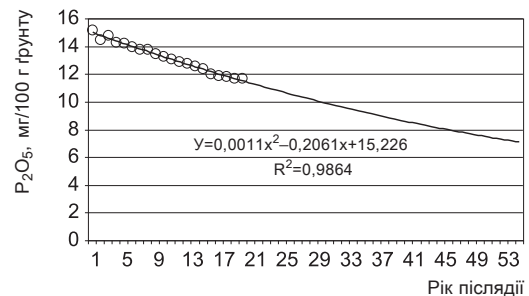


Рис. 1. Модель динаміки змін вмісту рухомих форм фосфору в орному шарі ґрунту після припинення застосування фосфорних добрив

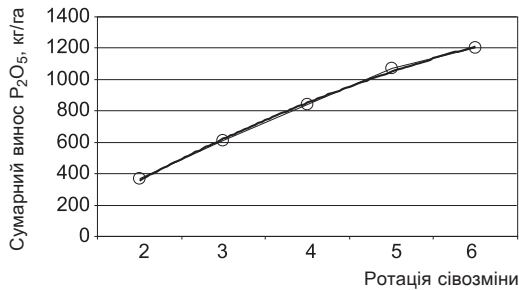


Рис. 2. Динаміка зміни сумарного виносу фосфору культурами сівозміни з шару 0–30 см за 6 ротацій, кг/га

Загальну кількість сполук фосфатів, що повертаються в ґрунт з органічними рештками, переважно визначають за типом сівозміни. В умовах досліджу було розраховано, що з непродуктивною частиною культур зерно-буракової сівозміни в ґрунт повертається близько 18% P₂O₅ від загального виносу фосфору. Унаслідок відчуження продуктивної частини рослин сівозміни з біологічного кругообігу речовин втрачається 73% рухомих фосфатів від загального їхнього вмісту в шарі ґрунту 0–30 см. Частка виносу доступних фосфатів культурами сівозміни є найбільшою в загальному обсязі втрат рухомих фосфатів ґрунту.

Однією з найважливіших особливостей фосфору добрив є його здатність швидко поглинатися ґрунтом та утворювати слабкорозчинні й кристалізовані сполуки за рахунок хімічного зв'язування та різних напрямів фізико-хімічної адсорбції. Тому трансформація рухомих форм фосфору у важкорозчинні, недоступні для рослин форми відіграє не менш значущу роль у динаміці вмісту рухомих фосфатів у чорноземі типовому.

Упродовж тривалого періоду післядії добрив (25 років) з урахуванням здатності чорноземних ґрунтів до трансформації фосфору добрив у важкодоступні для рослин форми спостерігається істотне зниження вмісту фракції неміцнозв'язаних фосфатів, починаючи з 4-ї ротації сівозміни, та поступове зниження вмісту фракції Al-P та Fe-P (рис. 3). Натомість у 5- та 6-й ротаціях дещо збільшується вміст фракції Ca-P (на 2,7 мг/100 г ґрунту порівняно з вмістом фракції Ca-P одразу після припинення внесення добрив), що зумовлюється поступовим підвищенням активності іону кальцію та підвищенням його здатності до зв'язування фосфору.

2. Вплив добрив на органічні фосфати чорноземів (орний шар) [6]

| Чорнозем | Збільшення вмісту P ₂ O ₅ (мг) на фоні P ₁₂₀₀ | | C _{орг.} /P _{орг.} | | Уміст P ₂ O ₅ у гумусі, % | |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------|-------------------|
| | на 100 г ґрунту | на 100 кг P ₂ O ₅ з добрив | Контроль | P ₁₂₀₀ | Контроль | P ₁₂₀₀ |
| Опідзолений | 4,4 | 0,36 | 76 | 76 | 1,75 | 1,74 |
| Типовий | 5,3 | 0,44 | 97 | 87 | 1,39 | 1,50 |
| Звичайний | 10,4 | 0,87 | 109 | 90 | 1,21 | 1,44 |

У чорноземах основна частина фракції фосфатів кальцію представлена (на 70% від суми Ca-P) високоосновними важкорозчинними сполуками фракції Ca-P_{III}. Отже, різниця між початковим умістом у ґрунті фракції кальційфосфатів та їхнім умістом у 6-й ротації дає можливість оцінити ступінь трансформації рухомих фосфатів чорнозему типового у важкорозчинні сполуки фосфору впродовж 6-ти ротацій сівозміни. Установлено, що за рахунок саме цього втрата рухомих фосфатів ґрунту в загальному його обсязі становить 15%.

Переважаюча кількість залишкових фосфатів добрив сконцентрована після їхньої трансформації, головним чином, в орному шарі (0–30 см) ґрунту. Однак тривалий час після внесення добрив у запас за накопичення в ґрунті істотної кількості залишкових фосфатів їх значна частина (на нашу думку, переважно у вигляді орнанофосфатів) переміщується по профілю ґрунту. Дослідженнями доведена можливість міграції рухомих форм фосфору в чорноземі типовому до глибини 60 см. Близько 12% рухомих фосфатів перемістилося по профілю ґрунту (упродовж 6-ти ротацій).

Установлено тісну зворотну кореляційну залежність (R=-0,98) між загальною динамікою міграції рухомих фосфатів по профілю ґрунту до глибини 60 см та динамікою зміни вмісту рухомих форм фосфору за 6 ротацій сівозміни. Це підтверджує значний вплив цього фактора на поступове зниження вмісту рухомих фосфатів в орному шарі чорнозему типового впродовж шести ротацій 6-пільної сівозміни.

За результатами досліджень динаміки фосфатного фонду чорнозему типового протягом шести ротацій 6-пільної сівозміни визначено частку кожного з факторів у зниженні вмісту рухомих фосфатів в орному шарі ґрунту (рис. 4).

Отже, 73% загального обсягу рухомих фосфатів ґрунту втрачається з виносом фосфору продуктивною частиною культур сівозміни, що незворотно вилучається із загального біологічного кругообігу речовин. Слід ураховувати, що переважну частку фосфору (~70%) рослини засвоюють з орного шару (0–30 см) ґрунту. Закріплення фосфору у важкорозчинних формах становить близько 15% загального обсягу втрат рухомих фосфатів (упродовж 25 років післядії фосфорних добрив). Найменша частка (12%) — переміщення рухомих фосфатів з орного шару ґрунту до глибини 60 см.

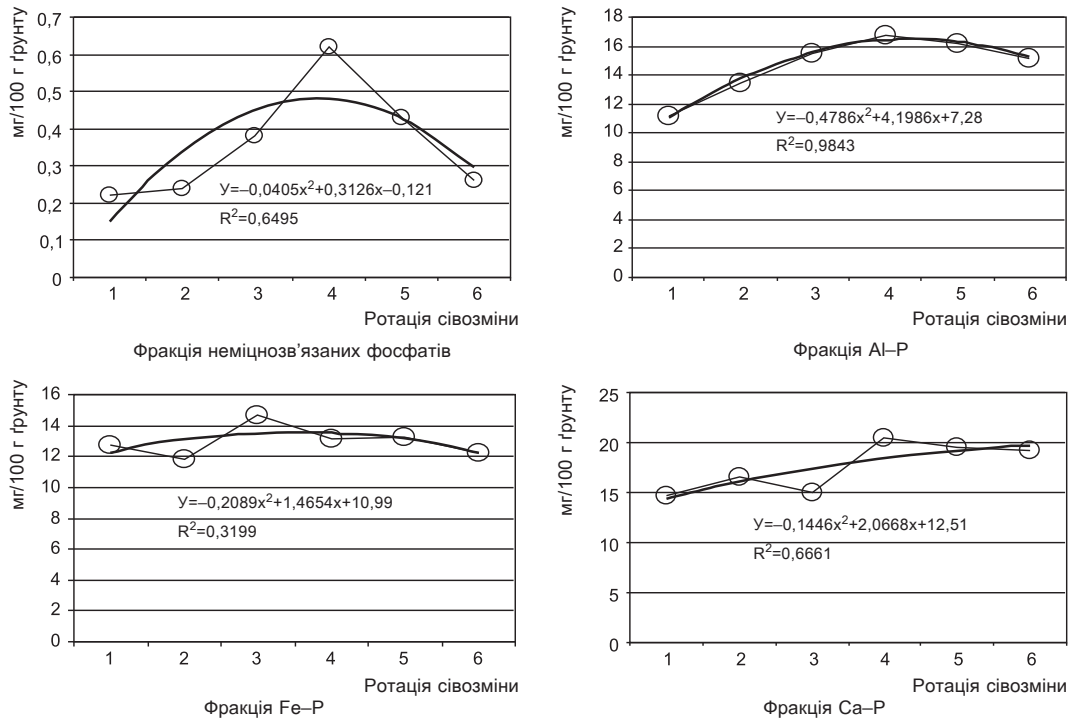


Рис. 3. Динаміка змін фракцій мінеральних фосфатів в орному шарі чорнозему типового впродовж 6-ти ротацій сівозміни

Фосфор ґрунтового розчину перебуває в стані рівноваги з ґрунтовими сполуками твердої фази, і якщо якась кількість фосфатів втрачається з ґрунтового розчину, певна частина такої втрати поповнюється за рахунок фосфатів твердої фази. У результаті цих реакцій у ґрунтах підтримується фосфатний потенціал на відносно постійному рівні за збільшення або зменшення загального запасу рухомих фосфатів. Потенційна буферна здатність відносно фосфатів — це властивість ґрунту протистояти зміні фосфатного потенціалу. Її визначають співвідношенням Q/I, де Q — загальний запас рухомих фосфатів ґрунту (уміст P_2O_5 у витяжці 0,5 н CH_3COOH); I — зрівноважений фосфатний потенціал ґрунтів (уміст P_2O_5 у витяжці 0,03н K_2SO_4) [8]. Співвідношення Q/I показує, яка кількість рухомих фосфатів може перейти із загального запасу в ґрунтовий розчин. Високі дози фосфору, внесені під час створення агрохімічного фону (гній+ P_{1800}) чорнозему типового, сприяли стійким змінам фосфатного потенціалу ґрунту та його потенційній буферній здатності, зумовленим накопиченням у ґрунті залишкових фосфатів (табл. 3).

У контрольному варіанті в орному шарі чорнозему типового впродовж 6-ти ротацій сівозміни вміст рухомого фосфору коливався в межах 4,7–6,7 мг/100 г ґрунту, ступінь рухомості фосфатів — 0,04–0,07 мг/л, тобто істотних змін цих

показників за 39-річний період сільськогосподарського використання ґрунту не спостерігалось попри від'ємний баланс фосфору (-734 кг/га). Це свідчить про високу буферну властивість чорнозему та його здатність підтримувати рівновагу фосфатного фонду за рахунок його постійних перетворень. Динаміка розчинних фосфатів у часі значно вирізняється у варіанті із запасним унесенням фосфорних добрив. На фоні із залишковими фосфатами (фон+ P_{1800}) зменшення їхнього вмісту в часі відбувається інтенсивніше, ніж на природному фоні. Проте залишкові фосфати характеризуються властивостями, які відрізняють

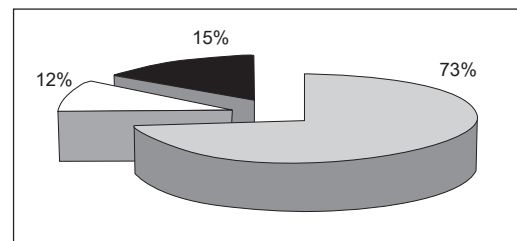


Рис. 4. Частина кожного з факторів у зниженні вмісту рухомих фосфатів в орному шарі ґрунту: ■ — винос культурами сівозміни; ■ — трансформація у недоступні для рослин форми; □ — міграція до глибини 60 см

3. Вплив добрив на вміст розчинних фосфатів орного шару чорнозему типового та його потенційну буферну здатність відносно фосфатів [7, 8]

| Ротація сівозміни | Агрохімічний фон | | | | | |
|-------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|-----|------------------------------------------------|-------------------------------------|-----|
| | Природний (без добрив) | | | Фон+P ₁₈₀₀ | | |
| | мг P ₂ O ₅ /100 г ґрунту | мг P ₂ O ₅ /л | Q/l | мг P ₂ O ₅ /100 г ґрунту | мг P ₂ O ₅ /л | Q/l |
| I | 5,3 | 0,05 | 106 | 15,2 | 0,24 | 63 |
| II | 4,9 | 0,04 | 122 | 14,8 | — | — |
| III | 5,2 | 0,06 | 86 | 14,6 | 0,26 | 56 |
| IV | 4,9 | 0,05 | 98 | 14,5 | 0,22 | 65 |
| V | 6,7 | 0,07 | 95 | 13,8 | 0,24 | 57 |
| VI | 4,7 | 0,04 | 117 | 11,7 | 0,30 | 39 |

їх від природних тим, що мають здатність значно швидше відновлювати і зберігати рівновагу за більш високих рівнів концентрації фосфатів у ґрунтовому розчині.

Отже, попри засвоєння фосфору рослинами і винос його з урожаєм та процеси трансформації у важкорозчинні сполуки, залишкові фосфати на

25-й рік після внесення добрив зберігають свою мобільність і можуть бути джерелом фосфатного живлення. Динаміка вмісту рухомого фосфору та ступеня рухомості фосфатів свідчить про значну стійкість фосфатного фонду, створеного за запасного внесення фосфору (фон+P₁₈₀₀), що забезпечує тривалу післядію добрив.

Висновки

Дослідженнями встановлено 25-річну післядію фосфорних добрив, унесених у запас (у дозі 1800 кг/га), що позначилося на підвищенні вмісту рухомих форм фосфору в 1,4–2,7 рази порівняно з контрольним варіантом та накопиченні залишкових фосфатів добрив (280 кг/га порівняно з абсолютним контролем) у метровому шарі чорнозему типового. За внесення фосфорних добрив у запас (гній+P₁₈₀₀) упродовж 6-ти ротацій 6-пільної сівозміни відбувається поступове зниження вмісту рухо-

мих форм фосфору в орному шарі ґрунту. Ці процеси зумовлюються виносом фосфору продуктивною частиною культур сівозміни, з якою вилучається із загального обсягу 73% рухомих фосфатів; трансформацією рухомих форм фосфору добрив у важкорозчинні форми (переважно трикальційфосфати) — близько 15% від загального обсягу втрат рухомих фосфатів; міграцією за межі орного шару до глибини 60 см, яка становить майже 12% від втрати рухомих фосфатів в орному шарі.

Бібліографія

1. Алексеева Е.Н. Миграция фосфора по профилю почвы при длительном применении удобрений/Е.Н. Алексеева//Агрохимия. — 1968. — № 8. — С. 78–82.
2. Гуревич С.М. Влияние длительного применения минеральных удобрений на агрохимические свойства и плодородие мощного чернозема/С.М. Гуревич, В.И. Скороход//Агрохимия. — 1975. — № 9. — С. 77–82.
3. Кудзин Ю.К. Влияние 55-летнего систематического применения удобрений на запасы и формы минеральных фосфатов в черноземной почве/Ю.К. Кудзин, В.А. Губенко//Агрохимия. — 1968. — № 10. — С. 5–8.
4. Никитишен В.И. Оценка эффективности фосфорного удобрения на серой лесной почве с учетом его последействия/В.И. Никитишен, Л.К. Дмитракова, В.И. Личко//Агрохимия. — 2000. — № 9. — С. 41–47.
5. Никитишен В.И. Эффективность последействия фосфорного удобрения в зависимости от

- остаточного количества фосфатов в почве и обеспеченности растений азотом и влагой/В.И. Никитишен, В.И. Личко, Е.В. Орехова//Агрохимия. — 2001. — № 11. — С. 34–42.
6. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів/Б.С. Носко. — Харків, 2006. — С. 99–122.
7. Носко Б.С., Бабинін В.І., Гладкіх Є.Ю., Буракова Л.М. Вплив різних факторів і типів ґрунтових процесів на формування фосфатного фонду ґрунтів//Вісн. аграр. науки. — 2010. — № 7. — С. 17–22.
8. Носко Б.С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив. — К.: Урожай, 1990. — С. 44–56.
9. Шконде Э.И. Системы удобрения и фосфорный режим почв УССР/Э.И. Шконде//Почвоведение. — 1952. — № 8. — С. 151–156.
10. Cooke G.W. Phosphorus and potassium problems in plant production, and how to solve them. 9th World Fertilizer Congress Proceedings. June, 1984. — Budapest. Hungary. — V. 1. — P. 197–220.