

УДК 631.413

Оцінка фосфатного стану орних та перелогових ґрунтів різного ґенезису за показниками фосфат-буферності

В. В. Зубковська

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 01.05.2024 Отримано після доопрацювання 16.07.2024 Затверджено до видання 30.07.2024 Доступно онлайн 31.07.2024	У статті висвітлено результати експериментального оцінювання фосфатного стану ґрунтів різного ґенезису та використання за показниками фосфат-буферних властивостей ґрунту та виявлення характеру впливу заліза на поведінку фосфат-іонів. Об'єктами дослідження були дерново-підзолисті ґрунти супіщані та легкосуглинкові (Sod-podzolic sandy loam and loamy soils) різного зволоження та використання Волинської області України. Застосовано методи польових, лабораторно-модельних і лабораторно-аналітичних досліджень. Польові методи полягали у морфологічному описі досліджуваних ґрунтів; лабораторно-модельні дослідження були спрямовані на вивчення поведінки фосфатів в умовах оптимального та надмірного зволоження; лабораторно-аналітичні методи застосовували для визначення в зразках ґрунту показників фосфат-буферності та вмісту фосфатів. Визначено, що в ґрунтах, у яких протікають відновні процеси, спостерігається погіршення фосфатного режиму, що підтверджується показниками фосфат-буферності. Встановлено, що внесення добрив та меліорантів відіграє значну роль у поліпшенні фосфат-буферної здатності ґрунтів, що підтверджується параметрами показника буферної ємності та коефіцієнта буферної асиметрії. Виявлено, що вміст гранулометричної фракції < 0,01 мм у ґрунті є важливим прямо діючим фактором ефективного функціонування буферних механізмів: у супіщаному ґрунті показник фактору інтенсивності, що виражається від'ємним десятковим логарифмом концентрації фосфатних іонів (pP), становить 5,3 одиниці, а в середньосуглинковому — збільшується до 5,5 одиниць. Підтверджено, що накопичення значної кількості закисного заліза за відновних умов призводить до погіршення фосфатного стану ґрунту. Експериментально встановлено, що у варіанті, де додано препарат заліза, спостерігається зменшення вмісту рухомих форм фосфору з 37,97 до 24,23 мг/кг згідно з рівнем зволоженості ґрунту, підтримуваним упродовж компостування.
Ключові слова: аккумуляція фосфору; ґрунт; залізо; мобілізація фосфору; фосфат-буферність; фосфатний режим	

E-mail: v.zubkovskya@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8124-8635

Форма цитування: Зубковська В. В. Оцінка фосфатного стану орних та перелогових ґрунтів різного ґенезису за показниками фосфат-буферності. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 96. С. 12–19. <https://doi.org/10.31073/acss96-02>

1. Вступ

Фосфор є необхідним елементом, який регулює глобальне сільськогосподарське виробництво та є одним із сімнадцяти основних поживних речовин, які відіграють важливу роль у живленні рослин та другим за вагомістю макроелементом (після азоту), дефіцит якого обмежує розвиток сільськогосподарських культур [1, 2]. Цей елемент входить до складу орто- і пірофосфорних кислот, а також є складовою нуклеотидів, фосфопротеїдів, фосфоліпідів, фосфорних ефірів, вуглеводів, багатьох коферментів та інших органічних сполук [3–6]. Незважаючи на його важливість для росту та розвитку рослин, фосфор є найменш доступним макроелементом живлення, тому найчастіше стає дефіцитною поживною речовиною у більшості ґрунтів через його низьку доступність.

Зростаючий дефіцит мінеральної сировини для виробництва фосфорних добрив і їх постійне подорожчання змушують шукати нові шляхи оптимізації фосфатного стану ґрунтів. До альтернативних підходів відносяться заходи, спрямовані на максимальне посилення мобілізації внутрішньоґрунтових фосфатних резервів і активне залучення їх до біологічного кругообігу, а також усунення чинників, що обмежують ефективне використання рослинами фосфору ґрунту і внесених добрив. За сучасними дослідженнями глобальні запаси фосфору виснажуються більш високими темпами, і за деякими оцінками, запаси фосфору в ґрунті зникнуть уже до 2050 року [3, 7].

Таким чином, оптимізація фосфорного живлення рослин є одним із найважливіших питань сільськогосподарського виробництва, враховуючи, що, за оцінками ФАО [8], до 2050 року світове виробництво продовольства повинно збільшитись на 70 % через приріст населення у світі на 2,3 млрд осіб. Якщо продуктивність сільськогосподарських земель залишиться на нинішньому рівні, то виникне необхідність у додатковому розширенні площ під сільськогосподарське виробництво. Щонайменше до 2030 року потрібно буде вводити

в сільськогосподарське використання не менше 6 млн гектарів на рік. Крім того, приблизно 80 % доходів від сільського господарства необхідно буде інвестувати у розвиток нових агротехнологій.

Розуміння закономірностей антропогенного (культурного) ґрунотворного процесу є важливим для передбачення змін, корегування та планування заходів з підвищення ефективної родючості ґрунту.

До найбільш важливих внутрішньоґрунтових факторів, що впливають на фосфатний стан та його динаміку, відносяться параметри кислотно-основної та окисно-відновної рівноваги, насиченості ґрунту основами та півтораоксидами, вмісту гранулометричних фракцій і органо-мінеральних комплексів та рівня біохімічної активності ґрунту. Зазвичай параметри всіх названих показників є генетично зумовленими та характерними для кожного окремого різновиду ґрунтів. Вони відносно постійні, але можуть змінюватися під впливом культури землеробства, кліматичних умов, особливо аномальних, та інших зовнішніх факторів. Крім вищезазначених факторів рівень гідроморфізму (перезволоженості) ґрунту слід вважати одним з найбільш вагомих і ключових, що зумовлюють характер поведінки фосфору у ґрунті та функціонування фосфатного режиму. Саме в умовах перезволоження та розвитку глеевих процесів відбувається вивільнення заліза з твердої фази ґрунту (зnezалізнення) та перехід його в рухомі форми, які здатні зв'язувати фосфат-іони. У той же час, у процесі оглеєння підвищується рухомість алюмінію, який також може утворювати складні сполуки з фосфатами [5, 9–11].

Ґрунти з підвищеною кислотністю та різним рівнем гідроморфізму в Україні найбільш поширені у зоні Полісся, Західному Лісостепу, буроземній області Карпат, а також у заплавах річок у всіх природних зонах. Як відомо, основними ґрунтовими різновидами у перелічених регіонах є дерново-підзолисті, сірі лісові та опідзолені ґрунти. Ці ґрунти формуються у відносно сприятливих кліматичних умовах, але потужними дестабілізуючими факторами для них є, по-перше, надмірна кількість опадів, що зумовлює їх перезволоження, а по-друге, генетично властиві їм недостатньо сприятливі агроекологічні характеристики.

Оглеєність ґрунтів проявляється в умовах поверхневого або підґрунтового типів зволоження, що призводить до (1) оглеєння частини або всього ґрунтового профілю та його диференціації, як правило, за елювіально-ілювіальним типом; (2) сегрегації типоморфних сполук та елементів з виникненням конкреційних новоутворень; (3) торфонакопичення. Про оглеєння ґрунту також судять за наявністю в його профілі іржавих ортзандових і ортштейнових прошарків, за візуально чітко вираженими ознаками забарвлення ґрунтової маси у сизуватих, сизувато-зелених, сизих та інших «холодних» відтінках кольорів. Слід зауважити, що точних кількісних визначень ступеня оглеєності різних за генетичною будовою ґрунтів поки що немає, як і однозначного тлумачення самої природи глею. Натомість, закономірності перебігу відновлювальних (глеевих) процесів та їх роль у ґрунтоутворенні та профільній диференціації ґрунтів вивчені досить докладно [12, 13]. Рівень оглеєності ґрунту дослідники пропонують встановлювати як візуально — під час морфо-генетичного опису ґрунтового профілю, так і параметрично — за співвідношенням вмісту заліза і марганцю в конкреційних утвореннях [12, 14], за показниками окисно-відновного потенціалу (ОВП), що визначаються в природних умовах [15], за часткою закисних форм заліза, що приходить на одиницю фізичної глини [16] і за рівнем залягання підґрунтових вод та тривалості періоду перенасиченості кореневмісного шару ґрунту вологою (вище найменшої польової вологоємності) [17].

Формування поживного режиму ґрунту та його агрономічних характеристик багато в чому залежить від буферної здатності, яка зумовлює здатність твердої частини ґрунту поглинати поживні елементи (імобілізація, адсорбція) та навпаки, поповнювати ними ґрунтовий розчин (мобілізація, десорбція), що забезпечує їх доступність для рослин. Останнім часом у науковій літературі буферним властивостям ґрунту надається пріоритетне значення у діагностиці його поживного режиму [9, 10, 18–20].

В даний час існує цілий ряд методів визначення вмісту фосфатів у ґрунті, заснованих переважно на застосуванні хімічних екстрагентів — нейтральних солей, кислот та лугів. Так, найпоширенішими методиками визначення вмісту рухомого фосфору в ґрунтах є методи Троуга, Кірсанова, Чирикова, Мачигіна, Гінзбург, Карпінського-Зам'ятиної, Скофілда та інші. На кислих і слабо кислих ґрунтах використовують кислотні витяжки та різні буферні суміші з вихідним рН 1–5, а на карбонатних ґрунтах — буферні суміші та лужні витяжки з рН 8,5–9,0. Загальним недоліком відомих способів визначення фосфатного стану є те, що всі вони базуються на результатах діагностування винятково параметрів вмісту доступних для рослин фосфатів (з використанням різних екстрагентів),

без урахування здатності ґрунту відновлювати цей вміст за рахунок прихованих (потенційних) запасів фосфору в ґрунтовій масі.

Фосфатний стан ґрунту об'єктивно діагностується за показниками фосфат-буферної ємності ґрунту, якими описуються закономірності перебігу процесів мобілізації-імобілізації фосфору в ґрунті та кінетика його вивільнення з твердої фази. Фосфатна буферна здатність ґрунту показує, наскільки його поглинальний комплекс, що включає механічну, фізичну, хімічну, фізико-хімічну, біохімічну, біологічну, літологічну поглинальну ємність, здатний насичуватися фосфором в умовах зростаючих доз добрив і, навпаки, підтримувати його концентрацію у ґрунтовому розчині на оптимальному рівні компенсуючи частину вжитих рослинами фосфатних іонів.

Мета роботи — оцінити фосфатний стан ґрунтів різного ґенезису та типу використання на основі показників фосфат-буферних властивостей ґрунту та встановити вплив внесеного в ґрунт заліза на поведінку фосфат-іонів.

2. Об'єкти (матеріали) і методи досліджень

Для проведення досліджень відібрано зразки з верхнього генетичного горизонту (шар 0–20 см) дерново-підзолистого супіщаного ґрунту у межах Копаївської осушувальної системи (с. Пища, Шацький район, Волинська область) та дерново-підзолистого середньосуглинкового ґрунту на території Колківського вищого професійного училища (сmt Колки, Маневецький район, Волинська область). За типом господарського використання: неоглеєний (переліг); оглеєний осушений; інтенсивного використання (рілля).

Для порівняння ґрунтових характеристик відібрано зразки чорнозему опідзоленого важкосуглинкового (ДП ДГ «Граківське», Харківський район, Харківська область).

Для встановлення фосфат-аккумуляційної здатності заліза щодо фосфору за різних умов зволоження (оптимальне зволоження та перезволоження) проведено модельний лабораторний дослід. Для експерименту взято ґрунтову масу з верхнього гумусового горизонту дерново-підзолистого легкосуглинкового ґрунту. Доза внесеного заліза (гідроокис заліза FeO) у перерахунку на масу ґрунту в посудині становить 80 мг/100 г ґрунту. Як фосфорне добриво використовували дигідрофосфат калію (KH_2PO_4), доза якого в перерахунку на масу ґрунту становить 10 мг/100 г ґрунту.

Схема дослідіу включає чотири варіанти: 1. Без добрив; 2. KH_2PO_4 ; 3. FeO; 4. FeO + KH_2PO_4 ; на двох рівнях зволоження ґрунтової маси протягом періоду компостування: I — оптимальне зволоження (65 % від повної вологості); II — перезволоження (100 % від повної вологості). Склянки містили по 0,2 кг сухого ґрунту. Для посилення анаеробної мікробіологічної діяльності до ґрунтової маси у всі склянки додали чисту глюкозу (по 5 г). Компостування проведено протягом восьми місяців за постійної температури 20–25 °С.

Відбирання проб ґрунту (у шарі 0–20 см), визначення параметрів фосфат-буферності та вмісту рухомих сполук заліза виконано на підставі відповідних нормативних документів, а саме: відбирання проб ґрунту — згідно з ДСТУ 4287:2004^a; показники фосфат-буферної здатності ґрунту — згідно з ДСТУ 4724:2007^b та вміст рухомих сполук фосфору — згідно з ДСТУ 4405:2005^c.

3. Результати й обговорення

3.1. Особливості функціонування фосфат-буферних механізмів у дерново-підзолистих ґрунтах різної ґенези та використання

Оцінювання фосфат-буферних властивостей ґрунту виконано за допомогою трьох показників фосфат-буферної здатності, а саме: (1) показник рР (від'ємний десятиковий логарифм активності фосфору), який характеризує стан рухомого фосфору на момент визначення, при цьому чим більшим є числове значення, тим нижче концентрація рухомого фосфору в ґрунті; (2) буферна ємність ґрунту (БЄ), що характеризує обсяг дії фактору, щодо якого проявляється буферна здатність ґрунту. Вона визначається в акумуляційному (БЄ ак.) та в мобілізаційному (БЄ моб.) інтервалах кривої буферності (у балах); (3) коефіцієнт буферної асиметрії (КБА) визначається рівнянням $\text{КБА} = \text{БЄ ак.} -$

^a ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с.

^b ДСТУ 4724:2007. Якість ґрунту. Визначення фосфат-буферності ґрунту. [Чинний від 2008-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 13 с.

^c ДСТУ 4405:2005. Якість ґрунту. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського. [Чинний від 2006-01-07]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 9 с.

БЄ моб. / БЄ ак. + БЄ моб. — співвідношення між додатними і від'ємними значеннями на кривій буферності. Коефіцієнт характеризує рівень перебігу різнонаправлених процесів — акумулятивної або мобілізувальної здатності ґрунту стосовно елемента родючості. Якщо значення КБА наближається до одиниці, то фосфор у такому ґрунті майже повністю акумульований твердою фазою і, навпаки, наближення КБА до нуля свідчить про мобілізацію фосфатів та підвищену рухомість.

У проведених дослідженнях з вивчення фосфат-буферних властивостей ґрунтів різного генезису на основі показників фосфат-буферності (Табл. 1) встановлено, що у всіх досліджених ґрунтах процес акумуляції фосфатів переважає над процесом мобілізації, підтвердженням чого є більш високі параметри буферної ємності в акумуляційному інтервалі (БЄ ак.).

Таблиця 1

Оцінні показники фосфат-буферної здатності ґрунтів різної генези

Ґрунт	рН _{H2O}	рР	Буферна ємність, бали		КБА
			акумуляційний інтервал (БЄ ак.)	мобілізаційний інтервал (БЄ моб.)	
Дерново-підзолистий неоглеєний супіщаний (переліг)	4,3	5,2	3,8	0,22	0,88
Дерново-підзолистий оглеєний супіщаний осушений	5,8	5,6	7,2	0,06	0,98
Дерново-підзолистий середньосуглинковий (переліг)	4,7	5,6	6,7	0,11	0,97
Дерново-підзолистий глейовий середньосуглинковий осушений	6,0	5,8	8,2	0,04	0,99
Чорнозем опідзолений важкосуглинковий	5,9	5,2	15,6	0,98	0,88

Примітка: рР – від'ємний десятиковий логарифм активності фосфору; КБА – коефіцієнт буферної асиметрії

Слід зазначити, що в перелоговому дерново-підзолистому супіщаному ґрунті зафіксовано досить високе значення показника буферної ємності в мобілізаційному інтервалі порівняно з іншими ґрунтами, але все ж таки менше значень у чорноземі опідзоленому (0,22 і 0,98 балів відповідно). Слід відмітити, що чим вище значення показника БЄ моб., тим більше ґрунт здатен забезпечити рослини доступним фосфором. На наш погляд, це може свідчити про більш високу мікробіологічну активність перелогового ґрунту, що призводить до збільшення у ґрунтового розчині лабільних фосфатних іонів та, в цілому, поліпшення фосфатної функції. Вищесказане підтверджується і значенням коефіцієнту буферної асиметрії (КБА), яке для обох ґрунтів (дерново-підзолистого супіщаного і чорнозему опідзоленого важкосуглинкового) становить 0,88, що свідчить про їхню високу фосфат-мобілізаційну здатність.

У чорноземі опідзоленому спостерігається не лише значна здатність щодо мобілізації фосфатів (значення Бє у мобілізаційному інтервалі), але й висока накопичувальна здатність (в акумуляційному інтервалі), що характеризує спроможність ґрунту забезпечувати досить високий потенціал фосфатного живлення рослин. Показники фосфат-буферної здатності інших досліджених ґрунтів свідчать про їх низьку мобілізувальну здатність щодо фосфору.

У цих ґрунтах фосфатна функція працює переважно у бік акумуляції фосфору, про це свідчать як досить низькі параметри буферної ємності в мобілізаційному інтервалі навантажень, так і коефіцієнти буферної асиметрії. Останні переважно наближаються до одиниці, вказуючи на низький рівень рухомості фосфатів у ґрунті.

Найнижчу рухомість фосфору за показниками фосфат-буферності зафіксовано на оглеєних різновидах дерново-підзолистих ґрунтів. Про це свідчить показник рР у вихідній точці, значення якого становить, відповідно, 5,6 одиниць у супіщаному та 5,8 одиниць у середньосуглинковому ґрунтах. Здобуті дані щодо рухомості фосфатів підтверджуються і значенням коефіцієнта буферної асиметрії, яке наближається до одиниці, що свідчить про переважання процесів іммобілізації фосфору в оглеєних дерново-підзолистих ґрунтах. На наш погляд, такі зміни відбуваються в результаті прояву відновлювальних процесів у цих ґрунтах, за рахунок чого підвищується кількість рухомих форм заліза та алюмінію, які взаємодіють із фосфатними сполуками, утворюючи міцно пов'язані сполуки залізо- та алюмофосфатів.

Про посилення мобілізаційних процесів у дерново-підзолистому супіщаному ґрунті перелогу щодо фосфат-іонів свідчить параметр pP , рівний 5,2 одиниць і досить низький коефіцієнт буферної асиметрії (0,88) порівняно із середньосуглинковим ґрунтом перелогу, показники якого становлять відповідно 5,6 та 0,97. Аналогічні зміни концентрації фосфат-іонів відзначаються і в оглеєних ґрунтах, а саме, велика рухомість фосфат-іонів у супіщаних ґрунтах та зменшення у середньосуглинкових. Слід зазначити, що ґрунти, у яких протікають процеси гідроморфізму (оглеєння), відрізняються збільшенням акумуляційної здатності щодо фосфору, про що свідчить показник буферної ємності в акумуляційному (імобілізаційному) інтервалі порівняно з неоглеєними ґрунтовими різновидами. Таку тенденцію можна пояснити зміною характеристик якості органічної частини ґрунту та наявністю активних форм сполук заліза та алюмінію, що зв'язують фосфат-іони.

Ефективне функціонування фосфат-буферної здатності ґрунтів забезпечується відповідними буферними механізмами, які багато в чому залежать від вмісту тонких гранулометричних фракцій, насамперед, мулистій (у складі фізичної глини), а також від характеру їх використання, тобто інтенсивності антропогенного навантаження. Результати показують, що інтенсивне використання ґрунту (у ріллі) призводить до зміни характеру взаємодії фосфору добрив з ґрунтовою твердою фазою та біотою, в результаті чого формується певний фосфатний режим (Табл. 2).

Таблиця 2

Показники фосфат-буферності дерново-підзолистих окультурених інтенсивно використовуваних ґрунтів різного гранулометричного складу

Гранулометричний склад (вміст фракції < 0,01 мм)	pH_{H_2O}	pP	Буферна ємність		КБА
			акумуляційний інтервал (БЄ ак.)	мобілізаційний інтервал (БЄ моб.)	
Супіщаний (13,2 %)	6,7	5,3	6,28	0,31	0,90
Середньосуглинковий (30,0 %)	6,8	5,5	7,09	0,21	0,94

Примітка: pP – від'ємний десятиковий логарифм активності фосфору; КБА – коефіцієнт буферної асиметрії

Отримані нами результати (Табл. 2) свідчать про те, що і за умов інтенсивного використання ґрунту гранулометричний склад відіграє ключову роль у формуванні фосфатного стану дерново-підзолистих ґрунтів. Але ж слід зазначити, що ґрунт з більш легким гранулометричним складом має вищу рухомість фосфат-іонів, порівняно з ґрунтом із більшим умістом фізичної глини, що підтверджується параметрами буферної ємності та коефіцієнтом буферної асиметрії.

На наш погляд, менша рухомість фосфат-іонів у дерново-підзолистих середньосуглинкових ґрунтах зумовлена саме переважанням у гранулометричному складі вмісту фракції < 0,01 мм (фізичної глини). Аналогічну закономірність впливу генетичної природи ґрунту на рівень фосфору в ґрунтах України встановлено і для інших ґрунтів [21], у яких також було відзначено вплив гранулометричного складу на утримання рухомих форм фосфору. За даними дослідження, ще раз підтверджено суттєвий вплив вмісту фізичної глини на функціонування фосфатної здатності ґрунту, тобто здатності забезпечувати рослини доступними фосфатами. Отже, можна стверджувати, що гранулометричний склад ґрунту є одним із важливих факторів ефективного функціонування буферних механізмів ґрунту щодо фосфору, поряд із лужно-земельними катіонами, півтораоксидами та гумусом.

3.2. Вплив заліза на акумуляцію фосфатних іонів у дерново-підзолистих ґрунтах за умов різного зволоження

Залізо та його сполуки є обов'язковим компонентом хімічного складу всіх ґрунтових різновидів, але саме для гідроморфних та напівгідроморфних ґрунтів цей елемент виступає типоморфним елементом, який відіграє важливу роль у формуванні їх властивостей та рівня родючості. У разі контрастної зміни відновних і окисних умов у ґрунті, які знаходяться в постійній динамічній рівновазі залежно від зміни чинників ґрунтоутворення, відбувається перегрупування пулу заліза, а саме — зміна співвідношення вмісту закисних (Fe^{2+}) та окисних (Fe^{3+}) сполук заліза. Так, при відновних умовах у ґрунті, що з'являються при значеннях окисно-відновного потенціалу (ОВП) менше 200 мВ, утворюються закисні форми заліза, які є реакційно активними та здатними

до фіксування фосфатних та інших аніонів. Залізо утворює з ними та гумусовими кислотами складні орґано-мінеральні комплекси тим самим погіршуючи трофний режим ґрунту. Це підтверджується раніше проведеними нами дослідженнями у дерново-підзолистому легкосуглинковому ґрунті [22], де було виявлено збільшення вмісту закисних форм заліза за умов перезволоження до 97 мг/100 г ґрунту, порівняно з контролем, де вміст становив 3 мг/100 г ґрунту.

Для встановлення характеру впливу заліза на акумуляцію фосфатних іонів було проведено лабораторно-модельне дослідження зі зразками дерново-підзолистого легкосуглинкового ґрунту. З даних на рисунку можна констатувати пріоритетну роль сполук заліза в акумуляції фосфатних іонів.

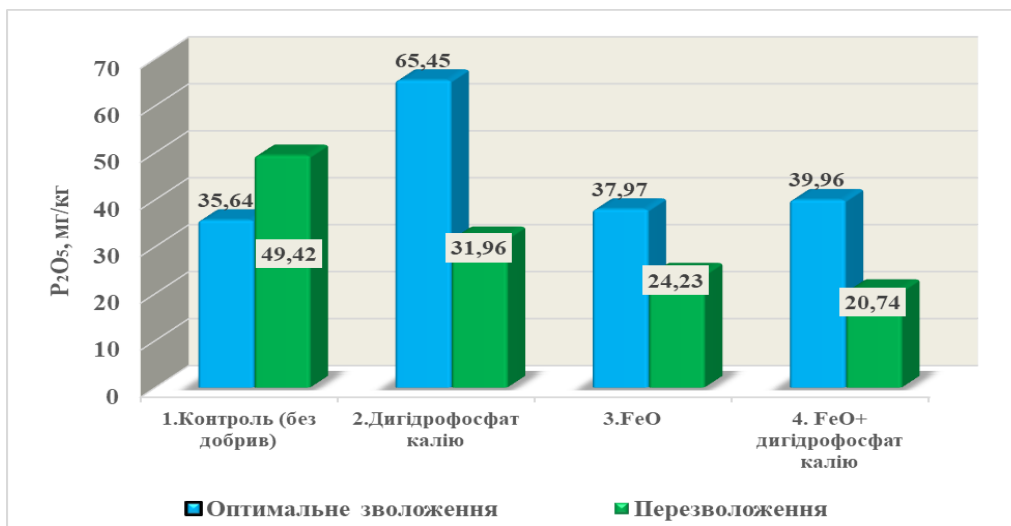


Рис. Вплив заліза та рівня зволоження на вміст рухомого фосфору (P₂O₅) у дерново-підзолистому легкосуглинковому ґрунті

На підставі експериментально здобутих даних, відображених на діаграмі, чітко простежується тенденція до зменшення кількості рухомих форм фосфору в умовах перезволоження у варіантах з додатковим внесенням заліза порівняно з варіантами, де його не вносили. Так, у варіанті, де додано препарат заліза без внесення KН₂РO₄, спостерігається зменшення вмісту рухомих форм фосфору з 37,97 до 24,23 мг/кг ґрунту через посилення зволоженості ґрунту впродовж часу компостування. Аналогічна ситуація і у варіанті з додаванням дигідрофосфату калію (KН₂РO₄). Слід зазначити, що навіть при оптимальному зволоженні ґрунту у варіанті із внесенням заліза (FeO) та фосфору відзначається зменшення кількості фосфатних іонів.

Отже, підсумовуючи, можна стверджувати, що за умов перезволоження погіршення фосфатного стану ґрунтів відбувається за рахунок накопичення значної кількості закисного заліза, яке акумулює фосфатні іони та може утворювати важкорозчинні залізо-фосфатні сполуки, знижуючи, таким чином, вміст рухомого фосфору в ґрунті.

4. Висновки

Підтверджено, що в ґрунтах, у яких протікають відновлювальні процеси, спостерігається погіршення фосфатного режиму, що підтверджується показниками фосфат-буферності.

Експериментально встановлено, що у разі додавання до ґрунту заліза, спостерігається тенденція до зменшення вмісту рухомих форм фосфору з 37,97 до 24,23 мг/кг згідно з рівнем зволоженості ґрунту, підтримуваним під час компостування.

Виявлено, що важливим фактором ефективного функціонування буферних механізмів є вміст фізичної глини у ґрунті. У дослідженнях чітко спостерігалася відмінність параметрів показників фосфат-буферності в ґрунтах з різним гранулометричним складом: у супіщаному ґрунті значення фактору інтенсивності, що виражається негативним десятковим логарифмом концентрації фосфатних іонів (pP), становить 5,3 одиниці, а в середньосуглинковому ґрунті — 5,5 одиниць.

Список використаної літератури

1. Du E., Terrer C., Pellegrini A. F. A., Ahlström A., Lissa C. J., Zhao X., Jackson R. B. Global patterns of terrestrial nitrogen and phosphorus limitation *Nature Geoscience*. 2020. 13. P. 221-226. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0530-4>.
2. Tiecher T., Fontoura S. M. V., Ambrosini V. G., Araújo E. A., Alves L. A., Bayer C., Gatiboni L. C. Soil phosphorus forms and fertilizer use efficiency are affected by tillage and soil acidity management. *Geoderma*. 2023. 435. P. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116495>
3. Vance C. P., Uhde-Stone C., Allan D. Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing non-renewable resources. *New Phytologist*. 2003. 157(93). P. 423-447. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x>
4. Abel S., Ticconi C. A., Delatorre C. A. Delatorre Phosphate sensing in higher plants. *Physiol Plant*. 2002. 115(1). P. 1-8. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150101.x>
5. Носко Б. С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків: ФОП Бровін, 2017. 476 с.
6. Batten G. D. A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant and soil*. 1992. 146. P. 163-168. <https://doi.org/10.1007/BF00012009>
7. Cordell D., Rosemarin A., Schroder J. J., & Smit A. L. Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere*. 2011. 84. P. 747-758. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.032>
8. FAO. Case studies on policies and strategies for sustainable soil fertility and fertilizer management in South Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations regional office for Asia and the Pacific. Bangkok, 2011. URL: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i2308e>
9. Трускавецький Р. С. Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції. Харків, 2003. 228 с.
10. Трускавецький Р. С., Цяпко Ю. Л. Основи управління родючістю ґрунтів: монографія / за наук. ред. Р. С. Трускавецького. Харків: ФОП Бровін О.В., 2016. 388 с.
11. Balemi T., Negisho K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2012. 12(3). P. 547-562. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000015>
12. Зайдельман Ф. Р. Морфоглеєгенез, его визуальная и аналитическая диагностика. *Почвоведение*. 2004. № 4. С.389–398.
13. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. *Ґрунтознавство*. Чернівці: Книги – XXI, 2008. 400 с.
14. Канивец В. И. О буроземах и дерново-подзолистых почвах. *Почвоведение*. 1978. № 5. С. 150-159.
15. Кауричев И. С., Савич В. И. Генетическая оценка окислительно-восстановительного состояния почв. *Почвенные режимы и их экологическая оценка*. 2003. С. 87-115.
16. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
17. Підвищення родючості та охорона осушених земель / за ред. Б. С. Прістера, Р. С. Трускавецького, М. М. Мостового. Київ: Урожай, 1993. 134 с.
18. Ehler P., Morel C., Fotyma M., Destain J.-P. Potential role of phosphate buffering capacity of soils in fertilizer management strategies fitted to environmental goals. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2003. 166(4). 409-415. <https://doi.org/10.1002/jpln.200321182>
19. Helfenstein J., Jegminat J., McLaren T. I., & Frossard E. Soil solution phosphorus turnover: derivation, interpretation, and insights from a global compilation of isotope exchange kinetic studies. *Biogeosciences*. 2018. 15(1). 105-114. <https://doi.org/10.5194/bg-15-105-2018>
20. Mumbach G. L., Gatiboni L. C., Dall'Orsoletta D. J., Schmitt D. E., Grando D. L., de Souza A. A., ... Iochims D. A. Refining phosphorus fertilizer recommendations based on buffering capacity of soils from southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2021. 45:e0200113. doi: 10.36783/18069657rbcs20200113
21. Ковалець Ю. М., Позняк С. П. Агрогенна трансформація ґрунтів легкого гранулометричного складу Західного Полісся України. Львів: Український бестселер, 2010. 220 с.
22. Зубковська В. В. Трансформація фосфатів у кислих ґрунтах за різних режимів зволоження. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. № 82. С. 97-100. URL: <https://agrochemsoilsci.org/index.php/journal/issue/view/14/12>

UDC 631.413

Estimation of the phosphate state of arable and fallow soils of different genesis according to indicators of phosphate buffering

V. V. Zubkovska

National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky",
 Kharkiv, Ukraine
 E-mail: v.zubkovskya@gmail.com

The purpose of the article is to highlight the results of the experimental assessment of the phosphate state of soils of different genesis and the use of phosphate-buffering properties of the soil as indicators, and to identify the nature of the effect of iron on the behavior of phosphate ions. Sod-podzolic sandy loam and loamy soils with different moisture levels and different uses were the objects of the study. The place of research is the Volyn region of Ukraine. The methods of field, laboratory-model and laboratory-analytical studies are applied. Morphological characteristics of soils investigated in field conditions; laboratory-model studies were aimed at studying the behavior of phosphates under conditions of optimal and excessive moisture; laboratory-analytical methods were used to determine phosphate-buffering indicators and phosphate content in soil samples. It was determined that in soils in which regeneration processes are taking place, there is a deterioration of the phosphate regime, which is confirmed by indicators of phosphate buffering. It established that the application of fertilizers and meliorants contributes to the improvement of the phosphate-buffering capacity of soils, which is

confirmed by the parameters of the buffer capacity and the coefficient of buffer asymmetry. It was found that the content of the granulometric fraction < 0.01 mm in the soil is an important factor in the effective functioning of buffer mechanisms: in sandy soil, the intensity factor, expressed as the negative decimal logarithm of the concentration of phosphate ions (pP), is 5.3 units, and in medium loam — 5.5 units. It has been confirmed that the accumulation of a significant amount of oxidized iron under reducing conditions leads to the deterioration of the phosphate state of the soil. It was experimentally established that in the version where iron is added, a decrease in the content of mobile forms of phosphorus is observed from 37.97 to 24.23 mg/kg according to the level of soil moisture maintained during composting.

Keywords: soils, phosphate regime, phosphate-buffering, fertility, phosphorus accumulation, phosphorus mobilization, iron.

Citing: Zubkovska, V. V. (2024). Estimation of the phosphate state of arable and fallow soils of different genesis according to indicators of phosphate buffering. *AgroChemistry and Soil Science*, 96, 12–19. <https://doi.org/10.31073/acss96-02> [in Ukrainian].

References

1. Du, E., Terrer, C., Pellegrini, A. F. A., Ahlström A., Lissa C.J., Zhao X., & Jackson R. B. (2020). Global patterns of terrestrial nitrogen and phosphorus limitation. *Nat. Geosci.*, 13, 221–226. doi: 10.1038/s41561-019-0530-4
2. Tiecher, T., Fontoura, S. M. V., Ambrosini, V. G., Araújo, E. A., Alves, L. A., Bayer, C., & Gatiboni, L. C. (2023). Soil phosphorus forms and fertilizer use efficiency are affected by tillage and soil acidity management. *Geoderma*, 2023, 435, 1–15. doi: 10.1016/j.geoderma.2023.116495
3. Vance, C. P., Uhde-Stone, C., & Allan, D. (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing non-renewable resources. *New Phytologist*, 157(93), 423–447. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x
4. Abel, S., Ticconi, C. A., & Delatorre, C. A. (2002). Phosphate sensing in higher plants. *Physiologia Plantarum*, 115, 1–8. doi: 10.1034/j.1399-3054.2002.1150101.x
5. Nosko, B. S. (2017). *Phosphorus in soils and agriculture of Ukraine*. Kharkiv: FOP Brovin. [in Ukrainian].
6. Batten, G. D. (1992). A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant Soil*, 146, 163–168. doi: 10.1007/BF00012009
7. Cordell, D., Rosemarin, A., Schroder, J. J., & Smit, A. L. (2011). Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere*, 84, 747–758. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.02.032
8. FAO. 2011. Case studies on policies and strategies for sustainable soil fertility and fertilizer management in South Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations regional office for Asia and the Pacific. Bangkok. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i2308e>
9. Truskavetskyi, R. S. (2003). *Buffer capacity of soils and their main functions*. Kharkiv. [in Ukrainian].
10. Truskavetskyi, R. S., & Tsapko, Yu. L. (2016) *Fundamentals of soil fertility management* / R. S. Truskavetskyi (Ed.). [in Ukrainian].
11. Balemi T., Negisho K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2012. 12(3). P. 547–562. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000015>
11. Balemi, T., & Negisho, K. (2012). Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(3), 547–562. doi: 10.4067/S0718-95162012005000015
12. Zaidelman, F. R. (2004). Morphogoleogenesis, its visual and analytical diagnostics. *Soil Science*, 4, 389–398. [in Russian].
13. Nazarenko, I. I., Polchyna, S. M., & Nikorych, V. A. (2008). *Soil science*. Chernivtsi. [in Ukrainian].
14. Kanivets V. I. (1978). About burozems and sod-podzolic soils. *Soil Science*, 5, 150–159. [in Russian].
15. Kaurichev, I. S., & Savich, V. I. (2003). Genetic assessment of the redox state of soils. In: *Soil regimes and their environmental assessment* (pp. 87–115).
16. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bcdecec7-f45f-4dc5-beb1-97022d29fab4/content>
17. Priester, B. S., Truskavetskyi, R. S., & Mostovyi, M. M. (Eds.). (1993). *Increasing fertility and protection of drained lands*. Kyiv: Uroжай. [in Ukrainian].
18. Ehler, P., Morel, C., Fotyma, M. & Destain, J.-P. (2003). Potential role of phosphate buffering capacity of soils in fertilizer management strategies fitted to environmental goals. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(4), 409–415. doi: 10.1002/jpln.200321182
19. Helfenstein, J., Jegminat, J., McLaren, T. I., & Frossard, E. (2018). Soil solution phosphorus turnover: derivation, interpretation, and insights from a global compilation of isotope exchange kinetic studies. *Biogeosciences*, 15(1), 105–114. doi: 10.5194/bg-15-105-2018
20. Mumbach, G. L., Gatiboni, L. C., Dall'Orsoletta, D. J., Schmitt, D.E., Grando, D.L., de Souza, A. A., ... Iochims, D. A. (2021). Refining phosphorus fertilizer recommendations based on buffering capacity of soils from southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45:e0200113. doi: 10.36783/18069657rbcS20200113
21. Kovalets, Yu. M., & Pozniak, S. P. (2010). *Agrogenic transformation of soils of light granulometric composition of the Western Polissia of Ukraine*. Lviv: Ukrainian bestseller [in Ukrainian].
22. Zubkovska, V. V. (2015). Transformation of phosphate in acidic soils by different modes hydration. *Agrochemistry and Soil Science*, 82, 97–100. Retrieved from: <https://agrochemsoilsci.org/index.php/journal/issue/view/14/12> [in Ukrainian].