

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ЕКОЛОГІЯ.  
АГРОНОМІЧНІ НАУКИ

УДК 631.4/18.631.48.631.811  
© 2016

**С.М. КРАМАРЬОВ,**  
доктор сільськогосподарських наук

**В.Т. ПАШОВА,  
О.О. МИЦИК,**  
кандидати  
сільськогосподарських наук

**К.О. ХОРОШУН,  
О.С. КРАМАРЬОВ,  
О.І. ЛИСЕНКО,**  
аспіранти

Дніпропетровський державний  
аграрно-економічний університет –  
ННЦ Інститут аграрної економіки  
НААН України –  
Криворізький державний  
ботанічний сад НАН України  
E-mail: [krataryov@uandex.ua](mailto:krataryov@uandex.ua)

м. Дніпро, вул. С. Єфремова, 25  
м. Київ, вул. Героїв Оборони, 10  
м. Кривий Ріг, вул. Маршака, 50

*Проаналізовано вміст рухомих форм фосфору та процеси його трансформації в різних генетичних горизонтах чорноземів звичайних важкосуглинкових, які тривалий час знаходились у сільськогосподарському використанні, під впливом тривалої дії на них антропогенних факторів. На ріллі показано зниження рівня забезпеченості ґрунту рухомими формами фосфору, особливо у верхніх шарах. Запропоновано шляхи підвищення фосфатного живлення рослин сільськогосподарських культур до оптимального рівня.*

*Ключові слова:* ґрунти, добрива; валові, рухомі форми фосфору; деградація, родючість.

**Постановка проблеми.** Проведений порівняльний аналіз виносів поживних речовин з основною і побічною продукцією, показав, що всі сільськогосподарські культури для формування врожаю завжди використовували азоту в три рази більше, ніж фосфору. Однак серед факторів, які визначають родючість ґрунту, саме фосфору належить визначальна роль, оскільки за його участі відбуваються різні біологічні процеси об-

ВПЛИВ АНТРОПОГЕННОГО  
ЧИННИКА НА ВМІСТ  
РУХОМИХ ФОРМ ФОСФОРУ  
В ЧОРНОЗЕМАХ ЗВИЧАЙНИХ  
ТА ФІНАНСОВИЙ МЕХАНІЗМ  
ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ

міну речовин у рослинах. У живленні рослин фосфор, поряд з азотом, відіграє значну роль. Д.М. Прянішніков наголошував, що у вивченні впливу окремих хімічних елементів на живлення рослин є два важливих питання: азотне і фосфорне. У своїй науковій праці [1] великий учений відмічав, що чорноземи характеризуються “великим запасом азоту, поки що вистачає калію, потрібно додати лише один елемент мінерального живлення

– фосфор, щоб відновити чорнозем, виснажений тривалою культурою землеробства без внесення добрив, яка розпочалася з часів хрещення Русі або ще й раніше”. Це свідчить про те, що в чорноземній зоні фосфорне живлення серед інших видів мінеральних добрив має посісти домінуюче положення, оскільки в цій зоні фосфор – елемент, який у більшості випадків лімітує подальше підвищення врожайності всіх без винятку сільськогосподарських культур, а від рівня його засвоєння та метаболізму залежать важливі етапи онтогенезу рослин, формування продуктивності агроценозів майже всіх зернових культур [2–4]. Відзначимо також, що з розвитком рослин фосфор, як і азот, зменшує свій вміст у вегетативних органах і збільшує в зерні, куди він переміщується в кінці вегетації з коренів, стебел і листя [6]. Через цей процес ґрунт поступово і неухильно втрачає фосфор, який з поля вивозиться з урожаєм [7]. Тому фосфору в дослідженнях родючості ґрунту завжди приділяли значно більше уваги, ніж іншим елементам мінерального живлення рослин [8].

Безумовно, для визначення рівня родючості ґрунту і його генезису необхідно мати дані про запаси валового фосфору, органічних і мінеральних фосфатів, які пов’язані з гранулометричним складом і вмістом гумусу [10]. Чорноземи звичайні в цілому містять значні запаси загального фосфору, кількість якого в орному шарі становить 2–3 т/га [5, 18]. Джерелом фосфору в ґрунті є мінеральні фосфорні сполуки материнських порід, серед яких найбільш поширені фторapatит та хлорapatит, а також близькі до них фосфати кальцію [11–13]. В основному мінеральні форми фосфору в ґрунті представлені солями ортофосфорної кислоти, в яких фосфатний аніон міцно хімічно зв’язаний з катіонами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  та ін. Значна частина їх знаходиться в поглинальному стані на поверхні ґрунтових колоїдів [5, 14]. Ці сполуки становлять 95 % усіх природних фосфатів, а решта – то є хімічні сполуки фосфору із залізом, алюмінієм, марганцем та магнієм [6, 13]. Тобто домінуючі запаси фосфору в чорноземі звичайному

представлені слаблорозчинними сполуками кальцію та магнію [5].

Поряд з мінеральними фосфоровмісними сполуками в чорноземах звичайних присутні і орґанофосфати. За даними Ю.К. Кудзіна [2], кількість орґанічних сполук фосфору в чорноземах становить понад 50 % від загального вмісту. Однак безпосередня засвоєність орґанофосфатів з ґрунту рослинами неможлива, оскільки вони не здатні проникнути в цитоплазму клітин кореневих волосків крізь біологічні мембрани клітин. В основному вони стають доступними для них лише після їх мінералізації з поступовим вивільненням у ґрунтовий розчин аніонів  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  [16].

Валові запаси фосфору в більшості ґрунтів зазвичай вже визначені, але показники їх кількості не знаходяться в тісній кореляційній залежності від врожайності сільськогосподарських культур, отже, за таким агрохімічним показником важко об’єктивно встановити рівень забезпеченості ґрунту цим досить важливим елементом мінерального живлення рослин. У найбільшій мірі корелює з врожайністю сільськогосподарських культур вміст у ґрунті рухомих форм фосфору. Вміст рухомих форм фосфору в ґрунтах дуже низький і не має природних шляхів свого поповнення [7]. Із-за низької рухомості фосфатів ефективна родючість ґрунтів обмежується недостатньою кількістю рухомого фосфору, який може засвоюватися рослинами [13]. З огляду на викладене, **метою нашої роботи** було проаналізувати вміст у ґрунті рухомих форм фосфору та процеси його трансформації в різних генетичних горизонтах чорноземів звичайних, які тривалий час знаходились у сільськогосподарському використанні, та відшукати шляхи підвищення вмісту в ґрунті рухомих форм фосфору до оптимального рівня і розробити фінансовий механізм вирішення поставленого завдання у виробничих умовах.

У зв’язку з низькою рухомістю фосфатів на 40 % площ орних земель світу продуктивність зернових культур в основному лімітується нестачею цих форм фосфору [13, 21, 22, 24, 27, 30, 35–37]. Це можна пояснити тим, що в складі валового фосфору в метровому шарі майже всіх типів ґрунтів домінують

че положення займають слаборозчинні його форми, а вміст рухомих форм незначний і не завжди відповідає потребам рослин у період вегетації [6]. На підтвердження цього розраховано, яку кількість рухомого фосфору можуть використати рослини в реальних польових умовах. Якщо прийняти продуктивну вологість орного шару ґрунту за 25 %, то за концентрації  $P_2O_5$  у ґрунтового розчину 0,05 мг/л загальна кількість рухомих форм становитиме лише 0,4 кг/га. Тому окупність фосфорних добрив на цих ґрунтах висока – 1 кг діючої речовини  $P_2O_5$  забезпечує приріст 4–6 кг зерна. Збільшення вмісту  $P_2O_5$  в 100 г ґрунту на 1 мг дає змогу додатково отримати 1,5–2,0 ц/га зерна, але щоб підвищився вміст фосфору в 100 г ґрунту на 1 мг потрібно внести з фосфорними добривами 100 кг  $P_2O_5$ , що рівноцінно внесенню в ґрунт 5 ц простого суперфосфату або 1 ц амофосу. Оптимальним вважається вміст у ґрунті рухомого фосфору 15–16 мг  $P_2O_5$  на 100 г ґрунту, тоді як реальний показник – 5,0–7,0 мг (за Чириковим), 1,3–3,0 мг/100 г ґрунту (за Олсенем), 0,044–0,080 мг  $P_2O_5$  в 1 л ґрунтового розчину (за Карпинським–Замятиною).

Ефективна родючість більшості ґрунтів обмежується недостатньою забезпеченістю їх рухомими формами фосфору, які, за думкою А.В. Соколова, характеризуються не тільки величиною, а й ступенем рухомості [4]. На підвищення рухомості фосфатів у ґрунті великий вплив чинять біологічні фактори – ґрунтові мікроорганізми і біохімічні процеси [16]. Рухомість фосфору стимулюють ферментативні системи, які сприяють накопиченню легкорозчинних, легкомобільних сполук фосфору [15].

Одночасно в ґрунті спостерігається закріплення фосфатів у менш рухомі мінеральні сполуки, що пов'язано з карбонатами, які знижують ступінь рухомості фосфатів [12]. Науковий досвід і виробнича практика переконливо показують, що серед усіх форм фосфору найбільший вплив на рослину чинить тільки рухома його форма, важлива роль якої особливо відчувається в ювенільний період розвитку рослин; дуже сильно проявляє свою негативну дію дефіцит цього елемен-

ту живлення на стадії проростання насіння і формування проростків [6].

Підкреслимо, що рослинам потрібне оптимальне фосфорне живлення не тільки в початковій фазі їх онтогенезу, а й у всі наступні [15]. Адже в чорноземній зоні здебільшого від рівня забезпечення ґрунту рухомими формами протягом усього онтогенезу залежить величина майбутнього врожаю. І дуже прикро констатувати, що більшість підтипів чорноземних ґрунтів мають в мінімумі рухомі форми фосфору, які надзвичайно стримують подальший ріст продуктивності агроценозів сільськогосподарських культур. Тут доречно нагадати, що в Україні площа ріллі з низьким і середнім умістом рухомого фосфору сягає 17812 тис. га, або 57 % її загальної площі [5, 29]. Унаслідок зниження вмісту рухомого фосфору в ґрунті вже в найближчі роки в Україні зниження продуктивності сівозмін сягатиме 2,2 зернової одиниці [4, 31].

За своїми хімічними властивостями фосфор має складну природу хімічної взаємодії з компонентами ґрунту, що визначає велику кількість форм, сполук і компонентів, у вигляді яких він може знаходитись у ньому [12, 17]. Така особливість фосфору ускладнює вирішення питання своєчасного отримання об'єктивної оцінки забезпеченості ґрунту досліджуваним елементом мінерального живлення рослин. Така інформація може з'явитися тільки після проведення агрохімічних аналізів зразків ґрунту з використанням стандартизованих методів [8, 23]. Причому в розпорядженні агронома має бути об'єктивна й достовірна інформація про вміст у ґрунті рухомих форм фосфору, щоб своєчасно на підставі аналітичних даних розробляти заходи, які забезпечуватимуть оптимальний рівень добрив протягом усього вегетаційного періоду, ефективніше їх використовувати [6, 19, 21, 33].

Виробничий досвід переконливо показав, що застосування стандартизованих методів визначення вмісту рухомих форм фосфору без урахування конкретних особливостей ґрунтів, а також недостатнє відпрацювання методичних аспектів діагностики живлення рослин призводять до

викривлення оцінки стану родючості ґрунтів цілих регіонів [8, 22–24]. Це пов'язано з тим, що більшість методів базується на використанні, як екстрагентів, розчинів сильних кислот, тобто методів так званих “жорстких” [25–27]. Кореневі ж ексудати рослин не містять у своєму складі таких сильноконцентрованих розчинів кислот і тому не в змозі переводити слабкорозчинні фосфати в доступну для рослин форму [26]. У зв'язку з цим отримані показники вмісту в ґрунті рухомих форм фосфору з використанням кислотних методів (Чирикова, Кирсанова та ін.) не відображають реальну картину вмісту в ґрунті доступних для рослин форм фосфору й тому з їх використанням здебільшого отримуються завищені показники, що призводить до формування хибного враження про рівень забезпеченості ґрунту цим елементом мінерального живлення рослин доступними для рослин формами фосфору [25–27, 31]. Головним же критерієм при виборі методу для вилучення рухомих сполук фосфору з ґрунту є оцінка його здатності правильно відображати реакцію рослин на внесення фосфорних добрив [27]. Справа в тому, що доступного фосфору завжди не вистачає в ґрунтового розчині, оскільки він становить лише незначний відсоток від наявних у ґрунті валових його форм [22, 23, 32]. За словами А.О. Христенко, потрібно вивчити і відпрацювати можливість поступової відмови від застосування “жорстких” кислотних методів у разі визначення рухомих форм фосфору, як це вже зроблено в більшості країн світу [9, 22–27, 32].

Характерною особливістю фосфатних ґрунтових сполук є низька їх розчинність і слабка дисоціація на іони [17, 18, 24]. Фосфатні іони добре фіксуються твердою фазою ґрунту, і їх міграція в чорноземах дуже обмежена [10, 13, 18, 20]. Тому інтенсивне хімічне поглинення, яке характерне для солей ортофосфорної кислоти, обумовлює слабку рухомість сполук фосфору. Зазвичай швидкість їх дифузії в ґрунті незначна і варіює в межах від  $10^{-12}$  до  $10^{-15}$  м<sup>2</sup>/с, що уповільнює засвоєння фосфору рослинами, внаслідок чого прикоренева зона рослин швидко виснажується

на цей елемент мінерального живлення рослин [15, 17, 23, 31, 32].

За даними агрохімічного обстеження ґрунтів, вміст фосфору в них на 1966–1970 рр., в середньому в Україні, становить 7,1 мг/100 г [21]. Нагадаємо, що за вмістом фосфору ґрунтовий покрив відзначається більшою строкатістю порівняно з азотом [18]. Це зумовлено, насамперед, властивостями лесових ґрунтоутворювальних порід, хвилястим рельєфом місцевості та регіональними особливостями ґрунтоутворення, а також різним рівнем інтенсивності землеробства в господарствах з державною та приватною формами власності.

За період 1991–1995 рр. площі орних земель з підвищеним і високим умістом фосфору зростали, а з низьким і середнім умістом залишилися, порівняно з першим туром обстеження (1966–1970), на рівні 30 %. Середньозважений вміст рухомого фосфору в Степу зріс з 6,7 до 9,3 мг/100 г [17]. Тобто на чорноземах звичайних степової зони України спостерігається парадокс: незважаючи на високу забезпеченість цих ґрунтів валовим фосфором, найчутливішими до фосфорних добрив є саме ці ґрунти, і ефективність фосфорних добрив на цих ґрунтах – найвища в Україні. Тому нами було досліджено тривалість впливу антропогенного чинника на фосфорний стан чорноземів звичайних з подальшим визначенням кількісних змін у них доступних фосфатів та ступеня їх рухомості, які відбулися в ньому.

**Об'єкти і методика досліджень.** Роботи з вивчення фосфорного режиму чорноземів звичайних малогумусних проводили в умовах П'ятихатського району (Ерастівська дослідна станція ДУ Інституту зернових культур НААН України) і Дніпропетровського району (Навчальне господарство ДДАЕУ) на орних і цілинних ґрунтах Придніпровського регіону. Для визначення змін, які відбулися з рухомими формами фосфатів, у господарствах було закладено по два ґрунтових розрізи на ріллі та цілині на глибину 0–100 см.

ґрунтові зразки відбирали через кожні 5 та 10 см. В орному шарі ріллі гумусу містилося 3,80–4,25 %, загального азоту 0,22–0,24 %, валового фосфору 0,12–0,136 % та

калію 2,1–2,4 %. Рівень забезпеченості засвоєваними поживними речовинами (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) середній і підвищений. У шарі 0–20 см цілинного ґрунту вміст гумусу становив 5,52–5,15 %, загального азоту 0,29–0,27 %, фосфору 0,154–0,164 %, валового калію 2,2–2,4 %. Уміст рухомого фосфору визначали за кислотним методом Чирикова (ДСТУ 4115) й сольовими Мачигіна (ДСТУ 4114-2002) та Карпинського-Зам'ятиної (ДСТУ 4727-2007), а валовий фосфор – за Гінзбург, Щегловою, Вульфюс (ДСТУ 4290) [8, 9, 20, 24, 25, 27].

**Результати дослідження та їх обговорення.** Основні запаси фосфору в чорноземі зосереджуються як в органічних, так і в мінеральних сполуках [4, 5, 14, 17, 28]. Вміст органічних і мінеральних фосфатів був майже однаковий. Проте, органічні форми фосфору нерівномірно розміщуються вздовж ґрунтового профілю і в основному були присутні у великій кількості лише у верхніх горизонтах ґрунту, в яких зосереджена переважна частина рослинних решток і активно протікають мікробіологічні та біохімічні процеси, що призводить до накопичення в них різноманітних білкових плазм [14, 17]. Переважна більшість органічного фосфору в ґрунті представлена білковими речовинами і нуклеопроїдами, що узгоджується з присутністю в ґрунті продуктів розкладання нуклеопроїдів та білків: ксантину, гіпоксантину, урацилу та ін. [18]. За участі ґрунтових фосфоровмісних органічних речовин відбуваються складні біохімічні процеси перетворення даного елемента мінерального живлення рослин [16, 18]. В анаеробних умовах мікроорганізми, які розкладають білки, розщепляють складні фосфоровмісні сполуки і продукують тим самим ортофосфорну кислоту. Вивільнена в такий спосіб фосфорна кислота взаємодіє з основами ґрунту, утворюючи з ними фосфатні солі різного ступеня розчинності [16].

В аеробних умовах фосфорна кислота біохімічно може бути відновлена, що відбувається за допомогою специфічних мікроорганізмів, які інтенсивно розвиваються в аеробних умовах при рН 7,1. Їх розвиток знаходиться в прямій залежності від умісту

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у живильному середовищі й потребує присутності в ґрунті органічних речовин, здатних до окиснення [18]. Отже органічна форма фосфору в чорноземі за біохімічних процесів розкладання поліпшує мікробіологічну діяльність ґрунту, яка пов'язана з розпадом складних білків, збільшує запаси засвоєваної рослинами форми фосфору і підвищує його ефективну родючість. Завдяки мікробіологічним процесам мінералізація фосфоровмісної органічної речовини сприяє утворенню розчинних і засвоєваних сполук фосфору [16]. За агрохімічної характеристики фосфатного режиму важливого значення набуває й облік форм її мінеральних солей і різних інших водорозчинних сполук ортофосфорної кислоти [13, 22]. Запаси валового фосфору характеризують потенційну родючість ґрунту, критерієм же ефективної родючості є наявність розчинних засвоєваних фосфатів [32]. Вміст валового фосфору в значній мірі залежить від гранулометричного складу, вмісту гумусу і екологічних умов. Значний вплив на загальні запаси фосфору чинить антропогенне навантаження. Як свідчать дані табл. 1, загальний запас фосфору в метровому шарі чорнозему звичайного на ріллі становить 14,3 т, а в умовах цілини 16,1 т. Зменшення запасів валового фосфору з глибиною, порівняно з азотом, відбувається значно рівномірніше. Зростання запасів фосфору у верхніх горизонтах відбувається в разі переміщення його з глибоких шарів ґрунту за рахунок кореневої системи рослин. При мінералізації органічної маси утворені фосфорнокислі сполуки, які, на відміну від азоту і калію, легко поглинаються ґрунтом, утворюючи нерозчинні й малорухомі сполуки, а вони вже потім закріплюються у верхніх шарах ґрунту. В умовах цілини відмічено підвищення вмісту загального вмісту фосфору на 0,028–0,020 %, а в метровому шарі на 1,8 т/га зростає маса цього елемента живлення. Вміст засвоєваного фосфору в чорноземах звичайних переважно залежить від фізико-хімічних властивостей ґрунту й від умісту в ньому фізичної глини, кількість якої в чорноземних ґрунтах досить висока (табл. 1).

Реєструється зниження суми поглинальних основ з глибиною і підвищення вмісту

**1. Вміст і запаси загального фосфору в чорноземі звичайному на цілині та ріллі (Дніпропетровський район Дніпропетровської області)**

Ценоз	Глибина відбору зразків ґрунту, см									
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
<b>Рілля</b>										
Вміст загального фосфору, %	0,136	0,131	0,131	0,122	0,124	0,122	0,116	0,107	0,087	0,088
Запаси загального фосфору, т/га	1,63	1,61	1,57	1,46	1,49	1,46	1,39	1,39	1,13	1,14
<b>Цілина</b>										
Вміст загального фосфору, %	0,164	0,154	0,134	0,134	0,123	0,120	0,122	0,122	0,122	0,106
Запаси загального фосфору, т/га	2,00	1,85	1,61	1,61	1,48	1,56	1,58	1,58	1,45	1,38

карбонатів від 0,2 до 2,0 % (шар 0–20 см) й до 17,0 % (шар 80–100 см). Ці показники значно впливають на вміст у ґрунті доступних засвоєваних фосфатів (табл. 2).

Відомо, що мінеральні сполуки фосфору в чорноземі звичайному знаходяться у вигляді солей кальцію, які переважають над фосфатами заліза і алюмінію. Зміна реакції ґрунтового розчину в бік лужності, яка відбувається з шару ґрунту 40–50 см і продовжує зростати глибше, значно підвищує наявність фосфатів кальцію і різко знижує ступінь рухомості фосфору. У цих шарах ґрунту тільки невелика частина фосфатів представлена водорозчинними сполуками, але вони кількісно незначні, оскільки є проміжними продуктами вивітрювання і відокремлення фосфорної кислоти з органічних запасів фосфору. У ґрунті, в результаті процесів хімічного вивітрювання основних фосфорних сполук,

які містяться в складі материнської породи ґрунту, можуть відбуватися два явища:

- перехід важкорозчинних фосфатів кальцію під дією вугільної кислоти і органічних кислот в більш легкодоступні форми;
- утворення нерозчинних сполук фосфорної кислоти зі залізом і алюмінієм ґрунту.

У чорноземі звичайному запаси фосфорної кислоти знаходяться у вигляді солей лужноземельних металів та у формі солей з окисами. Співвідношення їх залежить від насиченості основними оксидами та лужноземельними металами, а також від інтенсивності процесів, які переводять легкокорозчинні фосфати в розчин.

Як зазначалося, у ґрунті безперервно протікають мікробіологічні і біохімічні процеси, завдяки яким відбувається переведення валових у рухомі форми фосфору, і навпаки. На інтенсивність цих процесів впливають різні

**2. Поглинальна здатність чорнозему звичайного на цілині залежно від глибини відбирання зразків ґрунту в Дніпропетровському районі, мг/екв. на 100 г ґрунту**

Показник	Глибина відбору зразків ґрунту, см									
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
Сума ввібраних основ	30,8	31,8	31,6	30,4	32,2	31,0	27,8	28,2	23,8	24,0
Поглинтий кальцій	25,8	26,8	27,8	25,6	23,8	25,3	22,8	21,6	19,0	17,6
Поглинтий магній	5,0	5,0	3,8	4,8	8,4	5,8	5,0	6,6	4,8	6,4

**3. Вміст карбонатів у чорноземі звичайному на цілині по профілю ґрунту в Дніпропетровському районі (%) і рН ґрунтового розчину**

Показник	Глибина відбору зразків, см									
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
% карбонатів	0,2	2,0	1,9	2,8	4,7	6,0	10,0	14,6	17,0	17,4
рН	7,1	7,2	7,2	7,2	8,1	8,3	8,4	8,5	8,6	8,9

чинники: вологість ґрунту, вміст карбонатів, температура ґрунту та ін. [11]. Тому ці форми фосфору не знаходяться в стабільній рівновазі одна з одною, відбуваються динамічні зміни і перетворення одних форм в інші [12]. До цих процесів залучається й органічний фосфор, що в кінцевому результаті визначається родючістю ґрунту по відношенню до вмісту в ньому рухомих форм фосфору. Порівняльний аналіз умісту рухомого фосфору в ґрунтових профілях переконливо показав їх накопичення у верхніх шарах ґрунту порівняно з глибинним розташуванням.

Вміст рухомих фосфатів за Чириковим характеризує не тільки ті ґрунтові фосфати, які безпосередньо засвоюються рослинами, але й ті їх форми, які порівняно швидко можуть переходити в ґрунтовий розчин і в більшій чи меншій мірі використовуватися рослинами.

Застосовуючи метод Чирикова (0,5н розчин  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), ми виявили значне зниження вмісту фосфатів з глибиною, що пояснюється підвищеною кількістю карбонатів і зміною рН ґрунту в бік зростання лужності (табл. 3). Оскільки в зразках ґрунту, відібраних з цих шарів при визначенні вмісту в

них фосфору за методом Чирикова в оцтовій кислоті витягці, відбувається нейтралізація оцтової кислоти карбонатними сполуками і не проходить вилучення фосфатів.

Визначення ж рухомого фосфору за Мачигінім (1%-вий розчин  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ) чітко відображає зміну фосфатної родючості за профілем ґрунту, незважаючи на лужність, викликану підвищеним вмістом карбонатів кальцію та магнію. Чітке зниження спостерігається до глибини 50–60 см, а далі показники вирівнюються і вміст рухомого фосфору в ґрунтоутворюючій породі становить 8,0–5,6 мг/кг залежно від агроєкологічних умов (табл. 4).

Результати досліджень свідчать про зниження вмісту рухомого фосфору на цілинних ґрунтах по відношенню до ріллі (табл. 5). Це можна пояснити тим, що надземна маса рослин цілини не відшкодовується і в процесі її мінералізації утворюються фосфорнокислі сполуки, які легко поглинаються ґрунтом, утворюючи нерозчинні, малорухомі сполуки й міцно закріплюючись у ґрунті. Відомо, що запаси засвоєваних фосфатів характеризуються не тільки їх величиною, але й ступенем рухомості.

**4. Вміст рухомих фосфатів залежно від екологічних умов (Дніпропетровський район), мг/кг**

Ценоз	Глибина відбору зразків, см									
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
<b>Рілля</b>										
За Мачигінім	29,0	27,5	20,8	14,5	14,9	8,4	7,7	7,3	8,3	8,0
За Чириковим	119	106	95	83	70	46	42	27	34	26
<b>Цілина</b>										
За Мачигінім	14,4	11,0	9,0	8,1	7,6	7,2	7,5	8,3	7,0	5,6
За Чириковим	90	86	72	55	27	21	20	20	21	18

5. Вміст рухомого фосфору в різних ценозах чорнозему звичайного, в П'ятихатському районі, Дніпропетровської області (0,5н витяг  $\text{NH}_3\text{COOH}$ ), мг/кг

Ценоз	Глибина відбору зразків, см									
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
Рілля	167	168	168	125	93	81	56	57	55	50
Цілина	137	94	85	79	76	72	71	48	38	34

За стандартом України, реальна природна рухомість фосфору в чорноземах відповідає рівню динамічної рівноваги: 0,04–0,06 мг/л. Згідно з отриманими даними, рухомість фосфатів у досліджуваних ценозах чорнозему звичайного дещо вища рівня динамічної рівноваги фосфатних систем ґрунтів: 0,17–0,19 мг/л у ріллі і 0,13–0,14 мг/л у шарі 0–10 см цілини (табл. 6).

Для ріллі таке підвищення обумовлено наявністю залишкових фосфатів добрив, а на цілинних ґрунтах – завдяки комплексу біохімічних, хімічних, фізико-хімічних та інших процесів, які весь час інтенсивно протікають у верхніх гумусових горизонтах. Фосфатні системи характеризуються підвищеною кількістю вільної енергії, основним джерелом якої є органічна речовина [17]. Дані сполуки нейтралізують позитивні заряди на поверхні глинистих мінералів, зв'язують активні катіони заліза й алюмінію і блокують фіксацію аніонів фосфорної кислоти. Тому цей горизонт біогеоценозів характеризується, як правило, підвищеною забезпеченістю фосфором [27].

Фосфатний стан нижніх горизонтів обох ценозів близький і відповідає рівню динамічної рівноваги. Наявність більш високої рухомості фосфору в окремих шарах (0,10–0,12 мг/л) створюється за рахунок наявності карбонатів кальцію.

За даними Б.С. Наска [17, 18], забезпеченість рослин фосфором значною мірою за-

лежить від вмісту в ґрунті фосфатів заліза і алюмінію (табл. 7). Однак ці показники ще не можуть слугувати підтвердженням, в якій мірі забезпечено постачання рослин фосфорною кислотою. Вони дають уяву про ті резерви фосфору в ґрунті, які можуть бути мобілізовані.

Максимальна кількість фосфатів зосереджена в карбонатних горизонтах у вигляді фосфатів кальцію. У гумусовому горизонті переважають фосфати кальцію, але й поряд з ними є фосфати заліза та алюмінію, причому в ґрунтоутворюючій породі фосфати кальцію займають домінуюче положення [35–37].

Відомо, що одним із факторів розчинення важкорозчинних мінеральних фосфатів є підкиснення ґрунтового розчину, а гідроліз органічних фосфатів за впливу бактерій пов'язаний з дією специфічних ферментів фосфатаз. Л.М. Токмакова та А.О. Трепач (2012) встановили, що бактерії *R. Radiobacter* є активними продуцентами ацетатної, масляної та інших органічних кислот, під впливом яких відбувається переведення в ґрунтовий розчин слабозчинних фосфатів кальцію.

Проведені нами дослідження показали, що найвищою чисельністю фосфатмобілізуювальних бактерій характеризується верхній гумусовий горизонт цілини (табл. 8), в якому вміст рухомих форм фосфору в ґрунті залежить від багатьох факторів, у тому числі й від рівня зволоження, що пов'язано з різною активністю біоти.

6. Рухомість фосфору в різних ценозах чорнозему звичайного за методом Карпинського-Зам'яїної (П'ятихатський район), мг/л

Ценоз	Глибина відбору зразків, см									
	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
Оранка	0,19	0,18	0,17	0,13	0,11	0,10	0,7	0,10	0,10	0,12
Цілина	0,14	0,10	0,09	0,04	0,09	0,09	0,09	0,07	0,10	0,08



**7. Вміст фосфатів заліза, алюмінію і кальцію в чорноземах звичайних Дніпропетровського району (рілля)**

Шар, см	Вміст фосфатів					
	мг/кг			кг/га		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – Al	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – Fe	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – Ca	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – Al	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – Fe	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – Ca
0–20	45	30	254	108	72	606
20–40	48	32	259	115	77	621
40–60	18	20	296	44	48	710

Для вивчення накопичення рухомого фосфору нами були створені сприятливі умови щодо зволоження 60 % від повної вологості і сприятливий температурний режим +28,5 °С. За таких умов проводили компостування ґрунтових зразків, відібраних з різних генетичних горизонтів. Через 10, 20 та 30 діб визначали рухомі форми фосфору за методом Чирикова, а ступінь рухомості – за методом Карпинського–Зам’яїної. Дослі-

дження показали, що найбільш інтенсивно накопичення рухомих фосфатів відбувалося в перші 20 діб на цілині і 30 діб на ріллі, а максимальна рухомість фосфатів спостерігалася після 10-добового компостування і в меншій мірі після 20- та 30-добового (табл. 9). Отже, питання родючості чорноземів звичайних відносно до фосфору переноситься в площину того, як важкорозчинні фосфати ґрунту здатні піддержати хоч неви-

**8. Вплив антропогенного навантаження на чисельність фосфатмобілізуювальних бактерій у чорноземі звичайному (с. Байківка, П’ятихатський район Дніпропетровської області)**

Шар ґрунту, см	Фосфатмобілізуювальні бактерії, що розчиняють, млн/г	
	мінеральні фосфати	органосфосфати
<b>Рілля</b>		
0–5	1,5±0,1	5,4±0,4
5–10	1,3±0,1	2,3±0,1
10–15	1,3±0,1	2,7±0,2
15–25	2,2±0,2	2,4±0,2
25–35	1,2±0,1	4,5±0,3
35–45	1,4±0,1	1,0±0,0
45–65	0,6±0,1	1,0±0,1
<b>Цілина</b>		
0–5	6,8±0,3	9,8±0,6
5–10	2,5±0,2	4,7±0,4
10–15	2,2±0,1	2,2±0,2
15–25	1,5±0,1	2,0±0,1
25–35	1,2±0,1	2,5±0,3
35–45	0,8±0,1	1,2±0,1
45–65	1,2±0,2	0,9±0,0

9. Вплив компостування на вміст рухомого фосфору в ценозах чорнозему звичайного  
(с. Байківка, П'ятихатський район Дніпропетровської області)

Шар грунту, см	За Чириковим, мг/100 г ґрунту				За Карпинським–Зам'ятиною, мг/л			
	до комп.	після компостування, діб			до комп.	після компостування, діб		
		10	20	30		10	20	30
<b>Ц і л и н а</b>								
0–5	16,3	22,3	22,6	22,0	0,14	0,52	0,40	0,33
6–10	11,2	19,0	22,3	21,7	0,13	0,50	0,29	0,34
11–15	9,2	14,4	20,7	19,2	0,10	0,50	0,26	0,30
16–20	9,6	17,0	19,7	18,8	0,09	0,46	0,23	0,27
21–25	8,8	17,7	19,2	18,4	0,09	0,48	0,24	0,24
26–30	8,3	18,0	18,6	18,0	0,08	0,38	0,22	0,24
<b>Р і л я</b>								
0–5	16,7	22,9	25,9	27,7	0,19	0,58	0,32	0,35
6–10	16,7	18,3	26,7	28,9	0,18	0,56	0,31	0,34
11–15	16,9	22,6	26,2	27,9	0,18	0,50	0,31	0,32
16–20	16,8	22,9	25,9	27,7	0,17	0,62	0,30	3,29
21–25	17,2	23,6	25,5	27,4	0,14	0,54	0,29	0,26
26–30	16,4	24,7	25,3	26,2	0,19	0,52	0,31	0,25

соку, але постійну концентрацію фосфору в ґрунтовому розчині [30].

Найбільш дієвий напрям підвищення вмісту в ґрунті рухомих форм фосфору – використання фосфоровмісних добрив, виробництво яких в останні роки суттєво скоротилось. Сьогодні фосфоровмісні добрива виробляють лише ВАТ “Суміхімпром” і ЗАТ “Дніпровський завод мінеральних добрив” [33]. Усі заводи фосфорної промисловості України використовують імпортовану сировину з країн Північної Африки – Сирія, Туніс, Алжир [28, 29]. Україна володіє значними родовищами фосфоритів (Волинське, Осиківське, Карпівське, Жванське, Сечено-Яремівське, Ізюмське та ін.) [34]. Однак фосфорити цих родовищ унаслідок невеликої концентрації в них  $P_2O_5$  недоцільно переробляти на суперфосфат та інші водорозчинні фосфорні добрива. Але проблема не лише у фосфатній сировині. На виробництво фосфорних добрив впливає ситуація, що склалася у вітчизняному виробництві сульфатної кислоти. Україна опинилася перед загрозою різкого

зниження вмісту в чорноземах звичайних доступних для рослин рухомих форм фосфору [30]. Високими темпами зменшується вміст рухомих фосфатів на забруднених важкими металами (ВМ) ґрунтах, на яких різко знижується рухомість водорозчинних сполук фосфору завдяки утворенню з катіонами  $Zn^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  та ін. ВМ нерозчинних фосфатів, і на площах з низькими дозами внесення фосфорних добрив. Зменшення доз внесення фосфорних добрив на 80 %, порівняно з 1990 роком, призвело до зниження середньозваженого вмісту рухомого фосфору за останні 10 років на 1,1–1,4 мг на 100 г ґрунту. Розрахунки підтверджують, що для підвищення родючості ґрунтів до оптимального рівня необхідно мати позитивний баланс фосфору (180–200 %). Для цього потрібно вносити з фосфоровмісними добривами в середньому на один гектар орної землі 60–80 кг  $P_2O_5$ . За цих умов рівень вмісту рухомого фосфору за 6–7 років може підвищитися до 12–13 мг/100 г ґрунту і буде оптимальним для зернових і кормових культур.

Було б доцільним і стало нормою перед передачею земельної ділянки в оренду за стандартизованими методиками визначати в орному її шарі вміст рухомих форм фосфору, а після завершення строку оренди проводити аналогічний аналіз, щоб встановити різницю вмісту фосфору. У випадку зниження показників рухомих форм фосфору розрахувати необхідну кількість стандартного фосфор-

ного добрива (суперфосфату), яку потрібно внести для відновлення втраченого рухомого фосфору і в такий спосіб відшкодувати нанесені збитки. Тільки в такому разі орендарі будуть дбайливо відноситися до ґрунту і кожен з них буде усвідомлювати, що володіння земельною ділянкою – це передусім відповідальність за родючість землі й неприпустимість дій, які б завдали їй шкоди.

### **Висновки**

1. Чорноземи звичайні малогумусні на лесі важкого гранскладу північного Степу мають значні запаси валового фосфору, велику частину якого складають апатитоподібні сполуки.

2. Природний вміст доступних рослинам сполук фосфору в орному шарі досліджуваного ґрунту відповідає середнім значенням забезпеченості цим елементом живлення, що підтверджується рядом фактів, зокрема численними даними про високу ефективність застосування фосфорних добрив. Тому на всіх неокультурених чорноземних ґрунтах України без застосування відповідних доз органічних або мінеральних добрив неможливо стабільно одержувати високі врожаї сільськогосподарських культур нормативної якості продукції.

3. Підвищеною і високою забезпеченістю фосфором характеризується лише орний шар ґрунтів, що містить залишкові

фосфати добрив, а також верхній гумусовий горизонт цілинних ґрунтів. Внесення фосфорних добрив на цих ґрунтах повинно корегуватися згідно з даними ґрунтової діагностики.

4. Рівноважна концентрація розчинних фосфатів у ґрунтовому розчині шару 0–30 см цілинних чорноземів формується переважно за рахунок ортокальційфосфату.

5. Рухомість фосфору в ценозах чорнозему звичайного вище рівня динамічної рівноваги фосфатних систем ґрунтів і становить 0,17–0,19 мг/л на ріллі і 0,13–0,14 мг/л на цілині.

6. Фосфати заліза і алюмінію не відображають забезпеченість рослин фосфорною кислотою, а лише дають уяву про резерви, які можуть бути мобілізовані.

7. Встановлено інтенсивне накопичення рухомих фосфатів в оптимальних умовах і підвищення їх рухомості.

### **Бібліографія**

1. Прянишников Д.Н. О значении фосфатов для нашего земледелия и о расширении возможностей непосредственного применения фосфоритов / Д.Н. Прянишников // Фосфориты как непосредственное удобрение. – М.: Науч. хим. тех. изд., 1924. – С. 19–30.

2. Кудзин Ю.К. Влияние 50-летнего внесения навоза и минеральных удобрений на содержание и состав органического вещества в черноземе / Ю.К. Кудзин // Агрохимия. – 1968. – № 5. – С. 3–8.

3. Мобилизация запасов фосфора в черноземе и “зафосфачивание” при длительном применении удобрений / Ю.К. Кудзин, В.А. Губенко, В.Т. Пашова, И.В. Ярошевич // Агрохимия. – 1970. – № 7. – С. 31–37.

4. Соколов А.В. Агрохимия фосфора / А.В. Соколов. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 150 с.

5. Дмитренко П.А. Фосфатный режим почв Украинской ССР и приемы его улучшения / П.А. Дмитренко // Труды почвенного института им. В.В. Докучаева. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – Т. 1. – С. 152–274.

6. Туева О.Ф. Фосфор в питании растений / О.Ф. Туева. – М.: Наука, 1966. – 296 с.

7. Чумаченко И.Н. Симпозиум “Совершенствование методологии исследования фосфатного режима почв, оптимизация питания растений и баланс фосфора в агроэкосистемах” / И.Н. Чумаченко, Ф.В. Янишевский // Агрохимия. – 1999. – № 1. – С. 94–96.

8. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / За ред. І.П. Якуца, С.А. Балюка. – К., 2013. – 104 с.

9. ДСТУ.4114–2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію в модифікації Мачигіна. – К.: Держкомітет з питань техн. регулювання та споживчої політики, 2002. – 11 с.
10. Булаєв В.Е. Миграція азота і фосфора із очагових удобрень / В.Е. Булаєв, В.Г. Булаєва // Хімія в сільському господарстві. – 1977. – № 9, т. 15. – С. 71–75.
11. Адерихин П.Г. Поглищення фосфат іонів почвами і рослинами / П.Г. Адерихин // Почвознавство. – 1967. – № 6. – С. 84–89.
12. Горбунов Н.И. Значення хімічного складу, дисперсності і структури мінералів для поглинання фосфора / Н.И. Горбунов // Почвознавство. – 1970. – № 12. – С. 142–153.
13. Попович Л.П. Фосфатне стання ґрунту / Л.П. Попович // Почвознавство. – 1992. – № 10. – С. 24–28.
14. Маккелви В.Е. Фосфор в оточуючій середі / В.Е. Маккелви; під ред. Э. Гриффита. – М.: Мир, 1977. – С. 24–46.
15. Швартау В.В. Особливості реакції рослин на дефіцит фосфора / В.В. Швартау, Б.И. Гуляєв // Фізіологія і біохімія культурних рослин. – 2009. – Т. 41, № 3. – С. 208–220.
16. Муromoцєв Г.С. Методи вивчення розчинності фосфатів мікроорганізмів / Г.С. Муromoцєв // Мікробіологія. – 1957. – Т. 26, вип. 2. – С. 172–178.
17. Носко Б.С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив / Б.С. Носко. – К.: Урожай, 1990. – 224 с.
18. Носко Б.С. Регулювання фосфатного режиму основних типів ґрунтів УРСР / Б.С. Носко // Почвознавство. – 1987. – № 5. – С. 26–32.
19. Післядія добрив на фосфатний режим чорноземів України / Б.С. Носко, Л.М. Бабикин, Л.М. Буракова [та ін.] // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 12. – С. 17–22.
20. Носко Б.С. Сучасний стан та перспективи напрямів досліджень в агрохімії / Б.С. Носко // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 9. – С. 9–12.
21. Носко Б.С. Фосфор у землеробстві України / Б.С. Носко // Вісник аграрної науки. – № 7. – 2004. – С. 14–17.
22. Христенко А.О. Діагностика вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунтах / А.О. Христенко // Вісник аграрної науки. – 1998. – № 4. – С. 21–25.
23. Христенко А.А. Проблеми вивчення фосфатного стання ґрунту / А.А. Христенко // Агрохімія. – 2001. – № 6. – С. 89–95.
24. Христенко А.О. Оцінка фосфатного стану ґрунтів на основі Міжнародного стандарту / А.О. Христенко, М.Є. Лазьба // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 10. – С. 16–19.
25. Христенко А.А. Использование Национальных стандартов для диагностики азотного, фосфорного и калийного состояния почв / А.А. Христенко // Агрохімія. – 2014. – № 7. – С. 60–68.
26. Христенко А.О. Рухомість “рухомих” елементів живлення у ґрунті / А.О. Христенко // Вісник аграрної науки. – 2009. – № 8. – С. 16–20.
27. Христенко А.О. Експертна оцінка забезпеченості орних земель України макроелементами живлення рослин / А.О. Христенко // Вісник аграрної науки. – 2016. – № 1. – С. 18–22.
28. Метіліді В.С. Сировинна база фосфатів України / В.С. Метіліді, В. Щель // Мінеральні ресурси України. – 1999. – № 2. – С. 267–269.
29. Носко Б.С. Фосфорити як джерело живлення сільськогосподарських культур / Б.С. Носко, А.О. Христенко, В.І. Бабинін // Використання нетрадиційних сировинних ресурсів у сільському господарстві: зб. наук. статей і доповідей. – Луцьк: Надстир'я, 1997. – С. 18–20.
30. Медведєв В.В. Проблема фосфору в Україні та шляхи її розв'язання / В.В. Медведєв // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 7. – С. 82–84.
31. Христенко А.О. Розробка стандарту України та методи визначення рухомих сполук фосфору і калію в ґрунтах / А.О. Христенко // Вісник аграрної науки. – 2003. – № 6 – С. 9–13.
32. Поживний режим чорноземів і шляхи його оптимізації / Б.С. Носко, М.В. Лісовий, Н.О. Кучер, М.Б. Можейко // Як зберегти і підвищити родючість чорноземів. – К.: Урожай, 1984. – С. 80–85.
33. Заречний В.Г. Виробництво фосфоровмісних мінеральних добрив підприємствами України та їх використання в сільському господарстві: монографія / Заречний В.Г., Карнович Е.О., Воробйова І.П. – Суми: Університетська книга, 2004. – 180 с.
34. Перспективний шлях виробництва фосфорних добрив в Україні / Л.М. Щєгров, Н.М. Антратцев [та ін.] // Вісник аграрної науки. – 2001. – № 9. – С. 13–15.
35. Changes in gene expression in Arabidopsis shoots during phosphate starvation and potential for developing smart plants / J.P. Hammond, M.J. Bennett, H.C. Bowen [et al.] // Plant Physiol. – 2003. – V. 132, № 2. – P. 578–596.
36. Khristenko A.A. Diagnosis accuracy improvement of the phosphate status of Ukrainian soils / A.A. Khristenko, S.E. Ivanova // Better crops. – 2012. – Vol. 96, № 2. – P. 5–7.
37. Leal J.E. Evaluation of available P with different extractants on Guatemalan soils / J.E. Leal, M.E. Summer, L.T. West // Commun. Soil Sci. and Plant Anal. – 1994. – V. 25, № 9–10. – P. 1161–1196.

Рецензент – доктор сільськогосподарських наук, професор **О.І. Цилюрик**