



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.811.2

© 2016

*Б.С. Носко,
академік НААН,
доктор сільсько-
господарських наук*

*В.І. Бабинін,
Є.Ю. Гладкіх,
кандидати сільсько-
господарських наук*

*Національний
науковий центр
«Інститут
грунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського»*

БАЛАНС ФОСФОРУ В ҐРУНТАХ І ЗЕМЛЕРОБСТВІ УКРАЇНИ

Мета. Вивчити зв'язок між кількістю внесених фосфорних добрив та вмістом залишкових фосфатів, господарським балансом фосфору і тривалістю післядії добрив.

Методи. Використано порівняльно-статистичні методи досліджень, короткострокові та тривалі спостереження агрохімічних властивостей ґрунту. Лабораторно-аналітичні дослідження виконували із застосуванням стандартизованих методик. **Результати.** Визначено динаміку змін фосфатного режиму чорнозему типового на підставі узагальнення досліджень на багаторічному перелозі та варіантах із різним обсягом навантаження мінеральними та органічними добривами. **Висновки.** Доведено тривалість впливу (упродовж 25-ти років післядії) запасного внесення фосфорних добрив у дозі 1800 кг/га на фоні гною на збереження в ґрунті підвищеного вмісту рухомого фосфору на рівні 11,6 мг P_2O_5 /100 г ґрунту, відмінного від природного аналога більшою доступністю для живлення рослин.

Ключові слова: чорнозем типовий, рухомий фосфор, баланс, залишкові фосфати, післядія фосфорних добрив.

Фосфор відіграє особливу роль у життєздатності рослин, він виконує функції регулятора енергетичного балансу, оскільки здатний утворювати сполуки з великим запасом енергії, яка звільняється в процесі їх гідролізу. Передавання спадкових ознак, запрограмованих у гвинтоподібних молекулах ДНК та РНК, здійснюється також сполуками фосфору, що входять до складу цих молекул [6]. За обов'язкової наявності фосфору відбувається засвоєння вуглецевої кислоти, яка є матеріальною енергетичною основою існування тварин і людей на землі.

Забезпеченість рослин достатньою кількістю фосфатів залежить, головним чином, від

їх запасів у ґрунті, ступеня рухомості, реакції ґрунтового розчину, оптимального співвідношення рухомих форм азоту і фосфору, активності мікробіологічних процесів у ґрунті та ін. [10, 11].

Валовий уміст фосфору в гумусному профілі є результатом його біологічного переносу з ґрунтотвірної породи, яка має неоднакову кількість цього елемента залежно від мінералогічного складу. За даними А.Ю. Кудеярової [5], у середньому поширені осадові породи — піщаники, глинисті сланці і карбонатні породи з умістом P_2O_5 відповідно 0,10; 0,17 і 0,07%. В Україні в ґрунтотвірних породах, за даними М.І. Полупана і В.А. Величка

[9], уміст P_2O_5 залежить від умісту фізичної глини і становить 0,04–0,07 у флювіогляціальних породах Полісся, до 0,07–0,11% — у лесах і лесоподібних породах Лісостепу та Степу. При цьому біоаккумуляція P_2O_5 в орному шарі щодо його вмісту в материнській породі в дерново-підзолистих супіщаних і піщаних ґрунтах становить 109%, у чорноземах типових важкосуглинкових — 170%, а в буроземах опідзолених досягає 570%.

У процесі генезису ґрунтів під впливом ґрунтоутворення створюється специфічний для кожного типу ґрунту фосфатний режим, який характеризується певним співвідношенням мінеральних та органічних фосфатів і їх фракцій, наявністю так званих рухомих форм фосфору, які переходять у слабокислотні або лужні витяжки, а також ступенем рухомості фосфору і фосфатним потенціалом. Фосфатний режим є характерною ознакою кожного типу ґрунту і результатом співвідношення процесів гуміфікації і мінералізації органічної речовини.

Сучасні уявлення про фосфатний режим ґрунтів обґрунтовуються тим, що рослини поглинають фосфор у формі ортофосфатів ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), які безпосередньо перебувають у ґрунтового розчині. Проте слід мати на увазі, що перехід фосфатів у ґрунтовий розчин є не лише динамічним процесом, а й залежить від ряду факторів: запасів усіх форм природних фосфатів у сполуках різного ступеня міцності; залишкової кількості фосфору від раніше внесених добрив; ємності поглинання ґрунтів відносно фосфат-іонів; умов, які впливають на процеси трансформації (температури, вологості, ступеня кислотності, катіонного складу поглинального комплексу та ін.); діяльності кореневої системи, її поглинальної здатності, що залежить від виду культури та умов її вирощування.

За сільськогосподарського використання фосфатний режим ґрунтів змінюється залежно від рівня інтенсифікації землеробства, передусім від кількості внесених у ґрунт фосфорних мінеральних (або органічних) добрив. Доведено, що за позитивного балансу фосфору в ґрунтах накопичуються залишкові фосфатні сполуки, які відрізняються від їх природних аналогів і характеризуються вищим ступенем рухомості.

Ще на початку ХХ ст. професор М.А. Єгоров запропонував вважати забезпеченість ґрунтів доступним для рослин фосфором

кількісною мірою їх окультуреності [4]. Разом з тим публікації щодо впливу залишкових фосфатів добрив на врожайність сільськогосподарських культур та ефективність свіжовнесених добрив і, особливо тривалість їх післядії на різних типах ґрунтів, не дають обґрунтованої відповіді на ці питання.

Мета досліджень — вивчення зв'язку між кількістю внесених фосфорних добрив і вмістом залишкових фосфатів, господарським балансом фосфору і тривалістю їх післядії добрив у стаціонарному досліді та узагальнення даних багаторічного моніторингу в системі державної агрохімічної служби.

Методика досліджень. Динаміку змін фосфатного режиму вивчали в стаціонарному досліді на Коротичанському дослідному полі (нині ДП ДГ «Граківське»), закладеному в 1969 р. До моменту відбору ґрунтових зразків завершено 6 ротаций 6-пільної сівозміни. Дослід закладено на ділянці багаторічного перелогу чорнозему типового важкосуглинкового. Агрохімічна характеристика орного шару дослідної ділянки до закладання досліді (1969 р.): pH_{KCl} — 5,3; валовий уміст гумусу — 5,4%; валовий вміст азоту — 0,22; фосфору — 0,12; калію — 2,15%; мінерального азоту ($N-NO_3 + N-NH_4$) — 4,8 мг/100 г ґрунту; фосфору і калію (витяжка CH_3COOH) — 5,7 і 11,4 мг/100 г ґрунту, сума обмінних катіонів — 25 мг-екв/100 г ґрунту, гідролітична кислотність — 3,1 мг-екв/100 г ґрунту. Методику проведення досліджень викладено в журналі «Агрохімія» за 1981, №1 [7]. Ґрунтові зразки відбирали з орного шару у варіантах $P_{1800} + 140$ т/га гною за 6 ротаций сівозміни (запасне внесення, післядія з 1983 р.) і абсолютний контроль (без унесення добрив).

Для аналізу матеріалів моніторингових обстежень щодо вмісту рухомих фосфатів і балансу фосфору в землеробстві використано дані агрохімічної служби, надруковані в довідниках [1, 3] та статистичних збірниках.

Результати досліджень. Розорювання багаторічного перелогу зумовило істотні зміни в співвідношенні процесів гуміфікації і мінералізації органічних речовин. Упродовж 2-х ротаций 6-пільної зернопросапної сівозміни (1969–1982 рр.) валовий уміст гумусу в орному шарі зменшився на 20% порівняно з вихідним, одночасно на удобрених фонах удвічі зросла кількість лабільного гумусу. При цьому вміст органічних фосфатів у контрольному варіанті зменшився з 62,2 мг P_2O_5 на 100 г

ґрунту до 38,8 мг, що пов'язано з активною мінералізацією гумусу.

За 6 ротацій сівозміни в абсолютному контролі від'ємний баланс фосфору досягнув $-734 \text{ кг P}_2\text{O}_5$ на 1 га, але це не вплинуло на вміст рухомих форм фосфатів, який упродовж 31 року становив в орному шарі 5,5–4,2 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту (рис. 1). Деяке зростання їх умісту в перші роки після розорювання перелогу зумовлено мінералізацією органічних фосфатів. Це свідчить про значну буферну здатність чорнозему типового, завдяки чому попри від'ємний баланс у ґрунті постійно підтримується певна рівновага вмісту рухомих форм фосфору.

У варіанті запасного внесення P_{1800} (післядія з 1983 р., тривалість післядії 25 років) на фоні гною, незважаючи на зростання сумарного виносу фосфору з урожаєм сільськогосподарських культур до $1200 \text{ кг/га P}_2\text{O}_5$, у ґрунті досягнуто позитивного балансу фосфору ($+880 \text{ кг/га}$), що зумовило накопичення залишкових фосфатів добрив. Уміст рухомих фосфатів (у витяжці $0,5 \text{ N CH}_3\text{COOH}$) на кінець VI ротації перевищував відповідні показники абсолютного контролю більш ніж удвічі (рис. 2). Установлено, що залишкові фосфати добрив у ґрунті відрізняються від природних сполук фосфору, перш за все, підвищеним ступенем рухомості і, відповідно, більшою доступністю для живлення рослин.

Залишкові фосфати в орному шарі чорнозему типового, крім виносу з урожаєм культур трансформувалися в недоступні для рослин форми, а 12% — мігрували по профілю

до глибини 60 см. Проте попри ці додаткові фактори зменшення рухомих форм фосфору через 31 рік після внесення фосфорних добрив у ґрунті зберігається підвищений їх уміст (див. рис. 2). Це свідчить про те, що в ґрунті утворилася певна зрівноважена система фосфатного режиму, яка сприяє підвищенню ефективної родючості чорнозему і може характеризувати ступінь його окультуреності.

Накопичення залишкових фосфатів у ґрунтах спостерігається навіть за використання помірних доз фосфорних добрив, що підтверджують результати моніторингових досліджень агрохімічної служби.

У 60-ті роки минулого століття в Радянському Союзі загострилася криза у виробництві сільськогосподарської продукції. Після 2–3-річної перерви, коли валові збори зросли за рахунок розорювання цілих земель, знову знизилася врожайність зернових та інших культур. Було визнано, що реальних позитивних змін у сільському господарстві можна досягнути лише інтенсифікацією землеробства, передусім всебічною хімізацією — виконанням широкої програми зростання виробництва добрив, хімічних меліорантів і засобів захисту рослин.

З 1966–1970 по 1986–1990 рр. в Україні середньорічний обсяг використання мінеральних добрив зріс з 46 до 148 кг діючої речовини (NPK) на 1 га посівної площі, або у 3,2 раза (табл. 1).

Інтенсивність загального балансу елементів живлення в середньому по Україні в 1986–1990 рр. досягла по сумі NPK 102%,

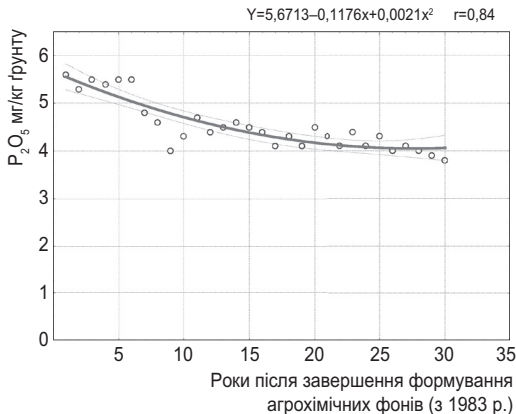


Рис. 1. Динаміка вмісту рухомих форм фосфору в чорноземі типовому упродовж 31 року у варіанті без застосування добрив

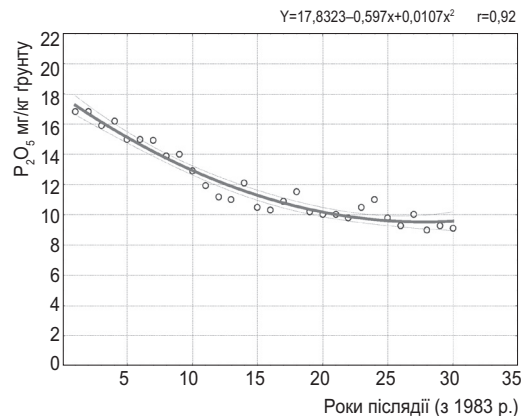


Рис. 2. Динаміка вмісту рухомих форм фосфору в чорноземі типовому на агрохімічному фоні P_{1800} (в запас)+140 т/га гною

1. Динаміка середньорічного обсягу використання мінеральних добрив у землеробстві України [4]

Роки	НРК, кг д. р.	У тому числі		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1966–1970	46	20	14	12
1971–1975	84	40	22	22
1976–1980	111	52	27	32
1981–1985	125	60	31	34
1986–1990	148	65	41	42
1991–1995	73	34	21	18
1196–2000	19	15	3	1
2001–2005	24,5	18	4	2,5
2006–2010	50,9	35,3	8,3	7,3
2011	68	48,4	10,5	9,1
2012	72	49,8	11,8	10,4
2013	79	55,2	12,5	11,3

зокрема азоту — 96%, фосфору — 165, калію — 86% (табл. 2).

Щороку перевищення надходжень фосфору з добривами порівняно з його виносом з урожаєм становило понад 21 кг/га, що безумовно сприяло загальному збільшенню його середньозваженого вмісту в орних ґрунтах за рахунок накопичення залишкових фосфатів. За даними [2], на кінець 5-го туру агрохімічного обстеження він зріс (у середньому по Україні) з 7,1 до 10,6 мг P₂O₅ на 100 г ґрунту, тобто в орному шарі ґрунтів накопичилося близько 100 кг/га залишкових фосфатів, які в найкритичніші роки після розпаду Радянського Союзу значною мірою підтримували ефективну родючість ґрунтів.

Максимальна кількість залишкових фосфатів добрив на кінець 5-го туру агрохімічних обстежень (середньозважений уміст P₂O₅, мг/100 г ґрунту зріс з 6,3 до 11,8 мг, тобто майже вдвічі) спостерігалася на Поліссі. Це можна пояснити застосуванням вищих доз органічних і мінеральних добрив порівняно з їх використанням в інших природних зонах та легким гранулометричним складом ґрунтів, які мають значно меншу поглинальну здатність до фосфору. У зв'язку із систематичним вапнуванням кислих ґрунтів, яке знижувало утворення важкорозчинних алюмо- і залізофосфатів, значною мірою зменшився перехід фосфатів добрив у важкорозчинні форми.

Розрахунки (за статистичними даними) свідчать про те, що з 1966 до 2014 р. (тобто

за 48 календарних років) з мінеральними та органічними добривами внесено близько 1410 кг P₂O₅ на кожний гектар ріллі на загальній площі 32 млн га. Отже, у землеробстві України в середньому на кожний гектар ріллі з добривами щороку надходило майже 29 кг д.р. фосфорних добрив (P₂O₅). За 48 років залежно від сільськогосподарських культур з кожного гектара ріллі винесено 41 кг фосфору. Загальний баланс фосфору (у середньому за 48 років) в землеробстві складався неоднозначно: за 20 років інтенсивної хімізації (1971–1992 рр.) він був позитивним, а в 1991–2013 рр. на фоні різкого зменшення обсягів використання мінеральних і органічних добрив зріс дефіцит поживних речовин, особливо фосфору. До цього призвело впровадження інтенсивних технологій та перехід до ґрунтовиснажливої структури сівозмін у зв'язку з різким збільшенням площ посівів соняшнику, кукурудзи, ріпаку та інших культур, продукція яких орієнтована на експорт і забезпечує високі прибутки агрохолдингам.

Впровадження у виробництво високоінтенсивних технологій з використанням

2. Динаміка загального балансу елементів живлення в землеробстві України за 1971–1990 рр. [2]

Показник	Надходження	Винос	Баланс	Інтенсивність балансу, %
	кг/га			
1971–1975				
N	60,8	74,3	-13,5	81,8
P ₂ O ₅	29,4	25,5	3,9	115,3
K ₂ O	44,0	72,0	-28	61,1
Разом	134,2	171,8	-37,6	78,1
1976–1980				
N	75,0	85,0	-10,0	88,2
P ₂ O ₅	39,1	29,0	10,1	134,5
K ₂ O	61,8	78,7	-16,9	78,5
Разом	175,9	192,7	-16,8	91,3
1981–1985				
N	84,6	83,4	1,2	101,3
P ₂ O ₅	42,7	27,7	15,0	153,8
K ₂ O	70,8	78,8	-8,0	89,6
Разом	198,1	189,9	8,2	104,3
1986–1990				
N	91	95	-4	95,8
P ₂ O ₅	52,5	31,9	20,6	164,6
K ₂ O	79,5	92,0	-12,5	86,4
Разом	223,0	218,9	4,1	101,9

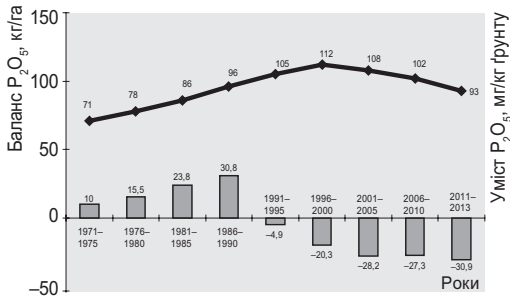


Рис. 3. Динаміка загального балансу фосфору і середньозваженого вмісту P_2O_5 в ґрунтах у землеробстві України: — балансу фосфору (середньорічне за 5 років); — вмісту фосфору в ґрунті (на кінець 5-річного циклу)

сортів з потенційно високою врожайністю та широке застосування хімічних засобів боротьби з бур'янами і хворобами рослин сприяли отриманню високих урожаїв кукурудзи (до 8 т/га), соняшнику (1,5–2), пшениці озимої (4–5 т/га) на чорноземах лісостепової і степової зон. На фоні високої потенційної родючості чорноземів та використання запасів «залишкових» фосфатів добрив (близько 100 кг P_2O_5 /га) максимальні врожаї цих культур отримують, головним чином, завдяки застосуванню азотних добрив. За 2006–2010 рр. мінеральні добрива під пшеницю озиму вносили в співвідношенні N: P_2O_5 — 1:0,17 (63,4 та 10,7 кг д.р. на 1 га), кукурудзу на зерно — 1:0,21 (75,6 та 15,6 кг/га), під цукрові буряки — 1:0,42 (152,8 та 64,3 кг/га) [4]. Застосування такої системи удобрення головних польових культур, які займають

переважні площі в структурі посівів, зумовило перехід від позитивного балансу фосфору в землеробстві до негативного (рис. 3).

Попри те, що на фоні впровадження сучасних технологій збирання сільськогосподарських культур (особливо кукурудзи на зерно і соняшнику), у баланс за 2001–2013 рр. враховано надходження фосфору з післяживними залишками.

Динаміку зміни середньозваженого вмісту рухомого фосфору чітко зафіксовано в зоні Полісся у зв'язку з генетичними особливостями ґрунтів (переважають піщані та глинисто-піщані їх різновиди) і високими нормами мінеральних та органічних добрив у 1971–1990 рр. з одночасним вапнуванням. Фактичне припинення вапнування після 1990 р., різке зменшення обсягів застосування органічних і мінеральних добрив сприяли значному зниженню вмісту в ґрунтах рухомих форм фосфатів.

Слід зазначити, що мінеральні добрива з урахуванням їх кінцевої економічної ефективності (окупність приросту врожаю в грошових одиницях) вносять у дозах, які значно різняться залежно від біологічних особливостей кожної сільськогосподарської культури, що зумовлює значну різницю в накопиченні залишкових фосфатів на окремих полях. Крім цього, культурні рослини, як зазначає Д.М. Прянішніков [9], використовують для живлення в однаковій мірі фосфор із ґрунтових запасів і добрив.

Оптимізація співвідношення в ґрунті азоту і фосфору сприяє високій ефективності використання ґрунтових запасів фосфору (особливо залишкових фосфатів добрив).

Висновки

Установлено, що за 6 ротаций сівозміни попри від'ємний баланс фосфору (–734 кг/га) вміст його рухомих форм в орному шарі ґрунту зберігається в межах 5,5–4,2 мг P_2O_5 /100 г ґрунту. Запасне внесення фосфорних добрив у дозі 1800 кг/га сприяє утворенню залишкових фосфатів, які зберігають свою мобільність і можуть бути джерелом фосфатного живлення впродовж наступних 30-ти років, що забезпечує тривалу післядію добрив.

Результати багаторічного моніторингу в системі державної агрохімічної служби свідчать про те, що щорічне перевищення

надходження фосфору з добривами порівняно з його виносом з урожаєм у межах всієї країни у 1986–1990 рр. становило понад 21 кг/га, натомість на сьогодні, навпаки, на 27,1 кг/га фосфору застосовується менше, ніж виносить з рослинницькою продукцією.

Розрахунок загального балансу фосфору і середньозваженого вмісту P_2O_5 у ґрунтах в землеробстві України свідчить про негативний вплив сучасного господарювання на фосфатний рівень ґрунтів, а формування врожаїв відбувається за рахунок залишкових фосфатів і частково мінералізації гумусних сполук.

Бібліографія

1. *Агрохімслужба* в системі факторів збереження і підвищення родючості ґрунтів (до 50-річчя заснування агрохімслужби України): наук. доповідь/С.А. Балюк, Б.С. Носко, А.С. Заришняк, М.В. Лісовий; за ред. С.А. Балюка. — Х.: ТОВ «Смуґаста типографія», 2015. — 64 с.
2. *Баланс гумусу і поживних речовин у ґрунтах України*/А.С. Заришняк, С.А. Балюк, М.В. Лісовий, А.В. Комариста//Вісн. аграр. науки. — 2012. — № 1. — С. 28–32.
3. *Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України*; за ред. Б.С. Носка, Б.С. Пристера, М.В. Лободи. — К.: Урожай, 1994. — 330 с.
4. *Егоров М.А.* К вопросу о балансе фосфора в севообороте/М.А. Егоров: сб. ВИУА: Удобрения в севообороте. — Вып. 11. — М.: Сельхозгиз, 1963.
5. *Кудеярова А.Ю.* Педогеохимия поли- и ортофосфатов в условиях применения удобрений/А.Ю. Кудеярова. — М.: Наука, 1993. — 240 с.
6. *Кулаковская Т.Н.* Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев/Т.Н. Кулаковская. — Минск: Ураджай, 1978. — 230 с.
7. *Носко Б.С.* Использование метода моделирования фонов при изучении агрохимических свойств //Агрохимия. — 1981. — № 1. — С. 122–127.
8. *Полупан М.І.* Номенклатура та діагностика еколого-генетичного статусу ґрунтів України для їхнього великомасштабного дослідження/М.І. Полупан, В.А. Величко. — К.: Аграр. наука, 2014. — 494 с.
9. *Прянишников Д.Н.* Избранные сочинения/Д.Н. Прянишников. — М.: Изд. АН СССР, 1952. — Т. 3. — 633 с.
10. *Cooke G.W.* Phosphorus and potassium problems in plant production, and how to solve them. 9th World Fertilizer Congress Proceedings/ G.W. Cooke. — June, 1984. — Budapest. Hungary. — V. 1. — P. 197–220.
11. *Than A.* Evaluation of phosphorus status of some upland soils in Myanmar/A. Than, K. Egashira//Fac. Agr. Kyushu Univ. — 2008. — №. 1. — P. 193–200.

Надійшла 30.10.2015.