

ХІМІЧНІ КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ ҐРУНТУ CHEMICAL SOIL QUALITY CRITERIA

УДК 631.811

До питання про формування фосфатного фонду ґрунтів

Б.С. Носко

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

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 26.07.2017 Отримано після доопрацювання 12.08.2017 Затверджено до друку 15.11.2017 Доступно онлайн 05.12.2017</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p><i>Фосфор мінеральний; Фосфор органічний; Органічна речовина; Мінералізація; Синтез; Органічні добрива; Фосфорні добрива.</i></p>	<p>Статтю присвячено аналізу результатів багаторічних досліджень у стаціонарних польових дослідках щодо розкриття особливостей участі ґрунтової біоти у процесах трансформації фосфоровмісних мінералів ґрунотвірної породи і сприяння в утворенні вторинних фосфатів ґрунту: спочатку мінеральних форм, а потім, внаслідок обміну речовин, і органічних.</p> <p>Мета досліджень: встановити головні закономірності впливу ґрунтової біоти (рослин, мікроорганізмів і ферментів) на вміст і розподіл у профілі різних ґрунтів валового фосфору та його органічних і мінеральних форм, залежно від інтенсивності сільськогосподарського використання, на перелогових та орних землях. У дослідженнях використано результати досліджень у багаторічному польовому досліді, закладеному у 1969 році на чорноземі типовому важкосуглинковому, протягом шести ротацій зернової просапної сівозміни, узагальнені матеріали з польових дослідів на чорноземах і опідзолених ґрунтах, а також публікації інших авторів.</p> <p>В результаті проведених досліджень виявлено, що у формуванні фосфатного фонду ґрунтів беруть активну участь біологічні фактори, під впливом яких з первинних фосфоровмісних мінералів утворюються вторинні фосфати у мінеральній та органічній формах. У процесі ґрунтоутворення фосфор материнських порід поступово накопичується у профілі ґрунтів завдяки перенесенню у верхні шари ґрунту. На прикладі профілю перелогового чорнозему типового показано існування тісного зв'язку між вмістом гумусу та мінеральних і органічних форм фосфатів, а також зростання вмісту фосфору у гумусі у напрямі від орного шару до материнської породи. За умови багаторічного екстенсивного використання чорнозему типового (без застосування добрив) валовий вміст фосфору і його органічних форм зменшується. На фоні запасного і систематичного внесення фосфорних добрив фосфатний фонд чорнозему поліпшується, зростає валовий вміст фосфору й органічних фосфатів.</p>

* E-mail: pochva@meta.ua

1. Вступ

Активність ґрунтової біоти визначає основні етапи формування фосфатного фонду ґрунтів: під впливом мікроорганізмів відбувається трансформація первинних фосфоровмісних мінералів материнської породи, чим забезпечується утворення вторинних неорганічних і органічних фосфатів; вторинні фосфати поглинаються рослинами і мікроорганізмами і залучаються у біологічний синтез; формується фосфатний профіль ґрунту шляхом перенесення фосфору з нижніх шарів до верхніх, де він накопичується після відмирання корневих і рослинних решток; одночасно активізується міграція у складі органо-мінеральних комплексів, в т.ч., під впливом генетичних особливостей ґрунтоутворення (як приклад, накопичення фосфору в ілювіальних горизонтах глибоко солонцюватих і підзолистих ґрунтів); забезпечується постійний кругообіг фосфору в процесах мінералізації органічних фосфатів і їх поглинання рослинами і мікроорганізмами; регулюються втрати фосфору, обумовлені його виносом у складі органо-мінеральних комплексів з поверхневим і внутрішньоґрунтовим стоком і його накопичення у понижених елементах ландшафту [1].

З узагальнень [2] відомо, що залежно від вмісту фізичної глини в головних ґрунотвірних породах валовий вміст фосфору коливається від 20-35 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту до 105-125 мг за коливання вмісту фізичної глини від 6-10 до 56-65 %. Параметри біологічної акумуляції фосфору в орному шарі (0-30 см) у ґрунтах різного генезису відносно його вмісту в материнській породі змінюються від 109 ± 3 % у дерново-підзолистих супіщаних і піщаних ґрунтах до 170 ± 5 % у чорноземі типовому, досягаючи максимуму (600 ± 30 %) у буроzemах.

2. Аналіз результатів багаторічних досліджень

Акумуляція валового фосфору в орному шарі ґрунтів стаціонарних дослідів, що розміщені у Лісостепу і Степу, коливається від 168 % у сірому лісовому ґрунті до 187 % у чорноземі типовому (на перелозі) (Табл.1).

Беручи участь у трансформації фосфоровмісних мінералів, мікроорганізми сприяють утворенню мінеральних фосфатів і фосфорорганічних сполук, які стають прямим джерелом для живлення рослин. Частка органічного фосфору становить від 20 до 80 % від загального вмісту фосфору у ґрунтах і, за даними Семенова В.М. і Лебедевої Т.Н. [3], головним чином є залишками тіл мікроорганізмів.

Мікробний пул фосфору у ґрунтах характеризується значною варіацією і становить, за різними оцінками, біля 10 % від валового вмісту фосфору, який бере участь у процесах обміну протягом доби [4]. Зменшення швидкості мінералізації органічного фосфору спостерігається за різних систем землеробства: біодинамічна > органічна > мінеральна. Це означає, що збільшення у ґрунті мікробної біомаси обумовлює збільшення вмісту органічного зв'язаного фосфору. Разом з тим, компоненти мікробного пулу фосфору характеризуються здатністю значно швидше залучатися у процеси обміну. У лісовому ґрунті частка компонентів з часом обертуті менше 10 діб становить до 80 % мікробного фосфору, а швидкість потоку фосфору через мікробну біомасу досягає 100 мг/кг ґрунту [3].

Наші власні мікробіологічні дослідження в стаціонарному досліді на чорноземі типовому показали, що загальна кількість мікроорганізмів на високо удобреному фоні (P_{1200}) порівняно з природним фоном зростає в 1,3-2,2 рази. При цьому кількість фосфору, що міститься у мікробній масі в шарі 0-20 см збільшується від 35 до 42 кг/га P_2O_5 [5].

Органічні фосфати у ґрунтах є одним з головних резервів фосфору, адже за певних умов вони можуть мінералізуватися і стати доступними для рослин. Встановлено, що велике значення в цих процесах має співвідношення вмісту органічного вуглецю й органічних фосфатів. Відзначається, що чим меншим є значення відношення $C:P_{орг}$ і вищим рН ґрунту, тим менш стійкими є фосфорорганічні сполуки, представлені у ґрунті. Навпаки, за широкого відношення $C:P_{орг}$ утворюються більш стійкі важко гідролізні сполуки [6].

У досліджених нами найбільш поширених ґрунтах лісостепової і степової зон (всі ґрунти, крім сірого лісового, розміщені у Лівобережному Лісостепу) вміст органічних фосфатів коливається від 38 до 70 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту, збільшуючись разом із процентом органічного фосфору відносно валового в ряду «сірий лісовий ґрунт – темно-сірий опідзолений – чорнозем опідзолений – чорнозем звичайний – чорнозем типовий (переліг)» (Табл.1).

Таблиця 1.

Валовий вміст фосфору і параметри біологічної акумуляції в орному шарі ґрунтів

Ґрунт	Вміст P_2O_5 , мг на 100 г ґрунту		Вміст валового фосфору в орному шарі, % відносно материнської породи	$P_{орг}$, % від валового
	валовий	органічні фосфати		
Сірий лісовий (Лісостеп правобережний)	118,0	31,2	168	26,4
Темно-сірий опідзолений	131,2	48,2	179	36,8
Чорнозем опідзолений	107,9	55,2	174	51,5
Чорнозем типовий (переліг)	112,2	62,9	187	61,8
Чорнозем звичайний	121,0	50,4	176	41,7

Профільний розподіл вмісту органічних фосфатів у ґрунті прямо залежить від профільного розподілу вмісту гумусу. У чорноземі типовому (70-річний переліг) кількість фосфатів знижується майже в три рази від поверхневого шару до нижньої точки досліджень (Табл. 2).

При цьому коефіцієнт кореляції між вмістом органічного фосфору і вмістом гумусу становить 0.979, а залежність окреслюється прямою лінією згідно з таким рівнянням: $y = 23.0 + 9.3x$. Співвідношення між валовим і органічним фосфором також закономірно

змінюється з глибиною: частка органічних фосфатів від валового фосфору на глибині 140-160 см становить майже вдвічі менше, ніж в орному шарі ґрунту. Але ще більш істотно зменшується з глибиною відношення $C_{орг}:P_{орг}$, тобто, вміст гумусу у профілі зменшується інтенсивніше, ніж вміст органічних фосфатів.

Таблиця 2.

Розподіл вмісту фосфатів і вуглецю у профілі чорнозему типового (переліг)

Шар ґрунту, см	Вміст $C_{орг}$, %	Вміст фосфору, P_2O_5 , мг на 100 г ґрунту		$P_{орг}$, % від валового	$C_{орг}:P_{орг}$	Вміст P_2O_5 у гумусі, %
		валовий	органічні сполуки			
0-20	2,75	112,0	62,9	61,8	92	1,45
20-40	2,13	108,7	59,6	54,8	82	1,62
40-60	1,94	105,1	58,4	55,6	78	1,74
60-80	1,43	97,0	49,6	51,1	65	2,0
80-100	1,08	93,8	40,0	42,6	64	2,13
100-120	0,74	83,6	34,8	41,6	49	2,74
120-140	0,54	77,0	30,4	39,4	42	3,26
140-160	0,42	73,0	27,8	38,1	35	3,80

Вміст P_2O_5 у гумусі досліджених ґрунтів залежить від їх генетичних особливостей і закономірно знижується від сірого лісового до чорнозему звичайного, а відношення $C_{орг}:P_{орг}$, навпаки, зростає (Табл. 3). Як вважає П.А. Дмитренко [7], порівняно з чорноземами органічна речовина кислих ґрунтів містить більше фосфору через те, що в них переважають процеси акумуляції органічних фосфатів завдяки їх стабілізації після взаємодії з гідроксидами заліза та алюмінію.

Таблиця 3.

Вміст і співвідношення вуглецю і фосфору в орному шарі різних ґрунтів

Ґрунт	Вміст			$C_{орг}:P_{орг}$
	гумус, %	органічні фосфати, P_2O_5 , мг/100 г ґрунту	P_2O_5 у гумусі, %	
Сірий лісовий (Лісостеп правобережний)	2,4	31,2	1,59	84
Темно-сірий опідзолений	3,1	48,2	1,55	85
Чорнозем опідзолений	3,9	55,2	1,42	94
Чорнозем типовий (переліг)	4,0	56,0	1,39	97
Чорнозем звичайний	4,4	50,4	1,14	116

Зростання або зниження вмісту органічних фосфатів необхідно розглядати як результат певного співвідношення процесів мінералізації і синтезу органічної речовини ґрунту. Перетворення органічних сполук фосфору в мінеральні і навпаки відбувається багаторазово протягом одного вегетаційного сезону, і чим більше фосфору залучається в біологічний цикл, тим вищим є вміст у ґрунті лабільних фосфатів. У природних умовах ґрунтоутворення вміст органічних фосфатів (головним чином в орному і підорному шарах) тісно пов'язаний з кількістю гумусу. В інтенсивних системах землеробства важливим фактором зміни співвідношення між мінеральною й органічною формами фосфору є система удобрення культур.

За результатами власних досліджень [8] у багаторічному досліді на чорноземі типовому виявили, що вміст і розподіл у профілі ґрунту органічних фосфатів залежить від інтенсивності його використання (Табл. 4).

На ділянці перелігу (70 років) органічні фосфати ґрунту становлять близько 50 % валового вмісту фосфору з максимальними значеннями у шарах 0-20 і 20-40 см, які, відповідно, вирізняються і найбільшим умістом органічного вуглецю (Табл. 2). У варіанті абсолютного контролю, на якому протягом 39 років добрива не використовували, але систематично здійснювали необхідний за агротехнічними потребами культур сівозміни обробіток ґрунту, вміст органічних фосфатів у шарі 0-40 см є нижчим на 30-32 %. Істотно нижчим є вміст органічних фосфатів по всьому профілю до глибини 80-100 см, що

свідчить про високу інтенсивність процесів мінералізації та зменшення надходження цієї форми фосфатів з кореневими рештками через зниження темпів кругообігу фосфору у ґрунті на фоні його екстенсивного використання.

Таблиця 4.

Вміст і розподіл органічних фосфатів у профілі чорнозему типового за різного антропогенного навантаження

Шар ґрунту, см	Вміст органічних фосфатів, мг P ₂ O ₅ на 100 г ґрунту		
	переліг (70 років)	абсолютний контроль (без удобрення), щорічна оранка полицевим плугом	P ₁₈₀₀ (в запас) + подвійна норма NPK систематично ¹
0-20	62,9	38,8	117,6
20-40	60,0	37,5	110,4
40-60	58,4	33,1	103,4
60-80	49,6	32,2	93,4
80-100	40,0	32,2	84,8

¹ На цьому варіанті за весь період (з 1969 до 2008) разом із запасним внесенням (P₁₈₀₀), гною та систематичним застосуванням добрив у сівозміні, всього внесено N₃₁₄₀ P₄₆₆₀ K₂₈₆₀, післядія з 1990 р.

У варіанті з максимальним унесенням фосфору з мінеральними й органічними добривами (P₁₈₀₀ + подвійна доза систематично на фоні гною під культури сівозміні) вміст органічних фосфатів збільшився порівняно з перелогом практично удвічі по всій глибині профілю, що свідчить про наявність процесів переміщення цієї форми фосфору з верхнього, найбільш гумусованого горизонту, у нижні шари, а також можливе більш інтенсивне накопичення органічних решток, збагачених фосфором. Це підтверджується параметрами вмісту рухомих органічних речовин, які зростають по всій глибині профілю і в шарі 80-100 см є вищими, ніж на перелозі і контрольному варіанті.

В різних чорноземах вміст органічних фосфатів в орному шарі під впливом внесення в запас P₁₂₀₀ зростає у різних пропорціях (Табл. 5).

Таблиця 5.

Вплив інтенсивного удобрення на органічні фосфати чорноземів (орний шар)

Ґрунт	Збільшення вмісту P ₂ O ₅ , мг, в органічних сполуках на фоні P ₁₂₀₀		C _{орг} :P _{орг}		Вміст P ₂ O ₅ у гумусі, %	
	на 100 г ґрунту	на 100 г P ₂ O ₅ добрив	природний фон	P ₁₂₀₀	природний фон	P ₁₂₀₀
Чорнозем опідзолений	4,4	0,36	94	76	1,75	1,74
Чорнозем типовий	5,3	0,44	97	87	1,39	1,50
Чорнозем звичайний	10,4	0,87	116	90	1,21	1,44

Разом з тим, спостерігається значне зменшення співвідношення органічного вуглецю й органічного фосфору у зв'язку з підвищенням вмісту P₂O₅ у гумусі. Отже, ці ґрунти здатні активно залучати залишковий фосфор у біологічний кругообіг.

До складу органічних фосфатів ґрунтів входять різні сполуки, які поділяються на неспецифічні (негуміфіковані) фосфорорганічні сполуки (нуклеїнові кислоти, фітин, фосфатиди) і специфічні, що виникли в процесі гумусоутворення (фульвокислоти, гумінові кислоти і гуміни).

Різна природа цих сполук значною мірою визначає можливості використання фосфору, який входить до їх складу. В літературних джерелах [9,10] відзначається, що фосфор неспецифічних сполук рослини використовують ліпше, ніж фосфор гумінових і фульвокислот, через різну швидкість їх мінералізації.

Органічні фосфати у ґрунтах на 30-80 % представлені неспецифічними сполуками (нуклеїнові кислоти, фітин, фосфатиди), а кількість органічних сполук фосфору індивідуальної природи у ґрунтах не перевищує 10-15 % від загального вмісту гумусу.

Встановлено, що вміст фосфору у фульвокислотах є значно вищим, ніж у гумінових: амплітуда відсоткового вмісту фосфору у фульвокислотах становить 1,83-3,6 %, а в гумінових кислотах – 0,10-0,33 % [11].

В інтенсивному землеробстві, в т.ч. у разі запасного застосування високих доз фосфорних добрив на різних типах ґрунтів, фосфор накопичується в органічних сполуках (табл.6).

Як свідчать наведені результати досліджень, сполуки органічних фосфатів на фоні P_{1200} в орному шарі сірого лісового ґрунту накопичуються у формі неспецифічних сполук (від 22,4 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту до 27,4 мг) і у фульвокислотах (з 11,1 мг P_2O_5 до 16,6 мг), а на вміст фосфору в гумінових кислотах внесені добрива не впливають.

Таблиця 6.
Вплив добрив на фракційний склад органічних фосфатів

Ґрунт	Агрохімічний фон	Шар ґрунту, см	Вміст P_2O_5 , мг на 100 г ґрунту у сполуках органічних фосфатів		
			неспецифічні	специфічні	
				фульво-кислоти	гумінові кислоти
Сірий лісовий	природний	0-25	22,4	11,1	4,8
		25-40	11,7	10,6	2,7
	P_{1200}	0-25	27,4	16,6	4,0
		25-40	13,6	9,7	3,1
Чорнозем типовий	природний	0-20	23,1	20,9	2,4
		20-40	21,2	20,2	1,0
	P_{1200}	0-20	27,6	22,1	2,3
		20-40	21,9	21,4	1,0

У чорноземі типовому під впливом добрив зростає вміст, головним чином, неспецифічних сполук фосфатів на фоні P_{1200} , незначно збільшується вміст фосфору у фульвокислотах, і не впливають добрива на фосфор гумінових кислот.

Таким чином, у ґрунтах різних типів органічні фосфати накопичуються в орному шарі переважно у формі неспецифічних сполук і фульвокислот.

3. Висновки

В результаті проведених досліджень виявлено, що у формуванні фосфатного фонду ґрунтів беруть активну участь біологічні фактори, під впливом яких з первинних фосфоровмісних мінералів утворюються вторинні фосфати переважно у мінеральній і органічній формах. У багатівікових процесах ґрунтоутворення фосфор материнських порід поступово накопичується у профілі ґрунтів у зв'язку з його перенесенням у верхні шари ґрунту. На прикладі перелогового чорнозему типового встановлено тісний зв'язок між вмістом у його профілі гумусу та мінеральних й органічних фосфатів. Разом з тим, вміст фосфору у гумусі закономірно зростає від орного шару до материнської породи. При багаторічному екстенсивному використанні чорнозему типового (без застосування добрив) валовий вміст фосфору і його органічних форм зменшується. На фоні запасного і систематичного внесення фосфорних добрив фосфатний фонд чорнозему поліпшується: зростає валовий вміст фосфору й органічних фосфатів.

Список використаної літератури

1. Макаров М.И. Фосфор органического вещества. М.ГЕОС, 2009. 397 с.
2. Полупан М.І., Величко В.А. Номенклатура та діагностика еколого-генетичного статусу ґрунтів України для їх великомасштабного дослідження. К.: Аграрна наука, 2014. 494 с.
3. Семенов В.М., Лебедева Т.Н. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты. *Агрохимия*. 2015. №11. С. 3-12.
4. Basal organic phosphorus mineralization in soils under different farming systems /F. Oehl, E. Frossard, A. Fließbach [et al.]. *Soil. Biochem.* 2004. V.36. P. 667-675.
5. Действие высоких доз минеральных удобрений на свойства почв и урожай культур /Б.С. Носко В.В. Медведев, А.Д. Михновская [и др.]. *Агрохимия*. 1977. №6. С. 31-39.
6. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М. Наука. 1981. 242 с.
7. Дмитренко П.А. О содержании фосфора в органической части почв. *Почвоведение*. 1948. №8. С. 495-501.

8. *Вплив різних факторів і типів ґрунтових процесів на формування фосфатного фонду ґрунтів* /Б.С. Носко, В.І. Бабинін, Е.Ю. Гладких [та ін.]. *Вісник аграрної науки*. 2010. №7. С. 17-22.

9. McGill W.B., Cole C.V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, Sand P through soil organic matter. *Geoderma*. 1981. Vol. 26. P. 267-286.

10. Кривоносова Г.М., Левенець П.П. Доступність рослинам фосфору з фосфорорганічних сполук специфічної і неспецифічної природи. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 33. ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 1977. С. 9–14.

11. Бацула А.А., Кривоносова Г.М. Фосфор в гуминовых кислотах и фульвокислотах некоторых почв Украины. *Агрохимия*. №6. 1973. С. 24-26.

UDC: 631.811

To the issue on the formation of the phosphate soil fund

B.S. Nosko

NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

E-mail: pochva@meta.ua

The article is devoted to the analysis of the results of long-term research in stationary field experiments on the disclosure of the peculiarities of the participation of the soil biota in the processes of transformation of phosphorus-containing minerals of soil-forming rock and promoting the formation of secondary soil phosphates: initially mineral forms, and then, as a result of metabolism, and organic ones.

The purpose of the research is to establish the main laws of the influence of soil biota (plants, microorganisms and enzymes) on the content and distribution in the profile of various soils of gross phosphorus and its organic and mineral forms, depending on the intensity of agricultural use, on the perennial and arable lands. The research uses the results of a long-term field experiment laid out in 1969 on chernozem typical heavy-loamy, for six rotations of grain crop rotation, as well as generalized materials from field experiments on chernozems and podzolic soils and publications by other authors. As a result of the research, it was discovered that the biological factors involved in the formation of the phosphate base of soils are actively involved, with the formation of secondary phosphates in the mineral and organic forms from the primary phosphorus-containing minerals. In the process of soil formation, the phosphorus of the parent rock gradually accumulates in the soil profile due to its transfer to the upper layers of the soil.

On the example of the profile of the transitional chernozem typical, the existence of a close relationship between the content of humus and the mineral and organic forms of phosphates, as well as the growth of phosphorus content in humus in the direction from the arable layer to the parent rock, has been shown. Given the long-term extensive use of chernozem typical (without the use of fertilizers), the gross content of phosphorus and its organic forms decreases. In the background of the replacement and systematic introduction of phosphorus fertilizers, the phosphate fund of chernozem improves, and the gross phosphorus and organic phosphate content increase.

Key words: mineral and organic phosphorus; organic matter; mineralization; synthesis; organic fertilizers; phosphate fertilizers.