УДК: 631.811.2

Природна й антропогенна еволюція фосфатного фонду ґрунтів України

Б.С. Носко

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

ІНФОРМАЦІЯ

Отримано 26.04.2018
Отримано після доопрацювання 05.06.2018
Затверджено до друку 06.08.2018
Доступно онлайн 01.10.2018

Ключові слова:

ґрунт;
фосфатний фонд;
еволюція;
фосфатний профіль;
польовий дослід;
агрохімічне обстеження.

АНОТАЦІЯ

У статті узагальнено результати багаторічних досліджень в умовах польових стаціонарних дослідів та результати дев'яти турів великомасштабного агрохімічного обстеження ґрунтів України щодо визначення суті формування фосфатного фонду ґрунтів, познання закономірностей, швидкості та напрямів його агрогенної еволюції та особливостей формування фосфатного профілю удобрюваних орних ґрунтів. Виявлено, що велике значення для формування фосфатного фонду має відношення вмісту ґрунтового органічного вуглецю до вмісту органічних фосфатів. Відзначається, що чим нижче відношення С:Рорг. і вище значення pH ґрунтового розчину, тим менш стійкими є фосфорорганічні сполуки і навпаки, за широкого співвідношенні С:Рорг. утворюються більш стійкі важкогідролізовані сполуки. У найпоширеніших ґрунтах зон Лісостепу і Степу вміст органічних фосфатів коливається від 31 до 63 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту, збільшуючись від 26 до 62 % від валового фосфору в ряду сірий лісовий – темно-сірий опідзолений – чорнозем опідзолений – чорнозем звичайний – чорнозем типовий. Доведено, що вміст органічних фосфатів у ґрунтах прямо залежить від вмісту гумусу (коефіцієнт кореляції 0,979). У чорноземі типовому (70-річний переліг) їх кількість знижується від 62,9 мг P_2O_5 на100 г ґрунту в шарі 0-20 до 27,8 мг у шарі 140-160 см. Співвідношення Сорг.:Рорг. зменшується у профілі ґрунту ще більш істотно, тобто, вміст гумусу зменшується інтенсивніше, ніж вміст органічних фосфатів. У чорноземі типовому важкосуглинковому у досліді ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» після розорювання 40-річного перелогу в орному шарі ґрунту на контрольному варіанті за 30 років систематичної оранки найбільші зміни спостерігались у вмісті органічних фосфатів, кількість яких зменшилась від 62,2 до 38,8 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту, також зменшилась сума активних фосфатів – від 35,1 до 23,7 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту, але практично незмінним залишився вміст рухомих форм фосфатів (за Чириковим і Олсеном), що пояснюють високою буферністю чорнозему. Констатацією результатів дев'яти турів агрохімічного обстеження ґрунтів засвідчено позитивний тренд зростання середньозваженого вмісту рухомих форм фосфатів. За період з 1964-1970 рр. (перший тур) до 2006-2010 рр. (дев'ятий тур) він збільшився в середньому в Україні з 71 до 112 мг P_2O_5, у Поліссі - із 63 до 118 мг P_2O_5, у Лісостепу - з 81 до 106 мг P_2O_5, у Степу - з 67 до 120 мг P_2O_5 на кілограм ґрунту. У заключній частині статті перелічено одинадцять найактуальніших напрямів досліджень стосовно фосфору у ґрунтах сучасних агроекосистем, результати яких могли би забезпечити сприятливі умови для вирішення проблеми фосфорного живлення рослин у національному землеробстві.

1. Вступ

Серед усього комплексу факторів які, визначають родючість ґрунту, Д.М. Прянишников [1] головну роль відводив регулюванню кругообігу речовин, що забезпечують матеріальну основу врожаю. Особливе місце серед цих властивостей, як зазначав А.В. Соколов [2], належить фосфору у зв'язку з його визначальною роллю в біологічних процесах обміну речовин у рослинах: на його думку «без фосфора нет жизни».Фосфор пов'язаний з цілим рядом життєвих функцій і бере участь у процесах фотосинтезу, утворенні ядер і поділі клітин, у передачі спадковості. Фосфор забезпечує необхідну кількість енергії для здійснення синтетичних процесів (біосинтезу білків, жирів і сахарози).

В.Р. Вільямс, відзначаючи значення фосфору у ґрунтоутворенні, писав: «Единственным существенным и общим признаком всех почвенных образований, отличающих их от материнской породы, будет концентрация в почвенных образованиях под влиянием воздействия на материнскую породу биологических элементов почвообразования, тех веществ, которые являются необходимыми элементами зольной и азотной пищи растений и в наиболее яркой и общевыраженной форме – фосфора» (Цитовано за А.В. Соколовим, [2]).

Первинним і найважливішим джерелом фосфору для живих організмів є ґрунтотворна (материнська) порода, тому вміст цього елемента в породі і трансформацію фосфоровмісних мінералів під час вивітрювання можна вважати головним фактором, який регулює акумуляцію у ґрунті доступних для рослин фосфатів. Формування фосфатного

фонду ґрунтів забезпечує ґрунтова біота: під впливом мікроорганізмів відбувається трансформація первинних фосфоровмісних мінералів материнської породи, яка забезпечує утворення вторинних неорганічних і органічних фосфатів; поглинання вторинних фосфатів рослинами і мікроорганізмами та їх включення у біологічний синтез; формується фосфатний профіль ґрунту завдяки перенесенню фосфору з нижніх шарів до верхніх, в яких він накопичується після відмирання кореневих і рослинних решток; одночасно активізується міграція у складі органо-мінеральних комплексів, у т. ч. під впливом генетичних особливостей ґрунтоутворення (як приклад, накопичення фосфору в ілювіальних горизонтах глибокосолонцюватих і підзолистих ґрунтів); забезпечується постійний кругообіг фосфору в процесах мінералізації органічних фосфатів і їх поглинання рослинами і мікроорганізмами; регулюються втрати фосфору, обумовлені виносом у складі органо-мінеральних компонентів з поверхневим і внутрішньогрунтовим стоком і його накопичення у понижених елементах ландшафту (Макаров М.И.,[3]).

Фактично у природних умовах ґрунтоутворення складається замкнений кругообіг фосфору, який обумовлюється співвідношенням процесів гуміфікації і мінералізації органічної речовини і на певному етапі розвитку фосфатного фонду досягає стану рівноваги, яка зумовлена генетичними особливостями ґрунтів.

У природній еволюції фосфатного фонду ґрунтів чітко виділяється декілька послідовних етапів: трансформація фосфоровмісних мінералів материнської породи під впливом мікроорганізмів – утворення органічних і мінеральних форм фосфатів, прийнятних для споживання коренями рослин – поглинання коренями рослин рухомих форм фосфатів та їх транспортування у верхні шари ґрунту. З іншого боку, накопичення фосфору в рослинах після їх відмирання в цілинних ґрунтах збільшує його вміст у верхньому горизонті. Цьому також сприяє відмирання кореневих решток, збагачених фосфором, враховуючи, що в шарах 0-20 і 20-40 см зосереджується 70-80 % їх загальної маси.

2. Складові фосфатного фонду грунтів та його зв’язок з іншими властивостями

У проведених дослідженнях в стаціонарних дослідах виявлено, що валовий вміст фосфору в орному шарі основних за площами ґрунтів у зонах Лісостепу і Степу коливається від 168 % у сірому лісовому до 187 % у чорноземі типовому відносно материнської породи. Валовий фосфор в ґрунтах складається з органічної та мінеральної форми фосфатів. Вміст органічних фосфатів залежить від генетичних особливостей ґрунтоутворення (гранулометричного складу материнської породи, характеру рослинності, біологічної активності мікрофлори) і становить від 20 до 80 % від загального фосфору. Як свідчать дані А.М. Гребенщикова та інших [4], у коренях вміст фосфору у 3,5 раза більше ніж у надземній масі.

Органічні фосфати у ґрунтах є однією з головних резервних частин фосфору, які при певних умовах можуть мінералізуватися і стати доступними для рослин. Встановлено, що велике значення в цих процесах має відношення вмісту вуглецю до вмісту органічних фосфатів. Відзначається, що чим нижче відношення С:Рорг. і вище значення рН ґрунтового розчину, тим менш стійкими є фосфорорганічні сполуки, представлені у ґрунті. Навпаки, за широкого співвідношенні С:Рорг. утворюються більш стійкі важкогідролізовані сполуки.

У наших дослідженнях у найбільш поширених ґрунтах зон Лісостепу і Степу вміст органічних фосфатів коливається від 31 до 63 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту, збільшуючись від 26 до 62 % від валового фосфору в ряду сірий лісовий – темно-сірий опідзолений – чорнозем опідзолений – чорнозем звичайний – чорнозем типовий.

До складу органічних фосфатів 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). Вміст органічних фосфатів у ґрунтах прямо залежить від вмісту гумусу. У чорноземі типовому (70 річний переліг) їх кількість знижується від 62,9 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту в шарі 0-20 до 27,8 мг у шарі 140-160 см (Табл. 1). При цьому коефіцієнт кореляції між вмістом органічного фосфору і гумусу становить 0,979, а залежність окреслюється прямою лінією згідно з рівнянням: $y = 23,0 + 9,3x$. Співвідношення між валовим і органічним фосфором також закономірно змінюється з глибиною: якщо в орному шарі вміст органічних фосфатів становить більше 60 % від валового фосфору, то на глибині 140-160 см їх кількість не перевищує 38 %. Характерно, що співвідношення Сорг.:Рорг. зменшується з глибиною ще більш істотно, тобто, вміст гумусу зменшується інтенсивніше, ніж вміст органічних фосфатів.

Таблиця 1
Розподіл фосфатів і органічного вуглецю у профілі чорнозему типового (переліг)

Шар грунту, см	С орг., %	Фосфор, P_2O_5 мг на 100 г ґрунту		Рорг., від валового, %	С орг.: Р орг.	Вміст P_2O_5 у ґрунті, %
		Валовий вміст	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	1,93	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 залежить від генетичних особливостей ґрунту і закономірно зменшується від 1,59 у сірому лісовому ґрунті до 1,14 % у чорноземі звичайному, а відношення Сорг.:Рорг. зростає від 84 до 116. Підвищення насиченості органічної речовини фосфором у глибині профілю пояснюється міграцією по профілю органічних сполук, які зосереджуються, головним чином, у тонкодисперсній фракції та у фульвокислотах (М.И. Макаров, [3])

3. Агрогенна еволюція фосфатного фонду грунтів

Введення ґрунтів у сільськогосподарське використання обумовлює різкі зміни і співвідношення практично всіх процесів і властивостей: надходження у ґрунт органічних речовин і їх мінералізація, фізичні показники (погіршення структури) і водний режим, підкислення і декальцінація. На природний розвиток ґрунтоутворюючих процесів накладаються зміни, обумовлені життєдіяльністю людини. Узагальнюючи багаторічні досліди можна зробити висновок, що у більшості випадків сільськогосподарське використання ґрунтів обумовлює їх деградацію, при цьому направленість цих процесів є пропорційною антропогенному навантаженню на ґрунти. Агрогенна еволюція ґрунтів особливо інтенсивно проявилась в останні десятиріччя XX століття, що обумовлено широким розвитком у цей період всебічної хімізації сільського господарства, меліорації ґрунтів (зрошення, осушення), водної і вітрової ерозії, пов’язаної з розширенням площі просапних культур, техногенного забруднення важкими металами. В теперішній час (початок XXI століття) деградація ґрунтів пришвидшилась у зв’язку з високою інтенсифікацією виробництва, особливо під впливом порушення сівозмін і перенасиченості оброблюваних ґрунтів посівами соняшника і кукурудзи. На фоні практичної відсутності тваринництва різко зменшилися обсяги внесення органічних добрив.

Однією з найбільш помітних особливостей антропогенної еволюції ґрунтів є істотне перевищення її швидкості порівняно з природною еволюцією, характерною для непорушених людиною екосистем. Наприклад, утворення гумусового профілю у ґрунтах (особливо в чорноземах) є результатом багатовікового (близько 8-10 тисяч років) ґрунтоутворювального процесу. В агроекосистемах, після введення чорноземів у сільськогосподарське використання, у просапній сівозміні вміст гумусу і його запаси в орному і підорному шарах зменшились на 20-30 % всього за 100-200 років, про що свідчать результати порівняння цих показників з цілинними (або перелоговими) ґрунтами.

Пришвидшення процесів деградації ґрунтів в агроекосистемах не може не турбувати ґрунтознавців і агрохіміків. Останнім часом введені нові поняття, які характеризують ці процеси. У публікації А.М. Семенова і М.С. Соколова[5] на основі узагальнення численних друкованих джерел, висвітлено концепцію «здоров’я ґрунту». Згідно з їхніми даними, здоров’я ґрунту є функцією його екологічної стійкості, яка включає оптимально збалансовану й адаптивну до екоресурсів біорізноманітність педоценозу; самоочищення ґрунту від забруднюючих речовин; поглинання аборигенними ґрунтовими мікроорганізмами шкідливої біоти. Разом з тим, при визначенні здорового ґрунту агроекосистеми необхідно враховувати соціально-економічні аспекти, тобто, проблему збереження його родючості.

В.Н. Кудеярова, М.С. Соколов, А.П. Глинушкін [6], оцінюючи деградацію ґрунтів,

говорять про «патологію ґрунтів», яка свідчить про їх нездатність до самовідновлення родючості; такі ґрунти є «хворими». А одним з найважливіших напрямів відновлення життєвих функцій хворих ґрунтів є впровадження сучасних агротехнологій, які можуть забезпечити синтез і трансформацію ґрунтової органічної речовини, самоочищення від полютантів, патогенів і фітопатогенів, а також мобілізацію і метаболізм біофільних макро- і мікроелементів.

У роботі С.А. Балюка, В.В. Медведєва та інших [7] введено поняття нейтрального рівня деградації ґрунтів, який характеризується таким їх станом, коли кількість і якість земельних ресурсів, потрібних для підтримки екосистемних функцій, послуг і підвищення продовольчої безпеки, залишається сталою або збільшується у визначених часових та просторових режимах.

В.М. Семенов, Т.Н. Лебедева [8] вважають, що настав час перегляду деяких фундаментальних положень землеробства у зв'язку з необхідністю впровадження концепції стійкого сільського господарства, сутність якого полягає в інтегрованому виробництві рослинницької і тваринницької продукції, достатньої для забезпечення продуктами харчування і сировиною на невизначено довгий період. В основі стійкого сільського господарства повинні бути системи землеробства, адаптовані до специфічних умов агроландшафтів, продуктивні й екологічно безпечні з урахуванням концепції якості і здоров'я ґрунтів. Особлива роль належить «біологізації» джерел відновлення природної родючості ґрунту й «екологізації» застосування мінеральних і органічних добрив.

З метою оцінки швидкості та напрямів агрогенної еволюції фосфатного фонду ґрунтів ми (Б.С. Носко [9], Б.С. Носко, Є.Ю. Гладкіх [10]) узагальнили результати досліджень у багаторічних стаціонарних дослідах на чорноземах типових у дослідних господарствах Миронівського інституту пшениці та ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського».

За 18 ротацій 5-пільної сівозміни (90 років) у досліді Миронівського інституту пшениці на контрольному варіанті чорнозему типового вміст валового фосфору порівняно з цілиною дещо зменшився у шарі 0-20 см, але одночасно збільшився у підорному шарі (20-40 см), що пояснюється приорюванням степової повстини та рослинних решток під час розорювання цілини. На варіантах з органічною, мінеральною і органо-мінеральною системами удобрення встановлено збільшення вмісту валового фосфору відносно контролюна 33, 38 і 45 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту відповідно (Б.С. Носко, В.І. Бабинін та ін. [11]).

Вміст рухомих форм фосфатів, які визначаються за методами Чирикова, Олсена, Мачигіна, а також ступінь рухомості, за методами Карпінського-Зам'ятиної, Скофілда, в орному шарі зростають у 3-5 разів. У трансформації фосфатного фонду чорнозему типового і накопиченні рухомих форм фосфатів, крім безпосереднього впливудодатного балансу на удобрюваних варіантах, істотне значення належить динаміці загального і лабільного гумусу, а також підкисленню ґрунтового розчину, яке особливо спостерігається при мінеральній системі удобрення.

У чорноземі типовому важкосуглинковому у досліді ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» після розорювання 40-річного перелогу в орному шарі грунту на контрольному варіанті за 30 років систематичної оранки найбільші зміни спостерігались у вмісті органічних фосфатів, кількість яких зменшилась від 62,2 до 38,8 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту, що пов'язано, головним чином, з мінералізацією органічних речовин ґрунту; також зменшилась сума активних фосфатів від 35,1 до 23,7 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту (Табл. 2). Необхідно підкреслити практично незмінний (у межах допустимої помилки при аналізі) вміст рухомих форм фосфатів (за Чириковим і Олсеном) на контрольному варіанті, що свідчить про високу буферність чорнозему і його здатність протягом довгого часу підтримувати ці показники у рівноважному стані, незважаючи на від'ємний баланс фосфору, дефіцит якого досягає 800 кг P_2O_5 на гектар за 30 років сільськогосподарського використання чорнозему у просапній сівозміні.

Найбільш вагомий внесок у формування агрогенного профілю чорнозему типового на фоні розімкненого кругообігу належить органічним і мінеральним добривам, під впливом яких повністю змінюється структура фосфатного фонду ґрунту. На фоні 140 т/га гною (в середньому 8 т/га на рік) в третій-п'ятій ротаціях сівозміни встановлено збільшення вмісту в орному шарі валового й органічного фосфору, а також вмісту рухомих форм (за Чириковим і Олсеном). Ці зміни фактично відображають післядію органічних добрив, враховуючи, що остання норма гною була внесена у 1995 році.

Внесення добрив у варіанті P_{1800} трьома дозами (по 600 кг/га P_2O_5) за перші дві ротації сівозміни дало можливість встановити їх післядію на 26-й рік. На фоні позитивного балансу фосфору (за шість ротацій) практично всі показники фосфатного фонду на цьому варіанті значно перевищили відповідні дані перелогу (за винятком органічних фосфатів). В орному шарі валовий вміст фосфору зріс на 18 %, вміст рухомих форм – в 2-3 рази, сума

активних фосфатів на 33 %, в т. ч., фракції пухкозв'язаних фосфатів – на 33 % і Al-P, які є найближчим резервом для живлення рослин, – на 78 %, а ступінь рухомості збільшилась у 5 разів. Ще більш істотно структура фосфатного фонду змінилася відносно контрольного варіанту.

Таблиця 2
Післядія добрив на структуру фосфатного фонду чорнозему типового важкосуглинкового

Варіант	Шар, см	Вміст P_2O_5 на 100 г ґрунту, мг/100 г ґрунту									Ступінь рухомості, P_2O_5, мг/л
		Валовий	Органічний	Рухомий		Фракційний склад				Сума активних фосфатів	
				За Чириковим	За Олсеном	пухкозв'язані	Al-P	Fe-P	Ca-P		
Переліг, більше 75 років	0-20 20-40	125,0 113,0	62,2 60,0	5,0 4,7	1,6 1,1	0,13 0,07	8,7 6,1	12,9 7,0	13,4 13,1	35,1 26,2	0,06 0,03
Контроль (оранка без добрив, 30 років)	0-20 20-40	112,0 105,0	38,8 37,5	4,7 4,6	1,3 1,2	0,19 0,15	5,6 4,8	6,0 5,0	11,9 12,8	23,7 22,7	0,04 0,03
Гній, 140 т/га (фон)	0-20 20-40	117,1 109,3	45,5 40,6	5,4 5,3	2,0 1,2	0,31 0,12	6,8 5,3	8,4 6,9	12,1 11,7	27,5 24,0	0,04 0,03
Фон + P_{1800} (запасне внесення), післядія 25 років	0-20 20-40	148,2 129,3	55,1 54,5	11,7 10,7	4,8 3,8	0,26 0,14	15,2 11,1	12,2 11,6	19,2 17,0	46,9 39,9	0,3 0,2
Фон + P_{1800}+ 2N2P2K (систематично у сівозміні)[1]	0-20 20-40	159,4 134,6	117,6 110,4	17,3 13,6	10,1 7,1	1,25 0,65	32,2 21,9	18,5 13,0	20,5 18,8	72,5 54,4	0,7 0,2

[1] на цьому варіанті за період з 1969 до 2008 р. разом із запасним внесенням (P_{1800}), гноєм та систематичним застосуванням добрив у сівозміні, загальна кількість внесених поживних речовин становить N_{3140}, P_{4660}, K_{2860}, післядія з 1990 р.

4. Агрогенна еволюція фосфатного профілю ґрунту

Зміни фосфатного фонду чорнозему типового охоплюють профіль ґрунту до 60 см і більше. Таким чином, на фоні додатного балансу фосфору створюється агрогенний окультурений фосфатний профіль, головними відмінностями якого є підвищення вмісту усіх форм фосфатів, особливо найбільш доступних для живлення рослин їх фракцій.

Систематичне внесення подвійної дози NPK під культури сівозміни на варіанті «фон + P_{1800}» в запас сприяє ще більш інтенсивній еволюції фосфатного профілю, яка характеризується подальшим збільшенням вмісту фракцій фосфатного фонду. При цьому вміст головних складових фосфатного фонду - валового фосфору, органічного, рухомого і окремих фракцій, зростає у шарі 0-60 см. Разом з тим, вміст органічних фосфатів і найбільш лабільної їх частини (ступінь рухомості і вміст фосфору у лужній витяжці за Олсеном) змінюються до глибини 80-100 см. Тісний зв'язок цих показників з умістом органічних фосфатів підтверджує висновок про те, що їх переміщення з орного шару в глибину профілю відбувається, головним чином, у формі органо-мінеральних комплексів.

Таким чином, під впливом добрив у чорноземах формується агрогенний фосфатний профіль, який характеризується підвищеним умістом фракцій ґрунтових фосфатів, найбільш доступних для живлення рослин. При цьому тривалість післядії добрив, виявлена у стаціонарних дослідах, перевищує 25 років, що підтверджує виказані раніше положення про повільні темпи процесів кристалізації залишків фосфатів добрив, які при взаємодії з ґрунтом здатні протягом тривалого часу зберігати квазірівноважне співвідношення всіх форм ґрунтових фосфатів на фоні поступового насичення фосфатної ємності і надходження збагачених фосфором рослинних решток.

5. Багаторічна динаміка фосфатного фонду за результатами великомасштабного агрохімічного обстеження орних ґрунтів

Наведені результати досліджень агрогенної еволюції фосфатного фонду чорноземів підтверджуються узагальненими даними за 9 турів великомасштабного агрохімічного обстеження ґрунтів.

Великомасштабне агрохімічне обстеження орних земель в Україні розпочалося у 1964 році після створення спеціальної агрохімічної служби. До того часу застосування мінеральних добрив було обмеженим. Їх використовували, головним чином, у зоні буряківництва (переважно у Лісостепу). Баланс фосфору в землеробстві в цілому був гостродефіцитним, тому результати першого туру агрохімічного обстеження фактично зафіксували дані про вміст рухомого фосфору, який був зумовлений генетичними особливостями ґрунтів кожної природної зони, головним чином, гранулометричним складом ґрунтотворних порід і ступенем гумусованості.

Результати першого туру обстеження засвідчили наявність зональності у забезпеченні ґрунтів рухомими формами фосфору: середньозважений його вміст становив у Поліссі – 6,3, у Лісостепу – 8,1 і в Степу – 6,7 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту, усереднені данні по Україні не перевищували 7,1 мг P_2O_5 на 100 г ґрунту.

Підвищення темпів хімізації за період від 1966-1970 рр. до 1986-1990 рр. забезпечили зростання обсягів застосування мінеральних і органічних добрив, на фоні яких інтенсивність балансу фосфору збільшилась до 165 %. Щорічне перевищення надходження фосфору з добривами відносно його виносу з урожаями становило більше 21,0 кг/га, що безумовно, сприяло загальному збільшенню його середньозваженого вмісту в ґрунтах завдяки накопиченню залишкових фосфатів.

Узагальненням результатів дев'яти турів агрохімічного обстеження ґрунтів засвідчено позитивний тренд зростання середньозваженого вмісту рухомих форм фосфатів. За період з 1964-1970 рр. (перший тур) до 2006-2010 рр. (дев'ятий тур) він збільшився в середньому в Україні з 71 до 112 мг P_2O_5, у Поліссі - із 63 до 118 мг P_2O_5, у Лісостепу - з 81 до 106 мг P_2O_5, у Степу - з 67 до 120 мг P_2O_5на кілограм ґрунту. Необхідно відзначити значний вплив на фосфатний фонд ґрунтів різного роду меліорацій (зрошення та осушення ґрунтів, вапнування та гіпсування), боротьба з ерозією ґрунтів, впровадження енерго- і ресурсозбережувальних технологій обробітку та інше.

Починаючи з 1991-1995 рр. в Україні зменшились обсяги застосування органічних і мінеральних добрив, а також площі вапнування кислих ґрунтів. За умов дефіцитного балансу NPK в усіх ґрунтово-кліматичних зонах і в Україні в цілому, визначився явний низхідний тренд середньозваженого вмісту рухомих форм фосфору.

Спостерігається зростання дефіциту у балансі фосфору: від – 20,3 кг у 1996-2000 до 27-31 кг P_2O_5 на кілограм ґрунту у 2001-2013 рр., що обумовило зменшення середньозваженого вмісту фосфору від 112 мг P_2O_5 на кілограм ґрунту до 93 мг. Узагальненні дані свідчать, що найбільш швидкими темпами зменшення середньозваженого вмісту рухомих форм фосфору відбувається у ґрунтах Полісся, які характеризуються легким гранулометричним складом. Навпаки, на суглинкових ґрунтах Лісостепу і Степу ці зміни є значно повільнішими.

Таким чином, практично на всій площі ґрунтів, які знаходяться у сільськогосподарському використанні, з кожним роком зменшуються вміст рухомих форм фосфатів, що обумовлює нестачу в живленні рослин цим елементом, а також зниження ефективності азотних добрив, які зараз значно переважають у співвідношенні: $N:P_2O_5:K_20$ (у 2013 році воно становило 1:0,2:0,2).

6. Перспективні напрями майбутніх досліджень

Серед головних завдань, які наразі стоять перед землеробами, є зменшення дефіциту вмісту доступного рослинам фосфору в ґрунті шляхом збільшення обсягів застосування фосфорних добрив, у т. ч. з місцевих сировинних ресурсів (органічні добрива, фосфорити й апатити, сапропелі, торф, пожнивні й кореневі рештки), а також шляхом вапнування кислих ґрунтів і боротьби з водною і вітровою ерозією.

Важливим фактором у вирішенні проблем активізації фосфатного живлення рослин є розробка наукових рекомендацій для працівників сільськогосподарського виробництва. Незважаючи на тривалий період дослідження фосфатного режиму ґрунтів існує багато питань, вивчення яких, на нашу думку, може значною мірою поліпшити обґрунтування оптимізації доз і співвідношення N:P:K при застосуванні фосфорних добрив. Серед найперспективніших напрямів досліджень можуть бути такі:

- закономірності поглинання і переходу фосфору добрив у важкорозчинні сполуки

у зв'язку з генетичними особливостями ґрунту;

- питання комплексного використання фосфорних добрив у поєднанні з пестицидами, стимуляторами росту, інгібіторами нітрифікації та ретардантами;
- розробка теоретичних основ фосфатного живлення рослин у зв'язку з потенційною продуктивністю генотипів високопродуктивних сортів;
- теоретичне обґрунтування процесів та розробка математичних моделей трансформації, мобілізації та іммобілізації фосфору в системі «добриво – ґрунт – рослина»;
- поглиблення вивчення взаємодії фосфору з іншими елементами живлення та іншими речовинами з метою запобігання розвитку процесів метаболізму і надходження в рослини токсичних елементів;
- систематичні дослідження балансу фосфору в землеробстві різних регіонів у зв'язку із загрозою орієнтації господарств на обмежену структуру посівів (порушення науково-обґрунтованих сівозмін) та дослідження особливостей поглинання фосфору культурами і відчуження за межі поля;
- оцінка впливу фосфорних добрив на агрохімічні і фізико-хімічні параметри ґрунтів (зміна кислотності ґрунтового розчину та вмісту обмінних катіонів), на вміст і співвідношення легкорозчинних форм поживних речовин (N:P:K) та накопичення залишкових фосфатів;
- об'єктивна еколого-агрохімічна, грунтово-екологічна й еколого-землеробська оцінка агроекосистеми на основі аналізу й узагальнення накопичених експериментальних матеріалів;
- обґрунтування антропогенно залежних змін фосфатного фонду, як складової частини класифікації ґрунтів (агроземи);
- поглиблення досліджень біологічного кругообігу фосфору в різних агроекосистемах (цілина – переліг – орний ґрунт);
- визначення ролі фосфатного режиму, як показника «здоров'я» ґрунту в умовах різної інтенсивності деградаційних процесів.

Наведені напрями перспективних досліджень фосфатного режиму є орієнтовними і не виключають можливості їх доповнення у зв'язку з накопиченням результатів його вивчення та публікацій у вітчизняних та зарубіжних виданнях.

Список використаної літератури

1. *Прянишников Д.Н.* Избран. соч. Т. III. М.: Издат. АН СССР. 1952. 630 с.
2. *Соколов А.В.* Агрохимия фосфора . М.-Л.: Издат. АН СССР. 1950. 150 с.
3. *Макаров М.Н.* Фосфор органического вещества. М.: ГЕОС. 2009. 397 с.
4. *Длительность распашки* миграционно-мицелярных черноземов как фактор агроэволюции их плодородия в условиях среднерусской степной провинции / А.М. Гребенников, И.Е. Королева, Т.В. Титова (и др.). *Агрохимия*. 2017. № 5. С. 12-23.
5. *Семенов А.М., Соколов М.С.* Концепция здоровья почвы: фундаментально-прикладные аспекты обоснования критериев оценки. *Агрохимия.* 2016. № 1. С. 3-16.
6. *Кудеяров В.М., Соколов М.С., Глинушкин А.П.* Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному использованию. *Агрохимия*. 2017. № 6. С. 3-11.
7. *Сучасні проблеми деградації* ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня / С.А. Балюк В.В. Медведєв, Л.І. Воротинцева, В.В. Шимель. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 8. С. 5-11.
8. *Семенов В.М., Лебедева Т.Н.* Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические факты. *Агрохимия*. 2015. № 11. С. 3-12.
9. *Носко Б.С.* Закономерности формирования агрогенного профиля черноземов типичных Лесостепи Украины после распашки целины и многолетней залежи. *Почвоведение*. 2013. № 3. С. 359-371.
10. *Носко Б.С., Гладкіх Є.Ю.* До проблеми трансформації та тривалості післядії фосфорних добрив у чорноземах. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 5. С. 11-15.
11. *Післядія добрив на фосфатний* режим чорноземів України / Б.С. Носко, В.І. Бабинін, Л.М. Бурлакова, Н.П. Копоть. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 12. С. 17-22.

UDC 631.811.2

Natural and anthropogenic evolution of the phosphate fund for soils in Ukraine

B.S. Nosko

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

The article summarizes the long term research results in the field stationary experiments and the results of nine tours of large-scale agro-chemical survey of soils in Ukraine regarding the determination of the essence of the formation of

phosphate fund of soils, knowledge of the regularities, velocities and directions of its agro-evolution and the peculiarities of the formation of the phosphate profile of fertilized arable soils. It is revealed that the importance of forming a phosphate fund is the ratio of the content of soil organic carbon and the content of organic phosphates. It is noted that the lower the ratio Corg:Porg and higher the pH value of the soil solution, the less resistant are organophosphorus compounds. And vice versa, in a broad ratio more stable difficult hydrolyzed compounds are formed. In the most widespread soils of the Forest-Steppe and Steppe zones, the organic phosphate content ranges from 31 to 63 mg of P_2O_5 per 100 g of soil, increasing from 26 to 62 % of total phosphorus in the following sequence of soils: gray forest - dark gray podzolized – chernozem podzolized – chernozem ordinary - chernozem typical. It is proved that the content of organic phosphates in soils directly depends on the content of humus (r = 0.979). In chernozem typical (70- years fallow land) their number is reduced from 62.9 mg P_2O_5 per 100 g of soil in a layer of 0-20 cm to 27.8 mg in a layer of 140-160 cm. Corg:Porg value decreases with depth even more significantly, that is, the content of humus decreases more intensively than the content of organic phosphates. In chernozem typical heavy-loam in the field experiment of the NSC ISSAR O.N. Sokolovsky after the plowing of a 40-year-fallow land feather in an arable layer of soil on a control plot for 30 years of systematic plowing, the greatest changes were observed in the content of organic phosphates. The amount of phosphates decreased from 62.2 to 38.8 mg P_2O_5 per 100 g of soil. Also, the amount of active phosphates decreased from 35.1 to 23.7 mg P_2O_5 per 100 g of soil, but the content of mobile forms of phosphates (according to Chirikov and Olsen) remained virtually unchanged, which explains the high buffer of chernozem. The conclusion of the results of nine tours of agrochemical survey of soils showed a positive trend of growth of the average weighted content of mobile phosphate forms. During 1964-1970 (first tour) to 2006-2010 (ninth tour), it has increased on average in Ukraine from 71 to 112 mg P_2O_5, in Polissya - from 63 to 118, in the Forest-Steppe - from 81 to 106 and in the Steppe - from 67 to 120 mg P_2O_5 per kilogram of soil. The final part of the article lists the 11 most relevant research areas concerning phosphorus in soils of modern agroecosystems, whose results could provide favorable conditions for solving the problem of phosphorus nutrition of plants in national agriculture.

Key words*: soil; phosphate fund; evolution; phosphate profile; field experiment; agrochemical survey.*