



**Г.М. Господаренко,**  
доктор сільськогосподарських наук, професор  
Уманського національного університету садівництва  
м. Умань, Україна  
E-mail: Hospodarenko@gmail.com



**О.Д. Черно ,**  
кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Уманського національного університету садівництва  
м. Умань, Україна  
E-mail: o.cherno@ukr.net



**К.П. Леонова,**  
кандидат сільськогосподарських наук  
Уманського національного університету садівництва  
м. Умань, Україна  
E-mail: leonova\_katya@ukr.net

## ТРАНСФОРМАЦІЯ СПЛУК ФОСФОРУ ЧОРНОЗЕМУ ОПІДЗОЛЕНОГО ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ В ПОЛЬОВІЙ СІВОЗМІНІ

**Анотація.** Валовий вміст фосфору та його розподіл між фракціями ґрунтових фосфатів залежить від генетичних особливостей ґрунту та впливу різних чинників, у тому числі антропогенних. Мета проведеного дослідження – вивчення зміни вмісту та фракційного складу мінеральних фосфатів у чорноземі опідзоленому важкосуглинковому Правобережного Лісостепу після тривалого (55 років) застосування різних систем удобрення в польовій сівозміні. Відбір ґрунтових зразків проведено з шарів ґрунту, см: 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100. Фракційний склад мінеральних фосфатів у ґрунті визначали за методом Чанга та Джексона в модифікації Гінзбург–Лебедевої. Встановлено, що чорнозем опідзолений важкосуглинковий Правобережного Лісостепу характеризується досить високими потенційними можливостями щодо забезпечення рослин фосфором. Після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні вміст валового  $P_2O_5$  змінюється від 0,07 % до 0,11 % залежно від варіанту досліду та шару ґрунту (за вмісту на перелозі 0,07–0,10 %). Встановлено, що під впливом біологічних, кліматичних і агротехнологічних чинників у фосфатному фонді чорнозему опідзоленого в часі проходять значні зміни, які включають одночасну трансформацію й перегрупування всіх фракцій сполук ґрунтового фосфору. Важкорозчинні фосфати перетворюються в активні форми, переходять у ґрунтовий розчин і стають потенційно доступними рослинам. Вплив тривалого застосування різних систем удобрення в польовій сівозміні на вміст і рухливість мінеральних фосфатів у чорноземі опідзоленому важкосуглинковому є суттєвою. На частку мінеральних фосфатів у верхньому шарі (0–20 см) чорнозему опідзоленого припадає 67 % за мінеральної до 61 % від валового фосфору за органічної системи удобрення. Основна частка мінеральних фосфатів у чорноземі опідзоленому важкосуглинковому представлена фосфатами кальцію Са–Р, що визначається генетичними особливостями цього підтипу ґрунту. За вмістом фракції мінеральних фосфатів у шарі ґрунту 0–20 см можна подати у вигляді такого ряду: Са–РІІ > Са–РІІІ > Са–РІ > Fe–Р > Al–Р. Фосфатний рівень чорнозему опідзоленого можна підвищувати внесенням добрив. Цьому сприяє низка чинників: збереження в ґрунті фосфору добрив у доступній формі, практична відсутність втрат у результаті міграції по профілю ґрунту і в навколишнє природне середовище.

**Ключові слова:** чорнозем опідзолений важкосуглинковий, переліг, валовий фосфор, фракційний склад мінеральних фосфатів, системи удобрення, польова сівозміна.

**Н.М. Hospodarenko,**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agricultural Chemistry and Soil Science, Uman National Horticulture University (Uman), Ukraine

**O.D. Cherny,**

PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Chemistry and Soil Science, Uman National Horticulture University (Uman), Ukraine

**K. P. Leonova,**

PhD of Agricultural Sciences, Lecturer of the Department of Agricultural Chemistry and Soil Science, Uman National Horticulture University (Uman), Ukraine

## TRANSFORMATION OF PHOSPHORUS COMPOUNDS OF BLADED BLACK SOIL UNDER DIFFERENT FERTILIZATION SYSTEMS IN FIELD CULTIVATION

The gross phosphorus content and its distribution between the fractions of soil phosphates depends on the genetic characteristics of the soil and the influence of various factors, including anthropogenic. The purpose of the study is to study the change in the content and fractional composition of mineral phosphates in chernozem podzolic heavy loam of the Right Bank Forest-Steppe after long (55 years) application of various fertilizer systems in field crop rotation. Sampling of soil samples was carried out from soil layers, cm: 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100. The fractional composition of mineral phosphates in the soil was determined by the method of Chang and Jackson in the Ginzburg-Lebedeva modification. It is established that chernozem podzolic heavy loam of the Right-Bank Forest-Steppe is characterized by rather high potential opportunities for providing plants with phosphorus. After long-term application of fertilizers in the field crop rotation, the content of gross  $P_2O_5$  varies from 0,07 % to 0,11 %, depending on the variant of the experiment and the soil layer (for the content of 0.07–0.10 % on the fallow land). It is established that under the influence of biological, climatic and agro-technological factors in the phosphate fund of podzolic chernozem significant changes take place over time, which include simultaneous transformation and regrouping of all fractions of soil phosphorus compounds. Insoluble phosphates are converted into active forms, converted into soil solution and become potentially available to plants. The influence of long-term application of different fertilizer systems in field crop rotation on the content and mobility of mineral phosphates in chernozem podzolic heavy loam is significant. The share of mineral phosphates in the upper layer (0–20 cm) of podzolic chernozem is 67% for mineral to 61% of gross phosphorus for organic fertilizer system. The main share of mineral phosphates in podzolic heavy loam chernozem is represented by calcium phosphates Ca – P, which is determined by the genetic features of this subtype of soil. According to the content of mineral phosphate fraction in the soil layer 0–20 cm can be presented in the following series: Ca – PII > Ca – PIII > Ca – PI > Fe – P > Al – P. The phosphate level of podzolic chernozem can be increased by applying fertilizers. This is facilitated by a number of factors: the preservation of phosphorus fertilizers in the soil in an accessible form, the practical absence of losses due to migration in the soil profile and the environment.

**Key words:** heavy loam podzolic chernozem, fallow land, gross phosphorus, fractional composition of mineral phosphates, fertilizer systems, field crop rotation

**Постановка проблеми.** На родючість чорноземних ґрунтів та ефективність добрив значно впливає їх фосфатний режим, тому в землеробстві України проблема фосфору є однією з найбільш важливих. Фосфатний режим ґрунтів вважається характерною ознакою їх родючості, а його поліпшення – показником окультурення [13, 21]. Забезпеченість рослин необхідною кількістю фосфору залежить від його запасів у ґрунті, ступеня рухомості та низки умов, які впливають на його засвоєння з ґрунту й внесених добрив. Не дивлячись на відносно значні запаси, чорноземи України мають середню здатність забезпечувати рослини фосфором. Тому важливим завданням землеробства є формування додатного балансу фосфору з метою відновлення та створення у ґрунтах оптимально-го фосфатного рівня [14, 25].

Загальний вміст фосфору, характер розподілу по профілю, частка мінеральних фракцій фосфатів та інші показники визначають ступінь окультуреності ґрунту [4]. У зв'язку з цим актуальним є дослідження фосфатного стану чорнозему опідзоленого за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні.

**Аналіз останніх досліджень.** За своїми хімічними властивостями фосфор має складну природу взаємодії з різними складовими ґрунту, що визначає велику кількість різних форм, реакцій, сполук і комплексів. Це значно утруднює оцінювання здатності ґрунтів забезпечувати рослини фосфором [14, 21]. У ґрунті фосфорні добрива піддаються різним перетворенням з утворенням як мінеральних, так і органічних фосфатів. Тому доступність рослинам фосфору добрив визначається не внесеними сполуками, а новоутвореними у ґрунті. Встановлено [14], що фосфор добрив переходить у форми фосфатів пропорційно їх вмісту в неудобреному ґрунті, але це стосується не всіх ґрунтів. У чорноземах розподілення новоутворених фосфатів неідентичне природним аналогам [14, 17]. Характер перетворення фосфору добрив, склад і властивості утворених фосфатів залежить від мінералогічного і гранулометричного складу ґрунту, вмісту у ньому органічних речовин [7, 14], видів, доз і форм внесених добрив, ступеня окультуреності ґрунту [11, 17], але головне значення в цих процесах належить кислотності ґрунту [4, 5, 14, 18].

За даними [14, 17] застосування мінеральних добрив сприяє збільшенню вмісту в ґрунті кількості активних форм фосфатів, які мають вищу рухомість порівняно з природними сполуками. За невисоких доз фосфорних добрив зміни зазвичай незначні [3], а за додатного балансу фосфору в усіх ґрунтах проходить накопичення

залишкових його кількостей, які зачіпають всі форми ґрунтових фосфатів [8, 14, 17].

Фіксація фосфору добрив ґрунтом є важливим чинником створення оптимального фосфатного режиму. Для чорноземів вона змінюється в досить широких межах – від 300–1000 мг  $P_2O_5$ /кг у шарі 0–20 см [15] і збільшується з глибиною [19]. Тому більшість учених під час дослідження впливу добрив на вміст загального фосфору в ґрунті обмежувалися аналізом лише його верхніх шарів.

Переміщення фосфору по профілю ґрунту залежить від його гранулометричного складу, доз і форм добрив, тривалості їх застосування, попереднього удобрення фосфором, реакції ґрунтового розчину, глибини та інтенсивності обробітку ґрунту [1, 10, 24, 12]. У природних умовах воно відбувається у формах комплексних органо-мінеральних сполук, які в 3–6 разів мають вищу міграційну здатність порівняно з мінеральними сполуками [20]. Тому можливе навіть переміщення фосфору добрив у підґрунтя [1, 9]. Це необхідно враховувати під час оцінювання фосфатного режиму ґрунту, розрахунку балансу, аналізу процесів трансформації і міграції фосфору [14].

Отже, зміни фосфатного стану чорноземів під впливом тривалого застосування добрив залишаються не повністю вивченими.

**Мета роботи** – встановити зміни валового вмісту фосфору та фракційного складу мінеральних фосфатів у чорноземі опідзоленому після тривалого застосування різних систем удобрення в польовій сівозміні.

**Умови і методика досліджень.** Дослідження проведені на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому на лесі Правобережного Лісостепу після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні у стаціонарному досліді (номер реєстрації НААН України 88) Уманського національного університету садівництва [16]. Під час закладання досліді (1964 р.) шар ґрунту 0–20 см характеризувався такими агрохімічними показниками: вміст гумусу (за методом Тюрина) – 3,31 %;  $pH_{KCl}$  – 6,2; гідролітична кислотність – 2,5 смоль/кг; ступінь насиченості основами – 95 %; вміст азоту легкогідролізованих сполук (за методом Тюрина–Конової) – 48 мг/кг; рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирикова) відповідно 122 і 135 мг/кг. У сівозміні застосовували органічну, мінеральну та органо-мінеральну системи удобрення. Доза мінеральних добрив становила  $N_{45}P_{45}K_{45}$ , органічних – 18 т (у перші 20 років проведення досліді – 13,5 т) гною на 1 га сівозмінної площі. За органо-мінеральної системи удобрення дози основних елементів живлення урівняно з відповідними до-

зами мінеральної системи.

Розмір дослідної ділянки 180 м<sup>2</sup>. У досліді під основний обробіток ґрунту – оранку або дискування, залежно від культури, вносили згідно схеми досліді суперфосфат гранульований і калій хлористий, а під передпосівну культивування та в підживлення пшениці озимої – селітру аміачну. Для виявлення змін природного фосфатного стану ґрунту застосовували метод аналітичних досліджень на ключі-аналозі – неораному цілинному масиві (перелозі) з часу закладання тривалого досліді.

На кожному варіанті у двох несуміжних повтореннях досліді відбирали зразки ґрунту з шару, см: 0–20, 20–40, 40–60, 60–80 і 80–100. Визначення вмісту валового фосфору проводили за ДСТУ 4290 [23]; фракційного складу мінеральних фосфатів – за методом Чанга та Джексона в

модифікації Гінзбург–Лебедевої – послідовне оброблення ґрунту різними розчинниками – сумішшю 1%-го розчину сульфату амонію і 0,25%-го розчину молібдату амонію, сумішшю 0,5 н розчину оцтової кислоти і 0,25%-го розчину молібдату амонію, 0,5 н розчину фториду амонію, 0,1 н розчином їдконого натру, 0,5 н розчином сірчаної кислоти. Остаточне визначення фосфору проводили за методом Деніже у модифікації Труога–Майєра на фотоколориметрі [11].

Інтерпретацію отриманих результатів проведено з використанням програм Microsoft Office та STATISTICA 12.

**Основні результати досліджень.** Встановлено, що тривале застосування добрив у польовій сівозміні значно впливає на фосфатний фонд ґрунту (табл. ).

Таблиця  
**. Вміст валового фосфору в ґрунті після тривалого (55 років) застосування різних систем удобрення в сівозміні, мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг**

Шар ґрунту, см	Варіант досліді					НІР <sub>05</sub>
	Переліг	Без добрив (контроль)	N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	Гній 18 т	Гній 4,5 т + N <sub>22</sub> P <sub>34</sub> K <sub>18</sub>	
0–20	1008	934	1056	921	1027	52
20–40	774	731	864	792	882	31
40–60	757	731	751	789	767	23
60–80	742	728	746	761	750	23
80–100	736	724	740	749	738	22
НІР <sub>05</sub>	32	39	41	37	40	23

Як видно з даних табл. 1, найбільші зміни вмісту фосфору проходять у шарі ґрунту 0–20 см і значно менше – 20–40 см. Збільшення вмісту фосфору в шарі ґрунту 20–40 см на удобрених ділянках пояснюється механічним переміщенням фосфорних добрив під час оранки на двох полях під буряк цукровий на 30–32 см і на двох полях під кукурудзу на 25–27 см. Вниз по профілю вони затухають і вже в глибших шарах ґрунту істотної різниці не виявлено. Це пояснюється сильним поглинанням сполук фосфору ґрунтом.

Звертають на себе увагу дані профільного розподілу загального фосфору на ділянках без добрив. Одні вчені [6] вважають, що це приводить до значного зниження вмісту фосфору у верхньому шарі ґрунту. В той же час в іншому досліді зміни вмісту фосфору після 4-х ротаций сівозміни були зумовлені його перерозподілом – зменшенням у шарі 0–20 см і деяким збільшенням у шарі 20–60 см [14].

Достовірні зміни вмісту загального мічені для шару ґрунту 0–60 см. Це пояснюється біологічним переміщенням фосфору кореневими системами рослин з нижніх шарів ґрунту у верхні за його вилучення з урожаєм.

На ділянках, де застосовували добрива, вміст загального фосфору підвищувався як у шарі 0–20 см, так і в більш глибоких шарах. Проте необхідно відмітити, що за органічної системи удобрення достовірні зміни відмічені лише в шарі 0–20 см, тоді як за мінеральної і органічно-мінеральної – у шарі 20–40 см вміст фосфору порівняно з перелогом також збільшувався відповідно на 12 і 14 %. За органічної системи удобрення, порівняно з мінеральною, відмічено переміщення сполук фосфору в шар ґрунту 40–60 см.

Отже, визначення вмісту загального фосфору в шарі 0–100 см після тривалого застосування добрив дає більш

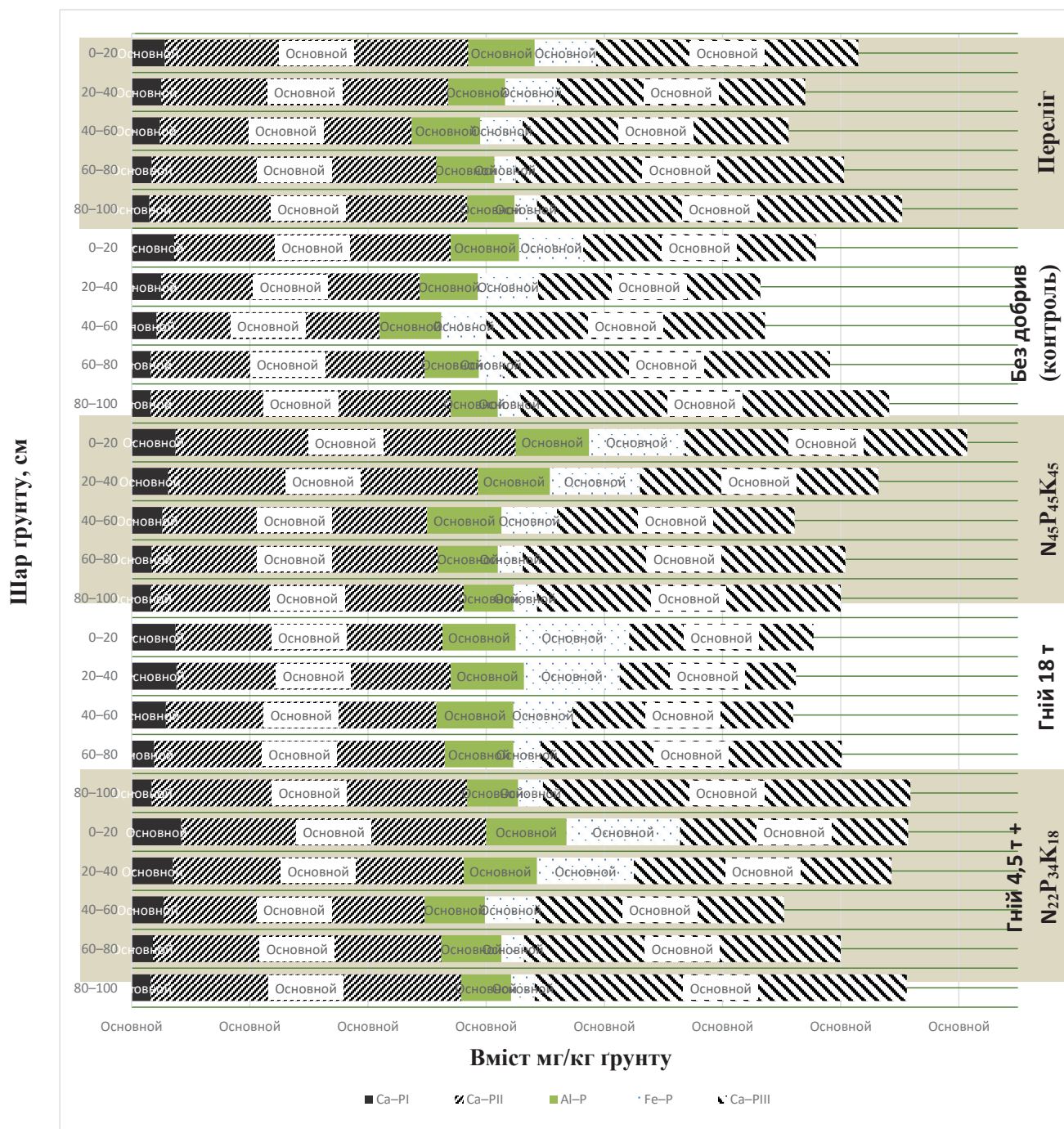
достовірну інформацію про його витрати і надходження, низхідного переміщення за механічного обробітку ґрунту, вимивання у вигляді розчинів і з колоїдними часточками та органо-мінеральними сполуками і висхідного – кореневими системами рослин з більш глибоких шарів ґрунту.

Залежно від варіанту досліді і шару ґрунту сума мінеральних фосфатів становить 532–707 мг/кг, або 61–89 % від вмісту валового фосфору. При цьому з глибиною частка мінеральних фосфатів збільшується (рис.).

Вміст фосфатів фракції Са–PI, яка представлена фосфатами лужних і лужноземельних металів, у шарі ґрунту 0–20 см становить 28–42 мг/кг залежно від варіанту досліді. Вміст різноосновних фосфатів кальцію (Са–PII), що менш доступні для рослин, більший – 226–288 мг/кг. Значну частку суми мінеральних фосфатів займають тризаміщені фосфати кальцію (Са–PIII) – 28–36 % залежно від варіанту досліді. Сума фосфатів алюмінію та заліза у середньому становить 136 мг/кг (22 %).

Розподіл фракцій по профілю ґрунту різний. Максимальний вміст фосфатів Са–PI встановлений у верхньому шарі ґрунту (0–20 см) з різким зменшенням вниз по профілю. У шарі ґрунту 20–40 см їхня кількість знижується, але залишається на вищому рівні, порівняно з глибшими шарами ґрунту. Мінімальний вміст фосфатів Са–PI був у шарі 60–100 см, що, ймовірно, обумовлено збільшенням карбонатності ґрунту.

Для внутрішньопрофільного розподілу фосфатів Са–PII характерне деяке збільшення у нижніх шарах ґрунту. Для фосфатів Al–P та Fe–P виявлено рівномірне зменшення вниз по профілю. Вміст фракції важкорозчинних фосфатів (Са–PIII) вниз по профілю збільшується. При цьому необхідно зазначити найбільшу її кількість на глибині залягання карбонатів.



**Рис. Профільний розподіл фракцій мінеральних фосфатів у чорноземі опідзоленому за різного утримання та удобрення, 2020 рік**

Тривале систематичне застосування органічних і мінеральних добрив сприяє збільшенню суми мінеральних фосфатів у верхніх шарах ґрунту (0–20 і 20–40 см) (див. рис.). У першу чергу спостерігається накопичення фосфатів фракції Ca–P<sub>I</sub> і Ca–P<sub>II</sub>, що є найбільш цінними для живлення рослин фосфором. Зниження одноосновних фосфатів кальцію вниз профілю відбувається поступово. Застосування добрив сприяє підвищенню вмісту фракції Ca–P<sub>III</sub>, що є ближнім резервом для живлення рослин фосфором. За даними, Органічні добрива посилюють біологічну активність і поліпшують водно-фізичні властивості ґрунтів, сприяють стабілізації їх азотного стану. При цьому відповідно змінюється й інтенсивність процесів трансформації мінеральних і органічних фосфатів у ґрунті, що сприяє збільшенню їх доступності рослинам [4, 26].

Істотних відмінностей у вмісті та характері розподілу фосфатів полуторних оксидів (Al–P і Fe–P) і високоосновних фосфатів Ca–P<sub>III</sub> по профілю чорнозему опідзоленого важкосуглинкового не встановлено.

Сума фосфатів кальцію (Ca–P<sub>I</sub> + Ca–P<sub>II</sub> + Ca–P<sub>III</sub>) у шарі ґрунту 0–20 см за варіантами дослідів була на такому рівні: за мінеральної системи удобрення 564 мг/кг, органічної – 419 і за органо-мінеральної – 493 мг/кг. Але їхня рухливість, яку оцінювали за відношенням (Ca–P<sub>I</sub> + Ca–P<sub>II</sub>) : Ca–P<sub>III</sub>, залежить від шару ґрунту чи системи удобрення. Найвищий показник рухливості фосфатів кальцію – 1,55 встановлений у верхньому шарі (0–20 см) за органо-мінеральної системи удобрення з внесенням на 1 га площі сівозміни 4,5 т/га гною + N<sub>22</sub>P<sub>34</sub>K<sub>18</sub>. Для органічної і мінеральної систем удобрення цей показник був меншим – відповідно 1,44 та 1,36, тоді як на перелозі

– 1,28. Вниз по профілю ґрунту відношення ( $\text{Ca-P}_I + \text{Ca-P}_{II}$ ) :  $\text{Ca-P}_{III}$  зменшується, що пов'язано зі зниженням рухливості фосфатів лужних і лужноземельних металів і збільшенням вмісту тризаміщених фосфатів кальцію ( $\text{Ca-P}_{III}$ ). У шарі ґрунту 80–100 см це відношення знаходиться в межах 0,85–0,90.

Отже, можна відзначити загальну закономірність зміни рухливості фосфатів кальцію за різних систем удобрення, що вивчалися – максимальні її значення виявлені у верхньому шарі ґрунту 0–20 см і зменшення з глибиною.

Було встановлено [17, 22], що за малих доз внесення фосфору з добривами і, відповідно, від'ємного його балансу в ґрунті, вміст доступних для рослин фосфатів кальцію ( $\text{Ca-P}_I + \text{Ca-P}_{II}$ ) і фосфатів полутропних оксидів ( $\text{Al-P}$  і  $\text{Fe-P}$ ) зменшується. Основними сполуками мінеральних фосфатів, що переважають у чорноземі опідзоленому, в усіх варіантах дослідів є  $\text{Ca-P}_{II}$  і  $\text{Ca-P}_{III}$ , значна частина яких зосереджена в нижніх шарах (60–80 і 80–100 см).

Основна частка у складі мінеральних фосфатів незалежно від доз добрив і систем удобрення належить високоосновним фосфатам кальцію, оскільки структура мінеральних фосфатів значно залежить від рН ґрунтового середовища і наявності вільних карбонатів [4]. Проведені раніше дослідження [2] свідчать, що доступність рослин фосфору в чорноземі звичайному карбонатному залежить від відношення вмісту в ґрунті обмінного кальцію та кількості загальних карбонатів. Між ними існує певна рівновага, зміщення якої негативно позначається на рухливості сполук фосфору внаслідок його закріплення у формі важкодоступних рослин фосфатів кальцію.

Проведеними дослідженнями встановлено, що сума фосфатів кальцію у шарі ґрунту 0–20 см на удобрених ділянках практично не змінюється, її збільшення спостерігається за мінеральної системи удобрення (564 мг/кг), тоді як за органічної – вона нижче як 405 мг/кг. Рухливість фосфатів кальцію за органічної системи удобрення вища, ніж за мінеральної системи удобрення. Загалом, порівняно з нижніми шарами ґрунту, рухливість фосфатів кальцію у шарі 0–20 см зменшується за рахунок зниження кількості розчинних фракцій ( $\text{Ca-P}_I + \text{Ca-P}_{II}$ ) внаслідок поглинання рослинами.

Отже, основними сполуками мінеральних фосфатів, в яких накопичується фосфор добрив у чорноземі опідзоленому, є фосфати кальцію ( $\text{Ca-P}$ ), кількість яких у 3–4 рази перевищує вміст фосфатів алюмінію і заліза ( $\text{Al-P} + \text{Fe-P}$ ). Вниз по профілю ґрунту частка фосфатів кальцію значно збільшується, що пояснюється лужною реакцією середовища.

#### Висновки.

1. Чорнозем опідзолений важкосуглинковий Правобережного Лісостепу характеризується високими потенційними можливостями щодо забезпечення рослин фосфором. Після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні вміст валового  $\text{P}_2\text{O}_5$  змінюється від 0,092 % до 0,106 % залежно від системи застосування добрив (за вмісту на перелозі 0, 101 %).

Встановлено накопичення валових фосфатів у шарі 0–40 см і рівномірний їх розподіл з поступовим зниженням вниз по профілю ґрунту, що характерно для акумулювативно-гумусових ґрунтів.

2. На частку мінеральних фосфатів у верхньому шарі (0–20 см) чорноземі опідзоленому припадає від 67 % за мінеральної до 61 % від валового фосфору за органічної системи удобрення.

3. Основна частка мінеральних фосфатів у чорноземі опідзоленому важкосуглинковому представлена фосфатами кальцію  $\text{Ca-P}_{II}$  і  $\text{Ca-P}_{III}$ , що визначається генетичними особливостями цього підтипу ґрунту. За вмістом фракції мінеральних фосфатів можна подати у вигляді таких рядів:  $\text{Ca-P}_{II} > \text{Ca-P}_{III} > \text{Fe-P} > \text{Al-P} > \text{Ca-P}_I$  для шару 0–60 см,  $\text{Ca-P}_{III} > \text{Ca-P}_{II} > \text{Al-P} > \text{Fe-P} > \text{Ca-P}_I$  для шару 60–100 см.

4. Закономірності розподілу по профілю ґрунту фракцій мінеральних фосфатів такі: вміст кислих фосфатів

кальцію й магнію ( $\text{Ca-P}_I$ ) з глибиною зменшується, а фосфатів кальцію типу  $\text{Ca-P}_{III}$  – підвищується. Кількість фосфатів фракцій  $\text{Ca-P}_{II}$  залишається майже без зміни, а  $\text{Al-P}$  та  $\text{Fe-P}$  із глибиною зменшується.

5. Вплив тривалого застосування різних систем удобрення в польовій сівозміні на вміст і рухливість мінеральних фосфатів у чорноземі опідзоленому важкосуглинковому є суттєвою, особливо у верхніх його шарах. Поряд зі збільшенням вмісту в ґрунті мінеральних фосфатів, у їх складі підвищується частка активних форм, у першу чергу фракцій  $\text{Ca-P}_I$ ,  $\text{Ca-P}_{II}$  і  $\text{Fe-P}$ . Збільшення вмісту фракції  $\text{Fe-P}$  пояснюється підкисленням ґрунту.

#### Література.

1. Бабарина Э. А. Влияние систематического применения навоза и минеральных удобрений на распределение форм фосфорных соединений по профилю различных почв. Агрехимия. 1971. №6. С. 21–26.
2. Бирюкова О. А., Ельников И. И., Крыщенко В. С. Оперативная диагностика питания растений. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2010. 168 с.
3. Волкогон В. В., Бердніков О. М., Лопушняк В. І. Екологічні аспекти системи удобрення сільськогосподарських культур; за ред. В. В. Волкогона. Київ : Аграрна наука, 2019. 264 с.
4. Гинзбург К. Е. Фосфор основных типов почв СССР. Москва: Наука, 1981. 242 с.
5. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Вміст рухомих форм поживних речовин у ґрунті залежно від його кислотності. Зб. наук. пр. Уманської дер-жавної аграрної академії. 2001. Вип. 53. С. 113–117.
6. Дегодюк С. Е., Літвінова О. А., Кириченко А. В. Вплив тривалого застосування добрив на розподіл фосфору за фракціями ґрунтового профілю. Збалансоване природокористування. 2014. №2. С. 73–77.
7. Кириченко А. В. Трансформація сполук фосфору у сірому лісовому ґрунті за різних систем удобрення культур польової сівозміни в Правобережному Лісостепу: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04 – агрохімія. Харків, 2015. 23 с.
8. Крупеников И. А. Черноземы. Возникновение, совершенство, трагедия деградации, пути охраны и возрождения. Кишинев: Pontos, 2008. 285 с.
9. Кудеярова А. Я., Башкин В. Н. Ландшафтно-агрогеохимический баланс фосфора в сельскохозяйственных регионах. Агрехимия. 1982. №9. С. 21–27.
10. Липкина Г. С. Почвенно-экологические условия и применение удобрений. Москва : ВНИИЭИагропром, 1989. 56 с.
11. Лісовал А. П., Давиденко У. М., Мойсеєнко Б. М. Агрехімія. Лабораторний практикум. Київ : Вища школа, 1984. 311 с.
12. Мартынович Л. И., Мартынович Н. Н. Влияние 50-летнего применения органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема оподзоленного центральной Лесостепи Правобережья УССР. Агрехимия. 1990. №6. С. 32–41.
13. Мірошніченко М. М., Христенко А. О., Гладкіх Є. Ю. 50-річна динаміка вмісту рухомих сполук азоту, фосфору і калію в чорноземі опідзоленому за даними стаціонарного польового дослідів. Вісник аграрної науки. 2021. №8 (821). С. 5–14.
14. Носко Б. С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків : ФОРМ Бровін О. В., 2017. 476 с.
15. Пивоварова И. Е., Гинзбург К. Е. Количественные закономерности поглощения фосфатов почвами. Агрехимия. 1981. №8. С. 126–135.
16. Стаціонарні польові дослідів України. Київ : Аграрна наука, 2014. 146 с.
17. Сухомуд О. Г., Господаренко Г. М. Вплив тривалого застосування добрив на запаси і форми мінеральних фосфатів у чорноземі опідзоленому. Вісник Білоцерківського державного аграрного університету. Біла Церква, 2000. Вип. 10. С. 249–253.
18. Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л. Основи управління родючістю ґрунтів /за наук. ред. Р. С. Трускавецького. Харків : ФОРМ Бровін О. В., 2016. 388 с.

19. Федоровский Д. В. Микрораспределение питательных веществ в почвах. Москва : Наука, 1979. 190 с.
20. Фокин А. Д. Исследование процессов трансформации, взаимодействия и переноса органического вещества, железа и фосфора в дерново-подзолистой почве. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 1975. 28 с.
21. Христенко А. А. Теоретические и практические аспекты оценки состояния и динамики азотных, фосфатных и калийных систем почв. Харьков : ФЛП Бровин А. В., 2019. 180 с.
22. Шеуджен А. Х. Агробиогеохимия чернозема. Майкоп: ООО «Полиграф-ЮГ», 2018. 308 с.
23. Якість ґрунту. Методи визначення валового фосфору і валового калію в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського. ДСТУ 4290:2004. [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держстандарт України, 2005. 21 с. (Національний стандарт України).
24. Goeke G. W. Phosphorus and potassium problems in production, and how to solve them. Fight against hunger through improved plant nutrition. V. 1. Goettingen. Goltze-Druch, 1985. P. 197-220.
25. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition. Edited by P. Marschner. Amsterdam, Netherlands: Elsevier/Academic Press, 2012. 684 p.
26. Opportunities for mobilizing recalcitrant phosphorus from agricultural soils: a review. D. Menezes-Blackburn, C. Giles, T. Darch et al. *Plant Soil*, 427 (2018), pp. 5-16.

#### References

- Babarina, E. A. The influence of systematic application of manure and mineral fertilizers on the distribution of forms of phosphorus compounds in the profile of different soils. *Agrochemistry*, 1971, no. 6, pp. 21-26 (in Russian).
- Biryukova, O. A., Elnikov, I. I., Kryshchenko, V. S. (2010) Operational diagnostics of plant nutrition. Rostov-on-Don: SFU Publishing House, 2010, 168 p (in Russian).
- Volkogon, V. V., Berdnikov, O. M., Lopushnyak, V. I. (2019) Ecological aspects of the system of fertilization of agricultural crops. *Kyiv: Agrarian Science*, 2019. 264 p (in Ukrainian).
- Ginzburg, K. E. (1981) Phosphorus of the main types of soils of the USSR. Moscow: Nauka, 1981. 242 p (in Russian).
- Gospodarenko, G. M., Prokopchuk, I. V. (2001) The content of mobile forms of nutrients in the soil depending on its acidity. *Coll. Science. Uman State Agrarian Academy*, 2001, no. 53, pp. 113-117 (in Ukrainian).
- Degodyuk, S. E., Litvinova, O. A., Kirichenko, A. V. (2014) Influence of long-term application of fertilizers on the distribution of phosphorus by soil fractions. *Balanced nature management*, 2014. no. 2, pp. 73-77 (in Ukrainian).
- Kirichenko, A. V. (2015) Transformation of phosphorus compounds in gray forest soil under different fertilization systems of field crop rotation crops in the Right-Bank Forest-Steppe. Author. of dis. to obtain the degree of Ph. D. Kharkiv, 2015. 23 p (in Ukrainian).
- Krupenikov, I. A. (2008) Chernozems. Origin, perfection, tragedy of degradation, ways of protection and revival. Chisinau: Pontos, 2008. 285 p (in Moldova).
- Kudeyarova, A. Ya., Bashkin, V. N. Landscape-agrogeochemical balance of phosphorus in agricultural regions. *Agrochemistry*, 1982, no. 9, pp. 21-27 (in Russian).
- Lipkina, G. S. (1989) Soil and ecological conditions and application of fertilizers. Moscow: VNIITEIagroprom, 1989. 56 p (in Russian).
- Lisoval, A. P., Davydenko, V. M., Moiseenko, B. M. (1984) *Agrochemistry. Laboratory workshop*. Kyiv: Higher School, 1984. 311 p (in Ukrainian).
- Martynovich, L. I., Martynovich, N. N. (1990) Influence of 50-year application of organic and mineral fertilizers on the fertility of chernozem podzolic central forest-steppe of the Right Bank of the USSR. *Agrochemistry*, 1990, no. 6, pp. 32-41 (in Russian).
- Miroshnichenko, M. M., Khristenko, A. A., Gladkikh, E. Y. (2021) 50-year dynamics of the content of mobile

compounds of nitrogen, phosphorus and potassium in chernozem podzolic according to the stationary field experiment. *Bulletin of Agricultural Science*, 2021, no. 8(821), pp. 5-14 (in Ukrainian).

14. Nosko, B. S. (2017) Phosphorus in soils and agriculture of Ukraine. Kharkiv: FOP Brovin, O. V., 2017. 476 p (in Ukrainian).

15. Pivovarova, I. E., Ginzburg, K. E. (1981) Quantitative patterns of phosphate uptake by soils. *Agrochemistry*, 1981, no. 8, pp. 126-135 (in Russian).

16. Stationary field experiments in Ukraine. *Kyiv: Agrarian Science*, 2014, 146 p (in Ukrainian).

17. Sukhomud, O. G., Gospodarenko, G. M. (2000) Influence of long-term application of fertilizers on reserves and forms of mineral phosphates in podzolic chernozem. *Bulletin of Bila Tserkva State Agrarian University. Bila Tserkva*, 2000, Issue, no. 10, pp. 249-253 (in Ukrainian).

18. Truskavetsky, R. S., Tsapko, Y. L. (2016) Fundamentals of soil fertility management. Kharkiv: FOP Brovin, O. V., 2016. 388 p (in Ukrainian).

19. Fedorovsky, D. V. (1979) Microdistribution of nutrients in soils. Moscow: Nauka, 1979. 190 p (in Russian).

20. Fokin, A. D. (1975) Investigation of the processes of transformation, interaction and transfer of organic matter, iron and phosphorus in sod-podzolic soil. *Dr. biol. sci. diss.* Moscow, 1975. 28 p (in Russian).

21. Khristenko, A. A. (2019) Theoretical and practical aspects of assessing the state and dynamics of nitrogen, phosphate and potassium soil systems. Kharkiv: FLP Brovin, A. V., 2019. 180 p (in Ukrainian).

22. Sheudzen, A. H. (2018) *Agrobiogeochimistry of chernozem*. Maikop: Poligraf-YUG LLC, 2018. 308 p (in Russian).

23. State Standart 4290:2004. Methods for the determination of gross phosphorus and gross potassium as modified by the N.N.C. IGA O. N. Sokolovsky. Kyiv: State Standard of Ukraine, 2005. 21 p (in Ukrainian).

24. Goeke, G. W. Phosphorus and potassium problems in production, and how to solve them. Fight against hunger through improved plant nutrition. V. 1. Goettingen. Goltze-Druch, 1985, pp. 197-220 (in German).

25. Marschner's, P. (2012) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd edition. Amsterdam, Elsevier: Elsevier / Academic Press, 2012. 684 p (in Netherlands)

26. Menezes-Blackburn, D., Giles, C., Darch, T. et al. (2018) Opportunities for mobilizing recalcitrant phosphorus from agricultural soils. *Plant Soil*, 2018, no. 427, pp. 5-16.