

## ВПЛИВ РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ ТА ХІМІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ НА ФОСФОРНИЙ РЕЖИМ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ

А.І. Павліченко

Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»  
(смт Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна)  
e-mail: [alladvd@ukr.net](mailto:alladvd@ukr.net); ORCID: 0000-0001-6930-2312

Фосфор має надзвичайно велике значення в сільському господарстві. Це пов'язано з тим, що без його участі в рослинному організмі не проходить жодна біохімічна реакція, бо він є складовою молекули АТФ, яка надає енергію. Він являється основним елементом нуклеїнових кислот, фосфоліпідів та інших, бере активну участь у регулюванні ферментативних реакцій, а також входить до складу клітин людини, тварини, рослин і бактерій. Дослідження проводились на базі стаціонарного досліду, який закладений в 1992 р. на сірому лісовому крупнопилувато-легкосуглинковому ґрунті, вивчали вплив довготривалої хімічної меліорації і різних систем удобрення (мінеральної, органічної, органо-мінеральної) на трансформацію фосфатного режиму ґрунту на вапнованих і невапнованих фонах. Оптимальне фосфорне живлення сприяє розвитку кореневої системи, що поліпшує забезпечення рослин вологою і поживними елементами, збільшує частину товарної продукції в біологічному врожаї, підвищує вміст крохмалю в картоплі, цукру в коренеплодах, овочах і фруктах, олій в насінні, олійних культур, у прядильних культур збільшує вихід довгого волокна, зростає його міцність. Ось чому управління фосфорним живленням рослин є однією з ключових проблем. Проаналізовано зміни різних форм фосфору (валового, рухомого, водорозчинного) за дією вищевказаних факторів. Для більш об'єктивної оцінки вказаних факторів на фосфатний режим ґрунту поваріантні результати аналізу порівнювались не тільки з абсолютним контролем, але й прив'язувались до вихідного рівня (вік перелогу 28 років), що розташований поряд із дослідним полем. Встановлено, що вміст валового фосфору, який характеризує генетичні особливості ґрунту, практично повністю залежить від загальних запасів гумусу і чітко повторює параметри профільного накопичення вуглецю з урахуванням глибини залегання і потужності гумусованих горизонтів. Немало важливе значення в процесах накопичення валового фосфору має гранулометричний склад, оскільки дефекати досить легко адсорбуються на поверхні ґрунтових структур. Оцінка результатів аналізу свідчить про великий розрив валових форм фосфору і низьку концентрацію його рухомих форм, вміст яких сягає 4,7% від загальних. За нашими даними, водорозчинні солі фосфорної кислоти в сірому лісовому ґрунті загалом знаходяться в дуже невеликих кількостях (0,62 мг/кг у горизонті HE з поступовим зниженням вниз за профілем), що часто стає лімітуючим фактором у фосфорному живленні сільськогосподарських культур. Вапно, зменшуючи активність півтораоксидів послаблює адсорбційні зв'язки фосфору і підвищує відносну кількість фосфатів кальцію. Застосування мінеральних добрив поповнило пул валового фосфору (на 0,08% до контролю), але рухомі форми фосфору (за Кірсановим) збільшились лише на 23 мг/кг, що уступало варіанту тільки з вапнуванням. Загалом ефект вапнування значною мірою збільшує використання фосфатів ґрунту і добрив.

**Ключові слова:** вапнякові добрива, валовий, рухомий, водорозчинний фосфор, фосфати, гумусованість.

### ВСТУП

Значимість фосфору в мінеральному живленні рослин підкреслюють вислови видатних вчених, акад. А.Е. Ферсман, назвав його «елементом життя і думки». Ю. Лі-

біх вважав, що фосфор є ключем життя, а Д. Прянишников відводив йому центральне місце в системі удобрення рослин. Б.С. Носко наголошував, що поряд з азотом другим за важливістю елементом мінерального живлення рослин є фосфор [1]. Це

пов'язано з тим, що без участі фосфору в рослинному організмі не проходить жодна біохімічна реакція, бо він є складовою молекули. АТФ і НДАФ, які надають енергію. Цей елемент являється основним елементом нуклеїнових кислот, фосфоліпідів та інших, бере активну участь у регулюванні ферментативних реакцій. У ґрунтах фосфор міститься в органічній (фітин, фітати, нуклеїнові кислоти, фосфоліпіди, гексозофосфати, гумусові речовини) і мінеральній (аморфні і кристалічні фосфорвмісні мінерали) формах. Мінеральна форма фосфору — це солі ортофосфорної кислоти з кальцієм, магнієм, натрієм, калієм, алюмінієм та іншими катіонами. Хоча їхній вміст не значний, однак вони беруть участь в утворенні багатьох фосфорорганічних сполук, життєво необхідних рослині, мають велике значення в різних процесах обміну речовин. Оптимальне фосфорне живлення сприяє розвитку кореневої системи, що поліпшує забезпечення рослин вологою і поживними елементами. В умовах значного фосфорного дефіциту часто спостерігаються ознаки азотного голодування, що пояснюють зменшення використання азоту для синтезу органічних сполук унаслідок нестачі фосфору.

### **АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ**

Однією з найбільш проблематичних є діагностика фосфатного стану ґрунту, оскільки фосфатні йони здатні утворювати різноманітні за міцністю зв'язків сполуки та комплекси, що загалом ускладнює процес їх визначення [2; 3]. Ось чому управління фосфорним живленням рослин є однією з ключових проблем. Тому до цього елемента мінерального живлення необхідно відноситись з особливою увагою і турботою з метою збільшення врожайності сільськогосподарських культур в агроценозах і розширеного відтворення його в ґрунті. Ця проблема посилюється ще й тим, що виробництво фосфорних добрив стримується низьким вмістом цього елемента у земній корі — 0,08–0,12% [4] і незначною кількістю родовищ для його добування.

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 [5].

Усі сучасні високопродуктивні агрофітоценози залежать від постійного внесення добрив, отримуваних із невідновлюваних фосфоритів — основного джерела фосфору в світі. Однак запаси фосфатів материнських порід виснажуються. Щороку загальна потреба у фосфоритах для виробництва добрив становить близько 15 млн т. Наразі темпи видобутку, за різними оцінками, прогнозують повне виснаження запасів фосфоритів через 50–400 років [6–8].

Тому проблема фосфорного режиму у сірих лісових ґрунтах є актуальною і недостатньо висвітленою у публікаціях.

### **МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Основною метою досліджень було оцінювання різних систем удобрення та довготривалої післядії хімічної меліорації на фосфорний режим сірого лісового ґрунту, а також пошук шляхів оптимізації вмісту фосфору в ґрунті з метою отримання найвищої продуктивності сільськогосподарських культур і уникнення забруднення навколишнього середовища під впливом екзогенного надходження добрив.

Спостереження за зміною фосфорного режиму під дією вищевказаних факторів проводили в системі полігонного моніторингу в довготривалому польовому досліді лабораторії агроґрунтознавства та ґрунтової мікробіології ННЦ «Інститут землеробства НААН», який закладений в 1992 р. на території дослідного господарства «Чабани» розташованого в Фастівському р-ні Київської обл.

У досліді вивчалися вплив меліорантів, органічних (сидерати і рослинна побічна

Таблиця 1. Схеми дослідів

Пшениця озима
Без добрив (контроль)
CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hр)
N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub>
N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> Ca5,7 Mg 4,1 (за ВГС)
N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hр)
N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> Ca5,7 Mg 4,1 (за ВГС)
N <sub>120</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hр)
Сидерат (гірчиця 15 т/га) + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hр)
Сидерат (гірчиця 15 т/га) + ПП + N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>60</sub> Ca <sub>5,7</sub> Mg <sub>4,1</sub> (за ВГС) + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hр)
Сидерат (гірчиця 15 т/га) + ПП + N <sub>102,8</sub> P <sub>33,4</sub> K <sub>44,2</sub> Ca <sub>11,4</sub> Mg <sub>8,2</sub> (за ВГС) + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hр)

продукція) та мінеральних добрив, внесених окремо і в комплексі з органічними добривами і вапном на продуктивність культур і властивості сірого лісового ґрунту. Схеми дослідів наведено у *табл. 1*.

До схеми дослідів введені нові варіанти зі встановленням оптимального рівня удобрення сільськогосподарських культур у сівозміні за їх генотипним співвідношенням (ВГС) за біогенними та лужноземельними елементами (N, P, K, Ca, Mg).

Відомо, що фосфорний режим ґрунту значною мірою залежить від його гранулометричного складу і гумусованості. Тому більш детально зупинимося на цих характеристиках.

Материнська порода досліджуваного ґрунту містить 18,89% найбільш дисперсної фракції (0,0001 мм), що за шкалою М.А. Качинського характерно для легковидних суглинків у цьому типу ґрунту в материнській породі переважає фракція крупного пілу, частка якої сягає 53,55%. Фракційний склад механічних елементів гумусово-аккумулятивного горизонту корелює кількісні показники гранулометрич-

ного складу материнської породи. Сформовані на відповідній за гранулометричним складом материнській породі зберігали адаптивність і для горизонту НЕ. Основною відмінною верхньої і нижньої частинами профілю цих ґрунтів є достовірне збільшення мулу в гумусово-елювіальному горизонті внаслідок акумуляції зольних елементів та колоїдів органічного походження. Тому опосередковано вважати, що частка високодисперсної фази в загальній фракції мулу збільшується в горизонті НЕ. Високий вміст пілу в гумусо-елювіальному горизонті 52,31% (сума середнього і мілкового) і не значний вміст фракції мулу 22,65% зумовлює цілу низку несприятливих фізичних, фізико-хімічних та агрохімічних властивостей досліджуваного ґрунту.

Вміст гумусу і його загальні запаси є інтегрованим показником ґрунтоутворення. Оцінюючи гумусний стан ґрунту, особливо важливо дослідити параметри профільного накопичення вуглецю з урахування глибини залягання і потужності гумусованих горизонтів. Слід зазначити, що сірі лісові ґрунти характеризуються чіткою диференціацією профілю за елювіально-ілювіальним типом і своєрідним гумусонагромадженням у ньому. За нашими даними із узагальнених запасів гумусу (124 т/га), який має досліджуваний ґрунт на цілинній ділянці, 51,6% його міститься у горизонті НЕ; 78,3% у горизонтах НЕ + Іh загальною потужністю 0–56 см. Отже, переважна частина запасів гумусу зосереджено, в основному, у верхньому перегнійному шарі.

Певне уявлення за потенційну родючість досліджуваного ґрунту формується на основі аналізу валових запасів різних форм фосфору, визначення яких має теоретичне і практичне значення для генетичної характеристики та обґрунтування його агрохімічних властивостей. У гумусованому горизонті 30–70% фосфору може бути зв'язано із органічними сполуками, кількість яких залежить від органічної речовини [9].

Важлива роль органічної речовини у регулюванні доступності фосфору в системі

грунт – рослина. Від стійкості органічної речовини до розкладу залежить надходження фосфору у грунт. У сірих лісових ґрунтах до 44% становлять органічні сполуки, а до 2,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> знаходяться у гумусі та фітатах [10]. Саме у ризосфері знаходиться значна маса коріння і гетеротрофних бактерій, які живуть за рахунок корневих виділень, а також пов'язаних із діяльністю рослин унаслідок процесів біологічного процесу переносу фосфору з нижніх горизонтів.

Як показали дослідження (табл. 2), вміст валового фосфору практично повністю залежить від загальних запасів гумусу. Тіснота кореляційного зв'язку між цими показниками сягає r=0,9 при D=1,00. Вміст валового фосфору в гумусово-елювіальному горизонті (0–29 см) становив 0,130%, а загальні запаси 5,65 т/га, що повністю віддзеркалює вміст та і запаси в ньому гумусу, відповідно, 1,47 та 64,0 т/га.

Не менш важливе значення в процесах накопичення валового фосфору має гранулометричний склад, оскільки фосфати доволі легко адсорбуються на поверхні ґрунтових структур, особливо наявності в ньому мулистої фракції і загалом фракції фізичної глини. За науковими даними, з усього ґрунтового профілю (0–140 см) 50,4% загального фосфору знаходиться у горизонті HE (0–29 см). Загалом, загальні запаси його не високі і сягають 11,2 т/га. Однак за вмістом загального фосфору в ґрунті не можна робити висновок щодо за-

безпеченості його доступними для рослин сполуками фосфору, оскільки основна маса їх міститься у важкорозчинних сполуках недоступних для живлення рослин. Тому в своїх дослідженнях увагу переважно зосереджено на рухомих формах фосфору, які є лімітуючим фактором у формуванні врожайності сільськогосподарських культур.

Надійним показником забезпеченості рослин фосфором є вміст і запаси його рухомих форм. Для визначення рухомих сполук фосфору в ґрунті використано метод Кірсанова, в якому розчинником слугував 0,2 N розчин HCl. Оцінка результатів аналізу свідчить про великий розрив валових форм фосфору і низьку концентрацію його рухомих форм, вміст яких сягає 4,7% від загальних. Це свідчить про те, що фосфорні ґрунтові сполуки слабкорозчинні, мають низьку дисоціацію на іони і, навпаки, високу фіксувальну здатність твердою фазою ґрунту. Вміст рухомих фосфатів віддзеркалює вміст валових форм фосфору, з глибиною їх концентрація також зменшується. Якщо в гумусо-елювіальному горизонті рухомих форм фосфору налічується 90 мг/кг, то в горизонті Ih 67 мг/кг, а в наступних горизонтах їх кількість не змінювалась і є на рівні 54 мг/кг. Загалом, у шарі 0–140 см їх кількість становила 1,3 т/га, що у 8,6 разів менше, ніж валових фосфатів.

Встановлено, що реальна природна забезпеченість досліджуваного ґрунту відпо-

Таблиця 2. Вміст і запаси різних форм фосфору у вихідному (цілинному) сірому лісовому крупнопилувато-легкосуглинковому ґрунті

Генетичні горизонти	Глибина відбору зразків, см	Водорозчинний P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	Рухомий P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> за Кірсановим		Загальний P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
			мг/кг	т/га	%	т/га
HE	0–29	0,67	90,0	0,39	0,130	5,65
Ih	30–56	0,60	67,0	0,26	0,060	2,34
Ihp	57–89	0,55	54,0	0,26	0,028	1,34
Ip	90–120	0,55	54,0	0,24	0,025	1,12
p	121–140	0,55	54,0	0,16	0,025	0,75
Разом				1,31		11,2

відає групі ґрунтів із середньою забезпеченістю живлення рослин цим елементом [11].

Відомо, що живлення рослин здійснюється тільки з ґрунтового розчину. Як відомо, рослини здатні поглинати із ґрунтового розчину навіть за невеликих концентрацій, таких як 0,01–0,02 мл/л  $P_2O_5$ , в якому поживні речовини знаходяться у вигляді катіонів та аніонів, на які дисоціюють солі. Тому для характеристики ґрунту за доступністю рухомих сполук фосфатів (фактор ємності) велике значення має визначення ступеня рухомості фосфатів (фактор інтенсивності). Виділити ґрунтовий розчин дуже складно, і тому для визначення рухомості фосфатів використовують водні витяжки за вузького співвідношення ґрунту до розчину. Відомо, що концентрація фосфору в цих витяжках максимально наближається до концентрації фосфору у ґрунтовому розчині. Дослідження показали (див. *табл. 2*), водорозчинні солі фосфорної кислоти у сірому лісовому ґрунті загалом знаходяться у незначних кількостях (0,67 мг/кг в горизонті НЕ з поступовим зниженням вниз за профілем), що часто стає лімітуючим чинником у фосфорному живленні сільськогосподарських культур.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Оскільки фосфор міститься у всіх вегетативних органах сільськогосподарських культур, а особливо високий його вміст у зерні зернових культур, то він вивозиться з поля і таким чином виснажуються фосфорні запаси ґрунту. Поповнення його в горизонті НЕ внаслідок процесів біологічного переносу з нижніх горизонтів незначне і основним джерелом покращання фосфорного режиму стає використання добрив. Тому дослідження змін фосфору в ґрунті під впливом удобрення має не тільки наукове, а й практичне значення.

Аналіз аналітичних даних (*табл. 3*) свідчить, що за тривалого використання ґрунту без застосування добрив у шарі 0–20 см вміст загального фосфору знизився

на 0,02%, або 0,6 т/га щодо вихідного рівня, а рухомі форми фосфору (за Кірсановим) у цьому шарі ґрунту зменшились на 23 мг/кг ґрунту. Спостерігали деградаційні явища в ґрунті, що погіршують умови фосфорного живлення рослин.

Важливе значення для покращання фосфорного режиму сірих лісових ґрунтів має вапнування. Воно не змінює загального фонду фосфору в ґрунті, проте значно підвищує його рухомість, а значить і засвоюваність рослинами. При застосуванні в досліді вапна за (1,0 Нг) вміст валового фосфору залишався на рівні контролю 0,110%, однак спостерігали достовірний ріст рухомого фосфору на 27 мг/кг порівняно з контролем. Помірний ріст і водорозчинних фосфатів (на 0,06 мг/кг). Вапно, зменшуючи активність півтораоксидів послаблює адсорбційні зв'язки фосфору і підвищує відносну кількість фосфатів кальцію. Багато дослідників вважають, що вапнування мобілізує ґрунтові фосфати, чим створюються сприятливі умови для фосфорного живлення рослин [12; 13]. На їхню думку, фосфати алюмінію і заліза переходять у доступніші для рослин фосфати кальцію, усувається антагонізм між фосфором і алюмінієм при надходженні в рослини, посилюється здатність кореневої системи до засвоєння.

Щорічне довготривале застосування мінеральних добрив зумовило до підкислення ґрунту. Прогресуюче підкислення верхнього горизонту сприяло переходу внесених фосфатів у їх важкорозчинні сполуки. Вони стають резервом фосфорного живлення рослин і переходять у ґрунтовий розчин у міру засвоєння рослинами легкозасвоюваних фосфатів. Застосування мінеральних добрив поповнило пул валового фосфору (на 0,08% до контролю), але рухомі форми фосфору (за Кірсановим) збільшилися лише на 23 мг/кг, що уступало варіанту тільки з вапнуванням. Помітне зменшення на цьому варіанті водорозчинного фосфору (на 0,06 мг/кг до контролю).

По-іншому трансформується фосфор із внесених добрив на вапнованому фоні.

Таблиця 3. Вміст різних форм фосфору в сірому лісовому ґрунті за різних систем удобрення та хімічної меліорації (шар 0–20 см)

Варіанти дослідів	Валовий P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Рухомий P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> за Кірсановим		Водорозчинний P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
	%	± до контролю	мг/кг	± до контролю	мг/кг	± до контролю
Без добрив (контроль)	0,11		67,0		0,58	
CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hr)	0,11	0,001	94,0	27	0,64	0,06
NPK	0,12	0,008	90,0	23	0,52	-0,06
NPK за ВГС	0,13	0,015	111,0	44	0,59	0,01
NPK + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hr)	0,11	-0,004	139,0	72	0,62	0,04
NPK за ВГС + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hr)	0,12	0,014	123,0	56	0,61	0,03
2NPK + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hr)	0,15	0,036	160,0	93	0,68	0,10
Сидерат + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hr)	0,12	0,010	107,0	40	0,65	0,07
Сидерат + ПП + NPK за ВГС + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hr)	0,15	0,041	178,0	111	0,70	0,12
Сидерат + ПП + 2NPK за ВГС + CaCO <sub>3</sub> (1,0 Hr)	0,22	0,110	185,0	118	0,72	0,14
Вихідний зразок (переліг)	0,13	0,020	90,0	23	0,67	0,09
Середнє	0,10		122,2		0,60	
Sx	0,01		11,7		0,02	
V, %	24,20		31,7		9,20	
S	0,03		38,8		0,06	
НІР <sub>05</sub>	0,03		36,9		0,10	

Проведені дослідження засвідчили різкий ріст рухомих форм фосфору (збільшення в 1,5 раза порівняно з невапнованим фоном) і помітне зниження валового фосфору відповідно від 0,118 до 0,106%. На цьому варіанті Нг знизилась до 3,04 мг-екв./100 г ґрунту порівняно з не вапнованим ґрунтом з Нг 3,46 мг-екв./100 г ґрунту. Останнє супроводжується у підвищенні у вапнованому варіанті рухомих фосфатів, зв'язаних з Al<sup>3+</sup> і Fe<sup>3+</sup> і недостатнім зв'язуванням фосфору в трикальційфосфат.

Щодо контролю вміст водорозчинного фосфору збільшився на 0,04 мг/кг. Цей ефект вапнування підтверджується і в разі застосування великих доз мінеральних добрив. Систематичне внесення подвійних доз мінеральних добрив на вапнованому фоні

за повною дозою сприяє підвищенню валового фосфору на 36 мг/кг щодо контролю і на 26 мг/кг до вихідного рівня. Крім того, рухомі фосфати збільшились, відповідно, на 23 мг/кг і 70 мг/кг. У цьому випадку, мабуть, підвищені дози азотних добрив сприяють мобілізації ґрунтових сполук фосфору, оскільки з підвищенням їхніх доз коефіцієнт використання фосфору добрив збільшився.

До комплексу добрив, які вносились у досліді за принципом ВГС входить P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Це сприяло накопиченню в ґрунті як валового, так і рухомих їх форм, які перевищували рівні контролю і вихідного рівня на не вапнованому і вапнованому фонах (див. *табл. 3*).

Проаналізовано зміни фосфатного фонду ґрунту за систематичного заорювання зеленої маси, сидератів на вапнованому фоні за гідролітичною кислотністю. Ефект від цього агрозаходу полягав у підвищенні валового фосфору на 0,10% щодо контролю, а рухомих форм на 40 мг/кг і, відповідно, до вихідного рівня на 0,10% і 17 мг/кг. Останнє пов'язано з підвищенням гумусованості на цьому варіанті, вміст гумусу на якому зріс на 0,22% до контролю, і на 0,15% до вихідного рівня, а також певною мірою переносом фосфорвмісних сполук кореневою системою з нижніх горизонтів ґрунту. Доречно зауважити, що із застосуванням одних сидератів не можливо створити високі рівні рухомого фосфору в системі ґрунт–рослина, які відповідають рівню забезпечення високих урожаїв, а також розширеного відтворення в ґрунті цього елемента.

У схему введені варіанти сумісного застосування сидератів, побічної рослинної продукції, мінеральних добрив в одинарних та полуторних дозах на фоні вапнування за повною гідролітичною кислотністю. На фоні такого комплексу добрив всі показники фосфорного фонду значно перевищили відповідні дані контролю: валовий вміст фосфору на 36% і 100%, рухомих форм на 165% і 276%. Отже, за такого внесення добрив створюється аерогенний окультурений шар ґрунту з високим і дуже високим вмістом фосфору, що значно підвищує ефективну родючість ґрунту. Добрива на таких фонах фосфору слід застосовувати лише для компенсації його виносу врожаєм сільськогосподарських культур. Встановлено, що оптимальний рівень вміс-

ту рухомих фосфатів у сірих лісових ґрунтах знаходиться в межах 100–150 мг/кг [14–16].

## ВИСНОВКИ

Запаси валового фосфору в сірому лісовому ґрунті визначаються їх генетичними особливостями і в ґрунтовому профілі 0–140 см сягають 11,2 т/га, а рухомих фосфатів 1,31 т/га. У горизонті НЕ цілинного ґрунту становить 98 мг/кг (за Кірсановим), що відносить їх до категорії ґрунтів із середнім рівнем забезпеченості цим елементом.

Вміст валового фосфору практично повністю залежить від загальних запасів гумусу. Тіснота кореляційного зв'язку між цими елементами сягає  $r=0,9$  при  $D=1,00$ .

При тривалому використанні ґрунту в сівзміні без застосування добрив вміст загального фосфору в шарі 0–20 см знизився на 0,01% до вихідного рівня, а рухомі форми фосфору на 23 мг/кг ґрунту.

Щорічне довготривале застосування одних мінеральних добрив поповнює пул валового фосфору, але вміст рухомих його форм значно уступає з внесенням їх на фоні вапнування. Загалом, ефект вапнування значною мірою збільшує використання фосфатів ґрунту і добрив.

Для поліпшення дефіцитного балансу фосфору і створення ґрунтів із високим вмістом цього елемента слід широко використовувати на добриво, крім технічних добрив, органічну речовину, що утворюється за рахунок фотосинтезу у вигляді сидератів та рослинних залишків сільськогосподарських культур, за обов'язкового вапнування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Носко Б.С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків: Бровін О.В., 2017. 474 с.
2. Трускавецький Р.С., Зубковська В.В. Фосфатний фактор інтенсивності та фосфатбуферна ємність — основні інструменти діагностики та оптимізації фосфатного стану ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 10 (787). С. 12–18.
3. Трускавецький Р.С., Цапко Ю.Л. Основи управління родючістю ґрунтів. Харків: ФОП Бровін О.В., 2016. 388 с.
4. Мазур Г.А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів. Київ: Аграрна наука, 2008. 306 с.
5. Носко Б.С. Сучасні проблеми в землеробстві і шляхи їх розв'язання. *Вісник аграрної науки*. 2017. С. 5–12.
6. Balyan H.S., Gahlaut V. and Kumar A. Nitrogen and phosphorus use efficiencies in wheat: physiology, phenotyping, genetics, and breeding. *Plant breeding reviews*. 2016. Vol. 40. P. 167–234.
7. Lun F., Liu J. and Ciais P. Global and regional phosphorus budgets in agricultural systems and their implications for phosphorus-use efficiency. *Earth*

- System Science Data Discuss.* 2017. P. 1–45. DOI: <https://doi.org/doi.org/10.5194/essd-2017-41>
8. Dhillon J., Torres G. and Driver E. World phosphorus use efficiency in cereal crops. *Agr. Journal.* 2017. Vol. 109 (4). P. 1670–1677.
  9. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. Москва: Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.
  10. Крамарьов С.М. та ін. Зміна вмісту рухомого в генетичних горизонтах чорнозему звичайного на ріллі відносно щільності в умовах Північного Степу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2014. № 2. С. 7–22.
  11. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ / за ред. Яцунка І.П., Балюка С.А. Київ, 2019. 108 с.
  12. Авдонин Д.С. Известкование кислых почв. Москва: Колос, 1976. 301 с.
  13. Никитишен В.И., Дмитракова Л.К., Личко В.И. Фосфатный режим серой лесной почвы ополя и эффективность фосфорного удобрения. *Почвоведение.* 2000. № 10. С. 1255–1265.
  14. Никитишен В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. Москва: Наука, 1984. 214 с.
  15. Ткаченко М.А., Павліченко А.І., Кондратюк І.М., Дмитренко О.В. Кислотні властивості сірих лісових ґрунтів залежно від систем удобрення. *Агроекологічний журнал.* 2020. № 2. С. 62–68. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207682>
  16. Дегодюк Е.Г., Літвінова О.А., Ярмоленко Є.В., Дмитренко О.В. Вплив органічних добрив на родючість сірого лісового ґрунту. *Агроекологічний журнал.* 2019. № 2. С. 31–36. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174015>

## REFERENCES

1. Nosko, B.S. (1990). *Fosfor u gruntakh i zemlerobstvi Ukrainy [Phosphorus in soils and agriculture of Ukraine]*. Kharkiv: Brovin O.V. [in Ukrainian].
2. Truskavetskiy, R.S. & Zubkovska, V.V. (2018). Fosfatnyy faktor intensyvnosti ta fosfatbuferna yemnist' – osnovniy instrumenty diahnozky ta optymizatsiyi fosfatnoho stanu gruntiv [Phosphate intensity factor and phosphate buffer capacity are the main tools for diagnosing and optimizing the phosphate state of soils]. *Visnyk ahraryoi nauky – Bulletin of Agricultural Science, 10 (787), 12–18* [in Ukrainian].
3. Truskavetsky, R.S. & Tsapko, Y.L. (2016). *Osnovy upravlinnya rodyuchistyu gruntiv [Fundamentals of soil fertility management]*. Kharkiv: FOP Brovin O.V. [in Ukrainian].
4. Mazur, G.A. (2008). *Vidvorennya i rehulyuvannya rodyuchosti lehkykh gruntiv [Reproduction and regulation of light soil fertility]*. Kyiv: Agrarian Science [in Ukrainian].
5. Nosko, B.S. (2017). Suchasni problemy v zemlerobstvi i shlyakh yikh rozv'yazannya [Modern problems in agriculture and ways to solve them]. *Visnyk ahraryoi nauky – Bulletin of Agricultural Science, 5–12* [in Ukrainian].
6. Balyan, H.S., Gahlaut, V. & Kumar, A. (2016). Nitrogen and phosphorus use efficiencies in wheat: physiology, phenotyping, genetics, and breeding. *Plant breeding reviews, 40, 167–234* [in English].
7. Lun, F., Liu, J. & Ciais, P. (2017). Global and regional phosphorus budgets in agricultural systems and their implications for phosphorus-use efficiency. *Earth System Science Data Discuss, 1–45*. DOI: <https://doi.org/doi.org/10.5194/essd-2017-41> [in English].
8. Dhillon, J., Torres, G. & Driver, E. (2017). World phosphorus use efficiency in cereal crops. *Agr. Journal, 109 (4), 1670–1677* [in English].
9. Kononova, M.M. (1963). *Organicheskoye veshchestvo pochvy [Soil organic matter]*. Moscow [in Russian].
10. Kramarov, S.M. (2014). Zmina vmistu rukhomoho v henetychnykh horizontakh chornozemu zvychnoho na rilii vidnosno tsilyny v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Changes in the content of mobile chernozem in the genetic horizons of arable land relative to virgin land in the Northern Steppe of Ukraine]. *Visnyk Poltava's'koyi derzhavnoyi ahraryoi akademiyi – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy, 2, 7–22* [in Ukrainian].
11. Yatsuk, I.P. & Balyuk, S.A. (Eds.). (2019). *Metodyka provedennya ahrokhimichnoyi pasportyzatsiyi zemel' sil's'kohospodars'koho pryznachennya: kerivnyy normatyvnyy dokument [Methods of agrochemical certification of agricultural lands: a guiding normative document]*. Kyiv [in Ukrainian].
12. Avdonin, D.S. (1976). *Izvestkovaniye kislykh pochv [Liming of acidic soils]*. Moscow: Kolos [in Russian].
13. Nikitishen, V.I., Dmitrakova, L.K. & Lichko, V.I. (2000). Fosfatnyy rezhim seroy lesnoy pochvy opolya i effektivnost' fosforogo udobreniya [Phosphate regime of the gray forest soil of the opolye and the efficiency of phosphate fertilizer]. *Pochvovedeniye – Soil science, 10, 1255–1265* [in Russian].
14. Nikitishen, V.I. (1984). *Agrokhimicheskiye osnovy effektivnogo primeneniya udobreniy v intensivnom zemledelii [Agrochemical foundations for the effective use of fertilizers in intensive farming]*. Moscow: Nauka [in Russian].
15. Tkachenko, M., Pavlichenko, A., Kondratyuk, I. & Dmytrenko, O. (2020). Kyslotni vlastyivosti sirykh lisovykh gruntiv zalezno vid system udobrennya [Acid properties of gray forest soils depending on fertilization systems and long-term consequences of chemical amelioration]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological journal, 2, 62–68*. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207682> [in Ukrainian].
16. Dehodiuk, E.H., Litvinova, O.A., Yarmolenko, Ye.V. & Dmytrenko, O.V. (2019). Vplyv orhanichnykh dobriv na rodychist siroho lisovoho gruntu [Influence of organic fertilizers on the fertility of gray forest soil]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological journal, 2, 31–36*. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2019.174015> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 10.10.2021