



# Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.416.1:631.416.  
2:631.416.4

© 2021

## 50-РІЧНА ДИНАМІКА ВМІСТУ РУХОМИХ СПОЛУК АЗОТУ, ФОСФОРУ І КАЛІЮ В ЧОРНОЗЕМІ ОПІДЗОЛЕНОМУ ЗА ДАНИМИ СТАЦІОНАРНОГО ПОЛЬОВОГО ДОСЛІДУ

М.М. Мірошниченко<sup>1</sup>, А.О. Христенко<sup>2</sup>, Є.Ю. Гладкіх<sup>3</sup>

<sup>1</sup>доктор біологічних наук, член-кореспондент НААН

<sup>2,3</sup>кандидати сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»  
вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: <sup>1</sup>ecosoil@meta.ua, <sup>2</sup>khristenko53@gmail.com, <sup>3</sup>ye.hladkikh@ukr.net

ORCID: <sup>1</sup>0000-0003-2830-5933, <sup>2</sup>0000-0003-4389-9274, <sup>3</sup>0000-0002-4852-0502

Надійшла 2.07.2021

**Мета.** Встановити закономірності динаміки змін забезпеченості чорнозему опідзоленого основними елементами живлення за систематичного застосування мінеральних добрив та після припинення їх унесення. **Методи.** Статистико-математичний аналіз спостережень за вмістом мінерального азоту, рухомого фосфору та калію в чорноземі опідзоленому стаціонарного польового досліді з добривами в 1970–2020 рр. на території ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (Харківський район Харківської області). **Результати.** Без застосування мінеральних добрив уміст мінерального азоту в орному шарі ґрунту залежить від кількості опадів і здебільшого відповідає градаціям дуже низького або низького рівнів, а вміст рухомого фосфору та калію — межі низької та середньої забезпеченості цими елементами. За систематичного внесення мінеральних добрив уміст рухомого фосфору та калію в ґрунті підвищується за норми 50 кг д.р. на 1 га з інтенсивністю 2,3 мг/кг за рік та 1,2 мг/кг за рік, за норми 100 кг д.р. на 1 га — 3,1 мг/кг за рік та 2,4 мг/кг за рік, відповідно. Витрати фосфорних добрив для зміни вмісту рухомого  $P_2O_5$  в орному шарі ґрунту на 1 мг/кг залежать від тривалості систематичного удобрення і становлять 13,1–25,9 кг  $P_2O_5$  на 1 га. Витрати калійних добрив для зміни вмісту рухомого  $K_2O$  в орному шарі ґрунту на 1 мг/кг набагато більші за фосфор і в середньому за період проведення досліді були 49,5 кг д.р./га. Після припинення внесення добрив спостерігалось зменшення вмісту рухомого фосфору в ґрунті у перші 10 років на 5,5 мг  $P_2O_5$ /кг за рік, 20 років — на 4,8 мг  $P_2O_5$ /кг, за 30 років — на 4,1 мг  $P_2O_5$ /кг. Зменшення вмісту рухомого калію в ґрунті після припинення внесення

**ня добрив відбувається майже вдвічі швидше, ніж фосфору. Висновки. За допомогою моделювання різних рівнів забезпеченості рухомих фосфором і калієм установлено показники інтенсивності змін трофічного стану ґрунту за систематичного внесення мінеральних добрив під культури польової сівозміни та після припинення удобрення. Розраховано прогнозні витрати діючої речовини фосфорних і калійних добрив для збільшення вмісту рухомого фосфору та калію на 1 мг/кг ґрунту, а також показники інтенсивності його зменшення за екстенсивного використання чорнозему (без мінеральних добрив).**

**Ключові слова:** довготривалий польовий дослід, добрива, елементи живлення, динаміка, регресійні моделі, післядія, інтенсивне внесення добрив.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202108-01>

Стаціонарні польові дослідження є джерелом нових знань про перебіг ґрунтових процесів, об'єктом наукового моніторингу та інструментом моделювання й прогнозування антропогенної еволюції ґрунтів та їх родючості. Наукова та практична цінність польового експерименту значна і зростає прямо пропорційно тривалості його проведення. Найбільш тривалим польовим дослідом Ротамстедської дослідної станції у Великій Британії виповнилося понад 170 років, дослідом у Франції та США — 145, а всього у світі лише 6 країн мають польові дослідження, які тривають понад 100 років [1]. Довгострокові польові експерименти генерують набори даних, які дають змогу простежити в часі дію залежних від дослідника чинників, насамперед різних агрозаходів [2]. Завдяки цьому тривалі польові дослідження мають великий потенціал щодо подальшого вдосконалення технологій вирощування сільськогосподарських рослин, розвитку систем землеробства, захисту довкілля в аграрній сфері [3–7]. Незамінність стаціонарних польових дослідів пов'язана також із тим, що дотримання схеми експерименту впродовж тривалого періоду дає можливість виявити ефекти і процеси, які відбуваються дуже повільно, але поступово змінюють рівень родючості ґрунтів [8].

Упродовж 1969–1970 рр. на території дослідного поля ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» було закладено стаціонарний польовий дослід «Ефективність мінеральних добрив залежно від рівня забезпеченості поживними речовинами». У досліді було використано метод моделювання агрохімічних фонів

із різними рівнями і співвідношенням елементів живлення в ґрунті за допомогою внесення високих разових норм мінеральних добрив [9]. Завдяки проведенню цього дослідження одержали унікальний експериментальний матеріал та успішно розв'язали низку теоретичних, методичних і практичних завдань, відображених у численних публікаціях, зокрема в наукових монографіях [10–14]. 50-річні спостереження в досліді дають змогу встановити закономірності змін умісту рухомих сполук азоту, фосфору і калію в орному шарі ґрунту в умовах його екстенсивного, інтенсивного і постінтенсивного використання.

Сучасне землеробство стикається з низкою викликів, що обмежують обсяги застосування мінеральних добрив і мають тенденцію до посилення. Подорожчання енергоресурсів, екологічні обмеження та заходи з обмеження викидів парникових газів, вичерпність сировинної бази, ускладнення торговельних відносин із постачальниками імпортованих добрив і ризики, пов'язані з введенням ринку земель сільськогосподарського призначення в Україні, змушують агропромисловців коригувати стратегію удобрення сільськогосподарських культур. При цьому важливо розуміти динамічний характер ефективної родючості ґрунтів та перебіг її подальших змін.

**Мета досліджень** — виявити тренди та інтенсивність змін забезпеченості ґрунту основними елементами живлення за систематичного застосування мінеральних добрив і після припинення їх унесення.

**Матеріали та методи досліджень.** Стаціонарний польовий дослід було закладено

після розорювання 40-річного перелугу чорнозему опідзоленого на території нинішнього ДП «ДГ «Граківське» ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (Харківський район Харківської обл., географічні координати: 49°46' п. ш., 39°40' с. д.). Упродовж 1969–1970 рр. 2-разовим унесенням високих норм мінеральних добрив (400; 800 та 1200 кг/га) було створено 3 рівні (середній, підвищений і високий) азотно-фосфорного, калійного та азотно-фосфорно-калійного фону [9]. Після закінчення II ротації (1982 р.) на кожному фоні було додатково внесено ще 200, 400 і 600 кг/га д.р. мінеральних добрив відповідно. Отже, сумарна кількість діючої речовини внесених добрив на зазначених вище фонах становила 600, 1200 і 1800 кг/га.

На створених фонах виділено такі варіанти дослідів: на всіх фосфорних (калійних та азотних) рівнях, на фоні відповідного парного поєднання вивчають 2 дози фосфору (калію, азоту), на азотно-фосфорно-калійних фонах — дію однієї дози азоту, парного поєднання азоту і фосфору та однієї дози повного добрива. Дози мінеральних добрив під культури сівозмін наведено в табл. 1. На всіх фонах, крім контрольних, за 6 ротацій сівозміни було сумарно внесено 140 т/га напівперепрілого ґною.

Площа елементарної дослідної ділянки на момент закладання досліджу становила 148,5 м<sup>2</sup> (5,5×27 м), повторення 3-разове. У 1989 р. (четверта ротація, 1989–1994 рр.) елементарні дослідні ділянки було

розщеплено на 2 частини, розмір кожної з яких 5,5 м × 13,5 м. На одній половині ділянки вносили дози мінеральних добрив (див. табл. 1), на другій — вивчали післядію конкретного елемента живлення.

Вихідні параметри властивостей ґрунту: рН сольовий — 5,4, вміст гумусу — 4,0 %, часточок фізичної глини — 50–52 %, рухомого Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> — 45 мг/кг; рухомого К<sub>2</sub>О — 80 мг/кг. Для накопичення, аналізу та обробки масиву даних використано СУБД Access 98, Microsoft Excel 98 і статистичний пакет Statistica 13.0.

Вимірювання вмісту мінерального азоту в пробах чорнозему опідзоленого [15], рухомих форм фосфору і калію — за Чиріковим згідно з ДСТУ 4115:2002 [16].

**Результати досліджень.** Особливістю стаціонарного польового досліджу є його розташування на чорноземах опідзолених, які утворилися на лесовидних суглинках важкосуглинкового гранулометричного складу в смузі переходу від чорноземів типових до темно-сірих опідзолених ґрунтів, де залежно від висоти, особливостей рельєфу, експозиції складаються різні гідротермічні умови. Тому може спостерігатися різне співвідношення процесів акумуляції гумусу, вилугування карбонатів та опідзолення. З високим ступенем ймовірності можна стверджувати, що результати досліджень у цьому стаціонарному досліді можна поширювати також і на інші типи ґрунтів на лесових породах, зокрема чорноземі типові та темно-сірі опідзолені ґрунти.

### 1. Дози мінеральних добрив під культури сівозміни в досліді

Культура сівозміни	Доза мінеральних добрив, кг д. р. на/га		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Горохо-вівсяна сумішка на зелений корм	—	—	—
Пшениця озима	60*–120**	60–120	60–120
Буряки цукрові	90–180	90–180	90–180
Ячмінь	—	—	—
Кукурудза молочно-воскової стиглості	90–180	90–180	90–180
Пшениця озима	60–120	60–120	60–120

\*Одинарна доза добрив (111), \*\*подвійна (222).

Автор [17] зазначав, що чорноземам опідзоленим властиве поєднання ознак чорноземів типових та опідзолених ґрунтів. Попри те, що у всесвітній реферативній базі FAO/WRB та в національних класифікаціях окремих країн ці ґрунти належать до різних типів [18–20], за однакового гранулометричного складу вони є подібними за рівнем накопичення азоту, фосфору та калію [21], тобто мають близький рівень потенційної родючості. Завдяки здатності накопичувати значний запас азоту всі такі ґрунти забезпечують стабільну врожайність зернових, навіть без застосування мінеральних добрив [22].

Практичне значення має не стільки валовий запас певного елемента живлення в ґрунті, скільки наявність його легкодоступних форм. Спостереження в досліді показують наявність певної динаміки та значної варіабельності вмісту нітратного азоту (N) в шарі 0–60 см, навіть без застосування мінеральних добрив (рис. 1).

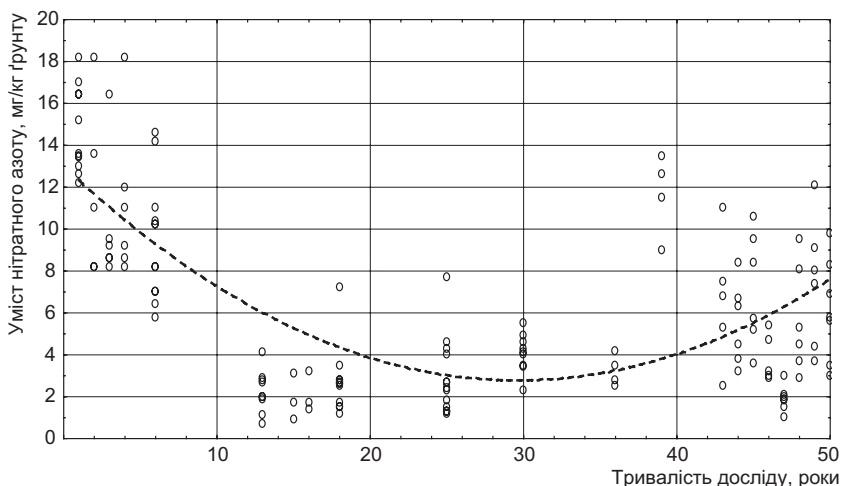
Між запасами мінерального азоту в ґрунті та кількістю опадів є кореляційний зв'язок ( $r=0,49$ ), тобто оптимальні умови для ґрунтової мікробиоти сприяють також кращому забезпеченню ґрунтів азотом. На жаль, підвищення вмісту мінерального азоту під впливом цього чинника є невеликим, цей показник досягав лише рівня середньої забезпеченості ґрунту, а здебільшого

відповідав градаціям дуже низького або низького рівнів.

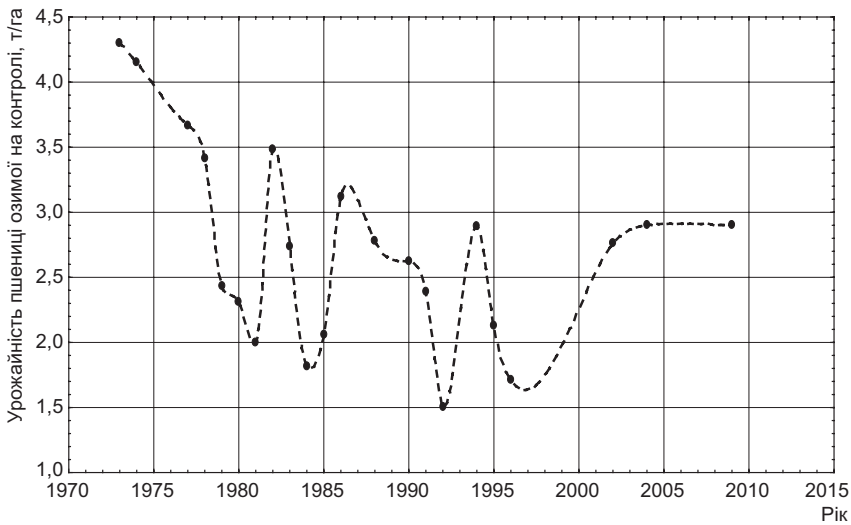
Основною причиною цього є недостатність лабільного пулу легкодоступної мікробіологічного розкладу органічної речовини (ЛОР), спричинена відсутністю органічних добрив у системі удобрення, а багаторічних бобових трав — у сівозміні. За таких умов зменшення запасів ЛОР у ґрунті відбувається досить швидко [23], тому й урожайність пшениці озимої в контрольному варіанті швидко знизилася до рівня 2–3 т/га з коливаннями за роками залежно від гідротермічних та інших умов (рис. 2).

Тривале проведення польового дослідю має свої особливості, однією з яких є необхідність запобігання переміщенню ґрунтового матеріалу із суміжних ділянок, з яким на контрольні ділянки надходять залишкові сполуки фосфорних і калійних добрив, та навпаки. Це явище можна мінімізувати, але повністю усунути неможливо, особливо за полицевого обробітку ґрунту [24, 25]. У середньому сумарне внесення добрив у нормі  $P_{1000}$  підвищувало вміст рухомого фосфору в орному шарі ґрунту на суміжній ділянці на 9,0 мг  $P_2O_5$ /кг, за внесення  $K_{1000}$  вміст рухомого калію підвищувався на 3,0 мг/кг.

З урахуванням зазначених вище коректив за відсутності додаткового надходження фосфору та калію з добривами вміст їх рухомих сполук у ґрунті істотно за 50 років



**Рис. 1.** Динаміка вмісту нітратного азоту в шарі 0–60 см без унесення мінеральних добрив упродовж 50-ти років



**Рис. 2.** Динаміка врожайності пшениці озимої в контрольному варіанті досліді (без добрив)

не змінився, залишившись на рівні  $45,0 \pm \pm 5,0$  мг/кг та  $80,0 \pm 10$  мг/кг відповідно. Цей факт, як і вся багатовікова історія і практика землеробства підтверджує, що за екстенсивного використання орні чорноземі здатні впродовж невизначено тривалого часу підтримувати сталий, але, на жаль, невисокий рівень родючості, який відповідає межі низького та середнього забезпечення елементами живлення. Такий рівень живлення рослин недостатній для реалізації генетичного потенціалу сучасних сортів, урожайність яких на менш родючих лесових ґрунтах без удобрення може бути навіть нижчою, ніж у цьому стаціонарному досліді [26].

Із термодинамічних позицій ґрунт є відкритою поліморфною багатокомпонентною системою, яка обмінюється з навколишнім середовищем речовиною та енергією і може мати так званий «квазірівноважний» режим функціонування, що забезпечує підтримку й оновлення внутрішнього складу, будови і зв'язків між своїми компонентами в умовах коливання зовнішніх чинників [14]. Тому кількість реально доступних рослинам сполук елементів живлення в екстенсивно використовуваному орному ґрунті є величиною постійною за уявної (позірної) їх динамічності. Будь-яка кількість елемента живлення (фосфору або калію), що надійшла ззовні в активній формі в раніше неудобрюваний

ґрунт, обов'язково призведе до тимчасової зміни його трофічного рівня в бік підвищення. Це явище пояснюється низьким коефіцієнтом використання добрив рослинами і тим, що кількість  $P_2O_5$  або  $K_2O$ , взятих рослинами з природних запасів ґрунту (десятьки або навіть сотні тонн у кореневмісному шарі), обов'язково самовідновиться: рівновага в системі «тверда фаза–рідка фаза» неудобрених ґрунтів не може бути порушеною [14].

З іншого боку, за систематичного удобрення вміст рухомих сполук поживних речовин (насамперед фосфору та калію) у ґрунті підвищується за рахунок накопичення залишкових сполук добрив. Інтенсивність цього процесу, особливо в орному шарі, визначається нормою внесення добрив і гранулометричним складом ґрунту.

Зокрема, систематичне внесення фосфорних добрив за середньої норми  $P_{50}$  сприяло підвищенню вмісту рухомого фосфору в ґрунті з інтенсивністю 2,3 мг/кг за рік відповідно до рівняння:

$$P_2O_5 = 34,8 + 3,93 \cdot T - 0,034 \cdot T^2, r = 0,87,$$

де  $P_2O_5$  — вміст  $P_2O_5$  за Чиріковим, мг/кг ґрунту;  $T$  — термін унесення фосфорних добрив, роки.

Із підвищенням середньорічної норми внесення фосфорних добрив до  $P_{100}$  інтенсивність накопичення рухомого  $P_2O_5$  у ґрунті зростає і становить 3,1 мг/кг за рік.

Інтенсивність накопичення  $P_2O_5$  від кількості внесених фосфорних добрив характеризується рівнянням:

$P_2O_5 = 38,3 + 0,072 \cdot D - 0,00000 \cdot D^2$ ,  $r = 0,80$ ,  
де  $P_2O_5$  — уміст  $P_2O_5$  за Чиріковим, мг/кг ґрунту;  $D$  — сумарна кількість унесених добрив,  $P_2O_5$  кг/га.

Тобто за подвоєння норми внесення мінеральних добрив інтенсивність накопичення фосфору в ґрунті підвищилася лише в 1,3 раза, що відповідає сучасним уявленням про буферність фосфатної системи ґрунтів [27–30].

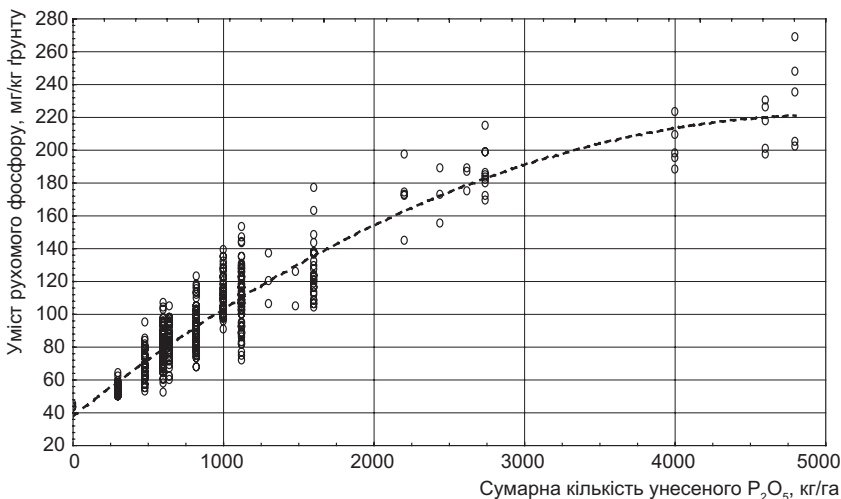
Норматив витрат фосфорних добрив для зміни вмісту рухомого  $P_2O_5$  в орному шарі ґрунту на 1 мг/кг є динамічною величиною і залежить від тривалості систематичного удобрення, тобто від кількості привнесеного фосфору в складі мінеральних добрив. Спостереження в досліді показують, що з підвищенням рівня забезпечення ґрунту рухомих фосфором для подальшого збільшення потрібно дедалі більше добрив та часу (рис. 3). Середню річну кількість добрив для підвищення вмісту рухомого фосфору на 1 мг/кг ґрунту за перші 10 років систематичного удобрення становить 13,1 кг  $P_2O_5$ /га, 20 років — 14,2 кг  $P_2O_5$ /га; 30 років — 18,2 кг  $P_2O_5$ /га, 40 років — 22,7 кг  $P_2O_5$ /га, за 50 років — 25,9 кг  $P_2O_5$ /га. Для того, щоб підвищити вміст рухомого

фосфору з 50 до 100 мг/кг ґрунту, знадобилося майже 700 кг  $P_2O_5$ , зі 100 до 150 мг/кг — майже 950 кг  $P_2O_5$ , для підвищення зі 150 до 200 мг/кг — понад 1400 кг  $P_2O_5$ . Автором [31] встановлено, що з досягненням рівня вмісту рухомого фосфору (за Чиріковим) 130–160 мг/кг ґрунту (за умови частки залишкових фосфатів 30–40 %) ефективність основного внесення фосфорних добрив під польові культури різко зменшується. На такому фоні ґрунтового живлення мають переважати так звані «стартові» фосфорні добрива, норми і технології, унесення яких визначають з урахуванням фізіологічних обмежень щодо концентрації солей у насіннєвій зоні [32, 33] та позакореневої обробки рослин на пізніших стадіях їхнього розвитку (для зернових — від цвітіння) [34, 35].

Норматив витрат калійних добрив для зміни вмісту рухомого  $K_2O$  на 1 мг/кг ґрунту також є динамічною величиною і за інших рівних умов (норма добрив, гранулометричний склад) також визначається фактором часу згідно з рівнянням:

$K_2O = 83,3 + 0,025 \cdot D - 0,0000009969 \cdot D^2$ ,  $r = 0,82$ ,  
де  $K_2O$  — уміст  $K_2O$  за Чиріковим, мг/кг ґрунту;  $D$  — сумарна кількість унесених добрив  $K_2O$ , кг/га.

Однак через необмінну сорбцію калію глинистими мінералами витрати калійних



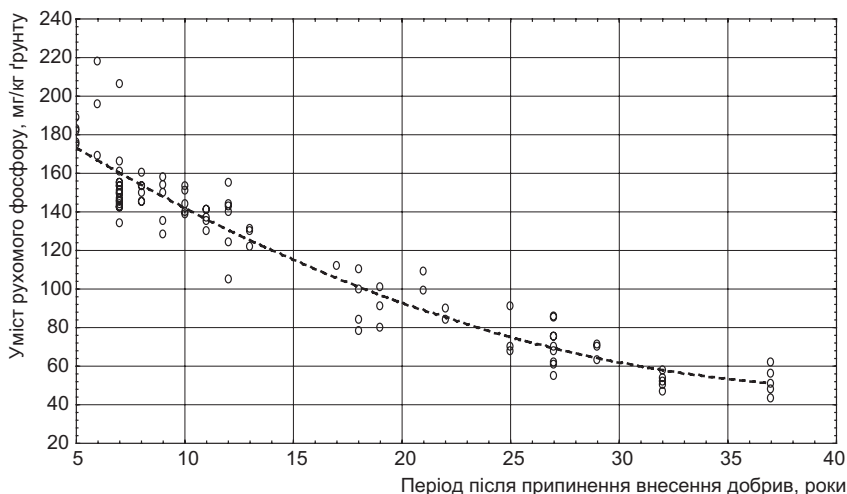
**Рис. 3.** Динаміка вмісту рухомого фосфору в орному шарі чорнозему залежно від сумарної кількості внесених добрив

добрив для зміни вмісту рухомого  $K_2O$  на 1 мг/кг ґрунту набагато більші за фосфор і в середньому за період проведення досліду становили 49,5 кг д.р./га. За узагальненням авторів [36], цей показник може становити 6–42,5 кг/га  $K_2O$ . За мінеральної системи удобрення на близькому за генезисом темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті Західного Лісостепу України за 12 років проведення досліду цей показник був 47,6 кг/га [37], на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому Правобережного Лісостепу в 50-річному польовому досліді — 80,3–95,1 кг/га [38]. За сучасного рівня цін на імпортовані калійні добрива це дуже високі показники, тому в найближчому майбутньому в Україні не слід очікувати підвищення забезпеченості ґрунту рухомих калієм без зростання обсягів унесення органічних добрив.

Водночас повільне зростання рухомого калію зумовлене не лише зв'язуванням калію, а й динамічним характером калійної рівноваги «тверда фаза — розчин» у ґрунті значною умовністю поняття «рухомий (обмінний, доступний) калій» і методів його визначення. Узагальнення даних 68-ми польових дослідів із калійними добривами в США та інших країнах, проведене авторами [39], не дало переконливих доказів об'єктивності тестування калійного статусу ґрунту. Дослідження [40] у 24-річному

стаціонарі на Haplic Luvisols (згідно з класифікацією WRB [18] суглинкового гранулометричного складу показали, що навіть за щорічного надходження K до ґрунту в нормі 218–230 кг/га приріст його доступних форм за методом Mehlich 3 становив лише 1,4–2,4 на рік. З урахуванням різниці між методом Mehlich 3 і методом Чирікова це досить близько до результатів нашого польового досліду, де середнє річне підвищення вмісту  $K_2O$  становило 1,2 мг/кг ґрунту за норми  $K_{50}$  та 2,4 мг/кг ґрунту за норми  $K_{100}$ .

Створення високого агрохімічного фону в стаціонарному польовому досліді дало змогу простежити перебіг процесів, зворотних накопиченню рухомих форм елементів живлення, зокрема поступове погіршення показників поживного стану ґрунтів після припинення внесення добрив. За рахунок 2-етапного внесення норми  $P_{1800}$  ( $P_{1200} + P_{600}$ ) уміст рухомого  $P_2O_5$  в ґрунті підвищився з 45 мг/кг ґрунту до 185 мг/кг, тобто з низького до високого рівнів забезпеченості. Унесення такої високої норми добрив переводить відповідну (фосфатну або калійну) систему ґрунту до енергетично невігідного невірноваженого стану, тому за другим законом термодинаміки вміст рухомого фосфору неодмінно має знижуватися. Тривалість цього процесу визначається кількістю залишкових форм добрив і гранулометричним складом ґрунту [14], а його



**Рис. 4.** Динаміка зниження вмісту рухомого фосфору в орному шарі чорнозему після створення високого фосфатного фону

## 2. Інтенсивність зниження вмісту рухомих сполук калію в орному шарі чорнозему після припинення внесення добрив

Створений агрохімічний фон	Час досягнення динамічної рівноваги, роки	Інтенсивність зниження вмісту поживних речовин, мг К <sub>2</sub> O/кг ґрунту за 1 рік	
		у перші 3 роки	за весь цикл
K <sub>400</sub>	4–5	5,6	3,8
K <sub>800</sub>	6–7	7,6	3,6
K <sub>1200</sub>	10–11	8,4	4,4

перебіг описується математичною моделлю, побудованою за даними спостережень у 1983–2020 рр.:

$$P_2O_5 = -209 - 7,64 \cdot T + 0,091 \cdot T^2, r = 0,81,$$

де P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — уміст P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> за Чиріковим, мг/кг ґрунту; T — роки.

Згідно з цією моделлю середньорічне зниження вмісту рухомого P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на максимальному фосфатному фоні (P<sub>1200</sub> + P<sub>600</sub>) у перші 10 років становило 5,5 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг, 20 років — 4,8 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг, за 30 років — 4,1 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг (рис. 4). Отже, у перші роки після припинення внесення добрив уміст рухомого фосфору в ґрунті знижується найбільш інтенсивно. Очікується, що в 2023 р. вміст

рухомого фосфору досягне стану динамічної рівноваги (49,0 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг ґрунту) і подальше його зниження не відбуватиметься.

Закономірності динаміки вмісту рухомого калію після припинення внесення калійних добрив аналогічні, зокрема: висока інтенсивність зниження в перші роки та збільшення тривалості цього процесу з підвищенням сумарної кількості добрив (табл. 2). Однак на відміну від фосфору після припинення внесення мінеральних добрив тривалість періоду повернення параметрів калійної системи ґрунту до вихідного рівня (динамічної рівноваги) майже вдвічі менша.

## Висновки

За екстенсивного використання в польовій сівозміні впродовж 50-ти років чорнозем опідзолений важкосуглинковий в орному шарі має дуже низьку або низьку забезпеченість мінеральним азотом, а забезпеченість рухомих фосфором і калієм — на межі низьких та середніх значень (45,0±5,0 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг і 80,0±10 мг K<sub>2</sub>O/кг ґрунту відповідно).

За систематичного внесення мінеральних добрив на чорноземі опідзоленому важко-

суглинковому вміст рухомого фосфору та калію в ґрунті підвищується: за норми 50 кг д.р. на 1 га — з інтенсивністю 2,3 мг/кг та 1,2 мг/кг за рік, за норми 100 кг д.р. на 1 га — 3,1 мг/кг та 2,4 мг/кг за рік відповідно.

У разі припинення внесення фосфорних і калійних добрив уміст рухомого фосфору та калію в чорноземі опідзоленому поступово знижується до стану динамічної рівноваги на межі низьких і середніх значень забезпеченості.

Miroshnychenko M.<sup>1</sup>, Khristenko A.<sup>2</sup>, Hladkikh Ye.<sup>3</sup>

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», 4 Chaikivska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>ecosoil@meta.ua, <sup>2</sup>khristenko53@gmail.com, <sup>3</sup>ye.hladkikh@ukr.net; ORCID: <sup>1</sup>0000-0003-2830-5933, <sup>2</sup>0000-0003-4389-9274, <sup>3</sup>0000-0002-4852-0502

**50-year dynamics of the content of moving compounds of nitrogen, phosphorus and potassium in degraded chernozem according to**

**the stationary field experiment**

**Goal.** To establish the regularities of dynamics of changes in the supply of basic nutrients at the systematic use of mineral fertilizers and after the cessation of their application. **Methods.** Statistical-mathematical analysis of observations on the content of mineral nitrogen, mobile phosphorus, and potassium in degraded chernozem of the stationary field experiment with fertilizers in 1970–2020 on the territory of SE «SF Hrakivske» of NSC ISSA named after O.N. Sokolovskiyi (Kharkiv district,

Kharkiv oblast). **Results.** Without the use of mineral fertilizers, the content of mineral nitrogen in the arable layer of the soil depends on the number of deposits and mostly corresponds to gradations of very low or low levels, and the content of mobile phosphorus and potassium corresponds to the limits of low and medium supply of these elements. With the systematic application of mineral fertilizers, the content of mobile phosphorus and potassium in the soil increases at the rate of 50 kg of the active substance (a.s.) per 1 ha with an intensity of 2.3 mg/kg per year and 1.2 mg/kg per year, at the rate of 100 kg a.s. per 1 ha — 3.1 mg/kg per year and 2.4 mg/kg per year, respectively. The consumption of phosphorus fertilizers to change the content of mobile  $P_2O_5$  in the arable soil layer by 1 mg/kg depends on the duration of systematic fertilization and is 13.1–25.9 kg of  $P_2O_5$  per 1 ha. The cost of potassium fertilizers to change the content of mobile  $K_2O$  in the arable soil layer by 1 mg/kg is much higher than phosphorus and on average during the experiment was 49.5 kg a.s./ha. After the cessation

of fertilizer application, there was a decrease in the content of mobile phosphorus in the soil in the first 10 years by 5.5 mg  $P_2O_5$ /kg per year, 20 years — by 4.8 mg  $P_2O_5$ /kg, for 30 years — by 4.1 mg  $P_2O_5$ /kg. The reduction of mobile potassium content in the soil after the cessation of fertilizer application is almost twice as fast as phosphorus. **Conclusions.** Using modeling of different levels of mobile phosphorus and potassium, the intensity of changes in the trophic state of the soil with the systematic application of mineral fertilizers under field crop rotation and after the cessation of fertilization. The estimated costs ic calculated of the active substance of phosphorus and potassium fertilizers to increase the content of mobile phosphorus and potassium by 1 mg/kg of soil, as well as the intensity of its reduction with extensive use of chernozem (without mineral fertilizers).

**Key words:** long-term field experiment, fertilizers, nutrients, dynamics, regression models, after-effect, intensive fertilizer application.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovissnyk202108-01>

## Бібліографія

1. Debreczeni K., Korschens M. Long-term field experiments of the world. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2003. № 49(5). P. 465–483. doi: 10.1080/03650340310001594754
2. Reckling M., Ahrends H., Chen T.W. et al. Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. *Agronomy of Sustainable Development*. 2021. V. 41. № 27. doi: 10.1007/s13593-021-00681-4
3. Reckling M., Doring T.F., Bergkvist G. et al. Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across Northern Europe. *Agronomy of Sustainable Development*. 2018. V. 38(6). № 63. P. 62–73. doi: 10.1007/s13593-018-0541-3
4. St-Martin A., Vico G., Bergkvist G., Bommarco R. Diverse cropping systems enhanced yield but did not improve yield stability in a 52-year long experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2017. V. 247. P. 337–342. doi: 10.1016/j.agee.2017.07.013
5. Macholdt J., Styczen M.E., Macdonald A. et al. Long-term analysis from a cropping system perspective: yield stability, environmental adaptability, and production risk of winter barley. *European J. of Agronomy*. 2020. V. 117. P. 36–56. doi: 10.1016/j.eja.2020.126056
6. Johnston A.E., Poulton P.R. The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued crop production and soil fertility; the Rothamsted experience. *European Journal of Soil Science*. 2018. V. 69(1). P. 113–125. doi: 10.1111/ejss.12521

7. Richter D., Hofmockel M., Callaham M. et al. Global inventory of long-term soil-ecosystem experiments. 2017. Access URL: <https://Nicholas.Duke.Edu/Ltse> [15.09.2017]
8. Балюк С.А., Ревтьєв-Уварова А.В., Шумель В.В. Путівник польових дослідів ДП «Дослідне господарство «Граківське» ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»: науково-довідкове видання. Харків: ФОП О.В. Бровін, 2020. 108 с.
9. Носко Б.С. Использование метода моделирования фонов при изучении агрохимических свойств почв. *Агрохимия*. 1981. №1. С.122–127.
10. Носко Б.С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив. Київ: Урожай, 1990. 224 с.
11. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків: КП «Друкарня № 13», 2006. 240 с.
12. Носко Б.С. Азотний режим ґрунтів і його трансформація в агроєкосистемах. Харків: КП «Міська друкарня», 2013. 130 с.
13. Христенко А.А. Калийное состояние почв и эффективность удобрений. Харьков: ФЛП А.В. Бровин, 2017. 120 с.
14. Христенко А.А. Теоретические и практические аспекты оценки состояния и динамики азотных, фосфатных и калийных систем почв. Харьков: ФЛП А.В. Бровин, 2019. 180 с.
15. Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського: ДСТУ 4729:2007. [Чинний від 2008-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 14 с. (Національний стандарт України).

16. *Ґрунти*. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирікова: ДСТУ 4115:2002. [Чинний від 2003-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2002. 10 с. (Національний стандарт України).

17. *Папіш І.* Чорноземи опідзолені (Faeozems) Львівської області в системі ґрунтово-географічного районування: географія і регіональні особливості. *Наукові записки*. 2016. № 1. С. 59–67.

18. *IUSS Working Group WRB.* World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 2015. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

19. *Kabala C.* Chernozem (Czarnoziem) — soil of the year in Poland. Origin, classification and use of Chernozems in Poland. *Soil Science Annual*. 2019. V. 70. № 3. P. 184–192.

20. *Полупан М.І., Соловей В.Б., Кусіль В.І., Величко В.А.* Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України: навч. посіб. Київ: Колодоби, 2005. 304 с.

21. *Почвы Украины и повышение их плодородия*. Т. 1. Экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты; под ред. Н.И. Полупана. Київ: Урожай, 1988. 296 с.

22. *Catt J.A.* The agricultural importance of loess. *Earth-Science Reviews*. 2001. V. 54. Is.1–3. P. 213–229.

23. *Бедернічек Т.Ю., Гамкало З.Г.* Лабільна органічна речовина ґрунту: теорія, методологія, індикаторна роль. Київ: Кондор-Видавництво, 2014. 180 с.

24. *Малієнко А.М.* До питання методики проведення польових стаціонарних дослідів з вивчення ефективності добрив. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 3. С. 15–18.

25. *Теорія і практика ґрунтоохоронного моніторингу*; за ред. М.М. Мірошніченка. Харків: О.В. Бровін, 2016. 384 с.

26. *Ahrends H. E., Eugster W., Gaiser T.* et al. Genetic yield gains of winter wheat in Germany over 100 years (1895–2007) under contrasting fertilizer applications. *Environmental Research Letters*. 2018. № 13. P. 1–13. doi: 10.1088/1748-9326/aade12

27. *Mumbach G.L., Gatiboni L.C., Dall'Orsola D.J.* et al. Refining phosphorus fertilizer recommendations based on buffering capacity of soils from southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2021. № 45. P. 20–33. doi: 10.36783/18069657rbcs20200113

28. *Reis J.V., Alvarez V.H., Durigan R.D.* et al. Interpretation of soil phosphorus availability by Mehlich-3 in soils with contrasting phosphorus buffering capacity. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2020. № 44. P. 19–30. doi: 10.36783/

18069657rbcs20190113

29. *Daly K., Styles D., Lalor S., Wall D.P.* Phosphorus sorption, supply potential and availability in soils with contrasting parent material and soil chemical properties. *European Journal of Soil Science*. 2016. № 66(4). P. 792–801. doi: 10.1111/ejss.12260

30. *Recena R., Díaz I., del Campillo M.C.* et al. Calculation of threshold Olsen P values for fertilizer response from soil properties. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2016. № 36 (4). P.54. doi:10.1007/s13593-016-0387-5

31. *Носко Б.С.* Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Харків: ФОРМ О.В. Бровін, 2017. 476 с.

32. *Wasanthika Harshini Galpottage Dona, Jeff J. Schoenau, Tom King.* Effect of starter fertilizer in seed-row on emergence, biomass and nutrient uptake by six pulse crops grown under controlled environment conditions. *Journal of Plant Nutrition*. 2020. № 43(6). P. 879–895. doi: 10.1080/01904167.2020.1711945

33. *Mallarino A.P., Bergmann N., Kaiser D.E.* Corn Responses to in-Furrow Phosphorus and Potassium Starter Fertiliser Application. *Agronomy Journal*. 2011. V. 103. Is. 3. P. 685–694. doi: 10.2134/agnonj2010.0377

34. *Talboys P.J., Healey J.R., Withers P.J.A.* et al. Combining Seed Dressing and Foliar Applications of Phosphorus Fertilizer Can Give Similar Crop Growth and Yi Id Benefits to Soil Applications Together with Greater Recovery Rates. *Frontiers in Agronomy*. 2020. № 2. P. 605–655. doi: 10.3389/fagro.2020.605655

35. *Крамарев С.М.* Удобрение кукурузы на черноземах обыкновенных степной зоны Украины. Днепропетровск: Новая идеология, 2010. 632 с.

36. *Носко Б.С., Прокошев В.В.* Калійні добрива в землеробстві України. Москва: Міжнародний інститут калію, 1999. 55 с.

37. *Лопушняк В.І.* Агрохімічні та агроекологічні аспекти системи удобрення в Західному Ліссостепу України: монографія; за ред. А.І. Фатєєва. Львів: Ліга-Прес, 2015. 218 с.

38. *Господаренко Г.М., Черно О.Д., Нікіміна О.В.* Агрохімія калію; за ред. Г.М. Господаренка. Київ: ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с.

39. *Khan S.A., Mulvaney R.L., Ellsworth T.R.* The potassium paradox: Implication for soil fertility, crop production and human health. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2021. № 29(1). P. 3–27. doi:10.1017/S1742170513000318

40. *Madaras M., Lipavsky J.* Interannual dynamics of available potassium in a long-term fertilization experiment. *Plant, Soil and Environment*. 2009. № 55. P. 334–343.