

DOI: 10.32636/01308521.2025-(78)-2-1

Оригінальна наукова стаття

УДК 631.4:633.15:631.816

ВЛАСТИВОСТІ ТЕМНО-СІРОГО ОПІДЗОЛЕНОГО ҐРУНТУ І ТОЧНЕ РІЛЬНИЦТВО**П. С. Гнатів¹, Ю. В. Піщик², В. Я. Іванюк², О. Й. Качмар¹, М. М. Щерба¹**

¹Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,
Львівський р-н, Львівська обл.,
81115

²Львівський національний
університет ветеринарної
медицини та біотехнологій імені
С. З. Ґжицького
вул. Пекарська, 50, м. Львів, 79010

Про авторів:

Петро ГНАТІВ,
доктор біологічних наук
ORCID: 0000-0003-2519-3235

Юрій ПІЩИК,
аспірант
ORCID: 0000-0003-0868-6716

Віктор ІВАНЮК,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-6885-9212

Оксана КАЧМАР,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-0382-6030

Марія ЩЕРБА,
науковий співробітник
ORCID: 0000-0002-0773-6382

Для листування:

Петро ГНАТІВ
e-mail: pshnativ@ukr.net

Інформація про фінансування:

Національна академія аграрних наук
України

Отримано:

11 серпня 2025 р.

Погоджено до друку:

2 грудня 2025 р.

Опубліковано:

30 грудня 2025 р.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

Мінливість фізичних та агрохімічних властивостей ґрунтів Лісостепу Західного зумовлює необхідність диференційованого дозування удобрення агрокультур не лише між їх різновидами, а й у межах одного поля, на якому, як правило, одна ґрунтова відміна. Причина цьому – фаціальна строкатість гранулометричного складу, їхніх кислотно-основних властивостей, вмісту органічних речовин та лабільних біогенних елементів. У межах одного поля темно-сірого опідзоленого крупнопилуватого легкосуглинкового ґрунту у відділені «Вирів» ТОВ "СІЕФДЖІ ТРЕЙДІНГ" ми виявили варіативність аналітичних результатів від 4,25 до 26,8 % за семи показниками. Обчислені коефіцієнти парних кореляцій для цих показників охоплювали діапазон від вельми тісних до слабких і відсутніх. Вміст гумусу в орному шарі змінювався від 2,7 до 4,0 % (коефіцієнт варіації – 11,35 %). Варіація запасів доступного азоту в ґрунті була найменшою з-поміж інших показників (від 112 до 133 мг/кг ґрунту; коефіцієнт варіації – 5,2 %). З умістом гумусу була визначена помірна кореляція вмісту легкогідролізного азоту, проте у подібному до гумусу діапазоні в ґрунті змінювався ресурс фосфатів, проте встановлена лише помітна пряма залежність між цими показниками по ділянках. Запаси обмінного калію на дванадцяти ділянках різнилися майже втричі, що перевершило варіативність усіх інших показників (від 50,2 до 138,0 мг/кг; коефіцієнт варіації – 22,3 %). Методом 3В-моделювання у програмі STATISTICA-12 встановлена сильна взаємодія показників рН та гідролітичної кислотності у синергійному впливі на місткість катіонного обміну. Вміст гумусу з місткістю катіонного обміну та гідролітичною кислотністю сумісно сильно впливали на підвищення вмісту легкогідролізного азоту в орному шарі. На основі ґрунтової карти у цифровому форматі ми побудували картограми з нанесеними контурами за шістьма показниками ґрунту. Система точного рільництва передбачає інсталяцію електронної картограми поля у пам'ять комп'ютера, агрегатів для прецизійного внесення азоту, фосфору, калію чи меліорантів, відповідно до строкатості поля.

Ключові слова: гумус, кислотність, азот, фосфор, калій, прецизійне удобрення, врожай.

The properties of dark-gray podzolized soil and precision agriculture

¹Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5,
Obroshyne village, Lviv district,
Lviv region, 81115

²Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv
Pekarska Street, 50, Lviv, 79010

About authors:

Petro HNATIV
ORCID: 0000-0003-2519-3235

Yuriy PITSYK
ORCID: 0000-0003-0868-6716

Viktor IVANIUK
ORCID: 0000-0002-6885-9212

Oksana KACHMAR
ORCID: 0000-0002-0382-6030

Mariia SHCHERBA
ORCID: 0000-0002-0773-6382

For corresponding:
Petro HNATIV
e-mail: pshnativ@ukr.net

Funding information:
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:
August 11, 2025
Accepted:
December 2, 2025
Published:
December 30, 2025

The variability of physical and agrochemical properties of soils of the Western Forest-Steppe necessitates differentiated dosage of fertilizer for agricultural crops not only between their soil varieties, but also within one field, on which, as a rule, there is one soil variety. The reason for this is the facies variegation of the granulometric composition, their acid-base properties, the content of organic matter and labile biogenic elements. Within one field of dark-gray podzolized coarse-dusty light-loamy soil in the "Vyriv" department of "CFG TRADING" LLC, we found variability of analytical results from 4.25 to 26.8 % for seven indicators. The calculated pair correlation coefficients for these indicators ranged from very close to weak and absent. The humus content in the arable layer varied from 2.7 to 4.0 % (coefficient of variation 11.35 %). The variation of available nitrogen reserves in the soil was the smallest among other indicators (from 112 to 133 mg/kg of soil; coefficient of variation 5.2 %). A moderate correlation of readily hydrolysable nitrogen content with humus content was determined, but in a range similar to humus, the phosphate resource in the soil varied, but only a noticeable direct relationship was established between these indicators across plots. Exchangeable potassium reserves in twelve plots varied almost threefold, which exceeded the variability of all other indicators (from 50.2 to 138.0 mg/kg; coefficient of variation 22.3 %). The 3B-modeling method in the STATISTICA-12 program established a strong interaction of pH and hydrolytic acidity in the synergistic effect on the cation exchange capacity. The humus content with cation exchange capacity and hydrolytic acidity jointly strongly influenced the increase in the content of easily hydrolyzed nitrogen in the arable layer. Based on the soil map in digital format, we constructed cartograms with contours for six soil indicators. The precision farming system involves installing an electronic field cartogram in the computer memory as well as the units for precise application of nitrogen, phosphorus, potassium or ameliorants, according to the variegation of the field.

Keywords: humus, acidity, nitrogen, phosphorus, potassium, precision fertilization, yield.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Застосування добрив є ефективним, а іноді й вирішальним фактором, який збільшує врожайність і поліпшує його якість. Завдяки їм можна змінювати процеси обміну речовин і сприяти активнішому накопиченню в рослинах корисних компонентів – білків, жирів, вуглеводів тощо [10]. Поліпшення якості врожаю має бути спрямоване, головним чином, на підвищення вмісту в ньому білків. Цього можна досягти насамперед оптимізацією азотного

живлення рослин. В зоні Західного Лісостепу в умовах достатнього зволоження ефективність мінеральних добрив є високою, проте раціональні норми удобрення і система їхнього внесення загалом потребують додаткового вивчення [1].

В умовах постійного росту цін на мінеральні добрива актуальним залишається питання оптимізації азотного живлення культур, підвищення засвоюваності азоту із внесених добрив

шляхом вибору оптимальної схеми удобрення для конкретних ґрунтово-кліматичних умов, часу та способів внесення азотних добрив [28]. Окрім отримання високих врожаїв на високих фонах азотного живлення виробникам потрібно слідкувати й обмежувати вірогідні втрати від вимивання нітратів за межі ризосфери [17, 21], який вносять з добривами. Ці витоки азоту за межі агроєкосистеми спричиняють забруднення підземних вод і природного довкілля загалом [1, 10].

Іншим чинником рівня врожаю є родючість ґрунтів, яка залежить від їх гранулометричних, фізичних та хімічних властивостей [14], котрі змінюються тим більше, чим більші площі полів. В. Galka et al. [26] дослідили, що в глейових ґрунтах (брунатно-глейові арени солі – Brunic Gleyic Arenosols), близькому за родючістю до чорноземів, вагомо змінюються вміст органічного вуглецю, піску, мулу, глини та місткість катіонного обміну, рН у верхньому та підґрунтовому шарах. Проте, поточна просторова диференціація фізичних та хімічних властивостей ґрунту на експериментальному полі не була результатом первинних ґрунтоутворчих факторів, таких як вид і текстура материнської породи, мікротопографія поверхні, режим вологості або мікрокліматичні умови, які не диференціюються по всьому полю, а зумовлена різною інтенсивністю попереднього 60-річного обробітку та удобрення на окремих ділянках поля. А. М. Gajda, Е. А. Czyż & А. R. Dexte [13] теж встановили, що є вплив тривалого використання різних систем рільництва на фізичні [14], хімічні та мікробіологічні параметри якості ґрунту.

В. Usowicz & J. Lipiec [29] фіксували просторову мінливість властивостей ґрунту за різними показниками [9] і врожайності зернових культур на оброблюваному полі на піщаному ґрунті та В. Usowicz & М. Najnos [21] раніше повідомили, що вона поширювалася на масштаби не лише поля, а цілих господарств.

Контроль та управління мінливістю ґрунту в різних просторових масштабах є основою для точного рільництва [3, 12, 18, 23]. Е. Vrindts et al. [3] представили аналіз властивостей ґрунту та агрокультур для цієї сучасної системи рільництва. Для цього застосовують різні датчики параметрів ґрунтів і рослинного асиміляційного апарата з високою роздільною здатністю і, відповідно, точністю [11], створюють просторові та навіть часові карти даних, зокрема врожайності різних частин полів [8]. Останніми десятиліттями все глибше розробляються точні методи аналізу і прогнозування вмісту азоту в ґрунті за допомогою ближньої інфрачервоної спектроскопії [9].

Фермерські господарства чи окремі поля групують у кластери просторово-часової мінливості для диференційованого удобрення строкатих ґрунтів [19]. Це дозволяє розробляти рекомендації для запобігання зменшенню вмісту органічної речовини в ґрунті, як показано на прикладі Північного Сходу Італії [22].

Точне рільництво у ЄС вважається перспективною можливістю для підвищення мотивації фермерів і Єврокомісія здійснювала підтримку його впровадження в рамках CAP 2014–2020 рр. [12, 17, 28]. F. K. Van Evert et al. [8] констатували підвищення прибутковості та сталого виробництва картоплі та оливки за сучасною технологією. Методи та практики точного рільництва переходять від обговорення до застосування [16], а технології точного рільництва позитивно впливають на зменшення викидів парникових газів, підвищення продуктивності агровиробництва та ефективності економіки [15].

Отже, причини виникнення проблеми максимізації ефективності добрив криються у строкатості родючості ґрунтів на полях. Сучасні системи точного рільництва дозволяють усунути або нівелювати цю проблему.

Метою нашої роботи було визначення, картографування та оцінювання внутрішньопольової варіації

фізико-хімічних та агрохімічних властивостей ґрунту і пропозиції щодо врахування й використання аналітичних даних у системі точного рільництва.

Матеріали і методи. При виборі ділянки для досліджень перед закладанням варіантів удобрення поле було розбите на 12 фрагментів, на яких були зроблені відбори ґрунту з орного шару та виконаний повний агрохімічний аналіз зразків у Сервісно-аналітичному центрі (атестат акредитації № 202141 від 25.11.2022) ТОВ "УКРАВІТ САЙЕНС ПАРК" ВСП "Інститут здоров'я рослин" стандартними методами. Ґрунт – темно-сірий опідзолений крупнопилуватий легкосуглинковий на

лесі. Схема поділу поля (56 га) на п'ятигектарні ділянки. Стратегія досліджень була запозичена із закордонної практики, яка описана R. Austin, L. Gatiboni & J. Havlin [5] та іншими авторами [20]. Відбір зразків ґрунту виконали польовим буром БП-25-15 з площі кожної п'ятигектарної ділянки на глибину 0–20 см згідно з методикою Держстандарту України 4287:2004 (Якість ґрунту. Відбір проб). Кількість відборів становила 5–6 разів по маршруту зигзагом, який охоплював усю ділянку. Два об'єднані зразки з одного фрагмента поля формували з 5–6 окремих відборів. Ґрунт до повітряно-сухого стану, просіювали та подрібнювали.

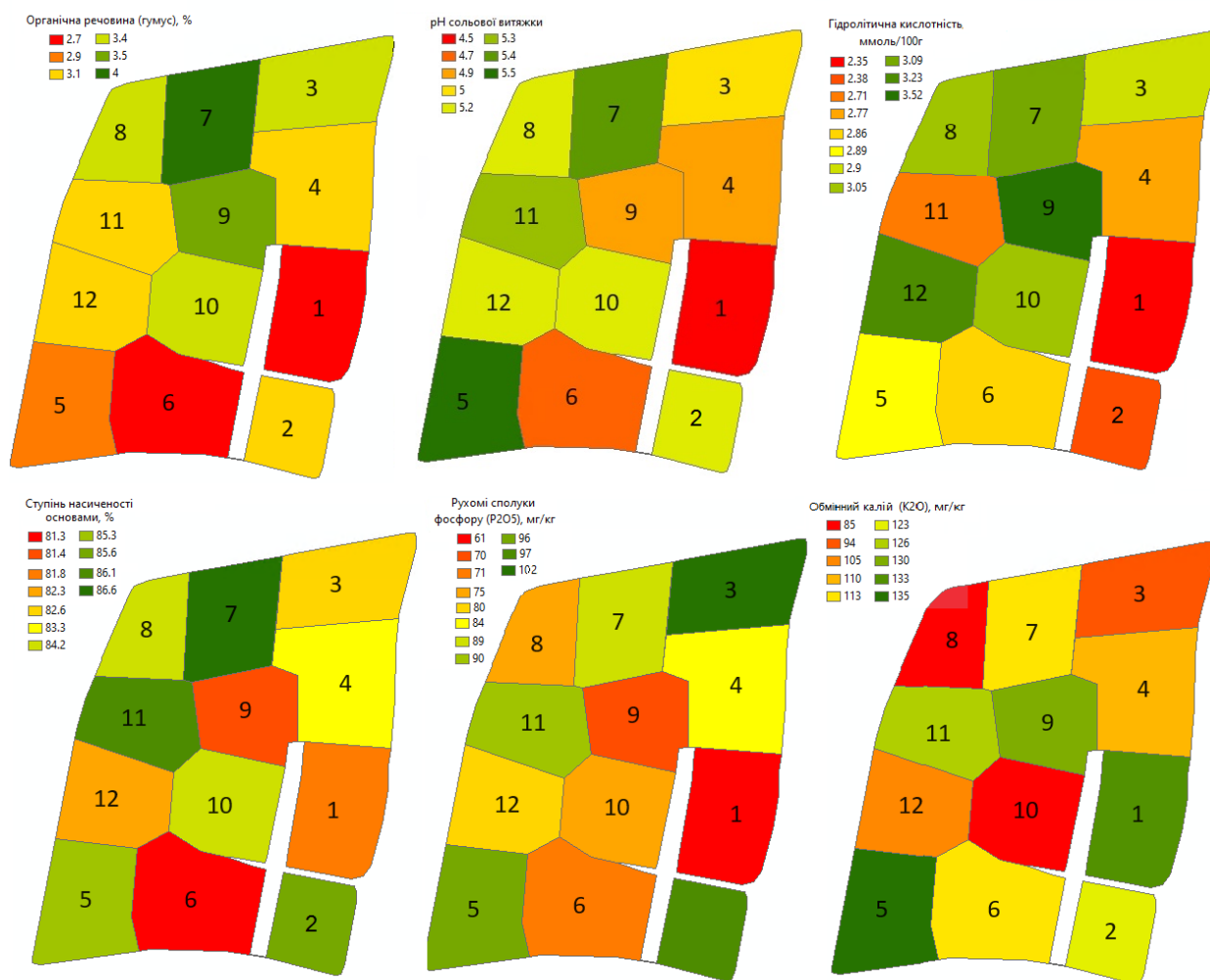


Рис. 1. Агрохімічні картографи групування ділянок дослідного поля за рівнями фізико-хімічних та агрохімічних показників темно-сірого опідзоленого ґрунту у відділенні «Вирів» ТОВ "СІЕФДЖІ ТРЕЙДИНГ"

У лабораторії були виконані наступні аналізи: органічну речовину (гумус) аналізували за ДСТУ 4289:2004 (робоча інструкція РІ 7.2-08); рН сольової витяжки – за ДСТУ ISO 10390:2007; гідролітичну кислотність – за ДСТУ 7537:2014; місткість катіонного обміну розраховали за результатами вмісту обмінних катіонів за робочою інструкцією РІ 7.2-29; азот легкогідролізний – за ДСТУ 7863:2015; рухомі сполуки фосфору (P_2O_5) – за ДСТУ 4115-2002 (п. 8.1; ISO 22036:2008); обмінний калій (K_2O) – за ДСТУ 4115-2002 (п. 8.1; ISO 22036:2008). На основі ґрунтової карти у цифровому форматі були побудовані та віддруковані агрохімічні картограми з нанесеними контурами за вказаними вище шістьма показниками. Кольором були зазначені рівні певного показника в межах поля (рис. 1).

Технологія вирощування та система удобрення кукурудзи була загальноприйнята для Лісостепу західного,

попередник – пшениця озима, фосфорно-калійні добрива вносили під зяблеву оранку, азотні – під передпосівну культивуацію.

Статистичний аналіз отриманих даних та 3D-моделювання регресії трьох показників було проведено за допомогою програми STATISTICA 12.

Результати та обговорення.

Кукурудза, поряд з озимою пшеницею, є основною зерновою культурою, під яку вносять найбільше азотних добрив. Тому основною метою нашого дослідження було випробування інгібіторів перетворення азоту на високих фонах азотного удобрення кукурудзи на темно-сірому опідзоленому ґрунті Західного Лісостепу.

Для отримання вірогідних даних щодо впливу добрив на врожайність кукурудзи потрібне рівне поле (рис. 2) зі сталими показниками родючості ґрунту у всіх напрямках розміщення варіантів внесення добрив.

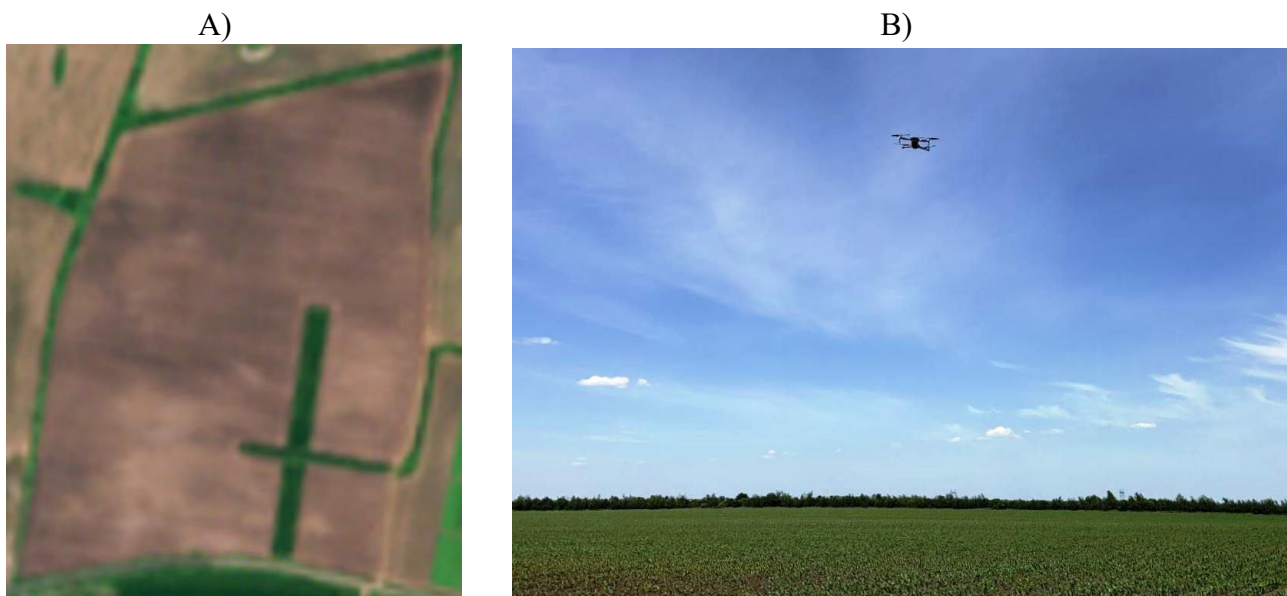


Рис. 2. Скриншот супутникового знімка (Sentinel-2 L2A – платформа Copernicus browser) (А) і натуральний вигляд сканованого дослідного поля відділення «Вирів» в ході стандартного фотографування штатною RGB-камерою БПЛА (Б)

На рисунку 3 представлена графічна модель строкатості фізико-хімічних показників родючості ґрунту, які вагомо змінюються в межах дослідного поля.

На рисунку 4 показано, що вміст гумусу в орному шарі у % змінювався від 2,7 до 4,0 % (коефіцієнт варіації 11,35 %) (табл. 1). Ця обставина за системи точного

рільництва вже служить причиною фермерських господарствах як за кордоном [2, 11, 14], так і в Україні [1, 2].

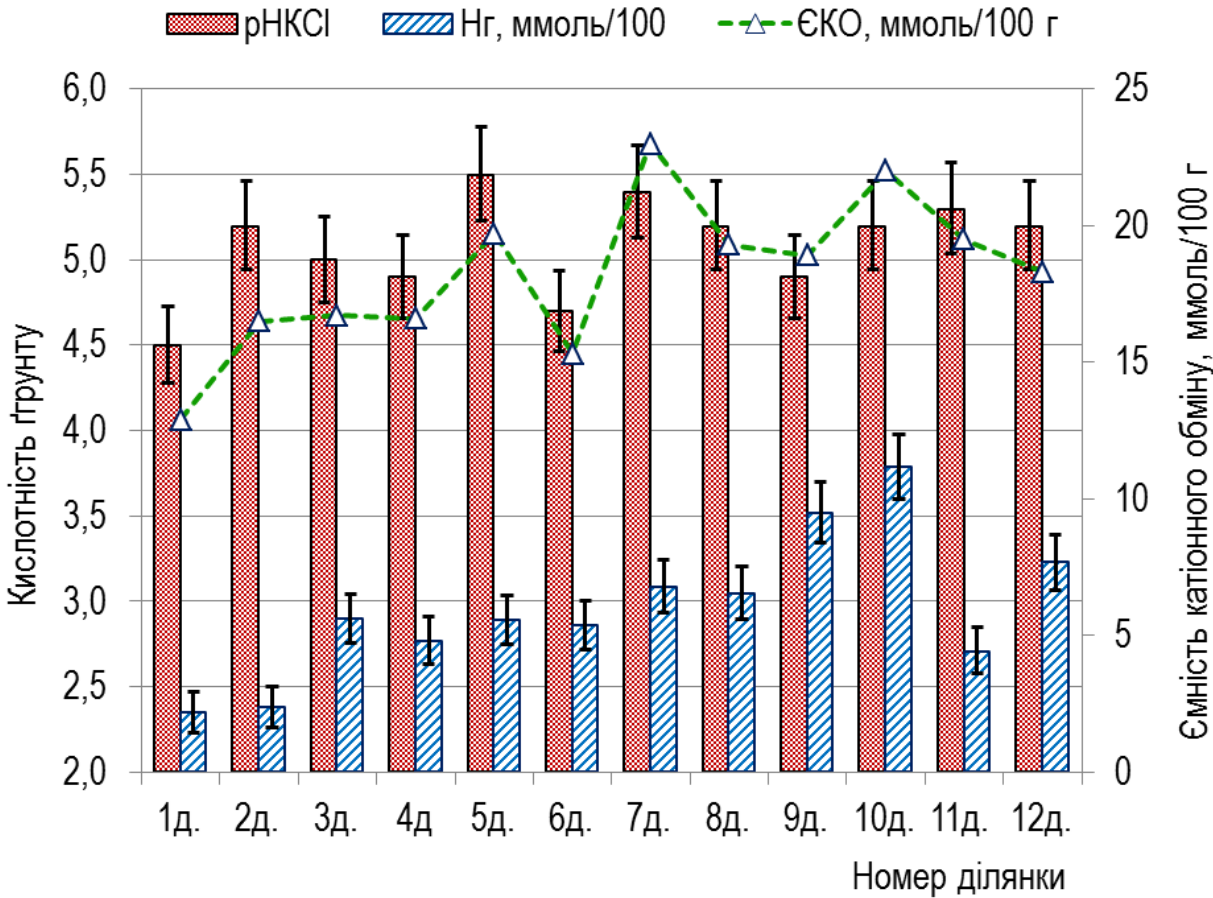


Рис. 3. Зміни основних фізико-хімічних показників темно-сірого опідзоленого ґрунту на ділянках в межах дослідного поля

1. Дисперсійний аналіз варіативності агрохімічних параметрів темно-сірого опідзоленого ґрунту на дослідному полі

Оцінка вибірки	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Hг, ммоль/100	Гумус, %	ЄКО	N-NO ₃ , мг/кг	N-NH ₄ , мг/кг	N гідр., мг/кг	P ₂ O ₅ , рухом., мг/кг	K ₂ O, обмін., мг/кг
Середнє, М	6,1	5,1	3,0	3,2	18,2	17,6	4,8	125,6	81,3	114,5
Коефіцієнт варіації, V (%)	4,25	5,74	14,13	11,35	15,46	26,8	25,6	5,2	17,3	13,6
Похибка вибіркової середньої, S _М	0,08	0,08	0,12	0,10	0,81	1,36	0,35	1,88	4,06	4,50
Відносна похибка середньої, S _М (%)	1,23	1,66	4,08	3,28	4,46	7,73	7,38	1,50	5,00	3,93

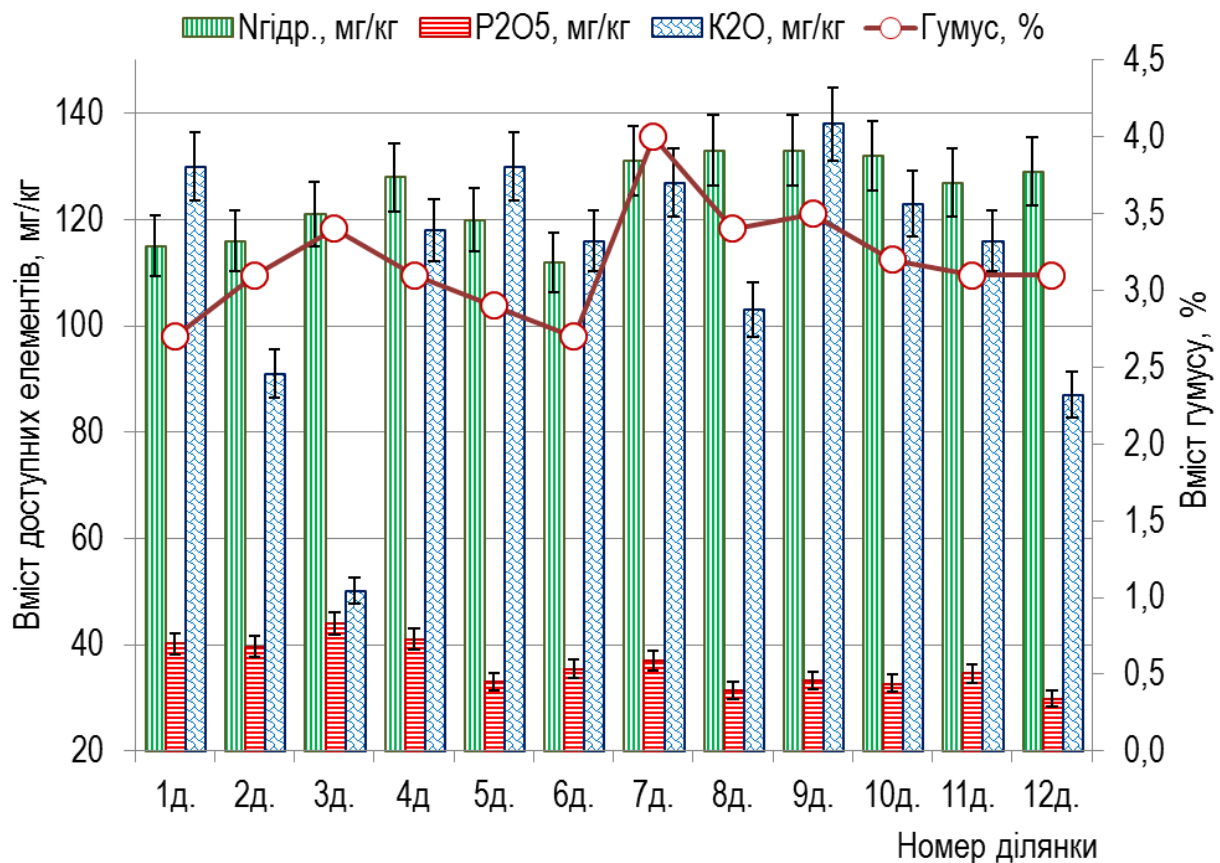


Рис. 4. Зміни основних агрохімічних показників темно-сірого опідзоленого ґрунту на ділянках в межах дослідного поля

З умістом гумусу була визначена помірна кореляція вмісту легкогідролізного азоту (табл. 2), проте варіація запасів доступного азоту в ґрунті була найменшою з-поміж інших показників (від 112 до 133 мг/кг ґрунту; коефіцієнт варіації 5,2 %) (табл. 1). У подібному до гумусу діапазоні в ґрунті змінювався ресурс фосфатів, проте встановлена лише помітна пряма залежність між цими показниками по ділянках. Запаси обмінного калію на дванадцяти ділянках різнилися майже втричі, що перевершило варіативність усіх інших показників (від 50,2 до 138,0 мг/кг; коефіцієнт варіації 22,3 %) (табл. 1). Немає жодної залежності між гумусованістю орного шару та вмістом калію в ґрунті. Фосфати та калій знаходяться у помітній оберненій залежності за показниками вмісту в ґрунті ($r = -0,36$; $N = 12$).

З умістом гумусу була визначена помірна кореляція вмісту легкогідролізного азоту (табл. 2), проте варіація запасів

доступного азоту в ґрунті була найменшою з-поміж інших показників (від 112 до 133 мг/кг ґрунту; коефіцієнт варіації 5,2 %) (табл. 1). У подібному до гумусу діапазоні в ґрунті змінювався ресурс фосфатів, проте встановлена лише помітна пряма залежність між цими показниками по ділянках. Запаси обмінного калію на дванадцяти ділянках різнилися майже втричі, що перевершило варіативність усіх інших показників (від 50,2 до 138,0 мг/кг; коефіцієнт варіації 22,3 %) (табл. 1). Немає жодної залежності між гумусованістю орного шару та вмістом калію в ґрунті. Фосфати і калій знаходяться у помітній оберненій залежності за показниками вмісту в ґрунті ($r = -0,36$; $N = 12$).

Побудова графічних 3В-моделей регресії деяких важливих для формування врожаю важливих показників від двох чинників, що мали вірогідні парні кореляції, дозволили візуалізувати вірогідні залежності у темно-сірому

легкосуглинковому ґрунті. Відображення на графічній моделі регресії (рис. 5А) місткості катіонного обміну залежно від

pH_{KCl} та гідролітичної кислотності свідчить про її зростання за паралельного підвищення обох показників ґрунту.

2. Взаємозалежність агрохімічних параметрів темно-сірого опідзоленого ґрунту на дослідному полі

Взаємозалежність показників	Коефіцієнт кореляції, $r \pm (N = 12)$	Критерій Чеддока (1925 р.)
$pH_{H_2O/KCl}$	0,98	Вельми тісна пряма
$pH_{сол.}/$ місткість КО	0,81	Тісна пряма
1	2	3
$pH_{сол.}/N_g$	0,27	Слабка пряма
N_g/N легкогідр.	0,80	Тісна пряма
Гумус/ N легкогідр.	0,62	Помірна пряма
Місткість КО/ pH_{H_2O} ; pH_{KCl} ; N_g ; Гумус; N легкогідр.;	0,82; 0,81; 0,68; 0,70; 0,71; 0,21	Помірна, тісна і слабка пряма
N легкогідр./Фосфати; Калій	-0,57; 0,22	Помітна обернена / слабка пряма
Фосфати/Калій	-0,36	Помітна обернена
Фосфати/ pH_{H_2O} , pH_{KCl} ; N_g ; Гумус; ємність КО	-0,49; -0,41; -0,58; -0,02; -0,51; 0,38; 0,20	Помітна обернена / помірна обернена / слабка пряма

Рисунок 5Б показує, як поступово накопичується в орному шарі азот легкогідролізний під впливом синергії показників місткості катіонного обміну та вмісту гумусу – бачимо практично пряму регресію. На рисунку 5В бачимо, яку роль у накопичення азоту легкогідролізного відіграє гідролітична кислотність за її низьких показників (2,2–3,0 ммоль/100 г ґрунту). Зростання гідролітичної кислотності за збільшення вмісту гумусу систематично підвищують запаси азоту легкогідролізного в орному шарі ґрунту.

Оскільки немає статистично доведеного зв'язку вмісту рухомого фосфору з вмістом гумусу, а легкогідролізний азот перебуває в негативній кореляції з фосфатами 3В-модель регресії (рис. 5Г) демонструє відсутність синергічної залежності між цими показниками родючості ґрунту. Про такі закономірності повідомляв R. C. Ward [28].

Відмінності у якості ґрунту у межах одного поля безумовно позначається на рості й розвитку культур, що показують карти сканування врожаю комбайнами з покроковим обліком маси вимолоченого зерна і фіксацією показників у комп'ютері агрегату.

Дослід з системами мінерального удобрення зернової кукурудзи (табл. 3) показав, що внесення мінімальних норм $N_{1,3}P_{39,5}K_{41,3}$ практично лише фосфору і калію уже збільшує врожайність зерна від 10,98 т/га на фоні без внесення поживних речовин на 1,01 т/га.

Збалансоване за трьома елементами удобрення $N_{90}P_{39,5}K_{41,3}$ підвищило врожай зерна до 13,30 т/га, що на 21,1 % більше, ніж на фоні без добрив. Отже, корекція ґрунтових ресурсів поживних речовин у бік їх збагачення дуже позитивно впливає на врожайність кукурудзи на зерно на темно-сірому опідзоленому ґрунті Лісостепу Західного.

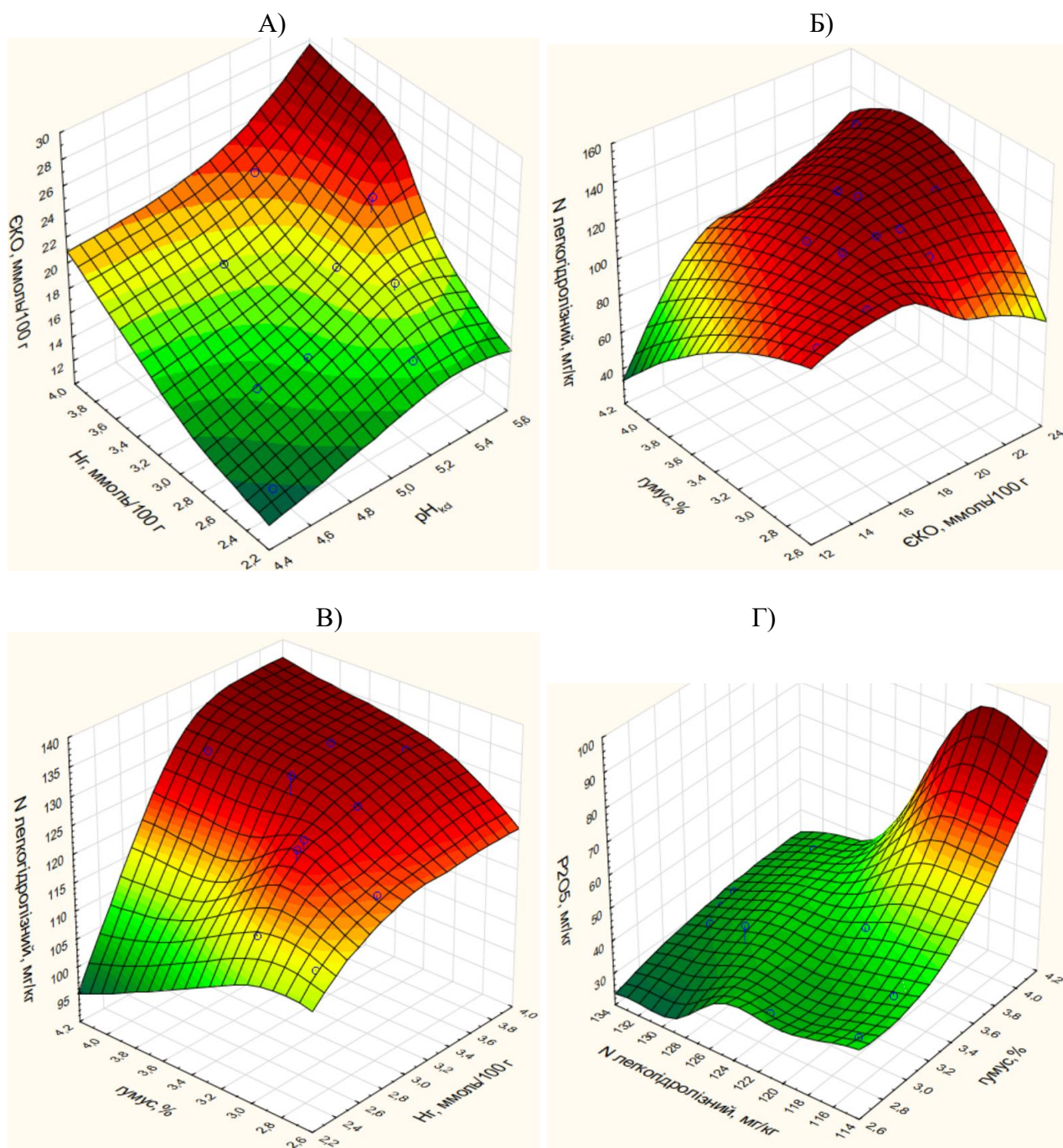


Рис. 5. Регресійні 3В-моделі взаємовпливу основних агрохімічних показників темно-сірого опідзоленого ґрунті на ділянках в межах дослідного поля

3. Залежність урожаю зерна кукурудзи від мінеральних добрив на темно-сірому опідзоленому ґрунті на дослідному полі у 2024 р.

Варіант мінерального удобрення (кг/га діючої речовини)	Урожай зерна кукурудзи, т/га	Надвишка	
		т/га	%
Без добрив (контроль)	10,98	—	—
N _{1,3} P _{39,5} K _{41,3}	11,99	1,01	9,2
N ₉₀ P _{39,5} K _{41,3}	13,30	2,68	21,1

На опрацьованому прикладі ми переконуємося, наскільки важливе диференційоване внесення агрохімікатів (добрив, меліорантів тощо) і змінні норми та глибина сівби насіння за допомогою агрегатів точного рільництва [6]. Змінна норма внесення матеріалів у точному рільництві передбачає їх використання на унікально різних ділянках поля відповідно до заздалегідь підготовленої карти поля, яка розроблена на основі різних типів інформації: ґрунтові відміни, аналіз ґрунту, карти урожайності й рельєфу [12, 17]. До цього переліку ще додають карти електропровідності ґрунту і вегетаційних індексів, ділянки за потенціалом родючості тощо.

Висновки. Вивчення фізичних та агрохімічних властивостей темно-сірого опідзоленого крупнопилуватого легкосуглинкового ґрунту дослідного поля відділення «Вірів» ТОВ "СІЕФДЖІ ТРЕЙДИНГ" (с. Вірів, Львівського р-ну Львівської обл., Лісостеп Західний) за показниками лабораторних аналізів показало велику фаціальну строкатість його родючості. Зокрема, вміст нітратів коливався від 10,5 до 24,8 мг/кг ґрунту, азоту амонійного – від 3,5 до 8,4; рухомих фосфатів – від 29,9 до 44,0 мг/кг ґрунту.

Графічне 3В-модельовання регресії показало, що параметри місткості катіонного обміну (ЄКО) мають практично рівнозначну пряму залежність від збільшення показників гідролітичної кислотності сольового рН, запаси азоту легкогідролізного стрімкіше збільшуються за найвищих показників ЄКО, гідролітичної кислотності та високого рівня вмісту гумусу, малі запаси рухомих фосфатів спостерігаємо за низьких показників вмісту гумусу і практично не зв'язані з ресурсами азоту легкогідролізного.

Збалансоване за трьома елементами мінеральне удобрення $N_{90}P_{39,5}K_{41,3}$ підвищило врожай зерна до 13,30 т/га, що на 21,1 % більше, ніж на фоні без добрив.

Отже, строкатість родючості ґрунту одного невеликого поля свідчить, що корекція ґрунтових ресурсів поживних речовин у бік їх збагачення вкрай необхідна і дуже позитивно впливає на врожайність кукурудзи на зерно на темно-сірому опідзоленому ґрунті Лісостепу Західного.

Система точного рільництва передбачає аналіз окресленої мінімальної ділянки поля детально. На основі аналізу нами створені точні електронні картографи ґрунтових умов та потреб рослин з огляду на актуальну родючість ґрунту. Такі карти, інсталювані в комп'ютери агрегатів, надають змогу змінювати традиційні агротехнічні способи: від норм і глибини сівби до прецизійного внесення потрібних норм різних видів добрив. Диференційоване внесення добрив агрегатом прецизійного удобрення враховує особливості кожної частини поля, оскільки на зміну традиційного розподілу агрохімікатів практикують цільовий підхід з урахуванням усіх чинників. Така диференціація витрати насіння і добрив забезпечує найефективніше використання виробничих ресурсів і мінімізує негативний вплив на природне довкілля завдяки збереженню мінеральних добрив в рамках малого біогеохімічного циклу елементарної польової агроєкосистеми.

Ефективність внесення мінеральних добрив під будь-яку культуру, зокрема під кукурудзу на зерно, стає максимальною тільки за умови їх диференційованого внесення новітніми агрегатами точного рільництва, що будуть запрограмовані за картами відповідно до мінливості ґрунтових ресурсів у них поживних речовин, гранулометричного складу та кислотно-основних властивостей.

Слід брати до уваги, що ґрунтові ресурси азоту легкогідролізного, фосфатів рухомих та калію обмінного є мало пов'язані між собою чинники. Тісно і помірно корелюють лише азот легкогідролізний відповідно до гідролітичної кислотності та вмісту гумусу.

Список використаної літератури

1. Гнатів П. С., Стасів О. Ф. Системний аналіз та агроєкосистеми : наукова монографія. Оброшине, 2025. 414 с. doi.org/10.32636/9786178433079/2
2. Agrochemical analysis of soils in precision farming technologies: a case study of the Chernihiv region / V. Zatserkovnyi et al. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv Geology*. 1 (1 (108)): 85–93. DOI: 10.17721/1728-2713.108.12.
3. Analysis of Soil and Crop Properties for Precision Agriculture for Winter Wheat / E. Vrindts et al. *Biosyst. Eng.* 2003. Vol. 85. Issue 2. P. 141–152. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00040-0](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00040-0).
4. Association of Equipment Manufacturers. U. S. Precision Agriculture Study Unveiled by AEM, Ag Organizations. (2021, February 1). <https://newsroom.aem.org>.
5. Austin R., Gatiboni L. & Havlin J. Soil Sampling Strategies for Site-specific Field Management. *NC State Extension Publications*. 2020. <https://content.ces.ncsu.edu/>.
6. Blackmore S., Godwin R. J. & Fountas S. The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. *Biosyst. Eng.* 2003, 84, 455–466. https://www.researchgate.net/publication/268200460_The_Analysis_of_Spatial_and_Temporal_Trends_in_Yield_Map_Data_over_Six_Years.
7. Burt R. Soil Survey Laboratory Methods Manual; Soil Survey Investigation Report No. 42, Version 4.0; USDA-NRCA: Lincoln, NE, USA, 2004. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1870687>.
8. Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives? / F. Van Evert et al. *Sustainability*. 2017, 9 (10), 1863. DOI: 10.3390/su9101863.
9. Comprehensive analysis on soil nitrogen prediction using near-infrared spectroscopy: Models, methods, and insights for precision agriculture / X. Wang et al. *Results in Chemistry*. 2025. Vol. 16. 102416. doi.org/10.1016/j.rechem.2025.102416.
10. Dynamics of the forms of nutrient nitrogen in Greyic Luvic Phaeozem when regulating their resources with fertilizers and nitrapyrin applied to winter barley / V. Shestak et al. *Journal of Elementology*. 2023. 28 (1). P. 41–58. DOI: 10.5601/jelem.2023.28.1.2352.
11. Evaluation of In-Season Management Zones from High-Resolution Soil and Plant Sensors / M. Corti et al. *Agronomy*. 2020, 10, 1124. DOI: 10.3390/agronomy10081124.
12. Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers / A. P. Barnes et al. *Land Use Policy*. 2019. V. 80. P. 163–174. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.10.004.
13. Gajda A. M., Czyż E. A. & Dexte A. R. Effects of long-term use of different farming systems on some physical, chemical and microbiological parameters of soil quality. *Int. Agrophys.*, 2016, 30 (2). 165–172. DOI: 10.1515/intag-2015-0081.

References

1. Hnativ P. S., Stasiv O. F. System analysis of agroecosystems : scientific monograph. Obroshyne, 2025. 414 p. doi.org/10.32636/9786178433079/2
2. Agrochemical analysis of soils in precision farming technologies: a case study of the Chernihiv region / V. Zatserkovnyi et al. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv Geology*. 1 (1 (108)): 85–93. DOI: 10.17721/1728-2713.108.12.
3. Analysis of Soil and Crop Properties for Precision Agriculture for Winter Wheat / E. Vrindts et al. *Biosyst. Eng.* 2003. Vol. 85. Issue 2. P. 141–152. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00040-0](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00040-0).
4. Association of Equipment Manufacturers. U. S. Precision Agriculture Study Unveiled by AEM, Ag Organizations. (2021, February 1). <https://newsroom.aem.org>.
5. Austin R., Gatiboni L. & Havlin J. Soil Sampling Strategies for Site-specific Field Management. *NC State Extension Publications*. 2020. <https://content.ces.ncsu.edu/>.
6. Blackmore S., Godwin R. J. & Fountas S. The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. *Biosyst. Eng.* 2003, 84, 455–466. https://www.researchgate.net/publication/268200460_The_Analysis_of_Spatial_and_Temporal_Trends_in_Yield_Map_Data_over_Six_Years.
7. Burt R. Soil Survey Laboratory Methods Manual; Soil Survey Investigation Report No. 42, Version 4.0; USDA-NRCA: Lincoln, NE, USA, 2004. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1870687>.
8. Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives? / F. Van Evert et al. *Sustainability*. 2017, 9 (10), 1863. DOI: 10.3390/su9101863.
9. Comprehensive analysis on soil nitrogen prediction using near-infrared spectroscopy: Models, methods, and insights for precision agriculture / X. Wang et al. *Results in Chemistry*. 2025. Vol. 16. 102416. doi.org/10.1016/j.rechem.2025.102416.
10. Dynamics of the forms of nutrient nitrogen in Greyic Luvic Phaeozem when regulating their resources with fertilizers and nitrapyrin applied to winter barley / V. Shestak et al. *Journal of Elementology*. 2023. 28 (1). P. 41–58. DOI: 10.5601/jelem.2023.28.1.2352.
11. Evaluation of In-Season Management Zones from High-Resolution Soil and Plant Sensors / M. Corti et al. *Agronomy*. 2020, 10, 1124. DOI: 10.3390/agronomy10081124.
12. Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers / A. P. Barnes et al. *Land Use Policy*. 2019. V. 80. P. 163–174. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.10.004.
13. Gajda A. M., Czyż E. A. & Dexte A. R. Effects of long-term use of different farming systems on some physical, chemical and microbiological parameters of soil quality. *Int. Agrophys.*, 2016, 30 (2). 165–172. DOI: 10.1515/intag-2015-0081.

14. Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition / D. Coskun et al. *Nat. Plants*. 2017. 3: 17074. DOI: 10.1038/nplants.2017.74.

15. Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics / A. Balafoutis et al. 2017. *Sustainability*. 2017. 9, 1339. <https://doi.org/10.3390/su9081339>.

16. Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications / U. Shafi et al. *Sensors* 2019, 19 (17), 3796. <https://doi.org/10.3390/s19173796>.

17. Precision Agriculture: Terms And Definitions. 2015. URL: <https://www.globalagtechinitiative.com/market-watch/precision-agriculture-terms-and-definitions/>.

18. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture / M. A. Córdoba et al. *Biosyst. Eng.* 2016, 143, 95–107. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.12.008.

19. Rodrigues M. S. & Cora J. E. Management zones using fuzzy clustering based on spatial-temporal variability of soil and corn yield. *Engenharia Agrícola*. 2015, 35, 470–483. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p470-483/2015.

20. Singh B., Caughman W. & Park D. Precision Agriculture-based Soil Sampling Strategies. *Land-Grant Press by Clemson Extension*. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.29242.41921.

21. Spatial variability of physical and chemical soil properties in a field and commune scale / B. Usowicz et al. *Acta Agrophys.* 2004. 3 (103), 1–90. <http://www.acta-agrophysica.org/pdf-145930-71946?filename=Spatial%20variability%20of.pdf>.

22. Stakeholder Perspectives to Prevent Soil Organic Matter Decline in Northeastern Italy / N. D. Ferro et al. 2020. *Sustainability*. 2020, 12 (1). 378. DOI: 10.3390/su12010378.

23. Stoorvogel J. J., Kooistra L. & Bouma J. Managing Soil Variability at Different Spatial Scales as a basis for precision agriculture. In book: *Soil-Specific Farming: Precision Agriculture*; Edition: *Advances In Soil Science*. Chapter: 2. Publisher: CRC Press. Editors: R. Lal, B. A. Stewart. 2015. P. 37–72. DOI: 10.1201/b18759-3.

24. U. S. Government Accountability Office. Precision Agriculture: Benefits and Challenges for Technology Adoption and Use. *Full report GAO-24-105962*. 2024. P. 1–80. <https://www.gao.gov/products/gao-24-105962>.

25. Usowicz B. & Lipiec J. Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. *Soil and Tillage Research*. 2017. Vol. 174: 241–250. doi.org/10.1016/j.still.2017.07.015.

26. Variability of soil properties in an intensively cultivated experimental field / B. Galka et al. *Soil Science Annual*. 2016. Vol. 67. No. 1. P. 10–16. DOI: 10.1515/ssa-2016-0002.

14. Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition / D. Coskun et al. *Nat. Plants*. 2017. 3: 17074. DOI: 10.1038/nplants.2017.74.

15. Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics / A. Balafoutis et al. 2017. *Sustainability*. 2017. 9, 1339. <https://doi.org/10.3390/su9081339>.

16. Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications / U. Shafi et al. *Sensors* 2019, 19 (17), 3796. <https://doi.org/10.3390/s19173796>.

17. Precision Agriculture: Terms And Definitions. 2015. URL: <https://www.globalagtechinitiative.com/market-watch/precision-agriculture-terms-and-definitions/>.

18. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture / M. A. Córdoba et al. *Biosyst. Eng.* 2016, 143, 95–107. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.12.008.

19. Rodrigues M. S. & Cora J. E. Management zones using fuzzy clustering based on spatial-temporal variability of soil and corn yield. *Engenharia Agrícola*. 2015. 35. 470–483. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p470-483/2015.

20. Singh B., Caughman W. & Park D. Precision Agriculture-based Soil Sampling Strategies. *Land-Grant Press by Clemson Extension*. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.29242.41921.

21. Spatial variability of physical and chemical soil properties in a field and commune scale / B. Usowicz et al. *Acta Agrophys.* 2004. 3 (103), 1–90. <http://www.acta-agrophysica.org/pdf-145930-71946?filename=Spatial%20variability%20of.pdf>.

22. Stakeholder Perspectives to Prevent Soil Organic Matter Decline in Northeastern Italy / N. D. Ferro et al. 2020. *Sustainability*. 2020, 12 (1). 378. DOI: 10.3390/su12010378.

23. Stoorvogel J. J., Kooistra L. & Bouma J. Managing Soil Variability at Different Spatial Scales as a basis for precision agriculture. In book: *Soil-Specific Farming: Precision Agriculture*; Edition: *Advances In Soil Science*. Chapter: 2. Publisher: CRC Press. Editors: R. Lal, B. A. Stewart. 2015. P. 37–72. DOI: 10.1201/b18759-3.

24. U. S. Government Accountability Office. Precision Agriculture: Benefits and Challenges for Technology Adoption and Use. *Full report GAO-24-105962*. 2024. P. 1–80. <https://www.gao.gov/products/gao-24-105962>.

25. Usowicz B. & Lipiec J. Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. *Soil and Tillage Research*. 2017. Vol. 174. P. 241–250. doi.org/10.1016/j.still.2017.07.015.

26. Variability of soil properties in an intensively cultivated experimental field / B. Galka et al. *Soil Science Annual*. 2016. Vol. 67. No. 1. P. 10–16. DOI: 10.1515/ssa-2016-0002.

27. Ward, R. C. (n.d.). Figure 3–1: Four Relationships between Broadcast and Band Phosphorus. In Ward Guide. Ward Laboratories. Retrieved February 16, 2025. P. 80–81. <https://www.wardlab.com/>.

28. Zarco-Tejada P.J., Hubbard N., Loudjani P. Precision Agriculture: An Opportunity for E. U. Farmers – Potential Support with the CAP 2014–2020. Joint Research Centre (JRC) of the European Commission, Monitoring Agriculture Resources (MARS) Unit H04. 2014. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL-AGRI_NT\(2014\)529049](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL-AGRI_NT(2014)529049).

27. Ward, R. C. (n.d.). Figure 3–1: Four Relationships between Broadcast and Band Phosphorus. In Ward Guide. Ward Laboratories. Retrieved February 16, 2025. P. 80–81. <https://www.wardlab.com/>.

28. Zarco-Tejada P.J., Hubbard N., Loudjani P. Precision Agriculture: An Opportunity for E. U. Farmers – Potential Support with the CAP 2014–2020. Joint Research Centre (JRC) of the European Commission, Monitoring Agriculture Resources (MARS) Unit H04. 2014. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL-AGRI_NT\(2014\)529049](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL-AGRI_NT(2014)529049).