

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет агротехнологій та природокористування
Кафедра агротехнологій та ґрунтознавства

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

Троценко В.І.

«»2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ПРИ
ВИРОЩУВАННІ КУКУРУДЗИ В УМОВАХ ТОВ «АВІС УКРАГРО
ГРУПП» СУМСЬКОГО РАЙОНУ
за спеціальністю 201 «Агрономія»

Виконав

Колосок А.М.

Група

АГР 2301-1м

Науковий керівник

.....

Захарченко Е.А.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет агротехнологій та природокористування

Кафедра агротехнології та ґрунтознавства

Освітній ступінь - "Магістр"

Спеціальність – 201 "Агрономія"

“ЗАТВЕРДЖУЮ”:

Завідувач кафедри

_____ В.І. Троценко

" ____ " _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

КОЛОСКА АНДРІЯ МИКОЛАЙОВИЧА

1. Тема роботи «Ефективність елементів точного землеробства при вирощуванні кукурудзи в умовах ТОВ «АВІС УКРАГРО ГРУПП» Сумського району»

Затверджено наказом по університету від “ ” 2024 р. №

2. Термін здачі студентом закінченої роботи на кафедру 5 серпня 2024.

3. Вихідні дані до роботи:

- місце проведення досліджень: польова сівозміна ТОВ «Авіс Укראгро груп», Висторопське відділення

- методичне забезпечення: 1. Методичні рекомендації про підготовку і захист кваліфікаційної роботи ОС "Магістр" за спеціальністю 201"Агрономія".

2. Методика наукових досліджень в агрономії: навч. посіб. /В. Г. Дідора, О. Ф. Смаглий, Е.Р. Ермантраут [та ін.]. К.: «Центр учбової літератури», 2013. 264 с.

3. Дослідна справа в агрономії: навч. посібник: у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні

аспекти дослідної справи / А. О. Рожков, В. К. Пузік, С. М. Каленська та ін.; за ред. А. О. Рожкова. Х.: Майдан, 2016. 316 с. 4. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні, 2023.

Перелік завдань, які будуть виконуватися в роботі: аналіз агрохімічних показників ґрунту, урожайних даних кукурудзи, структури виробничих витрат за введення точного землеробства.

Варіанти для аналізу: три зонування щодо внесення калійних добрив.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Е.А. Захарченко

Завдання прийняв до виконання _____ А.М. Колосок

Дата отримання завдання « ___ » _____ 2023 р.

АНОТАЦІЯ

Колосок А.М.

Ефективність елементів точного землеробства при вирощуванні кукурудзи в умовах ТОВ «АВІС УКРАГРО ГРУПП» Сумського району
Спеціальність 201 Агронімія, Ступінь вищої освіти Магістр
Заклад освіти Сумський національний аграрний університет
Суми, 2024 рік

У кваліфікаційній роботі розглянуто ефективність вирощування кукурудзи за точного землеробства. Встановлено, що половина дослідного поля має низький вміст азоту, дещо менше площі середній і також є ділянки із високим вмістом та дуже низьким (є незначні пониження в рельєфі). Уміст фосфору в ґрунті (мг на кг) середній, також велика частина поля має підвищений вміст і є ділянки з високим вмістом і на схилах поля – дуже низьким через вимивання фосфору атмосферними водами. Уміст калію в ґрунті (мг на кг) переважно середній та підвищений, є дві ділянки із високим вмістом.

Внесення хлористого калію та амофосу по зонах з різними нормами вирівнює урожайність насіння кукурудзи на полі. Середній урожай зерна становив 10.75 т/га з найменшими показниками на ущільнених та еродованих ділянках. Витрати на вирощування у 2023 році становили на рівні 45550-49000 грн. на гектар.

Пропозиції виробництву. В умовах Лівобережного Лісостепу на площах із чорноземами типовими на лесоподібних суглинках рекомендується вносити норми внесення азотних, фосфорних та калійних добрив залежно від актуальних даних агрохімічних параметрів ґрунту.

На ділянках із слабокислим рН рекомендується провести вапнування.

Ключові слова: точне землеробство, кукурудза, добрива, економічна ефективність вирощування.

ABSTRACT

Kolosok A.M.

The effectiveness of elements of precision farming in the corn production in the conditions of LLC "AVIS UKRAGRO GROUP" of the Sumy district

Specialty 201 Agronomy, Degree of higher education Master

Institute of Education: Sumy National Agrarian University

Sumy, 2024

In the qualification work, the effectiveness of growing corn under precision agriculture was considered. It was established that half of the experimental field has a low nitrogen content, slightly less than the average area, and there are also areas with a high content and very low (there are slight decreases in the relief). The content of phosphorus in the soil (mg per kg) is average, also a large part of the field has an elevated content and there are areas with a high content and on the slopes of the field - very low due to leaching of phosphorus by atmospheric waters. The content of potassium in the soil (mg per kg) is mostly average and elevated, there are two areas with high content.

Application of potassium chloride and ammophos in zones with different rates equalizes the yield of corn seeds in the field. The average grain yield was 10.75 t/ha with the lowest values in compacted and eroded areas. Cultivation costs in 2023 amounted to UAH 45,550-49,000. per hectare.

Proposals. In the conditions of the Left Bank Forest Steppe, on areas with chernozems typical of loess-like loams, it is recommended to apply nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers depending on the current data on the agrochemical parameters of the soil. Also it is recommended to carry out liming on areas with slightly acidic pH.

Key words: precision farming, corn, fertilizers, economic efficiency, crop growing.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	10
1.1. Внесення мінеральних добрив за точного землеробства	10
1.2. Значення введення систем технологій точного землеробства	19
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
2.1. Об'єкт та досліджень	27
2.2. Умови проведення досліджень	27
2.3. Методика проведення досліджень	30
РОЗДІЛ 3. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	32
3.1. Агрохімічні параметри ґрунту при застосуванні технології точного землеробства	32
3.2. Урожайність кукурудзи	42
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48
ДОДАТКИ	53

ВСТУП

Актуальність теми. Управління поживним режимом ґрунту наразі здійснюється в сучасних господарствах на основі агрохімічного аналізу і планування, прогнозування врожайності. Кожне господарство має площі на різних позиціях рельєфу, мається на увазі перепад висот, наявність замкнених понижень, стокових ухилів, і відповідно, ґрунти формуються в такому мікрорельєфі чи нанорельєфі є своєрідними, з особливими властивостями та показниками, що відрізняються від типових.

Наразі, для забезпечення продовольчої безпеки сільськогосподарського виробництва сучасним підходом до сталого сільського господарства є удосконалення та більш ефективне використання технологій точного землеробства [8]. До них можна віднести системи позиціонування та різні датчики, які використовуються для збору інформації про стан навколишнього середовища, рослин і ґрунту для прийняття розумних управлінських рішень. Це все дозволяє оцінювати та контролювати варіації показників родючості ґрунту через потужне використання GIS-технологій, сенсорних датчиків, удосконалених елементів технологій вирощування, зокрема, кукурудзи. Створена база даних допомагає аналізувати, планувати та прогнозувати, тобто оптимізує роботу. Використання ДЗЗ передбачає дистанційний вимір променів, що відбиваються або випромінюваних рослинністю та ґрунтом. Для аналізу відбиття використовують і літальні безпілотні апарати, літаки, супутники, ставлять систему і на трактори.

За відбору проб ґрунту на аналіз, подальші зроблені картограми урожайності, рН, вмісту органічної речовини, NPK, супутникові знімки та знімки з літальних апаратів дозволяють їх інтерпретувати. Тому обрана тема дипломної роботи є актуальною і надає репрезентативність застосування елементів технологій точного землеробства.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводилося відповідно програми досліджень кафедри

агротехнологій та ґрунтознавства СНАУ в межах НДР на тему: «Оцінка ефективності агротехнологічних заходів щодо оптимізації та екологізації основних ресурсів в органічному та інтенсивному землеробстві».

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – провести аналіз ефективності точного землеробства при вирощуванні кукурудзи на зерно.

Завдання дослідження:

1. Описати елементи технології точного землеробства в господарстві.
2. Проаналізувати агрохімічні параметри ґрунту поля та внесення добрив по зонах забезпечення.
3. Оцінити параметри NDVI та урожайності.
4. Встановити структуру витрат на вирощування кукурудзи.

Об'єкт дослідження – елементи точного землеробства в технології вирощування кукурудзи.

Предмет дослідження – агрохімічні показники ґрунту, урожайність кукурудзи.

Методи досліджень. У роботі використано аналітичний метод, який дозволяє за GIS-технологіями застосувати метод прогнозування та моделювання урожайності кукурудзи на зерно, тобто метод гіпотез. Лабораторний метод для визначення агрохімічних показників ґрунту проводився у сертифікованій лабораторії, тобто дані, що були отримані, завантажили у хмарне середовище згідно географічних координат і сітки відбору зразків ґрунту і на цій основі спеціальний додаток дозволив отримати картограми забезпеченості основними макро- і мікроелементами, рН, вмісту органічної речовини і т.д. Урожайність теж була оцінена методом гіпотези і підтверджена експериментальним на полі.

Науково-практичне значення одержаних результатів. Дістало подальшого розвитку вивчення застосування технології точного землеробства при вирощуванні кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу. Встановлено ефективність диференціального внесення мінеральних добрив.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати роботи оприлюднені на міжнародній конференції, у результаті якої була опублікована теза.

Колосок А. Важливість використання точного землеробства. Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-16 травня 2024 р.). – Суми, 2024. С. 12.

Структура та обсяг роботи. Дипломну роботу викладено на 49 сторінках, що складається зі вступу, трьох розділів, висновків та додатків. Містить 14 рисунків та 2 таблиці. Список використаних джерел містить 40 джерел.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЇ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

1.1. Внесення мінеральних добрив за точного землеробства

Кукурудза є однією з дуже важливих сільськогосподарських культур для продовольчої безпеки в усьому світі і в Україні зокрема.

Управління поживним режимом ґрунту наразі здійснюється в сучасних господарствах на основі агрохімічного аналізу і планування, прогнозування врожайності. Але більшість господарств все ж працює без свідомості який наразі вміст органічної речовини, основних макро- і мікроелементів в ґрунті, який рН і керується своїм досвідом попередніх років, чи досвідом колег «по цеху». Але кожне господарство має площі на різних позиціях рельєфу, має на увазі перепад висот, наявність замкнених понижень, стокових ухилів, і відповідно, ґрунти формуються в такому мікрорельєфу чи нанорельєфі своєрідні, з особливими властивостями та показниками, що відрізняються від типових.

Вважається, що найкращий спосіб підвищити продуктивність кукурудзи — це управління поживними речовинами. Рекомендації щодо управління поживними речовинами часто є «загальними», оскільки вони не враховують значну динаміку вимог щодо внесення добрив, яка залежить від сезонних і польових умов, а також від часу. Використання поживних речовин на тій чи іншій ділянці підвищує врожайність кукурудзи за рахунок покращення використання поживних речовин й відгуку на них.

Глобальна революція цифрових технологій змінила багато аспектів життя; а також передбачається перетворення сільськогосподарських досліджень і консультаційних послуг на відстеження даних у режимі реального часу. Майже шістьдесят сім відсотків населення планети має мобільні пристрої, з яких шістьдесят п'ять це смартфони. Люди дуже активно користуються соцмережами, всілякими додатками, навчання та робота часто проводиться в системі онлайн через епідеміологічні проблеми або військові дії. Скориставшись цими

технологічними досягненнями, сучасні керівники агрофірм впроваджують різні платформи, що пропонують айтишніки. В комп'ютері, у мобільному телефоні керівника, агрономів вся інформація доступна за паролем і можна в режимі реального часу подивитися скільки вже внесли добрива, яка норма була внесена під ту чи іншу культуру, які пестициди вже внесені і які можуть бути внесені за перевищення кількості шкідників. У логістичних та маркетингових ланцюгах часто приймають посередницькі фірми із висококласними фахівцями, які консультують агрономів у проблемних питаннях, пропонують ефективні новинки на ринку пестицидів та добрив, підказують кращі підходи щодо строків, способів внесення добрив, їх форм.

Відомо, що внесення добрив повинно виконуватися згідно основних правил, що включають в собі:

- Обрання добрива (форми);
- Обрання правильної норми внесення;
- Обрання раціонального строку внесення;
- Обрання методу (способу) внесення [14].

Для планування агроному потрібно вести історію полів і в програму закласти площу поля, попередники, відомості - які вносилися попередньо добрива, яка була врожайність, управління рештками рослин, ризик посух чи затоплень, показники ґрунту (це в основному реакція ґрунтового середовища, гранулометричний склад, вміст органічної речовини, засоленість), проблемні ділянки на полі з оглеєнням. Методом моделювання можна оцінити ступені ризиків при бажаній програмованій врожайності сільськогосподарської культури. У військовий час фермер може обрати і нижчу врожайність як досягну, виходячи з економічної ситуації в країні та військовими діями, тому коригується технологія вирощування згідно наявного бюджету і тенденцій на світовому ринку, та в цілому, в Україні. Так як ціна на ринку країни нестабільна, то прораховуються витрати на добрива, їх закупівлю, доставку, внесення, можливу прибавку, і за досвідом попередніх років прораховується чи буде рентабельна та чи інша культура у цей поточний рік. Через те, що наші

чорноземні ґрунти мають підвищений та високий вміст калію, часто саме на ньому економлять агрономи. Потім іде фосфор. Так як азот є найбільш потребуваним поживним елементом для рослин, то він, як правило, переважає в співвідношенні між іншими. Дистанційний моніторинг, стратегії забезпечення стійкої платформи для дистанційного проведення агрономічних досліджень наразі є сучасним драйвером.

Кукурудза в Україні часто вирощується як монокультура, або міняється у роки на соняшник, ріпак, пшеницю озиму, сою та інші культури. Обробіток ґрунту може бути різний залежно від напрямку господарства і ресурсних можливостей. Це може бути і оранка, і плоскорізне рихлення, глибоке рихлення, культивація, боронування, дискування. Але через надмірну посуху влітку і незначного вкриття снігом земельної площі взимку всі заходи повинні бути спрямовані на збереження вологи в ґрунті. Також важливо у раціональний строк провести підготовку ґрунту до посіву, формуючи гарну структуру ґрунту і поверхню поля.

Рослинні рештки кукурудзи як стебла, листя, обгортки качана, качани залишаються на полі і є органічним матеріалом для утворення гумусу і включення поживних елементів в подальший біологічний ланцюжок кругообігу. Важливо у даному випадку гарно подрібнити рештки, щоб вони швидше розкладалися целюлозоруйнівними бактеріями.

Різні країни можуть мати свої додатки і платформи, як і різні агрохолдінги. Все залежить від функціоналу і ціни, чи всі можливості легко зрозумілі і адекватні [22]. Наприклад, у Нігерії фермерам на мобільні пристрої встановили UTM Area Measure, яке дозволяє вимірювати розмір поля, бо вони часто не знали чітку площу, бо не так розвинута система земельного кадастру, як у нас [5]. Все ж таки в Україні перед війною ми дуже стартанули і сільське господарство, зокрема, вирощування сільськогосподарських культур було на високому рівні. Було багато робочих вакансій, добра зарплата і було плановане майбутнє. Всі обміри площ полів закріплені в хмарних середовищах, використовуючи геоінформаційні технології, GPS, GIS. Отримані дані при

обмірах можуть завантажуватися на комп'ютер у різних форматах і обиратися споживачу який саме найзручніший у використанні.

Треба зазначити, що і у телеграмі, фейсбуці та інших соцмережах є відкриті та закриті групи фахівців, які спілкуються між собою і вирішують нагальні проблеми стосовно елементів технологій вирощування. Правда не всі допомагають безкоштовно, це консультанти-маркетологи та логісти.

Для того, щоб оволодіти новими програмами, для робітників проводять семінари, тренінги та підвищення кваліфікації, бо прогрес непинний і програми та їх функціональні можливості змінюються і розширюються [23].

Норма висіву насіння кукурудзи може коливатися з розрахунку від обраного насіннєвого матеріалу і рекомендацій, наразі використовують від 50 до 80 тис. насінин на 1 га залежно від призначення. Але за запровадження точного землеробства норма висіву може коригуватися залежно від показників ґрунту [9, 19]. Тобто на проблемних ділянках на комп'ютері трактора встановлюється при точному землеробстві та норма висіву, яка більш доцільна, і в принципі це буде більше густота. Використовуючи ці дані, використання точного землеробства спрямоване на вирівнювання результату на полі по врожайності. Відомо, що оптимальна густота стояння рослин надає більшу урожайність, аніж неправильно підібрана норма висіву. Рівномірність посіву є ключом фактором управління елементами поля, підвищує врожайність культури.

Основним засобом сільськогосподарського виробництва стало внесення добрив для забезпечення стабільного підвищення врожайності. Проте ще належить визначити, чи внесення різних комбінацій азотних, фосфорних, калійних та органічних добрив відіграє позитивну роль у стабільності врожайності кукурудзи та ґрунту, в якому його вирощують. Китайські вчені провели метааналіз на основі сорока шести публікацій і зробили висновок, що внесення добрив ефективно підвищує вміст поживних речовин у ґрунті та врожайність кукурудзи. Таке поєднання як азот-фосфор, азот-фосфор-калій надало найбільш позитивний приріст врожаю на ґрунтах, що сформувалися на

елювії гірських порід, на алювіальних відкладах і на лесоподібних суглинках. Застосування різних способів, строків внесення і форм добрив залежало від погодно-кліматичних умов. Ефективність застосування поживних елементів могло підвищуватися від десяти відсотків до ста шістдесяти. Саме раціональне внесення добрив покращує уміст поживних елементів у ґрунті та підвищує структурні показники врожаю кукурудзи та якості сільськогосподарської продукції [18]. Але найбільшу прибавку урожайності та показника ефективності добрив дає саме сумісне внесення мінеральних та органічних добрив. Що потрібно підкреслити, що внесення тільки органічних добрив буде підвищувати вологість ґрунту, що дуже важливо в контексті підвищення температури та подовження періоду без дощів [28, 29], особливо в центральній та південній частині України.

Для комплексного використання соломи метод повернення соломи на поле є ефективним [26, 38]. Це також допомагає регулювати структуру ґрунту, покращувати структуру та функції коренів культур і захищати навколишнє середовище. Повернення соломи на поле підвищує загальну пористість ґрунту та зменшує об'ємну щільність ґрунту. Це значно покращує аерацію ґрунту та сприяє глибшому проникненню коренів культур [37, 39]. Після повернення соломи на поле розкладання та вивільнення органічної речовини з соломи вміст органічної речовини в ґрунті збільшується, а рівні калію, азоту та фосфору підвищуються [32]. Щоб помітно підвищити ефективність використання через зміни кліматичних умов, властивостей ґрунту та методів обробітку ґрунту, необхідно використовувати розумне поєднання методів повернення соломи та обробітку ґрунту [30, 31].

Більшість попередніх досліджень були зосереджені на впливі різних методів обробітку ґрунту на ґрунт і рослини кукурудзи [12, 13]. Наприклад, відсутність обробітку ґрунту та повернення соломи зберігають структуру ґрунту та захищають агрегати органічного вуглецю від мікробної деградації. Як наслідок, це збільшує запаси органічного вуглецю, мінімізує його мінералізацію, підвищує біомасу та врожайність культур. Було також

припущено, що глибока заробка рослинних решток може вирішити проблеми з уповільненим розкладанням та появою сходів кукурудзи під час повернення польової соломи.

З іншого боку, це має потенціал для значного покращення структури ґрунту, а також для підвищення вмісту поживних речовин у ґрунті [17, 36, 40]. Дослідження впливу повернення соломи на врожайність кукурудзи показало, що глибока заробка залишеної рослинної маси безпосередньо та головним чином впливає на врожайність кукурудзи та її компонентів, впливаючи на загальні та легкодоступні форми азоту в ґрунті [34]. У інтенсивному вирощуванні кукурудзи вага зерна має вирішальне значення для підвищення врожайності кукурудзи. Це пов'язано з характеристиками наповнення зерна, на які значно впливає використання соломи та методи обробітку ґрунту [27, 29]. Сприятливе мікросередовище ґрунту підвищує мінералізацію органічного вуглецю та постійне постачання ґрунту поживними речовинами, що призводить до більшої врожайності зерна.

Вчені, що проводили вивчення впливу обробітку ґрунту на продуктивність кукурудзи в Монголії довели, що завдяки правильному застосуванню методів обробітку ґрунту можна значно змінити масу тисячі зерен кукурудзи та контролювати вміст різних елементів живлення в зерні [35]. На зміну вмісту поживних компонентів у зерні значною мірою впливає зміна наливу зерна. На загальний вміст крохмалю в зерні найбільше впливає швидкість наповнення зерна під час фаз поступового збільшення. З іншого боку, вміст сирого жиру в зерні тісно пов'язаний зі швидкістю наповнення зерна під час фаз поступового збільшення та повільного збільшення.

Майбутні дослідження щодо сталості системи виробництва кукурудзи повинні використовувати цілісний підхід для вивчення впливу дати посіву, густоти рослин на ріст культури, врожайності, поглинання поживних речовин і ремобілізації, а також властивостей ґрунту за різних норм удобрення [10]. Таким чином, можна розробити рекомендації щодо добрив для кукурудзи, одночасно зменшуючи вплив виробничої системи.

Рослинництво залежить від трьох основних макроелементів: азоту, фосфору і калію. Щоб забезпечити економіку виробництва, стійкість системи та збереження, необхідно добре керувати цими макроелементами на польовому та регіональному рівнях. Очікувана врожайність і залишки поживних речовин у ґрунті визначають рекомендації щодо добрив для кукурудзи повсюди. Мета оптимізації густоти рослин кукурудзи та вікна посіву полягає в тому, щоб максимізувати урожай зерна та ефективність використання різних ресурсів, таких як азот, вода та радіація.

Щільність стояння рослин змінює полог рослин і мікрооточення, що впливає на здатність рослин отримувати мінеральні поживні речовини з безпосередньої ризосфери, оскільки рослини конкурують за простір, світло та поживні речовини [6, 7]. У багатьох культурах відомо, що коли біомаса рослин збільшується, кількість макроелементів (N, P, K) зменшується. Існує дуже мало даних про запаси поживних речовин у ґрунті залежно від густоти рослин кукурудзи. Загалом 90% коренів рослин кукурудзи розташовані в радіусі 20 см від верхнього шару ґрунту, а 60% – у радіусі 10 см від кожної рослини. Поглинання мінеральних поживних речовин корінням зони градієнта живлення навколо кожної особини. Завдяки взаємодії між сусідніми коренями, коли перекриваються зони градієнта живлення сусідніх рослин при високій щільності рослин, концентрація поживних речовин у перекриваній зоні значно знижується. Це призводить до того, що ефективність поглинання коренем знижується [41].

Живлення рослин і хімічний склад ґрунту зазвичай залежать від густоти рослин і дати посадки в умовах помірного клімату [33]. Правильна густина посадки покращує рослинно-ґрунтове середовище, тоді як більша густина збільшує конкуренцію між рослинами за поглинання поживних речовин із ґрунту зі значним зниженням вмісту N, P і K у ґрунті. Постма та ін. [25] повідомили про виснаження азоту в профілі ґрунту до 2 м при високій щільності рослин порівняно з низькою щільністю рослин із більшою глибиною, у шарі ґрунту 1–2 м, ніж у шарі ґрунту 0–1 м. За високої густоти рослин

кукурудзи посилюється конкуренція коренів за поживні речовини ґрунту. Збільшення щільності рослин прискорює виснаження поживних речовин у ґрунті, однак збільшення кількості кукурудзи над біомасою може сприяти частковому переміщенню поживних речовин із глибоких шарів ґрунту в поверхневий шар ґрунту, а біомаса потрапляє в ґрунт під час обробки ґрунту після збору врожаю. Чен та ін. вказали, що інтегровані системи управління ґрунтом і сільськогосподарськими культурами є пріоритетом для сільськогосподарських досліджень і впровадження під час виробництва зернових культур, щоб подолати подвійну проблему значного підвищення врожайності зернових культур і в той же час зменшити дуже значний вплив інтенсивного сільського господарства на навколишнє середовище.

Сучасними дослідження доведено, що краще рекомендації щодо добрив для кукурудзи надавати залежно від густоти рослин і дати посіву, що може вплинути на хімічні властивості ґрунту та поглинання поживних речовин рослинами в кінці періоду врожаю. У своєму дослідженні в умовах штату Нью-Мексико (США) Djaman et al. [11] досліджували поглинання поживних речовин кукурудзою та залишкову кількість поживних речовин у ґрунті за шести густот рослин, що становили від 54 700 до 120 100 рослин на гектар, з семи дат посіву, починаючи з 20 квітня та закінчуючи 10 червня. Протягом 2019 і 2020 років ділянки посівів оброблялися рівномірно в різних щільностях і датах посіву. Результати показали, що в той час як щільність посіву кукурудзи мала незначний вплив на концентрації азоту, фосфору та калію в рослинах, на етапі зрілості врожаю за різними датами посіву спостерігалися значні зміни цих концентрацій. В останні два терміни посіву поживні речовини в кукурудзі рослини були вищі в період зрілості. Зі збільшенням густоти рослин концентрація калію, азоту та фосфору в зерні кукурудзи значно зменшилася. Дата посіву та період вегетації також мали значний вплив на концентрацію поживних речовин у зерні. У профілі ґрунту за різних дат посіву спостерігалися значні коливання вмісту азоту, фосфору та калію. Концентрації азоту, фосфору та калію в зерні кукурудзи значно зменшувалися зі збільшенням густоти

рослин. На концентрацію поживних речовин у зерні також істотно впливали дата посіву та період вегетації. Значні варіації залишкових концентрацій азоту, фосфору та калію у ґрунті спостерігалися в ґрунтовому профілі за різних дат посіву. Азот у ґрунті знизився під час оптимального вікна посіву для різних щільностей посіву, тому майбутні дослідження повинні вивчати способи управління добривами, щоб підвищити врожайність кукурудзи та ефективність використання поживних речовин, зберігаючи при цьому сталу систему виробництва кукурудзи. Видалення поживних речовин із зерна та ґрунту залишкових поживних речовин у ґрунті вказують на те, що використання азотних добрив для підвищення продуктивності кукурудзи, а також для прибутковості системи та стійкості на піщаному ґрунті Нью-Мексико, повинно регулювати густоту рослин.

Азот є важливою поживною речовиною для росту та розвитку рослин, і для підвищення ефективності використання азоту в культурах, включаючи кукурудзу, важливо знати про поглинання поживних речовин. Оскільки виробництво азотних добрив спричиняє значні викиди та втрати води або випаровування поза полями, зменшення потреби в добривах без зниження врожайності є надзвичайно важливим. Первинні, насінневі, коронкові та стрижні — це деякі з різних типів коренів, які може розвивати кукурудза. Усвідомлення відмінностей у поглинанні поживних речовин різних типів коренів може допомогти підвищити ефективність кукурудзи, але здебільшого ці відмінності не враховуються [16].

Нерівномірне використання хімічних добрив і низька родючість ґрунту є причинами зниження врожайності. З точки зору сталого розвитку поєднання корисних мікроорганізмів із сумішшю органічних і неорганічних добрив має значний вплив на продовольчу безпеку та продуктивність сільськогосподарських культур. Науковці стурбовані необережним використанням добрив. Сільськогосподарські громади, які покладаються на хімічні добрива, часто не звертають уваги на застосування органічних альтернатив. Це призводить до поступового зниження рівня органічної

речовини ґрунту та природних поживних речовин, що зрештою призводить до зниження врожайності. Поєднання хімічних, біологічних і органічних джерел у різних системах землеробства підтримує здоров'я ґрунту, поповнює запаси поживних речовин і максимізує врожайність.

За допомогою поглинання вуглецю рослинні залишки покращують мікробну активність ґрунту, прискорюють кругообіг поживних речовин і доступність, а також допомагають зберегти здоров'я ґрунту. Використання рослинних залишків та інших органічних матеріалів регулярно підвищує вміст органічних речовин у ґрунті, що підвищує його продуктивність і здоров'я. Інтеграція органічних і хімічних добрив є потенційним методом підвищення врожайності кукурудзи та сої в системах вирощування пшениці та кукурудзи [15]. Згодом це призведе до покращення продуктивності та прибутковості посівів. Поєднання різних методів хімічного удобрення з органічними джерелами може підвищити ефективність певних поживних речовин у ґрунті. Таким чином, для збільшення росту культур, збільшення врожайності насіння та підвищення розвитку необхідно використовувати фосфатні добрив разом із фосформобілізуючими та солубілізуючими агентами (наприклад, триходерма та ін.), а також комплексне управління відходами, яке включає компост, залишки та біовугілля.

1.2. Значення введення систем технологій точного землеробства

Для забезпечення продовольчої безпеки с.-г. виробництва сучасним підходом до сталого сільського господарства є покращення та більш ефективне використання технологій точного землеробства [3]. До них можна віднести системи позиціонування та різні датчики, які використовуються для збору інформації про стан навколишнього середовища, рослин і ґрунту для прийняття розумних управлінських рішень. Це все дозволяє оцінювати та контролювати варіації показників родючості ґрунту через потужне використання GIS-технологій, сенсорних датчиків, удосконалених елементів технологій вирощування, зокрема, кукурудзи. Створена база даних допомагає аналізувати,

планувати та прогнозувати, тобто оптимізує роботу. Використання ДЗЗ передбачає дистанційний вимір променів, що відбиваються або випромінюваних рослинністю та ґрунтом. Для аналізу відбиття використовують і літальні безпілотні апарати, літаки, супутники, ставлять систему і на трактори.

Нажаль, ведення у Сумській області бойових дій обмежує використання БПЛА, особливо там, де зона дія РЕБ. Але до війни, вони використовувалися для фотографування, обміру площі полів, визначення стану посівів, забур'яненості, якості обприскування пестицидами, внесення добрив. На територіях, які значно віддалені від небезпечної зони, за дозволом воєнної адміністрації, фермери можуть застосовувати дрони. По місту Суми зараз не більше 5 м висоти дозволяється, хоча ніхто наразі не ризикне підняти.



Рис. 1. Сучасні основні елементи точного землеробства [3]

На камери БПЛА ставлять різні мультиспектральні камери, знімки потім аналізуються фахівцями, створюється база даних знімків. Супутникові знімки коштують грошей, і чим більше якість знімків, частота, близькість до поля, точність, тим дорожче. Використовують і Landsat, і Sentinel, і WorldView, CropView та ін.

Натепер, за планування сівби фахівцям треба по максимуму застосовувати всю наявні дані та отриману інформацію, що потрібна для опису незначних відмінностей у якості врожаю та врожайності на конкретному полі, і представити їх у вигляді ґрунтових карт. За відбор проб ґрунту на аналіз,

подальші зроблені картограми урожайності, рН, вмісту органічної речовини, NPK, супутникові знімки та знімки з літальних апаратів дозволяють їх інтерпретувати. Наявність сучасного, придатного для точного землеробства, обладнання є необхідним для його впровадження. Потрібно мати спеціальні сівалки для диференційованого посіву, також треба мати перевірене й сертифіковане насіння, куплене у перевірених дистриб'юторів. Всі ці фактори мінімізують втрати [3]. За диференціального внесення мінеральних добрив фермер може зекономити близько семи-восьми відсотків, але, звісно, треба рахувати повністю витрати на закупівлю всього обладнання, навчання фахівців, амортизацію, ремонти і т.д.

Через збільшення населення на планеті до 2050 року очікується, що попит на продукти харчування значно зросте. Однак виробництво продуктів харчування буде під загрозою через спад рівня води, зміну клімату та зменшення кількості орних земель. Фермери можуть отримати доступ до прогнозів системи інтелектуального землеробства, наприклад системи прогнозування врожайності, і використовувати ці дані для прийняття рішень або планування. Завдяки створенню інфраструктури, яка дозволяє використовувати технології Інтернету речей), такі як великі дані, хмара та прикладний штучний інтелект, у сільському господарстві можна розвивати розумне фермерство.

Зацікавлені сторони (наприклад, фермери, комерційні постачальники, уряди та міжнародні організації) отримають користь від використання системи прогнозування врожайності для прогнозування урожайності на початку сезону, забезпечуючи ефективне управління врожаєм, оцінку продовольчої безпеки, планування торгівлі харчовими продуктами та політику вдосконалення конструкції.

Прогнозування врожайності також може підвищити врожайність і екологічну стійкість. Крім того, ранні прогнози врожайності можуть допомогти дослідникам сільськогосподарських культур зосередитися на більш важливих сортах культур під час гібридної селекції. Але для навчання моделей

машинного навчання створювати дрібномасштабні карти точності врожайності потрібні набори даних про врожайність із високою просторовою роздільною здатністю.

Більшість методів ведення сільського господарства вважають, що поля однакові за своєю природою, але це не так. Карти точності врожайності можна створити за допомогою розгортання моделі машинного навчання, яка була навчена даними місцевого землеробства. Зменшення кількості разів, коли трактор відправляють на поле, може завдати шкоди врожаю. Обробка зображень господарства може бути отримана за допомогою дистанційного зондування через ручне або тракторне обладнання для обробки зображень, безпілотні літальні апарати, літальні апарати або супутники без впливу на ґрунт і посіви у господарстві. Червоно-зелено-сині (RGB) камери (так само відомі як видиме світло), мультиспектральні або гіперспектральні камери можна використовувати для отримання зображень за допомогою дистанційного зондування. Камери червоно-зелено-сині, як правило, є найдешевшим варіантом відповідно.

Для прогнозування врожайності використання супутникових зображень є поширеним методом. Цей метод має переваги, такі як велика кількість загальнодоступних наборів даних із супутникових зображень доступна, супутникові зображення зазвичай мають високу спектральну роздільна здатність, і фермери не потребують додаткових вхідних даних або спеціального польового сенсорного обладнання.

Господарства можуть уникнути встановлення великої кількості дорогих датчиків у полі та вкладання великих грошей у коштовне обладнання для моніторингу врожайності, застосовуючи тільки ті зображення, що були отримані з безпілотних літальних апаратів для аналізу зібраної продукції. Індекси рослинності широко використовуються в сільському господарстві.

Killeen та ін. [21] виявили, що середина сезону ідеальна для отримання фотографій. Зображення MS були кращі, ніж зображення RGB, особливо коли є червона смуга. Використання моделей, що аналізують знімки і дані про

врожайність для кожного тижня з попередніх вегетаційних сезонів є варіантом використання точного землеробства. Це дозволяє фермерам переглядати тижневі прогнозовані карти врожайності, надаючи системі щотижневі зображення культур, звернути увагу на зони низької врожайності та досліджувати точні карти, створені в найближчі тижні.

З 1980-х років впровадження передових технологій і систем підтримки прийняття рішень призвело до того, що точне землеробство стало домінуючою галуззю в Сполучених Штатах [20]. Фермери в Сполучених Штатах стали залежати від інструментів, таких як змінна норма внесення, системи автопілоту та дистанційне зондування. Ці інструменти надають корисне розуміння ґрунту, врожаю та погодних умов, щоб максимізувати сільськогосподарське виробництво при мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Щоб максимізувати ефективність сільського господарства, Сполучені Штати міцно закріпилися як піонери в широкому впровадженні точного землеробства, і вони відіграють значну та впевнену роль у просуванні цієї практики в усьому світі. США стратегічно інвестують значні кошти в передові інструменти, методології та наукові досягнення, роблячи значний внесок у розвиток точного землеробства, використовуючи розвинену технологічну інфраструктуру та велику кількість ресурсів. Національна позиція як провідного учасника еволюції методів точного землеробства підтверджується цією непохитною відданістю [20].

Системи моніторингу врожайності можуть бути корисними для деяких культур, таких як сорго, пшениця, соя та кукурудза [24], але вони не можуть бути широко використані для всіх культур. Альтернативні підходи, такі як прогнозні моделі, з'являються стратегічними рішеннями для сільськогосподарських культур, де технологія моніторингу врожайності все ще знаходиться в зародковому стані. Ці моделі забезпечують неруйнівний і іноді неінвазивний метод оцінки врожайності, усуваючи необхідність проведення складних фізичних вимірювань. Прогнозні моделі дозволяють виробникам приймати обґрунтовані рішення щодо практик розподілу ресурсів і управління

культурами, використовуючи такі вхідні змінні, як погодні дані, характеристики ґрунту, параметри росту рослин і історичні дані про врожайність.

Біофізичне моделювання — це різноманітний набір складних методів, які допомагають досягти точного і точного опису культурних властивостей і структур. Дослідники можуть отримати параметри, такі як характеристики крони, індекс площі листя, біомаса та висота рослин, використовуючи сучасні математичні операції та технології дистанційного зондування. Ці вимірювання є важливими індикаторами здоров'я врожаю, моделями росту та потенціалом врожайності, що дозволяє приймати розумні рішення щодо управління сільським господарством.

Впровадження технологій дистанційного зондування зробило біофізичне моделювання революційним. Це значно підвищило точність і ефективність. Дослідники можуть отримати детальні та повні дані про властивості та структуру культур за допомогою дистанційного зондування, не вдаючись до важких і нав'язливих польових вимірювань. Цей ненав'язливий метод дозволяє спостерігати за екстенсивними сільськогосподарськими територіями. Це полегшує повну оцінку продуктивності врожаю та полегшує своєчасне втручання, коли це необхідно.

Точне фенологічне спостереження, яке не включає відстеження та прогнозування стадій росту культур, є життєво важливим для ефективного управління сільським господарством. Уважно спостерігаючи за фенологічним розвитком, дослідники можуть збирати корисні дані для побудови прогностичних моделей і виконання ефективних завдань управління рослинами, необхідних для оптимізації продуктивності врожаю та забезпечення найкращого розвитку протягом життєвого циклу. Останні досягнення стосуються моніторингу конкретних стадій, таких як дозрівання, щоб надати відповідну інформацію без збільшення навантаження на ресурси. Це відбувається, незважаючи на те, що повний фенологічний моніторинг може потребувати часу та ресурсів. Цей свідомий метод дозволяє ефективно збирати

важливі дані для обґрунтованих рішень і профілактичних заходів для оптимізації виробництва.

Удосконалення біофізичної модифікації та фенологічного моніторингу значно впливає на ефективне землеробство. Фермери можуть приймати рішення на основі даних про розподіл ресурсів, боротьбу зі шкідниками та зрошення, щоб точно визначити властивості врожаю. Прогнозні моделі, отримані з фенологічних даних, дозволяють точно прогнозувати врожайність і полегшують проактивне впровадження заходів, щоб максимізувати продуктивність. Крім того, інтеграція цих методів із технологіями точного землеробства, такими як автономні системи та VRA, відкриває нові можливості для сталого землеробства та ефективного використання ресурсів. Фермери можуть оптимізувати системи виробництва, мінімізувати відходи та зменшити вплив на навколишнє середовище за допомогою технологій точного землеробства, фенологічного моніторингу та біофізичного моделювання.

Індекс площі листя є основним параметром, який точно показує кількість матеріалу листя в кроні на одиницю площі землі. Він також зберігає прямий зв'язок із поглинанням фотосинтетично активного випромінювання і використовується як основний маркер для оцінки якості врожаю. Традиційні методи вимірювання LAI вимагають дорогого та трудомісткого прямого збору листя сільськогосподарських культур і подальшого ретельного лабораторного аналізу. Але використання методів непрямого вимірювання, особливо тих, що використовують вдосконалені оптичні датчики, викликає занепокоєння через те, що ці традиційні методи забирають багато часу та коштують багато.

Біомаса — це органічна речовина, вироблена культурами, включаючи листя, стебла та коріння, і є важливою частиною сільськогосподарських систем. Хоча раніше оцінка біомаси зосереджувалася на надземних компонентах, тепер потрібно використовувати комплексні показники для максимізації ефективності та продуктивності. Автоматизовані комбайни з датчиками масової витрати пропонують оцінку процесу збирання врожаю в режимі реального часу, незважаючи на те, що раніше збирання врожаю було стандартом. Крім того,

багато людей хочуть знати про неруйнівні та неінвазивні методи вимірювання біомаси.

Для всебічної оцінки врожаю важливо точно визначити висоту рослин, що полегшує розуміння фенологічних стадій, розподілу рослинності, стану здоров'я та умов збору врожаю. Коли справа доходить до сільськогосподарських досліджень, необхідні точні та ефективні методи вимірювання. Нещодавно платформи дистанційного зондування стали чудовим інструментом для ефективно оцінки висоти рослин на великих площах, зберігаючи при цьому швидкий і неруйнівний процес.

Використання цифрової моделі рельєфу для створення цифрової моделі рельєфу перед посадкою, фіксації висоти ґрунту та створення цифрової моделі поверхні для інкапсуляції надземних особливостей є життєво важливими варіантами рішення. Цей процес дає модель висоти рослин або висоти крони [24].

Для більш точної оцінки висоти зараз широко застосовуються дані LiDAR, ці датчики дуже ефективні, вони здатні фіксувати велику кількість точок і знаходять підвищену чутливість до форми рослини,

Застосування даних LiDAR набуло значного поширення в пошуках точної оцінки висоти рослин, головним чином завдяки його здатності забезпечувати кращі результати порівняно з альтернативними методами. Датчики LiDAR фіксують велику кількість точок і виявляють підвищену чутливість до форми рослини, що дає їм явну перевагу, оскільки це полегшує точні вимірювання.

Цікавим є той факт, що за даними ДЗЗ та штучного інтелекту можна точно вже зараз ідентифікувати та відокремити різні рослини.

Фотосинтетичне моделювання є чудовим методом прогнозування та моделювання продуктивності рослин у різних умовах. Фермери можуть підвищити ефективність, стійкість, врожайність і прибутковість завдяки використанню фотосинтетичного моделювання, що дозволяє їм розкрити невикористаний потенціал своїх сільськогосподарських практик. Існуючі

дослідження пропонують багатообіцяючі можливості фотосинтетичного моделювання для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур і створення стійких сільськогосподарських систем. Однак для того, щоб повністю зрозуміти масштаби трансформаційного впливу фотосинтетичного моделювання, нам ще потрібно багато чого зробити.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкт та досліджень

Об'єкт дослідження – елементи точного землеробства в технології вирощування кукурудзи.

Предмет дослідження – агрохімічні показники ґрунту, урожайність кукурудзи.

На полі 312 був посіяний гібрид кукурудзи DKS 3730, опис якого представлено на рисунку 2.1.



ДКС - 3730 Monsanto (ФАО - 280)

Урожайність: 142 - 153 ц/га

Особливості: для екстремальних умов вирощування

Високоврожайний гібрид кукурудзи з відмінними показниками стресостійкості. Прекрасно адаптується до зовнішніх ґрунтово-кліматичних умов вирощування. Має добрі показники вологовіддачі. Можна вирощувати на зерно та силос. Характеризується міцними здоровими рослинами. Можливе вирощування у монокультурі. Висока толерантність до найпоширеніших захворювань кукурудзи. Рекомендовані зони для вирощування - Полісся, Лісостеп України.

СТЕБЛО, ЛИСТЯ І КОРІНЬ

Висота - 230-250 см

КАЧАН

Висота кріплення качана - 110-118 см

Кількість рядів у качані 14-16

Кількість зерен у ряду - 28-30

Кількість зерен у качані - 460-620

ЗЕРНО

зубовидного типу

Стійкість

Початкова енергія росту: 8.0

Холодостійкість: 8.0

Посухостійкість: 8.0

Стійкість до пухирчастої сажки: 8.5

Стійкість до фузаріозу (стебла/качани): 8.5

Стійкість до кореневого та стеблового вилягання: 9.0

Стійкість до стеблового вилягання після

пошкодження метеликом: null

Стабільність та пластичність: 9.0

Рис. 2.1. Характеристика гібриду, що застосовувався на полі 312

2.2. Умови проведення досліджень

Аналіз ефективності точного землеробства проведено на основі одного поля - 312, широта: 50,70428, довгота: 34,83233, що розташовано в Лебединській громаді Сумського району. Найближчий населений пункт – це Великий Вистороп (рис. 2.2).

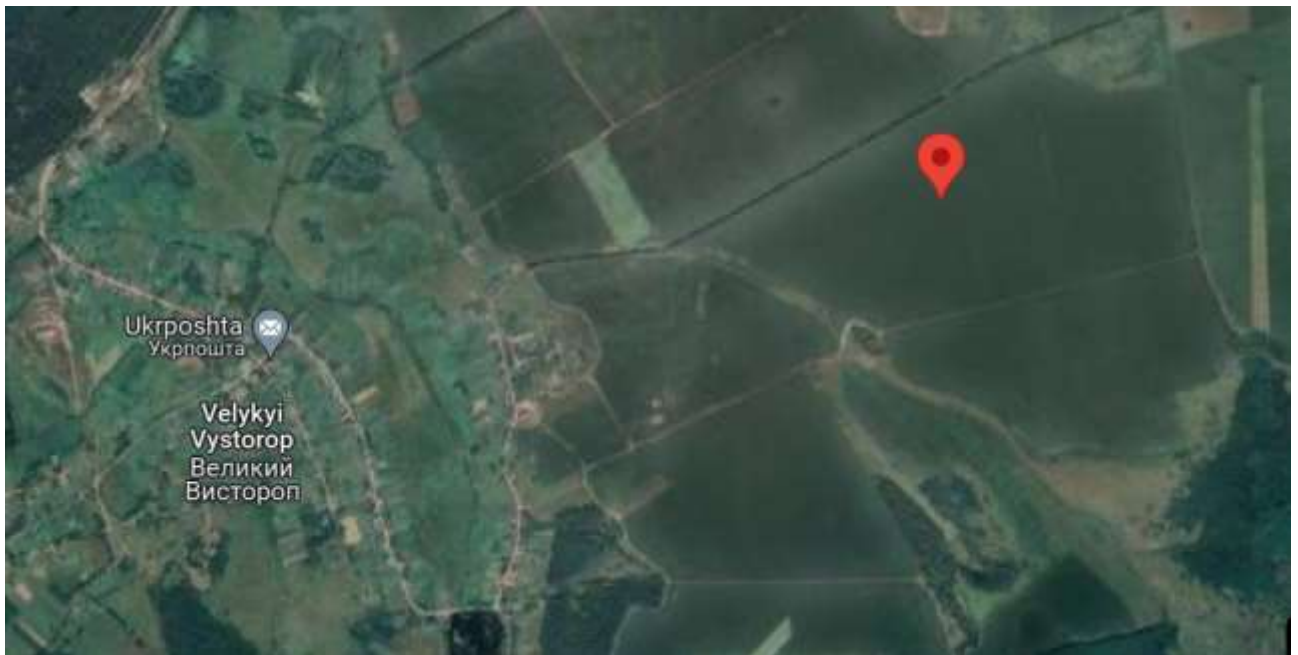


Рис. 2.2. Локація поля 312

Більша частина площі поля це грунт дослідного поля за шифром ґрунтової карти 67 – Чорнозем типовий вилужений глибокий малогумусний піщано-середньосуглинковий, рівень бонітету 79 (рис. 2.3). 312 поле це в минулому (80-ті роки) II та IV поле польової сівозміни). Інший ґрунт 61 за шифром – Чорнозем типовий глибокий малогумусний піщано-середньосуглинковий. 64 шрифтом позначено чорнозем типовий вилужений глибокий малогумусний грубопилувато-легкосуглинковий з бонітетом 65. Незначна частина поля, що має ухил у бік балкової мережі, характеризується чорноземом типовим глибоким середньозмитим піщано-легкосуглинковим (шрифтом 74). На картах урожайності чітко простежується зниження рівня. Бонітет такого ґрунту 52 балів. У 1984 році вміст рухомого фосфору на більш родючому ґрунті 67 становив 15 мг/100 г ґрунту – це підвищений вміст, вміст

калію 8,9 мг/100 г ґрунту – підвищений. У ґрунті б1 фосфору – 20,1 мг/100 г ґрунту – дуже високий, калію – 7,2 середній вміст, у б4 – 8,2 мг/100 г ґрунту середній вміст фосфору, 5,7 калію середній вміст, 74 – не брали.



Рис. 2.3. Фото з ґрунтової карти

Клімат для даного району помірний. Кількість опадів у 2023 році показано на рисунку 2.4.

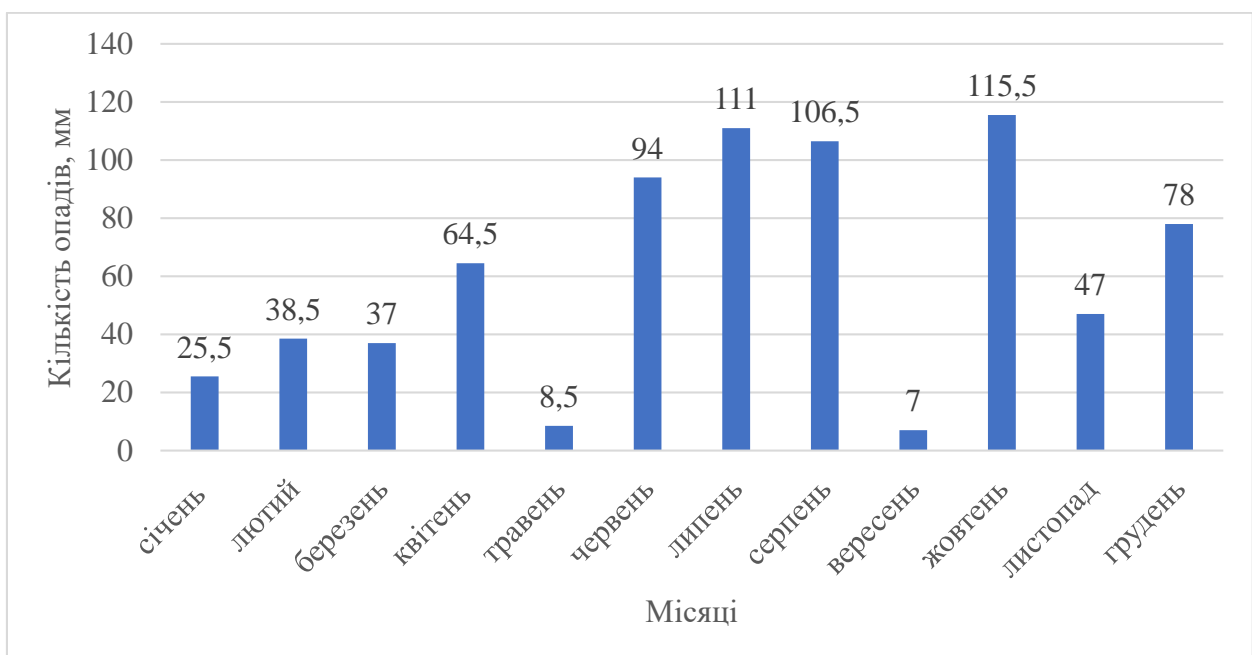


Рис. 2.4. Кількість опадів у 2023 році

У 2023 році травень був дуже сухим (8,5 мм) і теплим, але так як у квітні випало достатньо опадів, то 8 травня було проведено сівбу. Літні місяці відзначилися надмірною кількістю опадів, що значно перевищувало середньобагаторічні показники. Дощі разом з високою температурою створювало всі умови для росту і розвитку рослин кукурудзи і також сприяло розмноженню шкідників і хвороб, тому застосовувалися пестициди. Вересень був найсухішим місяцем у році – випало лише 7 мм, рослини почали завершувати свій вегетаційний цикл. Жовтень також відзначився аномалією – випало найбільше опадів – 115,5 мм, тому суцільне збирання кукурудзи відтермінувалося.

2.3. Методика проведення досліджень

Декілька слів про основні етапи технології вирощування. Попередник кукурудзи - кукурудза. Осінній обробіток включав в собі подрібнення решток CASE Sellford 600. Внесення хлориду калію проводили пізно восени Amazon. Амофос вносили у лютому місяці. Застосовувався розкидач мінеральних добрив Amazone Case Zg-TS, а для дискування Case MX-340, для боронування Megaflor. Глибкорозрихлювачі Gascon використовувалися навесні для прибирання ущільненого шару внаслідок постійного переміщення техніки точного землеробства по полю.

Сівбу проводили сівалками Great Plains. Завдання для диференціального посіву насіння кукурудзи (норма висіву від 58 тис. до 63 тис. насінин на гектар) залежно від особливостей рельєфу та агрохімічних показників, історії поля наведено на рисунку 2.5. Внесення гербіцидів Case 3330: 1 обробка після посіву до сходів Харнес+ Айдахо+ раундап макс; 2 обробка фаза до 5 листка Майстер пауер; 3 обробка по волоті інсектицидом Белт. Збирання проводили комбайн Case.

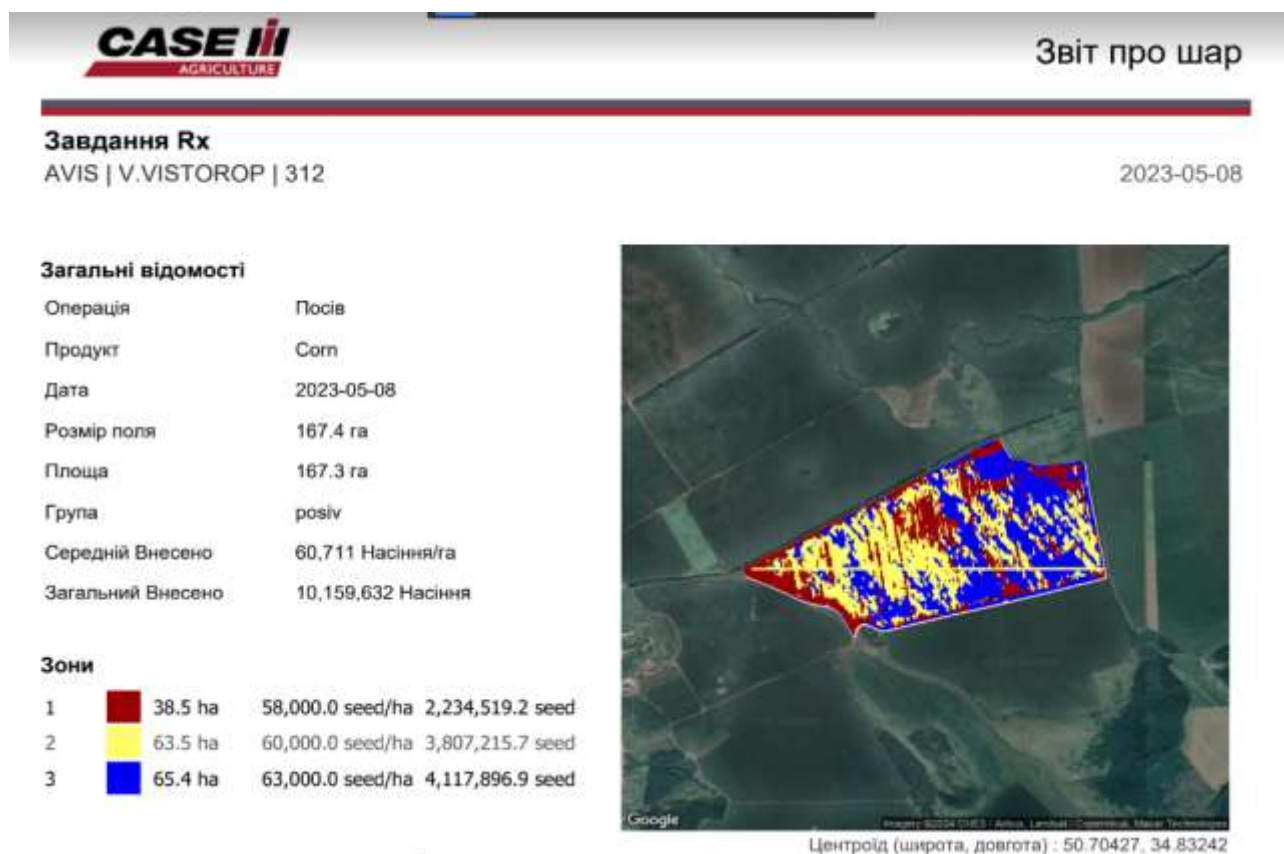


Рис. 2.5. Завдання для проведення посіву

РОЗДІЛ 3

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

1.1. Агрохімічні параметри ґрунту при застосуванні технології точного землеробства

Точне землеробство і використання супутникових зображень, хмарного середовища дозволяє фіксувати всі операції на полі, з датами, з прізвищами виконавців, нормами внесення, препаратами, добривами і т.д. (рис. 3.1).

В режимі реального часу можна спостерігати проведення операцій, як, наприклад, сівби кукурудзи (рис. 3.2).

№	Дата	Прізвище	Норма	Препарат	Добриво	Значення
1	01.01.2021	Петренко П.П.	100	Амфотер	Амфотер	100
2	02.01.2021	Сидоренко С.С.	150	Амфотер	Амфотер	150
3	03.01.2021	Коваленко К.К.	200	Амфотер	Амфотер	200
4	04.01.2021	Войченко В.В.	250	Амфотер	Амфотер	250
5	05.01.2021	Григоренко Г.Г.	300	Амфотер	Амфотер	300
6	06.01.2021	Данилюк Д.Д.	350	Амфотер	Амфотер	350
7	07.01.2021	Зинченко З.З.	400	Амфотер	Амфотер	400
8	08.01.2021	Коваленко К.К.	450	Амфотер	Амфотер	450
9	09.01.2021	Лещенко Л.Л.	500	Амфотер	Амфотер	500
10	10.01.2021	Мельник М.М.	550	Амфотер	Амфотер	550
11	11.01.2021	Никифоренко Н.Н.	600	Амфотер	Амфотер	600
12	12.01.2021	Овчаренко О.О.	650	Амфотер	Амфотер	650
13	13.01.2021	Петренко П.П.	700	Амфотер	Амфотер	700
14	14.01.2021	Сидоренко С.С.	750	Амфотер	Амфотер	750
15	15.01.2021	Тарасенко Т.Т.	800	Амфотер	Амфотер	800
16	16.01.2021	Устименко У.У.	850	Амфотер	Амфотер	850
17	17.01.2021	Федоренко Ф.Ф.	900	Амфотер	Амфотер	900
18	18.01.2021	Харченко Х.Х.	950	Амфотер	Амфотер	950
19	19.01.2021	Цуканенко Ц.Ц.	1000	Амфотер	Амфотер	1000
20	20.01.2021	Шевченко Ш.Ш.	1050	Амфотер	Амфотер	1050
21	21.01.2021	Щербак Ш.Ш.	1100	Амфотер	Амфотер	1100
22	22.01.2021	Юренко Ю.Ю.	1150	Амфотер	Амфотер	1150
23	23.01.2021	Яценко Я.Я.	1200	Амфотер	Амфотер	1200
24	24.01.2021	Яценко Я.Я.	1250	Амфотер	Амфотер	1250
25	25.01.2021	Яценко Я.Я.	1300	Амфотер	Амфотер	1300
26	26.01.2021	Яценко Я.Я.	1350	Амфотер	Амфотер	1350
27	27.01.2021	Яценко Я.Я.	1400	Амфотер	Амфотер	1400
28	28.01.2021	Яценко Я.Я.	1450	Амфотер	Амфотер	1450
29	29.01.2021	Яценко Я.Я.	1500	Амфотер	Амфотер	1500
30	30.01.2021	Яценко Я.Я.	1550	Амфотер	Амфотер	1550
31	31.01.2021	Яценко Я.Я.	1600	Амфотер	Амфотер	1600
32	01.02.2021	Яценко Я.Я.	1650	Амфотер	Амфотер	1650
33	02.02.2021	Яценко Я.Я.	1700	Амфотер	Амфотер	1700
34	03.02.2021	Яценко Я.Я.	1750	Амфотер	Амфотер	1750
35	04.02.2021	Яценко Я.Я.	1800	Амфотер	Амфотер	1800
36	05.02.2021	Яценко Я.Я.	1850	Амфотер	Амфотер	1850
37	06.02.2021	Яценко Я.Я.	1900	Амфотер	Амфотер	1900
38	07.02.2021	Яценко Я.Я.	1950	Амфотер	Амфотер	1950
39	08.02.2021	Яценко Я.Я.	2000	Амфотер	Амфотер	2000
40	09.02.2021	Яценко Я.Я.	2050	Амфотер	Амфотер	2050
41	10.02.2021	Яценко Я.Я.	2100	Амфотер	Амфотер	2100
42	11.02.2021	Яценко Я.Я.	2150	Амфотер	Амфотер	2150
43	12.02.2021	Яценко Я.Я.	2200	Амфотер	Амфотер	2200
44	13.02.2021	Яценко Я.Я.	2250	Амфотер	Амфотер	2250
45	14.02.2021	Яценко Я.Я.	2300	Амфотер	Амфотер	2300
46	15.02.2021	Яценко Я.Я.	2350	Амфотер	Амфотер	2350
47	16.02.2021	Яценко Я.Я.	2400	Амфотер	Амфотер	2400
48	17.02.2021	Яценко Я.Я.	2450	Амфотер	Амфотер	2450
49	18.02.2021	Яценко Я.Я.	2500	Амфотер	Амфотер	2500
50	19.02.2021	Яценко Я.Я.	2550	Амфотер	Амфотер	2550
51	20.02.2021	Яценко Я.Я.	2600	Амфотер	Амфотер	2600
52	21.02.2021	Яценко Я.Я.	2650	Амфотер	Амфотер	2650
53	22.02.2021	Яценко Я.Я.	2700	Амфотер	Амфотер	2700
54	23.02.2021	Яценко Я.Я.	2750	Амфотер	Амфотер	2750
55	24.02.2021	Яценко Я.Я.	2800	Амфотер	Амфотер	2800
56	25.02.2021	Яценко Я.Я.	2850	Амфотер	Амфотер	2850
57	26.02.2021	Яценко Я.Я.	2900	Амфотер	Амфотер	2900
58	27.02.2021	Яценко Я.Я.	2950	Амфотер	Амфотер	2950
59	28.02.2021	Яценко Я.Я.	3000	Амфотер	Амфотер	3000
60	29.02.2021	Яценко Я.Я.	3050	Амфотер	Амфотер	3050
61	01.03.2021	Яценко Я.Я.	3100	Амфотер	Амфотер	3100
62	02.03.2021	Яценко Я.Я.	3150	Амфотер	Амфотер	3150
63	03.03.2021	Яценко Я.Я.	3200	Амфотер	Амфотер	3200
64	04.03.2021	Яценко Я.Я.	3250	Амфотер	Амфотер	3250
65	05.03.2021	Яценко Я.Я.	3300	Амфотер	Амфотер	3300
66	06.03.2021	Яценко Я.Я.	3350	Амфотер	Амфотер	3350
67	07.03.2021	Яценко Я.Я.	3400	Амфотер	Амфотер	3400
68	08.03.2021	Яценко Я.Я.	3450	Амфотер	Амфотер	3450
69	09.03.2021	Яценко Я.Я.	3500	Амфотер	Амфотер	3500
70	10.03.2021	Яценко Я.Я.	3550	Амфотер	Амфотер	3550
71	11.03.2021	Яценко Я.Я.	3600	Амфотер	Амфотер	3600
72	12.03.2021	Яценко Я.Я.	3650	Амфотер	Амфотер	3650
73	13.03.2021	Яценко Я.Я.	3700	Амфотер	Амфотер	3700
74	14.03.2021	Яценко Я.Я.	3750	Амфотер	Амфотер	3750
75	15.03.2021	Яценко Я.Я.	3800	Амфотер	Амфотер	3800
76	16.03.2021	Яценко Я.Я.	3850	Амфотер	Амфотер	3850
77	17.03.2021	Яценко Я.Я.	3900	Амфотер	Амфотер	3900
78	18.03.2021	Яценко Я.Я.	3950	Амфотер	Амфотер	3950
79	19.03.2021	Яценко Я.Я.	4000	Амфотер	Амфотер	4000
80	20.03.2021	Яценко Я.Я.	4050	Амфотер	Амфотер	4050
81	21.03.2021	Яценко Я.Я.	4100	Амфотер	Амфотер	4100
82	22.03.2021	Яценко Я.Я.	4150	Амфотер	Амфотер	4150
83	23.03.2021	Яценко Я.Я.	4200	Амфотер	Амфотер	4200
84	24.03.2021	Яценко Я.Я.	4250	Амфотер	Амфотер	4250
85	25.03.2021	Яценко Я.Я.	4300	Амфотер	Амфотер	4300
86	26.03.2021	Яценко Я.Я.	4350	Амфотер	Амфотер	4350
87	27.03.2021	Яценко Я.Я.	4400	Амфотер	Амфотер	4400
88	28.03.2021	Яценко Я.Я.	4450	Амфотер	Амфотер	4450
89	29.03.2021	Яценко Я.Я.	4500	Амфотер	Амфотер	4500
90	30.03.2021	Яценко Я.Я.	4550	Амфотер	Амфотер	4550
91	31.03.2021	Яценко Я.Я.	4600	Амфотер	Амфотер	4600
92	01.04.2021	Яценко Я.Я.	4650	Амфотер	Амфотер	4650
93	02.04.2021	Яценко Я.Я.	4700	Амфотер	Амфотер	4700
94	03.04.2021	Яценко Я.Я.	4750	Амфотер	Амфотер	4750
95	04.04.2021	Яценко Я.Я.	4800	Амфотер	Амфотер	4800
96	05.04.2021	Яценко Я.Я.	4850	Амфотер	Амфотер	4850
97	06.04.2021	Яценко Я.Я.	4900	Амфотер	Амфотер	4900
98	07.04.2021	Яценко Я.Я.	4950	Амфотер	Амфотер	4950
99	08.04.2021	Яценко Я.Я.	5000	Амфотер	Амфотер	5000
100	09.04.2021	Яценко Я.Я.	5050	Амфотер	Амфотер	5050

Рис. 3.1. Фіксація всіх операцій на полі, з датами, з прізвищами виконавців, нормами внесення, препаратами, добривами і т.д.



Рис. 3.2. Завдання для сівби кукурудзи

ТОВ «АВІС УКРАГРО ГРУПІ» періодично відбирає ґрунт на агрохіманаліз, тому можна провести оцінку деяких параметрів родючості ґрунту. Так, на рисунку 3.3 бачимо, що вміст органічної речовини знаходиться в межах 1,7-4,5%, переважаючи площі з малогумусним ґрунтом. Менше площ з низьким вмістом – це по еродованих внаслідок водної ерозії ділянках, як видно на картах, ухил з однієї сторони в бік балки.

Розумні ферми та точне землеробство вимагають автоматичного моніторингу та постачання води та поживних речовин для сільськогосподарських культур, але датчики для моніторингу доступних рослинам поживних речовин у ґрунті недоступні. Електропровідність ґрунту пов'язана з поживними речовинами в ґрунтового розчині, на які можуть впливати органічні речовини ґрунту, структура ґрунту, температура та вміст води.

Органічна речовина ґрунту є одним із найкращих показників для оцінки здоров'я ґрунту та розуміння його продуктивності та родючості. Таким чином, вимірювання вмісту цього показника є фундаментальною практикою в ґрунтознавстві та сільськогосподарських дослідженнях. Традиційний підхід (сушіння в духовці) визначення вмісту органічної речовини є дорогим,

трудомістким і тривалим процесом. Проте інтеграція передових технологій може значно допомогти у прогнозуванні, представляючи багатообіцяючу альтернативу традиційним методам. Наразі достатньо точну оцінку вмісту органічної речовини можна отримати шляхом об'єднання параметрів ґрунту, отриманих наземними датчиками, і даних аналізу ґрунту разом із зображеннями ферми, зробленими дроном. Дані збираються за допомогою трьох різних методів: наземні датчики визначають такі параметри ґрунту, як температура, рН, вологість, вміст азоту, фосфору та калію в ґрунті; аерофотознімки, зроблені БПЛА, відображають вегетативний індекс (NDVI); і тест Хейні, робиться порівняльний аналіз ґрунту у лабораторії із зібраних зразків.

Сільськогосподарська галузь переживає величезну трансформацію завдяки застосуванню технологій для збільшення врожайності та покращення процесу прийняття рішень під час аналізу властивостей ґрунту. Вкрай важливо адаптуватися до передових технологій, включаючи роботизацію для прополювання, збирання, сегрегації культур, збору врожаю та упаковки, хмарний моніторинг навколишнього середовища, дистанційне зондування сільського господарства на основі Інтернету речей та автономні роботизовані системи моніторингу та управління.

Органічна речовина містить близько 58% вуглецю, що робить ґрунтовий органічний вуглець одним із основних показників родючості [4]. Наявність органічної речовини ґрунту сприятливо вплинула на врожайність сільськогосподарських культур, оскільки зменшувала кількість мінерального азоту, необхідного для досягнення максимального врожаю сільськогосподарських культур. Далі автор дійшов висновку, що органічна речовина сприяє вирощуванню сільськогосподарських культур, окрім його ролі у забезпеченні поживними речовинами. Вміст органічної речовини, в першу чергу, впливає на верхній шар ґрунту, який обробляється, глибину укорінення, виділення азоту, а також інфільтрацію та утримання води та поживних речовин.

Параметр рН ґрунту, який визначається за допомогою 14-бальної шкали, є мірою відносної кислотності або лужності ґрунтового розчину. При рН нижче 7,

кислотність ґрунту збільшується, а при підвищенні рН вище 7 лужність ґрунту збільшується.

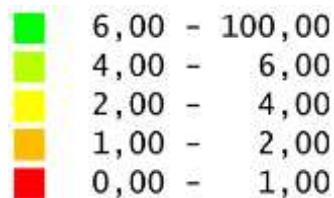


Рис. 3.3. Вміст органічної речовини в ґрунті, %

У природному середовищі лужні ґрунти можуть виникнути через надмірне обмеження, або через використання поливної води з високим рН у посушливих регіонах [4].

Оскільки рН ґрунту впливає на фізичні, хімічні та біологічні реакції, необхідні для виживання, зростання та врожайності сільськогосподарських культур, виробники кукурудзи повинні знати про рН ґрунту, який вони використовують для вирощування кукурудзи.

У зв'язку з низьким рН ґрунту доступність поживних мікроелементів може бути значно обмежена, що може призвести до поганого росту кукурудзи.

Коли рН ґрунтового середовища знижується, доступність всіх поживних мікроелементів, за винятком молібдену, знижується.

Що стосується реакції ґрунтового середовища на нашому полі 312, то при проведенні агрохіманалізу встановлено, що вона переважно слабокисла і близька до нейтральної, причому більш кислі ґрунти розташовані на більш високій за рельєфом ділянці (рис. 3.4).

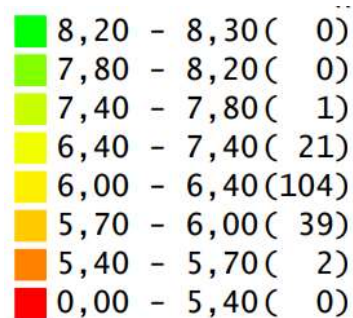
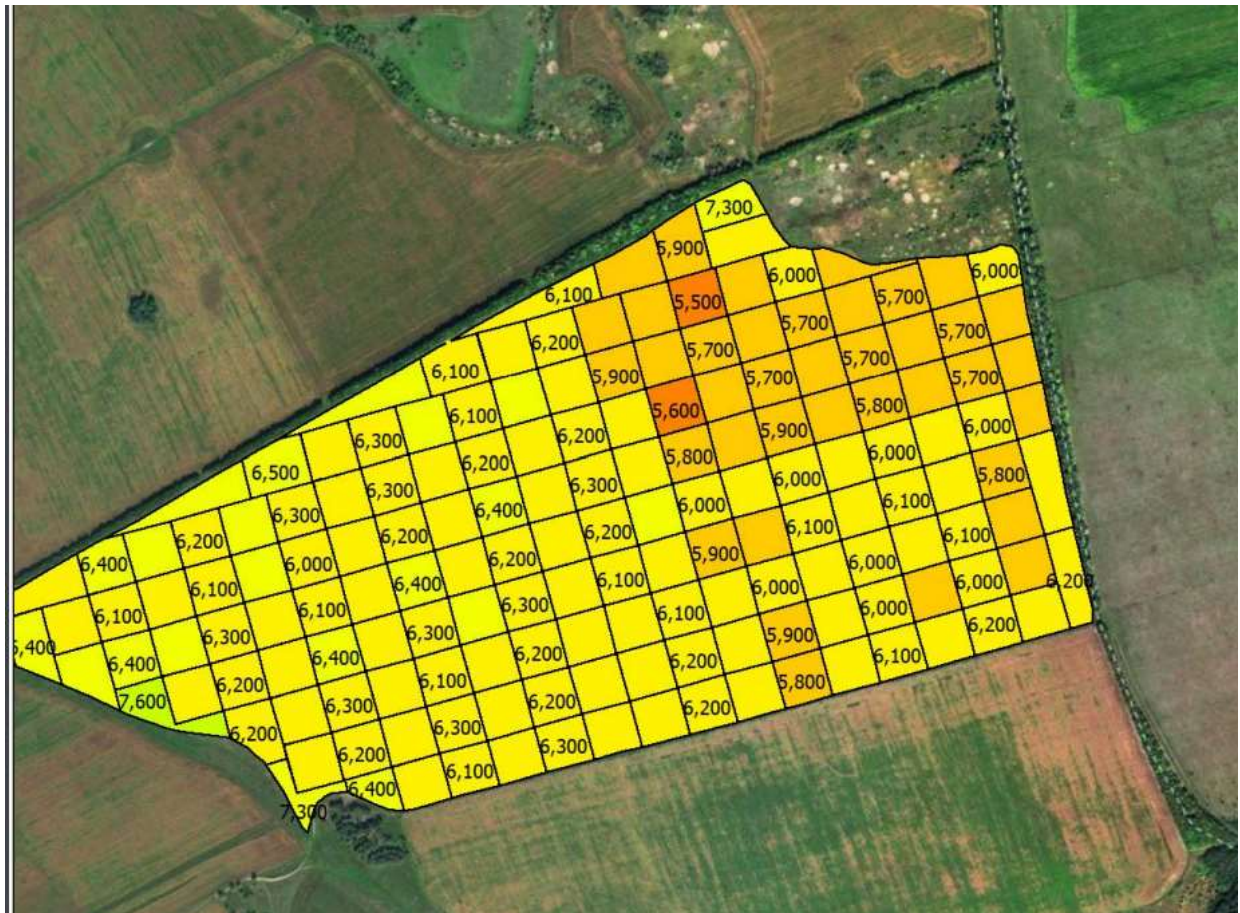


Рис. 3.4. Показник рН у ґрунті на полі 312

На наступному рисунку 3.5 зображено картограму забезпеченості азотом. Як і в більшості чорноземних ґрунтів України, азоту недостатньо для рослин,

тому азот як головний макроелемент обов'язково вноситься при вирощуванні сільгоспкультур. Є ділянки з дуже низьким вмістом азоту і це, як правило, там, де застій води відбувається при надмірних дощах, як, наприклад, було влітку у 2023 році. Тривалий застій води у ґрунті приводить до процесів оглеєння і тоді нітратний азот може підлягати процесу нітрифікації, тобто нітратна форма азоту переходить у аміак або оксид азоту і втрачаються з ґрунту. Це характерно для ґрунтів торфових, болотних, тих, що підлягають затоплення і розташовані по днищах балок, по долинах річок, а іноді – на полях з безстічними пониженнями.

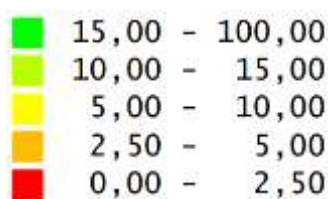
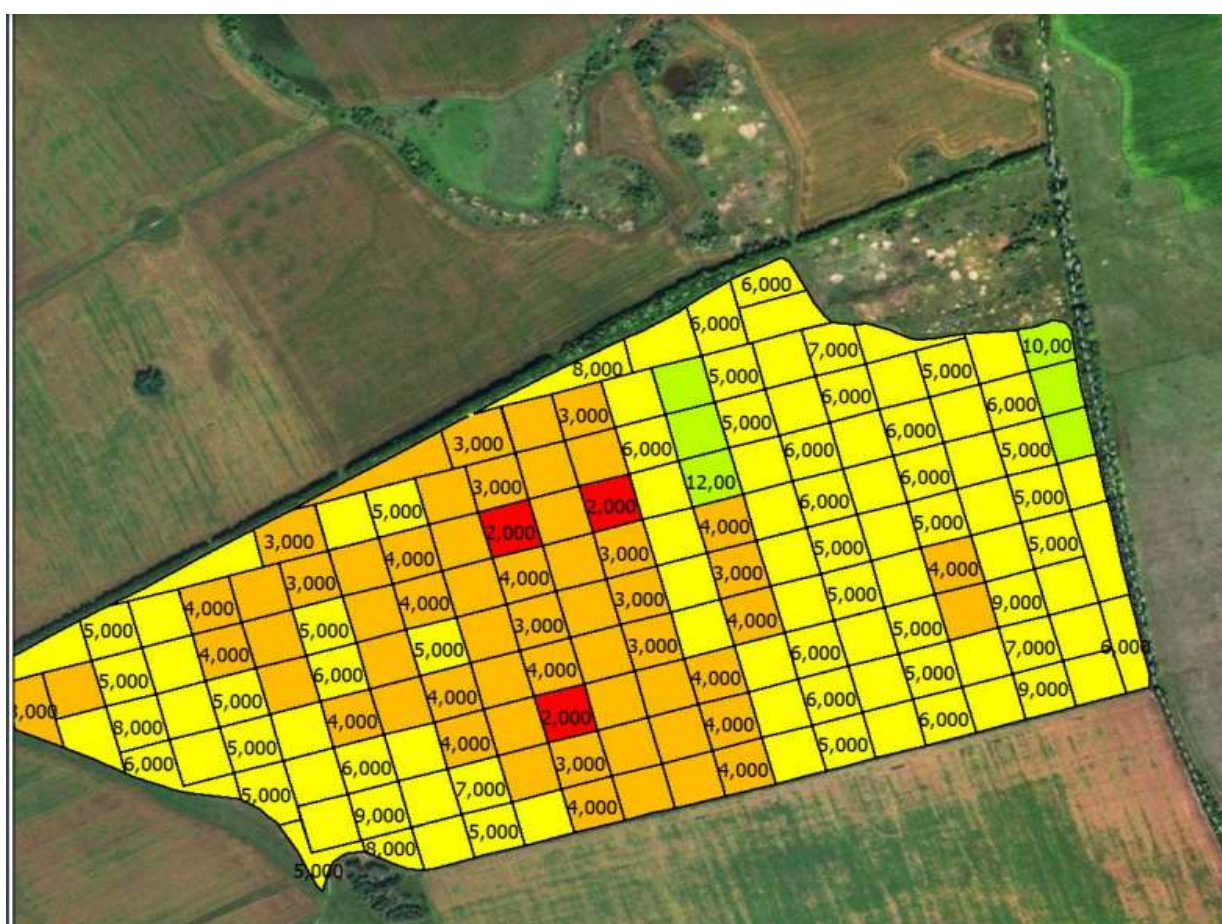


Рис. 3.5. Вміст легкогідролізованого азоту у ґрунті, мг на кг

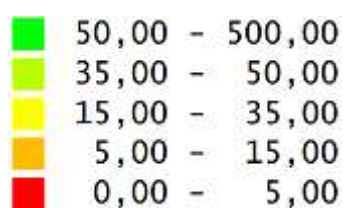
Вміст фосфору в ґрунті середній (жовтий колір), також велика частина поля має підвищений вміст і є ділянки з високим вмістом і на схилах поля – дуже низьким через вимивання фосфору атмосферними водами (рис. 3.6а,б). На цьому ж рисунку представлено зонування внесення амофосу. Треба зазначити, що у 1984 році (наявна картограма в господарстві) панівний вміст фосфору на полі був на рівні 150 мг на кг, тобто відмічається зниження природних запасів фосфору через незбалансоване живлення, менші норми внесення.

Для рослин ґрунт є основним джерелом фосфору [2]. У ґрунтах валовий вміст фосфору значно нижчий, ніж азоту та калію, і його запас у орному шарі становить 1,2–66 т/га. Гранулометричний склад ґрунту та вміст гумусу визначають вміст і запас фосфору. Дерново-підзолисті та супіщані ґрунти містять низький вміст загального фосфору, чорноземи – середній та підвищений.

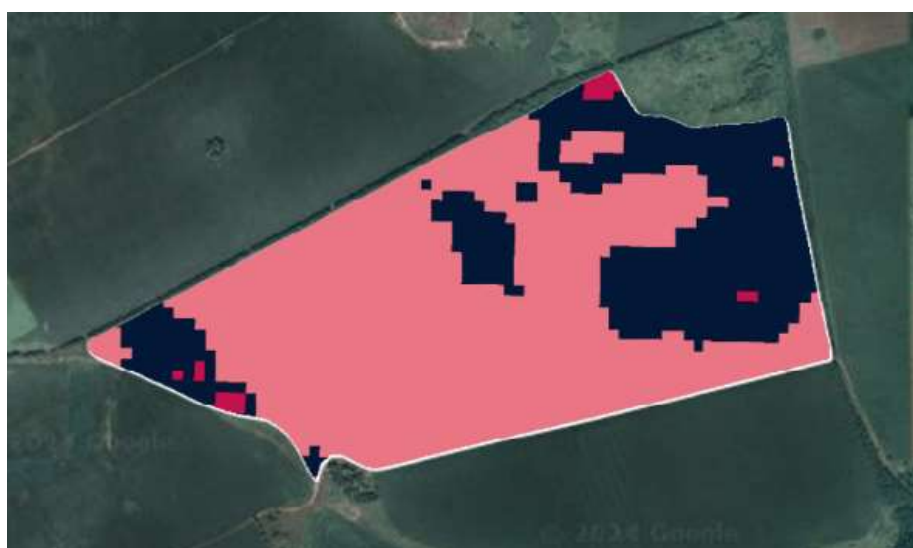
Органічні речовини, вологість і температура впливають на рівень фосфатів у ґрунті. Порівняно з азотом і калієм доступність фосфору для рослин із запасів ґрунту та добрив є результатом низки факторів, включаючи: 1) низьку дифузію фосфат-іонів у ґрунті; 2) недостатнє охоплення кореневою системою ґрунту в цілому; і 3) низька вологість ґрунту, що заважає й без того слабкій дифузії фосфатів.

У перший рік внесення фосфорних добрив низький коефіцієнт використання (10–15 %) пов'язаний з переходом фосфатів у недоступні форми та обмеженою доступністю корневих систем продуктів їх взаємодії з ґрунтом. Після післядії коефіцієнт використання фосфору добрив становить 35-40 %. Він може сягати 100 %, якщо фосфорні добрив не використовують протягом 4–10 років. Отже, в умовах інтенсивного землеробства добрива потрібно вносити систематично, а не чекати, поки вони зникнуть. При цьому не тільки повертається фосфор, винесений з урожаю, але й створюються запаси рухомих форм фосфору в ґрунті. Післядію фосфатів іноді можна пояснити не зв'язуванням фосфорної кислоти в ґрунті, а відсутністю живлення рослин

азотом і калієм. Тому застосування азотних і калійних добрив посилює післядію фосфатів.



а



Зони

1		112.4 ha	0.0 kg/ha	0.0 kg
2		53.0 ha	45.0 kg/ha	2,387.0 kg
3		2.0 ha	85.0 kg/ha	168.0 kg

б

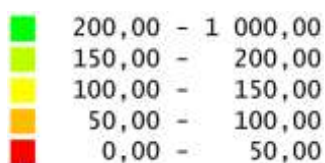
Рис. 3.6 а,б. Вміст рухомого фосфору в ґрунті та зонування внесення амофосу на полі, мг на кг

Вміст калію (K_2O) у різних ґрунтах коливається від 0,5 до 3% і залежить від механічного складу [1]. Більше калію міститься в глинистій фракції ґрунту. З цієї причини важкі глинисті та суглинкові ґрунти містять більшу концентрацію калію (2-3%), ніж піщані та супіщані (1.5-2%). Торф'яністі ґрунти з низьким вмістом калію (від 0,03% до 0,05%). Набагато більше калію, ніж азоту та фосфору, міститься в більшості суглинкових ґрунтів. Загальний (валовий) калій міститься в таких формах: солі ґрунтового розчину (0,05–0,2%), поживно-кореневі залишки (до 0,05%), первинні та вторинні мінерали (не менше 91%), обмінно-поглинені (0,5–2%) і необмінно-поглинені (до 9%).

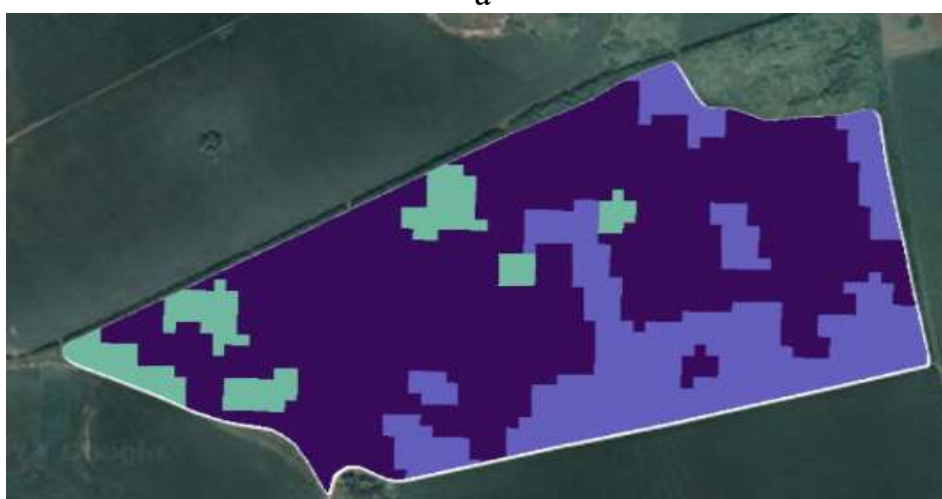
Поглинена ґрунтовими колоїдами форма калію в ґрунті становить 0.8-1.5% загального вмісту калію в ґрунті. Йому належить основна роль в живленні рослин. Хороша доступність обмінного калію для рослин обумовлена його здатністю при обміні з іншими катіонами легко переходити в розчин, з якого він засвоюється рослинами. При засвоєнні рослинами калію з розчину нові порції його переходять з поглиненого стану в ґрунтовий розчин. У міру використання обмінного калію цей процес все більше сповільнюється, а калій, що залишається все міцніше утримується в поглиненому стані. Вміст обмінного калію може служити показником ступеня забезпеченості ґрунту засвоюваним калієм. Звичайні і потужні чорноземи і сіроземи багатшими обмінним калієм, ніж дерново-підзолисті ґрунти, особливо піщані та супіщані. А от водорозчинний калій представлений різними солями, які безпосередньо засвоюються рослинами. У деяких ґрунтах водорозчинний калій (а також калій внесених в ґрунт добрив) може поглинатися в необмінній формі, в результаті знижується доступність його для рослин. Необмінна фіксація калію, як і іону амонію, найбільш сильно виражена в чорноземах і сіроземах, особливо при їх мінливому зволоженні і висушуванні. Між різними формами калію в ґрунтах існує динамічна рівновага. Отже, головною умовою для підтримки

оптимального балансу поживних речовин в ґрунті, в тому числі і калію, є компенсація витрат за рахунок застосування мінеральних і органічних добрив.

Вміст калію в ґрунті нашого поля (мг на кг) переважно середній та підвищений, є дві ділянки із високим вмістом (аналіз ґрунту 2021 року, рис. 3.7а,б).



а



Зони

1	■	43.4 ha	0.0 kg/ha	0.0 kg
2	■	110.9 ha	60.0 kg/ha	6,653.2 kg
3	■	13.1 ha	100.0 kg/ha	1,313.7 kg

б

Рис. 3.7 а,б. Вміст обмінного калію в ґрунті та зонування внесення амофосу на полі, мг на кг

У 1984 році середній вміст по полю був 89 мг на кг. На ділянки з підвищеним вмістом взагалі не вносили калію, на площі 111 га по 60 кг діючої речовини, в деяких місцях – по 100 кг.

У господарстві також визначали й інші елементи, і потрібно підкреслити, що вміст кальцію підвищений та високий, на ухилах навіть підвищений, так як перехідні горизонти чорноземного ґрунту мають більший запас карбонатів кальцію. Вміст міді, цинку високий, заліза – підвищений, сірки та магнію – високий та підвищений. Тобто, можна зробити висновок, що потенціал поля достатньо високий за агрохімічними показниками родючості ґрунту.

3.2. Урожайність кукурудзи

Індекс NDVI відображає особливості рельєфу поля, ущільнення техніки, забезпеченням поживними речовинами (рис. 3.8).

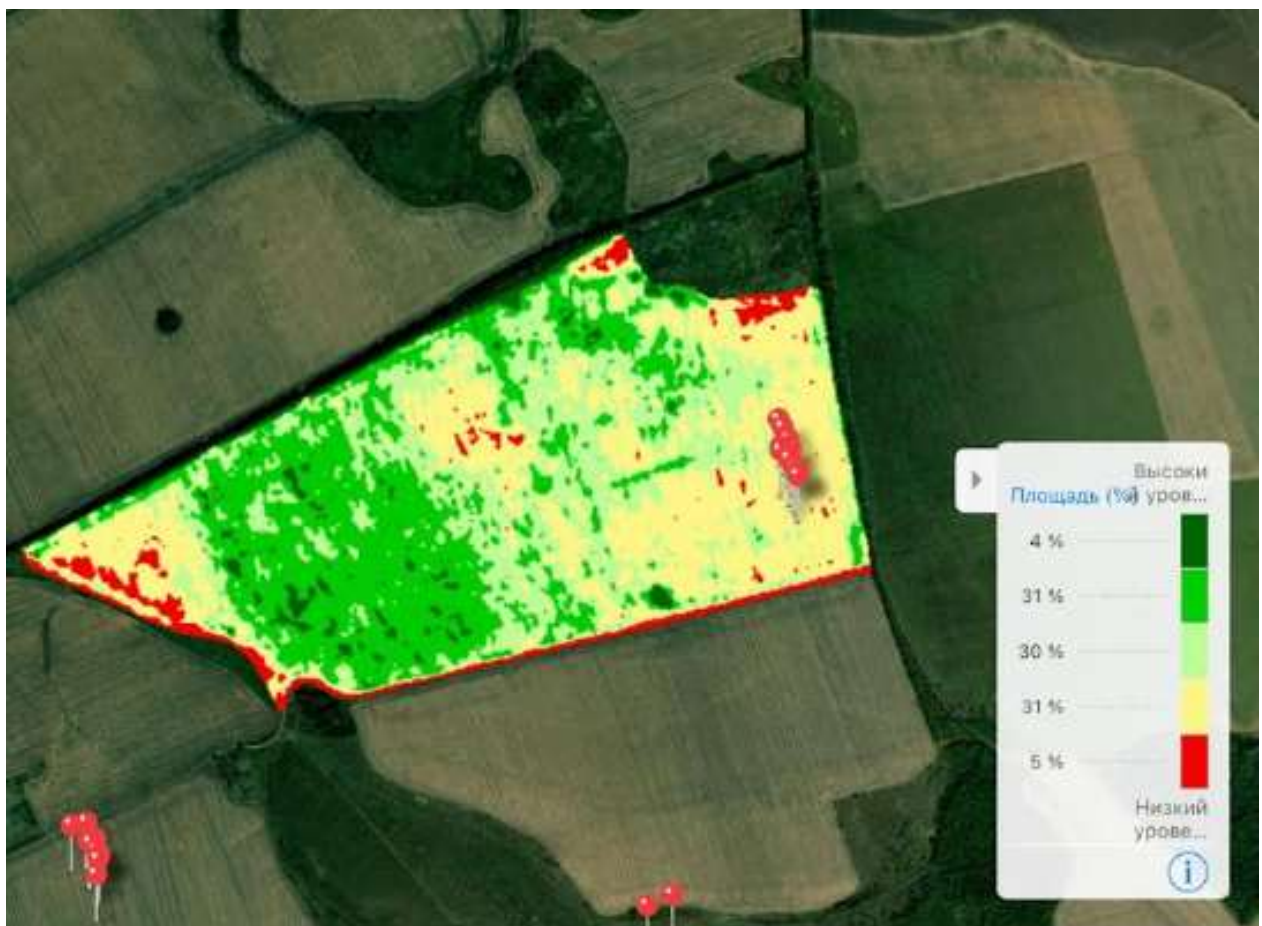


Рис. 3.8. Індекс NDVI на полі 312

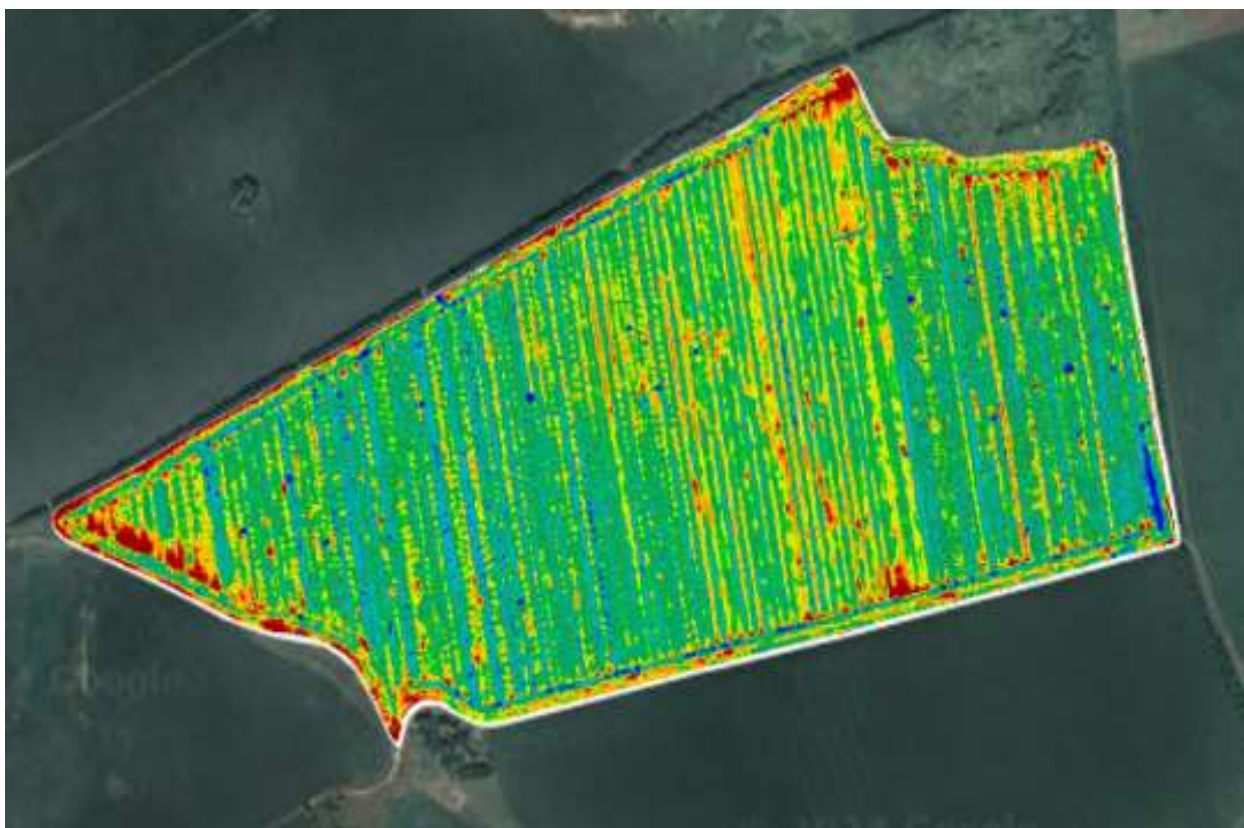
Нормалізований індекс наразі достатньо потужно використовується аграріями для прогнозування врожайності сільськогосподарських культур, а також для візуалізації проблем на полі. Червоним кольором на рисунку позначено низький рівень цього показника, а це означає, що фотосинтетичний процес на тих ділянках проходить не так, як на інших, рослини менш інтенсивного зеленого кольору. Взагалом цей індекс показує і просіви комбайна і проблемні ділянки, де, наприклад, вітер буревій зламав рослини, чи пробігають постійно дикі тварини (роблять собі доріжки по полях), все це за супутниковими зображеннями можна визначати зараз.

Середній урожай на полі 312 в ТОВ «АВІС УКРАГРО ГРУПП» Висторопського відділення становив 10.75 т/га, по еродованих ділянках значно зменшується (рис. 3.9).

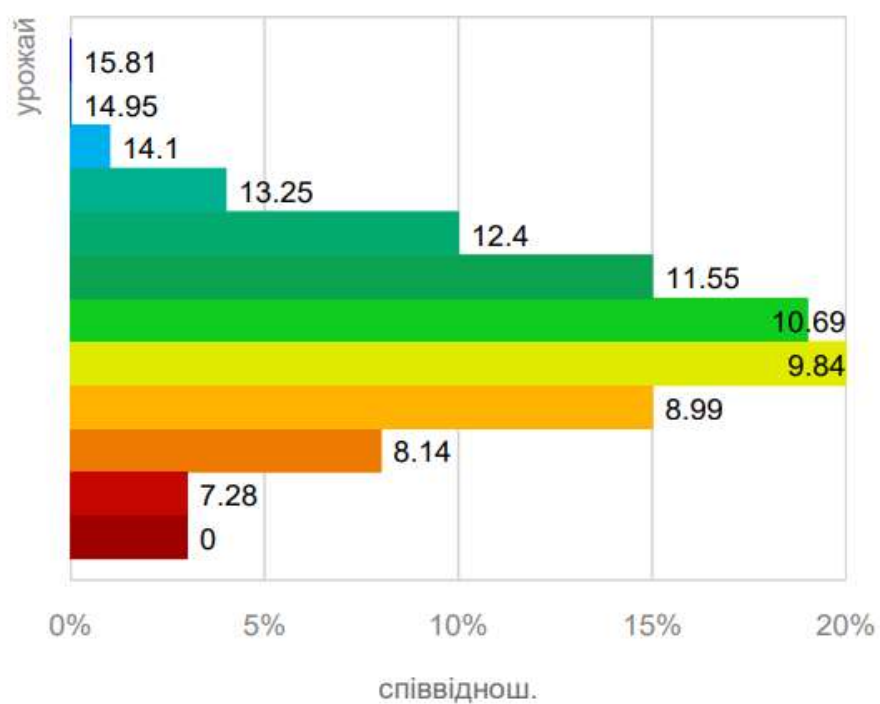
Економічне обґрунтування вирощування кукурудзи дуже важливо для оцінки прибутку в господарстві і в цілому рентабельності вирощування (табл.

Ціна на хлористий калій 37,200 грн. за тону. У таблиці 3.1. наведено внесені норми хлористого калію по зонах, урожайність отримана на умовний прибуток.

Як видно з таблиці 3.2 по структурі витрат при вирощуванні кукурудзи за технологією точного землеробства, застосування мінеральних добрив має велику частку – це майже 15,8 %, але в цю частку входить саме купівля міндобрив та їх доставка. Далі вже внесення міндобрив 2,31% займає. Можна також підкреслити, що великі частки у структурі мають також: оплата за паї, загальнопромислові витрати, перевезення. Ціна насіння з доставкою – 8,19 %. Глибокорихлення використовується за планом на тих місцях, де постійно проїжджає техніка по смугах, щоб прибрати плужну підошву. Витрати на вирощування кукурудзи у 2023 році становили на рівні 45550-49000 грн. на гектар.



Умовні
позначення



Одиниці т/га

Рис. 3.9. Урожайність зерна кукурудзи на полі 312

Таблиця 3.1

Внесення хлористого калію на окремих ділянках, 2023 рік

Забезпеченість ґрунту калієм	Внесена норма КСІ, кг на га	Урожайність, т на га	Витрати на добрива, грн.	Вартість реалізації, грн. за тону зерна	Умовний прибуток, грн.
164 мг/100 г ґрунту (високий вміст)	0	9,71	-	4200 грн.	40782
134 мг/100 г ґрунту (високий вміст)	60 (34,8 д.р.)	10,2	2232 грн.		42840
118 мг/100 г ґрунту	100 (58 д.р.)	9,69	3720		40698

Як бачимо, при внесенні 60 кг хлористого калію отримано найбільший умовний прибуток – 42840 при забезпеченні ґрунту обмінним калієм на рівні 134 мг на 100 г ґрунту.

При внесенні 60 кг хлористого калію отримано найбільший умовний прибуток – 42840 при забезпеченні ґрунту обмінним калієм на рівні 134 мг на 100 г ґрунту.

Таблиця 3.3

Структура виробничих витрат на вирощування кукурудзи на зерно

№ п/п	Найменування статті витрат	Структура с/в-ті, %
	Виробничі витрати, грн.	
1	Дискування	2,40%
2	Боронування	0,01%
3	Внесення мінеральних добрив	2,31%
4	Глибокорихлення ґрунту	1,09%
5	Мінеральні добрива	15,78%
6	Культивація	0,52%
7	Подрібнення стебел	1,20%
8	Насіння	8,19%
9	Сівба	0,17%
10	Гербіциди	8,61%
11	Оренда техніки	0,14%
12	ПММ	8,91%
13	Протруювання насіння	0,10%
14	Транспортні послуги	0,22%
15	Обмолот оренда техніки	2,85%
16	Перевезення	13,41%
17	Приймання	0,59%
18	Сушіння	4,31%
19	Паї	14,66%
20	Податки	1,18%
21	Загальновиробничі витрати	13,34%
	Виробнича собівартість 1 тонни кукурудзи, грн. без ПДВ	100,00%

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Вміст органічної речовини знаходиться в межах 1,7-4,5 %, переважаючи площі з малогумусним ґрунтом.
2. Реакція ґрунтового середовища переважно слабокисла і близька до нейтральної, причому більш кислі ґрунти розташовані на більш високій за рельєфом ділянці.
3. Половина поля має низький вміст азоту, дещо менше площі середній і також є ділянки із високим вмістом та дуже низьким (є незначні пониження в рельєфі).
4. Вміст фосфору в ґрунті (мг на кг) середній, також велика частина поля має підвищений вміст і є ділянки з високим вмістом і на схилах поля – дуже низьким через вимивання фосфору атмосферними водами.
5. Вміст калію в ґрунті (мг на кг) переважно середній та підвищений, є дві ділянки із високим вмістом.
6. Внесення хлористого калію та амофосу по зонах з різними нормами вирівнює урожайність насіння кукурудзи на полі.
7. Середній урожай зерна становив 10.75 т/га з найменшими показниками на ущільнених та еродованих ділянках.
8. Витрати на вирощування у 2023 році становили на рівні 45550-49000 грн. на гектар. При внесенні 60 кг хлористого калію отримано найбільший умовний прибуток – 42840 при забезпеченні ґрунту обмінним калієм на рівні 134 мг на 100 г ґрунту.

Пропозиції виробництву.

В умовах Лівобережного Лісостепу на площах із чорноземами типовими на лесоподібних суглинках рекомендується вносити норми внесення азотних, фосфорних та калійних добрив залежно від актуальних даних агрохімічних параметрів ґрунту. Рекомендується вносити 60 кг хлористого калію за високого забезпечення рівня калію в ґрунті. На ділянках із слабокислим рН рекомендується провести вапнування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Значення калію для рослин та його вміст у ґрунті. Режим доступу: <https://agrotest.com/article/znachennya-kaliyu-dlya-roslyn-i-jogo-vmist-u-grunti/>
2. Рухомий фосфор як індикатор якості ґрунту 04.12.2020. Режим доступу: <https://podilagrohimservis.com.ua/tpost/npsb9j31-ruhomii-fosfor-yak-ndikator-yakost-runtu>
3. Холодюк О., Диня В., Бонякевич О., Мовчан Д. Сучасні рішення та напрямки розвитку основних елементів системи точного землеробства. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. 2024. Вип. 331(1). С. 330-338.
4. Як рН ґрунту впливає на продуктивність кукурудзи і чому 21 Січня, 2019. Режим доступу: <https://www.growhow.in.ua/yak-ph-gruntu-vplyvaie-na-produktyvnist-kukurudzy-i-chomu/>
5. Aliyu K. T., Shehu B. M. & Adam A. M. Digital technology in maize nutrient management research in northern Nigeria amid COVID-19 pandemic. Sci Rep. 2024. V. 14:8114.
6. Ciampitti I. A., Vyn T. J. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. Field Crop. Res. 2011. V. 121 (1). P. 2–18.
7. Ciampitti I. A., Murrell S. T., Camberato J. J., Vyn T. J. Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: I. Macronutrients. Agronomy Journal. 2013. V. 105. P. 783–795.
8. Chen X. P., Cui Z. L., Vitousek P. M., Cassman K. G., Matson P. A., Bai J. S., Meng Q. F., Hou P., Yue S. C., Römheld V., Zhang F. S. C. Integrated soil–crop system management for food security. P Natl Acad Sci. 2011. V. 108. P. 6399–6404.
9. Gao J., Lei M., Yang L., Wang P., Tao H., Huang S. Reduced row spacing improved yield by optimizing root distribution in maize. Eur. J. Agron. 2021. V. 127: 126291.

10. De-Yang S., Li Y. H., Zhang J. W., Liu P., Zhao B., Dong S. T. Increased plant density and reduced N rate lead to more grain yield and higher resource utilization in summer maize. *Journal of Integrative Agriculture*. 2016. V. 15 (11). P. 2515–2528.
11. Djaman K., Djaman D. S., Puppala N., Darapuneni M. Plant nutrient removal and soil residual chemical properties as impacted by maize planting date and density. *PLoS ONE*. 2024. V. 19(3): e0299193.
12. Djaman K., Irmak S., Martin D. L., Ferguson R. B., Bernardis M. L. Plant nutrient uptake and soil nutrient dynamics under full and limited irrigation and rainfed maize production. *Agronomy*. 2013. V. 105(2). P. 527–538.
13. Du X., Wang Z., Lei W., Kong L. Increased planting density combined with reduced nitrogen rate to achieve high yield in maize. *Scientific Reports*. 2021. V. 11(1), 1–12.
14. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). Available online: faostat3.fao.org/download/Q/QC/E (accessed on 1 February 2020).
15. Imran. Integration of organic, inorganic and bio fertilizer, improve maize-wheat system productivity and soil nutrients. *Journal of Plant Nutrition*. 2024. V. 47(15), 2494–2510.
16. Ishaya F. D., Rasmussen A. Methods for measuring nutrient uptake in maize using nitrogen stable isotopes. May 13 2024, Cold Spring Harb Protoc 2024.
17. Jin Z.-Q., Shah T., Zhang L., Liu H.-Y., Peng S.-B. Effect of straw returning on soil organic carbon in rice–wheat rotation system: A review. *Food Energy Secur*. 2020. V. 9: 200.
18. Jiang M., Dong, C., Bian, W. et al. Effects of different fertilization practices on maize yield, soil nutrients, soil moisture, and water use efficiency in northern China based on a meta-analysis. *Sci Rep* 14, 6480 (2024).
19. Jiang W., Wang K., Wu Q., Dong S., Liu P., Zhang J. Effects of narrow plant spacing on root distribution and physiological nitrogen use efficiency in summer maize. *The Crop J*. 2013. V. 1. P. 77–83.

20. Júnior M. R. B., Moreira B. R. de A., Carreira V. dos S., Filho Armando L. de B., Trentin C., Souza F.L.P., Tedesco D., Setiyono T., Flores J.P., Ampatzidis Y., Pereira da S. R., Shiratsuchi L. S. Precision agriculture in the United States: a comprehensive meta-review inspiring further research, innovation, and adoption, *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. V. 221: 108993.

21. Killeen P., Kiringa I., Yeap T., Branco P. Corn grain yield prediction using uav-based high spatiotemporal resolution imagery, machine learning, and spatial cross-validation. *Remote Sensing*. 2024. V. 16(4):683.

22. Kuehne G. et al. Predicting farmer uptake of new agricultural practices: a tool for research, extension and policy. *Agric. Syst.* 2017. V. 156. P. 115–125.

23. Lambrecht I., Vanlauwe B., Merckx R. & Maertens M. Understanding the process of agricultural technology adoption: Mineral fertilizer in Eastern DR Congo. *World Dev.* 2014. V. 59. P. 132–146.

24. McFadden J., Njuki E., Griffin T. Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on US Farms U.S. Dep. Agric. Econ. Res. Serv. Economic Research Service Economic Information Bulletin. Number 248 February 2023. 53 pages.

25. Postma J. A., Hecht V. L., Hikosaka K., Nord E. A., Pons T. L., Poorter H. Dividing the pie: A quantitative review on plant density responses. *Plant Cell Environ.* 2021. V. 44(4). P. 1072–1094.

26. Qin, W., Hu, C.-S., Oenema, O. (2015). Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: a meta-analysis. *Sci. Rep.* 5, 16210.

27. Ren H., Jiang Y., Zhao M., Qi H., Li C.-F. Nitrogen supply regulates vascular bundle structure and matter transport characteristics of spring maize under high plant density. *Front. Plant Sci.* 2021. V. 11.

28. Rubio G., Walk T., Ge Z. Y., Yan X., Liao H., Lynch J. P. Root gravitropism and below-ground competition among neighboring plants: a modelling approach. *Annals of Botany*. 2001. V. 88. P. 929–940.

29. Shao Y.-H., Xie Y.-X., Wang C.-Y., Yue J.-Q., Yao Y.-Q., Li X.-D. et al. Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use

and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North China. *Eur. J. Agron.* 2016. V. 81. P. 37–45.

30. Song R., Wu C. S., Ma Y. L., Guo J. X., Xing F. Comparison of roots distribution in different maize plant type cultivars in the Songnen Plain. *Chinese J. Applied Ecology.* 2003. V. 11. P. 1911–1913.

31. Sun Y., Zang H., Spletstößer T., Kumar A., Xu X., Kuzyakov Y., Pausch J. Plant intraspecific competition and growth stage alter carbon and nitrogen mineralization in the rhizosphere. *Plant Cell Environ.* 2021. V. 44(4). P. 1231–1242.

32. Tan C.-J., Cao X., Yuan S.-A., Wang W.-Y., Feng Y.-Z., Qiao B. Effects of long-term conservation tillage on soil nutrients in sloping fields in regions characterized by water and wind erosion. *Sci. Rep.* 2015. V. 5: 17592.

33. Stevens W. B., Hoefl R. G., Mulvaney R. L. Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study: II. Nitrogen uptake efficiency. *Agronomy Journal.* 2005. V. 97. P. 1046–1053.

34. Wang C.-Y., Liang Y., Liu J.-Z., Yuan J.-C., Ren J., Geng Y.-D., et al. The relationship of soil organic carbon and nutrient contents to maize yield as affected by maize straw return modes. *Appl. Sci.* 2023. V. 13: 12448.

35. Wang L.-Q., Yu X.-F., Gao J.-L., Ma D.-L., Liu H.-Y. and Hu S.-P. Regulation of tillage on grain matter accumulation in maize. *Front. Plant Sci.* 2024. V. 15:1373624.

36. Xu J., Han H.-F., Ning T. Y., Li Z.-J., Lai R.. Long-term effects of tillage and straw management on soil organic carbon, crop yield, and yield stability in a wheat-maize system. *Field Crops Res.* 2019a. V. 233. P. 33–40.

37. Yao S.-H., Teng X.-L., Zhang B. Effects of rice straw incorporation and tillage depth on soil puddlability and mechanical properties during rice growth period. *Soil Till Res.* 2015. 146, 125–132.

38. Zhang P., Wei T., Jia Z.-K., Han Q.-F., Ren X.-L. Soil aggregate and crop yield changes with different rates of straw incorporation in semiarid areas of northwest China. *Geoderma.* 2014. P. 230-231. P. 41–49.

39. Zhang P., Wei T., Li Y.-L., Wang K., Jia Z.-K., Han Q.-F. et al. Effects of straw incorporation on the stratification of the soil organic C, total N and C:N ratio in a semiarid region of China. *Soil Till Res.* 2015. V. 153. P. 28–35.

40. Zhang X.-T., Wang J., Feng X.-Y., Yang H.-S., Li Y.-L., Yakov K., et al. Effects of tillage on soil organic carbon and crop yield under straw return. *Agr Ecosyst. Environ.* 2023. V. 354:108543.

41. Zhang Y., Xu Z., Li J., Wang R. Optimum Planting Density Improves Resource Use Efficiency and Yield Stability of Rainfed Maize in Semiarid Climate. *Frontiers in Plant Science.* 2021. V. 12: 752606.

ДОДАТКИ