

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

05.10 – КМР. 973 “С” 2022.08.26. 011 ПЗ

ПЛАХОТНЮКА ВЛАДИСЛАВА ЮРІЙОВИЧА

2022 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Агробіологічний факультет

УДК 631.559:633.15:528.4

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету (Директор ННІ)
Агробіологічний факультет

Тонха О. Л.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
Агрохімії та якості продукції
рослинництва ім. О. І. Душечкіна

Бикін А. В.

“ ” 20__ р.

“ ” 20__ р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

з теми Прогноз урожайності кукурудзи на зерно за даними дистанційного моніторингу

Спеціальність 201 Агрономія

Освітня програма Агрохімія та агрохімічний сервіс у прецизійному агропромисловому виробництві

Орієнтація освітньої програми Освітньо-професійна програма

Гарант освітньої програми

Доктор сільськогосподарських наук, професор

Бикін А. В.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Пасічник Н. А.

Виконав

Плахотнюк Владислав Юрійович

КИЇВ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факкультет (ННІ) **НУБІП України**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____

НУБІП України (науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
" " 20 року
ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

НУБІП України (прізвище, ім'я, по батькові)
Спеціальність _____
Освітня програма _____ (код і назва)
Орієнтація освітньої програми _____ (назва)
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи _____

НУБІП України
затверджена наказом ректора НУБІП України від " " 20 р. №
Термін подання завершеної роботи на кафедру _____ (рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи _____

НУБІП України
Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- 1. _____
- 2. _____
- 3. _____

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

НУБІП України
Дата видачі завдання " " 20 р.
Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали студента)

НУБІП України

РЕФЕРАТ

НУБІП України

Магістерська дипломна робота викладена у вступі, 4 розділах, висновках та 2 додатках. В роботі наведено 17 графіків, 20 таблиць, 9 рисунків та 51 використане джерело. Загальний обсяг магістерської роботи складає 67 сторінок.

НУБІП України

В 1 розділі наведений короткий огляд літератури по досліджуваній темі дослідження, а саме супутниковому моніторингу, прогнозуванню врожайності за його використання та особливості досліджуваної культури.

НУБІП України

В розділі 2 описані умови проведення дослідження: ґрунтово-кліматичні умови господарства, розташування полів та їх рельєф, гібриди кукурудзи що вирощувались за термін дослідження та методику проведення дослідження.

НУБІП України

В розділі 3 наведені дані отримані за рахунок спектральних та фенологічних досліджень та структура врожаю кукурудзи на зерно зі досліджуваного поля 2022 року.

НУБІП України

В розділі 4 описано результати досліджень та проведено порівняльний аналіз всіх варіантів прогнозування врожайності за даними супутникового моніторингу.

НУБІП України

Основним завданням роботи було перевірити можливість прогнозування врожайності кукурудзи на зерно за даними дистанційного (супутникового) моніторингу.

НУБІП України

Загалом завдання дипломної роботи є виконаним. За результатами досліджень найкращі результати при прогнозуванні врожайності за даними супутникового моніторингу показав варіант із застосуванням вегетаційного індексів NDVI та GNDVI що показали 87% точності прогнозу як на ранніх етапах вегетації та і на більш пізніх. Порівняння точності прогнозу проводилось на основі біологічної врожайності кукурудзи на зерно 2022 року.

НУБІП України

Ключові слова: кукурудза, вегетаційний індекс, канал, спектр, врожайність.

Зміст

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. Огляд літератури	11
1.1 Прогнозування врожайності кукурудзи	11
1.2 Спектральні методи дослідження при прогнозуванні врожайності кукурудзи	12
1.3 Біологічні особливості вирощування кукурудзи на зерно	15
1.4 Принцип дії супутникового моніторингу	20
РОЗДІЛ 2. Місце, умови та методи проведення досліджень	24
2.1 Місце та умови проведення досліджень	24
2.1.1 Інформація про господарство	24
2.1.2 Ґрунтово-кліматичні умови 2022 року	25
2.1.3 Рельєф місцевості	26
2.1.4 Ґрунти та агрохімічні показники на полях сівозміни	28
2.2 Методи проведення дослідження	30
2.2.1 Спектральні методи проведення досліджень	30
2.2.2 Методика проведення польових досліджень	31
2.3 Роки та гібриди які вирощувались на полях господарства	31
РОЗДІЛ 3. Експериментальні дослідження	33
3.1 Обробка даних супутникового моніторингу в ПЗ QGIS	33
3.2 Вибір спектрів та вегетаційних індексів для прогнозування врожайності кукурудзи на зерно	34
3.3 Прогнозування врожайності на основі спектральних знімків	35
3.3.1 Прогнозування врожайності на основу червоного спектру	35
3.3.2 Прогнозування врожайності на основі зеленого спектру	38

3.4	Прогнозування врожайності на основі вегетаційних індексів.....	42
3.4.1	Прогнозування врожайності на основі нормалізованого диференційованого вегетаційного індексу(NDVI).....	42
3.4.2	Прогнозування врожайності на основі зеленого нормалізованого диференційованого вегетаційного індексу(GNDVI).....	45
3.5	Польові дослідження.....	48
3.5.1	Фенологічні спостереження.....	48
3.5.2	Урожай, структура та якість.....	50
РОЗДІЛ 4	Модель прогнозування урожайності.....	53
ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58
ДОДАТОК А	64
ДОДАТОК Б	66

ВСТУП

Вступні дані про метод дослідження

Дистанційний моніторинг почав свій розвиток з 60х років коли людство навчилось виводити супутники на орбіту Землі. Проте відкритим широкому загалу дані супутникового моніторингу стали наприкінці 90х початку 2000 років. І наразі ці технології розвиваються і стають корисними багатьом галузям виробництва та науки.

Також і для сільського господарства технології дистанційного моніторингу дозволяють оглядати значні площі за короткий час, знаходити проблемні ділянки на полях чи зони неоднорідності. За допомогою чи спектральних чи лідарних досліджень. І якщо раніше на орбіту виводили супутники загального чи військового або метеорологічного призначення, то наразі набувають популярності супутники аграрного призначення створенні спеціально під завдання виробників. Вони оснащені мультиспектральними камерами зі чутливістю саме до спектрів що найбільше виділяють чи поглинають рослини. На жаль більшість супутників надають дані на комерційній основі.

Для безкоштовного користування зараз існує 2 науково-дослідні програми. Це Landsat – американська державна програма, яка наразі вже вивела 8-9 місію цієї програми, та європейська приватна місія Sentinel, що має 3 типи супутників, дані з яких знаходяться у вільному доступі. Саме ці 2 програми дозволяють аграріям використовувати дані цих програм безкоштовно для власних потреб та розвивати елементи точного землеробства в власних господарствах.

Окрім супутникового моніторингу ще існує 2 види дистанційного моніторингу, а саме: за допомогою БПЛА та з платформи літаків. Але ці види моніторингу є більш дорогими хоча і більш точними чи супутниковий моніторинг.

НУБІП України

Вступні дані про об'єкт дослідження

Кукурудза є важливою культурою для населення всього світу її вирощують на протязі 4500 років. В світі під посівами кукурудзи зайнято в середньому 130млн. га. а в Україні станом на 2021 рік зайняті площі під посівами кукурудзи становили 4,9 млн. га.[1]

Кукурудза має широкий спектр використання. Вона використовується як кормова, харчова та технічна культура. З неї виготовляють корми(силос, зеленій корм), технічна (сировина для біогазу) та харчова (крупи, олії, крохмаль, етиловий спирт та інше). Завдяки своїм біологічним особливостям її вирощування можливе на більшості площ України, за невибагливістю до попередників вона є однією із складових в більшості сівозмін.

За посівними площами та валовим виробництвом кукурудза на зерно є однією із лідируючих культур

Графік 1

Посівні площі основних культур 2021 рік



Згідно з даними Державної служби статистики кукурудза входить в трійку культур що займають значні площі вирощування в Україні, станом на

2021 рік цей показник становив для пшениці озимої 7055,5 тис.га; соняшника 6523,9 тис. га.; кукурудзи на зерно 4972,3 тис.га.

Графік 2

Показники валового виробництва основних культур України за 2021 рік



А от за даними валового виробництва кукурудза займає 1 місце серед найбільш вирощуваних культур в Україні ці показники становлять для кукурудзи на зерно 39819,4 тис. т.; пшениці 32719,7 тис.т.; соняшника 16439,8 тис. т.; картоплі 24299,5 тис.т. Значна частина кукурудзи вирощеної в Україні експортується – цей показник в 2021-2022 маркетинговому році становить 18683 тис. тонн продукції.[3]

Тому кукурудза є стратегічно важливою культурою як для України так і для всього світу і важливо контролювати стан посівів та якомога раніше розуміти врожайність цієї культури для планування логістики зерна від поля до переробних підприємств, складів, елеваторів чи портів. А так як площі під посівами кукурудзи значні прогнозувати її врожайність за допомогою інструментів дистанційного моніторингу.

Саме завдяки можливості оглядати площі з висоти 2-300км над поверхнею землі збільшується швидкість виявлення проблемних ділянок на полях господарства та навіть завдяки інформації отриманій за допомогою

інструментів дистанційного моніторингу є можливість спрогнозувати потенційну врожайність певних культур. Тому завданням дипломної роботи є перевірка можливості прогнозування врожайності кукурудзи на зерно за допомогою інструментів дистанційного моніторингу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

НУБІП УКРАЇНИ

1.1. Прогнозування врожайності кукурудзи

Для прогнозування врожайності с/г культур загалом існує 3 основних підходи

це:

1. Традиційний метод – він заснований на математичному обчисленні кількості та маси вже вирощених зернівок, плодів та інших ключових елементів врожаю шляхом підрахунку кількості густоти рослин на 1 га. елементами структури врожаю (кількості зернівок та колосів на рослині, зернин у ряду та кількість рядів в випадку з розрахунком кукурудзи), та маси 1000 зерен. Що при математичному обчисленні надають найбільш точні дані щодо врожайності с/г культури з поля. Проте з недоліків цього методу є: можливість проведення прогнозування лише на останній стадії розвитку культури та тривалість проведення вимірів і розрахунків. [19]

2. Біофізичні симуляційні моделі – метод полягає в проведенні прогнозу врожайності на основі математичних симуляційних моделей цей метод є достатньо точним проте вимагає наявності даних про сорт рослин, вологість ґрунту, температурний режим протягом вирощування культури та інші параметри що достатньо складно зібрати без наявності спеціального вартісного обладнання. [19]

3. Емпіричний метод полягає в використанні даних дистанційного моніторингу та полягає в створенні бази даних вегетаційних та біофізичних індексів та порівнянні їх із врожайністю минулих років для використання цих даних при прогнозуванні врожайності. Метод є наразі популярним через відносно невисокі вкладення та швидкий результат по всьому господарству. [19]

Також за допомогою емпіричного методу можливо виявляти «проблемні» ділянки полів та достатньо швидко виявляти причину їх поширення. Що заощадить кошти на проведенні повноцінного аналізу ґрунту чи рослинності на полі.

1.2 Спектральні методи дослідження при прогнозуванні врожайності кукурудзи

При прогнозуванні врожайності кукурудзи більшість сучасних сервісів користуються пошуком залежностей між даними врожайностей минулих років та вегетаційним індексом, ці дані можуть використовуватися як в загальному середньому по полю так і по конкретним пікселям поля (при наявності карт врожайності з полів). Зазвичай використовують індекси NDVI, EVI та іншими проте кукурудза є складною культурою при побудові цих залежностей через високу кількість продукрованої вегетативної маси що дає значні ускладнення при створенні вегетаційних індексів. Так як вегетаційні індекси дуже чутливі до кількості вегетативної маси. Але це не зупиняє виробників програмного забезпечення і вони продовжують використовувати ці методи використовуючи поправочні коефіцієнти на кліматичні особливості року та вміст поживних речовин в ґрунті та досягають значних результатів в отриманні прибутку та певні успіхи в прогнозуванні врожайності в межах 15% похибки (за умови застосування знімків високого ступеню розрізнення).

Існують дослідження з прогнозування врожайності кукурудзи на зерно де були отримані такі результати:

Дослідження з прогнозування врожайності кукурудзи на основі супутникового моніторингу

Одним із українських досліджень цієї теми є Прогнозування врожаю кукурудзи цукрової за даними супутникового моніторингу посівів

«Дослідження побудови математичної моделі врожайності кукурудзи цукрової виконувалися на зрошуваних полях Білозерського району Херсонської області протягом двох років на темно-каштанових ґрунтах із сортами та гібридами вітчизняного походження.

Статистико-математична прив'язка врожайності товарних качанів кукурудзи сахарної до значень показника NDVI у фазу цвітіння волоті дозволила розробити емпіричну модель розрахунку її продуктивності. За результатами емпіричної симуляції врожайності кукурудзи цукрової було встановлено, що

культура матиме наступну врожайність качанів відповідно до середньозваженої величини NDVI-посіву на фазу цвітіння волотей» [12].

Таблиця 1.6

Урожайність кукурудзи цукрової залежно від середньозваженого показника

NDVI посіву в фазу цвітіння

Розмір NDVI	Прогнозована врожайність кукурудзи цукрової, т/га		
	Мінімальна	Середня	Максимальна
0,2-0,3	2,00	2,49	3,00
0,3-0,4	3,00	3,74	4,50
0,4-0,5	4,00	4,98	6,00
0,5-0,6	5,00	6,23	7,50
0,6-0,7	6,00	7,48	9,00
0,7-0,8	7,00	8,72	10,50
>0,8	>8,00	9,97-11,22	>13,50

Як вказує автор статті, точність прогнозу становить 81,11% що є достатньо хорошим показником для цього методу прогнозування врожайності кукурудзи на зерно.

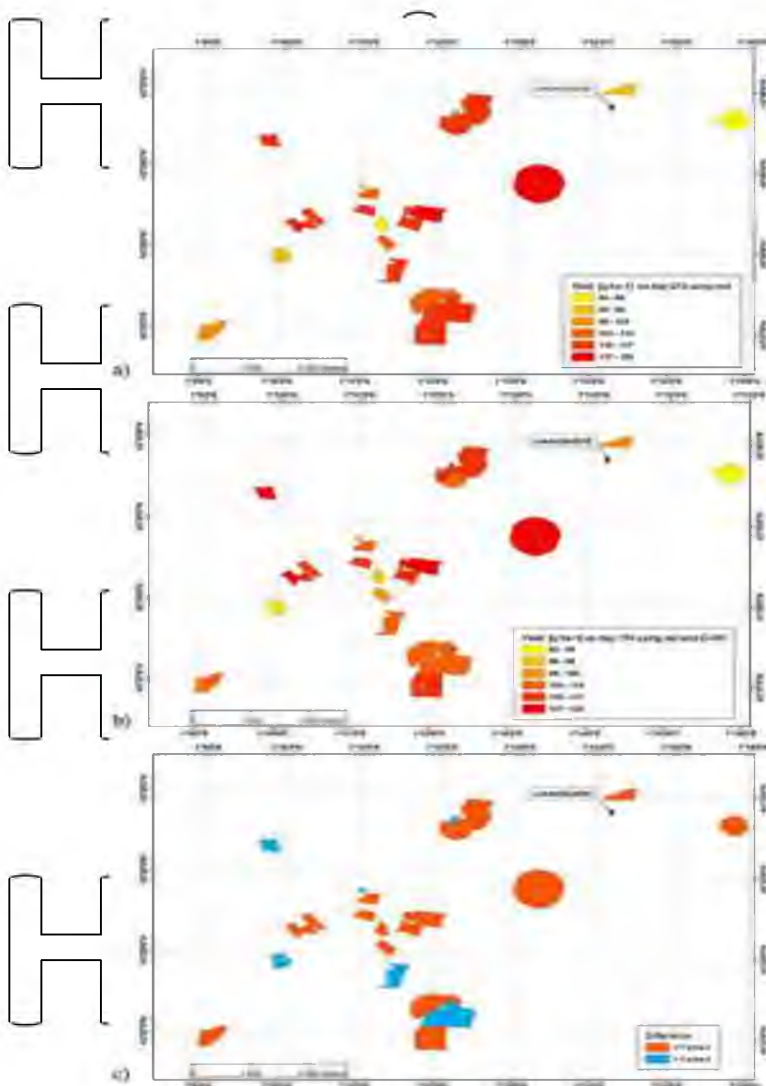


Fig. 10. Maps of corn yields based on: (a) the red reflectance using the diagnostic approach and (b) both red reflectance and C_{655} backscattering coefficients using the α -line approach. The difference in yield estimates are also presented (c). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Рис.1.3. Результати досліджень

нижньому рисунку наведено помаранчевим успішний результат прогнозування, синім неуспішний результат прогнозування. Згідно з цим можна стверджувати про ефективність методики прогнозування врожайності за допомогою співвідношення показника червоного спектру до врожайності кукурудзи на зерно.

За результатами Ahmed Kayad , Marco Sozzi , Simone Gatto, Francesco Marinello and Francesco Protti Monitoring Within-Field Variability of Corn Yield using Sentinel-2 and Machine Learning Techniques використовувало дані зі супутника Sentinel 2 та машинне навчання для прогнозування даних врожайності

За результатами дослідження R. Fieuzal, C. Marais Sicre, F. Baup. Estimation of corn yield using multi-temporal optical and radar satellite data and artificial neural networks оцінка врожайності кукурудзи проводилась за різними варіантами чистих каналів та їх комбінації для прогнозування врожайності кукурудзи на зерно і були отримані хороші результати точності при використанні червоного діапазону хвиль. [13] Результати дослідження наведені на рисунку 1.3

На верхньому та середньому рисунку наведено результати аналізу супутникових знімків в різні терміни досліджень а на

кукурудзи. Результатом дослідження стала доведена можливість прогнозування врожайності при використанні індексу GNDVI за дослідженням знімків в фазу R4-R6 або ж фазу молочно-воскової та повної стиглості, 80-89 BBCH

В разі потенційної врожайності від 9 до 18 т/га. похибка становить 10%. [14]

Підсумовуючи результати досліджень можливо прийти до висновку що прогнозування врожайності кукурудзи на зерно за допомогою супутникового моніторингу можливе проте в кожному випадку були свої умови та способи виконання цього завдання.

1.3 Біологічні особливості вирощування кукурудзи на зерно

Кукурудза – однорічна культура родини тонконогових. Являється теплолюбною культурою. Непереносить приморозків нижче 2°C . Оптимальна температура для проростання становить $8-10^{\circ}\text{C}$, для росту та розвитку $20-23^{\circ}\text{C}$. При температурі вище 25°C може погіршитись проходження запилення, при температурі вище 45°C ріст та розвиток припиняється. Загальна кількість суми температур має становити від 1800°C до 3200°C в залежності від ФАО гібриду. Для нормального вирощування необхідна річна сума опадів $500-700\text{мм}$. Кукурудза вегетує від 90 до 140 днів в залежності від групи стиглості.

В Україні вирощуються різні за групами стиглості гібриди в залежності від регіону вирощування. Зазвичай на півночі країни вирощуються ранньостиглі та середньоранні гібриди а от на півдні вже можливе вирощування середньо стиглих та середньопізніх гібридів. [4]

Групи стиглості та їх характеристика наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Групи стиглості за класифікацією ФАО

Група стиглості гібридів	Сума активних температур	Сума ефективних температур	Число ФАО	Період вегетації, днів	Кількість листків
Ранньостиглі	2200	900-1000	150-199	90-100	12-14
Середньоранні	2400	1100	200-299	100-115	14-16
Середньостиглі	2600	1150	300-399	115-120	17-18
Середьопізні	2800	1200	400-499	120-130	19-20
Пізньостиглі	2900-3000	1250-1300	500-599	135-140	21-23
Дуже пізньостиглі	Більше 3000	Більше 1350	Більше 600	Більше 140	Більше 23

До ґрунтових умов кукурудза є непримхливою але чим кращі(родючіші) ґрунти тим на більший врожай можливо буде розраховувати. На території України кукурудза дає найбільшій врожай нейтральних за кислотністю ґрунтах з глибоким гумусова ним горизонтом а це є чорноземні, темно-сірі та темно-каштанові ґрунти що поширені в лісостеповій та степовій зоні.

До використання елементів живлення кукурудза вибаглива до мінерального живлення для отримання високих врожаїв обов'язкове внесення комплексних добрив в високих нормах особливо важливо дотримуватись співвідношення внесених азотне-калійних добрив до фосфорних інакше ефективність дії добрив буде зниженою. Також важливим фактором отримання високих врожаїв є внесення мікроелементів особливо магнію, марганцю та цинку. Висніс елементів живлення кукурудзою наведений в таблиці 1.2[5,6]

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 1.2

Вміст елементів живлення кукурудзою на 1 тону врожаю

Елемент живлення	Кількість кг/га
Азот(N)	22,0
Фосфор(P ₂ O ₅)	10,0
Калій(K ₂ O)	15,0
Сірка(S)	2,2
Кальцій(CaO)	10,0
Магній(MgO)	5,0
Марганець(Mn)	0,15
Цинк(Zn)	0,06
Бор(B)	0,015
Мідь(Cu)	0,01

Найінтенсивніше поглинання елементів живлення спостерігається в проміжку між фазами 9-10 листків до фази появи волоті та до фази цвітіння після чого енергійність споживання елементів живлення кукурудзою сповільнюється. [22,23]

Ріст та розвиток кукурудзи

При рості кукурудзи розділяють такі фенологічні фази [7]

- проростання насіння,
- сходи,
- утворення 3-го листка,
- кущення,
- вихід у трубку (11 – 13-й листок),
- викидання волотей,
- цвітіння,
- формування і досягання зерна молочної, молочно-воскової, воскової і молочно-воскової стиглості.

Також існує класифікація проходження фенологічних етапів розвитку ВВСН що розділяє проходження вирощування кукурудзи на 9 макростадій та 99 мікростадій дана класифікація та її короткий опис кожної макростадії наведений в таблиці 1.3[8]

Таблиця 1.3

Шкала ВВСН кукурудзи

Макростадія	Мікростадія	Опис	Назва макростадії	
0	1	Сухе насіння	Проростання	
	2	Початок набубнявіння		
	3	Кінець набубнявіння		
	5	Ріст зародкового корінця		
	6	Зародковий корінець витягнувся		
	7	Колесоптиле витягується		
	9	Сходи видніються на поверхні ґрунту		
1	10	1 листок вийшов		Розвиток листків
	11	1 листок розпустився		
	12	2 листок розпустився		
	13-19	Розпускання листків	Витягування стебла, вихід в трубку	
2-3	30	Витягування стебла		
	31	Видніється 1 вузол		
	32-39	Поява стеблових вузлів		
4-5	51	Початок викидання волоті	Закладання квіток, викидання волоті	
	53	Видно кінчик волоті		
	55	Волоть повністю вільна від листків, середні гілочки волоті		

<p>57</p> <p>НУБІП</p>		<p>розпустились</p> <p>Кінець викидання волоті, нижні гілочки повністю розпустились</p>	<p>України</p>
<p>6</p> <p>НУБІП</p>	<p>61</p>	<p>Чоловіче суцвіття: початок цвітіння</p> <p>Жіноче суцвіття: кінчик закладки початку виходить із піхви</p>	<p>Цвітіння</p> <p>України</p>
<p>63</p> <p>НУБІП</p>		<p>Чоловіче суцвіття: починається розсіювання пилку.</p> <p>Жіноче суцвіття: видно кінчики ниток рильця</p>	<p>України</p>
<p>65</p> <p>НУБІП</p>		<p>Чоловіче суцвіття: повне цвітіння, цвітуть верхні та нижні гілочки волоті.</p> <p>Жіноче суцвіття: повністю викинулось нитики рильця</p>	<p>України</p>
<p>67</p> <p>НУБІП</p>		<p>Чоловіче суцвіття: кінець цвітіння.</p> <p>Жіноче суцвіття: нитки рильця починають засихати.</p>	<p>України</p>
<p>69</p>		<p>Кінець цвітіння</p>	
<p>7</p> <p>НУБІП</p>	<p>71</p> <p>73</p> <p>75</p>	<p>Початок утворення зерна, консистенція водяниста</p> <p>Рання молочна стиглість</p> <p>Молочна стиглість.</p>	<p>Розвиток плоду</p> <p>України</p>

		Зернівки в середині початку жовтуватого білі консистенція зерна молочна	
	79	Досягається видо- і сортоспецифічний розмір зерна	
8	83	Рання воскова стиглість. Зерно воскове	Дозрівання зерна
	85	Воскова стиглість. Консистенція воскова	
	87	Фізіологічна стиглість. Чорна пляма на місці прикріплення зернівки до початку	
	89	Повна стиглість зерно тверде та блискуче	
9	97	Відмерла рослина	Відмирання
	99	Збирання	

При використанні основних способів дистанційного моніторингу хоч якісь показники посівів кукурудзи можливо побачити при проходженні 12-13 фази ВВСН а при використанні супутникового моніторингу необхідне проєктивне покриття більш як 30% площі поля тобто в кукурудзи це буде 16-19 фаза ВВСН. Проте для дистанційного моніторингу при прогнозуванні врожайності це не є проблемою.

1.4 Принцип дії супутникового моніторингу

При використанні даних супутникового моніторингу необхідно пам'ятати що вхідний матеріал для дослідження це супутниковий знімок зроблений в

різних діапазонах(каналах) сенсорів супутника. Та з різним ступенем розрізненості.

Діапазони спостережень

Загалом сенсори супутника можуть зафіксувати відбиття всього світлового спектру як у видимому так і невидимому для людського ока світла. Кожний

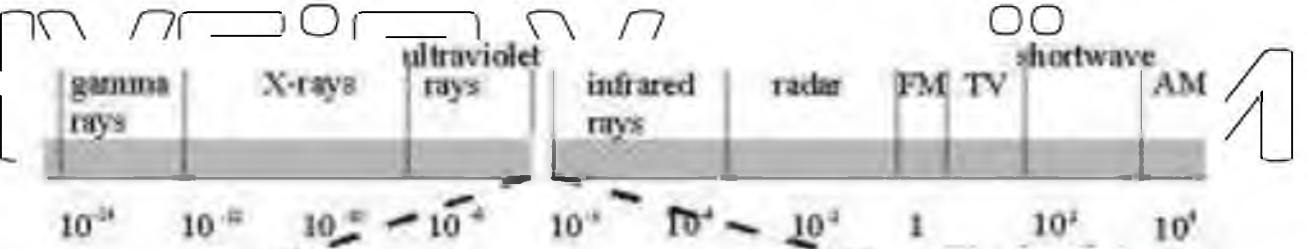
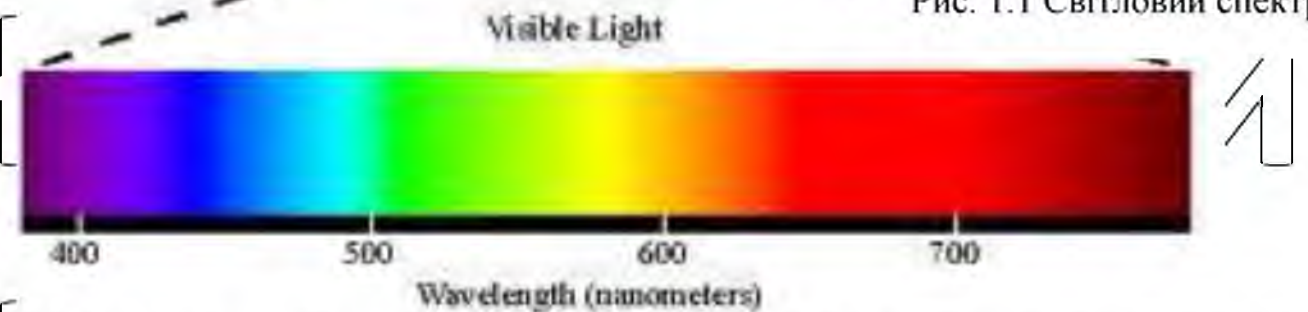


Рис. 1.1 Світловий спектр[9]



світловий діапазон хвиль може повідомити нам про наявність там специфічного матеріалу який відбиває специфічний для себе діапазон хвиль.

Видимим світлом для людського ока є проміжок між 400нм. до 720 нм.

довжини хвилі. Всі рослини випромінюють специфічні довжини хвиль якісь інтенсивніше якісь менш інтенсивно саме на цьому і будується спостереження за рослинами при супутниковому моніторингу саме за диференціацією цих діапазонів хвиль можуть створюватись специфічні індекси вегетації які вже

дають порівняльну характеристику посівів та можливість прогнозування

врожайності.[10]

Наразі супутники що знаходяться в вільному доступі а це супутники місії LandSat 7-9 покоління та супутники місії Sentinel 2 мають можливість

надавати зображення в 11 та 12 каналах відповідно. З яких найбільше для спостереженням за посівами є канали для LandSat 8 це:

Таблиця 1.4

Спектральні канали супутника LandSat 8

Спектральний канал	Довжина хвилі, мкм	Розрізнення, метрів/1 піксель
2 (синій)	0,450-0,515	30
3(зелений)	0,525-0,600	30
4(червоний)	0,630-0,680	30
5(ближній інфрачервоний)	0,845-0,885	30

Також в супутника є 2 дальніх інфрачервоних канали з довжинами хвиль 10,3-11,3 мкм та 11,5-12,5 мкм. для спостереженнями за зміною температури поверхні землі що також може використовуватись як дані супутникового моніторингу.[10]

В супутнику Sentinel 2 також ці канали мають свої спектральні характеристики та ступінь розрізнення. Вони наведені в таблиці 1.5

Таблиця 1.5

Спектральні канали супутника Sentinel 2

Спектральний канал	Довжина хвилі, мкм	Розрізнення, метрів/1 піксель
2 (синій)	490	10
3(зелений)	560	10
4(червоний)	665	10
8(ближній інфрачервоний)	842	10

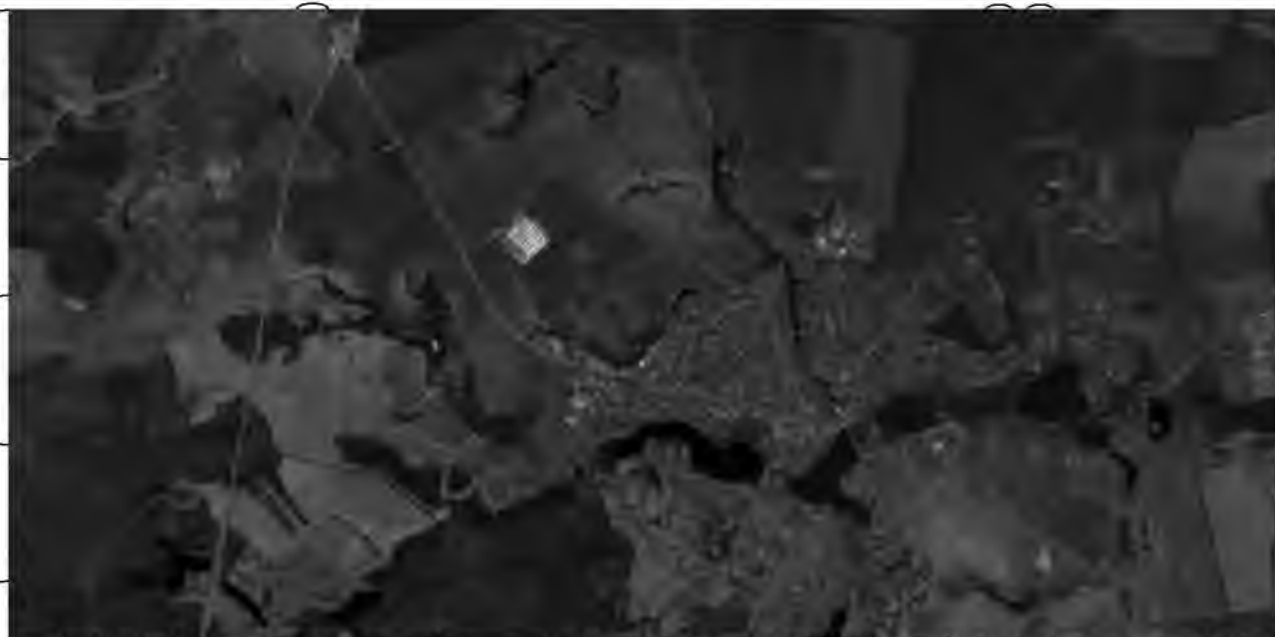


Рис. 1.2 Приклад супутникового знімку

Дані з супутників надходять виді оброблених чи необроблених растрових зображень зазвичай із квадратними пікселями в градаціях сірого від 0 до 255. Чим світліше тим більше відбиття. [10, 20].

Далі ці дані вже можливо оброблювати та створювати на їх основі ті чи інші тематичні знімки для аналізу.

Також до даних що можливо використовувати при супутниковому моніторингу є DEM чи SRTM знімки створені за допомогою супутників місій Copernicus та Shuttle Radar Topography Mission за допомогою радарної зйомки (фіксація швидкості повернення відбитого променя) [11]. Ці знімки допомагають проаналізувати рельєф місцевості. Та на їх основі приймати технологічні рішення при технологічних операціях вирощування культур.

РОЗДІЛ 2. Місце, умови та методи проведення досліджень

2.1 Місце та умови проведення досліджень

2.1.1 Інформація про господарство

Господарство на якому проводились дослідження розташоване в південній частині Київської області, Білоцерківського району, с.Винарівка.

Назва: ТОВ «СФГ «Світанок»»,

Площа ріллі: 1645 га.

Структура посівних площ наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Структура посівних площ господарства, 2022 рік

Культура	Площа, га.	%
Пшениця озима	428,03	26,03
Ячмінь	61,81	3,76
Кукурудза на зерно	404,97	24,62
Цукровий буряк	409,74	24,91
Соя	163,33	9,93
Соняшник	77,4	4,71
Од.трави	20,87	1,27
Б.трави	29,86	1,82
Кукурудза на силос	48,59	2,95
Всього	1644,6	100,00

На базі господарства існує 3 сівозміни:

Польова 8 полів загальна площа 1240,12 га.

Грунтозахисна 5 полів загальна площа 225,63 га.

Кормова сівозміна 5 полів загальна площа 98,11 га.

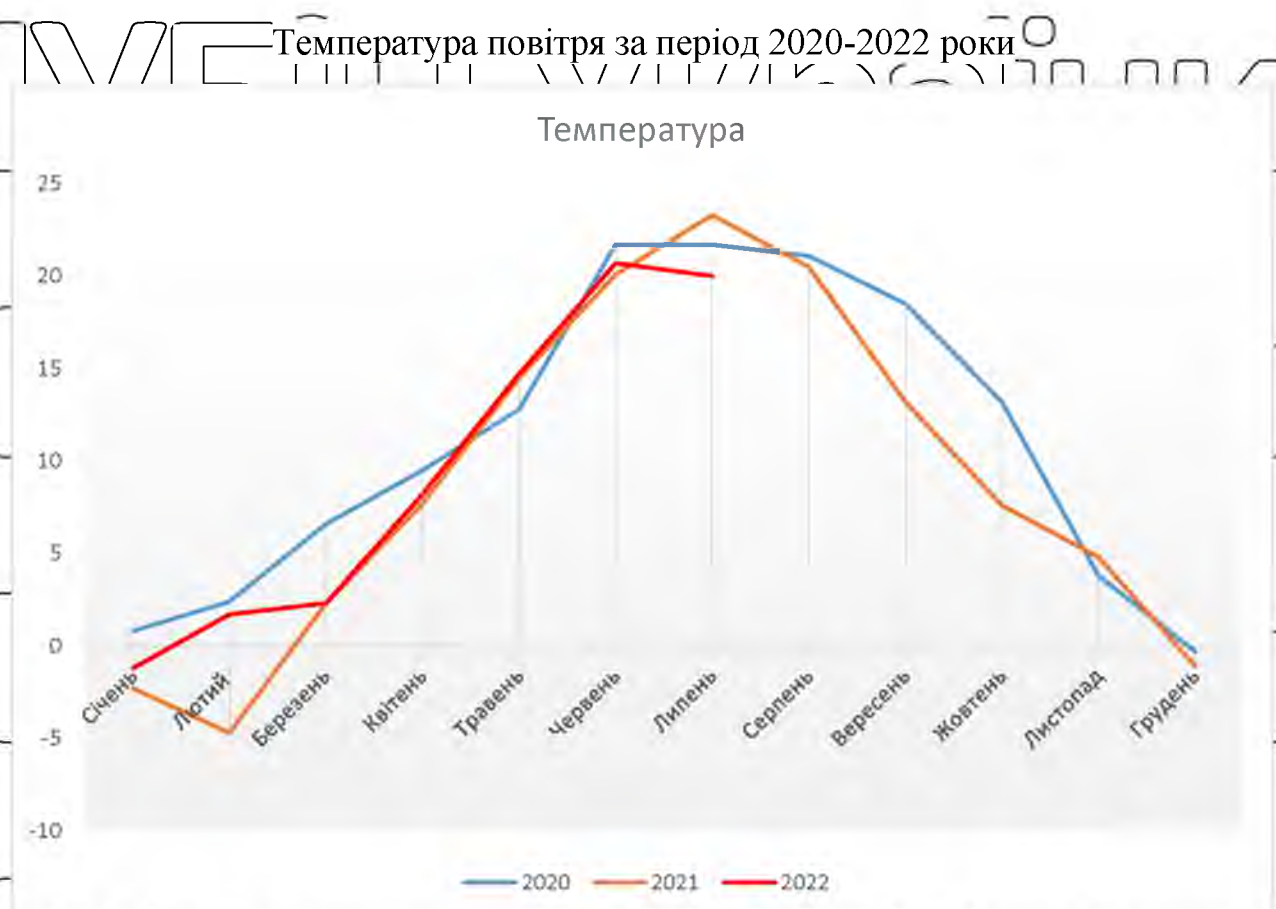
Грунтово-кліматичні умови господарства

Клімат Київської області зумовлений географічною широтою, а також впливом Атлантичного океану і Азіатського материка. Він помірно континентальний, м'який, з достатнім зволоженням.

2.1.2 Ґрунтово-кліматичні умови 2022 року

Середня температура січня -6° , липня $+19,5^{\circ}$. Тривалість вегетаційного періоду 198—204 дні. Сума активних температур поступово збільшується з Півночі на Південь від 2480 до 2700 $^{\circ}$. За рік на території області випадає 500—600 мм опадів, головним чином влітку.

Графік 2.1



Як можна побачити із діаграми температури в 2022 році вона слабо відрізняється від температурних умов попередніх 2-ох років що може свідчити про слабе відрізнення розвитку культур за попередні роки

НУБІП України

Графік 2.2

Кількість опадів за період 2020-2022 роки



Погодні умови навесні цього року були менш дощливими чим в 2020-2021 роках що призвело до меншого накопичення ґрунту вологи та створення дефіциту вологи для розвитку ярих культур. Проте відносно низька кількість опадів в червні-липні цього року дозволяє зібрати врожай озимих культур з мінімальних відсотком вологи що зменшить витрати на досушування врожаю.

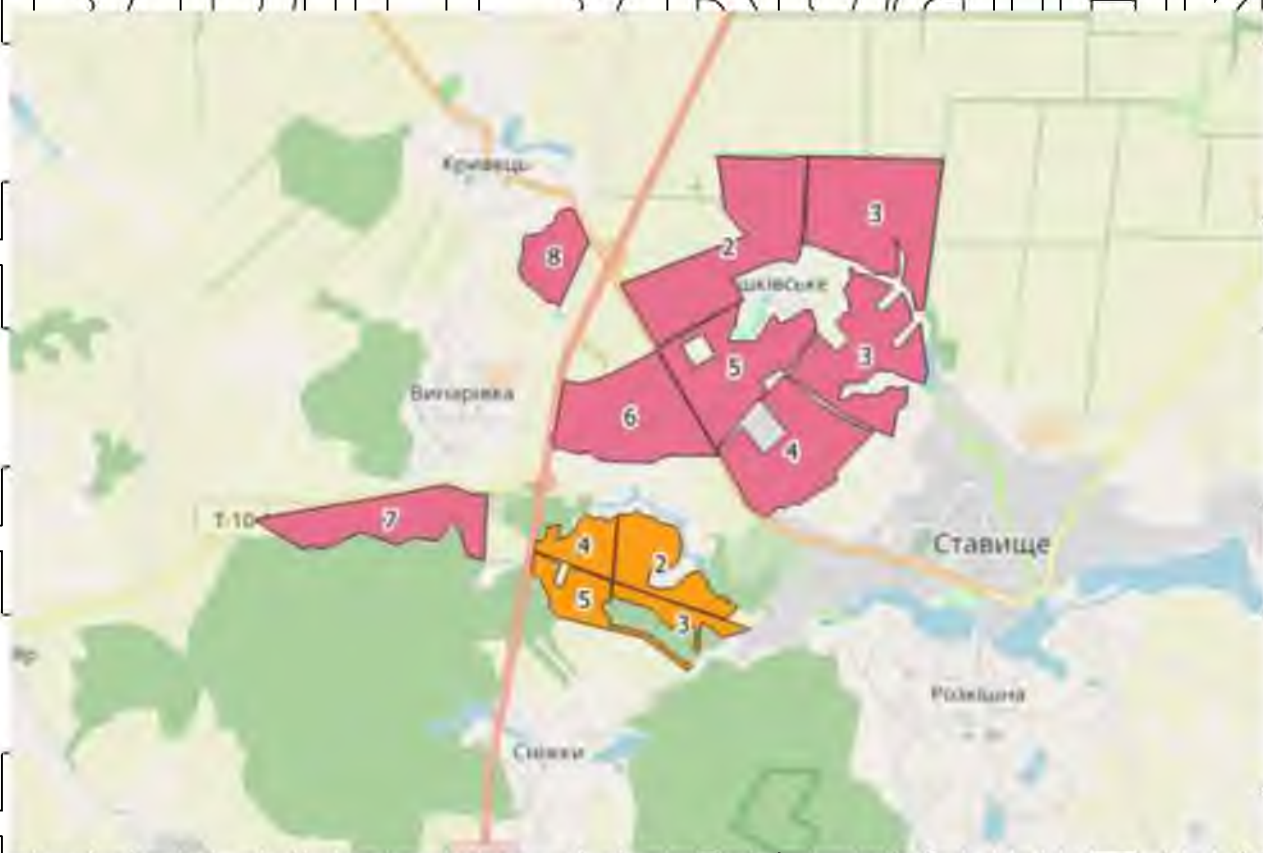
Загалом 2022 рік є більш посушливим чим попередні 2 роки що безумовно вплине на врожайність більшості культур.

2.1.3 Рельєф місцевості

Київська область розташована у центральній частині Лісостепу України.

Що стосується рельєфу, то їй властива складна морфологічна структура ландшафтів. Характерна геоморфологічна структура. Поверхня правобережної частини в минулому зазнала дуже інтенсивного ерозійного впливу в льодовий і льодовиковий періоди (характеризується плоскорівнинними і слабохвилястими формами рельєфу). На території протікає річка Гнилий Тікич. Характер рельєфу змінюється і вододільні ділянки звужуються (довжина схилу перевищує ширину плато), збільшується кількість балок, схили часто порізані ярами. Яри мають чисельні зсуви.

Всього в дослідженні прийматимуть 11 полів господарства. Їх розташування відносно населених пунктів наведено на рисунку 2.1



Рожевим наведені поля основної сівозміни

Оранжевим наведені поля ґрунтозахисної сівозміни

Рік та місце вирощування кукурудзи на зерно наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1
Поля вирощування кукурудзи в період 2018–2022 рр.

№ поля	2018	2019	2020	2021	2022
1					
2					+
3			+		
4		+			
5			+		
6				+	
7				+	
8	+			+	+

1 га				
2 га	+			+
3 га	+			+
4 га	+			+
5 га	+			+

Поля господарства знаходяться в доволі складній за рельєфом місцевості, рельєф якої буде наведено в рисунку 2.2.

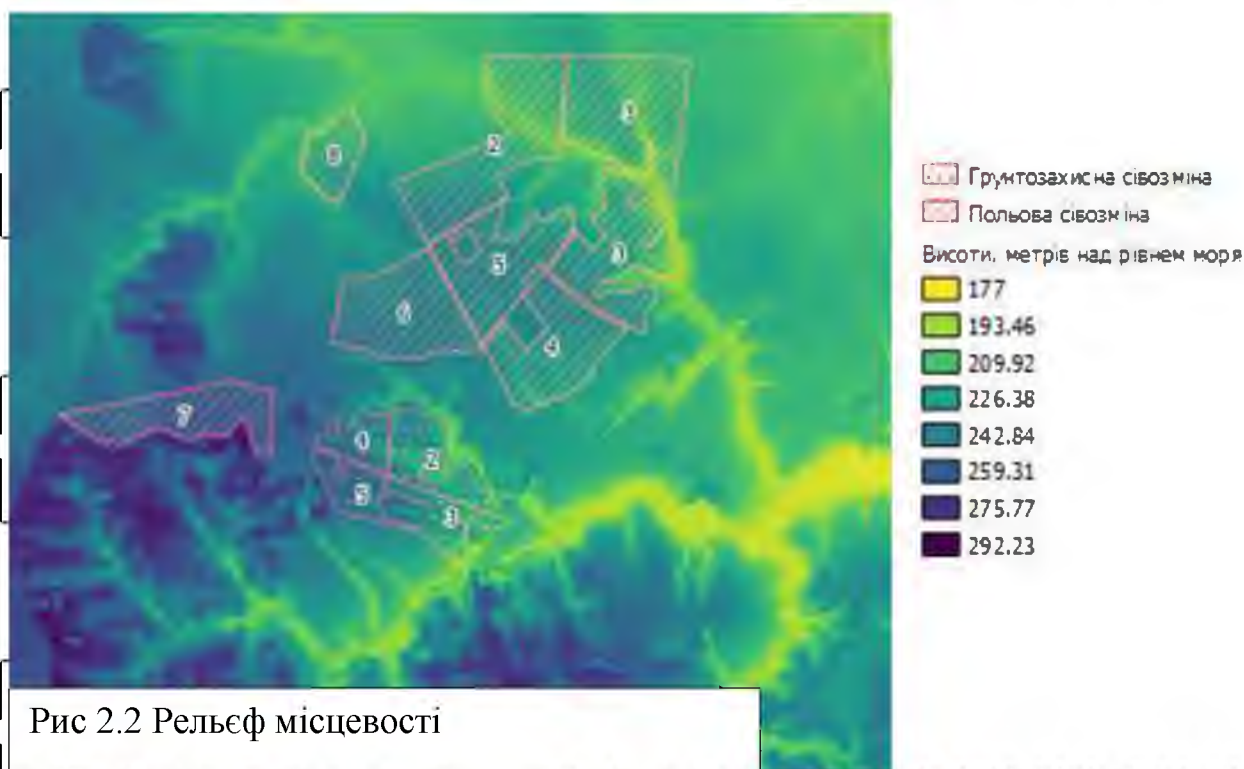


Рис 2.2 Рельєф місцевості

Згідно з картою рельєфу можливо побачити що поля польової сівозмінни можуть мати різниці у висотах до 50 метрів над горизонтом що значно впливає на ґрунтові умови поля. Та відповідно на строкатість посівів.

2.1.4 Ґрунти та агрохімічні показники на полях сівозмінни

На території господарства розташовані 2 типи ґрунтів а саме темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені. Вони покривають 90% від всіх територій господарства [16].

Темно-сірі опідзолені ґрунти характеризуються достатньо глибоким гумусованим горизонтом та значною часткою мулу та шилу що при значних

перепадах висот спричиняє змивання дрібних часточок та зменшення вмісту поживних елементів на підвищеннях поля. Окрім того ґрунти характеризуються нейтральною або слабо кислою реакцією ґрунтового розчину та середнім-низьким вмістом гумусу 2-4%. Тип фульватно-гуматний. Загалом даний тип ґрунтів добре придатний для вирощування більшості с/г культур.[17].

Чорноземи опідзолені є більш родючими ґрунтами чим темно-сірі опідзолені через їх вищий вміст гумусу 3,5-5,0% та вищими показниками азоту.

Загалом на ґрунтах господарства можливо отримувати високі врожаї кукурудзи на зерно за умови сприятливих погодних умов та високих норм мінеральних добрив та добре розробленої системи захисту посівів. Агрохімічні показники полів господарств наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2

Агрохімічні показники ґрунтів полів

№ поля	pH(KCl) ґрунту	Гідролітична кислотність, мг-екв. / 100 г	Вміст гумусу, % (за методом Тюріна-Конової)	Вміст дужногідролізованого азоту, мг/кг	Вміст P2O5, мг/кг (за Чиріковим)	Вміст K2O, мг/кг (за Чиріковим)	Вміст CaO, мг.екв./100 г ґрунту	Вміст MgO, мг.екв./100 г ґрунту	Вміст MnO, мг/100 г	Вміст B, мг/100г г
2	5,5	1,82	3,01	17,6	112	110	17,5	3,2	50	2,8
3	6,2	1,06	3,43	156	141	124	20	3,7	38	2,8
4	5,5	1,46	2,6	100	109	96	12,5	3,5	44	1,9
5	5	2,25	2,59	117	82	94	15,1	3,6	41	1,7
6	5,4	1,52	2,8	134	92	98	14,9	3	36	2,7
7	6,1	1,5	2,4	103	118	95	12,1	2,5	42	1,9
8	5,3	1,23	2,7	148	79	115	16,1	3,7	45	2,5

Згідно з показниками таблиці вміст калію та бору є підвищеним чи високим, марганець на всіх полях сівозміни знаходиться в середніх межах вмісту. Кислотність ґрунтів на всіх полях, окрім 5, є слабкокислою чи нейтральною, що дозволяє вирощувати широкий спектр культур. А от 5 поле є середньокислим та з підвищеним показником гідролітичної кислотності що вказує на потребу в меліоративних заходах, а саме в внесенні вапнякових матеріалів для реакції нейтралізації надлишкової кислотності що в подальшому може призвести до підвищення врожайності культур на цьому полі

2.2 Методи проведення дослідження

2.2.1 Спектральні методи проведення досліджень

Наразі не існує стандартизованих методик прогнозування врожайності кукурудзи на зерно за даними дистанційного моніторингу, тому при виконанні досліджування будуть використовуватись методики попередніх досліджень.

В дослідженні розглянеться співвідношення середніх показників: червоного випромінювання(0,665мкм), зеленого випромінювання(0,560мкм), індексу NDVI, індексу GNDVI та пошук співвідношень між цими показниками та даними врожайності кукурудзи на зерно 2018-2021 років господарства. За отриманими співвідношеннями на основі лінійних графіків буде спрогнозована врожайність 2022 року та буде проведено порівняння його із біологічною врожайністю отриманою за допомогою класичних методів розрахунку.

Планується обирати знімки в фазах 6-10 листків, цвітіння та молочно-воскової стиглості орієнтовні дати знімків:

6-10 листків з 01.06 по 25.06

Цвітіння з 01.07 по 14.07

Молочно-воскова стиглість 01.09 по 20.09

Обробка знімків та розрахунки середнього показника знімку буде проводитись в безкоштовному програмному забезпеченні QGIS.

Супутникові знімки будуть використовуватись із сайту Sentinel HUB[15].

Для створення модельних графіків будуть використовуватись потужності ПЗ MS Excel.

2.2.2 Методика проведення польових досліджень

Протягом росту та розвитку культури планується проводитись спостереження біометричних показників рослин, та визначення зон продуктивності за допомогою супутникового моніторингу а саме з допомогою індексу NDVI, в подальшому за допомогою отриманих даних планується відбирати зразки качанів для проведення розрахунку структури врожаю. [46]

Структура врожаю планується проводитись за класичною схемою. Розрахунок кількості зерна в рядах та кількості рядів в качані. В подальшому вимірювання маси тисячі насінин за допомогою вагів у триразовій повторності для кожного зразку. Вологість та показники якості врожаю планується проводити на приладі Infratec 1214. Переведення маси тисячі до стандартної вологості в 14% та розрахунку врожайності культури. [38]

2.3 Роки та гібриди які вирощувались на полях господарства

За останні 4 роки на полях сівозмін вирощувались такі гібриди які наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 Перелік гібридів кукурудзи на зерно та їх коротка характеристика

Назва гібриду	ФАО	Тип зерна	Висота рослин, см	Кількість рядів, шт	Маса 1000 зерен, г
ДКС-3511	330	Зубоподібне	240-270	16-18	270-280
ДКС-4014	310	Зубоподібне	220-235	14-16	280-350
ДК-315	310	Зубоподібне	230-250	14-18	300-380
КВС 2370	280	Зубоподібне	290-300	14-16	300-310

У господарстві вирощувались сорти з ФАО близьким до 300 та зубовидної форми зерна. Всі гібриди вирощувались на зерно.

В 2022 році під посівами кукурудзи знаходиться 5 полів загальною площею 408 га.

Контрольним полем, на якому буде перевірятись прогнозування врожайності кукурудзи, є поле №2, загальною площею 216 га. У 2022 році дослідному році вирощується гібрид кукурудзи ДКС-4014.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ Й УРОЖАЙНІСТЬ ФІТОЦЕНОЗІВ КУКУРУДЗИ (експериментальні дослідження)

3.1 Обробка даних супутникового моніторингу за допомогою програмного забезпечення QGIS



Рис.3.1 Емблема ПЗ QGIS

ПЗ QGIS є однією із найпопулярніших геоінформаційних систем в основному

через простоту в користуванні та свою безкоштовність. Програма створена

волонтерською командою розробників одним із розробників є українець.

Геоінформаційна система є відкритою для створення будь якої карти, картограми чи інших картографічних проєктів. Саме тому був обрано це програмне забезпечення.[50]



Рис.3.2 Фото супутника Sentinel 2 на орбіті Землі(Взято з відкритих джерел)

Для прогнозування врожайності використовувались знімки з місії Sentinel 2 так як його знімки є доступними широкому колу користувачів за допомогою, наприклад, хмарного сервісу EO

Browser. Також він надає самі деталізовані знімки(10метрів розрізнення) відносно інших

безкоштовних супутникових знімків і його знімки походять геометричну та атмосферну корекцію ще на етапі потрапляння на сервіс EO Browser що допомагає уникнути додаткових маніпуляцій зі знімками. Також важливу роль грає повторність знімків яка в Sentinel 2 в регіоні дослідження становила 2-3 дні що є важливо в випадку дистанційного моніторингу.[51]

3.2 Вибір спектрів та вегетаційних індексів для прогнозування врожайності кукурудзи на зерно

Для прогнозування врожайності кукурудзи на зерно було вибрано 2 спектри та 2 вегетаційних індекси а саме:

А) Червоний спектр – на супутнику Sentinel 2 представлений 4 каналом з сенсором чутливим до довжин хвиль 665nm. Ці довжини хвиль найкраще поглинаються зеленою масою рослин що часто використовується для спостережень за розвитком рослинності. Чим нижчий показник пікселю знімку тим більша кількість рослинності в ньому наявна.

Б) Зелений спектр – на супутнику Sentinel 2 знімок проводиться в 3 каналі на довжині хвилі 560nm. Зелений спектр найкраще відбивається від рослинності що дозволяє слідкувати за розвитком рослинності за рахунок кількості відбитого світла являється частковою протилежністю червоному спектру проте таким не являється що дозволяє використовувати його як окремий вид досліджень при прогнозуванні врожайності.

В) NDVI- нормалізований диференційований вегетаційний індекс найбільш поширений серед сервісів дистанційного моніторингу. Його математичну модель складає частка між різницею та сумою ближнього інфрачервоного та червоного спектрів. Дозволяє наглядно виділяти ділянки з різною вегетаційною масою зелених рослин.

Г) GNDVI – зелений нормалізований диференційований вегетаційний індекс єдиною відмінністю є використання зеленого спектру замість червоного. Дозволяє спостерігати за вологістю вегетаційної маси та вмісту хлорофілу у рослинах так як між кількістю відбитого та поглинутого червоного та зеленого спектру немає чітких залежностей був також обраний як індекс для прогнозування врожайності кукурудзи на зерно.

3.3 Прогнозування врожайності на основі спектральних знімків

3.3.1 Прогнозування врожайності на основу червоного спектру

Згідно з науковими дослідженнями хлорофіл найкраще поглинає червоні хвилі в діапазоні близькому до 662nm, тому при проведенні дослідження будуть використовуватись знімки з спектральною чутливістю матриці 665nm. Так як саме вони доступні в супутнику Sentinel 2. [18]

В дослідженні відбирались знімки згідно плану дослідження, проводилась їх обрізка відповідно до полів вирощування кукурудзи на зерно та проводився аналіз знімку на предмет знаходження середнього арифметичного значення яскравості пікселів з поля.

Отримані дані наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

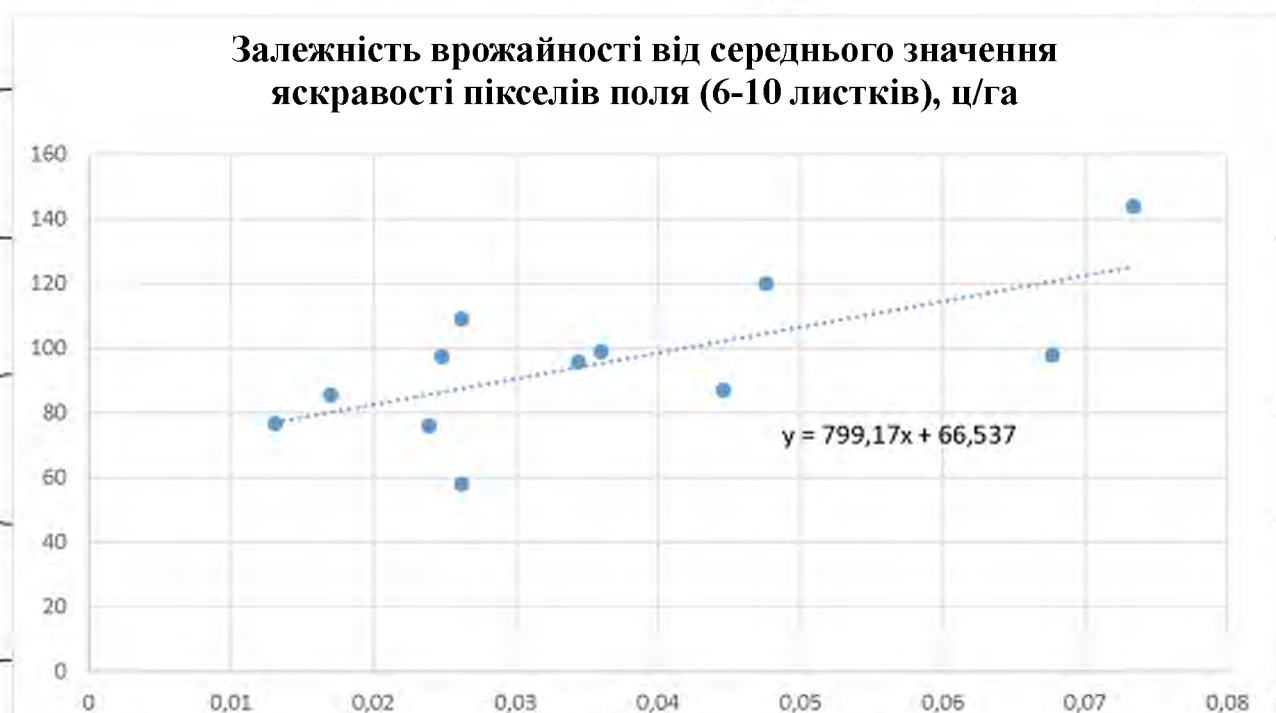
Показники середніх значень яскравості пікселів з полів та врожайність кукурудзи на зерно різних років вирощування

Рік вирощування	№ поля	Врожайність, ц/га	Середнє значення пікселів поля (6-10 листків)	Середнє значення пікселів поля (Цвітіння)	Середнє значення пікселів поля (Моложно воскова стиглість)
2018	8	9,89	0,0360	0,0123	0,0490
	2гс	8,70	0,0446	0,0115	0,0363
	3гс	10,90	0,0262	0,0064	0,0200
	4гс	14,39	0,0734	0,0137	0,0498
	5гс	9,79	0,0677	0,0160	0,0483
2019	2	9,74	0,0248	0,0173	0,0497
	4	7,67	0,0131	0,0276	0,0690
2020	3	7,60	0,0239	0,1107	0,0596
	5	5,80	0,0262	0,0190	0,0385

2021	6	8,55	0,0170	0,0199	0,0407
	7	12,00	0,0476	0,0476	0,0213
	8	9,57	0,0344	0,0341	0,0284
2022	2	Прогноз	0,0185	0,0190	0,0249

Після проведення збору даних відбувався їх аналіз окремо на кожний варіант часу отримання знімку.

Графік 3.1

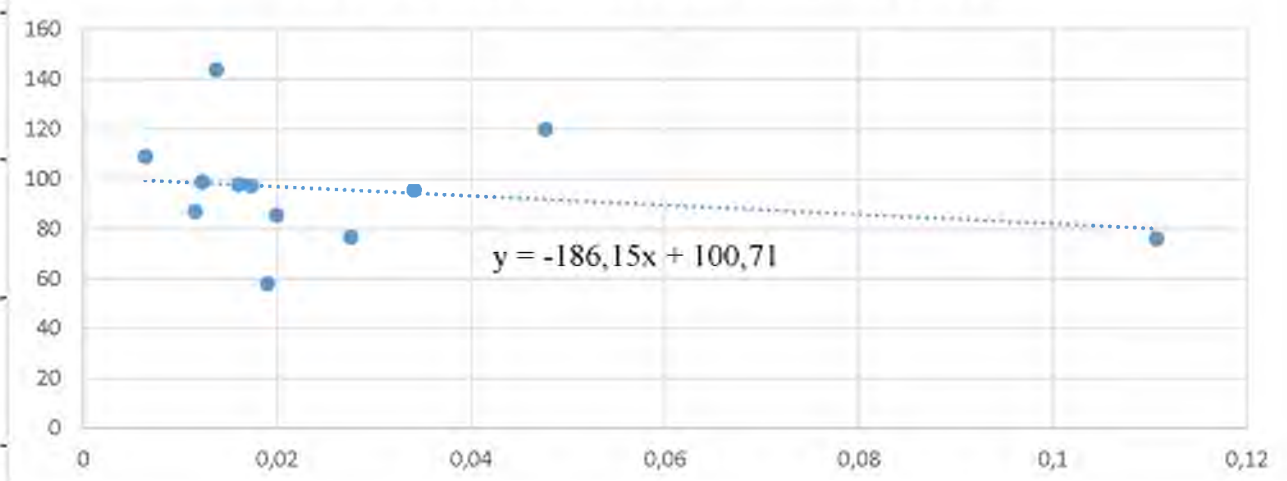


Як можна побачити із графіку, він має достатньо невелике відхилення від лінії тренду що дозволяє припустити про можливість використання лінійної моделі при прогнозуванні врожайності. Формула розрахунку врожайності наведена на графіку 3.1. А прогнозована врожайність за цими даними становить 8,13 т/га.

НУБІП України

Графік 3.2

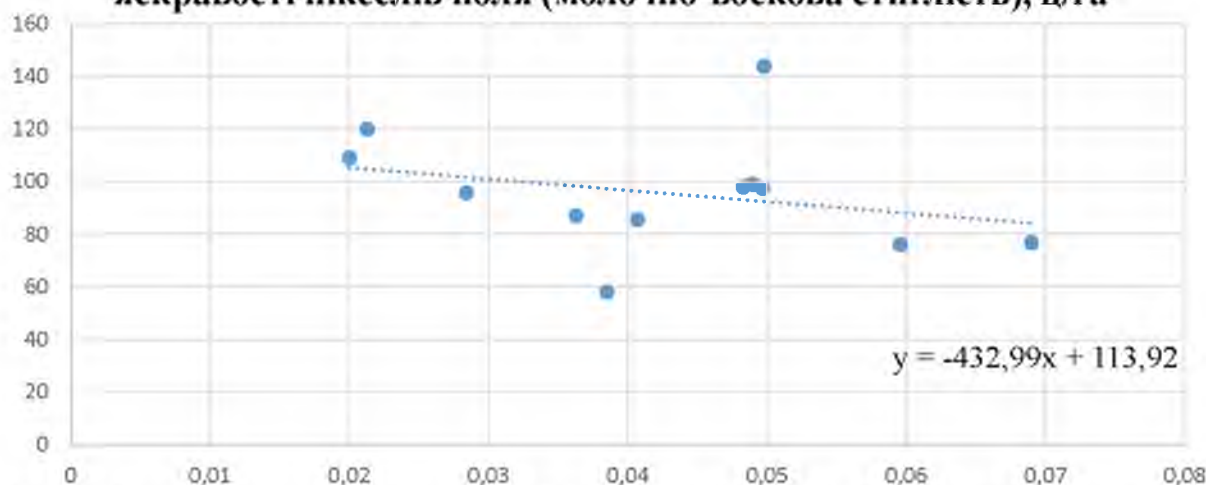
**Залежність врожайності від середнього значення
яскравості пікселів поля (цвітіння), ц/га**



В період цвітіння показники середньої яскравості пікселів на полі мають більший розкид відносно лінії тренду що не дає можливості сподіватись на високу точність прогнозу врожайності. Формула розрахунку врожайності наведена на графіку 3.2. А планова врожайність за даними цього графіку становить 9,72 т/га.

Графік 3.3

**Залежність врожайності від середнього значення
яскравості пікселів поля (молочно-воскова стиглість), ц/га**



На графіку 3.3 показники більш вирівняні відносно лінії тренду що може вказувати на залежність між яскравістю пікселів та врожайністю культури.

Формула врожайності наведена на графіку а планована врожайність становить 10,31т/га.

Загалом на основі даних відбитого червоного спектру прогноз становить від 8,13 до 10,31т/га. Похибка прогнозу становить більш як 2т/га що є значним показником.

3.3.2 Прогнозування врожайності на основі зеленого спектру

Зелений спектр в найбільш повній мірі відбивається зеленою масою рослин тому за його допомогою можливо прогнозувати врожайність культур.

Проведення фіксації показників відбувалось з тих же пакетів знімків що і червоний спектр. [18]

При дослідженні використовувались знімки з супутника Sentinel 2 та чутливою матрицею до довжини спектру 560nm.

Таблиця 3.2

Показники середніх значень яскравості пікселів з полів зеленого спектру та врожайність кукурудзи на зерно різних років вирощування

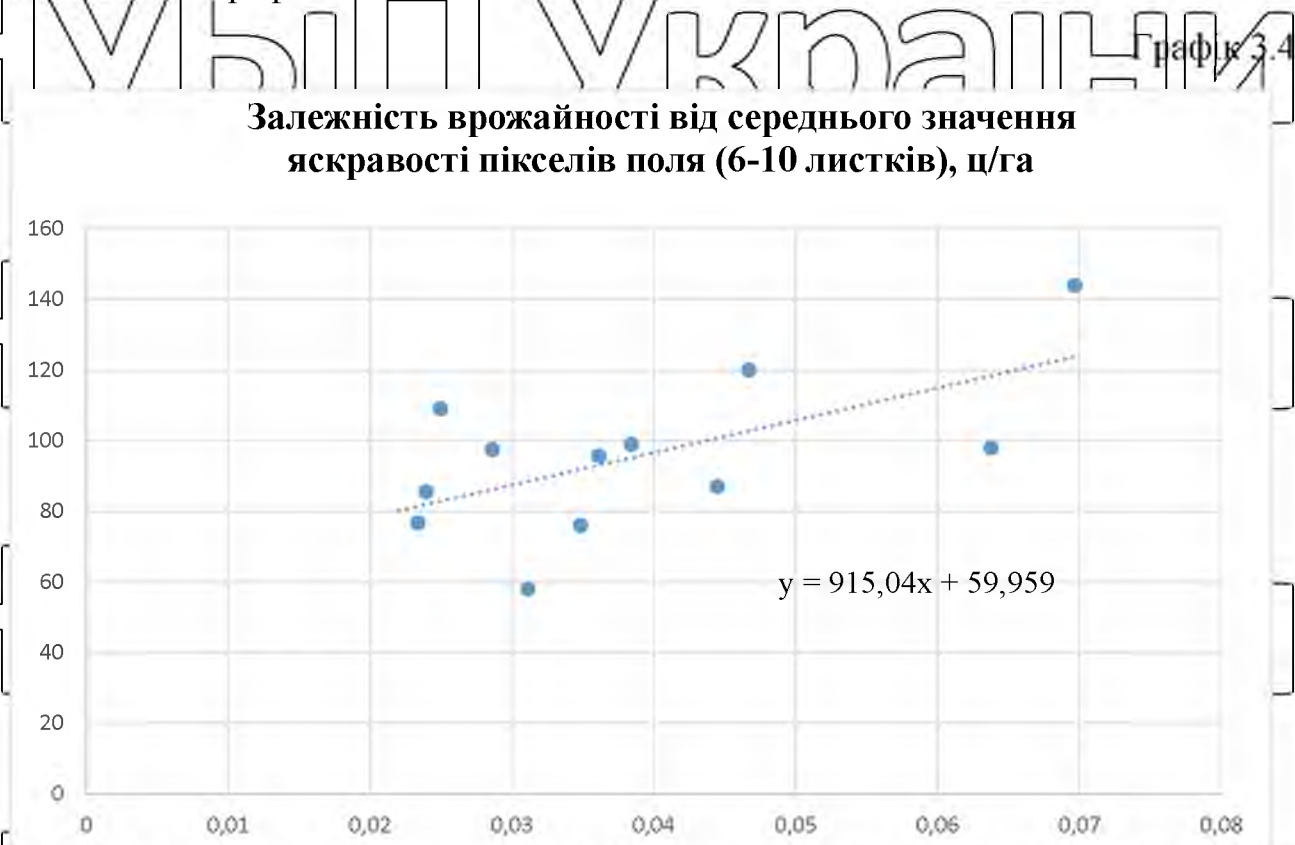
Рік вирощування	Поле	Врожайність, т/га	Середнє значення пікселів поля (6-10 листків)	Середнє значення пікселів поля (Двіліття)	Середнє значення пікселів поля (Молочно-воскова стиглість)
2018	8	9,89	0,0384	0,0250	0,0395
	2гс	8,70	0,0445	0,0200	0,0308
	3гс	10,90	0,0250	0,0120	0,0203
	4гс	14,39	0,0697	0,0277	0,0476
	5гс	9,79	0,0638	0,0270	0,0449
2019	2	9,74	0,0286	0,0304	0,0361
	4	7,67	0,0234	0,0391	0,0434
2020	3	7,60	0,0348	0,0917	0,0575

2021	5	5,80	0,0311	0,0540	0,0334
	6	8,55	0,0240	0,0239	0,0345
	7	12,00	0,0467	0,0467	0,0326
	8	9,57	0,0361	0,0359	0,0290
2022	2	Прогноз	0,0221	0,0237	0,0229

Під час обробки супутникових знімків були отримані такі значення середньої яскравості пікселів полів за різного часу та років вирощування.

Аналіз співвідношення яскравості пікселів поля до врожайності культур

наведений в графіках 3.4-3.6.

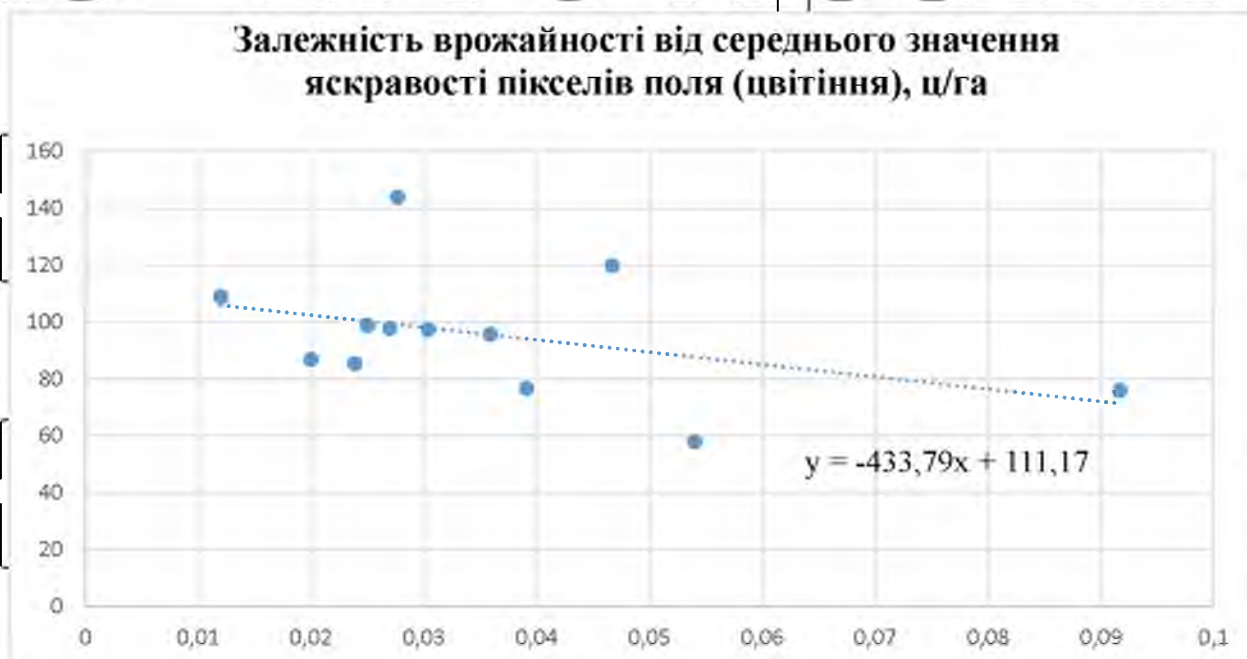


Графік достатньо вирівняний відносно лінії тренду як і було в червоному спектрі в цей період. Прогнозована врожайність 8,01 т/га.

НУБІП України

Графік 3.5

**Залежність врожайності від середнього значення
яскравості пікселів поля (цвітіння), ц/га**



Як і в червоному спектрі в цей період показники графіку значно зміщені проте більш вирівняні відносно лінії тренду. Згідно формулі розрахунку що наведена на графіку прогнозована врожайність становить 10,09 т/га.

Графік 3.6

**Залежність врожайності від середнього значення
яскравості пікселів поля (молочно-воскова стиглість),
ц/га**



НУБІП України

Показники графіку достатньо вирівняні відносно лінії тренду. Формула розрахунку прогнозу врожайності наведена на графіку, а прогноз становить 9,7 т/га.

НУБІП УКРАЇНИ

Порівняльні картограми спектральних характеристик поля №2 наведені в додатку А.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

3.4 Прогнозування врожайності на основі вегетаційних індексів

3.4.1 Прогнозування врожайності на основі нормалізованого диференційованого вегетаційного індексу(NDVI)

Індекси вегетації широко поширені при дослідженні росту та розвитку рослинності тому їх використання для прогнозування врожайності є виправданим. Одним із найпоширеніших вегетаційних індексів є нормалізований диференційований вегетаційний індекс(NDVI). Цей індекс вказує на кількість зеленої маси та дозволяє співвідносити і порівнювати поля за кількістю зеленої маси. Розраховується за формулою $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, де NIR – ближнє інфрачервоне випромінювання, RED – червоний спектр [18]

Тобто цей індекс проводить аналіз на основі різниці між ближнім інфрачервоним випромінюванням(найбільше відбивається рослинністю) та червоним спектром(найбільше поглинається рослинністю). Що і дає змогу порівнювати кількість вегетативної маси на полях. [18]

При аналізі знімків та отриманих на їх основі вегетаційних індексів отримані дані що наведені в таблиці 3.3

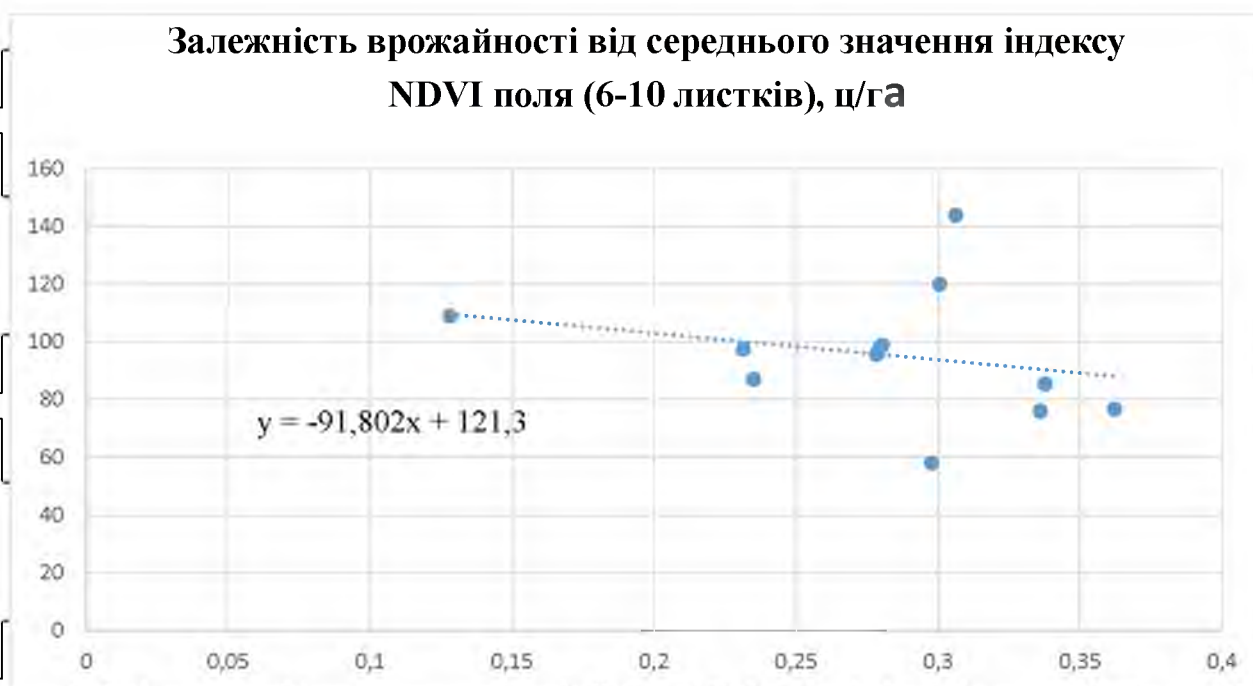
Таблиця 3.3
Показники середніх значень NDVI з полів та врожайність кукурудзи на зерно різних років вирощування

Рік вирощування	Поле	Врожайність, т/га	Середній показник індексу з поля(6-10 листків)	Середній показник індексу з поля (цвітіння)	Середній показник індексу з поля (молочно-воскова стадія)
2018	8	9,89	0,2803	0,4224	0,1934
	2гс	8,70	0,2350	0,3722	0,2191
	3гс	10,90	0,1280	0,2192	0,1371

2019	4гс	14,39	0,3062	0,5342	0,3374
	5гс	9,79	0,2795	0,4897	0,3108
	2	9,74	0,2314	0,1552	0,3649
	4	7,67	0,3621	0,1530	0,3597
2020	3	7,60	0,3360	0,1980	0,5116
	5	5,80	0,2977	0,2365	0,2798
2021	6	8,55	0,3377	0,3401	0,1335
	7	12,00	0,3006	0,3020	0,5329
	8	9,57	0,2783	0,2809	0,2700
2022	Прогноз		0,3183	0,3260	0,2581

Аналіз отриманих даних наведений в графиках 3.7-3.9.

Графік 3.7

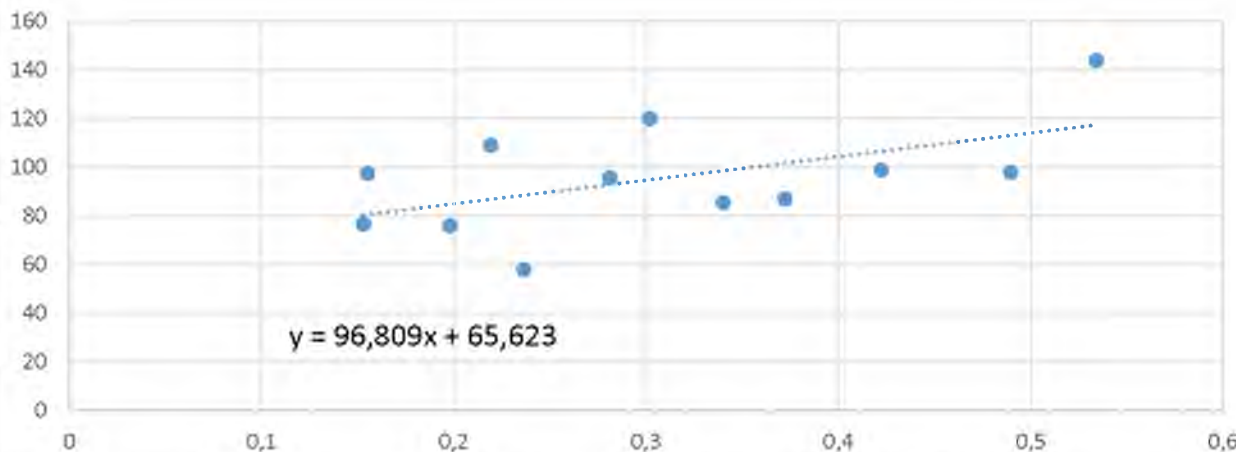


Показники графіку достатньо сильно розкинуті відносно лінії тренду що ставить сумнів відносно правильності прогнозу на цьому етапі вегетації. Проте формула розрахунку наведена на графіку та прогнозована врожайність становить 9,21т/га.

НУБІП України

Графік 3.8

Залежність врожайності від середнього значення індексу NDVI поля (цвітіння), ц/га



Показники графіку даних досить близько розташовані відносно лінії

тренду що вказує на відносну залежність врожайності від кількості зеленої маси

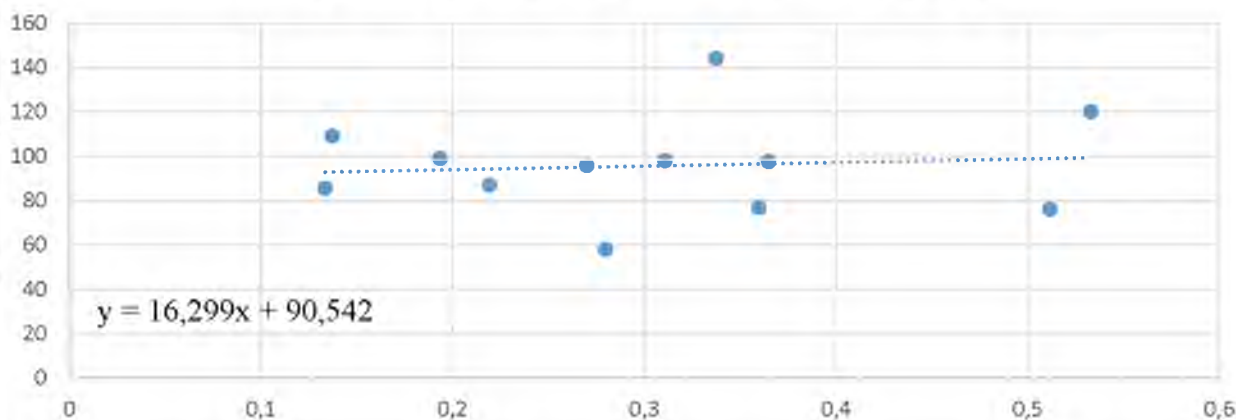
в період цвітіння. Формула розрахунку врожайності наведена на графіку а

прогнозована врожайність в цьому варіанті становить 9,72 т/га.

НУБІП України

Графік 3.9

Залежність врожайності від середнього значення індексу NDVI поля (молочно-воскова стиглість), ц/га



Показники вирівняні відносно лінії тренду. Тренд позитивний що вказує

на залежність рослинної маси до врожайності культури в період молочно-

воскової стиглості і прогнозована врожайність становить 9,5 т/га.

НУБІП України

3.4.2 Прогнозування врожайності на основі зеленого нормалізованого диференційованого вегетаційного індексу (GNDVI)

Зелений нормалізований диференційований вегетаційний індекс використовує зелений та ближній інфрачервоний спектри при своєму розрахунку та за його допомогою можливо визначати кількість вологи і концентрації азоту в вегетаційній масі що також можливо використовувати при прогнозуванні врожайності. Ця залежність буде пов'язана з фактично кількістю рослин що знаходяться в стресі. Формула розрахунку $GNDVI = (NIR - Green) / (NIR + Green)$. Де NIR – Ближній інфрачервоний спектр, Green – зелений спектр. [18]

Отримані дані наведені в таблиці 3.4

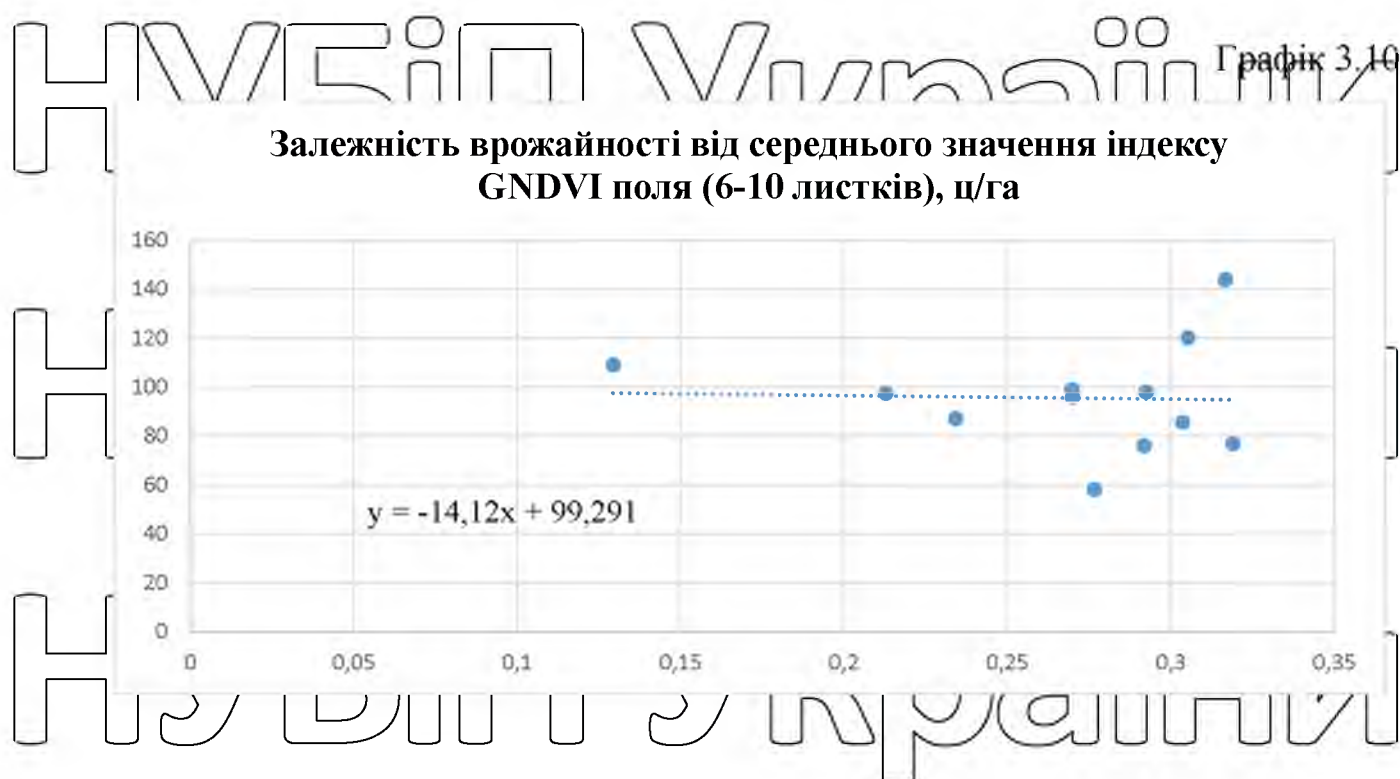
Таблиця 3.4

Показники середніх значень NDVI з полів та врожайність кукурудзи на зерно різних років вирощування

Рік вирощування	Полі	Врожайність, т/га	Середній показник індексу з поля (6-10)	Середній показник індексу з поля (швігіння) середній	показник індексу з поля (молочно воскова)
2018	8	9,89	0,2698	0,1692	0,2321
	2гс	8,70	0,2342	0,3353	0,2433
	3гс	10,90	0,1294	0,1945	0,1395
	4гс	14,39	0,3167	0,4778	0,346
	5гс	9,79	0,2925	0,4401	0,3252
2019	2	9,74	0,2128	0,323	0,2089
	4	7,67	0,319	0,323	0,2383
2020	3	7,60	0,2919	0,2741	0,5225
	5	5,80	0,2766	0,1323	0,2317
2021	6	8,55	0,3036	0,3057	0,1674
	7	12,00	0,3053	0,3068	0,7543

2022	8	9,57	0,2699	0,2724	0,2754
Прогноз	2	0,2332	0,3047	0,2694	

Аналіз отриманих даних наведений в графіках 3.10-3.12



Згідно з даними графіку показники сильно розкидані та не мають видимих

залежностей із врожайністю кукурудзи що навряд чи надасть достовірний

прогноз врожайності культури. Проте згідно з отриманим в графіку трендом та

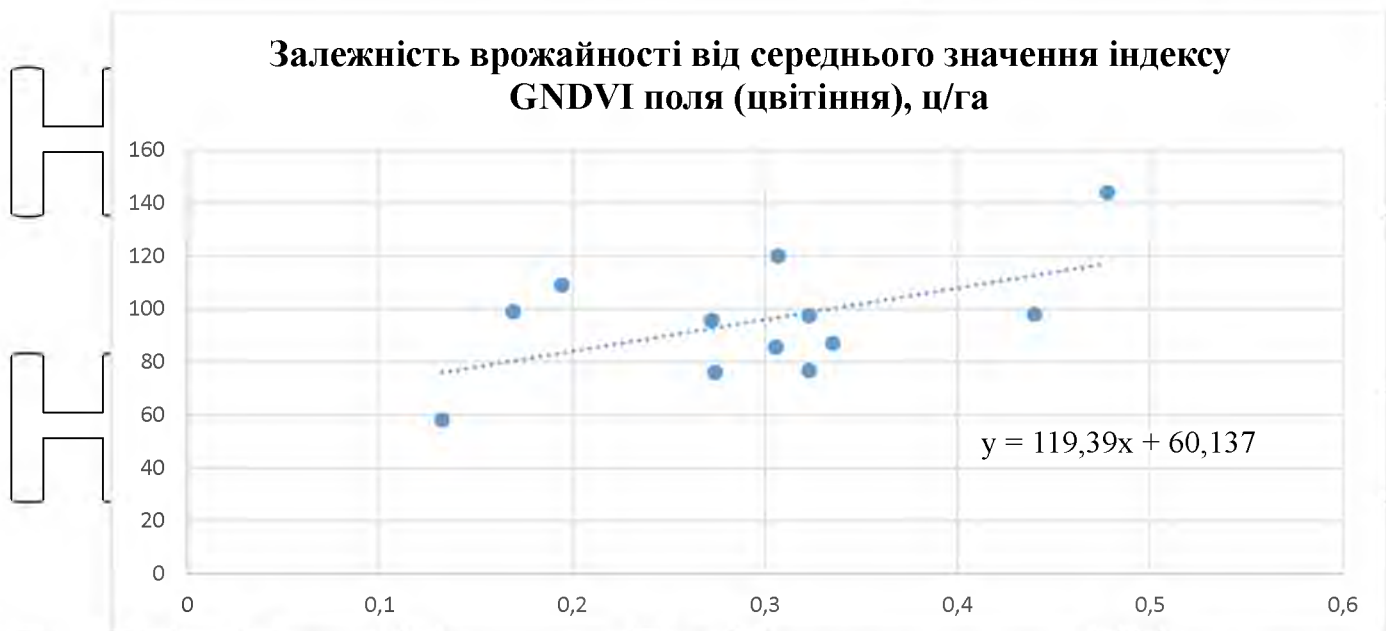
його формулою прогнозований рівень врожаю становитиме 9,6 т/га.

НУБІП України

НУБІП України

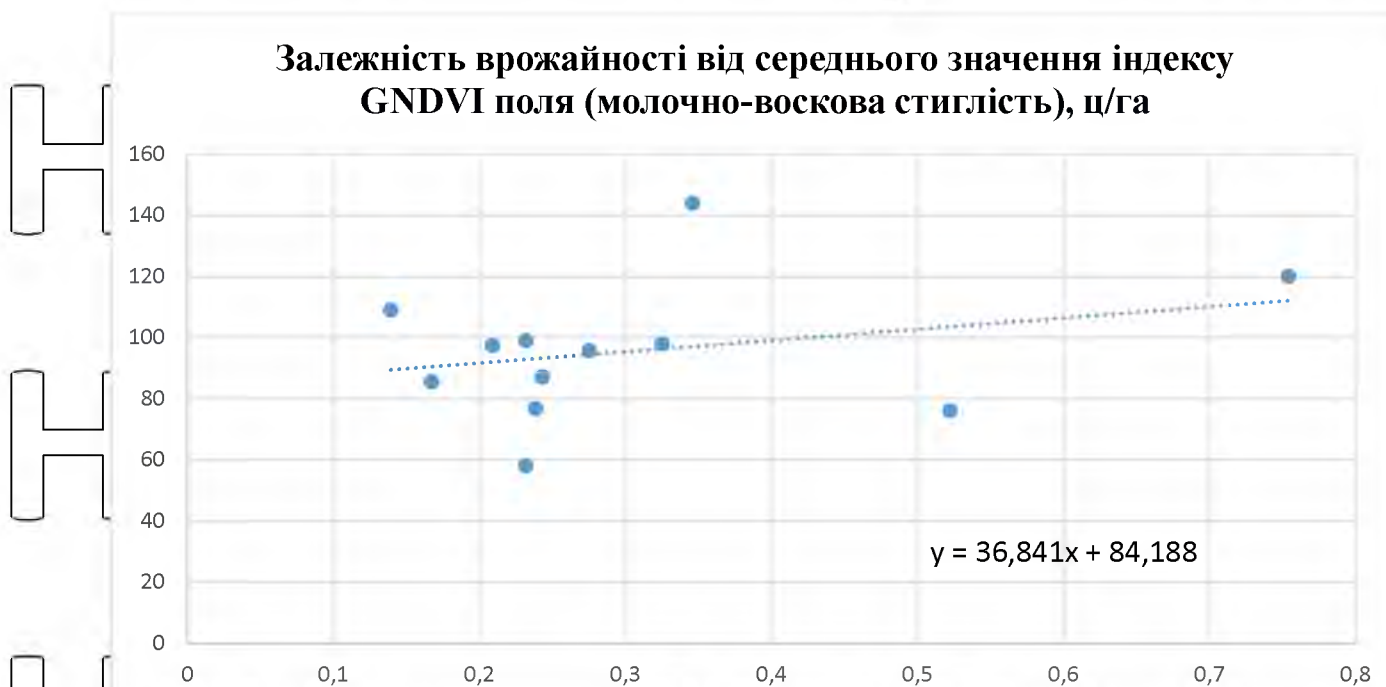
НУБІП України

Графік 3.11



Згідно з даними отриманими при аналізі варіанту прогнозована врожайність кукурудзи на зерно становитиме 9,7 т/га.

Графік 3.12



НУБІП України

В цьому варіанті дослідження є значний розкид показників індексу відносно врожайності, що ускладнить точність прогнозу врожайності.

Прогнозована врожайність при цьому варіанті становить 9,4 т/га.

Порівняльні картограми вегетаційних індексів поля №2 наведені в додатку Б.

3.5 Польові дослідження

Паралельно із проведенням спектральних досліджень проводились фенологічні дослідження поля №2 та структура врожайності з цього поля.

3.5.1 Фенологічні спостереження

Спочатку були проведені більш детальні дослідження рельєфу поля та

Рельєф. Поле 2 Кукурудза на зерно



складена його карта висот.

Протягом періоду з 06.06.2022 року по 27.07.2022 року проводились виходи на поле та вимірювання біометричних показників і фіксація проходження стадії розвитку, що наведені в таблицях 3.5-3.6.

Рис 3.3 Карта висот досліджуваного поля

За 2 місяці рослини перейшли із стадії 6-8 листків в стадію кінцевої цвітіння що цілком співпадає з темпом розвитку кукурудзи. Так що можна вважати що розвиток культури цього року проходив нормально. [41]

3.5.2 Урожай, структура та якість

Структура врожаю розраховувалась на основі карти продуктивних зон створеною на основі NDVI карти створеної 15.07.22 року

Зони продуктивності кукурудзи на зерно поля №2 за індексом NDVI



Рис. 3.4 Картограма розподілу вегетаційної маси поля №2

На карті відзначено 3 зони продуктивності з такими частками площ як

- А) низька продуктивна ділянка 5%
- Б) середня продуктивна ділянка 25%
- В) високо продуктивна ділянка 70%

На основі цієї карти відбирались зразки качанів для дослідження структури врожаю. Структура врожаю та її якість наведені в таблицях 3.7-3.8.

Таблиця 3.7

Показник	Елементи структури врожаю		
	Високий	Середній	Низький
Рівень забезпечення			

Кількість рядів, шт	38,4	34,6	26
Зерен в ряду, шт	17,2	16,8	15,6
Середнє значення зерен в початку	660,48	581,28	405,6
Маса початку, г	306,3	208,4	121,8
Довжина початку, см	19,98	17,02	13,6
Маса 1000 насінин, г	202,9	151,7	142,1
Врожайність, т/га	4,12	6,3	9,57
Середня врожайність, т/га	8,61		

Неоднорідність посівів була спричинена рельєфом поля. А зона низької продуктивності як рельєфом, так і близькістю до доступу людей. Відбір зразків проводився на початку вересня.

Таблиця 3.8

Показники якості зерна кукурудзи дослідних ділянок

Показник	Зона продуктивності		
	Низька	Середня	Висока

Вміст жиру, %	4,1	4,4	4,2
Вміст білку, %	10,8	10,5	10,7
Вологість, %	25	29,7	27,7
Вміст крохмалю, %	67,9	68,9	69,8
Маса 1000, г	142,1	151,7	202,9

Перевірка на якісні показники проводилась на приладі Infratec 1214.

Прилад здатний за 2хв провести аналіз на такі показники як вологість, вміст жиру, білку та крохмалю.

Беручи до уваги що середня врожайність кукурудзи на зерно по Україні становить 5,7т/га то врожайність кукурудзи в господарстві є вищою чим середнє значення за 2021 рік. Проте недостатня що вийти на високий рівень рентабельності.[2]

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ

Модель прогнозування врожайності розроблялась на основі лінії тренду відносного середнього значення пікселю чи індексу з поля та його врожайності.

Потім за допомогою формули розрахунку тренду знаходились прогнозовані результати врожайності кукурудзи на зерно за різних каналів, індексів та термінів створення знімку.

За допомогою ПЗ MS Excel були оброблені дані та отримані результати що наведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1

Результати прогнозу врожайності за різних варіантів дослідження

Варіант досліджу	Дата знімку	Прогноз врожайності, т/га
Спектральні канали		
Червоний канал (665nm)	1-10 червня	8,13
	1-10 липня	9,72
	10-20 вересня	10,31
Зелений канал (560nm)	1-10 червня	8,01
	1-10 липня	10,09
	10-20 вересня	9,69
Вегетаційні індекси		
NDVI	1-10 червня	9,21
	1-10 липня	9,72
	10-20 вересня	9,47
GNDVI	1-10 червня	9,60
	1-10 липня	9,65
	10-20 вересня	9,41

Середня розбіжність результатів прогнозу врожайності при використанні спектральних даних становить:

Червоного спектру 2.18 т/га

Зеленого спектру 2.08 т/га

Що в середньому буде давати похибку вірогідності точного прогнозу

близько 73% від прогнозу.

При використанні вегетаційних індексів розбіжність прогнозу становить:

NDVI 0.51 т/га

GNDVI 0.24 т/га

Що становить вірогідність прогнозу 89% від планованого біологічного

врожаю

Вирівняність прогнозу при використанні спектральних даних та вегетаційних індексів наведена на графіку 4.1

Графік 4.1



Згідно з графіком найбільш вирівняні дані відносно прогнозу врожайності

створює індекс GNDVI потім індекс NDVI. Коливання становлять в межах

0.3 т/га. Найбільш невирівняні дані отримуються за допомогою червоного та зеленого каналів. Коливання становлять до 2 т/га.

Точні дані про врожайність кукурудзи вирощуваної в 2022 році не отримано через ранні строки написання роботи. Тому при розрахунку точності прогнозу використовувались дані структури врожаю. Відхилення прогнозованої врожайності кукурудзи на зерно відносно біологічної врожайності наведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2
Відхилення прогнозованої врожайності відносно біологічного врожаю

Варіант дослідження	Дата знімку	Прогноз врожайності, т/га	Відхилення, т/га
Червоний канал (665нм)	1-10 червня	8,13	-0,48
	1-10 липня	9,72	1,11
	10-20 вересня	10,31	1,70
Зелений канал (560нм)	1-10 червня	8,01	-0,60
	1-10 липня	10,09	1,48
	10-20 вересня	9,69	1,08
NDVI	1-10 червня	9,21	0,60
	1-10 липня	9,72	1,11
	10-20 вересня	9,47	0,86
GNDVI	1-10 червня	9,60	0,99
	1-10 липня	9,65	1,04
	10-20 вересня	9,41	0,80
Біологічна врожайність		8,61	0,00

Середнє значення відхилення від біологічної врожайності становить 0,81 т/га. Що є хорошим показником прогнозованої врожайності при використанні безкоштовних сервісів, знімків середньої роздільної здатності та відсутності поправочних коефіцієнтів на кліматичні та ґрунтові особливості року вирощування.

ВИСНОВКИ

Кукурудза є складною культурою при прогнозуванні врожайності за даними супутникового моніторингу через свою високу вегетаційну масу, що створює значні похибки на спектральних знімках. Тому для точнішого прогнозу варто використовувати знімки високого ступеня розрізнення, щоб чітко відокремлювати відбите випромінювання від кожної рослини. Проте за використання знімків високого розрізнення сильно зростає вартість проведеного прогнозування врожайності.

1. Для прогнозування врожаю кукурудзи на зерно за даними супутникового моніторингу серед відкритих сервісів найбільш точними є Sentinel 2 та Європейська космічна програма Коперник, що надають безкоштовні та вже оброблені знімки найбільш високого розрізнення (10 метрів), порівняно з іншими безкоштовними супутниковими знімками.

2. Модель прогнозування врожайності на основі лінії тренду відносного середнього значення пікселю чи індексу з поля та його врожайності дозволяє встановити зв'язок між спектральними характеристиками знімків і продукційними процесами агрофітоценозів.

3. Середня розбіжність результатів прогнозу врожайності при використанні спектральних даних становить: червоного спектру 2,18 т/га, зеленого спектру 2,08 т/га, що в середньому буде давати вірогідність прогнозу близько 73 %.

4. Для прогнозування врожайності найбільш інформативними є вегетаційні індекси NDVI та GNDVI, що мають точність прогнозу близько 87 %, що є хорошим показником за використання даних супутникового моніторингу.

5. За прогнозування врожайності за допомогою спектральних каналів точність прогнозу становить 80-84 %, що є хоч і хорошим показником, проте менш точним порівняно з використанням вегетаційних індексів.

6. Перевагою вегетаційних індексів для прогнозування врожайності є більша вирівняність прогнозу за різних термінів отримання знімків порівняно з прогнозом за допомогою спектральних знімків.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Опис та характеристика рослини КУКУРУДЗА ЗВИЧАЙНА // Аграрії разом URL: <https://agrarii-razom.com.ua/plants/kukurudza-zvichayna> (Дата звернення: 01.10.2022)

2. Статистика вирощування сільськогосподарських культур // Державна служба статистики URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (Дата звернення: 01.10.2022)

3. Скільки зернових експортує Україна // Слово і діло URL: <https://www.slovoidilo.ua/2022/02/22/infografika/ekonomika/skilky-zernovykh-eksportuye-ukrayina> (Дата звернення: 01/10.2022)

4. Насіннєві особливості кукурудзи // Агробізнес сьогодні URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohedni/item/20245-nasinnievi-osoblyvosti-kukurudzy.html> (Дата звернення: 01.10.2022)

5. Грушка Я. Монографія о кукурузе. Перевод с чешского М. П. Умнова. М. : Колос, 1965. 751 с.

6. Надійний захист кукурудзи — запорака високих урожаїв. Агробізнес сьогодні URL: <http://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/2248-nadiinyi-zakhyst-kukurudzy-zaporuka-vysokykh-urozhaiv.html> (Дата звернення: 01.10.2022)

7. Лихончор В. В. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур Львів: НВФ "Українські технології", 2006. С. 271-326.

8. Всі фази розвитку кукурудзи. Розвиток кукурудзи // SuperAgronom.com URL: <https://superagronom.com/multimedia/photo/47-vsi-fzi-rozvitku-kukurudzi> (Дата звернення: 01.10.2022)

9. Färgupplevelser Konst & Politik URL: <https://anarchyisorder.wordpress.com/2012/09/21/fargupplevelser/> (Дата звернення: 02.10.2022)

10. Короткий вступ до дистанційного зондування // Semi-Automatic Classification Plugin URL: https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/uk-UA/latest/remote_sensing.html (Дата звернення: 02.10.2022)

11. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global USGS URL: [usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1](https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1) (Дата звернення: 02.10.2022)

12. Прогнозування врожаю кукурудзи цукрової за даними супутникового моніторингу посівів // Овочі та фрукти URL: <https://www.pro-uk.com.ua/prognozuvannya-vrozhayu-kukurudzi-cukrovo%D1%97-za-danimi-suputnikovogo-monitoringu-posiviv/> (Дата звернення: 02.10.2022)

13. R. Fienzal *, C. Marafis Sicre, F. Baup, Estimation of corn yield using multi-temporal optical and radar satellite data and artificial neural networks. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 57 2017. С. 14-23

14. Ahmed Kayad , Marco Sozzi Simone Gatto, Francesco Marinello and Francesco Pirotti Monitoring Within-Field Variability of Corn Yield using Sentinel-2 and Machine Learning Techniques // Remote Sens. 2019, 11, 2873; doi:10.3390/rs11232873

15. Sentinel Hub. EO Browser. URL: <https://apps.sentinel-hub.com/> (Дата звернення: 02.10.2022)

16. N.Pasichnyk (2021) Technologies for Environmental Monitoring of the City / N.Pasichnyk, D.Komarchuk, O.Opryshko, S.Shvoroy, V.Reshetiuk, O.Bahatska // 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), pp. 40-43. <https://doi.org/10.1109/CADSM52681.2021.9385113>;

17. Tarariko, O., Iliencko, T., Kuchma, T., & Novakovska, I. (2019). Satellite agroecological monitoring within the system of sustainable environmental management. *Agricultural Science and Practice*, 6(1), 18-27. <https://doi.org/10.15407/agrisp6.01.018>

18. Hongkun Tian, Tianhai Wang, Yadong Liu, Xi Qiao, Yanzhou Li (2020) Computer vision technology in agricultural automation – A review. Information Processing in Agriculture, Vol.7 (1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.006>

19. Інтерактивна карта ґрунтів // Superagronom.com URL: <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy#close> (Дата звернення: 02.10.2022)

20. Заставний Ф. Д. Ґрунти України // Географія України. У 2-х кн. Ред. М. П. Парцей. — Л. : Світ (видавництво), 1994. — 472 с.

21. About Light Spectrum and Photosynthesis. boulderlamp.com URL: <https://boulderlamp.com/light-spectrum-and-photosynthesis/> (Дата звернення: 17.10.2022)

22. Прогнозування врожайності кукурудзи за допомогою індексу вегетації та супутникових знімків // SuperAgronom.com URL: <https://superagronom.com/blog/750-prognozuvannya-vrojajnosti-kukurudzi-za-dopomogoyu-indeksu-vegetatsiyi-ta-suputnikovih-znimkiy> (Дата звернення: 17.10.2022)

23. Агрохімічний дистанційний моніторинг фітоценозів: Навч. посібник./ Н. А. Пасічник, В. П. Лисенко, О. О. Опришко, Д. С. Комарчук. – К: НУБіП України, 2019. – 268с

24. Лисенко В.П., Пасічник Н.А., Опришко А.А., Комарчук Д.С. Використання БПЛА для дистанційного зондування посівів під час програмування врожаю // Науковий вісник НУБіП України. 2016. Випуск 256. С. 146-150.

25. Асанішвілі Н.М., Корсун С.Г., Шляхтурова С.П. Якість зерна кукурудзи залежно від технології вирощування в північній частині Лісостепу. Землеробство. Випуск 1-2. 2014. С. 63-66

26. Рациональное удобрение кукурудзи Декалб.юа. URL: <https://www.dekalb.ua/novini-ta-podii/racional-ne-udobrenna-kukurudzi> (Дата звернення: 17.10.2022)

27. Особливості технології вирощування кукурудзи
<https://laboulet.com.ua/corn-tech-ua/>

28. Чаєчний Н. А., Степанко А. В. Калійне живлення рослин кукурудзи за різних систем застосування добрив. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Агрономія. 2016. Вип. 235. С. 204-209. веб-сайт. URL:

http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnaui_agr_2016_235_27

29. Перспективи кукурудзи. URL:

[http://www.dupont.ua/content/dam/dupont/products-and-services/crop-](http://www.dupont.ua/content/dam/dupont/products-and-services/crop-protection/documents/uk_ua/Green_Pages_3_2008.pdf)

[protection/documents/uk_ua/Green_Pages_3_2008.pdf](http://www.dupont.ua/content/dam/dupont/products-and-services/crop-protection/documents/uk_ua/Green_Pages_3_2008.pdf) (Дата звернення: 15.10.2022)

30. Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів 2014. 1040 с.

31. Писаренко П. В. та ін. Фотосинтетичний потенціал рослин кукурудзи залежно від умов вирощування. веб-сайт. URL: <http://mvmip.com.ua/images/2016/Vupusk1/26.pdf> (Дата звернення: 15.10.2022)

32. По всій території України спостерігається дефіцит поживних речовин у ґрунті: веб-сайт. URL: <https://www.growhow.in.ua/po-vsij-terytoriyi-ukrayiny-sposterigayetsya-defitsyt-pozhyvnyh-rechovyn-u-grunti/> (Дата звернення: 02.10.2022)

33. Позакореневе підживлення кукурудзи. веб-сайт. URL: <https://makosh-group.com.ua/blog/pozakoreneve-pidzhyvlennya-kukurudzy/> (Дата звернення: 02.10.2022)

34. Попова Катерина. Підживлення кукурудзи впродовж вегетації: веб-сайт. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiya-schodni/item/10516-pidzhyvlennya-kukurudzy-vprodovzh-vehetatsii.html> (Дата звернення: 15.10.2022)

35. Присташ І. В. Агрохімічна оцінка застосування добрив під кукурудзу на зерно у сівозміні на лучно-чорноземному карбонатному ґрунті Лісостепу України: автореф. дис. канд. с-г. наук: 06.01.04 Національний аграрний університет. К., 2005. 19 с.

36. Результати застосування позакоренових підживлень Екоорганік
2018 : веб-сайт. URL: <https://ecorganic.ua/uploads/3a76a6d5beeebb557de66e79d1372e9d1.pdf> (Дата
звернення: 02.10.2022)

37. Рослинництво : підручник для підгот. бакалаврів у арг. вищ. навч.
закл. III-IV рівнів акредитації з напрямку 1301 "Агрономія" / С. М. Каленська [та
ін.]; ред. О. Я. Шевчук. К. : НАУ, 2005. 502 с.

38. Рухомий фосфор як індикатор якості ґрунту : веб-сайт. URL:
[https://www.researchgate.net/publication/329626026_Rozdil_6_RUHOMIJ_FOSFO
R_AK_INDYKATOR_AKOSTI_GRUNTU](https://www.researchgate.net/publication/329626026_Rozdil_6_RUHOMIJ_FOSFOR_AK_INDYKATOR_AKOSTI_GRUNTU) (Дата звернення: 12.10.2022)

39. Система удобрення кукурудзи : веб-сайт. URL:
<https://agrosience.com.ua/plant/52/systema-udobrennya-kukurudzy/> (Дата
звернення: 12.10.2022)

40. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві :
підручник / Каленська С. М. та ін. Нац. ун-т біоресурсів і
природокористування України, Вінниц. нац. аграр. ун-т. Вінниця : Регалська І
О., 2015. – 445с.

41. Скоростиглі гібриди як фактор енерго- і ресурсозбереження у
виробництві зерна кукурудзи / Б.В. Дзюбецький, В.С. Рибка, В.Ю. Черчель,
Н.О. Ляшенко. Таврійський науковий вісник. 2007. Вип. 53. С. 27-35

42. Танчик С. Стресові періоди та продуктивність кукурудзи
Спецвипуск Пропозиція. Кукурудза: від насіння до прибутку / - 2016. - С. 24-26
<https://propozitsiya.com.ua/stresovi-periody-ta-produktyvnist-kukurudzy/> (Дата
звернення: 02.10.2022)

43. Томашевський Д. П. Кукурудза. К.: Урожай, 1970. 364 с.

44. Удобрення кукурудзи: веб-сайт. URL:
<http://anaitis.com.ua/udobrennya-kukurudzy/> (Дата звернення: 02.10.2022)

45. Фосфорна проблема українських чорноземів та можливі шляхи її
вирішення: веб-сайт. URL: [https://imptorgservis.uaprom.net/a170873-fosfor-na-
problema-ukrayinskih.html](https://imptorgservis.uaprom.net/a170873-fosfor-na-problema-ukrayinskih.html) (Дата звернення: 15.10.2022)

46. Фурдига Микола Фосфор як основа вдалого старту : веб-сайт. URL: <https://www.profihort.com/2018/05/fosfor-yak-osnova-vdalogo-startu/> (Дата звернення: 17.10.2022)

47. Хмелюк О. Система удобрення кукурудзи : веб-сайт. URL: <https://www.lnz.com.ua/news/sistema-udobrenna-kukurudzi/> (Дата звернення: 17.10.2022)

48. Христенко А.А. Подвижность «подвижных» элементов питания растений в почвах // Вестник аграрной науки. - 2009 г. - № 8. - С. 16-20.

49. Цехмейструк М. Г., Музафаров Н. М., Манько К. М. Аспекти вирощування кукурудзи: веб-сайт. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/436-aspekty-vyroshchuvannia-kukurudzy.html> (Дата звернення: 17.10.2022)

50. Цицюра Я.Г. Адаптивна стратегія землеробства правобережного лісостепу України за зміни клімату: веб-сайт. URL: <http://repository.vsat.org/getfile.php/16691.pdf> (Дата звернення: 12.10.2022)

51. Чириков Ф. В. Агрохимия калия и фосфора. М. Сельхозизд., 1956. 462 с.

52. Чичірко Б. Стратегія підживлення кукурудзи. URL: <https://www.mnagor.com.ua/articles/34/> (Дата звернення: 18.10.2022)

53. Офіційний сайт проекту QGIS. QGIS.org. URL: <https://www.qgis.org/ru/site/index.html> (Дата звернення: 18.10.2022)

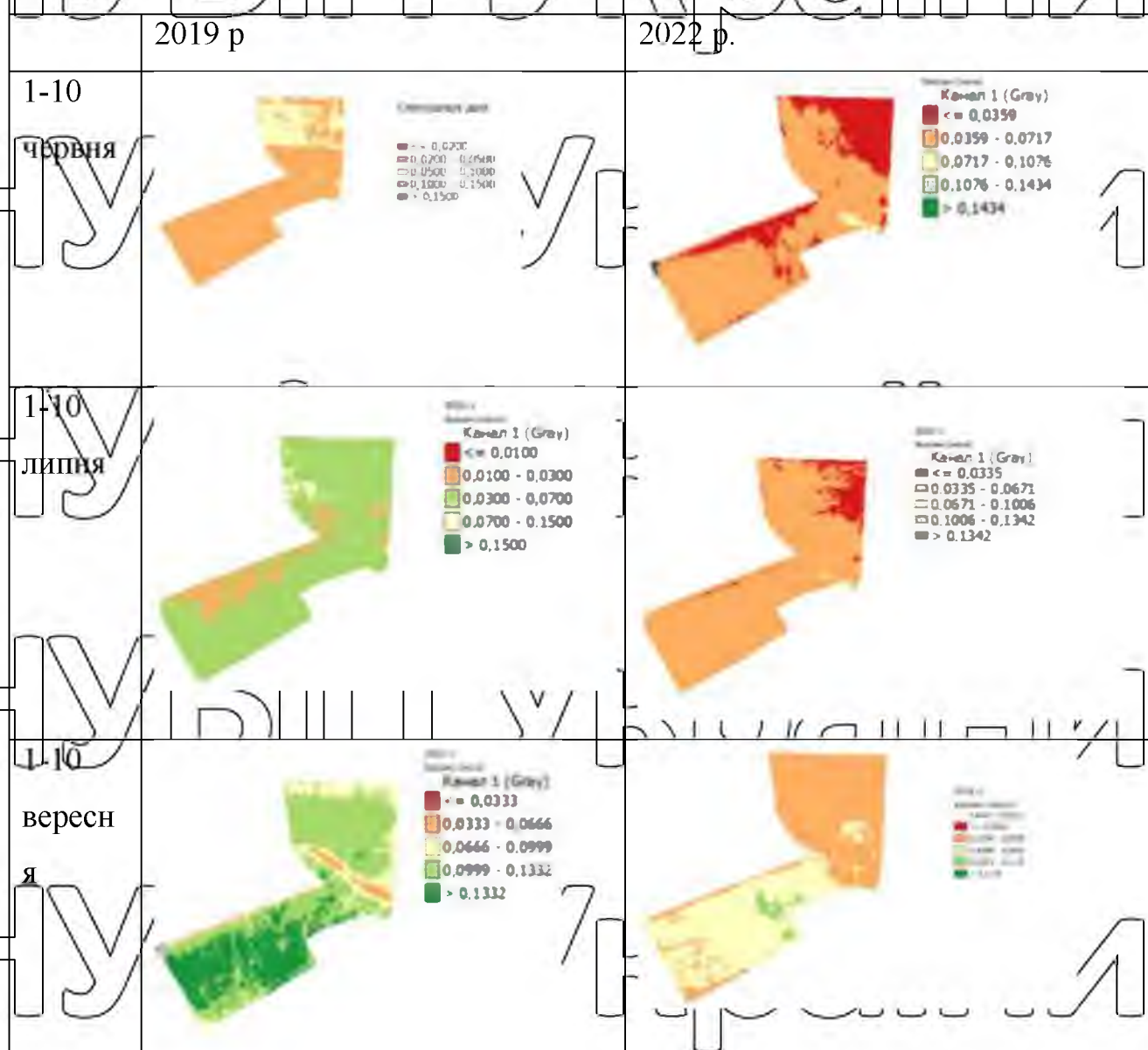
54. Офіційний сайт європейського космічного агенства. The European space agency. URL: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2 (Дата звернення: 18.10.2022)

НУБІП України

ДОДАТОК А

Спектральні картограми поля №2 за 2019 та 2022 роки вирощування

Червоний спектр 665 нм.



Зелений спектр 560 нм.

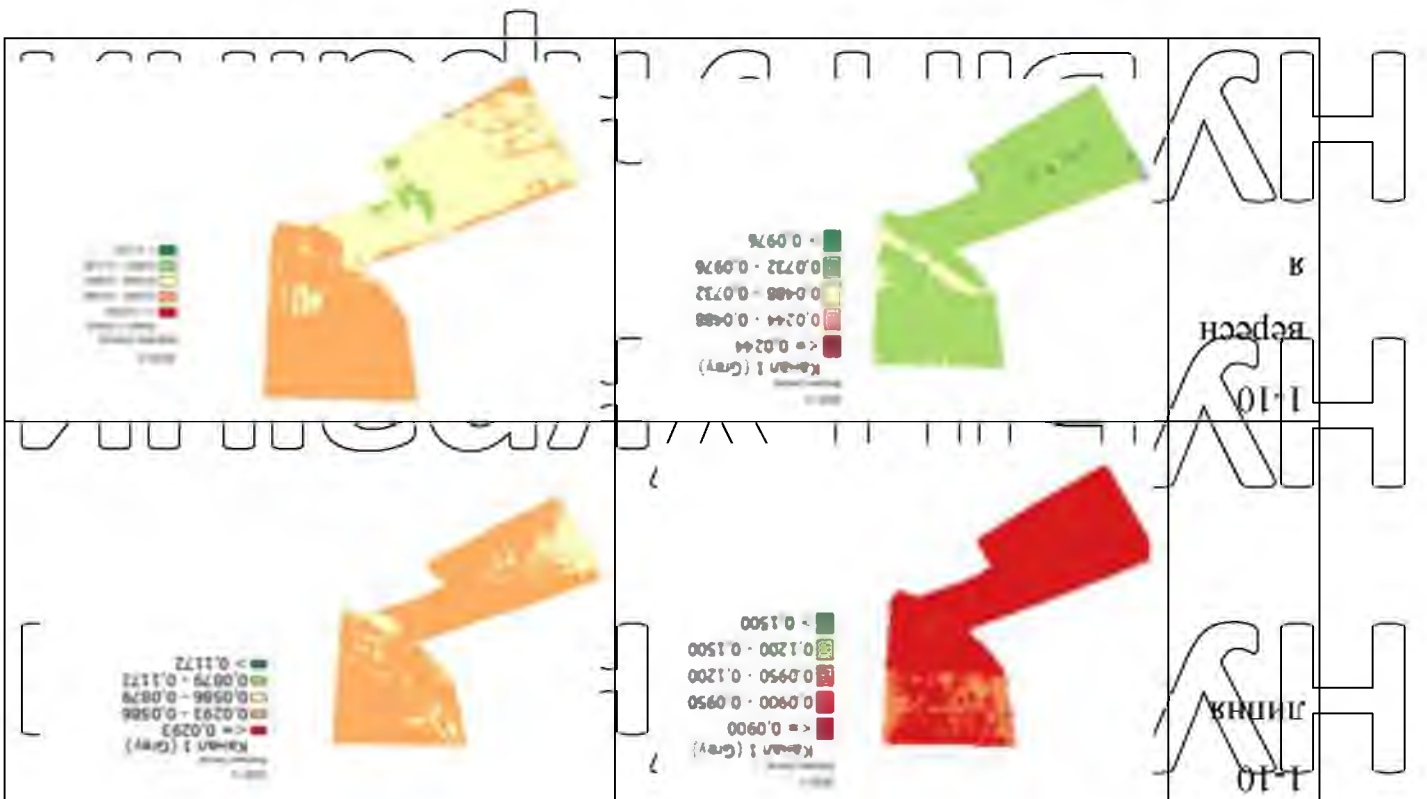


НУБІЛ УКРАЇНИ

НУБІЛ УКРАЇНИ

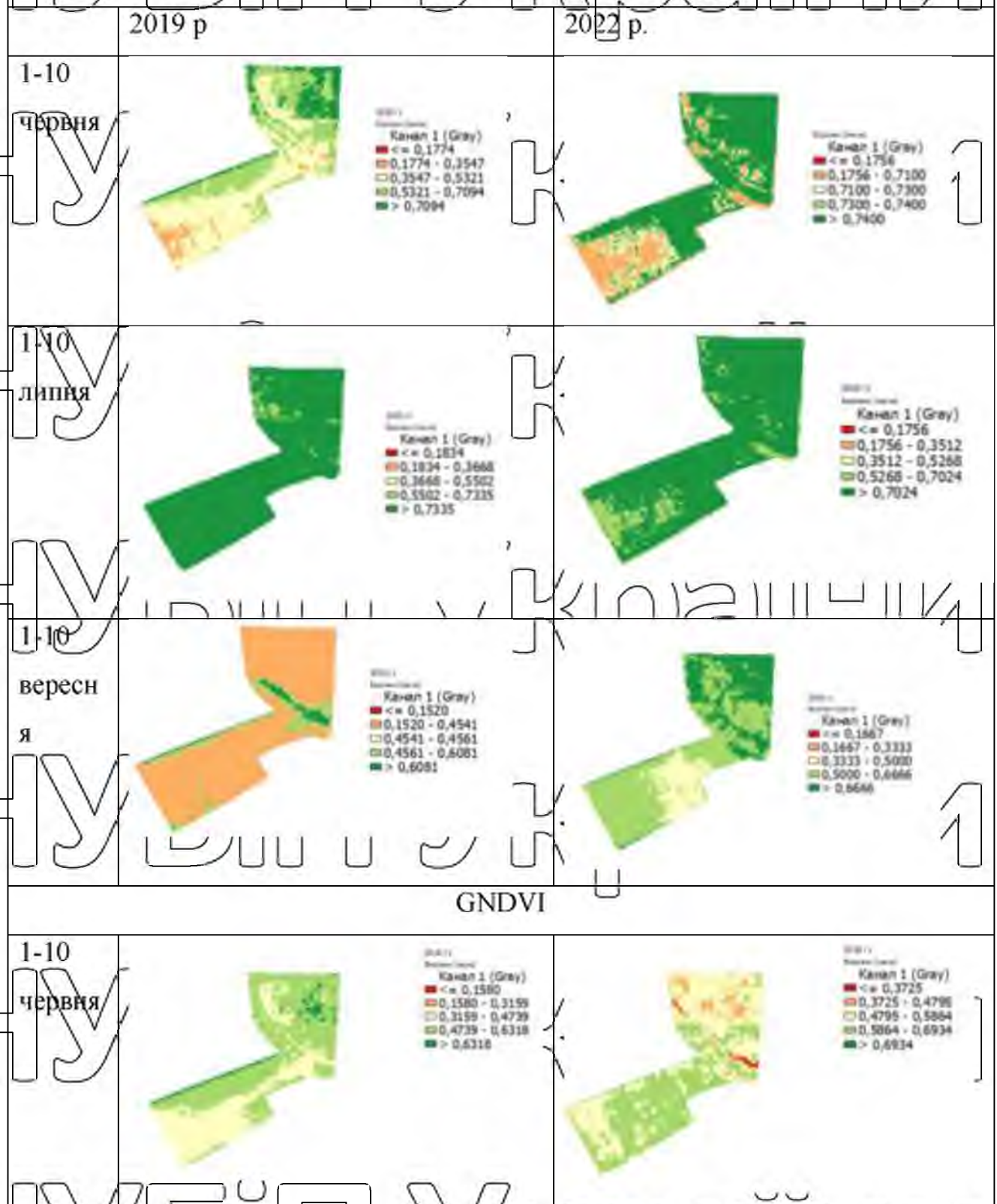
НУБІЛ УКРАЇНИ

НУБІЛ УКРАЇНИ

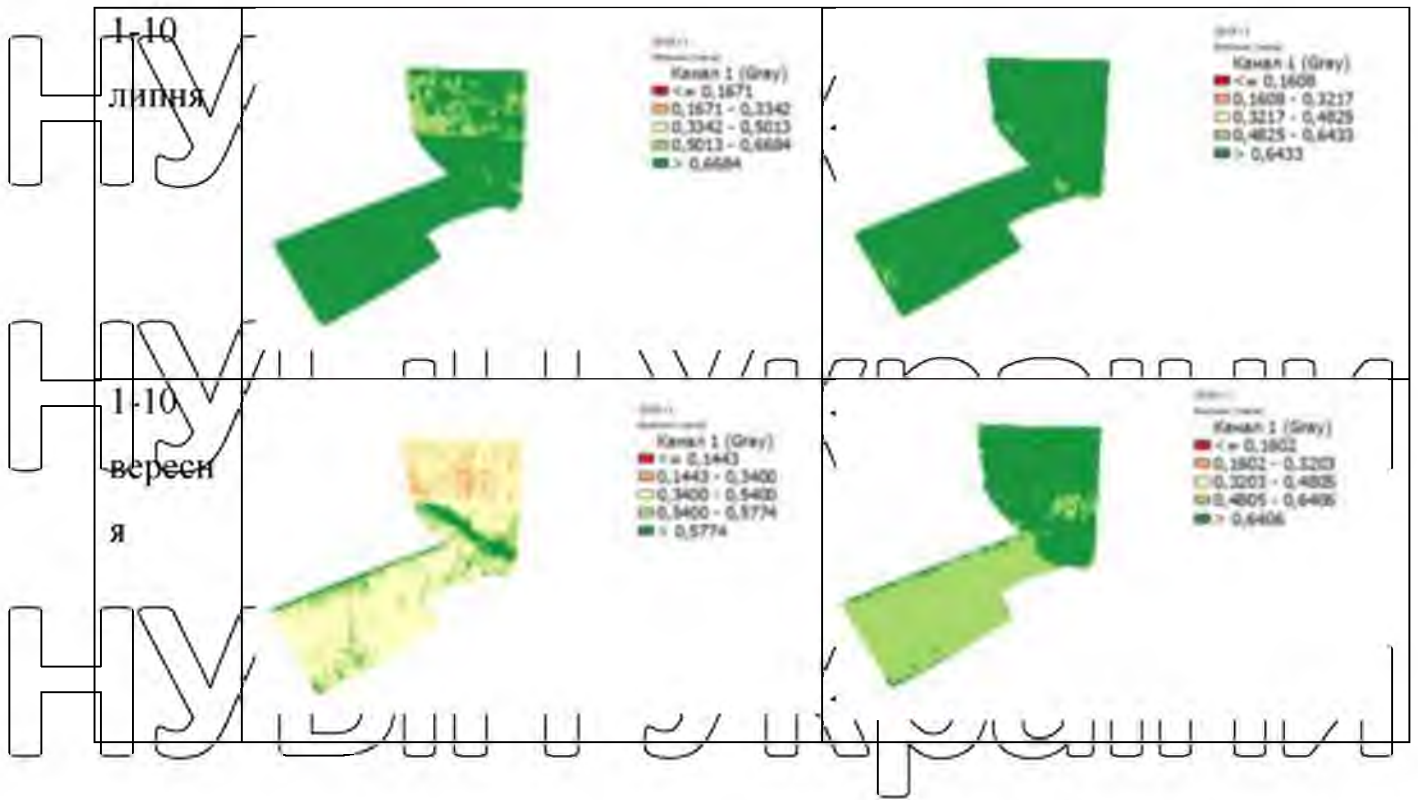


ДОДАТОК Б
Вегетаційні індекси поля №2 за 2019 та 2022 роки

NDVI



НУБІП України



НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України