

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 004.9-947.36:63

«ПОГОДЖЕНО»

Декан факультету  
інформаційних технологій

Глазунова О.Г., д.п.н., професор

«ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри  
комп'ютерних наук

Голуб Б.Л., к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ 2021р.

«30» листопада 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Методи та технології дистанційного моніторингу за посівами  
сільськогосподарських культур

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

(код і назва)

Освітня програма Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

кандидат технічних наук

(науковий ступінь та вчене звання)

Басараб Р. М.

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

кандидат технічних наук

(науковий ступінь та вчене звання)

Басараб Р. М.

(підпис)

(ПІБ)

Виконала

(підпис)

Павленко Т.С.

(ПІБ студента)

КИЇВ-2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри комп'ютерних наук  
Голуб Б.Л., к.т.н., доцент

«29» жовтня 2020 р.  
ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Павленко Тамара Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

Освітня програма Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Методи та технології дистанційного моніторингу за посівами сільськогосподарських культур

затверджена наказом ректора НУБіП України від «29» жовтня 2020 р. №1635 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи впорядковані дані з супутників та сформовані результати, що дозволять приймати рішення

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

№ з/п	Питання, що підлягає дослідженню	Строк виконання	Примітка
1.	Аналіз предметної області	23.11.2020	Виконано
2.	Моделювання системи	02.03.2021	Виконано
3.	Обробка супутникових зображень	16.04.2021	Виконано
4.	Розробка сховища даних	20.07.2021	Виконано
5.	Впровадження системи	10.10.2021	Виконано
6.	Попередній захист	30.11.2021	Виконано
7.	Захист	16.12.2021	Виконано

Дата видачі завдання « 29 » жовтня 2020 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Басараб В.М.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняла до виконання

(підпис)

Павленко Т.С.

(прізвище та ініціали студента)

НУБіП України

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області та вивчення літературних джерел	до 25.11.2020	Виконано
2	Складання плану та моделювання системи.	до 02.03.2021	Виконано
3	Написання першого розділу, представлення керівнику	до 25.06.2021	Виконано
4	Написання другого розділу	до 25.07.2021	Виконано
5	Написання третього та четвертого розділу, представлення керівнику	до 05.09.2021	Виконано
6	Впровадження системи аналізу даних.	до 30.09.2021	Виконано
7	Написання висновків та підготовка рисунків, постеру	до 11.11.2021	Виконано
8	Попередній захист дипломної роботи	до 10.12.2021	Виконано
10	Рецензування. Підготовка презентації до захисту	до 15.12.2021	Виконано
11	Захист дипломної роботи	до 16.12.2021	Виконано

Студентка

(підпис)

Павленко Т.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи

(підпис)

Басараб Р.М.

(прізвище та ініціали)

НУБІП України

НУБІП України

# АНОТАЦІЯ

# НУБІП України

Випускна дипломна робота магістра містить 4 розділи.

Основною метою цієї роботи є розробка методів та технологій дистанційного спостереження за посівами.

У першому розділі розкритий зміст використання ГІС у сільському господарстві та його методи.

Другий розділ зазначає, які данні використовуються для дистанційного моніторингу за посівами.

У третьому розділі описується створення результатів дипломної роботи.

У четвертому розділі апробація технології на полях реального підприємства клієнта компанії Agroonline.

# НУБІП України

# ABSTRACT

The master's thesis contains 4 sections.

The main purpose of this work is to develop methods and technologies for remote monitoring of crops.

The first section reveals the content of the use of GIS in agriculture and its methods.

The second section indicates what data is used for remote monitoring of crops.

The third section describes the creation of the results of the thesis.

In the fourth section, testing of the technology in the fields of a real enterprise - a client of Agroonline.

# НУБІП України

# НУБІП України

ВСТУП

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ ПОСІВІВ. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ТА ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ 10

1.1 Технологія супутникового моніторингу за посівами 11

1.2 Джерела супутникових даних 12

1.3 Вегетаційні індекси, їх різновиди та сфери застосування 14

1.4 Огляд існуючих рішень супутникового моніторингу посівів 17

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ОБРОБКА ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОСІВАМИ 21

2.1 Автоматизація процесів завантаження супутникових зображень 21

2.1.1 Дані космічних апаратів Sentinel-2 21

2.1.2 Дані космічних апаратів Landsat-8 26

2.2 Маскування неліквідних даних на оптичних зображеннях 32

2.3 Формування карт вегетаційних індексів на основі супутникових даних..... 41

2.4 Аналіз неоднорідності карт вегетаційних індексів 47

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОСІВАМИ С/Г КУЛЬТУР 52

3.1 Архітектура системи дистанційного спостереження за посівами 52

3.2 Підсистема автоматичного завантаження та обробки даних 55

3.3 Проектування бази даних системи дистанційного спостереження за посівам 61

3.4 Проектування інтерфейсу користувача 65

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОСІВАМИ 69

4.1 Описання досліджуваної території 69

4.1.1 Сільськогосподарські угіддя Казахстану 69

4.2 Дослідження агрегованої неоднорідності посівів с/г культур 70

4.3 Дослідження продуктивності посівів сільськогосподарських культур 71

ВИСНОВКИ 76

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 78

ДОДАТКИ 79

# НУБІП України

# НУБІП України

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БПЛА – безпілотні літальні апарати;

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі;

ІТ – інформаційні технології;

с/г – сільськогосподарський (-кі);

# НУБІП України

РСА – радар з синтезованою апертурою;

КА – космічний апарат;

смарт – в розумінні смарт-технологія, розумна технологія, або технологія що базується на використанні засобів інтелектуального аналізу даних;

MSI – multispectral imager – оптичний сенсор КА Sentinel-2 A/B

# НУБІП України

NDVI – нормалізований різницевий вегетаційний індекс;

NDWI – нормалізований Диференціальний Індекс Вологості;

OLI – operative land imager – оптичний сенсор КА Landsat-8

SIWSI – короткохвильовий інфрачервоний індекс водного стресу;

SWIR – короткохвильовий інфрачервоний спектр сонячного

випромінювання;

# НУБІП України

TIRS – termal infrared sensor – термальний сенсор КА Landsat-8

VNIR – ближній інфрачервоний спектр сонячного випромінювання;

# НУБІП України

# НУБІП України

# ВСТУП

Вже не перший рік фермери усього світу і України успішно користуються послугами супутникового моніторингу посівів. Ця технологія вже не нова, однак до цих пір успішно дозволяє економити час, кошти та людський ресурс при обстеженні полів та контролю над розвитком рослин загалом.

Оперативність, достовірність та простота – основні фактори роботи з технологією супутникового моніторингу посівів. Про помилки роботи механізаторів, хвороби, шкідники, брак поживних речовин все це ви знатимете вже з першого супутникового зображення, відзнятого над вашими посівами. Будь-яку проблему легко локалізувати і вже наступного дня можна планувати екстрені дії по ідентифікації та реагуванню на неї. І все це у вашому ноутбуді, телефоні чи планшеті.

Наразі існує велика кількість інформаційних бізнес-рішень (сервісів), які надають послуги супутникового моніторингу посівів протягом усього вегетаційного сезону і не тільки. Від трьох до п'яти супутникових зйомок щотижня, це можливо завдяки безкоштовним даним з супутників

Європейського космічного агентства та NASA. Однак, їх використання на практиці зводиться до необхідності максимального занурення користувача в суть інформаційних продуктів та технологій, і неперервного візуального (експертного) аналізу графічних та ін. матеріалів, провайдерами яких є ринкові рішення в арго-ІТ секторі. Дане дослідження спрямоване на розробку інформаційної смарт-технології дистанційного спостереження за посівами сільськогосподарських культур, яка дозволить з мінімальним зануренням в проблематику предметної області акцентувати увагу користувача (агронома, власника, чи наземного експедитора) на поля і посіви, що можуть потребувати негайної уваги та втручання в процес вирощування посівів.

**Мета дослідження** – розробка інформаційної смарт-технології дистанційного спостереження за посівами сільськогосподарських культур з

використанням супутникових даних та даних, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

**Об'єкт дослідження** – просторова неоднорідність посівів сільськогосподарських культур.

**Предмет дослідження** – зображення, отримані оптичними сенсорами космічних апаратів дистанційного спостереження за поверхнею Землі, а саме – супутниками Landsat-8 OLI/TIRS та Sentinel-2 MSI (A/B).

**Методи дослідження** – геопросторовий аналіз, статистичний аналіз, системний аналіз та проектування програмного забезпечення, аналіз часових рядів даних, інтелектуальний аналіз даних.

#### **Завдання дослідження:**

- підбір найбільш інформативних предикторів для спостереження за динамікою розвитку посівів (мова йдеться про інформаційні продукти, створені на основі зображень, отриманих за допомогою супутників чи дронів);
- формування програмних сценаріїв для автоматичного вивантаження, підготовки, обробки та аналізу супутникових зображень;
- пошук та формування ідентифікаторів неоднорідності розвитку посівів в межах кожного індивідуального поля;
- ідентифікація зон неоднорідності розвитку посівів, пошук «проблемних» зон та формування геопросторових маршрутів, що можуть бути використані як основа для наземного скаутингу полів експертами, чи дронами.

#### **Апробація роботи**

Були опубліковані тези на тему:

Сучасні методи та технології дистанційного моніторингу за посівами сільськогосподарських культур. Збірник матеріалів IV Всеукраїнська науково-

практична інтернет конференція студентів і аспірантів «ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ 2021» [1].

Інформаційне забезпечення супутникових даних та їх використання.

Збірник матеріалів XI Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ:

ЕКОНОМІКА, ТЕХНІКА, ОСВІТА» [2].

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## **Розділ 1. ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ПОСІВІВ. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АГРАРНОГО СЕКТОРУ.**

Прямі спостереження – спостереження за об'єктом (певними параметрами/характеристиками об'єкта), які здійснюються або вбудованими

НУБІП України

# НУБІП УКРАЇНИ

сенсорами (датчиками), або сенсорами, які розташовані на поверхні об'єкту

Дистанційні спостереження – спостереження за об'єктом, що здійснюються сенсорами, які знаходяться на певній відстані від поверхні об'єкта.

# НУБІП УКРАЇНИ

Дистанційний моніторинг – це технологія дистанційного спостереження за посівами за допомогою супутникових даних.

Супутникові дані (оптичні супутникові дані) – зображення поверхні Землі, отримані за допомогою спеціальних сенсорів, розташованих на космічних апаратах (супутниках Землі).

# НУБІП УКРАЇНИ

Використання даних дистанційних спостережень є найбільш ефективним методом отримання достовірної просторової інформації про посіви.

Супутникові зображення, або зображення з дронів – об'єктивні, достовірні, періодичні, наочні, і при цьому витрати на отримання інформації про досліджуваної території значно нижчі за вартість проведення наземних досліджень. Сенсори, бортові прилади, космічних апаратів діляться на активні та пасивні. Пасивні сенсори переводять отриману інформацію в цифрове представлення, активні сенсори опромінюють об'єкт дослідження, а потім фіксують частку відбитого об'єктом опромінення, яке було направлене на об'єкт датчиком.

# НУБІП УКРАЇНИ

Види сенсорів космічних апаратів дистанційного спостереження Землі:

# НУБІП УКРАЇНИ

- оптичні сенсори – здатні виявляти сонячну радіацію у видимому, ближньому та короткохвильовому інфрачервоному спектральних діапазонах. Оптичні дані значною мірою піддаються впливу

атмосфери (пил, пар, тощо.) та атмосферних явищ (хмари, димки, тумани, тощо.). Оптичні дані – найважливіше джерело

супутникової інформації про посіви с/г культур, оскільки

# НУБІП УКРАЇНИ

фотосинтез напряму пов'язаний з поглинанням (відбиттям) сонячної енергії.

• теплові сенсори (тепловізори) – фіксують тепловий відбиток об'єктів спостереження в теплових інфрачервоних спектрах. Зазвичай, супутникові тепловізори мають дуже низьку просторову розрізненість.

- радари з синтезованою апертурою (РСА) – сенсори, які опромінюють поверхню Землі в радіохвильовому діапазоні та фіксують інтенсивність та амплітуду відбитого опромінення.

- лидари – світлові дальноміри, що здатні за певних умов відміряти відстань до об'єкта спостереження.

### 1.1 Технологія супутникового моніторингу посівів

Космічні апарати з певною частотою пролітають над досліджуваною територією (полями господарства) і проводять зйомку. Отримані зображення є джерелом оперативної інформації про посіви, в тому числі і можливі проблеми з ними.

Оптичні сенсори здатні виявити більше, ніж дозволяє людське око. Ця здатність дозволяє отримувати з зображень важливу і водночас легко-інтерпретовану інформацію про стан та рівень розвитку посівів.

Фотосинтезуючі рослини поглинають майже всю енергію червоного спектру та відбивають значну частку енергії ближнього інфрачервоного (більше 30%). Якщо рослини сохнуть/в'януть, або інтенсивність їх фотосинтезу значно знижується, вони починають відбивати все більше енергії червоного спектру і поглинати все більше ближнього інфрачервоного.

Найпопулярнішим в рослинництві є індекс NDVI – «Нормалізований Відносний Вегетаційний Індекс». Він являється простим якісним показником стану посівів і дозволяє оцінити, де посіви розвиваються краще, а де гірше.

Даний індекс розраховується як співвідношення різниці відбиваючої здатності рослин в червоному та інфрачервоному спектрах до їх суми.

NDVI може вказувати на ті ділянки поля, які потребують пересівання, внесення ЗЗР та добрив, чи інші операцій, однак в більшості випадків для точної ідентифікації та вирішення проблеми потрібен наземний аудит.

NDVI має і свої недоліки, наприклад він не є ефективним на початкових етапах розвитку посівів. Також, в моменти пікової концентрації «зеленої» біомаси даний індекс «насичується» і перестає змінюватись.

За допомогою супутникового моніторингу посівів можна:

- своєчасно отримувати інформацію про потенційні проблемні місця на полях, а також експертні оцінки аналітиків;
- економити кошти та людський ресурс на обстеження полів, адже точно знає, в яких місцях його полів можуть бути проблеми з посівами і може делегувати туди відповідальних осіб;
- визначити проблемні зони на полях завдяки ретроспективній (історичній) інформації.

Використання супутникового моніторингу також призводить до часткової мінімізації впливу людського фактору на процес вирощування посівів сільськогосподарських культур.

## 1.2 Джерела супутникових даних

Джерела супутникових даних поділяються на комерційні та загальнодоступні. Окрім вартості, основні відмінності між даними полягають в їх якості та можливості замовити зйомку ближче до потрібної дати. Безкоштовні дані можна отримати відповідно до запланованого, наперед відомого і майже незмінного, календарем зйомки. Деякі провайдери комерційних даних дають можливість «заказаної» зйомки потрібної території.

Важливі технічні параметри якості супутникових даних:

- *Спектральна розрізненість даних* – кількість спектральних каналів, в яких сенсор здатний проводити збір даних про поверхню Землі. В залежності від кількості спектрів, в яких супутник проводить збір

# НУБІП УКРАЇНИ

даних) останні поділяються на мульти- та гіпер-спектральні (від кількох, десятка, до сотень спектрів), чим в більшій кількості спектрів один і той же сенсор проводить збір даних, тим гірша якість останніх (просторова розрізненість, зашумленість, тощо.).

Бувають випадки, коли на супутнику встановлені кілька сенсорів, кожен з яких проводить збір даних в своїх цільових діапазонах.

# НУБІП УКРАЇНИ

- *Просторова розрізненість даних* – розміри пікселя зображення, що приблизно відповідають площі пікселя відносно реальної площі,

яку останній покриває. Існують специфічні системи координат, в яких зберігаються супутникові зображення. Одні з них точніше відображають відстані в шкodu площам, інші – навпаки. Завжди,

# НУБІП УКРАЇНИ

якщо рухатись в сторону покращення одного параметру, ми будемо погіршувати інший, чим більша просторова розрізненість

зображення (чим менші розміри пікселя), тим меншу територію покриває дане зображення, і навпаки.

- *Період ревізиту* – проміжок часу, за який супутник повторно

# НУБІП УКРАЇНИ

пролітає над досліджуваною територією. Існують супутники-клони (напр. Sentinel-2A та Sentinel-2B), які мають практично ідентичні сенсори і рухаються по геостаціонарній орбіті з фазою в 180°.

Кожен Sentinel-2 має період ревізиту в 10 днів, але коли ми враховуємо обидва супутники, їх спільний ревізит складає 5 днів.

# НУБІП УКРАЇНИ

- *Рівень обробки супутникових даних* – певний стандарт, згідно якого над розглядуваними даними були проведені певні процедури попередньої обробки з метою підвищення якості та достовірності.

До таких процедур відносять геометричну ко-реєстрацію (точну прив'язку зображення до географічних систем координат),

# НУБІП УКРАЇНИ

радіометричну нормалізацію та калібрування (врахування помилок сенсору та впливу верхніх шарів атмосфери на дані), орто-трансформування (врахування помилок даних, пов'язаних з

рельєфом). Для того, щоб порівняти набори супутникових даних, отримані різними сенсорами, потрібно провести між ними просторову та радіометричну ко-реєстрацію.

Найбільш широкоживаними в агросекторі є дані з супутників Landsat-8 (15м) Геологічної служби США та Sentinel-2 (10м) Європейського Космічного Агентства.[5]

### 1.3 Вегетаційні індекси. Поняття, різновиди та сфери застосування

Супутниковий моніторинг посівів - технологія спостереження за змінами показників вегетації, отриманого за допомогою спектрального аналізу супутникових знімків високої роздільності.

Різниця в динаміці показників вегетації повідомляє про диспропорції розвитку в межах однієї культури або поля. Це свідчить про необхідність проведення додаткових сільськогосподарських робіт на окремих ділянках, тому дану технологію використовують до методів точного землеробства.

*Вегетаційний індекс* – індикатор, який розраховується в результаті операцій з різними спектральними діапазонами даних дистанційного зондування та має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі знімку. Ефективність вегетаційних показників визначається особливостями відбивання. Розрахунок більшої частини вегетаційних індексів базується на двох найбільш стабільних ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин.

NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований відносний вегетаційний індекс. Найбільш поширений у сільському господарстві, характеризує щільність рослинності та дозволяє аграріям оцінити всі особливості зростання, наявність бур'яну або хвороб, а також спрогнозувати продуктивність полів. Показники індексів формуються через супутникові знімки зеленої маси, яка поглинає електромагнітні хвилі в

відлиному червоному діапазоні та відображає їх у ближньому інфрачервоному.

На червоній зоні спектру (0,62 - 0,75 мкм) доводиться максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом, а на ближній інфрачервоній зоні (0,75 - 1,3 мкм)

максимальне відбивання енергії клітинної структури листка. Тобто, висока фотосинтетична активність призводить до більш низьких значень коефіцієнтів

відбивання у червоній зоні спектру та більшим значенням у ближній інфрачервоній.

Відношення цих показників один до одного дає змогу чітко виділяти рослинність від інших природних об'єктів. В результаті можна отримати

повноцінний спектральний аналіз і виявити ділянки, які потребують внесенні ЗЗР або добрив. Індекс помірно чутливий до змін ґрунтового та атмосферного

фону, крім випадків з бідною рослинністю, і може перенасичитись в умовах густої рослинності, коли рівень індексу листової поверхні (LAI) стає високим.

Індекс рослинності розраховується за формулою (1.1): Де NIR — інфрачервоний спектр. RED - червоний спектр.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1.1)$$

EVI (англ. Enhanced Vegetation Index) — вдосконалений вегетаційний індекс. Розроблений, як поліпшення NDVI шляхом оптимізації сигналу

рослинності в областях з високим індексом листової поверхні (LAI). Індекс використовує синю область відбивання для корекції фонових сигналів ґрунту

і зменшення атмосферних впливів, в тому числі аерозольного розсіювання.

Найбільш корисний у регіонах з високим рівнем LAI, де NDVI може перенасичуватися. EVI розраховується за формулою (1.3.2). Значення EVI для

вегетаційних пікселів повинні коливатися в діапазоні від 0 до 1. Яскраві об'єкти, такі як хмари та білі будівлі, на ряду з темними об'єктами, такими як

вода, можуть призвести до аномальних значень пікселів у зображенні EVI.

Використовується для оцінки зміни розвитку культури, як в умовах густого рослинного покриву, так і в умовах розрідженої рослинності. Індекс

розраховується за формулою, де  $R$  – відбиті сигнали у відповідних діапазонах (NIR – ближній інфрачервоний, RED – червоний, BLUE – синій), відрегульовані або частково скореговані на вплив атмосфери (відбиття Релея та поглинання озоном)

$$EVI = 2.5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)} \quad (1.3.2)$$

GNDVI (англ. Green Normalized Difference Vegetation Index) – зелений нормалізований відносний вегетаційний індекс. Схожий на NDVI за винятком, що він замість червоного спектра вимірює зелений в діапазоні від 0,54 до 0,57 мкм (див. формулу 1.3.3). Це показник фотосинтетичної активності рослинного покриву, що найчастіше використовується при оцінці вмісту вологи та концентрації азоту в листках рослин за мультиспектральними даними, в яких відсутній крайній червоний канал. У порівнянні з індексом NDVI, він більш чутливий до концентрації хлорофілу. Застосовується при оцінці пригніченої рослинності.

$$GNDVI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)} \quad (1.3.3)$$

CVI (англ. Chlorophyll Vegetation Index) – вегетаційний індекс хлорофілу. Розраховується за формулою 1.3.4. Має підвищену чутливість до вмісту хлорофілу у листовому покриві. Використовується з початку і до середини циклу зростання культур для широкого діапазону ґрунтів і умов посіву шляхом аналізу великого набору синтетичних даних, отриманих із використанням моделі відображення листової поверхні. Бисока чутливість індексу до концентрації хлорофілу в листі зумовлена ефективною нормалізацією різних значень LAI, отриманих при введенні червоного та зеленого кольорів.

$$CVI = \frac{NIR}{Green} * \frac{Red}{Green} \quad (1.3.4)$$

True Color – істинний колір. Візуальна інтерпретація земного покриття. Метод представлення та зберігання зображень, що дозволяє відобразити велику кількість кольорів, напівтонів та відтінків. Зображення істинного кольору відображається в комбінації червоної, зеленої та синьої смуги.

#### 1.4 Огляд існуючих сервісних рішень супутникового моніторингу

**посівів**

Глобалізація аграрного ринку змушує конкурувати агропідприємства різних регіонів, що знаходяться в різних кліматичних та економічних умовах.

Різна вартість оренди землі та оплати праці дає перевагу одним виробникам над іншими. Тому сьогодні на ринку існує багато компаній, які надають послуги супутникового моніторингу для агропідприємств. Вони можуть використовувати знімки різної точності та частоти оновлення, комерційних або дослідницьких супутників. Аналіз знімків може бути частиною продукту, результати якого можуть супроводжуватися рекомендаціями щодо необхідності вжиття заходів для боротьби зі стресом рослин або їх захистом.

На основі досліджень виділяють Топ-5 рішень супутникового моніторингу посівів.

*Farmers Edge* одна з перших компаній, що запропонували аграріям інформацію на основі обробки супутникових знімків та внесення матеріалів із змінною нормою (з 2005 року). Сьогодні один із лідерів супутникового моніторингу в аграрному секторі – знімки оновлюються практично щодня, їхня обробка займає від 24 до 48 годин.

Крім блоку супутникового моніторингу, платформа також містить погодні блок, телеметричний та виконання робіт.

Крім даних з космічної зйомки, платформа працює з інформацією польових метеостанцій компанії. Всі дані вивантажуються на платформу *FarmCommand* і використовуються для моделювання штучним інтелектом умов розвитку культур, прогнозування ризику захворювань, проблем з

комахами-паразитами, моделювання виникнення погодних ризиків тощо. На основі прогнозів аграрій отримує рекомендації щодо догляду за рослинами та оптимізації використання ресурсів.

Крім моніторингу стану культур на основі карт продуктивності створюється сітка відбору проб ґрунту для агрохіманалізу, відомості про вегетацію використовуються для створення карт тощо.

Компанія *OneSoil* надає аграріям інструменти для реалізації технологій точного землеробства – безкоштовну онлайн-платформу, модеми для зв'язку польової техніки за допомогою мобільного інтернету.

Компанія використовує супутникові знімки із застосуванням індексу NDVI для моніторингу стану культур. Періодичність поновлення знімків 1 раз на 3-5 днів. Крім моніторингу рослин, алгоритми компанії дозволяють виділяти контури полів, розпізнавати культури (наприкінці сезону точність визначення 96%), з точністю до 5 днів визначати дату сівби і фазу розвитку.

Інтерфейс платформи також дозволяє самостійно створювати карти-завдання для техніки.

Для отримання точних рекомендацій від фахівців компанії клієнт може вказувати додаткову інформацію – культури-попередники, результати польового дослідження тощо.

*Climate FieldView* — платформа для роботи з даними про культури та управління агровиробництвом на основі зібраних даних. Крім відомостей супутникового моніторингу, система використовує дані з польової техніки (передаються за допомогою пристроїв *FieldView Drive*) та відомості про посіви (дата сівби, гібрид, запланована врожайність), які заповнює користувач.

Завантаження даних систем керування висівом *Precision Planting* дозволить створити точну карту посівів, за допомогою аналізу супутникових знімків відстежується: густина рослин та кількість надземної біомаси, датчики моніторингу на комбайнах дозволять створити карту врожайності.

Мета розробників надати інструмент, який зробить прийняття рішень більш обґрунтованим, оперативно інформуватиме про стан культур протягом періоду вегетації, допоможе вдосконалити технологію через аналіз ефективності агрооперацій, а також порівняти ефективність використання різних гібридів та сортів на полях тощо.

Компанія *Geosys* надає дані супутникового та метео-моніторингу для збору інформації про історичну продуктивність, сезонний моніторинг та створення карт неоднорідності.

Компанія використовує сузір'я супутників *UrtheDaily* на низькій навколосемній орбіті, що надають знімки роздільною здатністю до 5 м на піксель. Тридцятирічний досвід роботи дозволяє компанії поєднувати дані різних супутників для отримання достовірних відомостей про стан культур. Серед них *Alsat-1B*, *CBERS-4 (MUXCam)*, *KazSTSAT*, *Landsat-8*, *Sentinel-2*, *Deimos-1*, *UK-DMC2*, *ResourceSat-2*, *Gaofen-1*. На своїй платформі для точного землеробства *Croptical*, компанія надає якісні знімки, які щодня оновлюються.

Клієнтам, які мають обліковий запис, доступний додаток *Croptical In Field* для польового моніторингу з можливістю автономного використання та автоматичною синхронізацією з платформою. Система *Field Focus*, що налаштовується, сповіщає користувачів про зміни вегетації.

*Geosys* є одним із лідерів у роботі з даними супутників ДЗЗ для завдань сільського господарства. На користь цього свідчить інтеграція рішення із платформою *John Deere*, клієнти якої отримують доступ до карт після підключення.

*GeoPard* — це неупереджена хмарна система *Analytics Powerhouse* для точного землеробства. Ядро платформи здатне обробляти будь-який набір геопросторових даних [12].

Система включає:

- Аналітику супутникових знімків (до 30 років історії)
- Сезонний моніторинг на рівні поля та регіону

# НУБІП України

- Автоматичне створення багаторічних та поточних карт/зон для управління полем

Також, GeoPard надає аналітику даних проб відбору ґрунтів, урожайності та топографії. У системі є модуль створення унікальних карток для кожного поля, який дозволяє створювати картки диференційного внесення вручну, використовуючи будь-які типи даних у GeoPard.

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## Розділ 2. АНАЛІЗ ТА ОБРОБКА ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОСІВАМИ

Задача супутникового моніторингу посівів передбачає періодичну обробку та аналіз інформаційних продуктів, створених на основі даних дистанційного спостереження за посівами (зокрема, супутникових зображень). В обробці супутникових даних для моніторингу посівів можна виділити декілька кроків:

- Завантаження супутникових зображень;
- Маскування неліквідних даних (хмар, тіней, ін.. ефектів атмосфери, тощо.);
- Формування карт вегетаційних індексів;
- Аналіз карт вегетаційних індексів та формування смарт-рішень на основі аналізу.

Автоматизація вищезазначених кроків фактично дозволила повноцінно реалізувати інформаційну смарт-технологію моніторингу стану посівів.

### 2.1 Автоматизація процесів завантаження супутникових зображень

В ході реалізації проекту, були використані дані космічних апаратів NASA (Landsat-8 OLI) та Європейського космічного агентства (Sentinel 2A MSI, Sentinel-2B MSI).

#### 2.1.1 Дані космічних апаратів Sentinel-2

Sentinel-2 – це європейська місія для отримання широкого спектру зображень з високою роздільною здатністю. Повна специфікація місії супутників-близнюків (Sentinel-2A, Sentinel-2B), що летять на тій самій орбіті, але з фазою у  $180^\circ$  один від одного, була розроблена для забезпечення високої

частоти повторних відвідувань поверхні Землі з періодом до 5 днів. Супутники обертаються на сонячно-синхронній орбіті на приблизній висоті 786 км. [3]

Серед корисного навантаження Sentinel-2 несе оптичні сенсори, які проводять зйомку поверхні Землі в 13 спектральних діапазонах: чотири спектри з просторовим розрізненням 10 м, шість – 20 м і три – з просторовою роздільною здатністю 60 м. Ширина смуги зйомки складає 290 км.

На борту супутників Sentinel-2 знаходяться мультиспектральні прилади (MSI), які фіксують сонячне світло, відбите від Землі. Нові дані отримуються приладом, коли супутник рухається по орбіті. MSI вимірює відбиту яскравість Землі в 13 спектральних діапазонах від VNIR до SWIR (див таб.1).

Таблиця 1. Спектральні характеристики каналів зображень Sentinel-2

Номер каналу	Центральна довжина хвилі (нм)	Пропускна здатність (нм)	Центральна довжина хвилі (нм)	Пропускна здатність (нм)	Просторова роздільна здатність (м)
1	442.7	21	442.3	21	60
2	492.4	66	492.1	66	10
3	559.8	35	559.0	36	10
4	664.6	31	665.0	31	10
5	704.1	15	703.8	16	20
6	740.5	15	739.1	15	20
7	782.8	20	779.7	20	20
8	832.8	106	833.0	106	10
8a	864.7	21	864.0	22	20
9	945.1	20	943.2	21	60
10	1373.5	31	1376.9	30	60
11	1613.7	91	1610.4	94	20

Вхідний світловий промінь розділяється на фільтри і фокусується на двох окремих вузлах фокальної площини всередині приладу; один для видимих і ближніх інфрачервоних (VNIR) діапазонів і один для короткохвильових інфрачервоних (SWIR) діапазонів. Спектральне розділення в різних діапазонах здійснюється за допомогою смугових фільтрів, встановлених на верхній частині приладу.

Супутники-близнюки Sentinel-2 надають дані, які можуть бути використані при управлінні земельними ресурсами, в сільському та лісовому господарстві, для контролю над катастрофами, операцій з надання гуманітарної допомоги, картування ризиків і вирішення проблеми безпеки. Дистрибуція даних здійснюється через веб-сервіс <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. На рис.2.1 наведений інтерфейс формування запиту на пошук супутникових знімків до постачальника даних.



Рисунок 2.1 – Інтерфейс формування запиту до постачальника даних, copernicus sentinel

Основні параметри запиту:

- цільова територію (AOI - area of interest);
- проміжок часу, за який нас цікавлять дослідження;
- джерело даних - супутник (Sentinel-2A/Sentinel-2B);

• рівень обробки даних (Level 1C/Level 2A).

Результат запиту – продукт (архів каналів зображення з файлами метаданих) є сукупністю елементарних гранул (granule) фіксованого розміру з однією орбітою. Гранула - це мінімальна неподільна частина супутникового зображення. Для рівнів обробки Level-1C і Level-2A гранули являють собою орто-зображення розміром 100x100 км<sup>2</sup> в проекції UTM/WGS84.

Для автоматизації процесу завантаження даних Sentinel-2 було обрано Python бібліотеку Sentinelsat, спеціально розроблену для взаємодії з API сервісами дистрибуції даних програми Sentinel. Сценарій автоматичного завантаження даних потребує параметризації перед використанням. Зокрема, в якості вхідних параметрів необхідно вказати файл цільової досліджуваної території в форматі GeoJSON, а також дату початку/кінця зйомки (період, за який ми маємо бажання отримати зображення) та максимальний допустимий рівень захмареності зображень. Останній параметр є доволі суб'єктивним, оскільки в метаданих він розраховується методами дистриб'ютора даних і має певну неточність. Неточність пов'язана в основному з тим, що хмари для поверхневої оцінки детектуються на даних з просторовим розрізненням в 60м. Код спеціально розробленого програмного сценарію s2\_download представлено нижче.

s2\_download.py ( )

```
from sentinelsat.sentinel import SentinelAPI, read_geojson, geojson_to_wkt
import sentinelsat
from datetime import date
import os

def download_sentinel2(geojson_aoi, image_storage_path, start_acquisition,
end_acquisition):
    # geojson_aoi - full path to the .geojson Area Of Interest file
    # image_storage_path - directory, where to store download results
```

```

# start_acquisition, end_acquisition - date range for acquired
images if os.path.isdir(image_storage_path) and
os.path.isfile(geojson_aoi):
    # login = your login here https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home
    # password = your pass
    login = 'login' # PLACE FOR YOUR LOGIN
    password = 'password' # PLACE FOR YOUR PASSWORD
    api_url = 'https://scihub.copernicus.eu/dhus'
    api_url_alt = 'https://scihub.copernicus.eu/apihub/'
    api = SentinelAPI(login, password, api_url)
    another_api = SentinelAPI(login, password, api_url_alt)

    # convert GeoJSON to wkt
    footprint = geojson_to_wkt(read_geojson(geojson_aoi))
    products = api.query(footprint,
                        date=(start_acquisition, end_acquisition),
                        platformname='Sentinel-2',
                        producttype='S2MSI2A', # S2MSI2A S2MSI1C
                        cloudcoverpercentage=(0, 25))

    try:
        api.download_all(products, image_storage_path, checksum=False)
    except sentinelapi.SentinelAPIError:
        print('User', login, 'offline products retrieval quota
exceeded')

        # another_api.download_all(products, image_storage_path,
checksum=False)
        # print('an error occurred while downloading ', products)
        # error_list.append(products)

    print()
    # return title_list
else:
    print("incorrect AOI file or directory doesn't exist")
    # return None

def main():

```

```

aoi_name = "some.json" # AOI FileName (GeoJSON) directory
out_dir = "d:\\folder\\" # Out Directory for keeping result
download_sentinel2(aoi_name, out_dir, date(2019, 06, 15), date(2019,
006, 30))

if __name__ == "__main__":
    main()

```

### 2.1.2 Дані космічного апарату Landsat-8

Програма Landsat — це програма геологічної служби США (USGS), спрямована на розробку та запуск на земну орбіту серії супутників для спостереження за Землею. Дана програма реалізувала найдовший безперервний космічний запис поверхні Землі серед усіх існуючих. Щодня супутники Landsat обертаються навколо Землі та надають важливу інформацію, щоб допомогти землевпорядникам приймати обґрунтовані рішення щодо наших природних ресурсів та навколишнього середовища [4].

Супутник Landsat 8, запущений в 2013 році, надає 16-бітові високоякісні дані (30м з можливістю просторового трансформування в 15м) про поверхню Землі з інструментами, що розширюють можливості майбутніх вимірювань, забезпечуючи сумісність з історичними даними Landsat. Landsat 8 обертається навколо Землі по сонячно-синхронній, близько полярній орбіті, на висоті 705 км, нахилений під кутом 98,2 градуса, і здійснює один оберт навколо Землі кожні 99 хвилин. Супутник має 16-денний повторний цикл. Однак дані на перетинах смуг прольоту постачаються раз в 8 діб.

Landsat 8 отримує близько 740 сцен щодня у системі path/row WRS-2 з перекриттям смуги (або бічним нахилом) від 7 відсотків на екваторі до максимуму приблизно 85 відсотків на екстремальних широтах. Розмір сцени Landsat 8 становить 185 км x 180 км.

Бортівий скануючий прилад Operational Land Imager (OLI) збирає дані у видимому, ближньому інфрачервоному та короткохвильовому діапазонах довжин хвиль, а також у панхроматичному діапазоні. Він спеціально

розроблений корпорацією Ball Aerospace & Technologies. Зйомку OLI проводить в дев'яти спектральних діапазонах, включаючи панхромну смугу:

- Канал 1 видимий (Visible) - (0,43 - 0,45 мкм) 30 м;
- Канал 2 видимий (Visible) - (0,450 - 0,51 мкм) 30 м;
- Канал 3 видимий (Visible) - (0,53 - 0,59 мкм) 30 м;
- Канал 4 червоний (Red) - (0,64 - 0,67 мкм) 30 м;
- Канал 5 ближній інфрачервоний (NIR) - (0,85 - 0,88 мкм) 30 м;
- Канал 6 ближній інфрачервоний (SWIR 1) - (1,57 - 1,65 мкм) 30 м;
- Канал 7 ближній інфрачервоний (SWIR 2) - (2,11 - 2,29 мкм) 30 м;
- Канал 8 панхроматичний (PAN) - (0,50 - 0,68 мкм) 15 м;
- Канал 9 виявлення перистих хмар - (1,36 - 1,38 мкм) 30 м.

OLI фіксує дані з покращеною радіометричною точністю в 12-бітному динамічному діапазоні, що покращує загальне співвідношення сигнал/шум. Це означає 4096 потенційних рівнів сірого в порівнянні з лише 256 рівнями сірого в 8-розрядних інструментах Landsat 1-7. Покращені характеристики сигнал/шум дають змогу покращити спектральні характеристики цифрових значень пікселів.

12-розрядні дані масштабуються до 16-бітових цілих чисел і передаються в продукти даних рівня 1. Продукти масштабуються до 55 000 рівнів сірого, і їх можна змінити до відбиття та/або випромінювання верхньої частини атмосфери за допомогою радіометричних коефіцієнтів зміни масштабу, наданих у файлі метаданих продукту.

Thermal InfraRed Sensor (TIRS) — створений Центром космічних польотів імені Годдарда NASA. Має дві спектральні смуги:

- Канал 10 TIRS 1 (10,6 - 11,19 мкм) 100 м;
- Канал 11 TIRS 2 (11,5 - 12,51 мкм) 100 м.

Завантажуються дані за допомогою сервісу <https://earthexplorer.usgs.gov/>.  
 На рис.2.2 наведений інтерфейс формування запиту на пошук супутникових знімків до постачальника даних.

Основні параметри запиту:

- цільова територію (AOI - area of interest);
- проміжок часу, за який нас цікавлять дослідження;
- джерело даних - супутник Landsat;
- рівень обробки даних.

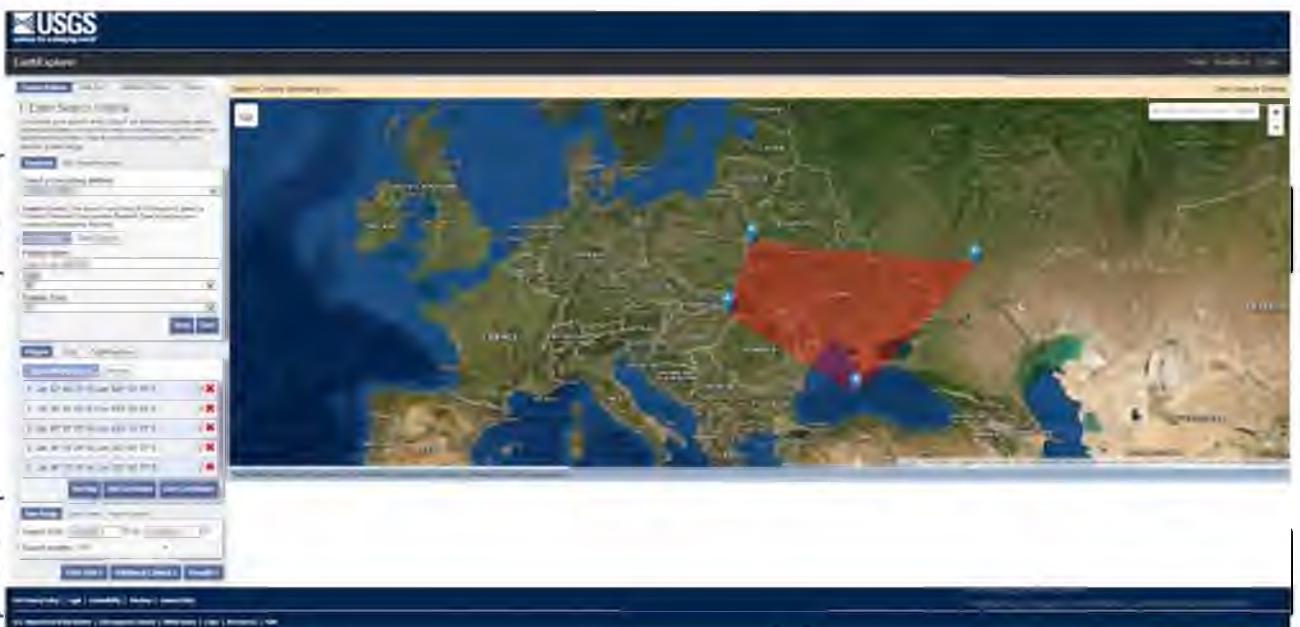


Рисунок 2.2 – Інтерфейс формування запиту до постачальника даних, EarthExplorer Landsat

Результат запиту: глобальний продукт Landsat ARD надається у вигляді набору тайлів (tile) розміром 1 x 1 градус. Імена плиток є похідними від центру плитки і відносяться до їхнього цільового значення градусів центру плитки.

Для автоматизації процесу вивантаження даних Landsat-8 OLI/TIRS було використано python бібліотеку Landsatxplore [6], спеціально реалізовану для взаємодії з сервісами дистрибуції даних засобами API. Створений в ході дослідження програмний сценарій 18 download реалізовує автоматичне вивантаження даних зображень Landsat-8. Параметризація програмного

сценарію повністю ідентична до аналогічного, створеного для вивантаження даних Sentinel-2 для більшої уніфікації програмних інтерфейсів всередині розроблюваної смарт-технології.

### 18\_download.py ( )

```
# coding=utf-8
import landsatxplore.api
from pymysql import cursors, connect
from pymysql.connections import Connection
from landsatxplore.earthexplorer import EarthExplorer
import json
from datetime import datetime, date, timedelta
import shapely
from shapely.geometry import mapping

def connect_db():
    """
    Підключення до бд
    """
    try:
        connection = connect(host='localhost',
                             user='root',
                             password='Life2019',
                             db='nules',
                             charset='utf8mb4',
                             cursorclass=cursors.DictCursor) # type:
        Connection
        print ("connect successful!!")
        return connection
    except:
        print ("connect error!!")

def list_of_target(connection, start_acquisition, end_acquisition):
    """
    Формування списку гранул, які необхідно завантажити
    """
```

```

cursor = connection.cursor()
sql = ("SELECT calendar_granule.date_investigation,
calendar_granule.name_granule, "
"calendar_granule.orbit, calendar_granule.idS, aoi.geometry "
"FROM calendar_granule, aoi "
"where aoi.orbit = calendar_granule.orbit and aoi.name_granule=
calendar_granule.name_granule "
"and calendar_granule.idS= 'LC8' "
"and calendar_granule.downloaded = '0' "
"and `date_investigation` > %s and `date_investigation` < %s")
cursor.execute(sql, (start_acquisition, end_acquisition))
records = cursor.fetchall()
return records

```

```

def form_location(json_data):
    """
    Формування координат АОІ
    """
    footprint =
shapely.geometry.Polygon(json_data['features'][0]['geometry']['coordinates'
][0])
    if not footprint.buffer(-0.2).is_empty:
        footprint = footprint.buffer(-0.2).bounds
    else:
        footprint = footprint.bounds
    location = (footprint[1], footprint[0], footprint[3], footprint[2])
    return location

```

```

def result_of_search(api, location, start_acquisition, end_acquisition,
dataset, max_cloud):
    """ Результат пошукового запиту до сервісу
    """
    scenes = api.search(
        dataset=dataset,
        bbox=location,
        start_date=start_acquisition.strftime('%Y-%m-%d'),
        end_date=end_acquisition.strftime('%Y-%m-%d'),
        max_cloud_cover=max_cloud)
    return scenes

```

```

def download_1(image_storage_path, start_date, end_date):
    username = ''
    password = ''
    api = landsatxplore.api.API(username, password)
    ee = EarthExplorer(username, password)
    connection = connect_db()
    records = list_of_target(connection, start_date, end_date)
    cursor = connection.cursor()
    for record in records:
        start_acquisition = record['date_investigation']
        end_acquisition = start_acquisition + timedelta(days=1)
        json_data = json.loads(record['geom'])
        location = form_location(json_data)
        scenes = result_of_search(api, location, start_acquisition,
end_acquisition, 'LANDSAT_8_C1', 100)

        for scene in scenes:
            print(scene['acquisitionDate'] + " " + scene['entityId'])
            try:
                ee.download(scene['displayId'], image_storage_path)
                sql_downloaded = ("update agro.calendar_granule set
downloaded=%s "
                                "where name_granule = %s and orbit = %s
and date_investigation = %s")
                cursor.execute(sql_downloaded, ('1',
scene['displayId'][10:16], '-', datetime.strptime(scene['acquisitionDate'],
"%Y-%m-%d")))
                sql_not_in_process = ("update agro.calendar_granule set
in_process=%s "
                                    "where name_granule = %s and orbit =
%s and date_investigation = %s")
                cursor.execute(sql_not_in_process, ('0',
scene['displayId'][10:16], '-', datetime.strptime(scene['acquisitionDate'],
"%Y-%m-%d")))
            except:
                sql_in_process = ("update agro.calendar_granule set
in_process=%s "

```

```

"where name_granule = %s and orbit = %s
and date_investigation = %s")
cursor.execute(sql_in_process,
('0', scene['displayId'][10:16], '-', scene['acquisitionDate']))

connection.commit()

def main():
    out_dir = "D:\\Project\\"
    download_1(out_dir, date(2019, 0o7, 0o1), date(2019, 8, 30))

if __name__ == "__main__":
    main()

```

## 2.2 Маскування неліквідних даних на оптичних зображеннях

Одним з факторів, що впливає на ефективність використання оптичних супутникових знімків, є рівень хмарності (співвідношення площі знімка, покритої хмарами та їх тінями до загальної площі знімку). Оскільки в оптичному діапазоні хмари не просвічуються, це призводить до виникнення на знімку ділянок, для яких відсутня інформація про поверхню Землі. Хмари та тіні також вносять певного роду похибки в спектральні характеристики пікселів-сусідів в межах досліджуваної території зображення. Саме тому для якісного аналізу супутникових знімків в межах даного проекту було вирішено замаскувати хмари, димки, та їх тіні.

Для ідентифікації хмар та їх тіней в даному дослідженні використані два підходи. Перший з них – неймережевий підхід, що спеціально розроблений для ідентифікації хмар та їх тіней на зображеннях Sentinel-2. Практичну реалізацію цього методу втілено в Python бібліотеку *s2cloudless*. Інший підхід полягає в використанні Python реалізації алгоритму *Fmask*, а саме останньої

його модифікації `Fr_mask4`. Спеціально для даного проекту було адаптовано (параметрично) вищезгадані підходи для досліджуваної території і реалізовано програмний сценарій `cloud_detector`, який на основі зображень Landsat та Sentinel буде відповідні маски хмар/тіней в растровому представленні.

`cloud_detector.py`

```
import rasterio
from rasterio import Affine
from rasterio.warp import reproject, Resampling
from s2cloudless import S2PixelCloudDetector
import time
import numpy as np
import os
import sys

def import_s2_band_by_name(band_dir, pixel_size):
    print("processing ", band_dir[-6:-4], " band")
    band = band_resize(band_dir, pixel_size)
    print(band.shape)
    return band

def band_resize(band_dir, required_pixel_size):
    # this function re-projects input band (bu given directory) to a
    output band (array) with required pixel size
    with rasterio.open(band_dir) as src_band:
        src_data = src_band.read()
        s = src_band.transform
        # checking what pixel size is bigger, actual or requested
        # if actual bigger then required -> downscaling the image to
        required pixel size
        if src_band.transform.a > required_pixel_size:
            scaling_factor = src_band.transform.a / required_pixel_size
            im_x_size = int(src_band.shape[0] * scaling_factor)
            im_y_size = int(src_band.shape[1] * scaling_factor)
            dst_data = np.zeros((im_x_size, im_y_size), src_band.dtype[0])
```

```

dst_transform = Affine(src_band.transform.a / scaling_factor,
                       src_band.transform.b,
                       src_band.transform.c, src_band.transform.d,
                       src_band.transform.e / scaling_factor,
                       src_band.transform.f)

print(src_band.meta)
print(dst_transform)
reproject(src_data, dst_data, src_transform=src_band.transform,
          src_crs=src_band.crs,
          dst_transform=dst_transform,
          dst_crs=src_band.crs,
          resampling=Resampling.lanczos)

return dst_data

```

```

# if actual pixel size is lower -> up-scaling the image to required
size
elif src_band.transform.a < required_pixel_size:
    scaling_factor = required_pixel_size / src_band.transform.a
    im_x_size = int(src_band.shape[0] / scaling_factor)
    im_y_size = int(src_band.shape[1] / scaling_factor)
    dst_data = np.zeros((im_x_size, im_y_size), src_band.dtypes[0])

```

```

dst_transform = Affine(src_band.transform.a * scaling_factor,
                       src_band.transform.b,
                       src_band.transform.c, src_band.transform.d,
                       src_band.transform.e * scaling_factor,
                       src_band.transform.f)

```

```

print(dst_transform)
reproject(src_data, dst_data, src_transform=src_band.transform,
          src_crs=src_band.crs,
          dst_transform=dst_transform,
          dst_crs=src_band.crs,
          resampling=Resampling.lanczos)

return dst_data

```

```

else:
    return src_data[0] # to prevent returning (1, x, y) matrix
instead of (x, y)

```

```

def bands_stack(data_dir, pixel_size):

```

```

# this function is for importing required band from directory and
forming the bands array for future classification
band_size = int(10980 / (pixel_size / 10)) # definition of Sentinel 2
band pixel-size (10980x10980 in 10m)

# s2_required_bands = {"b01", "b02", "b04", "b05", "b08", "b8a", "b09",
"b10", "b11", "b12"} # required s2a bands

# lc8_required_bands = {"b1", "b2", "b4", "b5", "b5", "b5", "b09",
"b9", "b6", "b7"} # required s2a bands

required_bands = {"b01", "b02", "b04", "b05", "b08", "b8a", "b09",
"b10", "b11", "b12"} # required bands

out_array = np.zeros((1, band_size, band_size, 10),
dtype=np.float64) # forming the output set of bands (array)

band_counter = 0

```

```

files_list = os.listdir(data_dir + "IMG_DATA\\") # diving into a
folder, where bands are placed
bands = [item[-7:-4].lower() for item in files_list]

```

```

if required_bands.intersection(bands) == required_bands:
    for item in files_list:
        if item[-7:-4].lower() in required_bands:
            out_array[0, :, :, band_counter] =
import_s2_band_by_name(data_dir + "IMG_DATA\\" + item, pixel_size)
            band_counter = band_counter + 1

    return out_array / 10000.0
else:
    print("no needed data found at ", data_dir + "\\IMG_DATA\\")
    sys.exit(1)

```

```

def cloud_masks_export(granule_dir, probability_map, cloud_mask,
pixel_size):
    band_list = {10: "b02", 20: "b05", 60: "b01", 30: "b1"}
    files_list = os.listdir(granule_dir + "IMG_DATA\\")
    band_name = [item for item in files_list if
band_list[pixel_size].upper() in item]
    band_name = band_name[0]

```

```

# [FBD] need to proceed more CORRECTLY
# need some source data (band) to export maps with geo-referenced TIFF
with rasterio.open(granule_dir + "IMG_DATA\\" + band_name) as src:
    # exporting the cloud mask
    with rasterio.open((granule_dir + "IMG_DATA\\" + str(band_name[:-7]) + "CLOUDS.TIF"), "w", driver='GTiff',
                       height=cloud_mask.shape[1],
                       width=cloud_mask.shape[2],
                       count=1,
                       dtype=rasterio.uint8,
                       crs=src.crs,
                       transform=src.transform) as dest:
        dest.write(cloud_mask)
        mask_status = True

```

```

# exporting the cloud probability mask
with rasterio.open(granule_dir + "IMG_DATA\\" + str(band_name[:-7]) + "CLOUDS_PROB.TIF", "w", driver='GTiff',
                   height=probability_map.shape[1],
                   width=probability_map.shape[2],
                   count=1,
                   dtype=rasterio.uint8,
                   crs=src.crs,
                   transform=src.transform) as dest:
    dest.write(np.uint8(probability_map))
    prob_status = True

    if mask_status and prob_status:
        return True
    else:
        return False

```

```

def main():
    start_time = time.time() # starting timer

    # scenario constants list
    cloud_probability = 0.2 # Cloud probability threshold value
    avg_probability_buffer = 4 # pixel-buffer for averaging cloud probability
    cloud_buffer = 5 # cloud masking buffer

```

```

pixel_size = 10 # setting the pixel size (10m for Sentinel-2 is a
priority)

# directory of the Sentinel-2 granule (image to be processed)
input_dir =
"d:\\PyProjects\\Cloud_Test\\L1C_T36UVB_A017164_20181005T090318\\"

# forming the dataset (array of required bands) for cloud detection
bands = bands_stack(input_dir, pixel_size)

# cloud masking (bands classification)
print("cloud detection")

cloud_detector = S2PixelCloudDetector(threshold=cloud_probability,
average_over=avg_probability_buff
er,
dilation_size=cloud_buffer)

# getting cloud probability mask [1:100]
cloud_probability_map =
cloud_detector.get_cloud_probability_maps(bands)

# getting cloud mask [0,1]
cloud_mask =
cloud_detector.get_cloud_masks(bands).astype(rasterio.uint8)

print("exporting results")
print("cloud mask size = ", cloud_mask.shape) # [0], mask.shape[1],
mask.shape[2])
print("cloud mask size = ", cloud_mask.shape) # [0], mask.shape[1],
mask.shape[2])

print("cloud probability mask size = ", cloud_probability_map.shape)

# exporting the cloud mask
if cloud_masks_export(input_dir, cloud_probability_map*100, cloud_mask,
pixel_size):

# calculating the processing time
end_time = time.time()

print("exporting finished")
print("ELAPSED TIME - ", end_time - start_time)
else:
print("can't export masks into files")

```

```

sys.exit(1)

if __name__ == "__main__":
    main()

```

В вищезазначеному сценарію, функція `band_resize` здійснює перетворення просторового розрізнення каналів вхідного зображення до найменшого можливого (у випадку Sentinel-2 – 10м, у випадку Landsat-8 – 15м). Функція `bands_stack` формує масив каналів зображення для подальшого розпізнавання. Функція `cloud_masks_export` здійснює експортування маски пікселів, що відповідають хмарам/тіням в зовнішній GeoTIFF файл, який в подальшому може бути використаний для маскування хмар/тіней при картуванні вегетаційних індексів.

Логіка застосування маски хмар в ході створення карт вегетаційних індексів доволі проста. Пікселі зображення, що не несуть об'єктивної інформації про стан посівів, повинні бути вилучені з зображення, з метою запобігання спотворення статистичних характеристик досліджуваного об'єкта (поля). Схему видалення пік селів візуалізувати доволі просто, див. рис. 2.3.

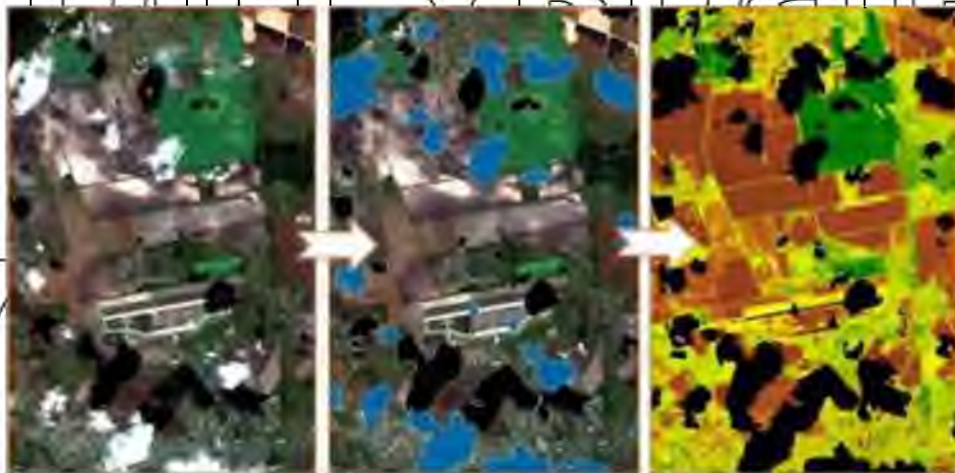


Рис. 2.3. схема маскування хмар та їх тіней на супутниковому зображенні та карті вегетаційного індекса NDVI

В ході даного дослідження, для території України впродовж останніх 5ти років (2016-2021рр.) було проведено усереднену оцінку захмареності

супутникових зображень в розрізі регіонів України за вегетаційний період основних с/г культур (січень-серпень). В результаті статистичного дослідження, на основі даних Sentinel-2 та Landsat-8 було визначено, що найбільш сприятливими місяцями для дистанційного спостереження є червень та квітень, водночас найменш сприятливими (з точки зору захмареності) – січень, березень та травень (див. рис. 2.4).

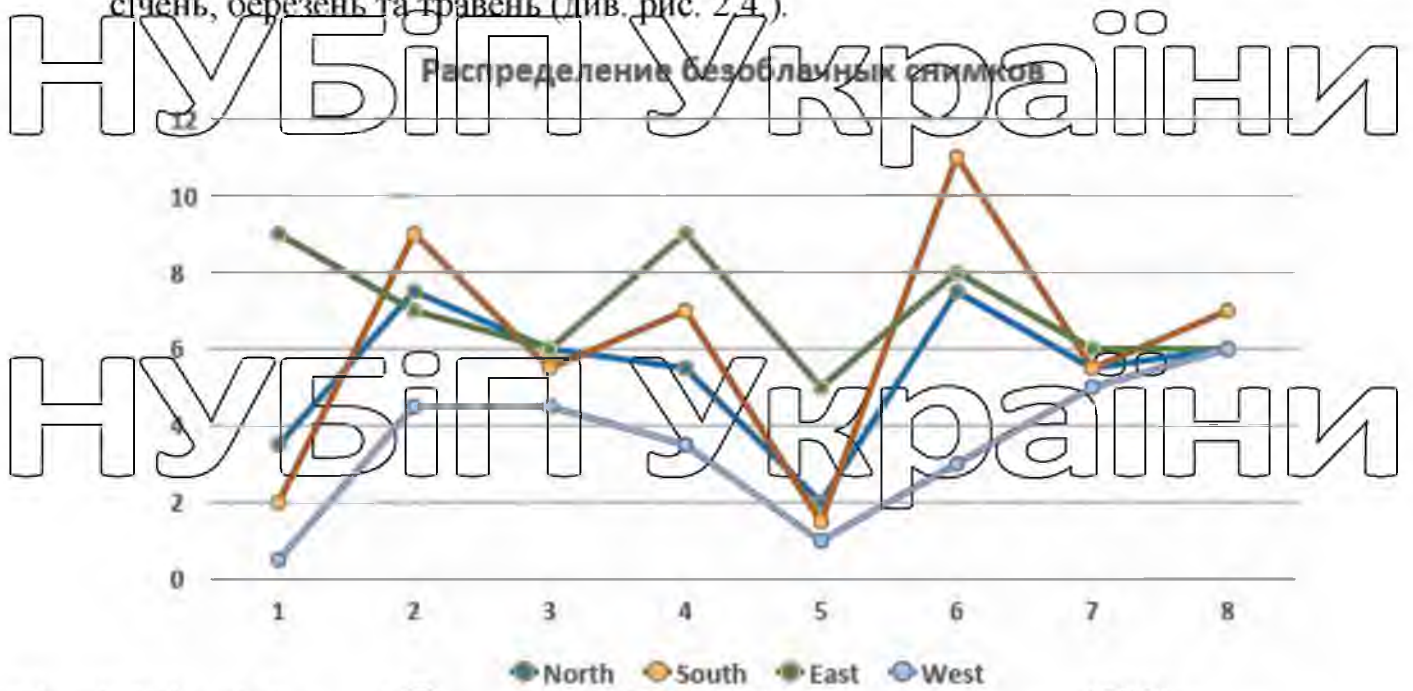


Рис. 2.4. розподіл середньої кількості безхмарних знімків по регіонах України (North – північ, South – південь, East – схід, West – захід) за 2016-2021 рр.

В той же час, розподіл захмареності зображень за досліджувані роки показав, що майже 36% від усіх зображень, відзнятих за вегетаційний сезон є повністю безхмарними, 15% - мають захмареність до 50% і 49% - майже не придатні до аналізу (див. рис. 2.5.).

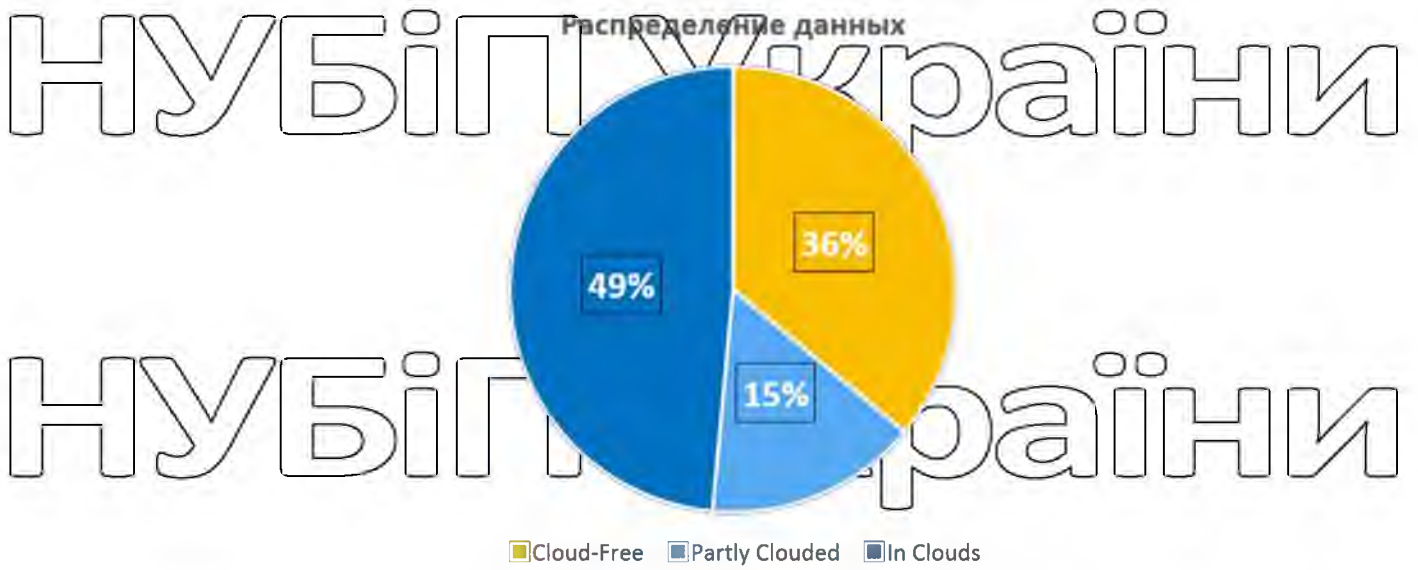


Рис. 2.5. – кругова діаграма розподілу % від загальної кількості зображень за вег. сезон для території України по рівню захмареності. Cloud-free – безхмарні, Partly Clouded – частково захмарені, In clouds – захмарені.

Для проведення такого дослідження були сформовані карти-схеми покриття території України зображеннями космічних апаратів Landsat-8 та Sentinel-2 A/B. Дані карти схеми презентовані на рисунках 2.6. (для Landsat-8) і 2.6.1 (для Sentinel-2), і дають можливість візуально та практично оцінити фактичні періоди ревізиту різних ділянок території України зазначеними супутниками. У випадку Landsat-8 зони перекриття мають ревізит 8 діб, при формальному ревізиті смуг в 16 діб. Для супутників Sentinel-2 зони перекриття відзнімаються раз в 2-3 доби, а звичайні смуги прольоту раз в 5 діб.

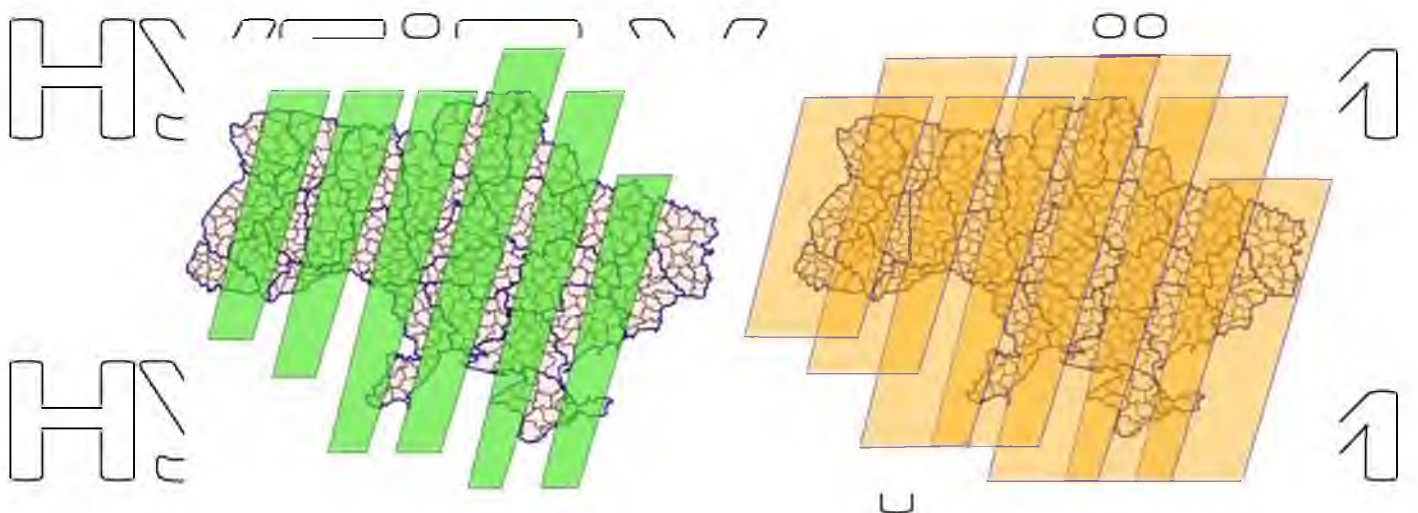




Рис. 2.6. – смуги перекриття прольотів космічного апарату Landsat-8 (а) з ревізитом в 8 діб, та смуги прольоту Landsat-8 над територією України

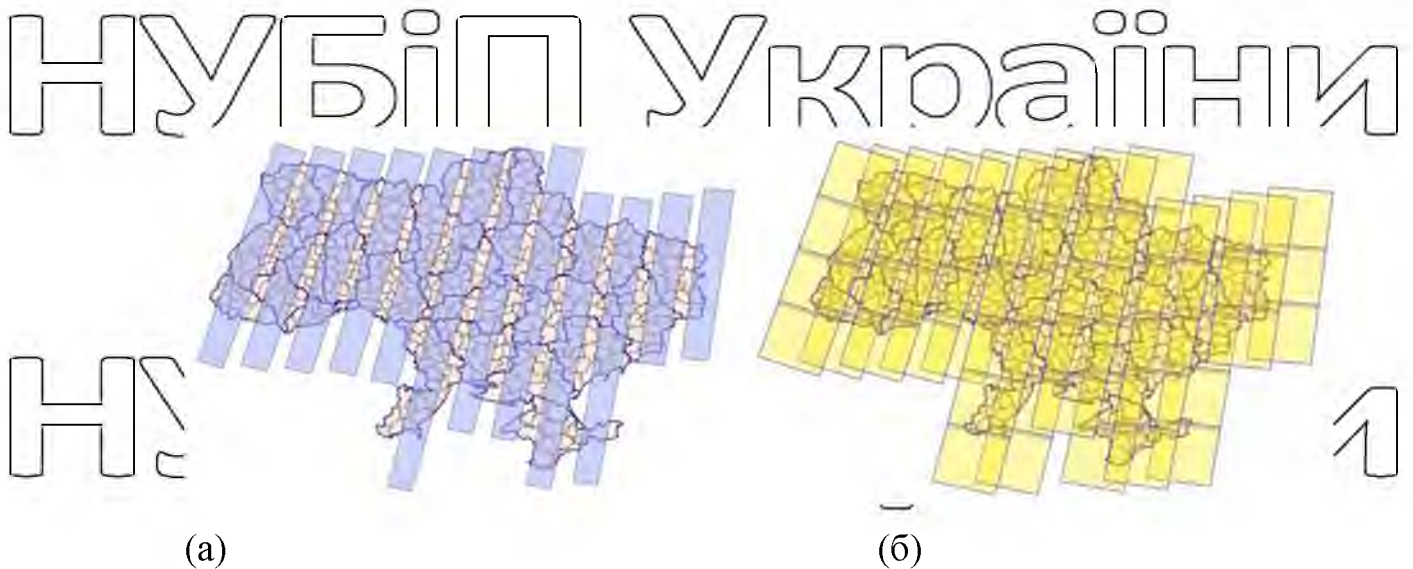


Рис. 2.6.1. – смуги перекриття прольотів космічних апаратів Sentinel-2 з ревізитом в 2-3 доби, та смуги прольоту Sentinel-2 A/B над територією України

## 2.3. Формування карт вегетатійних індексів на основі супутникових даних

Існує велика кількість індексів, створених на основі спектральних характеристик об'єктів, розташованих на поверхні Землі. Частина з цих індексів емпіричні, частина має доволі глибоке біологічне, чи фізичне підґрунтя. Велику їх кількість, а також формули їх обрахування на основі різних джерел супутникової інформації можна знайти в міжнародній базі індексів. Одним з найбільш широкочживаних, популярних і розповсюджених у використанні (коли мова йде про моніторинг за посівами, чи їх біофізичними характеристиками) є індекс NDVI. Для картування цього індексу в межах

даного проекту було реалізовано спеціальний програмний сценарій ndvi\_maker.py на мові програмування Python (див. нижче) [8].

### Ndvi\_maker.py

```
import rasterio
import gdal
import numpy
import os
import time

def read_lut(lut_fn): # this function reads the color-table from LUT file
    lut_entries = 256
    lut = numpy.loadtxt(lut_fn)
    assert len(lut) >= lut_entries
    assert lut.shape[1] >= 4
    print(len(lut))
    print(lut_entries)
    print(lut.shape[1])
    return lut

def add_lut(lut_fn, data_fn): # add color-table to the GeoTIFF file
    lut_entries = 256
    lut = read_lut(lut_fn)
    in_dataset = gdal.Open(data_fn, gdal.GF_Write)
    band = in_dataset.GetRasterBand(1)
    color_table = gdal.ColorTable()
    for i, entry in enumerate(lut[:lut_entries]):
        entry = tuple(int(max(0, min(255, 255*u))) for u in entry)
        color_table.SetColorEntry(i, entry)
    band.SetColorTable(color_table)
    in_dataset.FlushCache()
    del in_dataset

def make_ndvi(bands_path, all_bands_present, band_list, color_mode): #
    this func make ndvi routines
    required_bands = {'b08', 'b04'}
```

```

red_name = [item for item in band_list if item[-11:-8].lower() ==
'b04']
nir_name = [item for item in band_list if item[-11:-8].lower() ==
'b08']

print(red_name[0])
print(nir_name[0])

print(required_bands.intersection(all_bands_present) == required_bands)

```

```

if required_bands.intersection(all_bands_present) == required_bands:
    print(bands_path+red_name[0])
    with rasterio.open(bands_path+red_name[0]) as red:
        with rasterio.open(bands_path+nir_name[0]) as nir:
            b4 = red.read(1) # reading red band
            b8 = nir.read(1) # reading NIR band
            print(b4.shape[0])
            print(red.bounds)
            numpy.seterr(divide='ignore', invalid='ignore')
            # ndvi = (((b8 - b4) / (b8 +
b4))*255).astype(numpy.uint8) # making NDVI [Vegetation Index FORMULA]
            ndvi = (((b8 - b4) / (b8 + b4)) * 255).astype(numpy.uint8)
            # AVI= nthroot(((B8(i,j)+1)*(65535 - B4(i,j))*(B8(i,j) -
B4(i,j))),3)/65;
            ndvi[ndvi > 253] = 253 # filtering service values

            kwargs = red.meta
            kwargs.update(dtype=rasterio.uint8, driver='GTiff')
            with rasterio.open(bands_path+red_name[0][:-7]+"NDVI.TIF",
'w', **kwargs) as dst:
                dst.write(ndvi, indexes=1)

```

```

if color_mode:
    add_lut('d:\\SCENARIO\\palettes\\new\\ndvi_palette.lut'
, bands_path+red_name[0][:-7]+"NDVI.TIF")
    return True

else:
    print("not all band required for NDVI found")
    return False

```

```

def main():
    start_time = time.time() # starting timer
    working_directory = ''

```

```

folders_list = os.listdir(working_directory)
if make_ndvi(path + "IMG_DATA\Flora\*", bands, band_list,
color_mode):
    print(path, ' completed')
    end_time = time.time()
    print("ELAPSED TIME - ", end_time - start_time)

```

```

end_time = time.time()
print("ELAPSED TIME - ", end_time - start_time)
print()

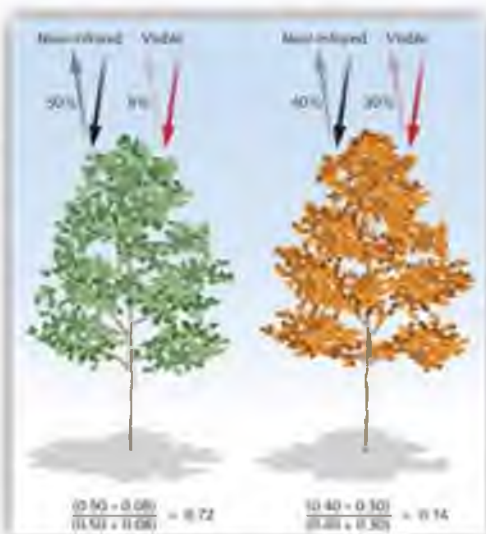
```

```

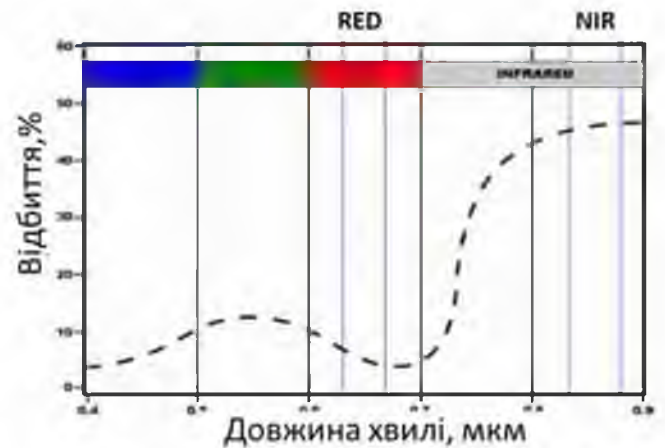
if __name__ == "__main__":
    main()

```

Варто зазначити, що біофізичний зміст даного індексу доволі простий, і легко ілюструється залежністю альbedo (відбиваючої здатності поверхні) від довжини хвилі досліджуваного спектру. NDVI розраховується на базі червоного та ближнього інфрачервоного спектральних діапазонів. І в цих діапазонах спостерігається чітка залежність між співвідношенням цифрових значень пікселів для зеленої та поживної, чи сухої рослинності. Більша концентрація фотосинтетично активної біомаси в пікселі призводить до більшого значення NDVI, і навпаки.



(a)



(b)

Рис. 2.7. – Візуалізація залежностей «стану рослинності» (а) та спектральних характеристик рослинності в червоному та ближньому інфрачервоному спектрах (б).

В даному дослідженні було вирішено формувати карти вегетаційного індексу по окремо для кожного досліджуваного поля для кожної окремо взятої супутникової зйомки. Тип даних зображень вирішено було взяти за Byte (0-255) для економії статичної пам'яті, яку займатимуть файли в файлової системі. Сам NDVI має діапазон зміни значень від -1 до 1, створені ж карти зберігатимуться в PNG форматі типу Byte з інтегрованою колірною палітрою, яку спеціально створили і адаптували автори даного дослідження. Інтеграцію палітри до файлу карти здійснює функція `add_lut`. Палітра являється структурованим `lut` файлом зберігається окремо (не в програмному коді). Візуалізацію колірної палітри можна побачити праворуч у вкладці «супутниковий моніторинг посівів» інтерфейсу користувача на рис. 2.8.



Рис. 2.8. – Візуалізація карт NDVI для території полів Казахстану створених на основі даних Sentinel-2B від 30 серпня 2020 р.

Параметри налаштування колірної палітри підбрано спеціально, беручи до уваги численні наземні дослідження та експедиції на території дослідних господарств у порівнянні з спектральними характеристиками супутникових

зйомок за наближені до наземних експедицій дати. Структуру пагіри можна знайти в ДОДАТКУ А до даного звіту

Використання індексу NDVI для моніторингу посівів має також і ряд

своїх недоліків. На ранніх етапах розвитку рослин, коли видно лише перші сходи, і листова поверхня складає 20-30% площі, або ж на піку вегетації цей

індекс не найкраще візуалізує неоднорідності розвитку рослин (рис.2.9.). Коли

ж концентрація біомаси на квадратний метр наєичується (рис. 2.10.) – це

призводить і до наєичення індексу до близьких до 1 значень, в результат чого

він перестає бути далі інформативним.

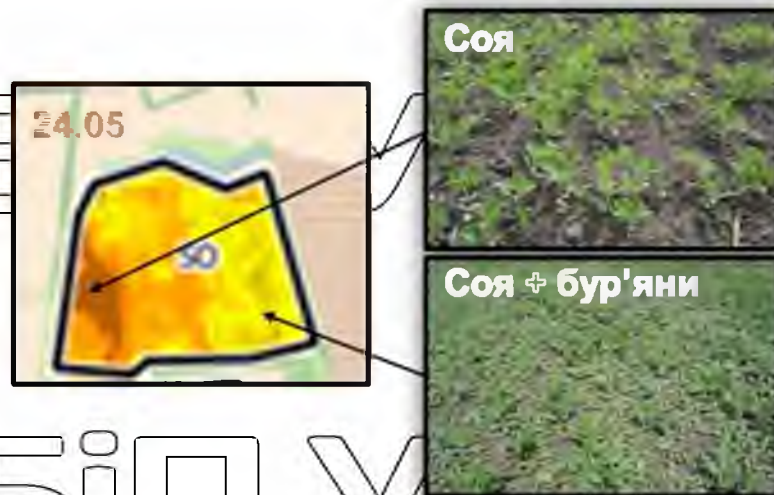


Рис. 2.9. – Карта вегетаційного індексу NDVI від 25 травня 2018 р. та отримані

на полі фото-матеріали посівів сої на початку вегетаційного сезону.



Рис. 2.10. – Карты вегетаційного індексу NDVI від 18 липня та 3 серпня та фото-матеріали кукурудзи в моменти пікової концентрації біомаси.

Саме у зв'язку з недоліками використання вегетаційного індексу NDVI в межах даного дослідження було вирішено провести апробацію інших вегетаційних індексів, що розраховуються на основі оптичних супутникових даних.

Однією з неограничених альтернатив NDVI може виступати відносний індекс водного стресу рослин (NDWI, або SIWSI). Індекс водного стресу показує відносний стан концентрації вологи в рослинах і візуалізує неоднорідності розподілу вологи в рослинах на полі. Він більше ефективний для моніторингу сільськогосподарських культур (рис. 2.11.).

Проведене дослідження карт вегетаційних індексів NDVI та даних наземних спостережень Казахстану дозволило розробити спеціалізовану кольорову палітру для інформаційного продукту «водний стрес рослин» (Додаток Б), яка при застосуванні дозволить набагато ефективніше та інтуїтивно зрозуміліше використовувати даний продукт.

NDVI ВОДНИЙ СТРЕС  
НУБІП України

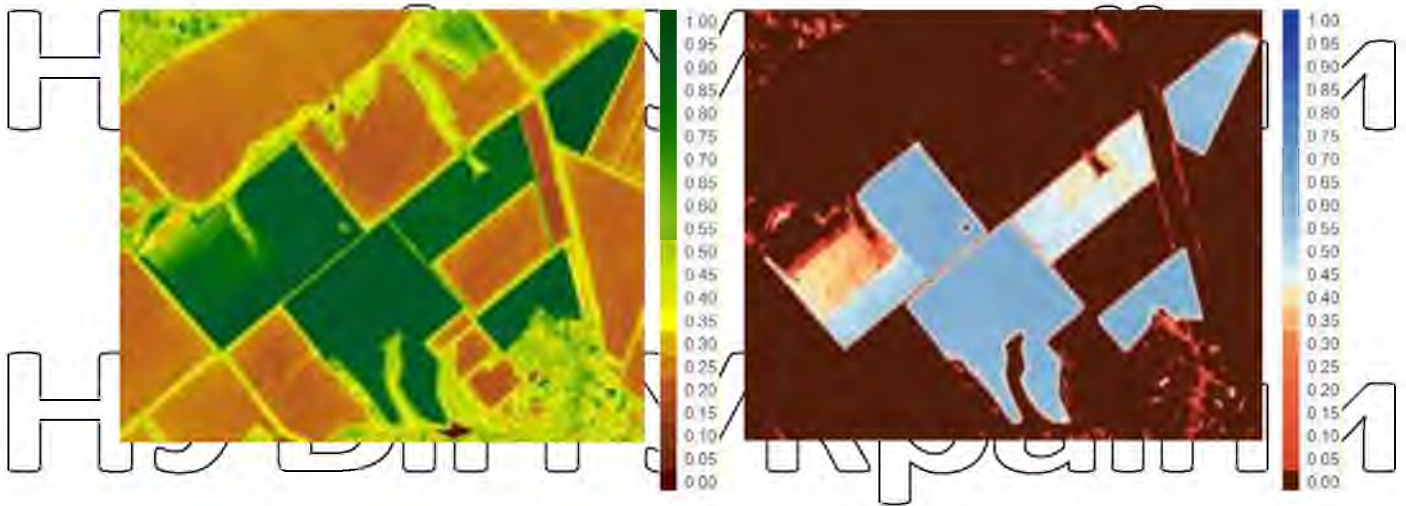


Рис. 2.11. – Порівняння карт NDVI та водного стресу над досліджуваною територією за 18 вересня 2019 року.

Проаналізувавши карти NDWI до опадів та після дощу аграрії можуть проаналізувати, як рослина почала в себе вбирати вологу, які ділянки дощоминув, а де рослини зазнають водного стресу і можуть почати сохнути. Якщо ж над полем постійна хмарність і супутникових даних не вистачає, то саме час випустити флотилію дронів на поля. До речі, водний стрес також можна моніторити й дронами, однак для цього потрібно використовувати спеціальні нещезеві мультиспектральні камери.

#### 2.4. Аналіз неоднорідності карт вегетаційних індексів

Неоднорідність карти вегетаційного індексу – це міра варіативності значень індексу, що входять в вибірку даних карти. Тобто чим більша неоднорідність, тим більше потенційних проблем з ґрунтом чи рослинами може бути в межах поля на даному етапі дослідження (див. рис. 2.12.)

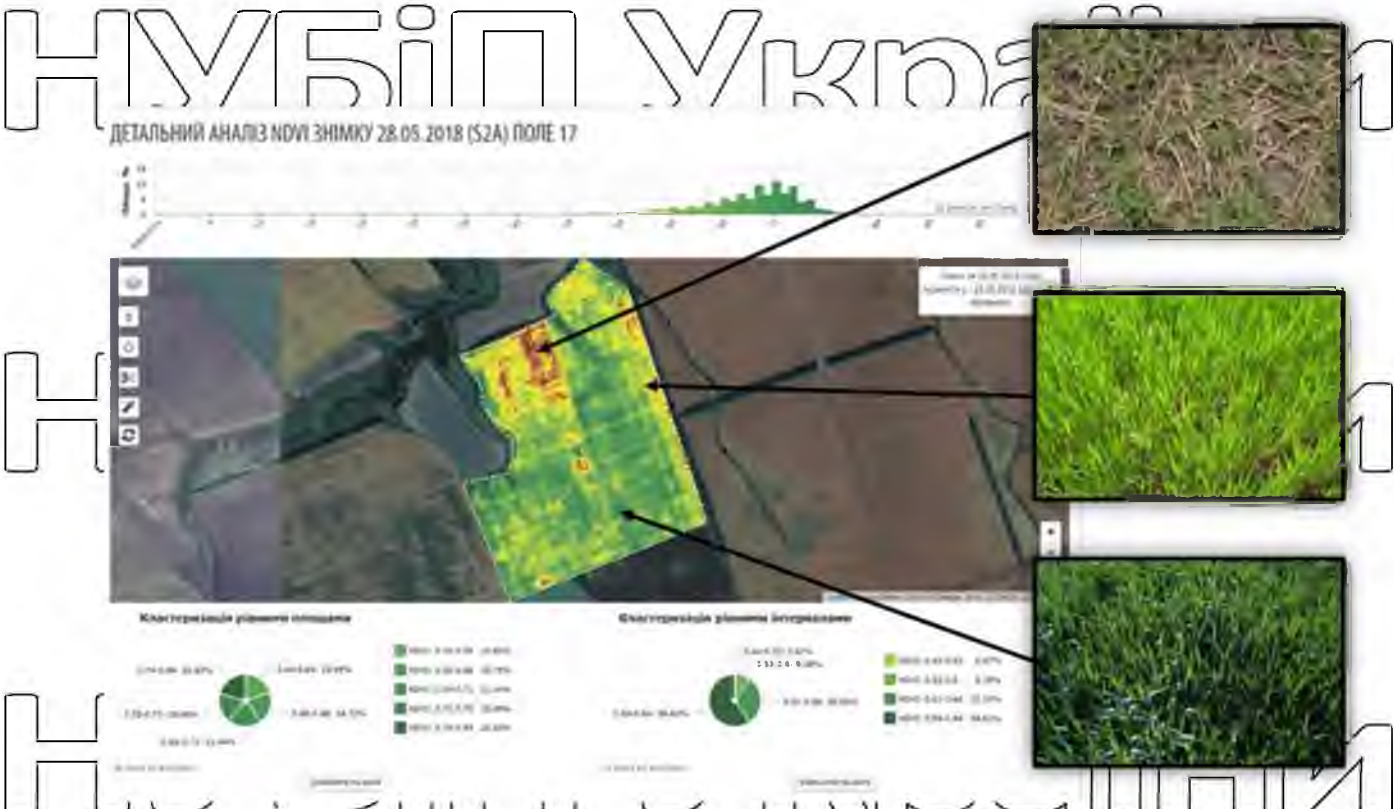


Рис. 2.12. – візуалізація неоднорідності посівів, шляхом проведення наземних фото-зйомок.

Для того, щоб пришвидшити реагування на потенційні проблеми аграріїв в процесі вирощування посівів, в межах даного дослідження спеціально був спроектований індекс неоднорідності посівів с/г культур, який розраховується для карти вегетаційного індексу (будь якого, але в межах даного дослідження був апробований виключно на картах NDVI, за браком часу). Потреба у використанні даного індексу доволі насущна, замість того, щоб візуально деталізувати сотні, а то й тисячі карт вегетаційних індексів що кілька днів, агроному будуть видаватися сповіщення про те, на які саме поля варто звернути увагу, на яких саме полях ідентифікований високий ступінь неоднорідності розвитку рослин. Тобто, даний індекс інтерпретується як міра неоднорідності посівів і може виступати як критерій нагальності необхідного втручання в процес вирощування рослин. Розраховується даний індекс за наступною формулою:

$$1 - \frac{(\max(VI)_{95\%} - VI_{95\%}) \cdot VI_{\min}}{(\max(VI)_{95\%} - \min(VI)) \cdot VI_{\min}}$$

Де  $\max(VI)$  та  $\min(VI)$  – максимальне та мінімальне значення зміни обраного для дослідження вегетаційного індексу по абсолютній шкалі.  $\max_{95\%}(VI)$  – максимальне значення вегетаційного індексу для 95% найчастіше присутніх значень в дослідній вибірці (карти поля). Таким чином, ми можемо проігнорувати певного роду статичні неоднорідності, такі як забудови всередині поля, лінії електропередач і т.д. Керуючи відсотком найчастіше присутніх значень можна навіть ігнорувати більшу кількість статичних артефактів в межах поля, однак такого роду дослідження не проводилося.

Якщо спробувати візуалізувати даний індекс не однорідності, шляхом аналізу даних, то отримаємо наступне (див. рис. 2.13 – 2.14).

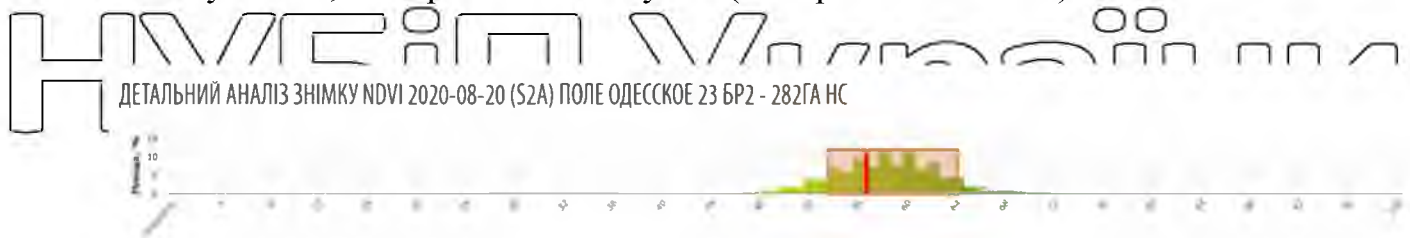


Рис. 2.13. – гістограма розподілу даних NDVI для поля «Одесское 23БР2 НС»

за 8 серпня 2020 року



Рис. 2.14. – гістограма розподілу даних NDVI для поля «Одесское 23БР2 НС»

за 9 вересня 2020 року

На приведених вище рисунках зображен розподіли значень NDVI в діапазоні 0:100 (0:1 за абс. Шкалою). Оранжевими рамками візуалізовані 95% квантилі даних, що зустрічаються найчастіше у вибірках. Вертикальною червоною лінією візуалізовані середні для даної вибірки значення індексу NDVI (також в діапазоні 0:100). Карта індексу NDVI за 8 серпня 2020 р. зображена на рис. 2.15.(а). Розрахований індекс неоднорідності склав – 0.83. Карта NDVI за 5 вересня зображена на рисунку 2.15.(б), а індекс

неоднорідності становить  $= 0,65$ . Чим ближче значення індексу неоднорідності до 1 – тим більш «однорідні» посіви в межах поля, і навпаки, чим ближче до 0 – тим більш «неоднорідні».

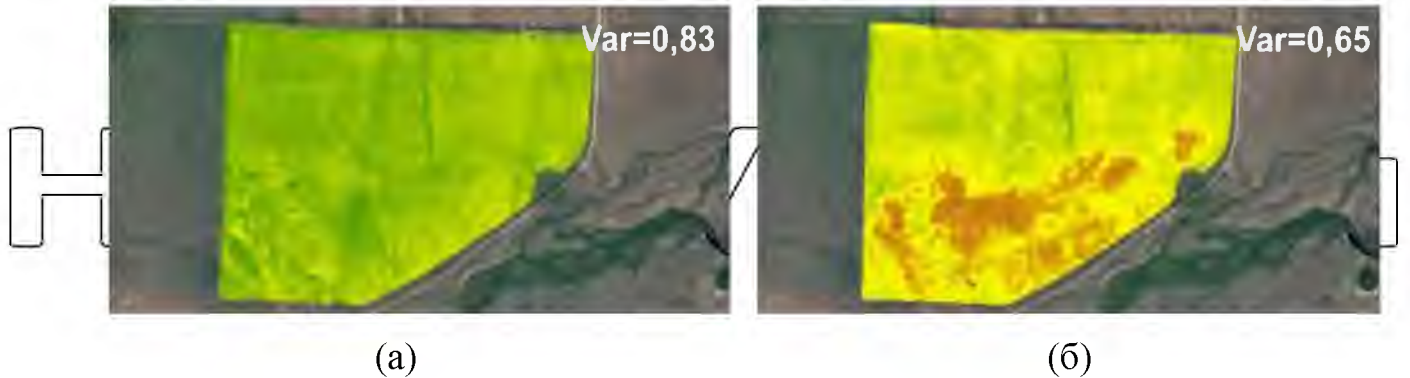


Рис. 2.15. – Карты вегетаційного індексу NDVI для поля «Одесское 23БР2 НС» за 8 серпня 2020р (а) та 5 вересня 2020р. ○ ○

В результаті проведеного візуального аналізу карт NDVI, учасники команди даного дослідження прийшли до ідеї класифікації стану посівів за рівнем їх неоднорідності. Таким чином, значення індексу за шкалою отримали три умовні категорії(класи):

- поле **ОДНОРІДНЕ** (статус зелений);
- поле **неоднорідне** і вимагає звернення на нього уваги (статус жовтий);
- поле має вагомі порушення однорідності і детального аналізу (статус червоний).

На основі візуального аналізу були сформовані рекомендації щодо аналізу рівня неоднорідності карт NDVI і формування пріоритету уваги до полів відповідно. Детальніше з ними можна ознайомитись в таблиці – 2.1.

НУБІП України

Таблиця 2.1 – Кластери розподілу статусів неоднорідності NDVI за значенням NDVI та значенням неоднорідності.

Значення NDVI (min-max) в межах поля	Значення індексу неоднорідності	Клас неоднорідності
1 – 59.99	менше 83.99%	GREEN
	84 to 92.39%	RED
	92.4% і більше	YELLOW
60 – 129.99	менше 76.99%	GREEN
	77 to 89.99%	RED
	90% і більше	YELLOW
150 – 184.99	менше 79.99%	GREEN
	80 to 82.99%	RED
	83% і більше	YELLOW
185 - 253	менше 79.99%	GREEN
	80 to 82.99%	RED
	83% і більше	YELLOW

Таким чином, на поля з класом неоднорідності червоним варто звертати увагу першими, жовтим – другими, відповідно на полях з зеленим класом неоднорідності посіви розвиваються рівномірно (добре, або погано).

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОСІВАМИ

### СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

#### 3.1. Архітектура системи дистанційного спостереження за посівами

Для реалізації смарт-технології дистанційного спостереження за посівами було обрано типове трирівневу клієнт-серверну архітектуру (рис. 3.1.) Сервер отримує запити від клієнта, обробляє його та надсилає результат (відповідь на запит) клієнту. Клієнтська частина являє собою веб-інтегрований користувацький інтерфейс, призначений для формування та відправлення запитів на сервер на сервер (запити на отримання, додавання, оновлення, видалення даних). Клієнт отримує та обробляє результати запиту інтерфейсу користувача, надсилає запити до сервера, сервер обробляє запити та надсилає клієнту результати.



Рис. 3.1 - Архітектура системи

Для реалізації програмної частини системи було обрано мову програмування Python [9]. Існує кілька вагомих причин для використання Python та інструментів з відкритим кодом для обробки просторових даних. Python — це потужна мова програмування. Багато різних модулів Python є відкритими, доступними для використання в різних сферах, включаючи веб-розробку, аналіз наукових даних, 3D-анімацію та інше.

Крім того, Python є кросплатформним. Програмний сценарій Python, написаний на одній машині, буде запускатися на будь-якій іншій машині, за

умови встановлення необхідних модулів. Сценарії розроблені на комп'ютері з ОС Linux, виконуватимуться і на комп'ютері з ОС Windows.

Крім основних модулів, які постачаються по-замовчуванню з основною мовою, у розробників є можливість завантажувати модулі та бібліотеки з інших джерел.

Мало того, що існує велика кількість безкоштовних пакетів Python, багато з них також мають відкритий код. Відкритий код означає не лише безкоштовність програмного забезпечення, а і доступ користувача до вихідного коду. Тобто код модулів відкритий до вивчення (робота модулів не є «чорною скринькою» для користувача), або навіть до зміни під специфічні задачі, потреби. Розробник може використовувати інструменти з відкритим кодом, і при потребі налаштувати вихідний код, перекомпілювати, і в результаті мати утиліту, яка виконує саме ті завдання, які необхідні. З ліцензованим (комерційним) програмним забезпеченням це далеко не завжди можливо.

Ще одна перевага використання інструментів з відкритим кодом полягає в існуванні активної спільноти користувачів, що сприяє значно швидшому вирішенню проблем, які виникають при використанні тих, чи інших модулів. Навіть є можливість обговорити тонкі аспекти бібліотек з фактичними розробниками за допомогою форумів, чату, чи електронної пошти.

Для запуску коду потрібно встановити інтерпретатор Python, він є вільно доступним для основних операційних систем настільних комп'ютерів.

PyCharm — інтегроване середовище розробки (IDE) для мови програмування Python від JetBrains.

Переваги роботи з PyCharm:

- крос-платформність (Windows, Mac OS X, Linux);
- наявність безкоштовної версії для некомерційного використання - PyCharm Community Edition;
- можливість налаштування робочого простору для зручності роботи;

# НУБІП України

• оптимізація роботи, відсутність затримок навіть при роботі з великими файлами.

Також до переваг PyCharm відноситься те, що це середовище надає інструменти для роботи з Git. Git – це безкоштовна розподілена система контролю версій з відкритим вихідним кодом, призначена для швидкої та ефективної роботи від малих до великих проєктів. Система контролю версій – це система, яка записує зміни у файл або набір файлів протягом часу та дозволяє повернутися до певної версії.

Основні переваги Git: продуктивністю, можливість локального розгалуження, підтримка кількох робочих процесів, дозволяє працювати з проєктом навіть при відсутності підключення до мережі.

Окрім стандартних модулів python при розробці проєкту були використані додаткові бібліотеки: shapely, json,umpy, grab, gdal, та ін.

Shapely — це пакет Python [10] для теоретичного аналізу множин і маніпулювання площинними об'єктами з використанням функцій із бібліотеки GEOS. GEOS — це бібліотека C/C++ для просторової обчислювальної геометрії, зазвичай використовується при розробці геоінформаційних систем. Основними типами геометричних об'єктів,

реалізованих Shapely, є точки, криві та поверхні. Точка має внутрішній набір рівно з однієї точки, граничний набір без точок і зовнішній набір з усіх інших точок. Крива має внутрішній набір, що складається з нескінченної кількості точок по своїй довжині, граничний набір, що складається з двох її кінцевих точок, і зовнішній набір усіх інших точок. Поверхня має внутрішній набір, що складається з нескінченної кількості точок всередині, набір кордонів, що складається з однієї або кількох кривих, і зовнішній набір усіх інших точок, включаючи ті, що знаходяться всередині отворів, які можуть існувати на поверхні.

# НУБІП України

Вбудований модуль під назвою `json` для кодування та декодування даних JSON. JSON (JavaScript Object Notation) – це полегшений формат обміну даними. Загалом JSON складається з двох структур даних: колекція пар “ім'я-значення” (в мові python реалізовано, як словник), упорядкований перелік значень (в мові python реалізовано, як список).

NumPy – це проект із відкритим вихідним кодом, метою якого є забезпечення чисельних обчислень за допомогою Python [11]. Пропонує інструменти роботи з n-мірними масивами; комплексні математичні функції, генератори випадкових чисел, підпрограми лінійної алгебри, перетворення Фур'є тощо.

Grab – бібліотека python для парсингу сайтів. Її основні функції:

- підготовка мережного запиту (cookies, http-заголовки, POST/GET дані);
- відправка запиту на сервер;
- отримання відповіді сервера та його початкова обробка (парсинг заголовків, парсинг cookies, визначення кодування документа, обробка редиректу);
- налагодження: логування процесу в консоль, мережеских запитів та відповідей у файли.

Деякі з бібліотек спочатку були розроблені іншими мовами, але стали настільки поширеними, що їх було або імпортовано на інші мови, або були розроблені прив'язки, щоб ці бібліотеки можна було використовувати іншими мовами. Бібліотека абстракції геопросторових даних (GDAL) є надзвичайно популярною бібліотекою C/C++, а прив'язки були розроблені для Python [7], .NET, Ruby та інших мов. Ця бібліотека розроблена для роботи з форматами растрових та векторних геопросторових даних, випущена Open Source Geospatial Foundation, пропонує єдину растрову абстрактну модель даних та єдину векторну абстрактну модель даних, надає інструменти перетворення та обробки даних. На її основі створено кілька бібліотек, які є простішими у

## 3.2. Підсистема автоматичного завантаження та обробки даних

Алгоритм вивантаження супутникових даних описано за допомогою блок-схеми рис. 3.2. Першочергово формується список цільових гранул, які покривають досліджувану територію, над якою буде проводитися моніторинг (в дослідженні обрана територія Казахстану). Відповідно до визначеного списку гранул, формується календар ревізиту і в зазначені дні формуються запити до постачальників супутникових знімків. З отриманих результатів запитів формуються та зберігаються: список гранул (назву, координати, тощо), які покривають необхідну територію, графік виходу знімків, архіви даних супутникових зображень.

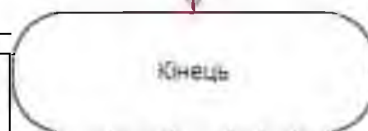
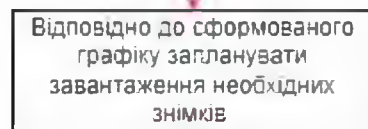
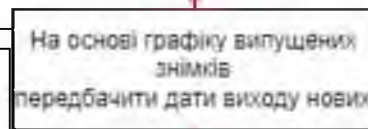
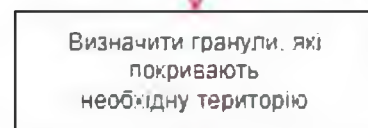
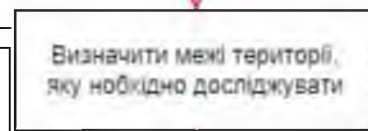


Рис. 3.2 – блок-схема автоматичного вивантаження супутникових даних.

# НУБІП України

Моніторинг в системі здійснюється для певної території, яка формується у вигляді досліджуваних полів, засіяних сільськогосподарськими культурами. Поля в системі зберігаються в загальноприйнятому форматі – GeoJSON (див. приклад нижче). Поля являють собою геопросторові полігони з можливими виключеннями, або виокремленими частками території.

# НУБІП України

```
{
  "type": "FeatureCollection",
  "features": [
    {
      "type": "Feature",
      "properties": {},
      "geometry": {
```

# НУБІП України

```
    "type": "Polygon",
    "coordinates": [
      [
```

```
        30.346555709838864,
        49.664572400312096
```

```
      ],
```

```
      [
```

# НУБІП України

```
        30.34380912780762,
        49.66185013515958
```

```
      ],
```

```
      [
```

```
        30.344152450561523,
        49.660405606082875
```

```
      ],
```

```
      [
```

# НУБІП України

```
        30.346212387084957,
        49.660127807113085
```

```
      ],
```

```
      [
```

```
        30.35053610801697,
        49.6623084863846
```

```
      ],
```

```
      [
```

# НУБІП України

```
        30.348143577575684,
        49.66371129209121
```

НУБІП України  
 30.347714424133297  
 49.66390573721523

],  
 [  
 30.347199440002438,  
 49.664294625131916

НУБІП України  
 30.346555709838864,  
 49.664572400312096

]  
 ]  
 ]

НУБІП України

Отже, першочергово в систему додаються поля господарств, відповідно до яких необхідно проводити моніторинг посівів. З координат полів формується цільова територія, яка в подальшому буде використана для пошуку знімків, які цю територію покриватимуть. Після отримання списку гранул (тайлів) за певний, наперед обраний проміжок часу (наприклад минулий місяць), створюється список структури «знімок-дата». На основі цього списку формується прогноз на майбутнє – календар виходу знімків, який зберігається у відповідну таблицю БД системи. У випадку додавання нових полів, чи редагування існуючих, в обов'язковому порядку оновлюється схема перекриття цільової території гранулами (знімками) супутників. У випадку, якщо до схеми перекриття додаються нові зйомки, календар перераховується та оновлюється в системі.

Відповідно до параметрів планування завантаження програмний додаток формує запит до БД щодо того, які знімки мали вийти у визначений проміжок часу. Відповідно до отриманого списку гранул формуються запити до

НУБІП України

постачальників даних такої структури: “Цільова територія-проміжок часу-джерело-продукт”

# НУБІП України

Більш детально взаємодія об'єктів системи в розрізі процесу завантаження знімків зображено на рис. 3.10, за допомогою діаграми послідовності. Діаграма послідовності – зображує взаємодію між об'єктами у послідовному порядку, за допомогою повідомлень.

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

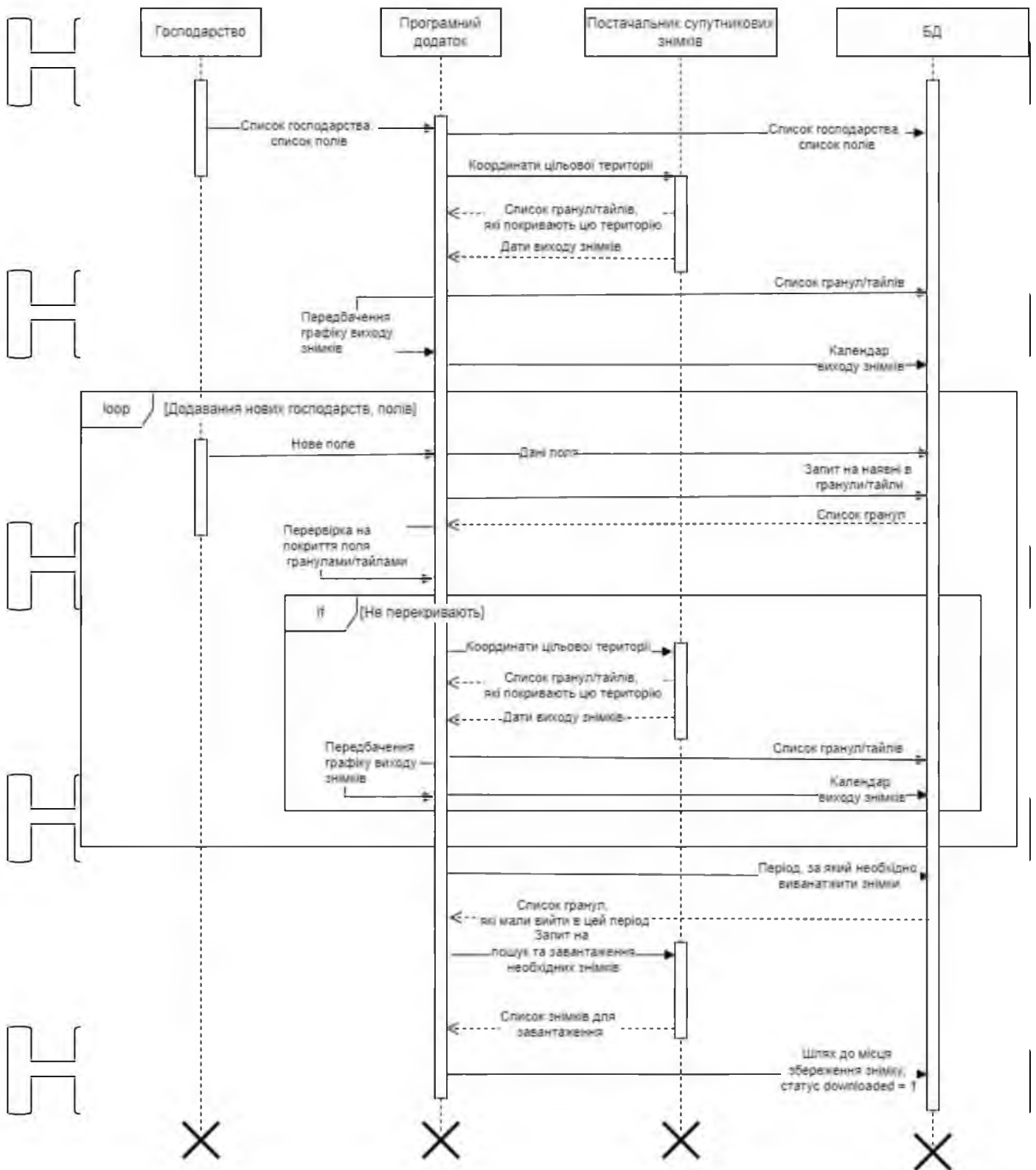


Рис. 3.3 – діаграма взаємодії об'єктів системи при автоматичному завантаженні супутникових знімків

Для програмної реалізації запитів до постачальників даних було використано бібліотеки *sentinelsat*, та *landsatexplorer*.

SentinelSat надає інструменти пошуку, завантаження та отримання метаданих супутникових зображень Sentinel з центру відкритого доступу Copernicus.

Пакет landsatexplorer Python надає інтерфейс до порталу EarthExplorer для пошуку та завантаження сцен Landsat Collections через інтерфейс командного рядка або API Python.

Нижче представлені зразки програмного коду для формування запитів доступу до даних супутників. По завершенню завантаження до таблиці БД, яка зберігає календар виходу знімків, оновлюється статус запису на “завантажено” (downloaded = 1).

#### Приклад вивантаження даних Sentinel-2

```
def result_search_query_s(api, footprint, start_acquisition,
end_acquisition, platformname, producttype, cloud_min, cloud_max):
    """
    :param api: доступ до ресурсу постачальника, api = SentinelAPI(login,
password, api_url)
    :param footprint: цільова територія
    :param start_acquisition: проміжок часу, початкова дата
    :param end_acquisition: проміжок часу, кінцева дата
    :param platformname: джерело даних 'Sentinel-2'
    :param producttype: продукт 'S2MSI1C'/'S2MSI2A'
    :param cloud_min: мінімальний допустимий рівень захмареності
    :param cloud_max: максимальний допустимий рівень захмареності
    :return: список гранул для завантаження
    """
    products = api.query(footprint,
                        date=(start_acquisition, end_acquisition),
                        platformname=platformname,
                        producttype=producttype,
                        cloudcoverpercentage=(cloud_min, cloud_max))

    return products
```

#### Приклад вивантаження даних Landsat-8

```
def result_of_search(api, location, start_acquisition, end_acquisition,
dataset, max_cloud):
```

```

"""
:param api: підключення до сервісу постачальника, api €
landsatxplore.api.API(username, password)
:param location: цільова територія
:param start_acquisition: проміжок часу, початкова дата
:param end_acquisition: проміжок часу, кінцева дата
:param dataset: джерело даних, продукт 'LANDSAT_8_C1'
:param max_cloud: максимально допустимий процент захмареності
:return: список тайлів для завантаження
"""
scenes = api.search(
    dataset=dataset,
    bbox=location,
    start_date=start_acquisition.strftime('%Y-%m-%d'),
    end_date=end_acquisition.strftime('%Y-%m-%d'),
    max_cloud_cover=max_cloud)
return scenes

```

### 3.3. Проектування бази даних системи дистанційного спостереження

#### за посівами

БД системи створена інструментами мови структурованих запитів SQL, за допомогою СУБД MySQL. SQL широко використовується при управлінні реляційними базами даних. Існує кілька СУБД на основі SQL: MySQL, PostgreSQL, SQLite та SQL Server. В наш час MySQL використовується багатьма великими технічними фірмами, включаючи Google, LinkedIn, Uber, Netflix, Twitter та інші.

При прийнятті рішення щодо вибору СУБД були визначені такі переваги

MySQL:

- відкритість вихідного коду, через що MySQL швидко став лідером ринку серед SQL-рішень;
- крос-платформність. MySQL доступний для основних операційних систем, включаючи Windows, MacOS, Linux, Solaris

# НУБІП України

- продуктивність. MySQL забезпечує роботу навіть з великими обсягами даних;
- масштабування;
- права користувачів та безпека. MySQL дозволяє встановлювати рівні безпеки паролів, додавати та видаляти привілеї обліковим записам користувачів;

# НУБІП України

- оптимізація взаємодії з користувачем.
- Для взаємодії MySQL з програмним додатком використовувалася бібліотека pymysql. PyMySQL являє собою клієнтську бібліотеку Python, засновану на PEP 249 (Python Database API Specification v2.0). Надає методи підключення, формування запитів до БД, та отримання результатів виконання запитів.

# НУБІП України

В створеній в ході виконання дослідження базі даних представлені такі таблиці:

- household – забезпечує збереження даних про господарства, які внесені в систему моніторингу;

# НУБІП України

- idHousehold – текстові дані, зберігає кодове позначення господарства всередині системи (спеціально для зовнішнього шифрування);
- count\_field – цілочислені дані, зберігає кількість полів, які належать господарству;
- date\_start – дані типу DATE, зберігає дату початку моніторингу полів господарства;

# НУБІП України

- date\_end – дані типу DATE, зберігає дату кінця моніторингу полів господарства.

- Field - зберігає дані про поля, їх належність до господарств.

- idField – текстовий тип даних, зберігає код поля;

- idHH – текстовий тип даних, зовнішній ключ, зберігає код господарства, якому належить поле;

# НУБІП України

# НУБІП України

- geometry – тип даних JSON, зберігає інформацію про географічні координати досліджуваного сільського поля в системі координат WGS84;
- satellite – зберігає дані про супутник, для використання цієї інформації в дочірніх таблицях.
- idSatellite – текстові дані, зберігає скорочене позначення супутнику.

Наприклад: S2A, S2B, LC8;

# НУБІП України

- title – текстові дані, зберігає повну назву супутника. Наприклад: Sentinel-2, Landsat-8;

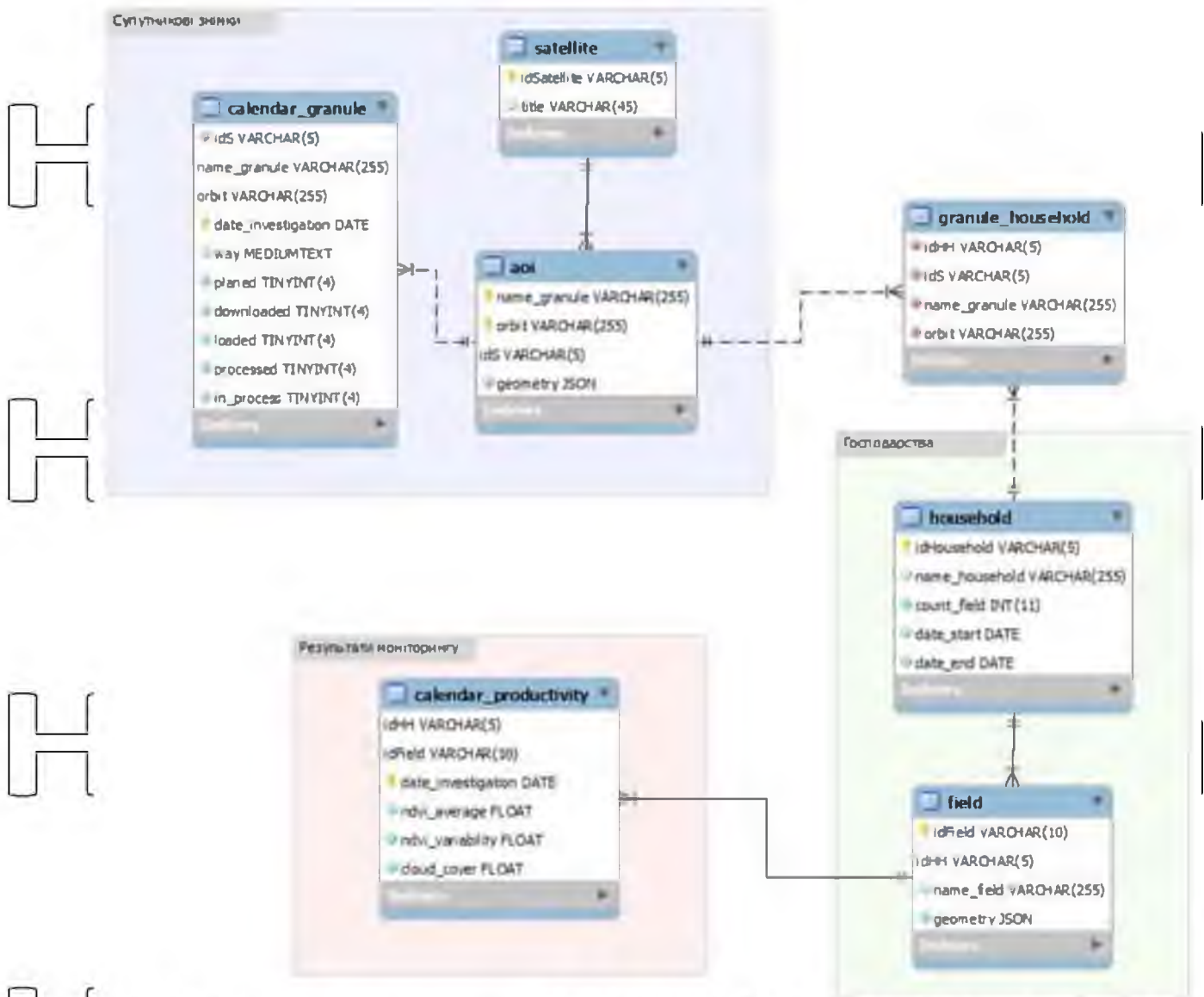


Рис. 3.4. – Схеми БД системи дистанційного спостереження за посівами.

# НУБІП України

# НУБІП України

- `·aoi (area of interest)` – зберігає перелік всіх гранул, які необхідно завантажувати.
- `name_granule`` – містить текстові дані, зберігає назву гранули,
- `orbit` – містить текстові дані, зберігає орбіту супутника, на якій був зроблений знімок;

# НУБІП України

- `idS` – текстові дані, зовнішній ключ, зберігає скорочене позначення супутнику;
- `geometry` – тип даних JSON, зберігає інформацію про географічні координати гранул в системі координат WGS84;

# НУБІП України

- `·granule household` – зберігає дані про те, які господарства перетинають які гранули.
- `idNH` – текстові дані, зовнішній ключ, зберігає код господарства;

# НУБІП України

- `name_granule` – містить текстові дані, зовнішній ключ, зберігає назву гранули;
- `orbit` – містить текстові дані, зовнішній ключ, зберігає орбіту супутника, на якій був зроблений знімок;

# НУБІП України

- `idS` – текстові дані, зовнішній ключ, зберігає скорочене позначення супутнику;
- `·calendar_granule` – зберігає дані про дату виходу супутникового знімку, статуси його обробки.

# НУБІП України

- `name_granule` – містить текстові дані, зовнішній ключ, зберігає назву гранули \ тайту;
- `orbit` – містить текстові дані, зовнішній ключ, зберігає орбіту супутника, на якій був зроблений знімок, для Landsat це значення пропущене;

# НУБІП України

- `idS` – текстові дані, зовнішній ключ, зберігає скорочене позначення супутнику;

# НУБІП України

- `date_investigation` дані типу DATE, зберігає дату виходу супутникового знімка;

• way – дані текстового типу, зберігає шлях збереження супутникового знімку;

- downloaded – може приймати значення 0 або 1, позначає те, чи завантажено знімок, чи ні;

- processed – може приймати значення 0 або 1, позначає те, чи пройшов супутниковий знімок попередню обробку;

• in process – може приймати значення 0 або 1, позначає те, чи відбуваються по відношенню до знімка певні процеси (знімок наразі в процесі завантаження або попередньої обробки), або не відбуваються.

Представлена БД дозволяє зберігати дані про графік виходу супутникових знімків. Відповідно до цього графіку відбувається автоматизоване завантаження супутникових зображень та їх обробка (формування індексів) відповідно до господарств (точніше полів господарств) які входять в межі цих знімків.

Додатково, для збереження результатів аналізу супутникових зображень та продуктів їх обробки була розроблена таблиця для збереження результатів обробки знімків – calendar\_productivity. Вона містить наступні поля.

- idField – текстовий тип даних, зберігає код поля;
- idHH – текстовий тип даних, зберігає код господарства, якому належить поле;

- date investigation – дані типу DATE, зберігає дату виходу супутникового знімка;

- ndvi\_average – число з плаваючою точкою, зберігає середнє значення NDVI по полю;

- ndvi\_variability – число з плаваючою точкою, зберігає значення неоднорідності рослинності на полі;

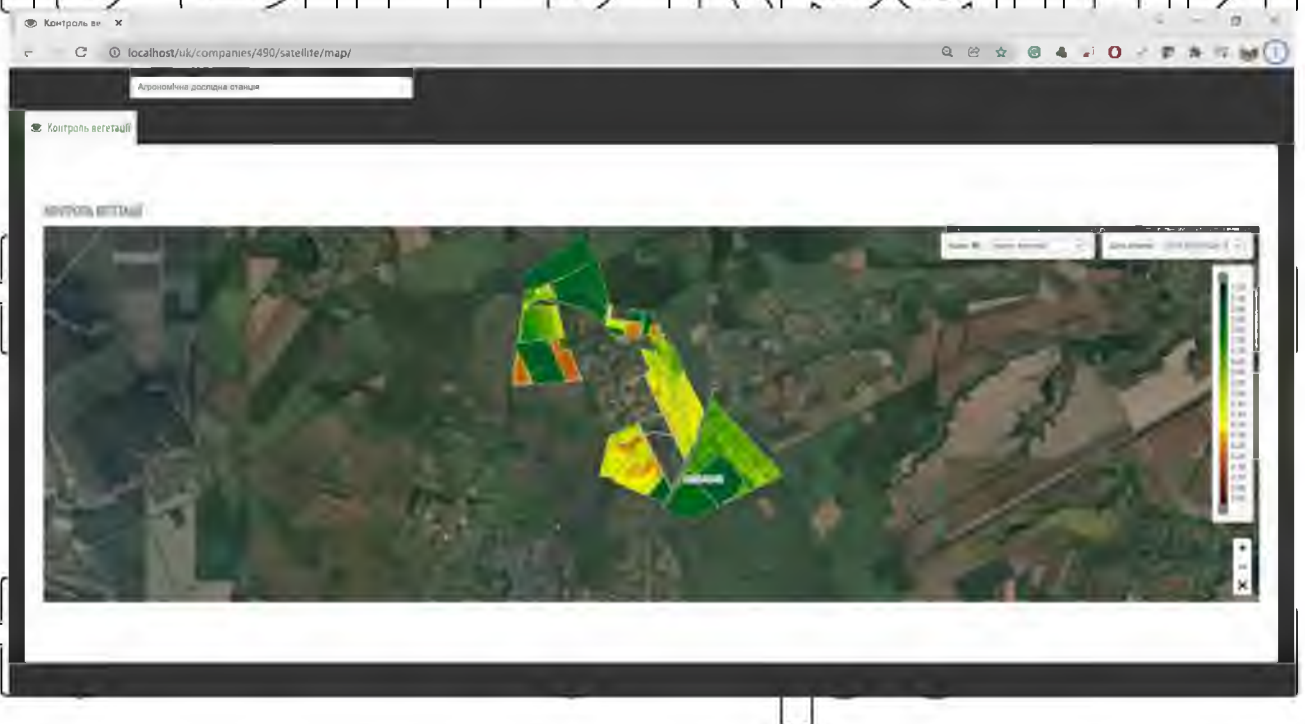
- cloud\_cover – число з плаваючою точкою, зберігає відсоток території, на якій відсутні дані, наприклад через захмареність.

## 3.4. Проектування інтерфейсу користувача

Для проектування, та реалізації прототипу інтерфейсу користувача в межах даного дослідження були використані наступні технології:

- Java leaflet – інтегративна бібліотека мови програмування Java для візуалізації картографічних матеріалів;
- Open map tile server – ресурс, який дозволив використовувати різні відкриті картографічні матеріали в якості заднього фону, при візуалізації карт;
- Python Django – фреймворк, розроблений на мові програмування Python для налагодження клієнтських запитів між інтерфейсом користувача та серверними компонентами;
- Мову програмування PHP для формування функціональних інтерфейсних елементів на веб-формах браузера.

Приклад основної робочої форми інтерфейсу користувача (основної сторінки зображено на рисунку 3.5.



# НУБІП України

Рис. 3.5. Веб-інтегрований інтерфейс користувача інформаційної смарт-технології дистанційного спостереження за посівами сільськогосподарських культур

В верхній лівій частині основної форми інтерфейсу користувача розташований випадаючий список, в якому користувач має право обрати зону дослідження (підприємство), до якого він має доступ. Кожне підприємство має власні, внесені в систему контури полів з супутньою атрибутивною інформацією. Всі дані користувача в системі є захищеними, з використанням сучасних підходів і технологій.

Основну частину інтерфейсу займає поле «Контроль вегетації», де користувачу представлена візуалізація мапи обраного вегетаційного індексу за обрану ним дату. Зміну індексу/дати зйомки для візуалізації, користувач може в відповідних випадаючих списках, розташованих в правому верхньому кутку форми «Контроль вегетації». Також, для зручності інтерпретації на формі візуалізована колірна палітра обраного індексу.

При натисканні лівою кнопкою миші на поле, користувача перенесе до наступної форми інтерфейсу – «Детальний аналіз знімку» (див. рис. 3.6.).

# НУБІП України

# НУБІП України



Рис. 3.6. – «Детальний аналіз знімку» - наступна друга форма користувацького інтерфейсу інформаційної смарт-технології дистанційного спостереження за посівами сільськогосподарських культур

Зверху даної форми візуалізована гістограма розподілу значень обраного вегетаційного індексу в вибірці даних обраного поля за обрану дату зйомки. По центру екрану – карта вегетаційного індексу з можливістю зміни дати зйомки у випадяючому списку справа. Внизу форми зображені кругові діаграми розподілу значень індексу за рівними площами та рівними інтервалами. Це дає змогу користувачу з поглибленими знаннями в області аналізу даних більш ефективно оцінити стан рослин на полі в конкретний момент часу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

**Розділ 4. ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОСІВАМИ**

**4.1. Описання досліджуваної території**

НУБІП України

Апробацію розробленої смарт-технології дистанційного спостереження за посівами сільськогосподарських культур виконано на території понад 750 тис. га. полів сільськогосподарських підприємств на території Казахстану, дані по яким представила в межах співпраці компанія «Агро Онлайн».

**4.1.1 Сільськогосподарські угіддя Казахстану**

НУБІП України

Інформацію про контури полів, та їх метадані (площу, сівозміну, назви та ін.) надала, в межах співпраці з факультетом інформаційних технологій, компанія «Агро Онлайн». Однак розповсюджувати будь яку інформацію, окрім мінімальної необхідної для звітування, команда даного проекту не має. Контури досліджуваних полів господарства представлені на рис. 4.1.

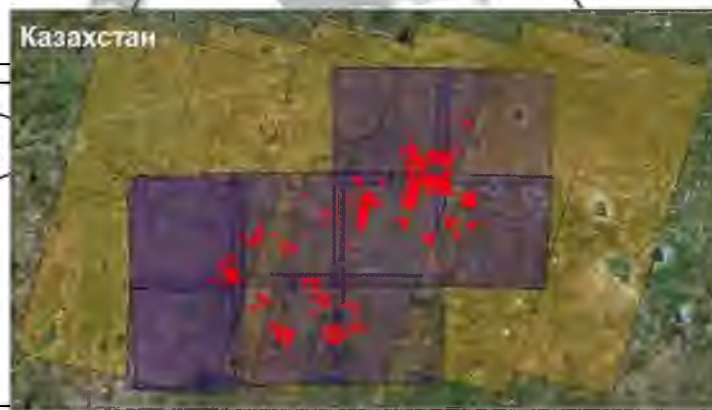


Рис 4.1. – Схема покриття території господарств Казахстану гранулами (тайлами) даних супутників Sentinel-2 (фіолетовий колір) та Landsat-8 (жовтий колір).

Загальна площа 3118 дослідних полів склала близько 725 тис. га. Для проведення дослідження було опрацьовано 478 супутникових зображень супутників Sentinel-2 A/B та Landsat-8 OLI/TIRS. Загальний обсяг обробленої інформації за один тільки 2020 рік перевищив 3 Тб даних.

#### 4.2. Дослідження агрегованої неоднорідності посівів сільськогосподарських культур

На території полів Казахстану - низький рівень неоднорідності культур за 2020 рік переважно відповідав необробленим полям (ЦАП) (рис. 4.2). 3

ІНШОГО ОБ'ЄКТУ. В КОЛІ ПОСЛІДЖЕННЯ БУЛА ВИЯВЛЕНА ЧІТКА ЗАЛОЖНІСТЬ МІЖ НЕОДНОРІДНІСТЮ ТА ГЕОЛОКАЦІЄЮ ПОЛІВ, ОБУМОВЛЕНА СПЕЦИФІКОЮ РЕЛЬЄФУ (ОСОБЛИВОСТІ ГРУНТІВ ТА ВОДНОГО РЕЖИМУ ПОЛІВ).

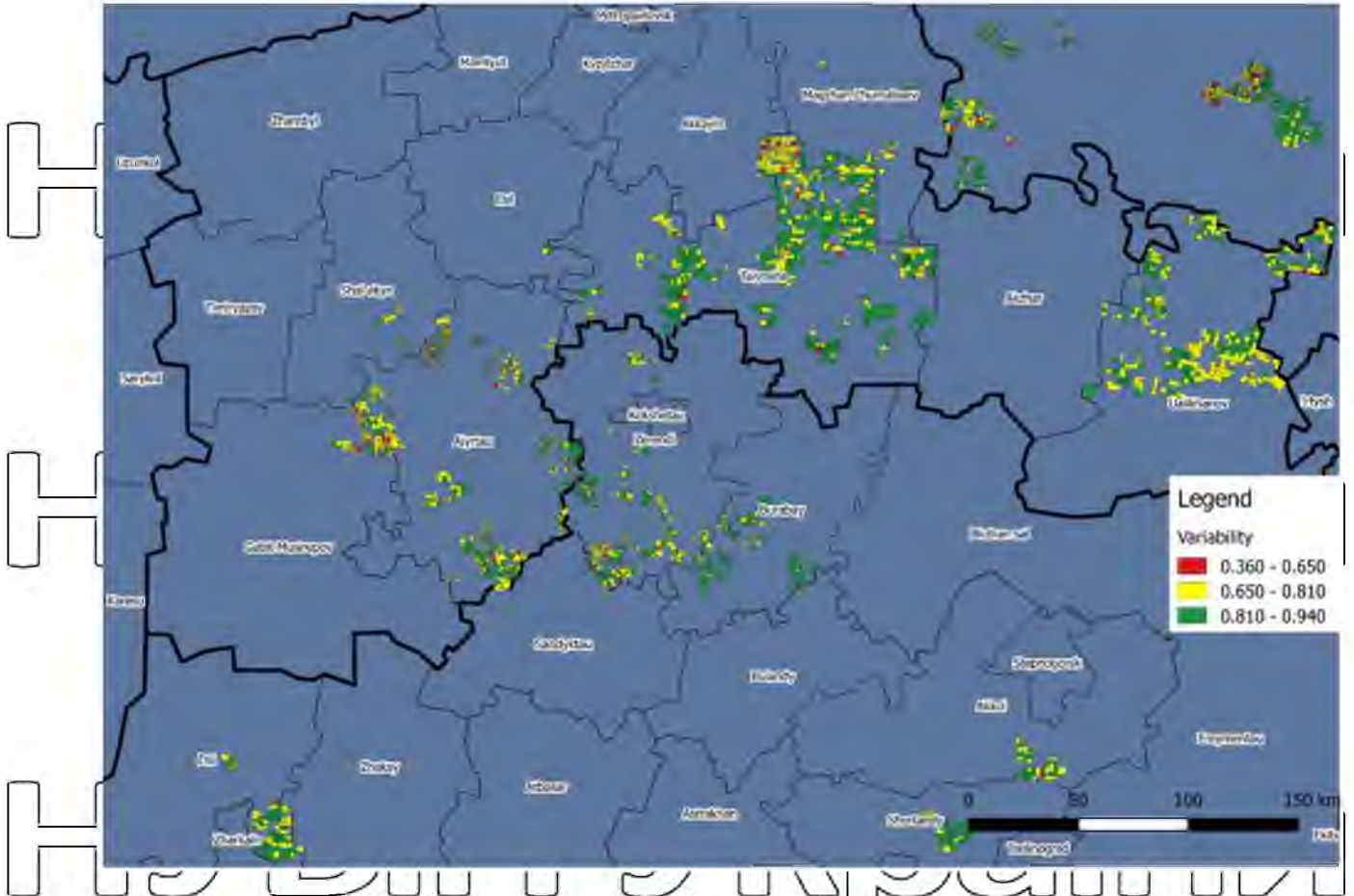


Рис.4.2. – Карта неоднорідності посівів сільськогосподарських культур для полів території Казахстану за 2020 р.

Загальний розподіл неоднорідності посівів за сезон 2020 року показав

значну концентрацію полів в «жовтому» та «зеленому» класах неоднорідності (рис. 4.3.) Цьому значним чином посприяв високий рівень відповідності фактичних контурів посівних площ культур з контурами полів, внесених о системи.

НУБІП України

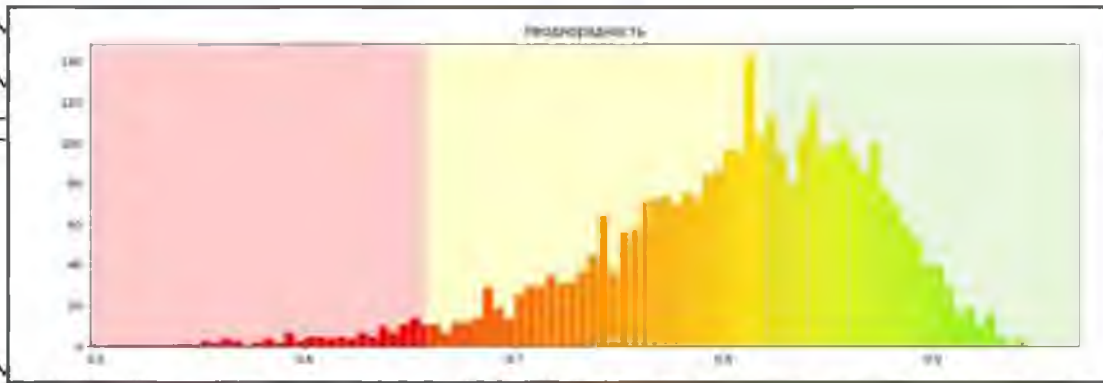


Рис. 4.3. Розподіл неоднорідності посівів сільськогосподарських культур для полів території Казахстану за 2020 р.

### 4.3. Дослідження продуктивності посівів сільськогосподарських культур

Для того, щоб оцінити агреговані результати дослідження впродовж кожного окремо взятого вегетаційного сезону було вирішено сформувати єдиний агрегований показник дистанційного моніторингу стану посівів сільськогосподарських культур. В якості такого агрегованого показника взято різницевий потенціал біомаси з поправкою на агреговану неоднорідність, який було названо – «продуктивністю посівів сільськогосподарських культур». Продуктивність обчислювалась за наступною формулою:

$$NDVI - NDVI * Avg(Variability),$$

де  $\max(NDVI)$  – максимальне спостережуване значення усередненого по полю  $NDVI$ ,  $\min(NDVI)$  – відповідно мінімальне спостережуване значення усередненого по полю  $NDVI$ ;  $Avg(Variability)$  – середня (для вегетаційного сезону) неоднорідність посівів, агрегована за весь сезон, коли на полю спостерігався хоч мінімальний рівень біомаси.

Що стосується дослідних полів території Казахстану, картування продуктивності розділило карту полів на 3 умовні зони: «північ», «південь» та «центр», відповідно (рис. 4.4). Центральна територія полів переважно використовувалася в 2020му році для вирощування врожайних культур

(букурудза, пшениця, соняшник), тому великий потенціал біомаси і низька неоднорідність гарантували високу продуктивність. Південні регіони переважно використовувались під пасовища, чи ЦАР, тому навіть не зважаючи на низьку неоднорідність, продуктивність виявилася малою через доволі низькі значення спостереженого потенціалу біомаси. Північні регіони полів характеризувалися проблемними значеннями неоднорідності, а як результат і продуктивності через наявні статичні чи динамічні проблеми, пов'язані з умовами вирощування рослин. До вищезгаданих умов місцеві аграрі віднесли такі основні, як: проблеми з ґрунтом, водним режимом та рельєфом.

Розподіл площ по ідентифікатору продуктивності (рис. 4.4-4.6) показали, що тільки близько 10% площ мають високі показники продуктивності, 42% знаходяться в межах «задовільної» для території Казахстану продуктивності, 33% - нижче задовільної, і 16% мають вкрай низьку продуктивність.

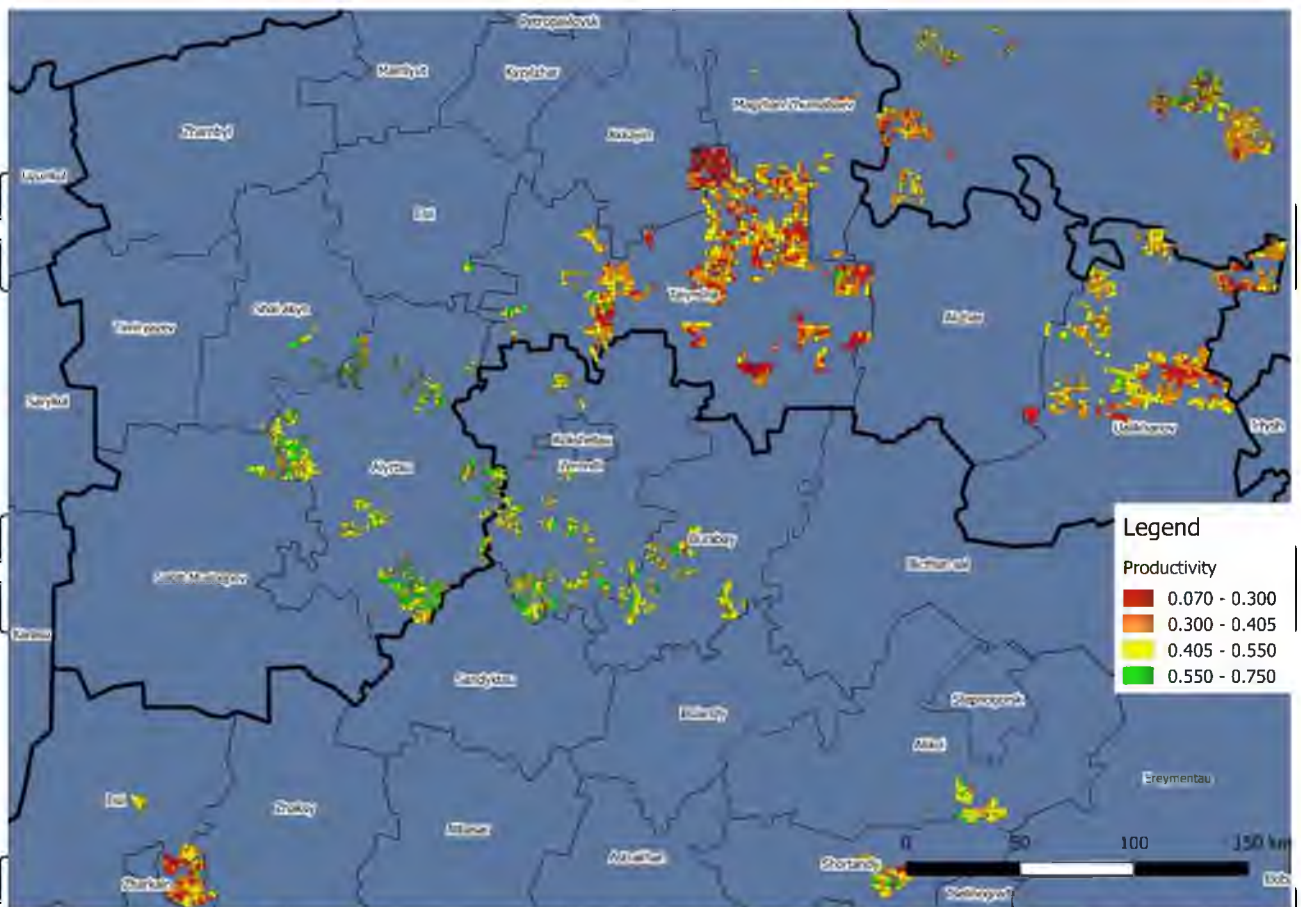


Рис.4.4. Карта продуктивності посівів сільськогосподарських культур для полів території Казахстану за 2020 р.

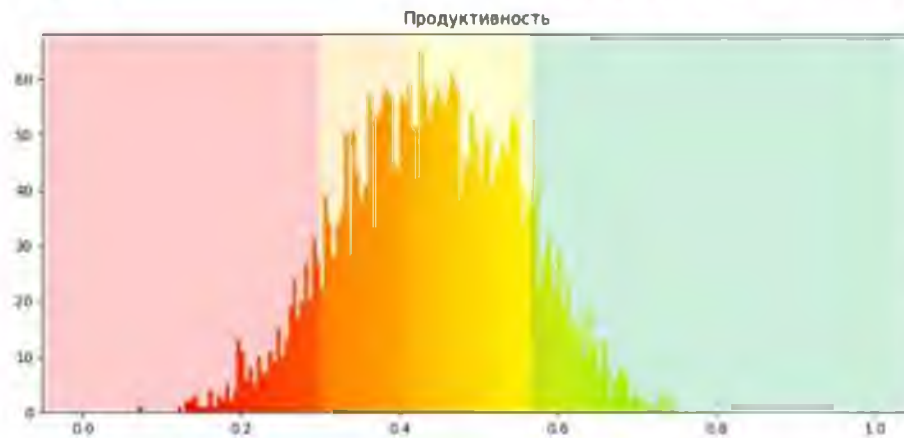
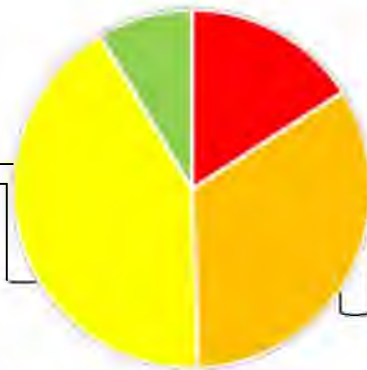


Рис.4.5. – Розподіл неоднорідності посівів сільськогосподарських культур для полів території Казахстану за 2020 р.

Розподіл площ по продуктивності  
в тис. га



■ 113,40 ■ 239,01 ■ 298,68 ■ 61,52

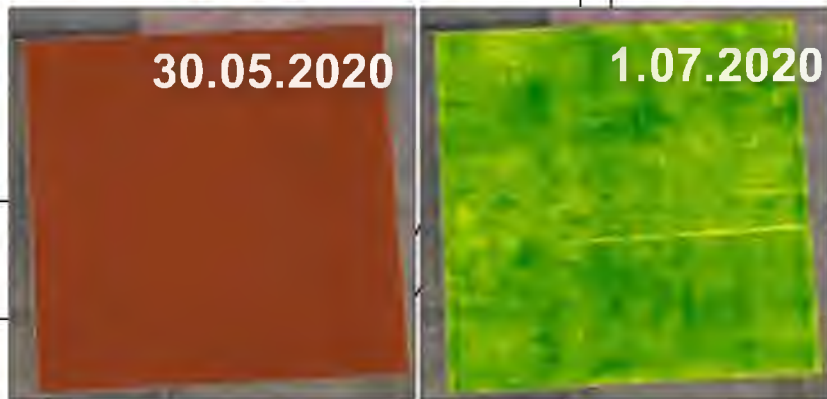
Рис.4.6. – Розподіл площ посівів сільськогосподарських культур для полів території Казахстану за 2020 р. по рівню продуктивності

Загалом, аналізуючи всі наявні випадки, вдалося ідентифікувати наступні типові випадки аномальних показчиків продуктивності (аномально високих та аномально низьких).

Висока продуктивність з високими показниками однорідності (рис. 4.7.) – коли посіви с/г культур розвивалися однорідно та рівномірно в межах поля.

# НУБІП України

неоднорідність – 0,93  
продуктивність – 0,61



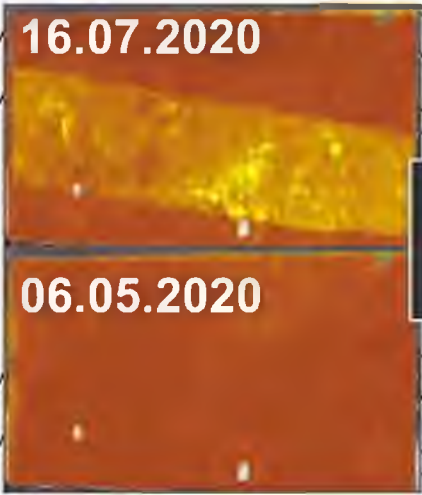
# НУБІП України

Рис.4.7. – Візуалізація максимального, мінімального та осереднених показчиків неоднорідності і продуктивності поля «ТОО Орловка, ПОЛЕ ОРЛОВКА 49,50 - 437(428)ГА» за 2020 рік.

# НУБІП України

Низька продуктивності з високими показчиками однорідності (рис. 4.8) – коли низька продуктивність обумовлена надзвичайно низьким потенціалом біомаси, що спостерігався на полі.

# НУБІП України



неоднорідність – 0.79  
продуктивність - 0.29

# НУБІП України

Рис.4.8. – Візуалізація максимального, мінімального та осереднених показчиків неоднорідності і продуктивності поля ТОО «Агрофирма Эксимнан»

# НУБІП України

ПОЛЕ ПЕТРОВКА №24 - 289(280)ГА за 2020 рік

Низька продуктивність з низькими показниками однорідності (рис. 4.8) – коли низька продуктивність обумовлена низьким агрегованим коефіцієнтом неоднорідності (рис. 4.9.).



неоднорідність – 0.76

продуктивність - 0.58

Рис. 4.9. – Взуалізація максимального, мінімального та осередненого показників неоднорідності і продуктивності поля ТОО «ТОО «Сырымбет-1» ПОЛЕ САРЫБУЛАК 48-3 - 15(15)І А» за 2020 рік.

## Висновки

В ході виконання поточної роботи отримані наступні результати. Проведено детальний аналіз найбільш широкоживаних в аграрному секторі ІТ рішень в області супутникового моніторингу за посівами с/г культур. Проведений аналіз дозволив виявити найбільш популярні інформаційні продукти, що використовуються в задачі моніторингу за посівами. В ході дослідження було виявлено недоліки найбільш популярного вегетаційного індексу NDVI, запропоновано альтернативу – відносний індекс водного стресу. Для обох інформаційних продуктів розроблені спеціалізовані кольорні палітри, які застосовуються до карт індексів і дозволять користувачам в подальшому максимально інтуїтивно інтерпретувати та використовувати зазначені продукти.

Вперше запропоновано і апробовано агрегований показник неоднорідності розвитку посівів с/г культур в межах поля для конкретно

взятого супутникового зображення. Проведене дослідження неоднорідності розвитку посівів за три роки сумарно для 760 тис. га. показало, що даний показник неоднорідності розвитку посівів може бути ефективно використаний в якості найбільш інформативного предиктора для спостереження за динамікою розвитку посівів у випадках, коли мова йде про великі досліджувані території.

На основі запропонованого показника неоднорідності розвитку посівів, а також різниці потенціалів біомаси, розрахованих на основі супутникових даних, сформовано ідентифікатор продуктивності поля. Проведене дослідження продуктивності полів для майже 760 тис. га дозволило виявити типові проблеми рельєфу, ґрунтів та землекористування, економічно вигідне вирішення яких дозволить значною мірою покращити ефективність роботи сільськогосподарських підприємств.

Засобами мови програмування Python реалізовані програмні сценарії для автоматичного вивантаження, підготовки, обробки та аналізу супутникових зображень. В поєднанні зі спроектованою базою даних, засобами мов програмування Java, SQL, PHP та прототипом інтерфейсу користувача реалізована інформаційна смарт-технологія дистанційного спостереження за посівами сільськогосподарських культур. Її використання дозволить в автономному режимі здійснювати моніторинг за посівами с/г культур, сповіщати користувачів про аномалії неоднорідності розвитку посівів, здійснювати пошук «проблемних» зон та надавати інформацію для формування маршрутів для наземного моніторингу полів. Застосування ідентифікаторів продуктивності полів дозволить набагато ефективніше коригувати технологічні карти та вести менеджмент і управління процесами по вирощуванню посівів сільськогосподарських культур.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сучасні методи та технології дистанційного моніторингу за посівами сільськогосподарських культур. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:

<https://drive.google.com/file/d/1e77WfQOL5T86sbVmPKbcerO676kOvBV4/view>

2. Інформаційне забезпечення супутникових даних та їх використання.

Тези були представлені в рамках: IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції студентів і аспірантів «ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

«2021»». Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:

<https://drive.google.com/file/d/1JY67j05ixDbnEyiH67OvzeIoPMzGRXF/view>

3. USGS EROS Archive – Sentinel-2 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)

4. Landsat Mission [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)

5. Sentinelsat [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sentinelsat.readthedocs.io/en/stable/>.

6. Landsatxplore [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/yannforget/landsatxplore>.

7. Python и MySQL: практическое введение [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://proglib.io/p/python-i-mysql-prakticheskoe-vvedenie-2021-01-06>.

8. Chacon S. Pro Git / S. Chacon, B. Straub. – New York: apress, 2014. – 513 с.

# Додаток А

## КАЛІБРУВАЛЬНА ПАЛІТРА ДЛЯ РОЗФАРБУВАННЯ КАРТ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ NDVI

Дана палітра являє собою конфігуративний файл з 256 рядками (оскільки карти NDVI зберігаються в типі даних Byte), в кожному з яких в експоненціальній формі записані 4 числові значення. Перші три значення інтерпретуються як насиченість кольорів R (червоний), G (зелений), та B (синій). Четверта цифра інтерпретується як прозорість пікселя, для можливості більш варіабельного спектру кольорів. Значення «1» означає максимально непрозорий стан пікселя. Службові значення 254 та 255 мають чорний колір і відповідають хмарам та їм тіням відповідно.

```

0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00
3.137254901960784270e-01 1.137254901960784298e-01 4.313725490196078372e-02 1.0000000000000000e+00
3.137254901960784270e-01 1.137254901960784298e-01 4.313725490196078372e-02 1.0000000000000000e+00
3.137254901960784270e-01 1.137254901960784298e-01 4.313725490196078372e-02 1.0000000000000000e+00
3.137254901960784270e-01 1.137254901960784298e-01 4.313725490196078372e-02 1.0000000000000000e+00
3.137254901960784270e-01 1.137254901960784298e-01 4.313725490196078372e-02 1.0000000000000000e+00
3.333333333333333148e-01 1.254901960784313708e-01 5.098039215686274439e-02 1.0000000000000000e+00
3.333333333333333148e-01 1.254901960784313708e-01 5.098039215686274439e-02 1.0000000000000000e+00
3.568627450980392246e-01 1.372549019607843257e-01 5.490196078431372473e-02 1.0000000000000000e+00
3.568627450980392246e-01 1.372549019607843257e-01 5.490196078431372473e-02 1.0000000000000000e+00
3.568627450980392246e-01 1.372549019607843257e-01 5.490196078431372473e-02 1.0000000000000000e+00
3.568627450980392246e-01 1.372549019607843257e-01 5.490196078431372473e-02 1.0000000000000000e+00
3.803921568627450789e-01 1.490196078431372528e-01 6.274509803921568540e-02 1.0000000000000000e+00
3.803921568627450789e-01 1.490196078431372528e-01 6.274509803921568540e-02 1.0000000000000000e+00
4.000000000000000222e-01 1.568627450980392135e-01 6.274509803921568540e-02 1.0000000000000000e+00
4.000000000000000222e-01 1.568627450980392135e-01 6.274509803921568540e-02 1.0000000000000000e+00
4.000000000000000222e-01 1.568627450980392135e-01 6.274509803921568540e-02 1.0000000000000000e+00
4.000000000000000222e-01 1.568627450980392135e-01 6.274509803921568540e-02 1.0000000000000000e+00
4.196078431372549100e-01 1.686274509803921684e-01 6.66666666666666574e-02 1.0000000000000000e+00
4.196078431372549100e-01 1.686274509803921684e-01 6.66666666666666574e-02 1.0000000000000000e+00
4.352941176470588314e-01 1.764705882352941291e-01 7.450980392156862642e-02 1.0000000000000000e+00
4.352941176470588314e-01 1.764705882352941291e-01 7.450980392156862642e-02 1.0000000000000000e+00
4.352941176470588314e-01 1.764705882352941291e-01 7.450980392156862642e-02 1.0000000000000000e+00
4.352941176470588314e-01 1.764705882352941291e-01 7.450980392156862642e-02 1.0000000000000000e+00
4.588235294117646856e-01 1.882352941176470562e-01 7.843137254901960675e-02 1.0000000000000000e+00
4.588235294117646856e-01 1.882352941176470562e-01 7.843137254901960675e-02 1.0000000000000000e+00
4.784313725490196290e-01 2.000000000000000111e-01 8.235294117647058709e-02 1.0000000000000000e+00
4.784313725490196290e-01 2.000000000000000111e-01 8.235294117647058709e-02 1.0000000000000000e+00
4.784313725490196290e-01 2.000000000000000111e-01 8.235294117647058709e-02 1.0000000000000000e+00
4.784313725490196290e-01 2.000000000000000111e-01 8.235294117647058709e-02 1.0000000000000000e+00
4.980392156862745168e-01 2.117647058823529382e-01 9.019607843137254777e-02 1.0000000000000000e+00
4.980392156862745168e-01 2.117647058823529382e-01 9.019607843137254777e-02 1.0000000000000000e+00
4.980392156862745168e-01 2.117647058823529382e-01 9.019607843137254777e-02 1.0000000000000000e+00
4.980392156862745168e-01 2.117647058823529382e-01 9.019607843137254777e-02 1.0000000000000000e+00
5.215686274509804266e-01 2.196078431372548989e-01 9.411764705882352811e-02 1.0000000000000000e+00

```

НУБІП України  
5.215686274509804266e-01 2.19607843137254898e-01 9.41176470588235281e-02 1.0000000000000000e+00  
5.41176470588235289e-01 2.313725490196078538e-01 9.803921568627450844e-02 1.0000000000000000e+00  
5.41176470588235289e-01 2.313725490196078538e-01 9.803921568627450844e-02 1.0000000000000000e+00  
5.41176470588235289e-01 2.313725490196078538e-01 9.803921568627450844e-02 1.0000000000000000e+00

5.607843137254902022e-01 2.392156862745098145e-01 1.058823529411764691e-01 1.0000000000000000e+00  
5.607843137254902022e-01 2.392156862745098145e-01 1.058823529411764691e-01 1.0000000000000000e+00  
5.803921568627451455e-01 2.509803921568627416e-01 1.098039215686274495e-01 1.0000000000000000e+00  
5.803921568627451455e-01 2.509803921568627416e-01 1.098039215686274495e-01 1.0000000000000000e+00  
5.803921568627451455e-01 2.509803921568627416e-01 1.098039215686274495e-01 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
6.039215686274509443e-01 2.588235294117647300e-01 1.137254901960784298e-01 1.0000000000000000e+00  
6.039215686274509443e-01 2.588235294117647300e-01 1.137254901960784298e-01 1.0000000000000000e+00  
6.274509803921568540e-01 2.66666666666666630e-01 1.176470588235294101e-01 1.0000000000000000e+00  
6.274509803921568540e-01 2.66666666666666630e-01 1.176470588235294101e-01 1.0000000000000000e+00  
6.274509803921568540e-01 2.66666666666666630e-01 1.176470588235294101e-01 1.0000000000000000e+00

6.470588235294117974e-01 2.745098039215686514e-01 1.215686274509803905e-01 1.0000000000000000e+00  
6.470588235294117974e-01 2.745098039215686514e-01 1.215686274509803905e-01 1.0000000000000000e+00  
6.66666666666666297e-01 2.862745098039215508e-01 1.254901960784313708e-01 1.0000000000000000e+00  
6.66666666666666297e-01 2.862745098039215508e-01 1.254901960784313708e-01 1.0000000000000000e+00  
6.66666666666666297e-01 2.862745098039215508e-01 1.254901960784313708e-01 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
6.862745098039215730e-01 2.980392156862745057e-01 1.3333333333333315e-01 1.0000000000000000e+00  
6.862745098039215730e-01 2.980392156862745057e-01 1.3333333333333315e-01 1.0000000000000000e+00  
7.058823529411765163e-01 3.137254901960784270e-01 1.3333333333333315e-01 1.0000000000000000e+00  
7.058823529411765163e-01 3.137254901960784270e-01 1.3333333333333315e-01 1.0000000000000000e+00  
7.058823529411765163e-01 3.137254901960784270e-01 1.3333333333333315e-01 1.0000000000000000e+00

7.215686274509803821e-01 3.490196078431372362e-01 1.215686274509803905e-01 1.0000000000000000e+00  
7.215686274509803821e-01 3.490196078431372362e-01 1.215686274509803905e-01 1.0000000000000000e+00  
7.215686274509803821e-01 3.490196078431372362e-01 1.215686274509803905e-01 1.0000000000000000e+00  
7.215686274509803821e-01 3.490196078431372362e-01 1.215686274509803905e-01 1.0000000000000000e+00  
7.372549019607843590e-01 3.843137254901961009e-01 1.098039215686274495e-01 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
7.372549019607843590e-01 3.843137254901961009e-01 1.098039215686274495e-01 1.0000000000000000e+00  
7.490196078431372584e-01 4.196078431372549100e-01 9.41176470588235281e-02 1.0000000000000000e+00  
7.490196078431372584e-01 4.196078431372549100e-01 9.41176470588235281e-02 1.0000000000000000e+00  
7.490196078431372584e-01 4.196078431372549100e-01 9.41176470588235281e-02 1.0000000000000000e+00

7.647058823529411242e-01 4.509803921568627527e-01 7.843137254901960675e-02 1.0000000000000000e+00  
7.647058823529411242e-01 4.509803921568627527e-01 7.843137254901960675e-02 1.0000000000000000e+00  
7.803921568627451011e-01 4.862745098039215619e-01 6.66666666666666574e-02 1.0000000000000000e+00  
7.803921568627451011e-01 4.862745098039215619e-01 6.66666666666666574e-02 1.0000000000000000e+00  
7.803921568627451011e-01 4.862745098039215619e-01 6.66666666666666574e-02 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
7.921568627450980005e-01 5.215686274509804266e-01 5.098039215686274439e-02 1.0000000000000000e+00  
7.921568627450980005e-01 5.215686274509804266e-01 5.098039215686274439e-02 1.0000000000000000e+00  
8.117647058823529438e-01 5.568627450980392357e-01 3.921568627450980338e-02 1.0000000000000000e+00  
8.117647058823529438e-01 5.568627450980392357e-01 3.921568627450980338e-02 1.0000000000000000e+00  
8.117647058823529438e-01 5.568627450980392357e-01 3.921568627450980338e-02 1.0000000000000000e+00

8.235294117647058432e-01 5.921568627450980449e-01 2.352941176470588203e-02 1.0000000000000000e+00  
8.235294117647058432e-01 5.921568627450980449e-01 2.352941176470588203e-02 1.0000000000000000e+00  
8.392156862745098200e-01 6.235294117647058876e-01 7.843137254901960675e-03 1.0000000000000000e+00  
8.392156862745098200e-01 6.235294117647058876e-01 7.843137254901960675e-03 1.0000000000000000e+00  
8.392156862745098200e-01 6.235294117647058876e-01 7.843137254901960675e-03 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
8.549019607843136859e-01 6.745098039215686736e-01 0.0000000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
8.549019607843136859e-01 6.745098039215686736e-01 0.0000000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
8.549019607843136859e-01 6.745098039215686736e-01 0.0000000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
8.784313725490195957e-01 7.333333333333332815e-01 0.0000000000000000e+00 1.0000000000000000e+00







0.0000000000000000e+00 3.254901960784313819e-01 1.490196078431372528e-01 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 3.098039215686274606e-01 1.411764705882352922e-01 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 3.098039215686274606e-01 1.411764705882352922e-01 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 3.098039215686274606e-01 1.411764705882352922e-01 1.0000000000000000e+00

0.0000000000000000e+00 2.941176470588235392e-01 1.254901960784313708e-01 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.941176470588235392e-01 1.254901960784313708e-01 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.823529411764705843e-01 1.098039215686274495e-01 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.823529411764705843e-01 1.098039215686274495e-01 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.823529411764705843e-01 1.098039215686274495e-01 1.0000000000000000e+00

0.0000000000000000e+00 2.66666666666666630e-01 9.411764705882352811e-02 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.66666666666666630e-01 9.411764705882352811e-02 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.509803921568627416e-01 7.450980392156862642e-02 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.509803921568627416e-01 7.450980392156862642e-02 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.509803921568627416e-01 7.450980392156862642e-02 1.0000000000000000e+00

0.0000000000000000e+00 2.352941176470588203e-01 6.274509803921568540e-02 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.352941176470588203e-01 6.274509803921568540e-02 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.235294117647058931e-01 4.705882352941176405e-02 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.235294117647058931e-01 4.705882352941176405e-02 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 2.235294117647058931e-01 4.705882352941176405e-02 1.0000000000000000e+00

0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України

## Додаток Б

### КАЛІБРУВАЛЬНА ПАЛІТРА ДЛЯ РОЗФАРБУВАННЯ КАРТ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ ВОДИНОГО СТРЕСУ РОСЛИН (NDWI)

# НУБІП України

a0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	0.0000000000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.3137300000000000e+00	0.1137300000000000e+00	0.0431370000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8431400000000000e+00	0.1882400000000000e+00	0.1529400000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8431400000000000e+00	0.1882400000000000e+00	0.1529400000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8462900000000000e+00	0.1961600000000000e+00	0.1572000000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8494500000000000e+00	0.2040900000000000e+00	0.1614700000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8526000000000000e+00	0.2120200000000000e+00	0.1657300000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8557500000000000e+00	0.2199500000000000e+00	0.1699900000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8589100000000000e+00	0.2278800000000000e+00	0.1742500000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8620600000000000e+00	0.2358100000000000e+00	0.1785200000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8652200000000000e+00	0.2437300000000000e+00	0.1827800000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8683700000000000e+00	0.2516600000000000e+00	0.1870400000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8715300000000000e+00	0.2595900000000000e+00	0.1913000000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8746800000000000e+00	0.2675200000000000e+00	0.1955700000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8778300000000000e+00	0.2754500000000000e+00	0.1998300000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8809900000000000e+00	0.2833800000000000e+00	0.2040900000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8841400000000000e+00	0.2913000000000000e+00	0.2083500000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8873000000000000e+00	0.2992300000000000e+00	0.2126200000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8904500000000000e+00	0.3071600000000000e+00	0.2168800000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8936100000000000e+00	0.3150900000000000e+00	0.2211400000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8967600000000000e+00	0.3230200000000000e+00	0.2254000000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.8999100000000000e+00	0.3309500000000000e+00	0.2296700000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9030700000000000e+00	0.3388700000000000e+00	0.2339300000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9062200000000000e+00	0.3468000000000000e+00	0.2381900000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9093800000000000e+00	0.3547300000000000e+00	0.2424600000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9125300000000000e+00	0.3626600000000000e+00	0.2467200000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9156900000000000e+00	0.3705900000000000e+00	0.2509800000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9188400000000000e+00	0.3785200000000000e+00	0.2552400000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9219900000000000e+00	0.3864500000000000e+00	0.2595100000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9251500000000000e+00	0.3943700000000000e+00	0.2637700000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9283000000000000e+00	0.4023000000000000e+00	0.2680300000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9314600000000000e+00	0.4102300000000000e+00	0.2722900000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9346100000000000e+00	0.4181600000000000e+00	0.2765600000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9377700000000000e+00	0.4260900000000000e+00	0.2808200000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9409200000000000e+00	0.4340200000000000e+00	0.2850800000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9440800000000000e+00	0.4419400000000000e+00	0.2893400000000000e+00	1.0000000000000000e+00
0.9472300000000000e+00	0.4498700000000000e+00	0.2936100000000000e+00	1.0000000000000000e+00

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

0.9503800000000000e+00 0.4578000000000000e+00 0.2978700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9535400000000000e+00 0.4657300000000000e+00 0.3021300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9566900000000000e+00 0.4736600000000000e+00 0.3063900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9598500000000000e+00 0.4815900000000000e+00 0.3106600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9630000000000000e+00 0.4895100000000000e+00 0.3149200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9661600000000000e+00 0.4974400000000000e+00 0.3191800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9693100000000000e+00 0.5053700000000000e+00 0.3234400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9724600000000000e+00 0.5133000000000000e+00 0.3277100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9756200000000000e+00 0.5212300000000000e+00 0.3319700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9787700000000000e+00 0.5291600000000000e+00 0.3362300000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП УКРАЇНИ

0.9819300000000000e+00 0.5370800000000000e+00 0.3404900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9850800000000000e+00 0.5450100000000000e+00 0.3447600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9882400000000000e+00 0.5529400000000000e+00 0.3490200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9882400000000000e+00 0.5529400000000000e+00 0.3490200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9882400000000000e+00 0.5529400000000000e+00 0.3490200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9886700000000000e+00 0.5710200000000000e+00 0.3610000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9891100000000000e+00 0.5891100000000000e+00 0.3729800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9895400000000000e+00 0.6071900000000000e+00 0.3849700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9899800000000000e+00 0.6252700000000000e+00 0.3969500000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП УКРАЇНИ

0.9904100000000000e+00 0.6438600000000000e+00 0.4089300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9908500000000000e+00 0.6614400000000000e+00 0.4209200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9912900000000000e+00 0.6795200000000000e+00 0.4329000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9917200000000000e+00 0.6976000000000000e+00 0.4448800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9921600000000000e+00 0.7156900000000000e+00 0.4568600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9925900000000000e+00 0.7337700000000000e+00 0.4688500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9930300000000000e+00 0.7518500000000000e+00 0.4808300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9934600000000000e+00 0.7699300000000000e+00 0.4928100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9939000000000000e+00 0.7880200000000000e+00 0.5047900000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП УКРАЇНИ

0.9943400000000000e+00 0.8061000000000000e+00 0.5167800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9947700000000000e+00 0.8241800000000000e+00 0.5287600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9952100000000000e+00 0.8422700000000000e+00 0.5407400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9956400000000000e+00 0.8603500000000000e+00 0.5527200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9960800000000000e+00 0.8784300000000000e+00 0.5647100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9960800000000000e+00 0.8784300000000000e+00 0.5647100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9960800000000000e+00 0.8784300000000000e+00 0.5647100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9895400000000000e+00 0.8825700000000000e+00 0.5873600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9830100000000000e+00 0.8867100000000000e+00 0.6100200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9764700000000000e+00 0.8908500000000000e+00 0.6326800000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП УКРАЇНИ

0.9699300000000000e+00 0.8949900000000000e+00 0.6353400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9634000000000000e+00 0.8991300000000000e+00 0.6780000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9568600000000000e+00 0.9032700000000000e+00 0.7006700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9503300000000000e+00 0.9074100000000000e+00 0.7233100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9437900000000000e+00 0.9115500000000000e+00 0.7459700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9372500000000000e+00 0.9156900000000000e+00 0.7686300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9307200000000000e+00 0.9198300000000000e+00 0.7912900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9241800000000000e+00 0.9239700000000000e+00 0.8139400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9176500000000000e+00 0.9281000000000000e+00 0.8366000000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП УКРАЇНИ

0.9111100000000000e+00 0.9322400000000000e+00 0.8592600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.9045800000000000e+00 0.9363800000000000e+00 0.8819200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8980400000000000e+00 0.9405200000000000e+00 0.9045800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8915000000000000e+00 0.9446600000000000e+00 0.9272300000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України

0.8849700000000000e+00 0.9488000000000000e+00 0.9498900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8784300000000000e+00 0.9529400000000000e+00 0.9725500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8784300000000000e+00 0.9529400000000000e+00 0.9725500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8784300000000000e+00 0.9529400000000000e+00 0.9725500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8702800000000000e+00 0.9475700000000000e+00 0.9695600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8621300000000000e+00 0.9422100000000000e+00 0.9665600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8539700000000000e+00 0.9368400000000000e+00 0.9635700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8458200000000000e+00 0.9314800000000000e+00 0.9605800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8376700000000000e+00 0.9261100000000000e+00 0.9575900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8295100000000000e+00 0.9207400000000000e+00 0.9545900000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України

0.8213600000000000e+00 0.9153800000000000e+00 0.9516000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8132100000000000e+00 0.9100100000000000e+00 0.9480100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.8050600000000000e+00 0.9046400000000000e+00 0.9456100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7969000000000000e+00 0.8992800000000000e+00 0.9426200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7887500000000000e+00 0.8939100000000000e+00 0.9396300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7806000000000000e+00 0.8885400000000000e+00 0.9366400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7724500000000000e+00 0.8831800000000000e+00 0.9336400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7642900000000000e+00 0.8778100000000000e+00 0.9306500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7561400000000000e+00 0.8724500000000000e+00 0.9276600000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України

0.7479900000000000e+00 0.8670800000000000e+00 0.9246600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7398300000000000e+00 0.8617100000000000e+00 0.9216700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7316800000000000e+00 0.8563500000000000e+00 0.9186800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7235300000000000e+00 0.8509800000000000e+00 0.9156900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7153800000000000e+00 0.8456100000000000e+00 0.9126900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.7072200000000000e+00 0.8402500000000000e+00 0.9097000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6990700000000000e+00 0.8348800000000000e+00 0.9067100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6909200000000000e+00 0.8295100000000000e+00 0.9037200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6827700000000000e+00 0.8241500000000000e+00 0.9007200000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України

0.6746100000000000e+00 0.8187800000000000e+00 0.8977300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6664600000000000e+00 0.8134200000000000e+00 0.8947400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6583100000000000e+00 0.8080500000000000e+00 0.8917400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6501500000000000e+00 0.8026800000000000e+00 0.8887500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6420000000000000e+00 0.7973200000000000e+00 0.8857600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6338500000000000e+00 0.7919500000000000e+00 0.8827700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6257000000000000e+00 0.7865800000000000e+00 0.8797700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6175400000000000e+00 0.7812200000000000e+00 0.8767800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6093900000000000e+00 0.7758500000000000e+00 0.8737900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.6012400000000000e+00 0.7704900000000000e+00 0.8707900000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України

0.5930900000000000e+00 0.7651200000000000e+00 0.8678000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5849300000000000e+00 0.7597500000000000e+00 0.8648100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5767800000000000e+00 0.7543900000000000e+00 0.8618200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5686300000000000e+00 0.7490200000000000e+00 0.8588200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5604800000000000e+00 0.7436500000000000e+00 0.8558300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5523300000000000e+00 0.7382800000000000e+00 0.8528400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5441800000000000e+00 0.7329100000000000e+00 0.8498500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5360300000000000e+00 0.7275400000000000e+00 0.8468600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5278800000000000e+00 0.7221700000000000e+00 0.8438700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5197300000000000e+00 0.7168000000000000e+00 0.8408800000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України

0.5115800000000000e+00 0.7114300000000000e+00 0.8378900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5034300000000000e+00 0.7060600000000000e+00 0.8349000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4952800000000000e+00 0.7006900000000000e+00 0.8319100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4871300000000000e+00 0.6953200000000000e+00 0.8289200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4789800000000000e+00 0.6899500000000000e+00 0.8259300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4708300000000000e+00 0.6845800000000000e+00 0.8229400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4626800000000000e+00 0.6792100000000000e+00 0.8199500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4545300000000000e+00 0.6738400000000000e+00 0.8169600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4463800000000000e+00 0.6684700000000000e+00 0.8139700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4382300000000000e+00 0.6631000000000000e+00 0.8109800000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.5399000000000000e+00 0.7210500000000000e+00 0.8440800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5363100000000000e+00 0.7175500000000000e+00 0.8422400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5327200000000000e+00 0.7140600000000000e+00 0.8404000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5291300000000000e+00 0.7105600000000000e+00 0.8385300000000000e+00 1.0000000000000000e+00

0.5255400000000000e+00 0.7070600000000000e+00 0.8367100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5219500000000000e+00 0.7035700000000000e+00 0.8348700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5183600000000000e+00 0.7000700000000000e+00 0.8330300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5147600000000000e+00 0.6965700000000000e+00 0.8311800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5111700000000000e+00 0.6930800000000000e+00 0.8293400000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.5075800000000000e+00 0.6895800000000000e+00 0.8275000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5039900000000000e+00 0.6860900000000000e+00 0.8256600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.5004000000000000e+00 0.6825900000000000e+00 0.8238100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4968100000000000e+00 0.6790900000000000e+00 0.8219700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4932200000000000e+00 0.6756000000000000e+00 0.8201300000000000e+00 1.0000000000000000e+00

0.4896300000000000e+00 0.6721000000000000e+00 0.8182800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4860400000000000e+00 0.6686000000000000e+00 0.8164400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4824500000000000e+00 0.6651100000000000e+00 0.8146000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4788600000000000e+00 0.6616100000000000e+00 0.8127600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4752700000000000e+00 0.6581100000000000e+00 0.8109100000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.4716700000000000e+00 0.6546200000000000e+00 0.8090700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4680800000000000e+00 0.6511200000000000e+00 0.8072300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4644900000000000e+00 0.6476300000000000e+00 0.8053900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4609000000000000e+00 0.6441300000000000e+00 0.8035540000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4573100000000000e+00 0.6406300000000000e+00 0.8017000000000000e+00 1.0000000000000000e+00

0.4537200000000000e+00 0.6371400000000000e+00 0.7998600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4501300000000000e+00 0.6336400000000000e+00 0.7980200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4465400000000000e+00 0.6301400000000000e+00 0.7961700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4429500000000000e+00 0.6266500000000000e+00 0.7943300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4393600000000000e+00 0.6231500000000000e+00 0.7924900000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.4357700000000000e+00 0.6196600000000000e+00 0.7906400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4321800000000000e+00 0.6161600000000000e+00 0.7888000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4285900000000000e+00 0.6126600000000000e+00 0.7869600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4249900000000000e+00 0.6091700000000000e+00 0.7851200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4214000000000000e+00 0.6056700000000000e+00 0.7832700000000000e+00 1.0000000000000000e+00

0.4178100000000000e+00 0.6021700000000000e+00 0.7814300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4142200000000000e+00 0.5986800000000000e+00 0.7795900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4106300000000000e+00 0.5951800000000000e+00 0.7777500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4070400000000000e+00 0.5916800000000000e+00 0.7759000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.4034500000000000e+00 0.5881900000000000e+00 0.7740600000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.3998600000000000e+00 0.5846900000000000e+00 0.7722200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3962700000000000e+00 0.5812000000000000e+00 0.7703800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3926800000000000e+00 0.5777000000000000e+00 0.7685300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3890900000000000e+00 0.5742000000000000e+00 0.7666900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3854900000000000e+00 0.5707100000000000e+00 0.7648500000000000e+00 1.0000000000000000e+00

0.3819000000000000e+00 0.5672100000000000e+00 0.7630000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3783100000000000e+00 0.5637100000000000e+00 0.7611600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3747200000000000e+00 0.5602200000000000e+00 0.7593200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3711300000000000e+00 0.5567200000000000e+00 0.7574800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3675400000000000e+00 0.5532200000000000e+00 0.7556400000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.3639500000000000e+00 0.5497300000000000e+00 0.7537900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3603600000000000e+00 0.5462300000000000e+00 0.7519500000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.3567700000000000e+00 0.5427400000000000e+00 0.7501100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3531800000000000e+00 0.5392400000000000e+00 0.7482600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3495900000000000e+00 0.5357400000000000e+00 0.7464200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3460000000000000e+00 0.5322500000000000e+00 0.7445800000000000e+00 1.0000000000000000e+00

0.3424000000000000e+00 0.5287500000000000e+00 0.7427400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3388100000000000e+00 0.5252500000000000e+00 0.7408900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3352200000000000e+00 0.5217600000000000e+00 0.7390500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3316300000000000e+00 0.5182600000000000e+00 0.7372100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3280400000000000e+00 0.5147600000000000e+00 0.7353600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3244500000000000e+00 0.5112700000000000e+00 0.7335200000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.3208600000000000e+00 0.5077700000000000e+00 0.7316800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3172700000000000e+00 0.5042800000000000e+00 0.7298400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3136800000000000e+00 0.5007800000000000e+00 0.7279900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3100900000000000e+00 0.4972800000000000e+00 0.7261500000000000e+00 1.0000000000000000e+00

0.3065000000000000e+00 0.4937900000000000e+00 0.7243100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.3029100000000000e+00 0.4902900000000000e+00 0.7224700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2993100000000000e+00 0.4867900000000000e+00 0.7206200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2957200000000000e+00 0.4833000000000000e+00 0.7187800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2921300000000000e+00 0.4798000000000000e+00 0.7169400000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.2885400000000000e+00 0.4763100000000000e+00 0.7151000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2849500000000000e+00 0.4728100000000000e+00 0.7132600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2813600000000000e+00 0.4693100000000000e+00 0.7114100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2777700000000000e+00 0.4658200000000000e+00 0.7095700000000000e+00 1.0000000000000000e+00

0.2741800000000000e+00 0.4623200000000000e+00 0.7077300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2705900000000000e+00 0.4588200000000000e+00 0.7058800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2705900000000000e+00 0.4588200000000000e+00 0.7058800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2705900000000000e+00 0.4588200000000000e+00 0.7058800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2666700000000000e+00 0.4527700000000000e+00 0.7029700000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.2627500000000000e+00 0.4467200000000000e+00 0.7006600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2588200000000000e+00 0.4406700000000000e+00 0.6971400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2549000000000000e+00 0.4346200000000000e+00 0.6942300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2509800000000000e+00 0.4285700000000000e+00 0.6913200000000000e+00 1.0000000000000000e+00

0.2470600000000000e+00 0.4225200000000000e+00 0.6884000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2431400000000000e+00 0.4164700000000000e+00 0.6854900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2392200000000000e+00 0.4104200000000000e+00 0.6825800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2352900000000000e+00 0.4043700000000000e+00 0.6796600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2313700000000000e+00 0.3983200000000000e+00 0.6767500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2274500000000000e+00 0.3922700000000000e+00 0.6738400000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.2233300000000000e+00 0.3862200000000000e+00 0.6709200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2195100000000000e+00 0.3801700000000000e+00 0.6680100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2156900000000000e+00 0.3741200000000000e+00 0.6651000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2117600000000000e+00 0.3680700000000000e+00 0.6621800000000000e+00 1.0000000000000000e+00

0.2078400000000000e+00 0.3620200000000000e+00 0.6592700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2039200000000000e+00 0.3559700000000000e+00 0.6563600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.2000000000000000e+00 0.3499200000000000e+00 0.6534500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1960800000000000e+00 0.3438700000000000e+00 0.6505300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1921600000000000e+00 0.3378200000000000e+00 0.6476200000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України  
0.1882400000000000e+00 0.3317600000000000e+00 0.6447100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1843100000000000e+00 0.3257100000000000e+00 0.6417900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1803900000000000e+00 0.3196600000000000e+00 0.6388800000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1764700000000000e+00 0.3136100000000000e+00 0.6359700000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України

0.1725500000000000e+00 0.8075600000000000e+00 0.6330500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1686300000000000e+00 0.8015100000000000e+00 0.6301400000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1647100000000000e+00 0.2954600000000000e+00 0.6272300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1607800000000000e+00 0.2894100000000000e+00 0.6243100000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1568600000000000e+00 0.2833600000000000e+00 0.6214000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1529400000000000e+00 0.2773100000000000e+00 0.6184900000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1490200000000000e+00 0.2712600000000000e+00 0.6155700000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1451000000000000e+00 0.2652100000000000e+00 0.6126600000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1411800000000000e+00 0.2591600000000000e+00 0.6097500000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1372500000000000e+00 0.2531100000000000e+00 0.6068300000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1333300000000000e+00 0.2470600000000000e+00 0.6039200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.1333300000000000e+00 0.2470600000000000e+00 0.6039200000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 1.0000000000000000e+00  
0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 0.0000000000000000e+00 1.0000000000000000e+00

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України