

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ І ГЕОІНФОРМАТИКИ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **“Дослідження методів моніторингу посівів зернових на угіддях  
сільськогосподарського підприємства”**

Виконав: студент 6 курсу, групи ЗВ-63  
Спеціальності 193 Геодезія та землеустрій  
(шифр і назва)

Папроцький Ростислав Орестович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор Куліковська О.Є.  
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: \_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024





Дослідження методів моніторингу посівів зернових на угіддях сільськогосподарського підприємства. Папроцький Ростислав Орестович. Магістерська кваліфікаційна робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. – Львівський національний університет природокористування, 2024, – 73 с. текстової частини, 4 таблиці, 34 рисунки, 26 літературних джерел.

В роботі описано теоретичні та технічні аспекти отримання інформації про стан рослинності на основі матеріалів космічного багатоспектрального знімання середнього просторового розрізнення. Виконано експериментальні дослідження з метою створення цифрових індексних карт для полів з посівами зернових культур. Доведено високу ефективність методики дослідження стану полів за багатоспектральними космічними знімками, показані деякі особливості і обмеження методики. Розглянуті питання охорони довкілля та охорони праці. Сформовано рекомендації, висновки та пропозиції.

**Ключові слова:** *космічний моніторинг сільськогосподарських угідь, карта історії поля, карти вегетаційних індексів.*

## ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1. Супутниковий моніторинг в рослинництві	7
1.1 Загальні принципи організації моніторингових досліджень сільськогосподарських угідь за даними дистанційного зондування Землі	7
1.2 Джерела супутникових даних для систем агромоніторингу.	14
2. Методика дистанційного моніторингу полів	26
2.1 Методичні основи дистанційного моніторингу полів	26
2.2 Вегетаційні індекси.	30
2.3 Особливості методики дистанційних досліджень посівів зернових культур.	34
3. Експериментальні дослідження. Застосування космічних знімків Sentinel-2	42
3.1 Характеристики інформаційних продуктів на основі знімків Sentinel-2	42
3.2 Побудова індексних карт.	50
3.3 Побудова та дослідження часових рядів індексних карт на пшеничні поля в сезоні 2022/2023 року.	52
4. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ.	60
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.	65
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.	68
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.	70

## ВСТУП

Космічний моніторинг полів відіграє дедалі більшу роль як для технології вирощування рослинної продукції так і в супутній діяльності – для формування аграрної політики, управління галуззю, забезпечення потреб страхового бізнесу тощо. Сільськогосподарська галузь ефективно застосовує сервіси контролю полів за даними дистанційного зондування Землі. На першому місці тут є моніторинг сільськогосподарських культур та прогнозування урожайності. Багато агропромислових корпорацій використовують матеріали високого і середнього просторового розрізнення і більш того самостійно планують виводити власні супутники дистанційного зондування Землі. Актуальним є вивчення та дослідження методик поводження із супутниковими даними.

В роботі використовуються багатоспектральні космічні знімки Sentinel-2, що їх у відкритому доступі надає Європейське космічне агенство. Це цінне джерело інформації для рільництва при умові правильного його опрацювання. Тому завданням ставимо вивчення властивостей цих космічних знімків та дослідження методик створення за ними інформаційних продуктів для рільництва.

Метою роботи є аналіз сучасних методів щодо отримання за космічними знімками інформаційних продуктів що висвітлюють вегетаційні етапи розвитку зернових рослин.

Методологічною основою дослідження є літературний аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних вчених за тематикою дослідження.

Предметом досліджень є методика створення індексних карт рослинності за вільно поширюваними космічними знімками середнього просторового розрізнення.

Об'єктом досліджень є поля аграрних підприємств у Червоноградському районі Львівської області.

## **1. Супутниковий моніторинг в рослинництві**

### **1.1. Загальні принципи організації моніторингових досліджень сільськогосподарських угідь за даними дистанційного зондування Землі**

В умовах сьогодення необхідною умовою організації ефективного сільськогосподарського виробництва є можливість оперативного отримання і точної інтерпретації інформації про розподіл та використання земельних ресурсів, стан сільськогосподарських угідь та динаміку фенологічного розвитку насаджень і посівів. Сучасне аграрне підприємство будь-якої спеціалізації рільництва може перебувати на сучасному технологічному рівні і бути конкурентним лиш при умові впровадження цифрових технологій, сучасних методів збору і опрацювання інформації про динамічні параметри територій де відбувається вирощування культур, мати змогу постійно контролювати фенологічні процеси росту і визрівання культур.

Означені положення є важливою частиною світового тренду інновацій, зокрема точного землеробства. Його основна функція полягає в тому, щоб покращувати результати зрошування культур завдяки впровадженню цифрових роботизованих технологій обробітку ґрунту та збору врожаю, індивідуалізованому підході у виборі агротехнічних технологій на різних ділянках поля, постійний контроль (тобто моніторинг) їхнього стану та умов зовнішнього середовища.

Супутниковий моніторинг – діюча у визначених завданнями дослідження часових рамках система спостереження за об'єктами, побудована на основі систем супутникової навігації, супутникового знімального обладнання, технологій обчислювальної техніки та геоінформатики. Супутниковий моніторинг посівів сільськогосподарських культур має на меті відстежувати позитивні та негативні зміни у динаміці розвитку рослин шляхом спостереження за змінами індексу вегетації,

отриманих за допомогою спектрального аналізу супутникових знімків середнього і високого розрізнення, на визначених територіях для окремих сільськогосподарських культур.

Реалізація систем супутникового моніторингу відбувається в руслі розвитку наукових і технічних дисциплін в науках про Землю. Можемо спостерігати дві тенденції цього розвитку - спеціалізацію і інтеграцію. Після окреслення нових принципів отримання знань, винаходження нових технологій часто відбувається відділення нових, вузько спеціалізованих дисциплін. Проте, як тільки ці дисципліни досягають певного розвитку, їх досягнення виявляються затребуваними в інших галузях, настає етап інтеграції. В науках про Землю такими основними дисциплінами є геоінформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) та система глобального позиціонування і навігації (ГНСС). Супутниковий моніторинг посівів сільськогосподарських культур та визначення параметрів їхнього стану доцільно здійснювати на основі інтеграції існуючих систем збору й спостереження, даних дистанційного зондування в програмному середовищі геоінформаційної системи. ГІС надають програмні інструменти для обробки, відображення і поширення даних про площі, стан, біометричні характеристики посівів [14]. В роботі [6] вказано як на одну з актуальних задач інтеграцію даних GPS, ДЗЗ і ГІС при проведенні моніторингу стану навколишнього середовища (рис.1).

В останні десятиліття велись активні наукові дослідження в галузі розроблення оперативних і точних методів моніторингу посівів сільськогосподарських культур на основі супутникових технологій [25,23]. Діючі супутникові угруповання високого (просторове розрізнення – до 10м) і надвисокого (субметрового) розрізнення працюють в широкому спектральному діапазоні і дозволяють отримувати достатньо точні дані про площі насаджень і посівів окремих сільськогосподарських культур [17].

З 2015 року із запуском Європейським космічним агенством багатофункційного супутникового сузір'я Sentinel відбувся суттєвий стрибок



в доступності космічних даних саме для моніторингових програм. Ця подія також активізувала пошук рішень для конкретних потреб аграрної галузі в Україні [10].

Цикл супутникового моніторингу полів починається від передпосівної підготовки поля і закінчується безпосередньо перед збором врожаю. Окреслимо основні його етапи.

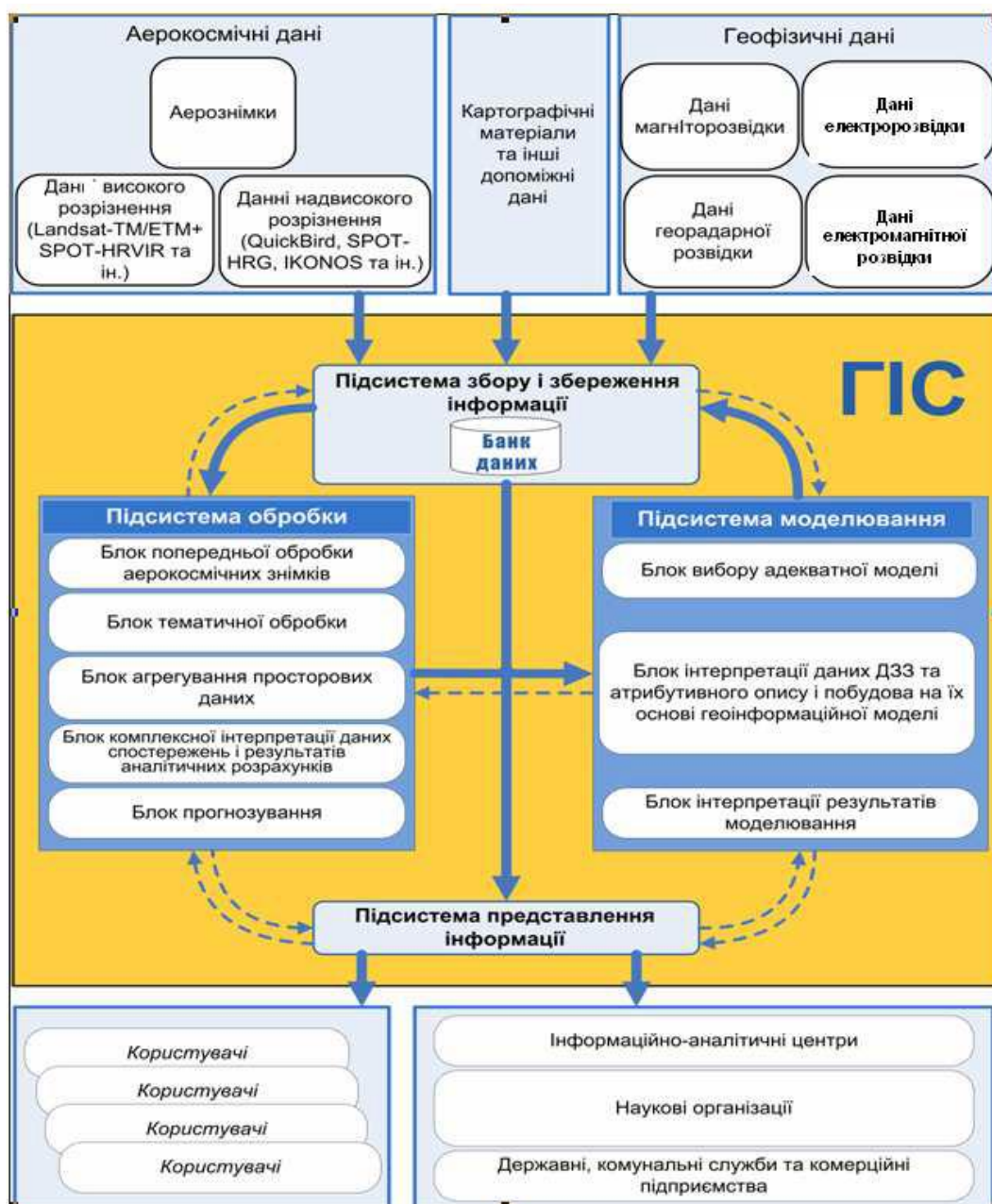


Рис. 1.1. Функціональна схема інтеграції технологій ГІС, GPS і ДЗЗ у системі моніторингу [6]

- 1 Етап** Оцінюється стан ділянки і ґрунту. Визначаються геометричні параметри поля, його рельєф а також якість проведеного передсезонного обробітку.
- 2 Етап** Моніторинг схожості рослин, густоти посівів і виявлення ділянок з неоднорідними сходами. За знімками визначається потреба підсіву або повторного посіву.
- 3 Етап** Контроль за внесенням підгодівлі і добрив. По знімках із супутників виявляють ділянки, де рослини відстають в розвитку, де не вистачає поживних речовин і складається план внесення добрив. Контроль забрудненості бур'янами. Космічні знімання можуть доповнюватись даними натурних обстежень та аерозніманням з дронів. Результатом цього етапу є складання електронних карт-завдань для диференціального внесення добрив і засобів захисту рослин наземною технікою.
- 4 Етап** Визначаються строки визрівання культур, прогнозується врожайність, встановлюють строки збирання.

Розроблені також рекомендації щодо застосування різних даних і інструментів для оцінювання стану культур в різні сезони року. В таблиці приведено такі рекомендації для озимих культур.

Таблиця 1.1. Дані і інструменти, рекомендовані до застосування при оцінюванні стану озимих культур в різні періоди проведення моніторингу

Дані	Період моніторингу			
	Осінь	Зима	Весна	Літо
Супутникові зображення, в тому числі індексні	+	+	+	+
Температура і опади	+	+	+	+
Гідротермічний коефіцієнт і волога в ґрунті	+	–	+	+
Глибина снігового покриву	–	+	–	–

Сезонна динаміка NDVI	+	-	+	+
Карти озимих культур, виявлених за супутниковими даними	+	-	+	±
Карта відхилень NDVI від багаторічної норми	+	-	+	±
Карта відхилень максимумів NDVI від багаторічних максимумів	-	-	-	+

На основі супутникових даних створено і активно функціонують аналітичні інтернет-платформи, які надають сервісно-інформаційні послуги аграріям щодо стану їхніх полів та формують рекомендації щодо корекції технології вирощування тих чи інших культур. Крім оперативної інформації надаються такі інформаційні продукти як історії полів – на основі накопичених архівів супутникових даних [24,18]. Архіви супутникових зображень середнього розрізнення доступні користувачам за останні декілька років, а архіви даних MODIS - понад 20 років.

Найбільш розвинені і практично апробовані в різних країнах є супутникові методи моніторингу площ посіву озимих сільськогосподарських культур [26,19]. Ці методи дають надійні оцінки і широко застосовуються не тільки окремими виробниками агропродукції а й урядовими структурами і міжнародними організаціями. Так, за оцінками незалежних дослідників, станом на середину грудня 2023 року в Україні зернових зібрали 57,57 млн тонн, олійних — 20,74 млн тон. Для порівняння, минулого 2022 року станом на 17 грудня 44,9 млн тон. Також оцінено втрати врожаю на окупованих територіях України. В організації NASA Harvest підраховали, що тільки цього року Україна зазнала економічних збитків у розмірі близько \$2 млрд через втрату врожаю на нині окупованих полях, і ці втрачені врожаї могли годувати понад 25 млн людей протягом цілого року [16].

Таблиця 1.2. Оцінки впливу війни на сільське господарство (за даними NASA Harvest)

**TABLE 1: 2022 to 2023 comparison of full Ukraine Planted, Harvested areas, yields and production**  
Only full Ukraine numbers are comparable from year to year, given occupation status boundaries fluctuate over time.

Land cover class	Planted Area, 2023 Mha	Planted Area, 2022 Mha	Harvested Area, 2023 Mha	Harvested Area, 2022 Mha	Yield, MT/ha 2023	Yield, MT/ha 2022	Production, mMT 2023	Production, mMT 2022
Wheat (Winter and Spring)	6.42	7.19	6.22	6.74	4.57	3.98	28.43	26.83
Sunflower (production based on planted area)	6.63	6.72	-	-	2.51	2.34	16.63	15.73

**TABLE 2: 2022 to 2023 comparison of government-controlled Ukraine Planted, Harvested areas, yields and production**  
Given changing frontlines, government-controlled areas in 2022 covered 48.9 MHa, whereas in 2023 they covered 49.3 MHa. Occupation status as of 26th of September 2022 and 11th of July 2023

Land cover class	Planted Area, 2023 Mha	Planted Area, 2022 Mha	Harvested Area, 2023 Mha	Harvested Area, 2022 Mha	Yield, MT/ha 2023	Yield, MT/ha 2022	Production, mMT 2023	Production, mMT 2022
Wheat (Winter and Spring)	4.68	5.39	4.56	5.14	4.83	4.08	22.01	20.97
Sunflower (production based on planted area)	5.90	5.87	-	-	2.57	2.40	15.17	14.05

**TABLE 3: 2022 to 2023 comparison of temporarily occupied Ukraine Planted, Harvested areas, yields and production**  
Given changing frontlines, temporarily occupied areas in 2022 covered 11.1 MHa, whereas in 2023 they covered 10.7 MHa. Occupation status as of 26th of September 2022 and 11th of July 2023

Land cover class	Planted Area, 2023 Mha	Planted Area, 2022 Mha	Harvested Area, 2023 Mha	Harvested Area, 2022 Mha	Yield, MT/ha 2023	Yield, MT/ha 2022	Production, mMT 2023	Production, mMT 2022
Wheat (Winter and Spring)	1.74	1.80	1.66	1.60	3.87	3.66	6.42	5.86
Sunflower (production based on planted area)	0.73	0.85	-	-	2.00	1.97	1.46	1.68

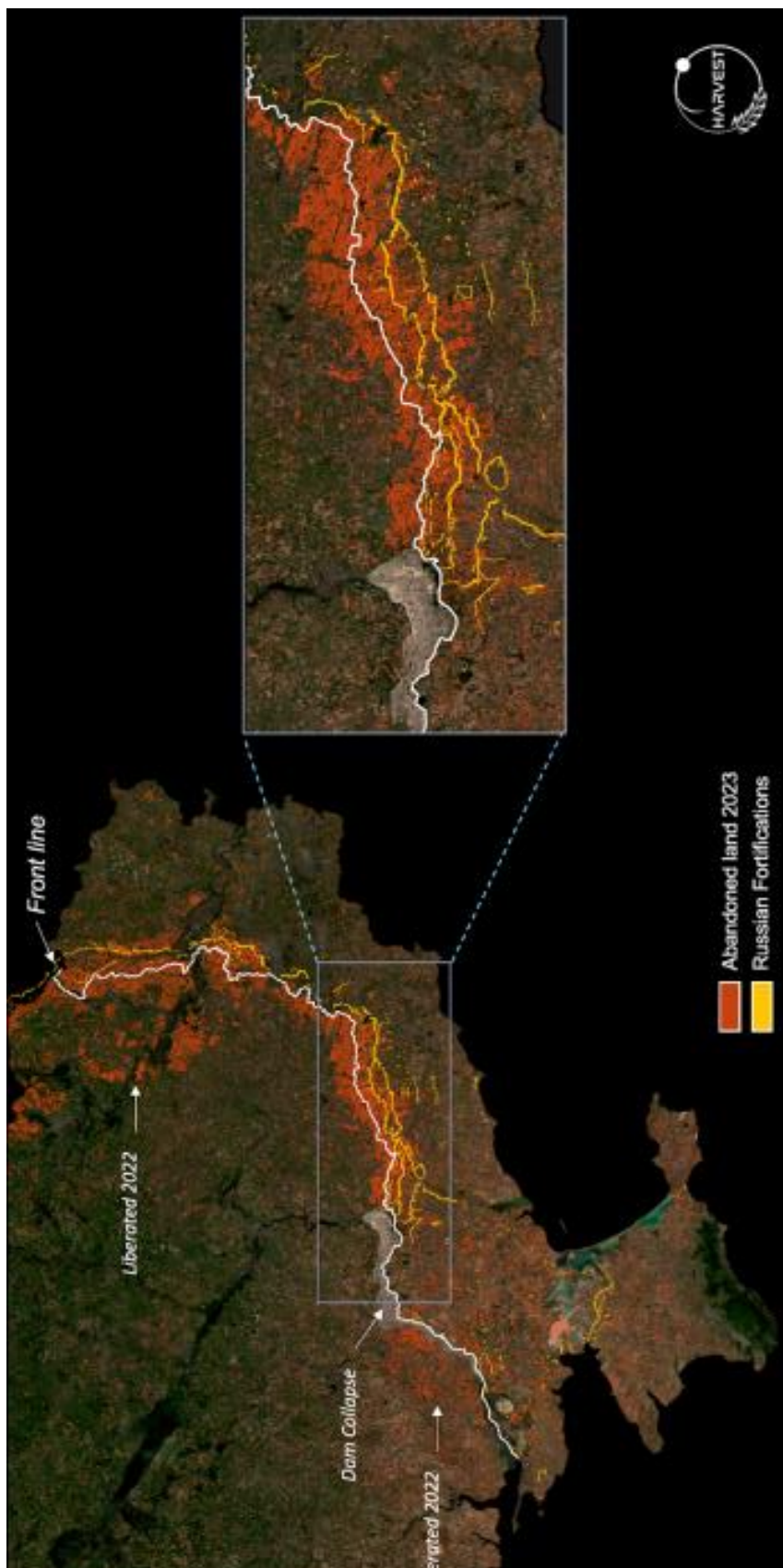


Рис.1.2. Результати супутникового моніторингу: пошкоджені та покинуті угіддя внаслідок війни

Аналіз супутникових зображень дистанційного зондування дозволили NASA Harvest кількісно оцінювати вплив війни на сільське господарство. Кількість лише пшениці, зібраної на окупованих росією територіях у 2023 році, становить 6,42 млн тон. Також супутниковий моніторинг дозволив виявити що пошкоджені покинуті угіддя складають 2,1-2,8 млн га. Ці занедбані поля складають від 6,5 до 8,5% від загальної площі посівних площ України і розташовані вздовж лінії фронту в смузі 30-50км.

## **1.2. Джерела супутникових даних для систем агромоніторингу.**

Поверхню Землі щоденно знімають понад 400 (за даними сайту <http://database.eohandbook.com>) космічних апаратів ДЗЗ. Знімки, отримані у процесі їх роботи є головним ресурсом для досліджень у галузі сільськогосподарського виробництва. При вивченні сільськогосподарських угідь джерелом інформації є випромінювання, що виходить від них та фіксується встановленими на супутниках спектрометрами високого розрізнення. Спектральна відбивна здатність сільськогосподарських культур індивідуальна і відрізняється специфікою відображення на різних довжинах хвиль. Знаючи наперед відбивну здатність рослини, можна ідентифікувати її на спектральних знімках та оцінити нормальність чи стресовість її стану.

Основні вимоги, що висуваються до знімків для використання в системах супутникового моніторингу рослинності:

- забезпечення достатнього просторового розрізнення (ПР) для аналізу на рівні окремих полів;
- можливість використовувати мультиспектральні знімки різних довжин хвиль (достатнє спектральне розрізнення, СР) для створення інформаційних продуктів, таких як карти вегетаційних індексів, що характеризують стан рослинності;

- можливість частих зніманих територій (часове розрізнення) що є необхідним для контролю динаміки розвитку рослин та їх реакції на дію несприятливих погодних і біологічних факторів;
- достатньо довгі ряди спостережень, необхідні для виявлення різних аномалій в розвитку рослинності на основі порівняння даних різних років та вегетаційних сезонів.

ПР визначає мінімальні лінійні розміри об'єкта місцевості, які можуть бути зафіксовані пікселем знімальної системи. ПР залежить від довжини хвилі випромінювання  $\lambda$ , висоти орбіти космічних апаратів  $H$ ,  $w$  - лінійний розмір пікселя датчика,  $f$  - фокусної відстані оптичної системи:

$$R = w \frac{H}{f}. \quad (1.1)$$

Об'єкти, менші проекції розміру пікселя на місцевість, можуть бути записані на зображенні, якщо вони контрастують з фоном. З іншого боку, об'єкти, рівні чи більші у порівнянні за розміром з проекцією пікселя на місцевості, не можуть бути записані, якщо поруч знаходяться більш яскраві об'єкти. Чим вище ПР, тим менше її числове значення. Наприклад, ПР у 80 м є більш грубим, ніж ПР в 10 м. Системами високого ПР вважаються такі, в яких піксел зображення покриває від 1 м до 10 м на місцевості ( $1\text{ м} < R < 10\text{ м}$ ); надвисокого ПР – до 1 м ( $R < 1\text{ м}$ ).

Ширина смуги огляду залежить від висоти орбіти супутника і максимального відхилення головного оптичного променя камери від напрямку в надир. Як правило із збільшенням ширини смуги огляду просторове розрізнення зменшується.

Спектральне розрізнення (СР) відповідає кількості діапазонів електромагнітного спектру, що реєструються знімальною апаратурою і розмахом (шириною) кожного з цих діапазонів. Залежно від кількості спектральних діапазонів, у яких реєструється зображення, знімальна апаратура і одержувані з її допомогою знімки поділяються на:

- панхроматичні (використовують одну широку зону спектра і зазвичай мають більш високе ПР);
- мультиспектральні (від 2 до 100 реєстрованих діапазонів в різних вузьких ділянках електромагнітного спектру);
- гіперспектральні (більше 100 реєстрованих діапазонів в різних значно більш вузьких порівняно із мультиспектральними знімками ділянках електромагнітного спектру).

Важливою характеристикою знімків крім вище описаних є **радіометричне розрізнення (РР), або Динамічний діапазон**. Ця величина характеризує кількість рівнів дискретизації, відповідних переходу від мінімальної до максимальної яскравості і вказується числом біт відведених на збереження одного пікселя. РР у 8 біт/піксел відповідає 256 рівнів градації яскравості. Для виявлення на знімку елементарного об'єкта повинна виконуватися умова:

$$I_{об} S / R^2 > \Delta I, \quad (1.2)$$

де:  $I_{об}$  - яскравість об'єкта;  $S$  - його площа;  $R$  - просторове розрізнення;  $\Delta I$  - радіометричне розрізнення.

Найбільш передовими комерційними системами дистанційного зондування Землі є системи високого (розмір проекції пікселя знімка на поверхню землі не перевищує 10м) та надвисокого (розмір проекції пікселя знімка на поверхню землі не перевищує 1м) просторового розрізнення. Типовими зразками таких систем є GeoEye-1, WorldView-1/2/3, QuickBird, IKONOS. Технічні параметри приведено в таблиці 1.3.

Слід зауважити, що космічні знімки високого і надвисокого розрізнення мають основним застосуванням не моніторингові задачі, а задачі топографічні і ті, які виникають як реакція на прояви особливих подій, такі як масштабні повені, лісові пожежі тощо. Більшого поширення в системах моніторингу рослинності набули знімальні системи середнього просторового розрізнення, зокрема діюча з 2015 року пара оптико-електронних супутників Європейського космічного агенства Sentinel 2.



Таблиця 1.3. Технічні параметри комерційних систем дистанційного зондування Землі високого та надвисокого розрізнення (DigitalGlobe, США)

Параметр	WorldView-3	WorldView-2	GeoEye-1	WorldView-1	QuickBird	IKONOS
Дата запуску	13 серпня 2014 року	8 жовтня 2009 року	6 вересня 2008 року	18 вересня 2007 року	18 жовтня 2001 року (доступний архів знімків)	24 вересня 1999 року
Панхроматичний	0,45-0,80	0,45-0,80		0,45-0,90		
Голубий	0,45-0,51	0,45-0,51		-	0,45-0,52	
Зелений	0,51-0,58	0,51-0,58		-	0,52-0,60	
Червоний	0,63-0,69	0,63-0,69		-	0,63-0,69	0,63-0,70
Ближній інфрачервоний	0,77-0,895	0,77-0,89	0,78-0,92	-	0,76-0,90	0,76-0,85
Фіолетовий	0,40-0,45	0,40-0,45	-			
Жовтий	0,585-0,625	0,58-0,62	-			
Червоний Край	0,705-0,745	0,70-0,74	-			
Ближній інфрачервоний – 2	0,86-1,04	0,86-1,04	-			
8 діапазонів SWIR	1,195-2,365	-				
12 діапазонів CAVIS	0,405-2,245	-				
Просторове розрізнення рап (MS), м/піксель	0,31 (1,24)	0,46 (1,84)	0,41 (1,65)	0,50	0,61 (2,44)	0,82 (3,2)
<b>Динамічний діапазон,біт/піксель : 11</b>						
Смуга огляду в надир (км)	13,1	16,4	17,3	17,6	16,5	11,3

Для замовлення клієнти можуть обрати такі параметри знімків:

<b>Варіанти продуктів</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Панхроматичний;</li> <li>• Натуральний композит (RGB),</li> <li>• Псевдонатуральний композит (NRG)</li> <li>• 4-х каналний (RGB+NIR),</li> </ul>
---------------------------	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 або 8 каналів (панхроматичний + мультиспектральний);</li> <li>• Стерео</li> </ul>
<b>Мінімальна площа (мінімальна ширина)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Архів: 25 км<sup>2</sup> (3 км)</li> <li>• Нове знімання: 100 км<sup>2</sup> (5 км) Стерео</li> </ul>
<b>Рівні обробки</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Первинна радіометрична, геометрична корекція</li> <li>• Первинна радіометрична, геометрична корекція та прив'язка в стандартну картографічну проекцію</li> <li>• Ортокорекція</li> </ul>
<b>Стандартний кут відхилення від надиру</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0°– 45°</li> </ul>
<b>Знімання із заданим кутом відхилення оптичної осі</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Задання конкретного кута знімання (наприклад, 0-15, 16-30, 31-41)</li> </ul>
<b>Допустима хмарність</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Не більше 15 %.</li> </ul>

Sentinel-2 — космічна місія дистанційного зондування Землі, запущена Європейським космічним агентством (ESA) у рамках програми "Copernicus" і яка складається із двох однакових за конструкцією супутників — Sentinel-2A і Sentinel-2B. Місія Sentinel-2 має наступні можливості:

- Мультиспектральні дані в 13 діапазонах: видимому, близькому інфрачервоному, і інфрачервоному короткохвильовому діапазонах спектра;
- Періодичне (кожні 5 діб під однаковими кутами огляду) покриття поверхні Землі від 56° Півд.Ш. до 84° Півн.Ш.; Над високими широтами проходи Sentinel-2 перекриваються, тому деякі регіони будуть спостерігатися двічі або більше разів кожні 5 днів, але під різними кутами огляду;
- Роздільна здатність в 10 м, 20 м і 60 м;
- 290 км смуга огляду;
- Безкоштовне та відкрите поширення даних.

Два ідентичні супутники Sentinel-2 (Sentinel-2A і Sentinel-2B) працюють одночасно. Орбіта є сонячно-синхронною на висоті 786 км, 14.3 обертань на

день, із низхідним вузлом орбіти 10:30 ранку. Цей місцевий час було обрано як компроміс мінімізуючи покриття хмарами і забезпечуючи достатнє освітлення Сонцем. Цей час близький до місцевого часу, використаним в Landsat і SPOT, що дозволяє поєднувати дані Sentinel-2 із архівними знімками і будувати довготривалі часові послідовності. Супутники працюють по протилежних боках орбіти. Запуск супутника Sentinel-2A здійснено 23 червня 2015 у 01:52 UTC, а Sentinel-2B було запуснено 7 березня 2017 о 01:49 UTC.

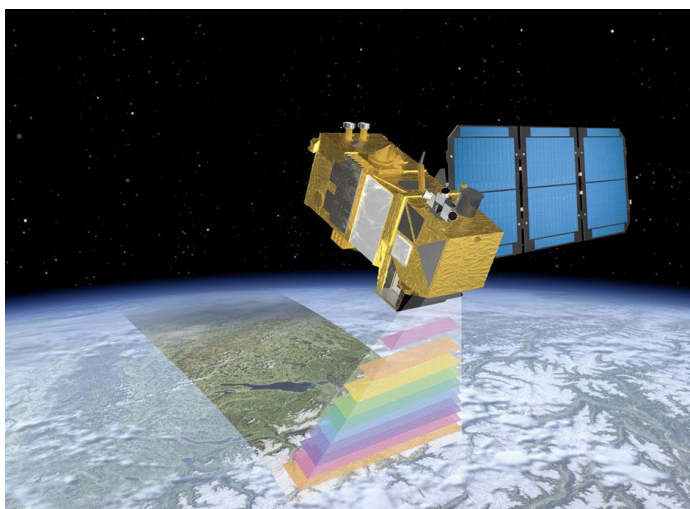


Рис. 1.3. Супутник ДЗЗ Sentinel-2

Кожен супутник Sentinel-2 оснащено мультиспектральним приладом (англ. multi-spectral instrument, MSI) з можливістю формування зображень за 13-ма спектральними каналами у видимому, близькому інфрачервоному (VNIR) і інфрачервоному з короткими хвилями (SWIR) спектральних діапазонах. Сканер MSI має діафрагму в 150 мм і конструкцію із тридзеркальним антистигматом із фокусною відстанню приблизно в 600 мм; його кути зору становлять приблизно 21 на 3.5 градусів. Дзеркала прямокутні і виконані із карбіда кремнію.

Від моменту, як знімок буде отриманий із супутника, до можливості його застосування в комп'ютерних інформаційних системах відбувається ряд процедур з приведення його у вид, зручний для користувача і наступного аналізу інформації. Успіх застосування матеріалів ДЗЗ багато в чому

визначається належно виконаним наземним опрацюванням. Існують такі рівні опрацювання і подання даних знімань з космосу:

Табл. 1.4. Стандартні рівні опрацювання і подання даних знімань з космосу.

Стандартний рівень	Опис	Формат зображення	Формат метаданих
	Абсолютно "сирі"дані (англ. Row Data), що містять відліки яскравості з ПЗЗ-датчиків отриману у процесі зйомки, без будь-який перетворень. Даний рівень є базовим для формування наступних рівнів обробки. Зазвичай, агентства не розповсюджують дані цього рівня. Використовується головним чином з метою вивчення роботи знімальних систем	Не визначений	Не визначений
<p>0 – рівень обробки даних ДЗЗ (попередня опрацювання) передбачає операції розпакування цифрового потоку від знімальних приладів та спектральних каналів, змістом якого є формування вихідного зображення (растрової структури) з первинних даних і доповнення його необхідними метаданими. Файли цих даних прив'язані до бортової шкали часу космічного апарату й супроводжуються доступною допоміжною інформацією (наприклад, ефемериди КА, стан апаратури тощо.</p>			
1A	Включає тільки радіометричне корегування викривлень, викликаних різницею в чутливості окремих ПЗЗ-датчиків системи сканування. Жодні геометричні виправлення для зображень цього рівня не виконуються, тому вони залишаються практично необробленими або "сирими". Надаються коефіцієнти абсолютного радіометричного калібрування. Матеріали даного рівня рекомендовані для наступної фотограмметричної обробки строгими методами.	RAW, TIFF	CEOS, XML
1B	Включає радіометричне корегування, як і рівень обробки 1A, а також геометричне корегування систематичних похибок ПЗЗ-датчиків скануючої	RAW, TIFF	CEOS, XML, ASCII

	<p>системи, в тому числі панорамні викривлення, які викликані обертанням і кривизною Землі, коливанням висоти орбіти супутника. Застосована абсолютне радіометричне калібрування. Зображення рівня 1B іноді називають "path-oriented" . Додатково можуть надані файли, що містять коефіцієнти раціонального багаточлена (RPC), що апроксимують геометрію зображення. Матеріали можуть бути використані для фотограмметричної обробки як строгими методами, так і апроксимаційними.</p>		
<p>1 – рівень обробки зображень (нормалізація), змістом якого є операції координатної прив'язки зображення за орбітальними даними носія знімальної апаратури, розділення за кадрами (сценами) й оцінку якості рядків зображення; проведення радіометричної корекції та корекцію збійних пікселів цифрового зображення; проведення операцій геометричної корекції космічних знімків.</p>			
2A	<p>Зображення, як правило, приведені до стандартної картографічної проекції без використання наземних опорних точок. Проектування зображення виконується на середню площину або використовується глобальна цифрова модель рельєфу (DEM) з кроком на місцевості 1 км. Можуть надаватись файли, що містять коефіцієнти раціонального багаточлена (RPC), що апроксимують геометрію зображення.</p>	GeoTIFF	XML,ASCII
2B	<p>Зображення рівня 2A приведені до стандартної картографічної проекції з використанням наземних опорних точок. Проектування зображення виконується на середню площину або використовується глобальна цифрова модель рельєфу (DEM) з кроком на місцевості 1 км. Можуть бути представлені файли, що містять коефіцієнти раціонального багаточлена (RPC), що апроксимують геометрію зображення.</p>	GeoTIFF	XML,ASCII

2 – рівень обробки зображень (міжгалузева опрацювання), змістом якого є його просторова прив’язка з використанням наземних опорних точок. Міжгалузева опрацювання залежно від глибини обробки поділяється на окремі рівні і передбачає:

- проведення операції перерахунку координат зображення у визначену картографічну проекцію;
- здійснення операцій повної радіометричної корекції зображення;
- здійснення операцій повної геометричної корекції зображення, орторектифікації (гр. ortos – прямий, правильний + rectificatio (лат.) – виправлення) зображення.

Орторектифікація – це перетворення знімку в планіметричне зображення, які усувають геометричні спотворення на зображенні, зумовлені орієнтацією камери (сенсору), впливом рельєфу й кривизни Землі, а також похибками математичної моделі зображення;

3 А	На відміну від рівня 2В, зображення рівня 3А проектується в задану картографічну проекцію шляхом ортотрансформування з використанням з певною точністю. Отримані зображення є ортоскорегованими з певною точністю. Зображення, зазвичай, нарізуються на стандартні картографічні аркуші.	GeoTIFF	XML,ASCII
3В	Рівень 3В передбачає об’єднання зображень рівня 3А в єдині безшовні растрові мозаїки, що покривають великі території	GeoTIFF	XML,ASCII

3 – рівень обробки зображень (тематичне опрацювання), змістом якого є набуття значень дешифрувальних ознак або визначення фізичних параметрів об’єктів зондування, формування тематичних шарів просторової інформації у вигляді графічних й текстових матеріалів, формування просторових моделей, тематичних карт, геоінформаційних проектів на основі оброблених космічних знімків на електронних або / і паперових носіях.

Місія Sentinel-2 генерує продукти таких рівнів опрацювання:

- Рівень-1В: Значеннями пікселів є максимальне випромінювання атмосфери в геометрії датчика. Рівень-1В складається з гранул, одна гранула є фрагментом зображення одного з 12 детекторів у поперечному напрямку шляху (25 км) і містить задану кількість ліній уздовж шляху (приблизно 23 км). Кожна гранула рівня 1В має обсяг даних приблизно 27 МБ. З огляду на складність продуктів рівня 1В їх використання вимагає знань наукового рівня;
- Рівень-1С: Значеннями пікселів є Коефіцієнти відбиття від об'єктів у верхній частині атмосфери в картографічній проекції (проекція UTM та еліпсоїд WGS84). Продукти рівня 1С є плитками по 100 км кожна і об'ємом близько 500 МБ. Ці вироби піддаються радіометричній та геометричній корекції (включаючи ортотрансформування). Цей продукт можна отримати на сайті Copernicus [Open Access Hub \(https://scihub.copernicus.eu\)](https://scihub.copernicus.eu);
- Рівень-2А: Значеннями пікселів є Відбивна здатність поверхні Землі у картографічній проекції. Цей продукт призначений для аналізу готових даних (ARD), і його можна використовувати безпосередньо в геоінформаційних програмах без необхідності подальшої обробки. Цей продукт може бути отриманий або з Copernicus Open Access Hub або згенерований користувачем за допомогою програмного процесора [sen2cor](#) з ESA [SNAP Toolbox](#) [22].

Відповідно до рекомендацій Комітету супутникового спостереження Землі (CEOS), повний опис розповсюджуваних продуктів ДЗЗ повинен включати [20]:

- визначення рівня обробки;
- ідентифікацію центру обробки;
- інструмент, за допомогою якого отримані дані;
- фізичний носій, на якому доступні дані і відповідні стандарти;

- використовуваний формат даних;
- процедури калібрування (процес, що кількісно визначає відгук системи на відомий і контрольований вхідний сигнал) і валідації [2];
- інтерфейс із зовнішніми користувачами.

### ***Попередня опрацювання***

Одним з найважливіших, процесів при перетворенні інформації нульового рівня в інформацію, придатну для наступної інтерпретації і практичного застосування, є процес координатно-часової прив'язки вимірювальних даних, якій дозволяє досліднику встановити взаємно-однозначну відповідність між значеннями вимірюваних параметрів і спостережуваними фізичними об'єктами, від яких надійшла інформація на реєстратори випромінювання даного приладу. Крім даних, які безпосередньо вимірюються в системах приладів спостереження, процес координатно-часової прив'язки вимагає для свого здійснення знання траєкторії руху носія і його орієнтації. Ці дані надходять від наземних служб стеження і бортових систем керування орієнтацією.

Ряд складних етапів обробки, зокрема виміру і обробки даних для визначення орієнтації і траєкторії носія, здійснення координатно-часової прив'язки оперативних даних бортових вимірів, можна покласти на комплекс апаратури бортового базування. Приладні засоби для практичної реалізації цих ідей вже створені. Це вимірювальна апаратура супутникових радіонавігаційних систем типу "Navstar" і зіркові відеоприлади.

Вихідна інформація (потік "сирих" даних), що реєструється наземним приймальним центром є радіосигналом з супутника у вигляді бітової послідовності, яка містить як результати знімання, так і службову інформацію про рух і орієнтацію космічного апарату, режими роботи знімальної апаратури тощо. При цьому інформаційний сигнал проходить декілька стадій обробки (демодуляція, синхронізація, декодування тощо), частина з яких виконується апаратно, частина – за допомогою програмних



засобів приймального комплексу безпосередньо після сеансу зв'язку з супутником. Знаючи формат (структуру) потоку даних, можна витягти з нього відзняті зображення.

### ***Первинне опрацювання***

Дані ДДЗ зазвичай містять випадкові, системні і систематичні спотворення, пов'язані із впливом атмосфери, кривизною поверхні Землі, руху знімального апарата щодо її поверхні в момент зйомки, фізичними характеристиками сенсорів і надійністю каналів передавання даних. Первинною обробкою є набір процесів які перетворюють вхідну інформацію, отриману наземною станцією прийому, в певні продукти ДДЗ стандартних рівнів обробки, придатні для подальшого використання в системах опрацювання інформації.

Основним завданням первинної обробки зображень є виправлення отримуваних даних для досягнення як можна більше правдоподібного зображення земної поверхні. Цей етап включає в себе:

- геометричне корегування супутникових зображень;
- радіометричне калібрування знімків;
- радіометричне корегування впливу атмосфери;
- відновлення пропущених пікселів;
- контрастування;
- фільтрацію тощо.

## 2. Методика дистанційного моніторингу полів

### 2.1. Методичні основи дистанційного моніторингу полів

Для вивчення продуктивності рослин, об'ємів біомаси та інтенсивності фотосинтезу отримують серію похідних зображень з вхідних супутникових знімків. Для цього застосовують спеціальні алгоритми, аргументами яких є спектральні коефіцієнти яскравості пікселів знімків, отриманих в окремих зонах спектра [25].

Інфрачервоний діапазон є найбільш важливим для діагностики стану рослин, оскільки саме в двох його ділянках яскравості відбитого світла відображають важливі фізичні процеси:

- ближній інфрачервоний (NIR) (700-1400 нм) – відбивні характеристики залежать від структури клітин;
- короткохвильовий інфрачервоний (1400-2000 нм) – відбивні характеристики залежать від вмісту води в тканинах.

Видимий оптичний діапазон є більш складним для моніторингу через відсутність власного випромінювання в ньому рослинних об'єктів. Формування СКЯ залежить від зовнішнього освітлення, також є перспективним для дистанційної діагностики стану рослин:

- синій канал (400-499 нм), знаходиться під сильним впливом поглинання хлорофілом і каротиноїдами;
- синьо-зелений канал (500-549 нм) призводить до зеленого піку відбиття за 550 нм;
- червоний канал (650-699 нм) пов'язаний із сильним поглинанням енергії хлорофілом.

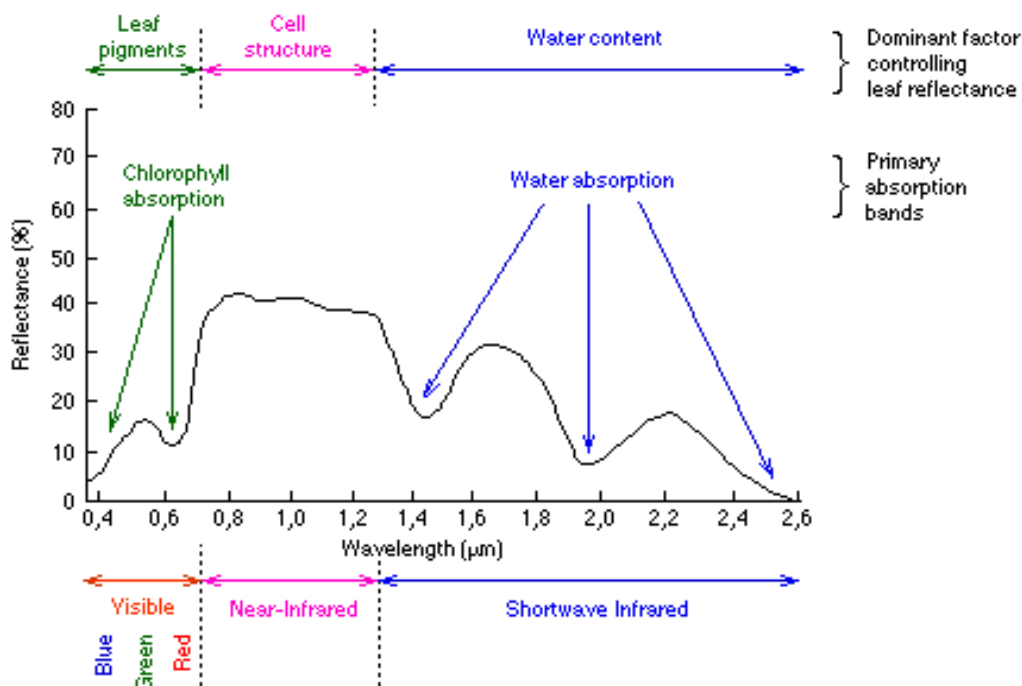


Рис. 2.1. Графік залежності відбивної здатності листа рослин від довжини хвилі електромагнітного опромінення

Особливість багатоканальних знімків полягає в тому, що знаючи особливості хвильових характеристик каналів і їх комбінацій, можна отримати необхідну інформацію про властивості різних географічних і екологічних об'єктів. Етап аналізу даних ДЗЗ, головним завданням якого є розпізнавання та ідентифікація об'єктів, виявлених на знімку, називається дешифруванням зображення. Процес об'єднання різних каналів знімка називають синтезацією. Наприклад, для супутникових знімків середнього просторового розрізнення можна виділити такі п'ять груп основних комбінацій каналів, за якими будують синтезовані зображення, придатні для дешифрування об'єктів на знімках [20]:

- комбінація «природні кольори»;
- комбінація «штучні кольори» з переважанням червоного кольору;
- комбінація «штучні кольори» з переважанням жовтого кольору;
- комбінація «штучні кольори» з переважанням зеленого кольору;
- комбінація інфрачервоні канали з переважанням синього кольору.

Кількісною характеристикою стану посівів і насаджень є індексна карта.

Індекс – це штучна і як правило фізично безрозмірна числова величина, отримана шляхом здійснення математичних операцій над значеннями яскравостей в різних діапазонах спектра конкретного пікселя зображення.

Найбільшого поширення серед багатьох існуючих варіантів розрахунку індексів набув NDVI (Normalised Vegetation Index, нормалізований вегетаційний індекс). Обчислення NDVI засноване на методі математичного порівняння кількості поглинутого рослиною чи часткою ґрунту видимого червоного світла і відбитого цією рослиною чи ґрунтом ближнього інфрачервоного світла. Пігмент хлорофілу здорової рослини поглинає більшу кількість видимого червоного світла, а клітинна структура рослин відбиває більшу кількість у ближньому інфрачервоному діапазоні спектру. Це означає, що висока фотосинтетична активність, яка традиційно асоціюється з розвинутою, щільною рослинністю, буде менше відбивати світло в діапазоні і більше – в ближньому інфрачервоному (рис.2.2). Порівнюючи ці значення, можна достовірно оцінювати стан рослинного покриву, виділяючи його серед інших природних і штучних типів покриву.

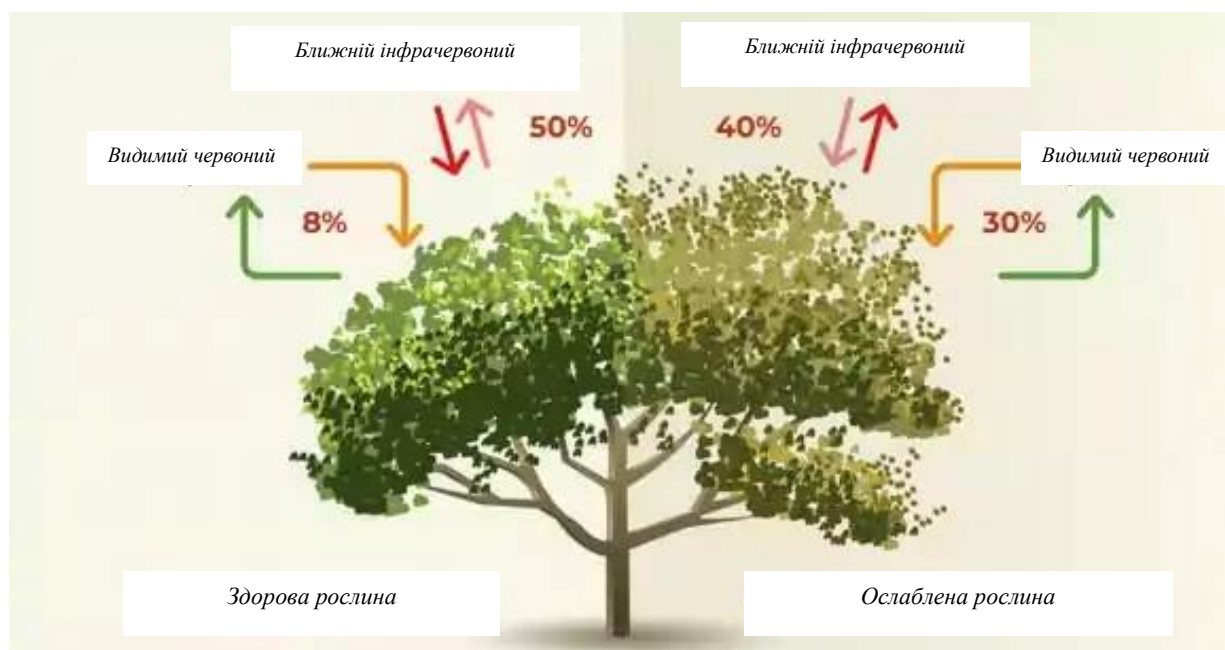


Рис.2.2. Ілюстрація до відбивних властивостей рослинності

В певній точці зображення NDVI — це відношення різниці інтенсивностей відбитого світла в інфрачервоному (nir) і червоному (red) діапазонах спектра до їх суми:

$$NDVI = nir - red / nir + red. \quad (2.1)$$

За цією формулою обчислення індекса здійснюють послідовно для всіх пікселів космічного знімка, отримуючи в підсумку індексну карту.

На ринку послуги супутникового моніторингу часто пропонуються поряд з моніторингом дронами. В другому випадку моніторинг більш детальний, але потребує суттєво вищих затрат.

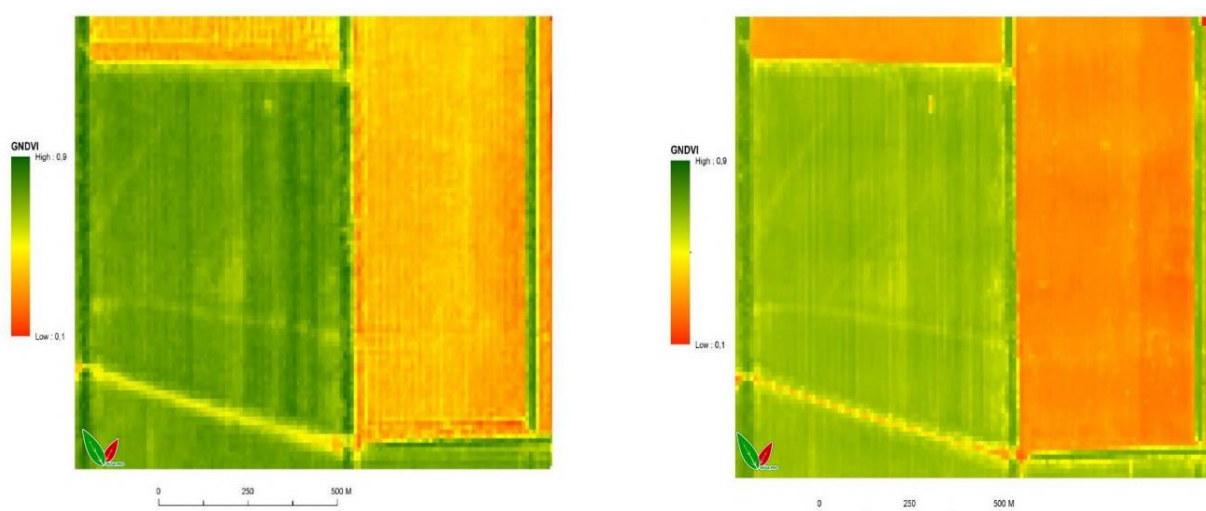


Рис.2.3. Результати дистанційного моніторингу поля. Ліворуч – індексна карта за даними космічної системи Sentinel-2 Просторове розрізнення 10 м  
Праворуч - індексна карта за даними аерознімання з БПЛА Просторове розрізнення 0.2 м

Так, компанія Smart Farming пропонує послуги супутникового моніторингу і надає клієнту NDVI-карти стану посівів, векторні карти із зазначенням зон неоднорідності, звіт з окремих культур. Гравець світового

рівня на ринку щодо надання послуг супутникового моніторингу сільськогосподарських територій — компанія Cropio за координатами полів клієнта та інформацією про вирощувані культури, методи обробітку ґрунту, внесені добрива та ін., а також ретроспективну інформацію (сівозмінна, врожайність та ін.) надає індивідуальну модель аналізу із щоденним оновленням прогнозу. Типовим для сервісних компаній продуктом є складання карт вегетації, контроль сходів, моніторинг фізичних пошкоджень, аналіз використання земельного банку на основі супутникового моніторингу та ін.

Деякі компанії є розробникам зручних додатків для смартфонів та планшетів. Наприклад Harvio пропонує продукт «Field Manager», функціонал якого може скласти рекомендації щодо управління польовими роботами та надає інформацію про виявлені ризики на основі обробки супутникових знімків, допомагає визначити час та норму внесення добрив і засобів захисту, формує карти диференційованого їх внесення. Система ідентифікує та розраховує можливість виникнення характерних захворювань та шкідників для пшениці, ячменю, та інших базових культур.

## **2.2. Вегетаційні індекси.**

При вивченні рослинності вегетаційні індекси визначаються емпірично і базуються на фізичних властивостях денного світла, відбивній здатності рослин та інших важливих характеристиках. Подамо опис основних, найбільш часто вживаних вегетаційних індексів.

**Нормалізований різницевий вегетаційний індекс (Normalized Difference VI, NDVI).** Найбільш популярний вегетаційний індекс, що часто використовується. Для рослинності приймає позитивні значення, росте зі збільшенням зеленої фітомаси. На значення індексу впливають також видовий склад рослинності, її зімкнутість, стан, експозиція та кут нахилу

поверхні, колір ґрунту під розрідженою рослинністю. Індекс використовує контраст характеристик двох каналів з набору мультиспектральних растрових даних: поглинання пігментом хлорофілу в червоному каналі (Red) і високої відбивної здатності рослин в інфрачервоному каналі (NIR).

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (2.1)$$

де NIR - значення пікселів з ближнього інфрачервоного каналу; Red - значення пікселів з червоного каналу.

Індекс може набувати значень від -1 до 1. Для рослинності має позитивні значення, зазвичай від 0.2 до 0.8.

Недоліки використання NDVI-індексу:

- неможливість застосування даних, що не пройшли етап радіометричної корекції (калібрування);
- похибки, що вносяться погодними умовами, сильною хмарністю та серпанком. Їх вплив можна частково скоригувати використанням покращених коефіцієнтів та композитних зображень із серіями NDVI за кілька днів, тижнів або місяців. Усереднені значення дозволяють уникнути впливу випадкових та деяких систематичних похибок;
- необхідність для більшості завдань порівняння отриманих результатів із попередньо зібраними даними тестових ділянок (еталонів), у яких мають враховуватися сезонні еколого-кліматичні показники як самого знімку, і тестових майданчиків на час збору даних. Особливо значущими ці матеріали стають при розрахунках продуктивності, запасів біомаси та інших кількісних показників;
- можливість застосування зйомки лише протягом сезону вегетації для досліджуваного регіону. З огляду на свою прив'язаність до кількості фотосинтезуючої біомаси індекс неефективний на знімках, отриманих у сезон ослабленої або не вегетуючої рослинності.

**Перпендикулярний індекс рослинності (Perpendicular Vegetation Index (PVI))** схожий до індексу рослинності, однак він чутливий до

атмосферних умов і тому мало придатний для порівняння зображень отриманих в різний час.

$$PVI = NIR \sin \alpha - Red \cos \alpha, \quad (2.2)$$

де  $NIR$  - значення пікселів з ближнього інфрачервоного каналу;  $Red$  - значення пікселів з червоного каналу;  $\alpha$  — кут між лінією ґрунту і віссю  $NIR$ . Індекс може набувати значень від  $-1,0$  до  $1,0$ .

### **Зважений різницевий вегетаційний індекс (Weighted DifferenceVI, WDVI)**

$$WDVI = NIR - gRed, \quad (2.3)$$

де  $g$  — нахил лінії ґрунту.  $WDVI$  — математично більш простий варіант  $PVI$ , але має необмежений діапазон значень. Як і індекс  $PVI$ ,  $WDVI$  дуже чутливий до впливу атмосфери.

### **Ґрунтовий вегетаційний індекс з корекцією по ґрунту (Soil Adjusted VI, SAVI)**

Цей індекс рослинності, мінімізує вплив яскравості ґрунту з допомогою коефіцієнта корекції. Він часто застосовується в областях з незначним покриттям рослинністю ґрунту, а результатами будуть значення від  $-1.0$  и  $1.0$ . Лінія ґрунту проходить через точку  $0$ .

$$SAVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} (1 + L) \quad (2.4)$$

де  $NIR$  - значення пікселів з ближнього інфрачервоного каналу;  $Red$  - значення пікселів з червоного каналу;  $L$  - значення покриття зеленою рослинністю.  $L \in [0,1]$ ,  $L=0$  для дуже густого рослинного покриву,  $L=1$  для дуже розрідженого, часто використовують  $L = 0,5$ .

### **Трансформований індекс рослинності з корекцією по ґрунту (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index (TSAVI))**

— це індекс рослинності, який мінімізує вплив яскравості ґрунту на основі припущення, що лінія ґрунту має довільний нахил і перетини.



$$TSAVI = \frac{S \cdot NIR - S \cdot Red - \alpha}{\alpha \cdot NIR + Red - \alpha \cdot S + x(1 + S^2)} \quad (2.5)$$

де  $NIR$  - значення пікселів з ближнього інфрачервоного каналу;  $Red$  - значення пікселів з червоного каналу;  $\alpha$  - координата перетину лінії ґрунту з віссю  $NIR$ ;  $S$  – нахил лінії ґрунту;  $x$  – коефіцієнт корекції, встановлений для мінімізації спотворень через вплив яскравості ґрунту ( $x=0,8$ ).

**Модифікований індекс рослинності з корекцією по ґрунту 1 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index, MSAVI 1)** мінімізує вплив відкритого ґрунту на індекс SAVI.

$$MSAVI1 = \frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} (1 + L) \quad (2.6)$$

де  $NIR$  - значення пікселів з ближнього інфрачервоного каналу;  $Red$  - значення пікселів з червоного каналу;  $S$  – нахил лінії ґрунту;

$$L = 1 - 2S \cdot NDVI \cdot WDV I \quad (2.7)$$

Результатами будуть значення від -1.0 и 1.0. Лінія ґрунту проходить через точку 0.

**Модифікований індекс рослинності з корекцією по ґрунту 2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index, MSAVI2)** мінімізує вплив відкритого ґрунту на індекс SAVI.

$$MSAVI2 = \frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} (1 + L) \quad (2.8)$$

де  $NIR$  - значення пікселів з ближнього інфрачервоного каналу;  $Red$  - значення пікселів з червоного каналу;

$$L = 1 - \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}}{2} \quad (2.9)$$

Результатами будуть значення від -1.0 и 1.0. Лінія ґрунту проходить через точку 0.

### 2.3. Особливості методики дистанційних досліджень посівів зернових культур.

Такі зернові культури, як пшениця озима, жито озиме, ячмінь, пшениця ярова, мають, особливо на початку вегетації (сходи, кушіння, вихід у трубку), практично однакові спектральні коефіцієнти яскравості (СКЯ), хоча й існують невеликі відмінності між видами. Завдяки цим відмінностям можлива ідентифікація різних видів культур та їх стану. У фазі досягання ці відмінності стають значнішими [14]. Результати вимірювань на спектрометрі СФ-4 спектральної яскравості пшениці подано на рисунку. З розвитком листка відбувається вирівнювання (згладжування) СКЯ. У фазі стиглості відбувається загальна зміна спектральної яскравості, пов'язана з розпадом хлорофілу і висиханням рослини.

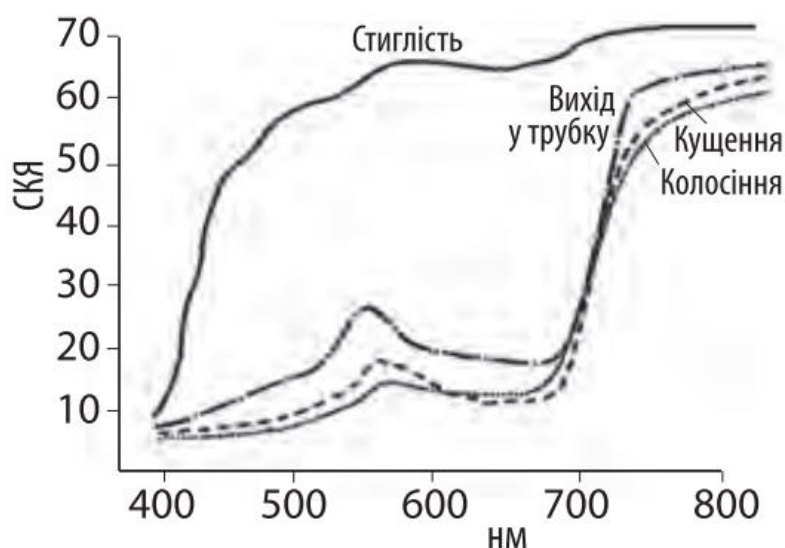


Рис. 2.4. Спектральна яскравість листка пшениці у фазах кушіння, виходу в трубку і колосіння [14].

Від появи сходів, протягом вегетаційного періода, ріст біомаси зернових супроводжується збільшенням значень NDVI, а з настанням періоду визрівання знижується вміст хлорофілу і, відповідно, значення NDVI (рис. 2.4, 2.5). Зниження значень NDVI в період активної вегетації (до

настання фази молочної стиглості) свідчить про стресовий стан посівів. Це можуть бути втрати і пошкодження посівів в наслідок стихійних явищ (град, ливні, засуха, пожежі), а також враження шкідниками, такими як хлібна смугаста блошка, ячмінна шведська муха та інші.

На рисунку 2.5. збільшення значень NDVI на полях під паром свідчить про забур'яненість, при зростанні значень NDVI і досяганні значень 0,3700 та вище на парах вже необхідно проводити агротехнічні міроприємства та боротись з бур'янами.

Синтезування різночасових зображень вегетаційного індексу дозволяє достатньо точно розпізнати зернові культури, поля під паром і багаторічні трави.

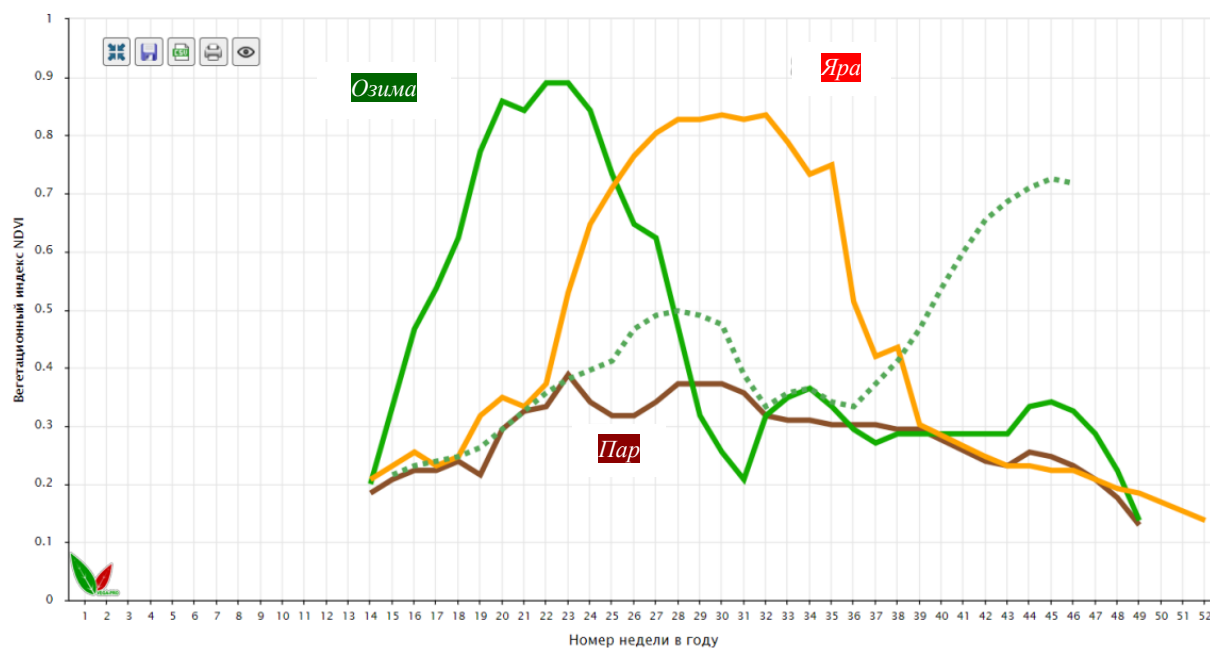


Рис.2.5. Основний принцип розпізнавання сільськогосподарських культур за індексом (на прикладі індексу NDVI)

Кількісні характеристики, які отримують в результаті опрацювання мультиспектральних знімків дозволяють оцінити стан сільськогосподарських культур на значних територіях та розрахувати плановану урожайність.

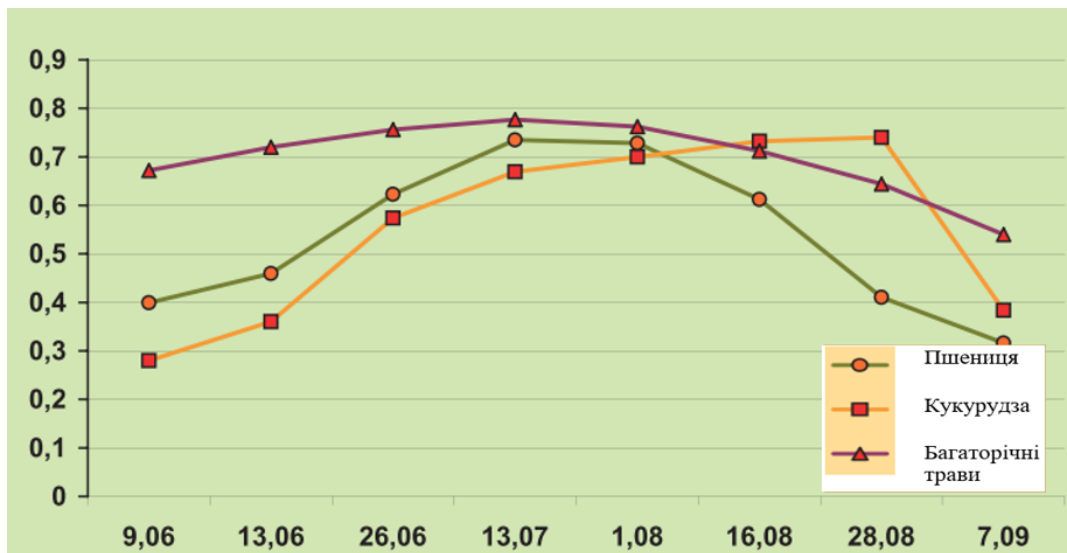


Рис. 2.6. Сезонний хід значень вегетаційного індексу на полях: ярої пшениці, кукурудзи і багаторічних трав

Супутникові знімки полів озимих і ярових зернових культур піддають корекції за калібрувальними значеннями відбивної здатності рослин, які отримують лабораторним спектрометричним дослідженням. Такі дослідження доцільно проводити перед входом у весняний період активної вегетації і безпосередньо перед формуванням врожаю зернових культур.

Добрий і відмінний стан посівів характеризується формуванням рівномірної густої біомаси на полях, високопродуктивного колоса, переважно помірного забур'янення (5-10%), відсутністю або слабким враженням грибковими хворобами, високою біологічною продуктивністю на полях. Задовільний стан посівів характеризується розрідженим стеблестоем через погані умови перезимівлі або літню вегетацію посівів, нерівномірністю біомаси по полю, невеликим заростанням, прискореним розвитком, у ряді випадків великою засміченістю у верхньому та середньому ярусах, середнім рівнем враження хворобами.

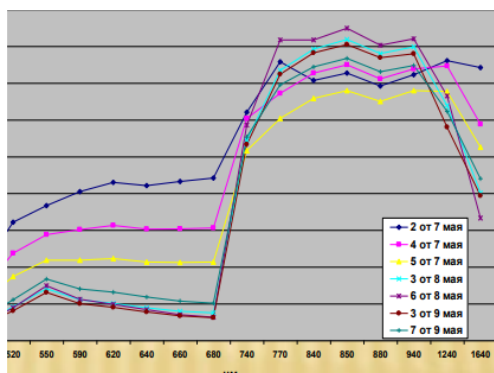


Рис.2.7. Спектральні коефіцієнти яскравості (СКЯ) полів після перезимовки з добрим станом озимої пшениці

Поганий стан посівів. Такі посіви характеризуються великою розрідженістю швидким ростом бур'яну, формуванням невеликої біомаси по полю, наявністю частих прогалів, пригніченням посівів через нестачу води у вегетаційний період, загальною низькою продуктивністю полів. Причиною є нестача води у вегетаційний період. В зимовий період при відсутності снігу на полях і вимерзання призводить до загибелі рослин.

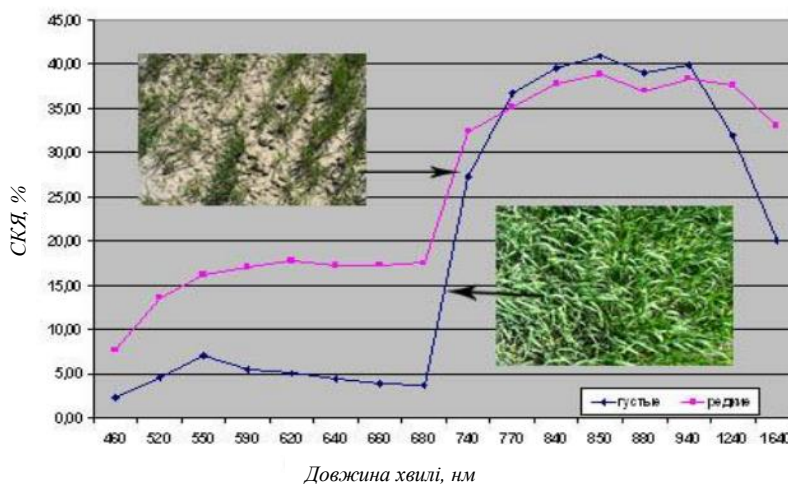
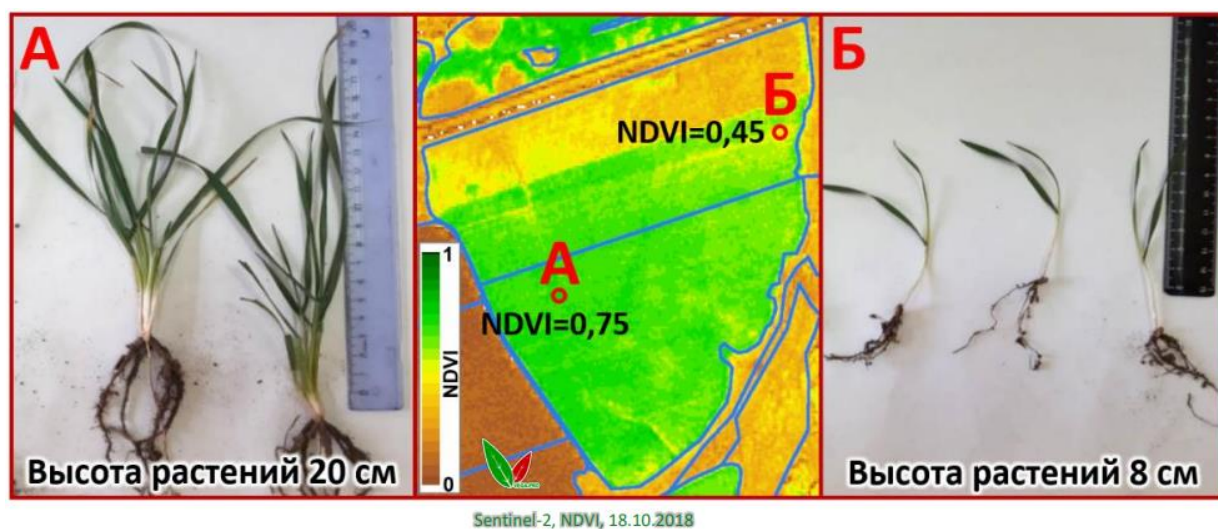


Рис. 2.8. Спектральні коефіцієнти яскравості (СКЯ) густих і рідких посівів озимої пшениці після погано перенесеної зимовки (100 % і 30-40 %)

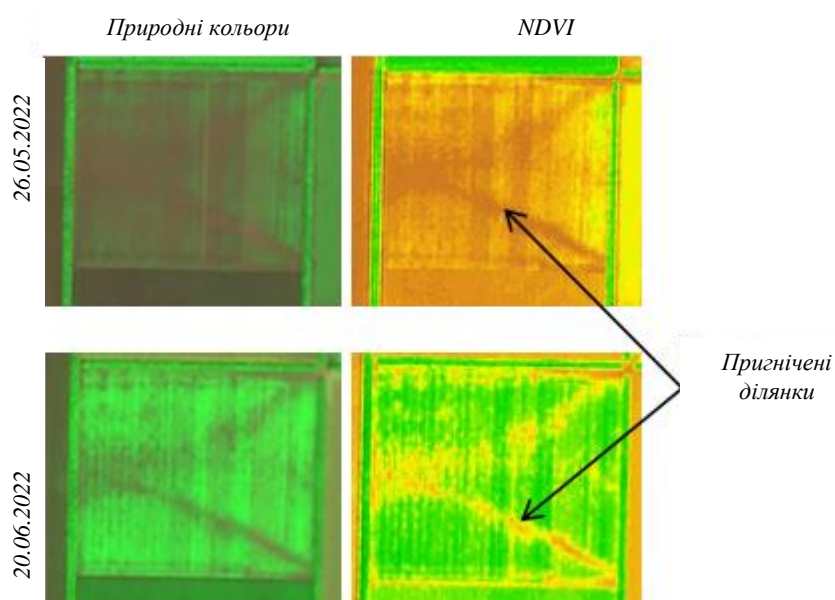
Прояв неоднорідностей посіву і причин їхнього виникнення можливий шляхом комплексного вивчення індексних карт та результатів натурних

обстежень. Типові причини виникнення і прояви негативних явищ на полях зернових:



- Різна схожість культур;
- Різна швидкість розвитку культур;
- Різниця часу висіву;
- Механічне пошкодження посівів.

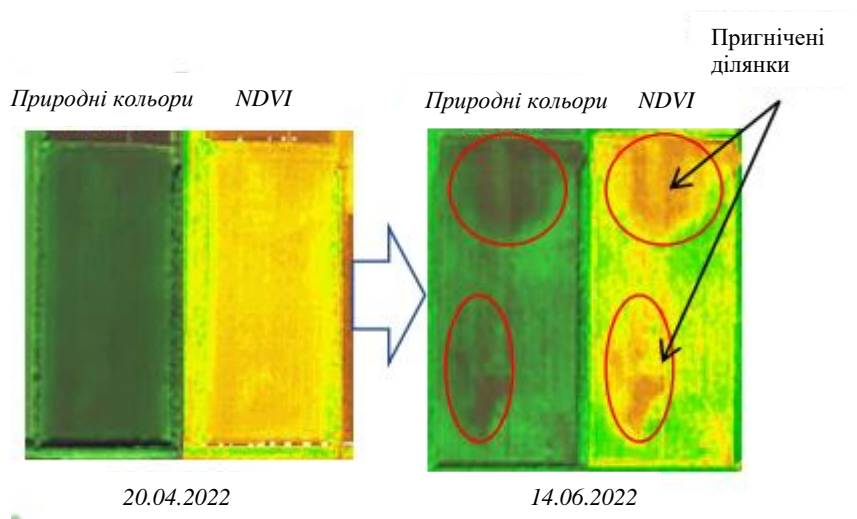
### Прояви залежності розвитку рослин від умов рельєфу:



Ознаки:

- нерівномірності мають характерний зовнішній вид, приурочені до водотоків і локальних понижень на полі;
- нерівномірності спостерігаються протягом всього сезону;
- нерівномірності загалом зберігають свою форму і колір.

### **Хвороби і забур'янення:**



#### Ознаки:

- нерівномірності виникають хаотично, можуть не мати залежності від рельєфу і як правило мають чітко виражені осередки поширення;
- нерівномірності появляються в певний момент сезону і зберігаються до його завершення;
- нерівномірності можуть змінювати форму і розмір протягом сезону.

Періоди для розпізнавання за індексами (сівба, максимум розвитку, збирання)

#### ***Озимі зернові культури (озима пшениця і ячмінь):***

1. Вересень-листопад (падіння вегетаційних індексів у період розорювання полів та сівби, через 10-15 днів – сходи та подальший розвиток озимих посівів, повільне збільшення вегетаційних індексів NDVI восени;

2. Кінець березня-квітень - швидке збільшення вегетаційних індексів NDVI, що випереджає розвиток озимих посівів у порівнянні з ярими посівами в ранньо-весняний період;
3. 3 декада травня-1 декада червня - максимум біомаси та NDVI на колосіння-цвітіння;
4. 3 декада червня – 30 вересня– дозрівання та прибирання, спад значень NDVI, поява текстурних та спектральних ознак прибирання на полях.

***Ранні ярові зернові (ярий ячмінь, пшениця, овес, інші):***

1. 15 березня - 20 травня. Етап характерний падінням величини NDVI в період розорювання та сівби, через 1-2 тижні - сходи та подальший розвиток посівів, зростання NDVI;
2. 3 декада травня - 1 декада липня - максимум біомаси і максимум NDVI на колосіння;
3. 3 декада червня – 30 вересня, падіння NDVI, поява характерних текстурних та спектральних ознак прибирання на полях.

**Кормові культури (суміш зернових на корм) -** характеризуються так само як ярові зернові, дистанційними методами визначаються неточно.

На завершення розділу відзначимо суттєвий недолік методу – це залежність отримання даних від хмарності і часу доби. При можливості зйомки лише один раз на декілька днів відсутність відомостей у похмурі дні може позначитися на точності та оперативності прогнозу. Автономність, краще на порядок розрізнення і менша залежність від метеоумов робить дрони цінним способом отримання даних. Використання дрону більш ефективно для фермерських господарств із невеликим земельним банком.

Космічне знімання є малоінформативним на ранніх стадіях вегетації рослин. Відбивна здатність рослин - основа методу, точність якого залежить від кількості біомаси, що спостерігається.



Умови росту та розвитку рослин специфічні для різних кліматичних зон і залежать від багатьох природних факторів. Під час обробки знімків враховуються результати, отримані на тестових ділянках. Інформація із спектральних досліджень таких ділянок повіряється з результатами польових досліджень. Отримані відомості дозволяють скоригувати алгоритм обробки для уточнення вимірювання та прогнозування кількісних показників (розрахунок кількості біомаси, прогноз врожайності та інше).

### 3. Експериментальні дослідження. Застосування космічних знімків Sentinel-2

#### 3.1. Характеристики інформаційних продуктів на основі знімків Sentinel-2

Європейське космічне агентство є розробником масштабних проектів в галузі сільського господарства. Таким зокрема є проект Sentinels for Common Agricultural Policy - Sen4CAP спрямований на надання європейським і національним зацікавленим сторонам підтверджених алгоритмів, продуктів, робочих процесів і найкращих практик для моніторингу сільського господарства, що має значення для управління. Проект приділятиме особливу увагу наданню доказів того, як інформація, отримана Sentinel, може підтримувати модернізацію та спрощення адміністрування, зокрема підтвердження декларацій на субсидіювання сільгоспвиробників. Програмний продукт доступних пересічним користувачам для апробації, але через суворі вимоги до комп'ютерного забезпечення поки не знайшов широкого поширення в дослідницьких колах.

**Системні вимоги**

Якщо ви збираєтесь використовувати систему Sen4CAP на **невеликій ділянці (~90 000 км<sup>2</sup>)**, мінімальні системні вимоги для встановлення та запуску цієї системи такі:

- ЦП: 8 ядер
- Оперативна пам'ять: 64 ГБ
- Жорсткий диск: 8 ТБ\*
- SSD накопичувач: 150 ГБ (опціонально – для тимчасових файлів)

Якщо ви маєте намір використовувати систему Sen4CAP на **національному сайті (~500 000 км<sup>2</sup>)**, мінімальні системні вимоги для встановлення та запуску цієї системи такі:

- ЦП: 16 ядер
- Оперативна пам'ять: 128 ГБ
- Жорсткий диск: 28 ТБ\*
- SSD накопичувач: 250 ГБ (опціонально – для тимчасових файлів)

\*Сховище для продуктів Sentinel-1 і Sentinel-2 L1 не включено

У експериментальній частині роботи метою є виконання аналізу продуктів Sentinel-2 різних рівнів опрацювання.

Європейське космічне агентство через власні інтернет-сервіси (ESA) надає користувачам програмне забезпечення для створення за найчастіше розповсюджуваними продуктами рівня L1C продукти більш високого рівня

опрацювання L2A. Зокрема таким програмним засобом є процесор Sen2Cor який можна використовувати в автономному режимі.

Розглянемо структуру процесора Sen2Cor, набори вхідних та вихідних даних. Це дозволить сформуванню уявлення про можливості програмного забезпечення та інформаційну цінність супутникових знімків Sentinel-2 для застосування в геоінформаційних системах аграрного спрямування.

Продукти Sentinel-2 рівнів опрацювання L1C і L2A надаються у вигляді гранул фіксованого розміру для кожного рівня. Кожен продукт рівнів 1C та 2A складається з фрагментів  $110 \times 110$  км<sup>2</sup> у картографічній проекції UTM/WGS84. Землю поділено на попередньо визначений набір плиток, визначених у проекції UTM/WGS84 із кроком 100 км. Проте кожна плитка має площу  $110 \times 110$  км<sup>2</sup>, щоб забезпечити перекриття із сусідньою плиткою. Зображення обох рівнів ортотрансформовані із застосуванням цифрової моделі рельєфу для виправлення геометричних спотворень.

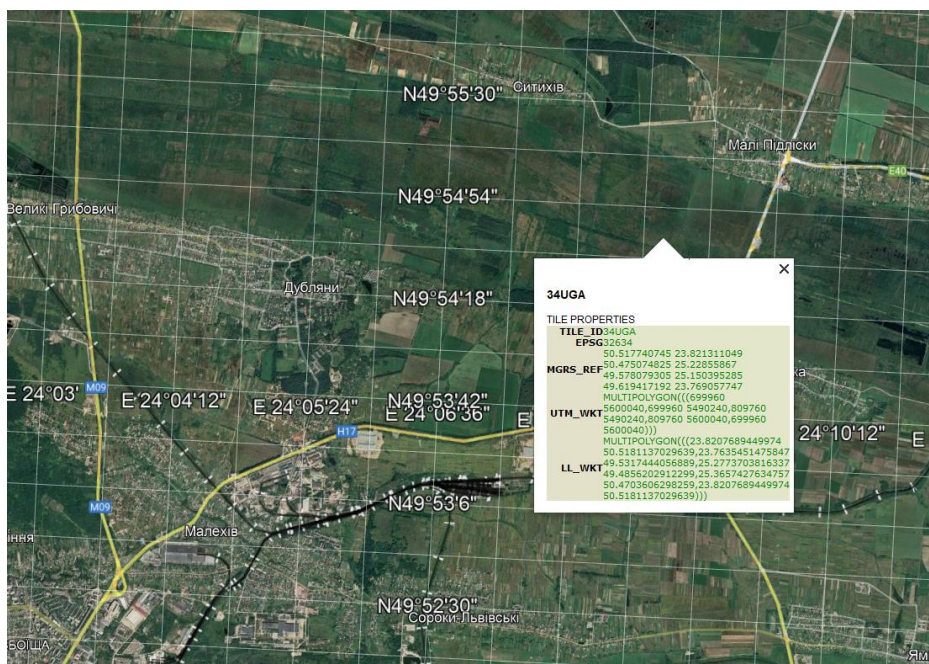


Рис 3.1. Ідентифікація гранули продуктів Sentinel-2 рівнів опрацювання L1C та L2A на територію м.Дубляни

Продукт Level-2A надає зображення поверхневого відбиття (SR) з атмосферною корекцією, отримані з відповідних продуктів Level-1C. Атмосферна корекція зображень SENTINEL-2 Level-2A включає корекцію розсіювання молекул повітря (розсіювання Релея), ефектів поглинання та розсіювання атмосферних газів, зокрема озону, кисню та водяної пари, а також корекцію поглинання та розсіювання за рахунок частинок аерозолі. Продукти рівня 2A систематично генеруються з 2018 року.

Продукти Level-1C містять дані з коефіцієнтами відбиття на верхній межі атмосфери в 13 каналах із різним розрізненням із параметрами для перетворення їх у випромінювання. Формула для перетворення коефіцієнта відбиття в яскравість:

$$\text{випромінювання} = \text{відбивна здатність} * \cos(\text{радіани (SunZenithAngle)}) * \text{сонячне випромінювання} * U / \pi$$

Додатково надаються маски суходолу і водних поверхонь, хмарні маски і дані ECMWF (стовп озону, водяної пари і середній атмосферний тиск на рівні моря). Структура продукту показана на рис. 3.2.

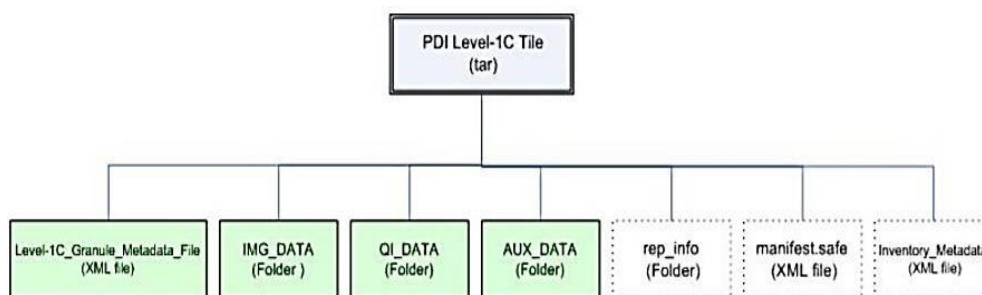


Рис. 3.2. Файлова структура продукту L1C [25]

Директорія плитку рівня 1C містить таку інформацію:

1. Level-1C\_Tile\_Metadata\_File: файл метаданих XML, що містить рівень інформації та посилається на всі елементи продукту, що становлять плитку;

2. IMG\_DATA: папка, що містить файли даних зображень, стиснуті за допомогою алгоритму JPEG2000, по одному файлу на канал;

3. QI\_DATA: папка, що містить звіти XML, включаючи перевірки якості, файли маски GML та файл JP2 PCI;

4. AUX\_DATA: папка з ECMWF дані перераховані у проекції UTM;

5. Inventory\_Metadata.xml: файл, що містить метадані, необхідні для інвентаризації PDI;

6. manifest.safe: XML - файл, що містить метадані безпеки;

7. rep\_info: папка, що містить доступну схему XSD, яка перевіряє компоненти PDI.

Level-2A подає відображення на нижній межі атмосфери, тоді як 1C - відображення на верхній межі атмосфери.

Продуктом другого рівня є набір таких даних для різного розрізнення:

- синтез у природних кольорах;
- коефіцієнти відбиття на нижній межі атмосфери;
- карта аерозольної оптичної товщини;
- карта водяної пари;
- результат класифікації (12 класів);
- показники ймовірності снігу/льоду;
- показники ймовірності хмар.

Структура продукту L2A ґрунтується на структурі продукту L1C (рис.3.3). Основна відмінність полягає в тому, що папка IMG\_DATA містить три каталоги: по одному для кожного дозволу на 60 м, 20 м і 10 м. Плитка класифікації сцени доступна в корені папки IMAGE\_DATA на 20 м або 60 м залежно від обраного користувачем типу обробки.

Для отримання продуктів другого рівня Європейське космічне агентство використовує плагін Sen2Cor. Ця програма використовує два головні допоміжні джерела даних: радіаційні таблиці та цифрову модель висот (DEM) і складається з 10 основних модулів.

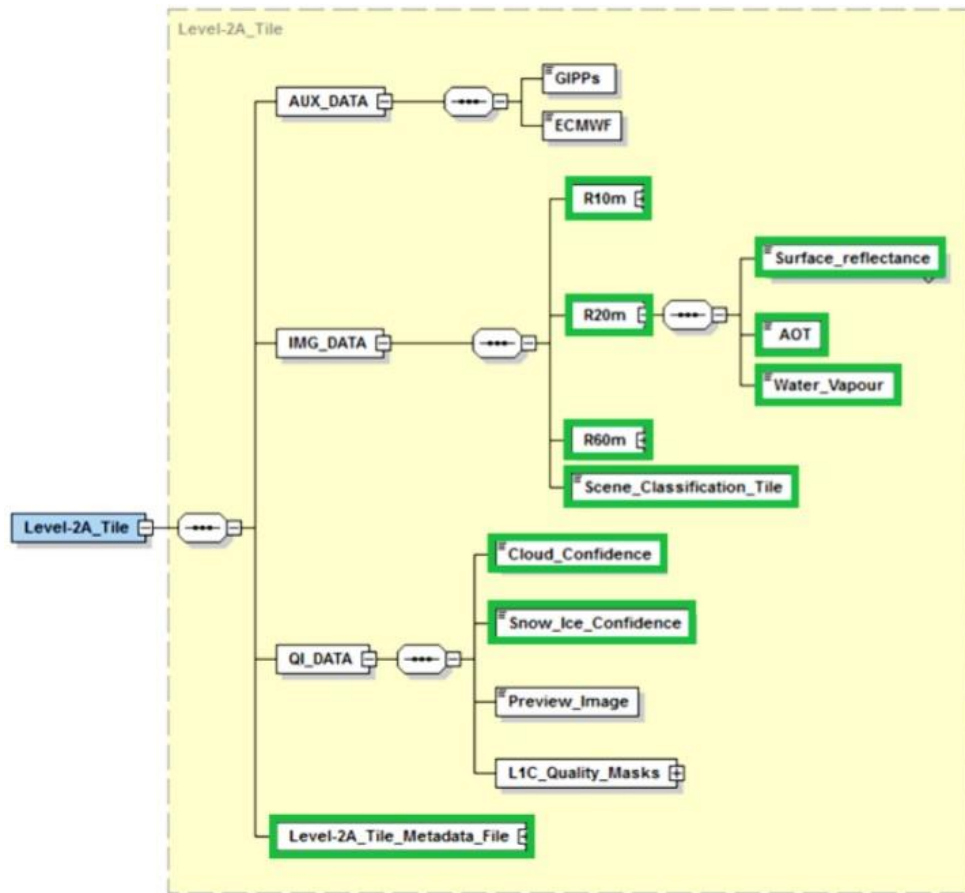


Рис.3.3. Структура продукту L2A

На рис.3.4 наведено графічну схему виконання модуля L2A\_Process, починаючи з читання конфігураційних даних до отримання продукту другого рівня L2A.

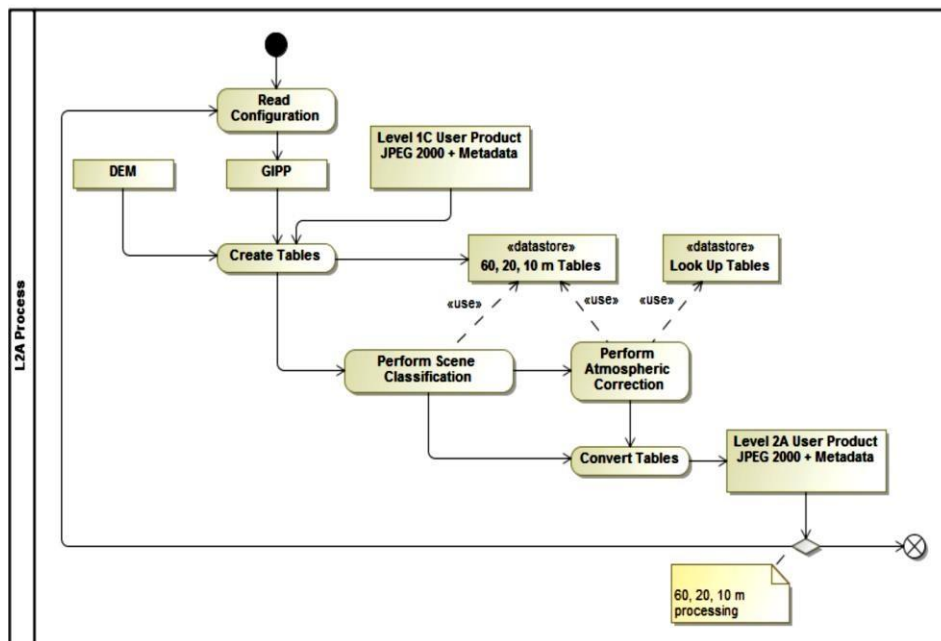


Рис. 3.4. Схема роботи плагіна Sen2Cor [22]

В ході опрацювання гранул верхнього рівня атмосфери (TOA) – їх перетворюють в продукт відбиття рівня Level-2A за такою схемою:

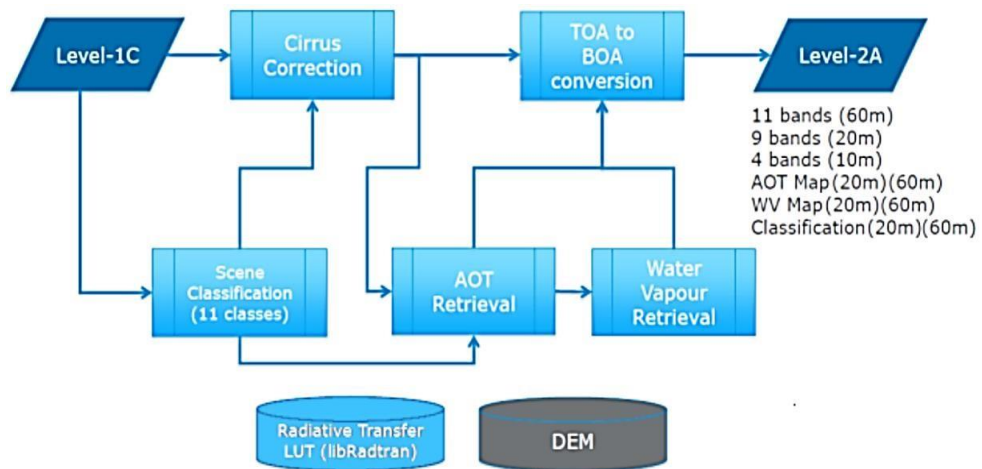


Рис. 3.5. Блок-схема алгоритму перетворення продуктів з рівня L1C в L2A

Алгоритм модуля класифікації сцен дозволяє виявляти хмари, сніг та тіні хмар та генерувати класифікаційну карту, яка складається з 4 різних класів для хмар, 4 класи для тіней хмар, рослинності, відкритого ґрунту, води та снігу. Алгоритм заснований на серії порогових тестів, що використовують як вхідні дані відображення верхньої частини атмосфери від спектральних смуг Sentinel-2. На рис. 3.6 показано результати класифікації сцени (правий бік) на основі зміни вхідних даних (лівий бік). Подано дванадцять різних класів.

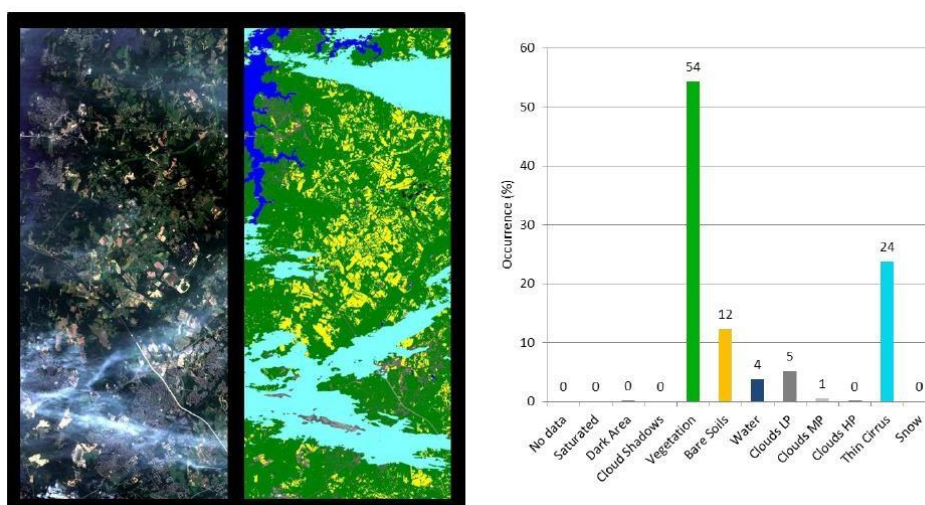


Рис.3.6. Результат класифікації сцени плагіном Sen2Cor

За описаною методою нами перетворено знімок, отриманий 17 квітня 2023 року (гранула 34UGA) і поширюваний через сервіс-браузер за адресою: <https://dataspace.copernicus.eu/browser/> . Результати перетворення можна оцінити візуально. На рисунку 3.7. показано фрагмент зображення каналу В04 Red до та після перетворення. Іще більш наглядим результат корекції є при візуалізації синтезованих в натуральних кольорах зображень – рис.3.8.



Рис. 3.7. зверху – рівень опрацювання 1С, внизу – зображення рівня 2А на основі 1С (канал В04, с. Стоянів, Львівська область).





Рис. 3/8. Синтез в природних кольорах (комполит B04- B03- B02). Зверху - до опрацювання, внизу - після опрацювання

Очевидно, результати атмосферної корекції знімків повинні позитивно проявитись не тільки при візуалізації зображень, а й при отриманні аналітичних продуктів, таких як індексні карти для вивчення рослинності.

### 3.2. Побудова індексних карт.

Наступний етап експериментальних робіт пов'язаний зі створенням індексних карт NDVI за отриманими на попередньому етапі продуктами рівня опрацювання L2A. Програмним інструментом, який було нами використано є калькулятор растрів геоінформаційної системи Global Mapper. Калькулятор дозволяє самостійно складати вирази для обчислень, в яких аргументами є одноканальні растри. Для задачі розрахунку індексу NDVI такими растрами є файли каналів NIR (канал № 8) Red (канал № 4).

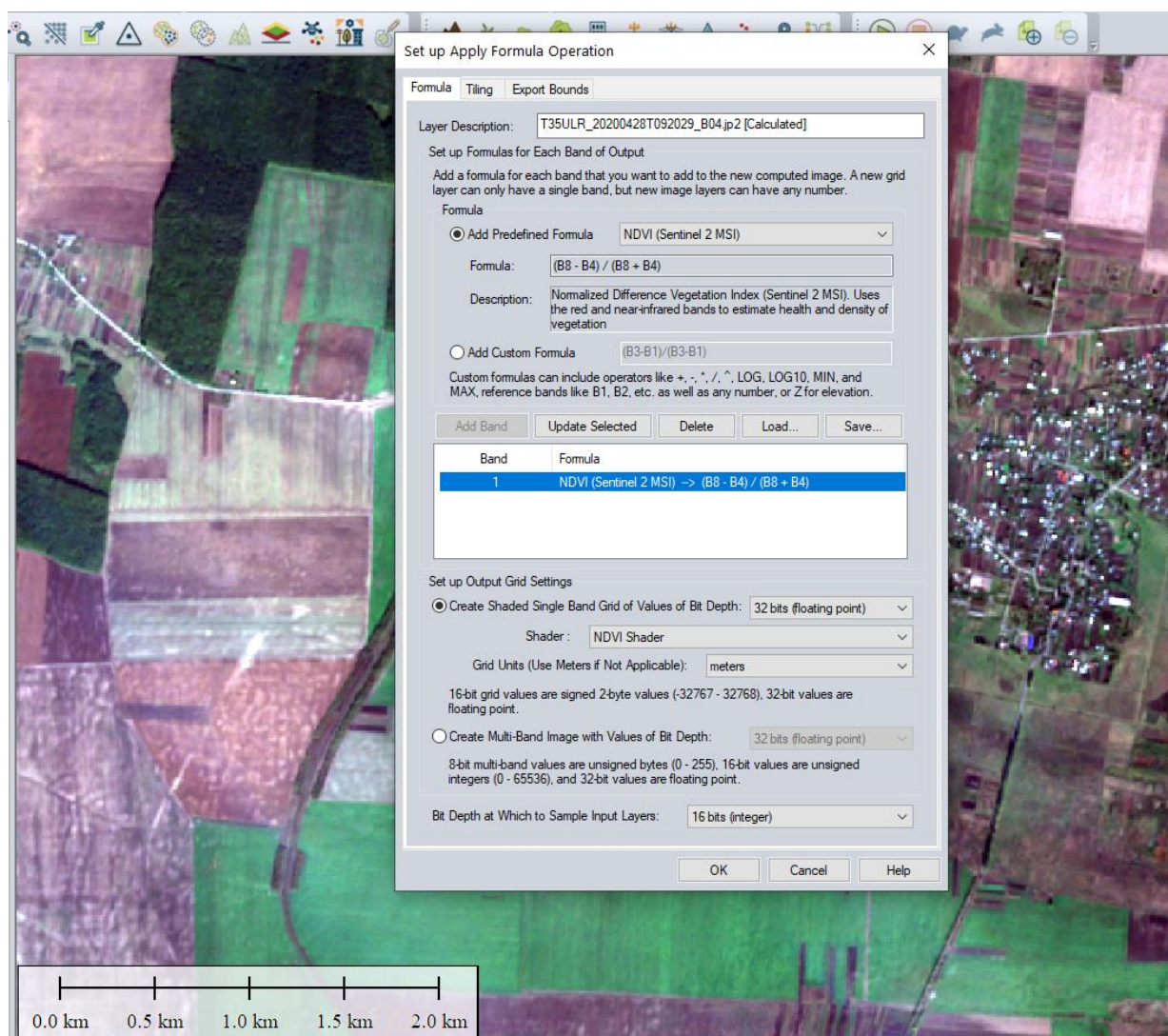
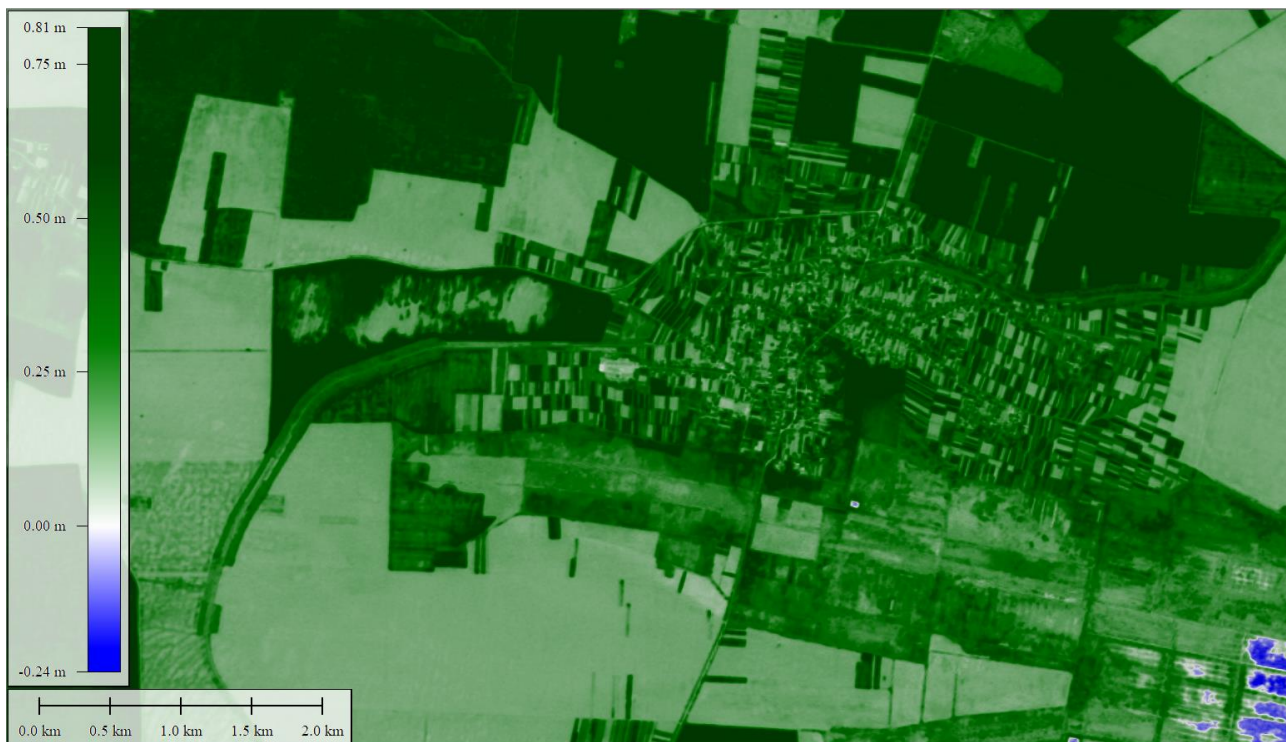


Рис.3. 9. Діалог побудови карт вегетаційного індексу NDVI

Для порівняння результатів виконаної ними атмосферної корекції індексні карти будувались для вхідного L1C та опрацьованого L2A рівнів.



Карта вегетаційного індексу NDVI, створена за продуктом L1C



Карта вегетаційного індексу NDVI, створена за продуктом L2A

Рис.3. 10. Карти вегетаційного індексу NDVI. Сільськогосподарські угіддя в с.Стоянів

### 3.3. Побудова та дослідження часових рядів індексних карт на пшеничні поля в сезоні 2022/2023 року.

Досліджувались поля посіву озимих сезону 2022/2023 року площею 7,56км<sup>2</sup>. Сервіс програми Copernicus <https://dataspace.copernicus.eu/browser/> надає зручні засоби для вибору продуктів з розділенням їх типів, джерела, часу та умов отримання. Для отримання статистичної інформації тільки про конкретне поле, створюємо його полігональний контур. Далі вибираємо тип джерела даних – в нашому випадку це продукт Sentinel-2 L2A, допустимий відсоток хмарності (обрано 15%) та тип картографічного шару (обрано NDVI).

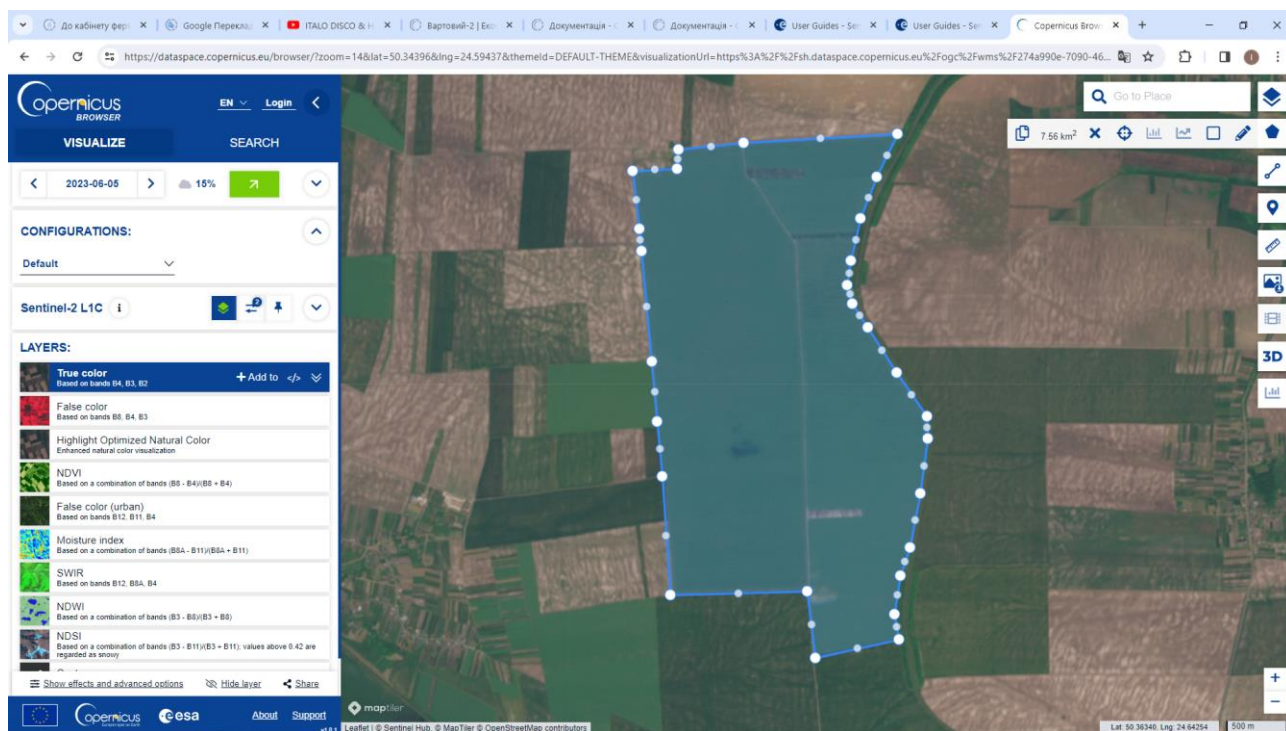
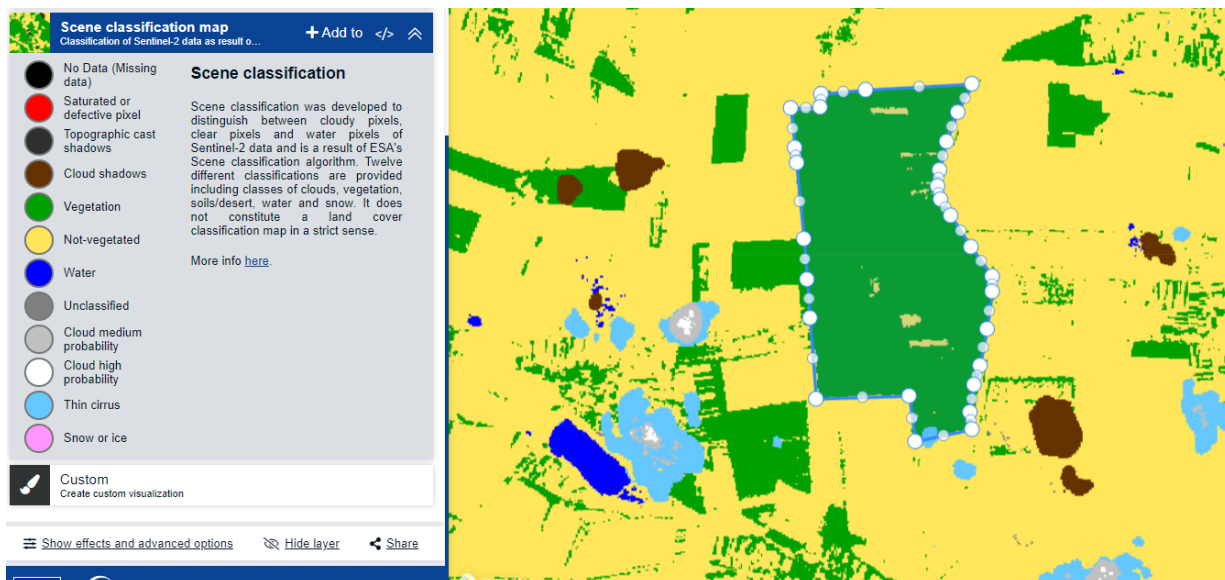


Рис.3.11. Територія дослідного поля в браузері програми Copernicus

Часовий ряд будувався шляхом відбору безхмарних знімків в період з березня до кінця липня. Виявилися придатними знімки, отримані на такі дати: 17-03-2023; 21-04-2023; 21-05-2023; 23-06-2023; 17-07-2023. На кожен з цих дат отримуємо індексну карту і статистичні параметри розподілу величини вегетаційного індексу в межах окресленого поля. Для порівняння

впливу на результат розрахунку збиралась статистика на обидва рівні - Sentinel-2 L1C та Sentinel-2 L2A.

**1. 17-03-2023.** На цю дату практично тільки посіви озимих класифікуються як вегетуюча рослинність на сільськогосподарських угіддях



### Spectral explorer: Sentinel-2 L2A

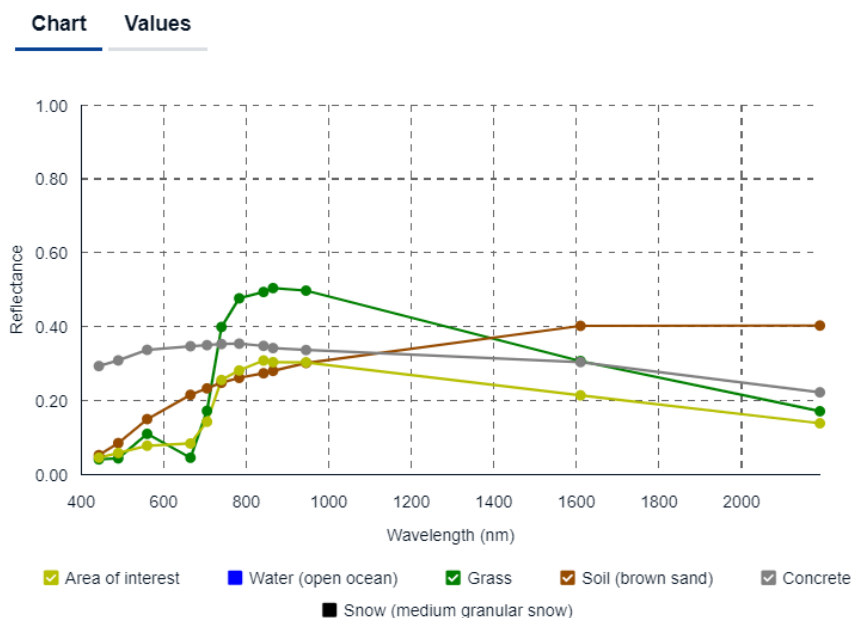


Рис.3.12. Класифікація ландшафту в районі на початок дослідження

Власне оцінка NDVI рівнів Sentinel-2 L1C та Sentinel-2 L2A подається як карти та гістограми розподілу частот. Відразу можемо зауважити, що

індекси, розраховані за продуктом L2A мають дещо менші абсолютні значення.

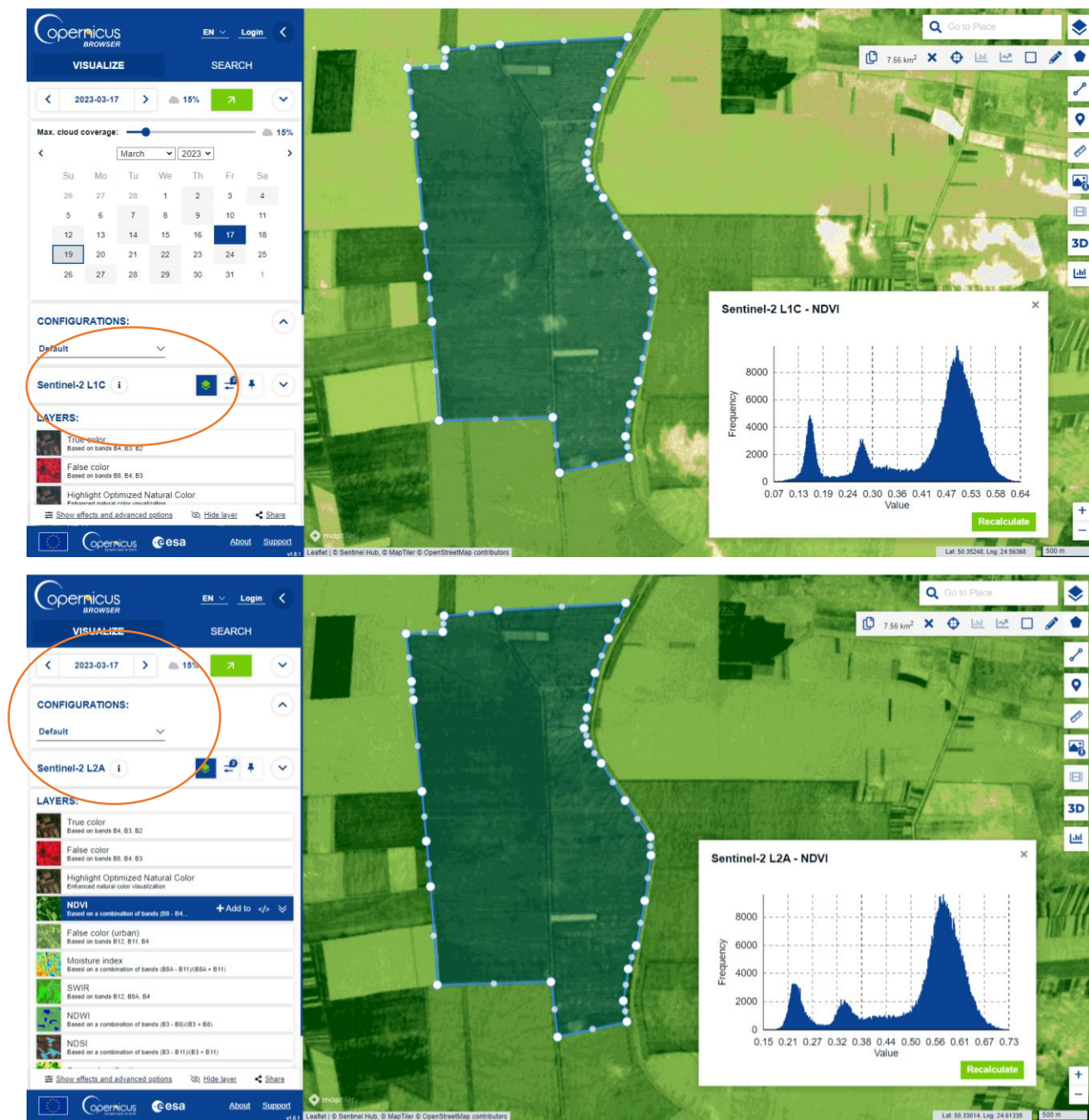


Рис.3.13. Індексні карти поля пшениці станом на **17-03-2023**.

**2. 21-04-2023.** На третю декаду квітня спостерігаємо різке зростання частоти високих значень індексу. Індексна карта за продуктом L2A демонструє навність ділянки поля з явно випереджуючим ростом біомаси – позначено овалом на діаграмі.

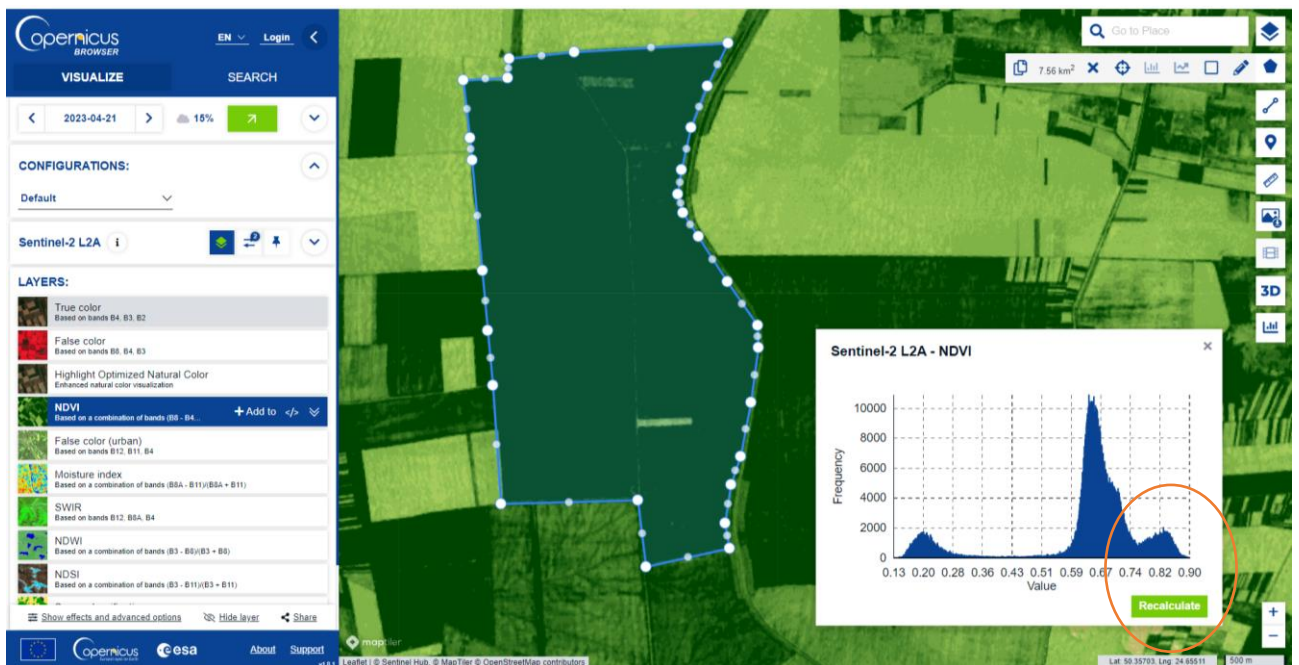
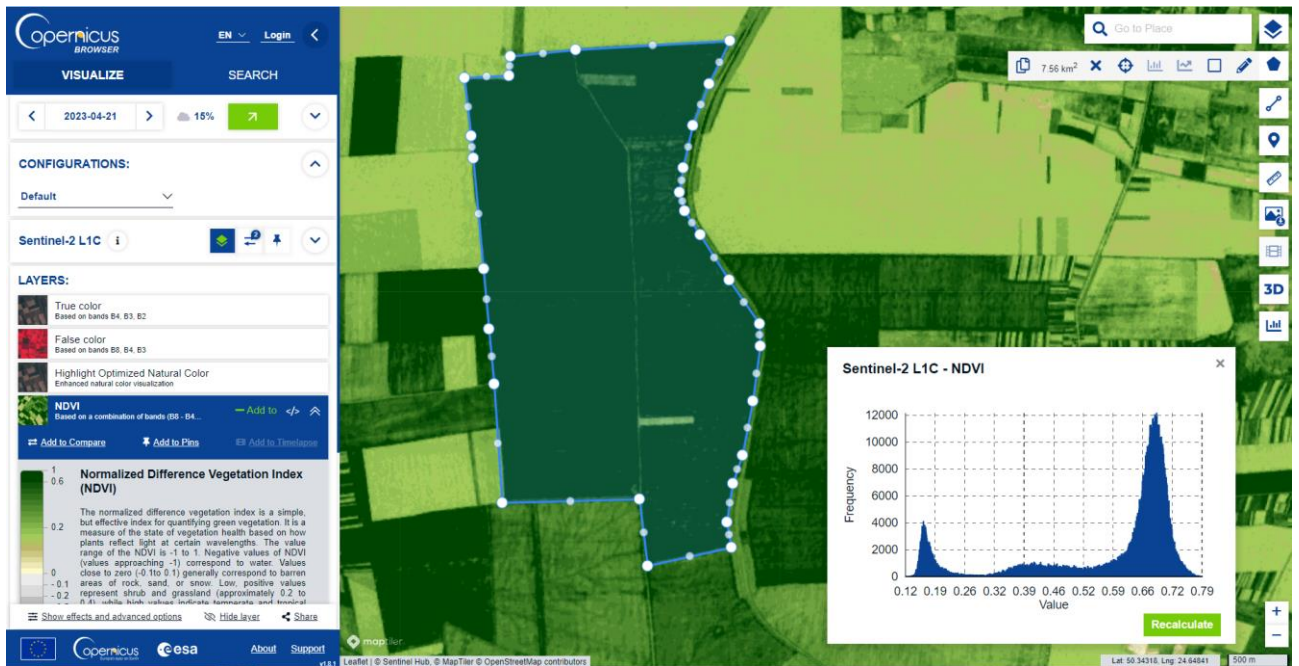


Рис.3.14. Індексні карти поля пшениці станом на **21-04-2023**.

**3. 21-05-2023.** На третю декаду квітня спостерігаємо практичне вирівнювання гістограм рівнів L1C та L2A. Це можна пояснити високою прозорістю атмосфери, сухим повітрям в кінці травня – вплив стану атмосфери на знімки несуттєвий. Індекс зростає, отже рослини продовжують набирати біомасу.

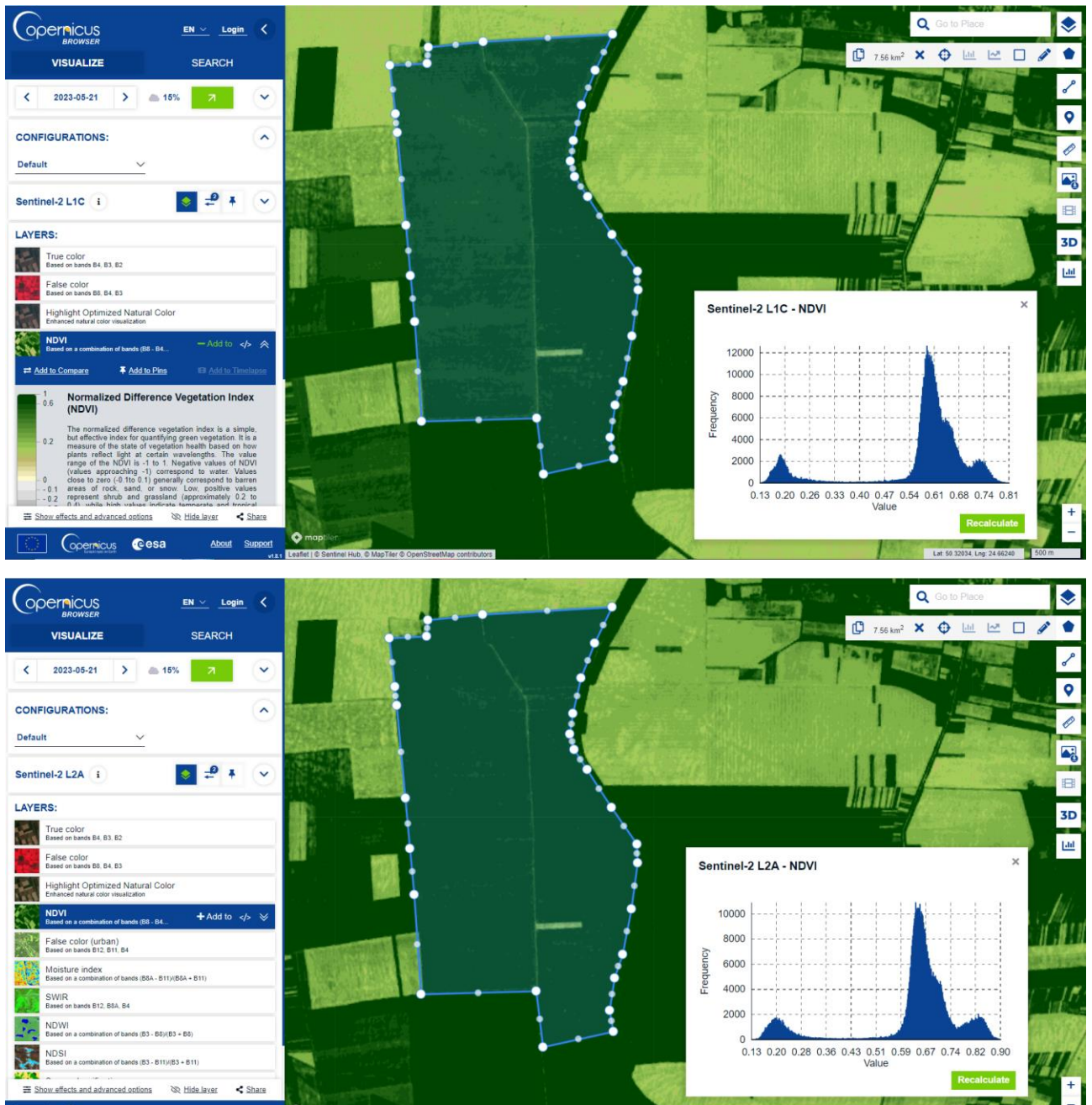


Рис.3.15. Індексні карти поля пшениці станом на **21-05-2023**.

**4. 22-06-2023.** Практичне вирівнювання гістограм рівнів L1C та L2A. Індекс зростає, рослини продовжують набирати біомасу.



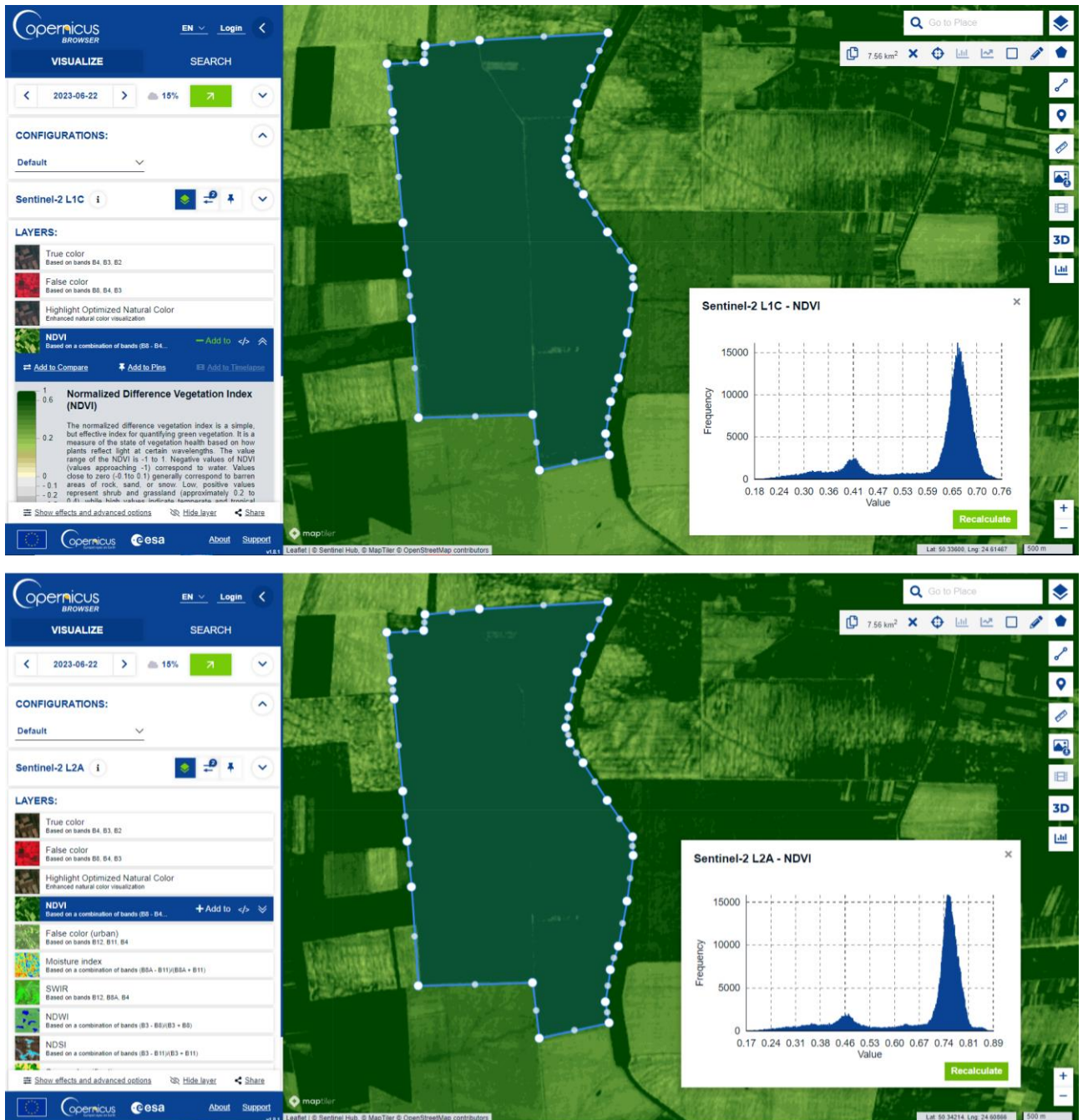


Рис.3.16. Індексні карти поля пшениці станом на **22-06-2023**.

**5. 17-07-2023.** Різкі зміни індексної карти фіксують вже зібране поле. Практично на цьому етапі зміщення піку гістограми ліворуч, в бік низьких значень індекса вказує на відсутність значимої кількості біомаси. Це підтверджують і результати класифікації зображення. Також на нашу думку цікавий візуальний вияв різного рівня забур'янення західної і східної частин поля.

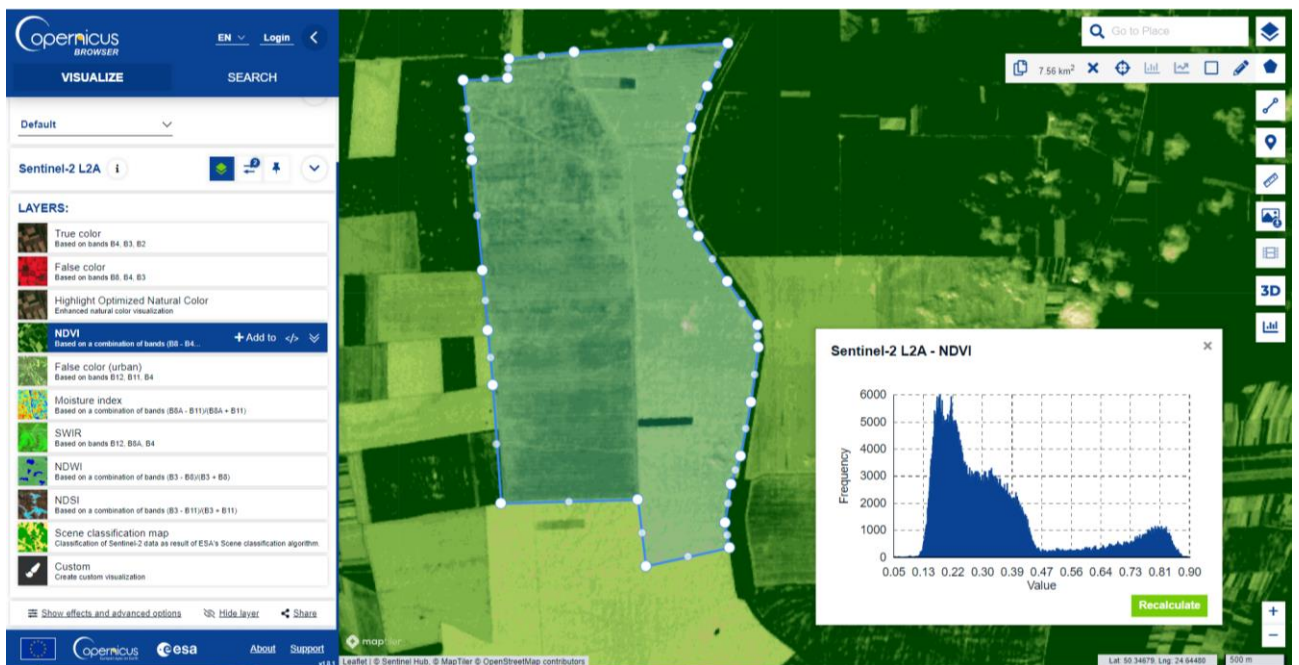
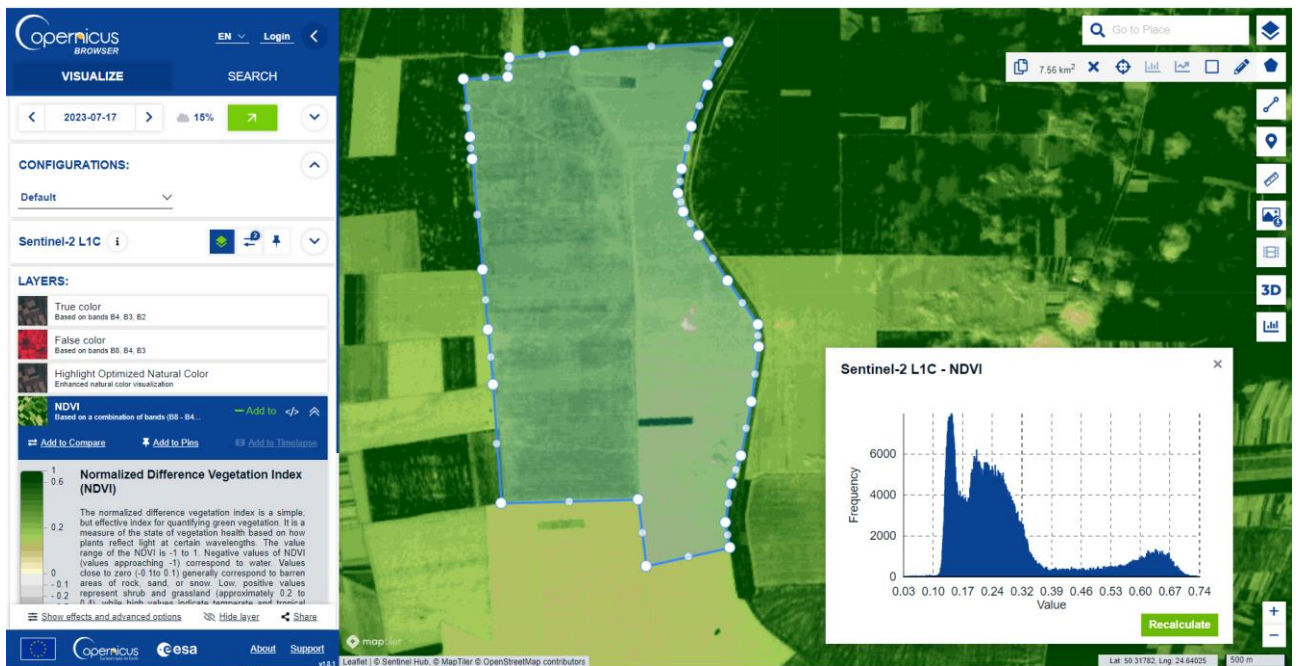


Рис.3.17. Індексні карти поля пшениці станом на 17-07-2023.

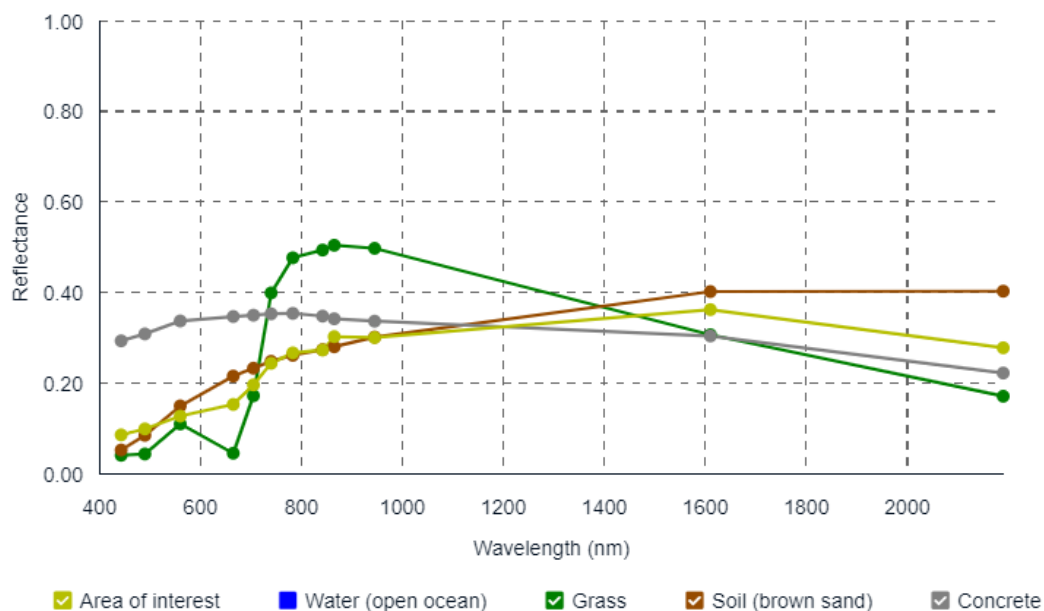
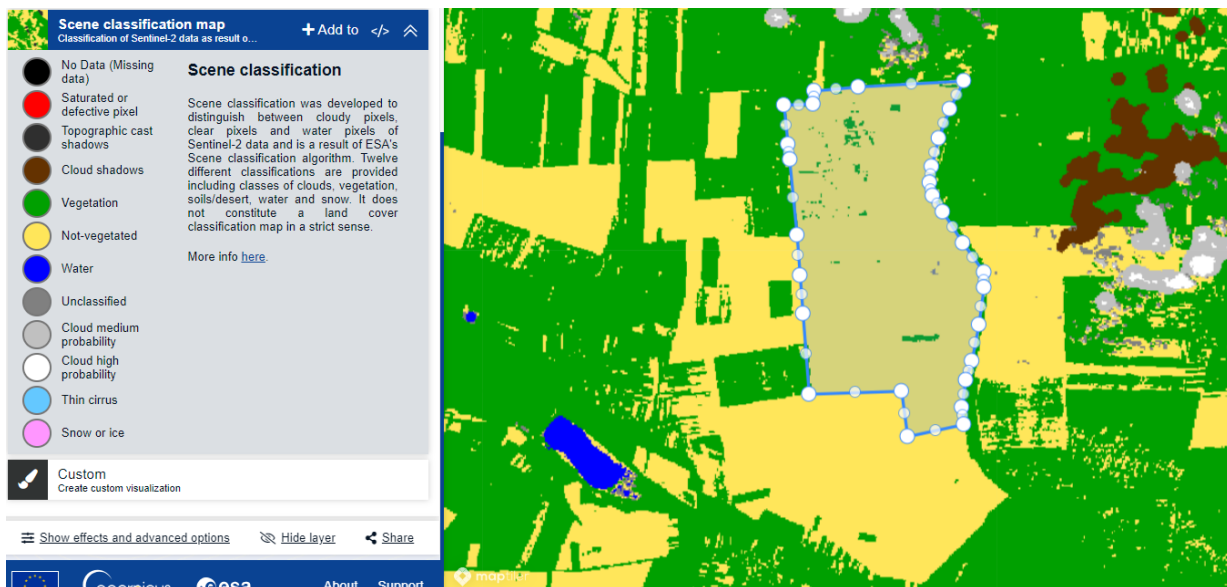


Рис.3.18. Класифікація ландшафту на кінець дослідження

Загалом на нашу думку космічні знімки у версіях Sentinel-2 L1C та Sentinel-2 L2A є цінним джерелом для отримання інформації про стан посівів.

#### 4. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ.

Своєчасно отримувана супутникова інформація є ефективним інструментом моніторингу довкілля. Зокрема вона застосовується для визначення змін клімату на глобальному і регіональному рівнях, моніторингу динаміки небезпечних природних явищ та проявів антропогенної діяльності. При здійсненні агровиробничих процесів супутникові знімки є цінним джерелом інформації щодо динаміки температурного режиму, вмісту вологи в ґрунті, визначення ризиків пов'язаних з проявом процесів опустелювання та посушливих явищ а також розвитку інших деградаційних процесів в агроєкосистемах. Вся ця інформація є досить надійним науково- методичним підґрунтям щодо прогнозування розвитку аграрного виробництва, коригування систем землекористування і агротехнологій, а також ухвалення більш досконалих довгострокових та оперативних управлінських рішень на глобальному, регіональному та локальному рівнях [13].

Екологічно стійке сільське господарство дозволяє оптимізувати технологічний процес, оскільки його ціллю є зниження шкоди яку неминуче завдає господарська діяльність оточуючому середовищу. Така практика землеробства і тваринництва передбачає використання відновлюваних джерел енергії, ощадне землекористування і скорочення об'ємів забруднюючих атмосферу, ґрунти та води речовин. Загалом стійке землеробство – це комплекс управлінських рішень, які приймають сільгоспвиробники на основі якісної аналітики. Саме для аналітики необхідні супутникові дані, що їх отримують завдяки застосуванню технології дистанційного зондування Землі [13].

Концепція визначення степеню стійкості сільського господарства заснована на аналізі трьох аспектів:

- 1) екологічного (агроєкологічного), який окреслює природоохоронний підхід в господарюванні із зменшенням забруднення і споживання невідновлюваних ресурсів;

- 2) соціального (соціально-територіального), який відповідає за забезпечення населення достатньою кількістю продовольства, справедливу зайнятість і сталий розвиток для громад;
- 3) економічного, який потрібен для підтримування життєздатності, ефективності і прибутковості аграрного (зокрема одноосібного і фермерського) бізнесу.

Три аспекти стійкості сільського господарства та наслідки їхнього впровадження тісно взаємопов'язані. Наприклад, внесення добрив на основі вивчення специфіки конкретної ділянки поля в стійкому сільському господарстві економить ресурси сільгоспвиробників (економічний аспект) і сприяє охороні природи (екологічний аспект).

Супутникові технології довели свою ефективність при вирішенні багатьох екологічних проблем, які є наслідком життєдіяльності в сільській місцевості та інтенсивного господарювання.

Періодичні космічні знімання є засобом контролю за інтенсивністю ведення аграрного виробництва, урбанізацією сільських районів особливо близько розміщених до міських агломерацій.

Серед основних проблем землеробства можна виділити насамперед факт розорювання величезних територій та вирубування лісів під поля та сіножаті. При видаленні природного рослинного шару структура ґрунту починає змінюватися, відбувається вивітрювання родючого шару та зневоднення внаслідок того, що рослини перестають затримувати ґрунтові води. Супутникові знімки дозволяють здійснювати об'єктивний моніторинг використання земельного фонду, інтенсивності розорювання, сівозміни та інші умови господарювання.

Інший аспект, який ефективно контролюється з допомогою космічних технологій – це сільськогосподарське забруднення. Це антропогенне явище, яке полягає в накопиченні надлишкової кількості шкідливих речовин в ґрунтах і водах, забрудненні біосфери в результаті застосування нераціональних способів землеробства і тваринництва. Використання

хімічних речовин для добрива, підвищення врожаю, знищення шкідників у великих дозуваннях забруднює ґрунт і призводить до накопичення шкідливих речовин не тільки в самій землі, а й у тих рослинах, які на цій землі виростають, а також у м'ясі та молоці тварин, які вживають такі рослини для харчування.

Ефективне використання хімікатів (добрив та засобів захисту рослин) досягається за допомогою функції зонування, яка допомагає розрахувати диференційовані норми внесення добрив. Поле ділиться на кілька зон: ділянки зі здоровою рослинністю відображаються зеленим кольором, а критичні зони – жовтим та червоним.



Рис. 4.1. Зонування поля зернових для диференційованого внесення добрив (рисунок з сайту eos.com).

Обчисливши необхідні норми окремо для зеленої та червоної зони, фермери можуть скоротити використання хімікатів, що корисно як для їхнього бюджету, так і навколишнього середовища.

Використання надмірних доз добрив та хімічних засобів для захисту рослин, що викликають евтрофікацію (насичення водойм біогенними елементами) та забруднення води. Дистанційне зондування Землі допомагає

здійснювати контроль за ефективністю використання води для поливу. Це здійснюється за допомогою індексу NDMI та даних наземних контрольних вимірювань вологості ґрунту. Моніторинг цих параметрів у рамках сталого сільського господарства забезпечує агрономів своєчасною інформацією про можливі проблеми, які можуть бути спричинені перезволоженням або водним стресом рослин. Фермери можуть забезпечити здоровий розвиток сільськогосподарських культур і зберегти врожай, усунувши дефіцит чи надлишок вологи на полях.

Важливо також враховувати викиди від сільськогосподарської техніки, яка активно використовується у виробництві сільгосппродукції та забруднює атмосферу. Зниженню використання палива та викидів сприяє функція скаутингу, що скорочує частоту необхідних виїздів на ділянки. Регулярний огляд посівів скаутами особливо затратний, коли поля займають великі площі або далеко один від одного. Однак, дистанційний моніторинг посівів значно полегшує цей процес, тому що необхідність безпосереднього огляду поля скаутами виникає лише тоді, коли ймовірність проблеми вказують аномальні значення вегетаційного індексу.

З впровадженням технологій точного висіву, точного внесення добрив та захисту рослин відбувається суттєва економія палива. За рахунок інструментів точного землеробства ця економія еквівалентна щорічному зняттю з дороги майже 200 000 автомобілів [5].

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона здоров'я працівників, створення оптимальних та безпечних умов праці, а також профілактика загальної та професійної захворюваності є особливо важливим завданням адміністрації підприємств.

Техніка безпеки включає вимоги щодо поведінки працівників при виконанні ними своєї робочої функції, спрямовані на запобігання небезпечним ситуаціям для життя та здоров'я як самих працівників, так і їхнього оточення. Аналогом поняття «техніка безпеки» є термін «безпечні методи та прийоми роботи».

Територіальний орган Державної служби України з питань праці націлює роботодавців галузі на створення здорових і безпечних умов праці працівників. Згідно зі ст. 13 Закону України «Про охорону праці» – «Управління охороною праці та обов'язки роботодавця», роботодавець зобов'язаний створити на робочих місцях умови праці відповідно до вимог нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. Роботодавець повинен забезпечити для працівників проходження навчань, інструктажів та перевірки знань з питань охорони праці. Роботодавець контролює аби працівники, які не пройшли навчання й перевірку знань з охорони праці, не допускались до роботи. Тільки повне забезпечення вимог законодавства з промислової безпеки, охорони та гігієни праці дозволить мінімізувати на підприємствах ризики виробничого травматизму [12].

В офісних приміщеннях діють загальні вимоги щодо безпеки. До роботи з ПЕОМ та офісним обладнанням допускаються особи, що пройшли ввідний інструктаж з електробезпеки та ознайомлені з інструкціями по експлуатації пристроїв і оргтехніки. На здоров'я працівників можуть виявляти дію:

а) фактори, пов'язані з роботою ПЕОМ у комплексі з периферійними пристроями (перевищення допустимих значень рівнів звукового тиску, звуку,



електромагнітного поля; виділення у процесі роботи шкідливих речовин у повітря робочої зони; виділення на відео терміналах м'якого рентгенівського випромінювання);

б) зовнішні фактори (підвищений рівень шуму; недостатня та неправильно встановлена на робочих місцях освітленість; підвищена концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони; підвищена або знижена температура повітря, підвищена швидкість руху та відносна вологість повітря; підвищений рівень позитивних та знижений рівень негативних аероіонів у повітрі робочої зони; інші фактори зовнішнього середовища);

в) психофізіологічні фактори (перенапруга зорових аналізаторів, підвищена напруга уваги; тривалі статичні фізичні навантаження, локальна втома плечового поясу, рук, тулуба та ніг; нервово-емоційна напруга; монотонність праці).

Встановлено, що близько 20% порушень здоров'я, пов'язаних із роботою за комп'ютером, викликано не безпосередньою дією шкідливих чинників, які генерує комп'ютер, а незнанням основних правил роботи з ним та неправильною організацією робочого місця [7]. Перед початком роботи, іще до увімкнення на робочому місці обладнання необхідно:

- оглянути та упорядкувати робоче місце, прибрати з робочого місця всі сторонні предмети, які можуть відволікати увагу та ускладнювати роботу;
- перевірити правильність встановлення меблів, кут нахилу екрана монітора, положення клавіатури і, при необхідності, зробити їх переустановку з метою виключення незручних поз та тривалої напруги тіла;
- Перевірити правильність розташування обладнання (кабелі електроживлення та подовжувачі повинні знаходитися з тильного боку робочого місця, джерело безперебійного живлення для виключення шкідливого впливу його підвищених магнітних полів має бути максимально можливо віддалено від оператора);

- Перевірити надійність підключення до системного блоку роз'ємів периферійного обладнання;
- Переконаватися, що освітленість екрану та документів достатня для чіткого розрізнення їхнього змісту. При можливості відрегулювати освітлення та вжити заходів до виключення відблисків та засвіток на екрані та в полі зору;
- Увімкнути обладнання робочого місця у послідовності, встановленій інструкціями з експлуатації обладнання.

Працівник під час роботи зобов'язаний:

- протягом робочого дня утримувати у порядку та чистоті робоче місце;
- не закривати вентиляційні отвори системного блоку ПЕОМ;
- дотримуватись правил експлуатації обладнання та вимоги цієї інструкції;
- дотримуватись встановлених режимом робочого часу регламентованих перерв у роботі, виконувати рекомендовані фізичні вправи.

Під час роботи забороняється:

- торкатися задньої панелі системного блоку при включеному живленні;
- перемикати роз'єм інтерфейсних кабелів периферійних пристроїв при включеному живленні;
- закривати обладнання паперами та сторонніми предметами;
- допускати накопичення паперів на робочому місці;
- допускати попадання вологи на поверхні пристроїв;
- проводити самостійно розбірку та ремонт обладнання;
- проводити розбирання або заправку на робочому місці картриджів, принтерів та копіювальної техніки без відключення їх від мережі живлення;
- торкатися нагрітих елементів принтерів та копіювальної техніки;
- працювати зі знятими кожухами обладнання, що є джерелами лазерного та ультрафіолетового випромінювання;
- розташовуватись при роботі на відстані менше 0,5 м від екрана монітора.

Про всі несправні в роботі обладнання та виникнення аварійних і потенційно небезпечних ситуацій необхідно повідомляти безпосередньому керівнику. Такими ситуаціями можуть бути:

- обрив проводів електроживлення або порушення цілісності їх ізоляції, несправності заземлення та інші пошкодження електрообладнання, поява запаху горіння, сторонніх звуків в роботі обладнання і тестових сигналів - невідкладно припинити роботу і відімкнути живлення;
- враження людини електричним струмом - прийняти міри для припинення дії струму і до прибуття лікаря надати потерпілому першу медичну допомогу;
- загоряння обладнання – відключити живлення, повідомити в пожежну охорону і керівництву, після чого приступити до гасіння пожежі наявними засобами.

Після закінчення роботи працівник зобов'язаний дотримуватися наступної послідовності відключення обладнання:

- Закрити всі виконувані на ПЕОМ завдання;
- відключити електроживлення у послідовності, встановленої інструкціями з експлуатації устаткування з урахуванням характеру виконуваних робіт;
- Прибрати зі столу робочі матеріали та упорядкувати робоче місце.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

За результатами виконання кваліфікаційної магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

1. Виконано аналіз літературних джерел з теорії та практики дистанційного зондування Землі в інтересах агровиробництва.
2. Теоретичні та методичні засади опрацювання результатів багатоспектрального космічного знімання реалізовано в багатьох прикладних сервісах і програмному забезпеченні. Вони дозволяють передусім формувати такі важливі для пояснення стану рослинності на полях продукти як карти вегетаційних індексів.
3. Космічні знімки у версіях Sentinel-2 L1C та Sentinel-2 L2A є цінним і самим доступним джерелом для отримання інформації про стан посівів.
4. В ході експериментального дослідження виконано опрацювання продуктів знімання супутників Sentinel-2 L1C для їхнього доведення до рівня продуктів Sentinel-2 L2A. Це складний етап, пов'язаний з правильним обранням моделі атмосферної корекції і перерахунку значень пікселів у величину відбивної здатності об'єктів на поверхні Землі. Також важливим в цьому процесі етапом є ортокорекція зображень із застосуванням глобальних моделей рельєфу земної поверхні. Така корекція може бути важливою для подальшого генерування карт-завдань для обробітку ґрунту і рослин.
5. Створення часового ряду карт вегетаційних індексів для поля з посівами озимої пшениці є дуже наглядним способом формувати історію поля, в повній мірі підтверджує теорію дистанційного спостереження за станом полів.
6. В ході експерименту проявились також декі позитивні особливості і недоліки методу створення індексних карт. Так при певних погодних умовах в літній період корекція знімків за вплив атмосфери

несуттєво впливає на розраховані значення індексів. Натомість при заявленому часовому періоді знімань 5 діб може виявитись, що безхмарних днів у весняний період вегетації в місяці може бути не більше 3-5, що значно впливає на оперативність складання карт. Відповідно, більш надійним і точним але суттєво більш дорогим є мультиспектральне знімання полів з БПЛА.

7. В роботі розглянуто питання охорони навколишнього середовища та охорони праці.

## БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Булакевич С. В. Використання супутникової системи Landsat для моніторингу озимої пшениці на території Західної України / С. В. Булакевич // Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2019. – Вип. 1(85). – С. 60-70.
2. Бурштинська, Х. В. Аерокосмічні знімальні системи : підручник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2013. - 315 с.
3. Державний стандарт України ДСТУ 42202003 “Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять”. — К.:Держспоживстандарт України, 2003. — 18 с.
4. Державний стандарт України ДСТУ 4758:2007 «Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення даних. Терміни та визначення понять”. — К.: Держспоживстандарт України, 2007. — 12с.
5. Екологічні переваги точного землеробства. URL:  
<https://www.agrortk.com.ua/ekologicheskie-preimushhestva-tochnogo-zemledeliya/#>
6. Зацерковний В.І., 2014. Аналіз моделей інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ і GPS в задачах моніторингу стану навколишнього середовища. Математичні машини і системи, 2014, № 4. С.44-52
7. Литвин В. Комп'ютер та здоров'я. Професійний портал журналу «Охорона праці і пожежна безпека». Публікація від 13.05.2017. URL:  
<https://oppb.com.ua/news/kompyuter-ta-zdorovya>
8. М. В. Марюшко, Р. Е. Пащенко, Н. С. Коблюк. Моніторинг сільськогосподарських культур із застосуванням космічних знімків СЕНТІНЕЛ-2. Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2019, Номер 1(89). С.99.

9. Методичні рекомендації з агроекологічної оцінки структури агроландшафтів і систем землекористування за даними дистанційного зондування Землі високого просторового розрізнення – К., 2012. – 34с.
10. Моніторинг стану сільськогосподарських угідь озимої пшениці з використанням даних супутників Sentinel та систем штучного інтелекту / С. Булакевич, О. Качановський // Сучас. досягнення геодез. науки та вир-ва : зб. наук. пр. Зах. геодез. т-ва УТГК. - 2018. - Вип. 1. - С. 59-63.
11. Основи дистанційного зондування Землі : робочий зошит. Частина 1. / С. М. Бабійчук, Л. Я. Юрків, О. В. Томченко, Т. Л. Кучма. – Київ : Національний центр «Мала академія наук України», 2020. – 122 с.
12. Охорона праці в сільському господарстві: особливості дотримання.: URL: <https://uteka.ua/ua/publication/news-14-delovye-novosti-36-oxrany-truda-v-selskom-xozyajstve-osobennosti-soblyudeniya>
13. Стійке сільське господарство на практиці. URL: <https://eos.com/ru/blog/ustojchivoe-selskoe-khozyajstvo/>
14. Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Агроекологічний супутниковий моніторинг. – К.: Аграр. наука, 2019. – 204 с.
15. Український П. Онлайн-довідник зі спектральних індексів idb: вся інформація зі спектральних індексів в одному місці. 2019. URL: [www.50northspatial.org/ua/idb-remote-sensing-indices-database/](http://www.50northspatial.org/ua/idb-remote-sensing-indices-database/).
16. Через втрати врожаю на окупованих територіях Україна зазнала втрат у \$2 млрд — NASA Harvest. URL: <https://superagronom.com/news/18252-cherez-vtratu-vrojaju-na-okupovanih-teritoriyah-ukrayina-zaznala-vtrat-u-2-mlrd--nasa-harvest>
17. Becker-Reshef I., Barker B., Whitcraft A. Crop Type Maps for Operational Global Agricultural Monitoring. Sci Data 10, 172 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02047-9>

18. German Satellite Data Archive. <https://www.dlr.de/en/research-and-transfer/research-infrastructure/d-sda-user-services>
19. Goh B., King P., Whetton R.L., Sattari S.Z., Holden N.M. Monitoring winter wheat growth performance at sub-field scale using multitemporal Sentinel-2 imagery // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2022, Volume 115, 103124, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103124>
20. James W. Quinn, Band Combination. URL: <http://web.pdx.edu/~emch/ip1/bandcombinations.html>
21. Louis J., A. Charantonis & B. Berthelot, "Cloud Detection for Sentinel2", Proceedings of ESA Living Planet Symposium (2010).
22. Louis J., Debaecker V., Pflug B., Magdalena Main-Knorn, Bieniarz J., Uwe Mueller-Wilm, Cadau E., Ferran Gascon - SENTINEL-2 SEN2COR: L2A Processor for users.
23. Nakalembe C., Becker-Reshef I., Bonifacio R., Hu G., Humber M.L., Justice C.J., Keniston J., Mwangi K., Rembold F., Shukla S., Urbano F., Whitcraft A.K., Li Y., Zappacosta M., Jarvis I., Sanchez A. A review of satellite-based global agricultural monitoring systems available for Africa// Global Food Security, 2021, Volume 29, 100543, <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100543>.
24. National Satellite Land Remote Sensing Data Archive. URL: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/national-satellite-land-remote-sensing-data-archive>
25. Rembold F., Meroni M., Urbano F., Csak G., Kerdiles H., Perez-Hoyos A., Lemoine G., Leo O., Negre T. ASAP: A new global early warning system to detect anomaly hot spots of agricultural production for food security analysis // Agric. Syst., 168 (2019), pp. 247-257, 10.1016/j.agry.2018.07.002. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X17309095>



26. Yang M., Guo B., Wang J. Phenological-Based Method for Monitoring Winter Wheat and Summer Maize Rotation Cropping Pattern Using Sentinel-2. 2023. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4556021> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4556021>