

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних робіт з дисципліни „Сільське господарство”

**ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ  
МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИННОГО ПОКРОВУ**

для студентів денної форми навчання

спеціальності 103 «Науки про Землю»  
ОПП Агрометеорологія

Затверджено  
на засіданні групи забезпечення спеціальності  
протокол №   5   від « 22 »  06  2020 р.

Голова групи (магістр) \_\_\_\_\_ Шакірзанова Ж.Р.

Затверджено  
на засіданні кафедри агрометеорології та агроєкології  
протокол №  16  від «17» березня 2020 р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Польовий А.М.

Одеса 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних робіт з дисципліни „Сільське господарство”

### **ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ РОСЛИННОГО ПОКРОВУ**

для студентів денної форми навчання

спеціальності 103 «Науки про Землю»  
ОПП Агрометеорологія

Затверджено  
на засіданні групи забезпечення спеціальності  
протокол №   5   від «  22  »   06   2020 р.

Одеса – 2020

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни “Сільське господарство” за темою „Використання супутникової інформації для моніторингу стану рослинного покриву” для студентів денної форми навчання, ОПП “Агрометеорологія”, рівень освіти другий (магістр) / д.геогр.н., проф. Семенова І.Г. – Одеса, ОДЕКУ, 2020. 37 с.

## ЗМІСТ

	Стор.
Передмова .....	5
1 Теоретична частина .....	6
1.1 Фізичні принципи зондування Землі з космосу .....	7
1.2 Принципи моніторингу рослинного покриву .....	11
1.3 Вегетаційні індекси .....	15
1.4 Використання вегетаційних індексів для моніторингу посух .....	20
2 Практична частина .....	23
2.1 Аналіз вегетаційного індексу NDVI за допомогою бази даних VI Time Series Database з проекту Global Agriculture Monitoring (GLAM).....	23
2.2 Аналіз умов вегетації та посух за допомогою індексів VCI, TCI, VHI бази даних STAR - Global Vegetation Health Products (NOAA).....	28
3 Критерії оцінки знань при виконанні практичних занять .....	35
Список літератури .....	36

## ПЕРЕДМОВА

Дисципліна "Сільське господарство" належить до професійно-орієнтованих та входить до вибіркової частини ОПП магістра з агрометеорології. Метою дисципліни, окрім надання слухачам знань з біології основних сільськогосподарських культур та їх вимог до навколишнього середовища, є вивчення методів, що дозволяють оцінити вплив кліматичних і погодних умов на формування кількості та якості врожаїв сільськогосподарських рослин, дозволяють оцінити причини виникнення екстремальних атмосферних явищ та їх вплив на ріст, розвиток та формування врожаїв сільськогосподарських культур. Вегетаційні продукти супутникового дистанційного зондування є одним з найсучасніших і динамічних видів інформації, за допомогою яких можна встановлювати умови вегетації та розробляти методи моделювання врожайності сільськогосподарських культур.

Виконання практичних завдань передбачає використання Інтернет-ресурсів з метою ознайомлення та отримання прогностичних продуктів, розроблених спеціально для забезпечення моніторингу вегетаційного покриву, для розв'язання завдань з оцінки стану вегетації та посушливих умов.

Мета практичних занять - ознайомитися з існуючими продуктами супутникового моніторингу підстильної поверхні і рослинного покриву, провести відбір необхідних даних (різних вегетаційних індексів) на відповідних Інтернет-ресурсах для визначення умов вегетації за певний проміжок часу для виділеного регіону, провести їх аналіз та порівняти з багаторічними характеристиками.

За результатами виконання практичних занять студенти повинні:

- **знати** принципи зондування Землі з космосу і основні види інформації, що надходять з штучних супутників Землі; методи оцінки умов вегетації за допомогою супутникової інформації; методи моделювання врожайності сільгоспкультур культур за допомогою супутникової інформації;

- **вміти** інтерпретувати супутникову інформацію моніторингу стану рослинного покриву, що надається спеціалізованими Інтернет-ресурсами; використовувати супутникові вегетаційні індекси для оцінки умов вегетації та режиму посух у виділеному районі.

- **володіти навичками** використання критеріїв вегетаційних індексів для оцінки впливу навколишнього середовища на ріст і формування продуктивності сільськогосподарських культур.

Практичні заняття виконуються згідно з робочим навчальним планом аудиторних практичних занять.

# 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Методи дистанційного зондування за допомогою супутників дають можливість простежити за розвитком рослин на усіх стадіях, проводити ідентифікацію рослинних утворень, визначати вплив на рослини шкідників, оцінювати урожай та прогнозувати його в майбутньому, реалізувати інвентаризацію ґрунтів та картографувати динаміку їх змін внаслідок ерозії та вологості, спостерігати за процесами евтрофікації водойм, окреслювати границі рослинних, ґрунтових та водних площ.

Одним з найпоширеніших видів застосування супутникового зондування в сільському господарстві є супутниковий моніторинг посівів, тобто технологія спостереження за змінами індексу вегетації, отриманого за допомогою спектрального аналізу супутникових знімків високої роздільної здатності. Використовується на окремих полях або для окремих сільськогосподарських культур і дозволяє відстежувати позитивні та негативні динаміки розвитку рослин. Різниця в динаміці індексу вегетації повідомляє про диспропорції в розвитку в межах однієї культури або поля. Супутниковий моніторинг дозволяє контролювати стан посівів протягом всього виробничого сезону через надання вегетаційних індексів, які характеризують щільність та якість рослинності, наприклад NDVI (рис. 1), завдяки чому робиться висновок про необхідність проведення додаткових сільськогосподарських робіт на окремих ділянках полів, які потребують пересівання, внесення засобів захисту рослин (ЗЗР) та добрив. Тому дану технологію відносять до методів точного землеробства.

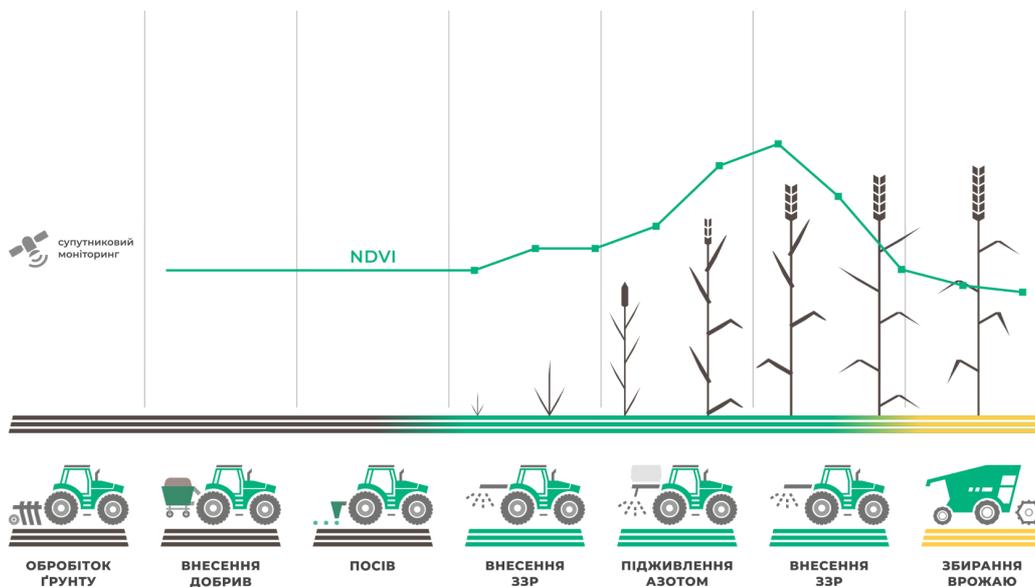


Рис. 1. Приклад співвідношення часового ходу індексу NDVI з фазами сільгоспробіт ( <https://smartfarming.ua/ua-suputnikovij-monitoring>)

## 1.1 Фізичні принципи зондування Землі з космосу

Сонце - головне джерело енергії в системі земля-атмосфера, що випромінює електромагнітну енергію в широкому діапазоні довжин хвиль. Відповідно до закону Планка, усі тіла з температурою вище 0 К випромінюють електромагнітне випромінювання.

Чорне тіло при температурі  $T$  випромінює випромінювання згідно рівняння:

$$B_{\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)}, \quad (1)$$

де  $B_{\lambda}$  — енергія ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-3}$ ), що випромінюється при заданій довжині хвилі  $\lambda$  (м);

$c_1$  і  $c_2$  - константи ( $3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$  і  $1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$  відповідно).

Спектральний розподіл випромінювання тіла ( $B$  як функція  $\lambda$ ) можна отримати, застосувавши функцію Планка при заданій температурі  $T$  та врахувавши діапазон можливих довжин хвиль. Для випадку Сонця, враховуючи його температуру приблизно в 6000 К, крива його випромінювання як функція довжини хвилі буде мати вигляд, зображений на рис. 2. Як можна бачити, максимум енергії випромінювання доводиться на короткохвильову область, до якої належить й видиме світло.

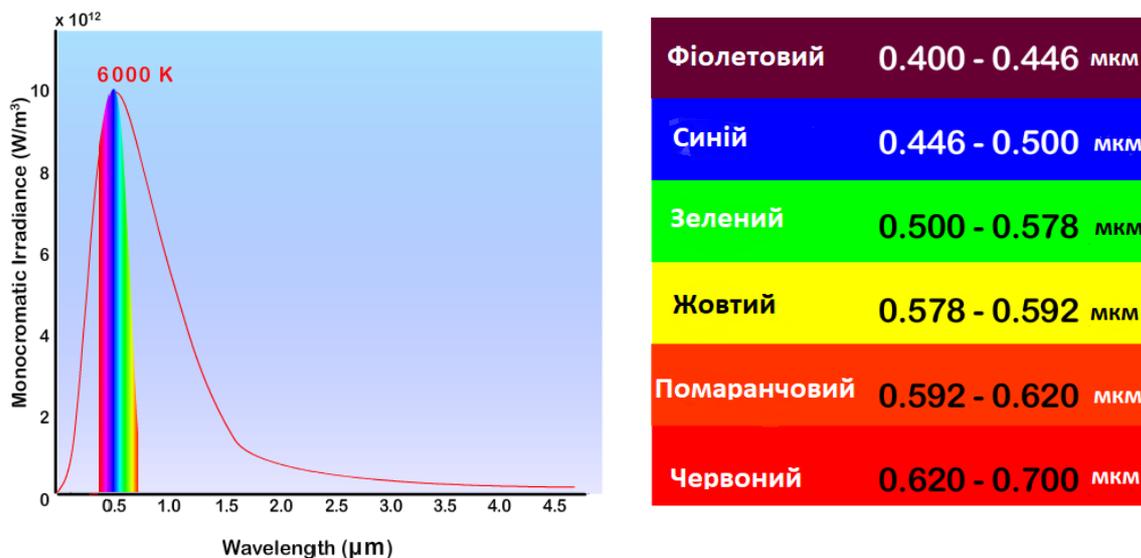


Рис. 2. Спектральний розподіл випромінювання Сонця та довжини хвиль у видимому спектрі сонячного електромагнітного випромінювання

Видима область електромагнітного спектру, яку зазвичай називають видимим світлом, - це частина електромагнітного спектру, яка видима людським оком. У цій області найдовша довжина хвилі червона, а найкоротша - фіолетова. На рис. 2 наведені загальні довжини хвиль у видимому спектрі, який людина сприймає як відповідні кольори у видимому світлі.

Оскільки інтенсивність випромінювання залежить від температури тіла, є природним, що випромінювання об'єктів на поверхні Землі та планети цілком, будуть мати відмінні від Сонця характеристики випромінювання, адже вони мають нижчі температури, ніж Сонце. Середня температура Землі вважається близько 300 К, яка є характерною до температури більшості об'єктів на поверхні Землі. На рис. 3 показані в порівнянні спектральні розподіли випромінювання Сонця і Землі.

Пік земного випромінювання розташований приблизно на довжині хвилі 10 мкм, тобто, в тепловій інфрачервоній області. Найбільш значна частка наземного випромінювання доводить на інтервал 3-100 мкм, тобто на довгохвильовий діапазон електромагнітного випромінювання.

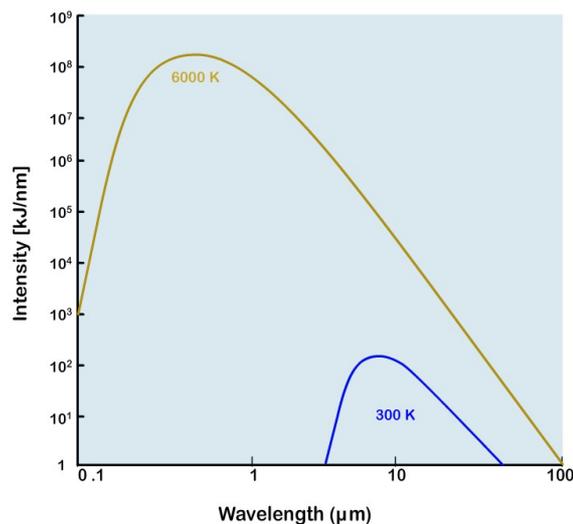


Рис. 3. Спектральні розподіли випромінювання Сонця (6000 К) і Землі (300 К)

Атмосфера не є повністю прозорою для сонячного електромагнітного випромінювання. Найменше послаблення відбувається в діапазоні довжин хвиль 0,3–5,2 мкм (в який міститься близько 88% всієї енергії сонячного випромінювання) і радіодіапазоні 1 мм – 30 м. Випромінювання в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні ( $\lambda > 5,2$  мкм) поглинається парами води і вуглекислим газом тропосфери і стратосфери. Випромінювання ультрафіолетового діапазону (0,18 – 0,3 мкм) поглинається озоном на висотах 15–60 км, а хвилі 0,18 – 0,1 мкм і менше – азотом, молекулярним і атомарним киснем (на висоті від кількох десятків до кількох сотень км над

поверхнею Землі). Жорстке короткохвильове (рентгенівське і гамма-) випромінювання поглинається всією товщею атмосфери, до поверхні Землі воно не доходить.

Проходячи через атмосферу до земної поверхні, сонячне випромінювання послаблюється за рахунок процесу відбиття (хмарами та атмосферними складовими) та поглинання (атмосферними компонентами). На рис. 4 показані спектри поглинання для різних атмосферних газів між верхньою межею атмосфери та земною поверхнею як функції довжини хвилі. Найбільше поглинання в довгохвильовому спектрі відбувається молекулами водяної пари ( $H_2O$ ) та вуглекислого газу ( $CO_2$ ), в короткохвильовому діапазоні — озоном ( $O_3$ ). Тропосферний оксид азоту ( $N_2O$ ) та метан ( $CH_4$ ) мають смуги поглинання в інфрачервоному діапазоні, але їх концентрація є занадто низькою, щоб мати значний вплив.

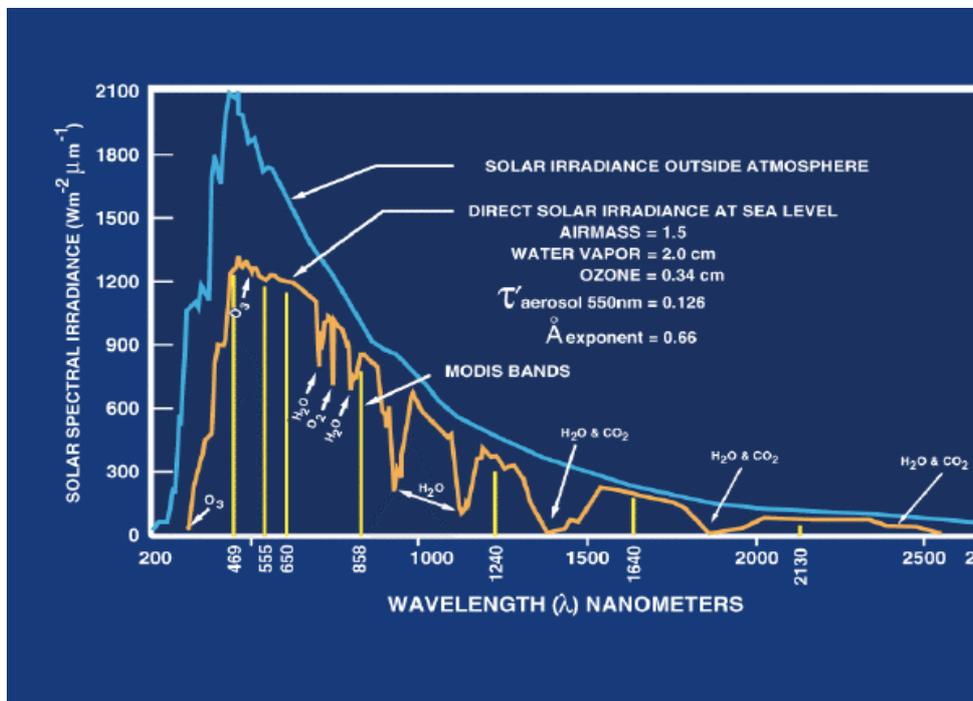


Рис. 4. Спектральні криві інтенсивності сонячного випромінювання на верхній межі атмосфери (синя крива) та на рівні моря (жовта крива) із зазначенням зон поглинання атмосферними газами

Довжини хвиль, на яких відбувається найбільше поглинання сонячного випромінювання атмосферними газами (0,3, 0,7, 1,0 та 10 мкм), називаються *смугами поглинання*. І навпаки, довжини хвиль, на яких сонячне випромінювання проходить через атмосферу з найменшим згасанням (висока пропускну здатність і низьке поглинання), називаються *вікнами прозорості* атмосфери (рис. 5). Саме через ці вікна супутники спостерігають поверхню Землі у видимій та інфрачервоній областях електромагнітного спектру.

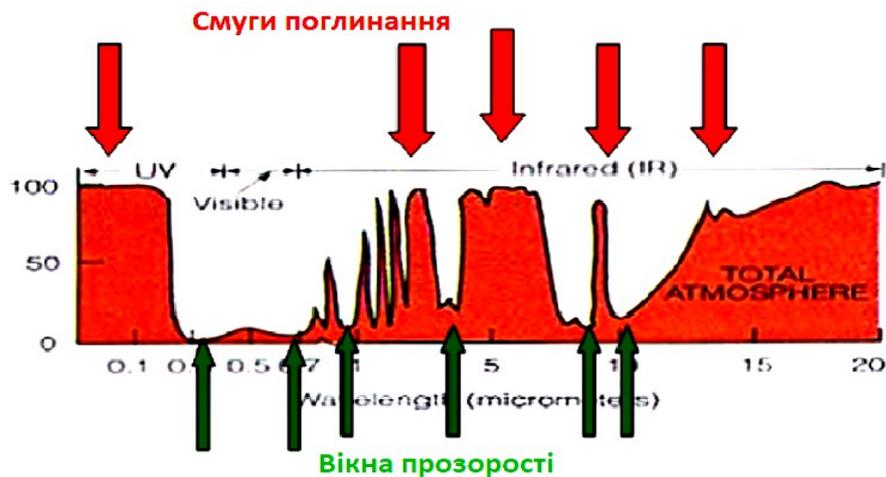


Рис. 5. Схема розташувань вікон прозорості атмосфери та смуг поглинань в діапазоні хвиль сонячного випромінювання

Сонячна енергія, що пройде крізь атмосферу і досягне поверхні Землі, буде взаємодіяти з поверхнею через механізми відбиття, поглинання та перенесення.

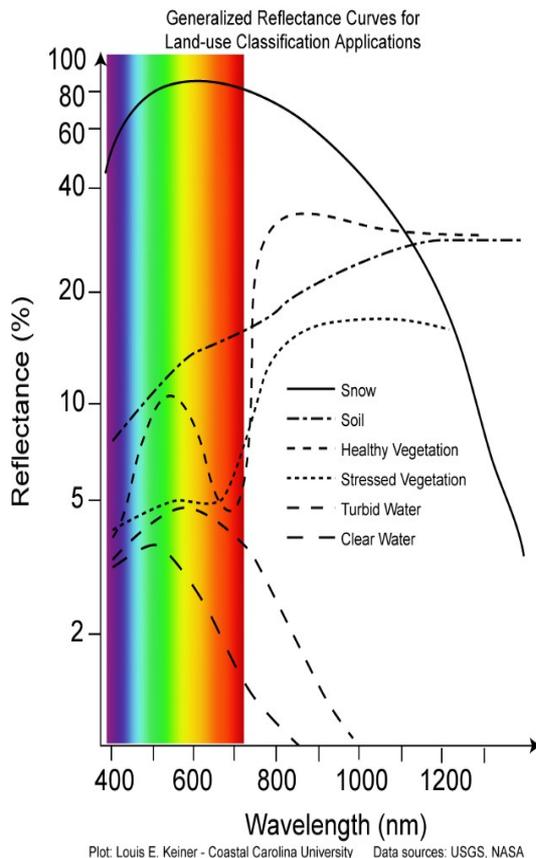


Рис. 6. Криві відбивної здатності різних типів поверхонь

Відбивні здатності різних поверхонь дозволяють їх розрізняти, тобто бачити в різних діапазонах хвиль, перш за все, у видимому діапазоні. Колір об'єкта є результатом поєднання довжин хвиль відбитої частини світла, що відбивається від об'єкта, як можна бачити на рис. 6.

На інтенсивність відбиття, окрім типу поверхні, впливають також шорсткість поверхні, положення Сонця та супутника відносно один одного та об'єкта спостереження. Саме ці властивості враховуються в методах дистанційного зондування поверхні Землі із супутників.

## 1.2 Принципи моніторингу рослинного покриву

Відбивні властивості рослинного покриву залежать від геометрії покриву (площі та орієнтації листя, кількості листяних шарів), типу рослин, які утворюють покрив. Крім того, значно впливають метеорологічні та кліматичні умови, висота стояння Сонця, наявність хмар, пилу, аерозолів та забруднень в атмосфері, тип та спектральні властивості ґрунту, агрохімічна обробка полів.

Рослинні та нерослинні поверхні можуть бути розпізнані за деякими характерними типами різних спектрів відбиття.

На довжинах хвиль більше 1,3 мкм, рослинність поглинає або відбиває падаючу радіацію (наприклад, зелена трава, рис. 7, а); коефіцієнт пропускання мізерно малий, а поглинання в спектрах відбиття відповідають поглинанню на цих довжинах хвиль.

Крива відбиття нерослинних поверхонь (наприклад, для піску, на рис. 7, б) має меншу залежність від довжини хвилі. Деякі фактори, що впливають на відбиття ґрунту, - це вміст вологи, текстура ґрунту, шорсткість поверхні, наявність оксиду заліза та органічних речовин.

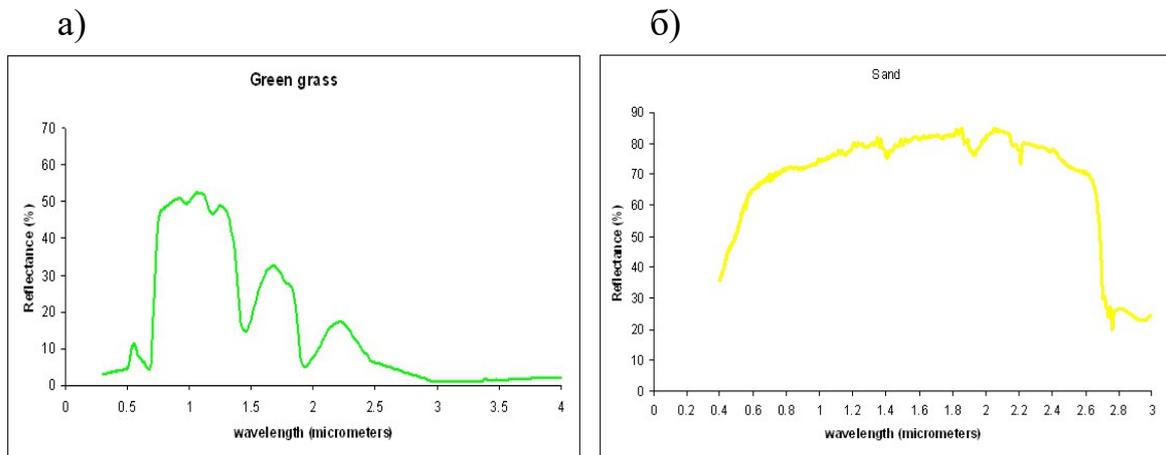


Рис. 7. Спектр відбиття зеленої трави (а) та піску (б)

Типовий спектр відбиття рослинного покриву може бути розділений на 3 частини (рис. 8): видимий діапазон - ТВ (0,40-0,70 мкм), ближній інфрачервоний - БІЧ (0,701-1,3 мкм), середній інфрачервоний - СІЧ (1,301-2,5 мкм). Ще однією оптичною властивістю спектру відбиття рослинного покриву є різкий перехід між сильним поглинанням у видимому червоному кольорі і сильним відбиттям у діапазоні БІЧ, відомим як Red Edge (червоний край).

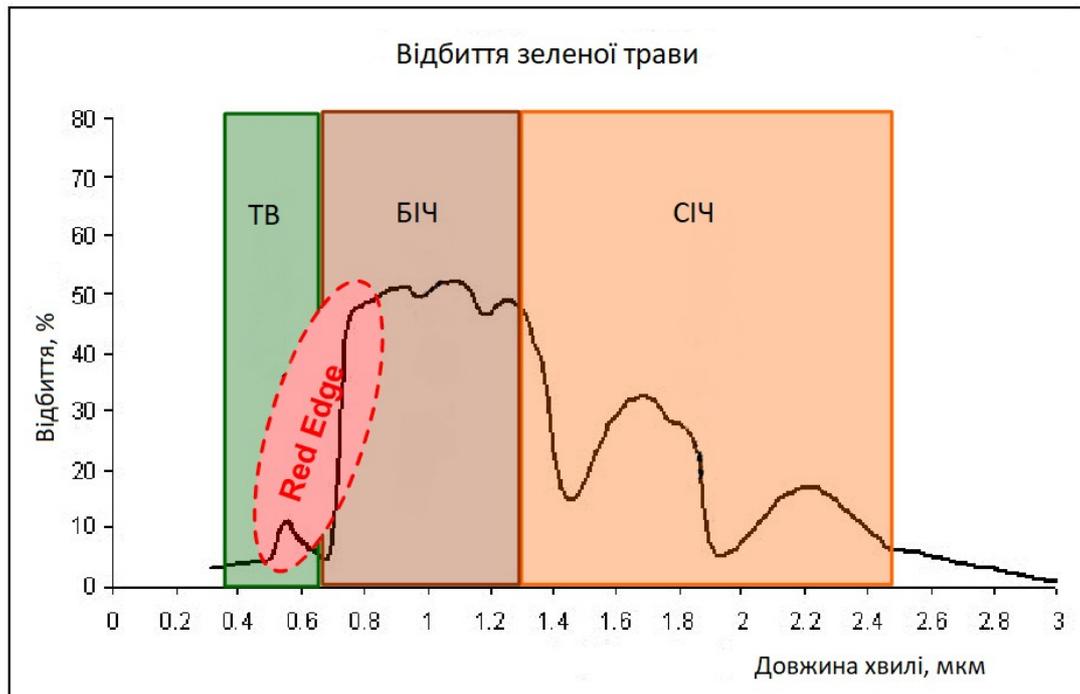


Рис. 8. Діапазон спектру відбиття зеленої трави

#### *Видимий діапазон (ТВ)*

Видима частина спектру відбиття (0,40-0,70 мкм, див. рис.---) вегетації контролюється пігментами в хлоропластах зеленого листя, що знаходяться у зовнішньому листі, пігментами хлорофілу - хлорофілом-а та хлорофілом-б. Пігмент - це будь-яка речовина, яка поглинає світло. Колір пігменту визначається відбитими довжинами хвиль. Білі пігменти / світлі кольори відбивають всю або майже всю енергію, яка поступає до них. Чорні пігменти поглинають всі довжини хвиль, які надходять до них.

Хлорофіл є основним поглиначем випромінювання у видимій області і його поглинання є домінуючим у видимій червоній частині спектру (0,6 - 0,7 мкм); його називають зеленим пігментом і він є загальним для всіх фотосинтетичних клітин.

Інші пігменти листя також мають важливий вплив на видиму частину спектру. Каротин (жовтий до оранжево-червоного пігмент, що відповідає за колір деяких квітів, плодів та листя без хлорофілу) та ксантофіл (відповідальний за колір листя восени) мають сильне поглинання на довжині хвилі синього кольору (0,35 - 0,5 мкм).

#### *Ближній інфрачервоний діапазон (БІЧ)*

Оптичні властивості в ближньому інфрачервоному спектральному діапазоні (0,701-1,3 мкм, див. рис. 8) пояснюються будовою листя. Губчасті

клітини мезофілу, розташовані у внутрішній чи задній частині листя, відбивають випромінювання у БІЧ діапазоні. Інтенсивність відбиття БІЧ випромінювання зазвичай більша, ніж у більшості неорганічних матеріалів, тому рослинність виглядає яскравою на довжинах хвиль у цьому діапазоні.

### *Червоний край (Red Edge)*

Червоний край - це область різкого переходу в спектрі відбиття рослинності від червоного кольору на ближній інфрачервоний спектр (БІЧ) та позначає межу між поглинанням хлорофілом у видимій червоній області та розсіюванням через внутрішню структуру листя в області БІЧ (рис. 9). Ця перехідна зона лежить в основі декількох індексів вегетації, таких як NDVI, що є нормалізованою різницею відбиття в червоному видимому (0,6 мкм) та БІЧ (0,8 мкм) відбиттям. Також положення червоного краю використовується для оцінки вмісту хлорофілу в листі.

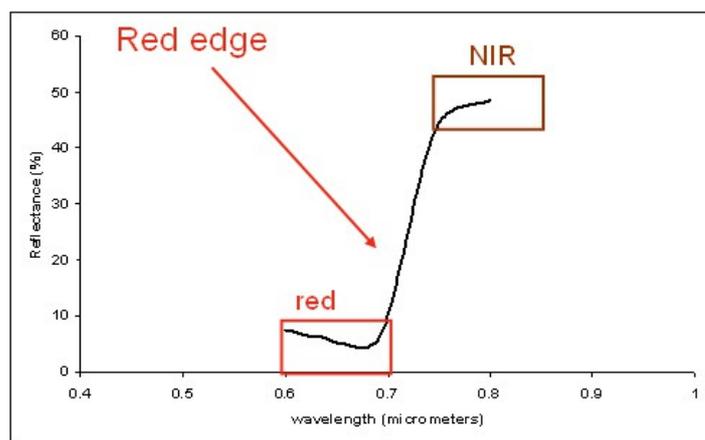


Рис. 9. Спектр відбиття зеленої трави для перехідної зони між видимим діапазоном та БІЧ - Червоний край (Red edge)

### *Середній інфрачервоний діапазон (СІЧ)*

Середній інфрачервоний діапазон (1,301-2,5 мкм, див. рис. 8) містить інформацію про поглинання випромінювання водою, целюлозою і лігніном, та кількома іншими біохімічними складовими. Цей діапазон електромагнітного спектру дозволяє виявити вегетаційний стрес через посуху.

Оскільки спектральні характеристики відбиття рослинності пов'язані з пігментами листя, внутрішньою структурою листя та вмістом води у листках, детальний аналіз спектрального відбиття дає інформацію про фазу життєвого циклу рослинності, стан здоров'я та навіть ідентифікацію окремих типів рослинного покриву. Коли рослина зазнає старіння,

хлорофіл більше не виробляється, а інші пігменти, присутні в рослинах, стають видимими.

Зміни у стану рослинності можуть бути виявлені через зміни спектральних характеристик. Так, *стрес рослинності* виражається через прогресивне зниження відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні, та одночасним збільшенням відбиття у середньому інфрачервоному діапазоні. У видимій області зміни обмежуються варіацією кольору.

RGB-зображення можуть бути використані для отримання інформації про рослинний покрив. Техніка RGB працює за допомогою асоціації кольору з певним каналом. Щоб отримати максимум інформації з одного зображення, кожен колір (червоний (Red), зелений (Green) або синій (Blue)) повинен бути пов'язаний з іншим каналом з чіткими фізичними властивостями.

Для отримання інформації про рослинний покрив можна використовувати RGB композит *Natural colours* - Природні кольори (рис. 10). У цьому композиті червоний колір асоціюється з БІЧ 1,6 мкм; зелений колір - ТВ 0,8 мкм; синій колір ТВ 0,6 мкм. Зображення в цих каналах може бути отримано тільки на освітленому Сонцем боці Земної кулі, тобто в денні години місцевого часу. На цих знімках червоно-рожевий колір відповідає оголеним ґрунтам і посушливим регіонам; зелений колір домінує для рослинного покриву.

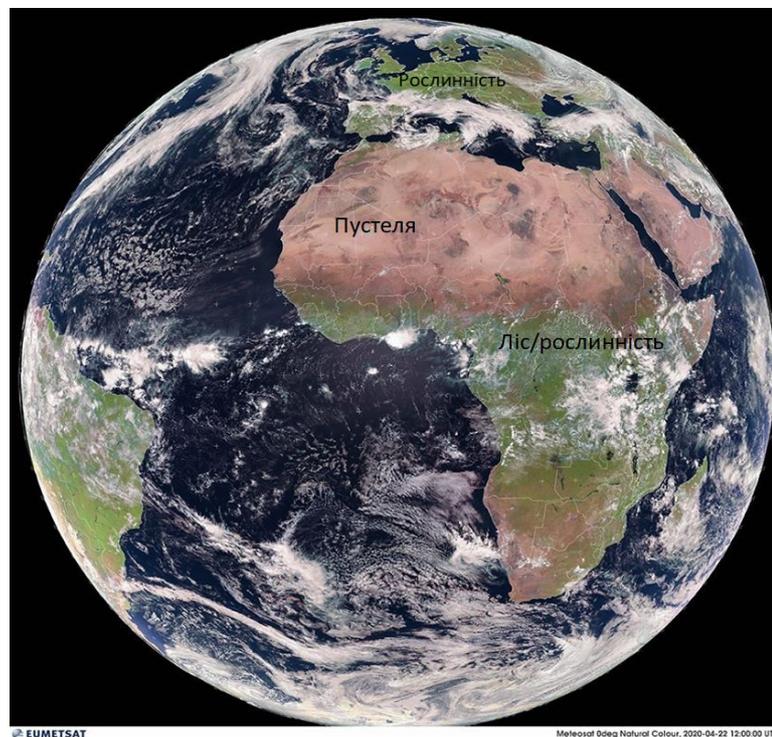


Рис. 10. RGB композит Natural colour (Meteosat-11, 22.04.2020 р.)

### 1.3 Вегетаційні індекси

**Вегетаційний індекс** — це показник, що розраховується в результаті операцій із різними спектральними діапазонами даних супутникового дистанційного зондування й має відношення до параметрів рослинності в конкретному пікселі знімка. Ефективність вегетаційних індексів визначається особливостями відображення. Розрахунок більшості вегетаційних індексів базується на двох найбільш стабільних ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин.

**NDVI** (англ. **Normalized Difference Vegetation Index**) — нормалізований диференційний вегетаційний індекс. Найбільш поширений у сільському господарстві, характеризує щільність рослинності й дозволяє аграріям оцінити схожість, ріст, наявність бур'янів або хвороб, а також спрогнозувати продуктивність полів.

Показники індексу формуються через супутникові знімки зеленої маси, яка поглинає електромагнітні хвилі у видимому червоному діапазоні та відбиває їх у ближньому інфрачервоному. На червону зону спектра припадає максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом, а на ближню інфрачервону зону - максимальне відбиття енергії клітинною структурою листа. Тобто висока фотосинтетична активність веде до більш низьких значень коефіцієнтів відбиття в червоній зоні спектра і великим значенням у ближній інфрачервоній. Відношення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати рослинність від інших природних об'єктів.

**NDVI** визначається як різниця значень інтенсивності відбитого випромінювання в червоному  $R_R$  (0,62-0,69 мкм) та ближньому інфрачервоному  $R_{NIR}$  (0,75-0,9 мкм) діапазонах зондування, нормована на суму цих величин:

$$NDVI = \frac{R_R - R_{NIR}}{R_R + R_{NIR}} \quad (2)$$

Значення індексу пропорційно загальній зеленій фітомасі і звичайно коливається у межах 0,20-0,80. Стан рослинності можна визначити згідно наступних критеріїв:

Значення NDVI	Стан рослинності
0,71 - 1,00	дуже добрий
0,56 - 0,70	добрий
0,41 - 0,55	задовільний
0,31 - 0,40	поганий
0,21 - 0,30	пригнічений

На рис. 11 можна бачити ілюстрацію, яка частка електромагнітного випромінювання відбивається та поглинається у видимому (червоний колір) та ближньому інфрачервоному діапазонах зондування зеленою та пожовклою рослинністю і як це впливає на значення індексу NDVI.

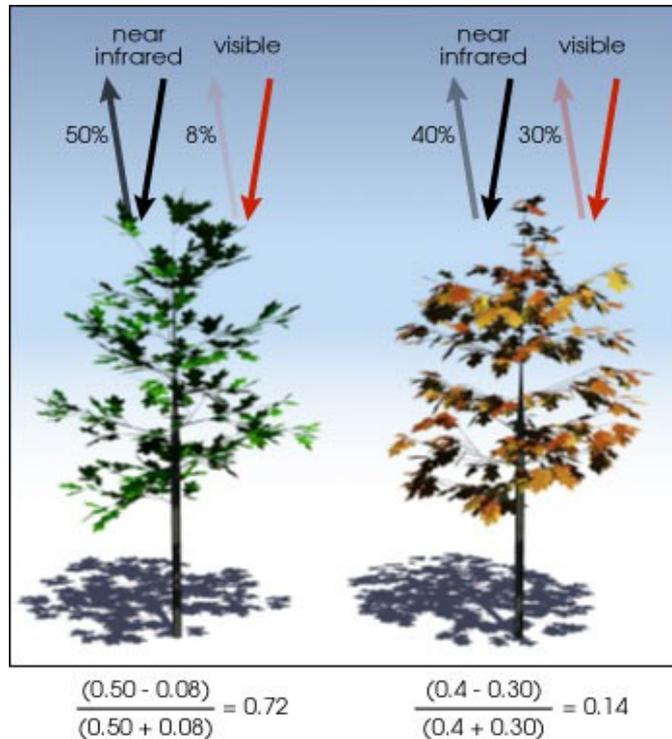


Рис. 11. Приклад залежності значення індексу NDVI від стану рослинності

Для ділянок земної поверхні індекс коливається від значень, близьких до 0 для посушливих або безплідних районів, до ~ 1 для районів з густою розвиненою рослинністю. Негативні значення NDVI зазвичай відповідають районам міської забудови. NDVI над водними поверхнями дуже близький до -1 через їх дуже низький коефіцієнт відбиття в БЧ спектрі. Приклад розподілення значень NDVI по території Одеської області можна бачити на рис. 12. Розмір пікселя MODIS 250 метрів. Жовті ділянки знімку відповідають рідкій, нерозвинутій або зав'ялій рослинності, тоді як ступень зеленого кольору характеризує насичений та густий рослинний покрив.

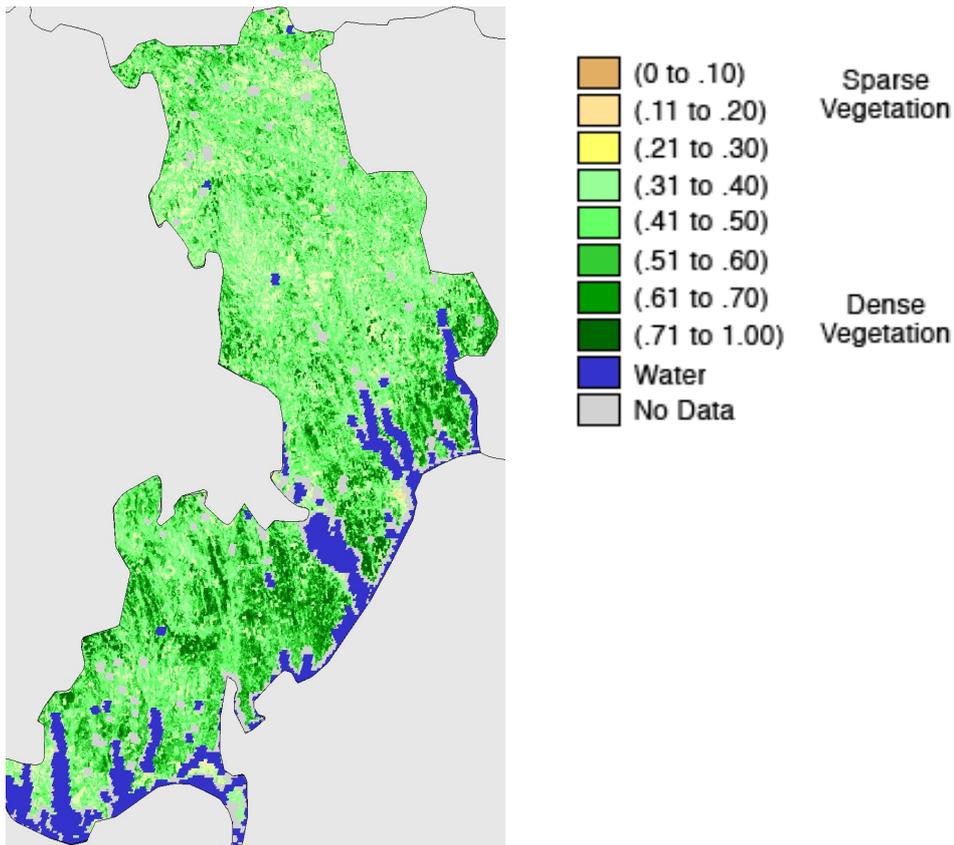


Рис. 12. Одеська область. MODIS NDVI (супутник Terra) (MOD09 8-мі денний композит, 250 м). Період 6-13 квітня 2020 р. (джерело GLAM VI Time Series Database)

**EVI** (англ. **Enhanced Vegetation Index**) — вдосконалений вегетаційний індекс. Розроблений як поліпшення NDVI шляхом оптимізації сигналу рослинності в областях із високим індексом листкової поверхні (LAI). Індекс використовує синю область відображення для корекції фонових сигналів ґрунту і зменшення атмосферних впливів, у тому числі аерозольного розсіювання. Найбільш корисний у регіонах із високим рівнем LAI, тобто у районах з густою рослинністю, де NDVI може перенасичуватися. Значення EVI у пікселях повинні коливатися в діапазоні від 0 до 1. Яскраві об'єкти, такі як хмари й білі будівлі, поряд із темними об'єктами, такими як вода, можуть призвести до аномальних значень пікселів у зображенні EVI. Використовується для оцінки мінливості розвитку культур як в умовах густого рослинного покриву, так і в умовах розрідженої рослинності.

Індекс EVI був розроблений науковою командою MODIS, щоб використати всі переваги сенсорних можливостей. Для підвищення нечутливості до сигналу вегетації індекс використовує вимірювання в червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах (як у випадку з

NDVI), а також у видимій синій смузі, що дозволяє додатково виправити аерозольне розсіювання, спричиненого димом та тонкими хмарами. EVI також працює краще, ніж NDVI на високих ділянках біомаси, оскільки не насичується так легко.

Розрахункова формула для EVI має вигляд:

$$EVI = G \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + C_1 * R_{RED} - C_2 * R_{BLUE} + L} \quad (3)$$

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 озonom);

L - регулювання фонового рослинного покриву;

C<sub>1</sub> і C<sub>2</sub> - коефіцієнти, пов'язані з корекцією на аерозолі;

G - коефіцієнт посилення.

На відміну від NDVI, який може перенасичуватися в районах з густою рослинністю, індекс EVI може занижувати значення в аридних та напів-аридних районах, переоцінюючи посушливість.

**GNDVI** (англ. **Green Normalized Difference Vegetation Index**) — зелений нормалізований диференційний вегетаційний індекс. Схожий на NDVI за винятком того, що він замість червоного спектра вимірює зелений у діапазоні від 0,54 до 0,57 мкм. Це показник фотосинтетичної активності рослинного покриву, найчастіше використовується для оцінки вмісту вологи та концентрації азоту в листках рослин за мультиспектральними даними, в яких відсутній крайній червоний канал. У порівнянні з індексом NDVI, більш чутливий до концентрації хлорофілу. Застосовується для оцінки пригніченої рослинності та тій, що в'яне.

**CVI** (англ. **Chlorophyll Vegetation Index**) — вегетаційний індекс хлорофілу. Має підвищену чутливість до вмісту хлорофілу в листяному покриві. Використовується з початку й до середини циклу зростання культур для широкого діапазону ґрунтів і умов посіву шляхом аналізу великого набору синтетичних даних, отриманих із використанням моделі відображення листкової поверхні. Підвищена чутливість індексу до концентрації хлорофілу в листі зумовлена ефективною нормалізацією різних значень LAI, отриманих під час введення червоного та зеленого кольорів.

На базі дистанційних спостережень в видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах зондувань можуть бути отримані деякі *вегетаційні продукти*, що характеризують рослинний покрив.

**LAI** (англ. **Leaf Area Index**) - Індекс листової поверхні,  $[m^2/m^2]$ , визначається як загальна площа фотосинтезуючої рослинності на одиницю площі поверхні землі. Він характеризує кількість листового матеріалу в екосистемах і контролює зв'язки між біосферою та атмосферою за допомогою різних процесів, таких як фотосинтез, дихання, транспірація та поглинання дощу. Моніторинг розповсюдження та змін **LAI** важливий для оцінки росту та енергійності рослинності на планеті. Він є принципово важливим як параметр у процесах наземних поверхонь та параметризації в кліматичних моделях.

**fAPAR** (англ. **Fraction of photosynthetically active radiation**) - Фракція фотосинтетично активного випромінювання, являє собою частку сонячного випромінювання, що надходить, у спектральному діапазоні фотосинтетично активного випромінювання (0,4-0,7 мкм), який поглинається зеленими частинами вегетаційного покриву.

fAPAR був визнаний однією з основних змінних стану підстильної поверхні у контексті досліджень про глобальні зміни. Він є ключовою змінною в моделях первинної продуктивності рослинності та, загалом, у моделях циклу вуглецю, що реалізують сучасні схеми процесів наземних поверхонь. Крім того, це також показник здоров'я рослинності. Сезонні коливання LAI та fAPAR є життєво важливими для визначення наземних балансів води, енергії та вуглецю, а також для виявлення довгострокових змін клімату.

Показник fAPAR можна розрахувати, використовуючи наступні рівняння, що ґрунтуються на даних NDVI:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{red})$$

$$SR = (1 + NDVI) / (1 - NDVI)$$

$$fAPAR_{SR} = [(SR - SR_{min}) / (SR_{max} - SR_{min})] \times (fAPAR_{max} - fAPAR_{min}) + fAPAR_{min} \quad (4)$$

$$fAPAR_{NDVI} = [(NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})] \times (fAPAR_{max} - fAPAR_{min}) + fAPAR_{min}$$

$$fAPAR = (fAPAR_{SR} + fAPAR_{NDVI}) / 2$$

Тут  $fAPAR_{max} = 0,95$ ;  $fAPAR_{min} = 0,001$ .

#### 1.4 Використання вегетаційних індексів для моніторингу посух

Сильна залежність динаміки вегетації від наявності води була давно визначена у напівзасушливих регіонах. За таких умов вегетаційні індекси можна використовувати для виявлення ділянок земної поверхні, схильних до посухи. Однак потрібно використовувати обережно. Наприклад, низькі значення NDVI вказують на оголені або з низькорослою рослинністю райони, але сам по собі NDVI не може вважатися індексом посухи, оскільки поняття посухи передбачає екстремальний стан та відхилення від нормального стану. З точки зору динаміки вегетації посуха - це подія, яка перешкоджає нормальному росту рослинності. Для того, щоб зафіксувати цей ефект та порівняти умови посухи в районах з різним земельним покривом, інформацію про NDVI слід доповнити кліматичною інформацією.

NDVI з успіхом використовується для визначення стану та пошкоджень посівів і пасовищ, але для зон з неоднорідною рослинністю виникають проблеми з інтерпретацією даних спостережень. В таких регіонах необхідно враховувати як фізико-кліматичні особливості, так й поточні погодні умови. Техніка створення композитів даних за деякий період часу, звичайно від 7 до 16 днів, суттєво зменшує рівень шуму у відбитому сигналі. Шум у даних спектрорадіометрів створюється фундаментальними чинниками, які обмежують можливості дистанційного зондування рослинності. Найбільший внесок до рівня шуму належить хмарності, яка суттєво зменшує значення NDVI.

Загалом, NDVI може містити два компоненти, пов'язані з навколишнім середовищем і погодою. Погодний компонент зазвичай менший, а його коливання визначити складніше. Тому, якщо вирішується задача впливу погодних умов на вегетацію рослин з використанням NDVI, цей його компонент треба визначати окремо. Для такої оцінки були запропоновані індекси VCI та TCI, а також сумісний індекс VHI, які базуються на використанні даних супутникового зондування підстильної поверхні Землі.

Мінливість нормалізованого вегетаційного індексу може бути оцінена за допомогою Індексу умов вегетації VCI (англ. **Vegetation Condition Index**), уведеного Ф. Коганом:

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \cdot 100\% \quad (5)$$

де NDVI – поточне значення нормалізованого вегетаційного індексу за певний період;

$NDVI_{\max}$ ,  $NDVI_{\min}$  – абсолютний міжрічний максимум та мінімум

нормалізованого вегетаційного індексу за той самий період.

Умови вегетації представляються індексом VCI у відсотках. Високі значення VCI відповідають сприятливим умовам вегетації, низькі – несприятливим.

Значення	Категорія	Значення VCI,
90 - 100 %	No Drought	близьке до 50%,
80 - 90 %	No Drought	відображує середні
70 - 80 %	No Drought	умови для рослинності,
60 - 70 %	No Drought	значення між 50 та
50 - 60 %	No Drought	100% вказують на
40 - 50 %	No Drought	оптимальні умови
30 - 40 %	Слабка посуха	вегетації. Значення VCI,
20 - 30 %	Помірна посуха	менші за 40%,
10 - 20 %	Сильна посуха	відображують
0 - 10 %	Екстремальна посуха	посушливі умови
		різного ступеню
		суворості.

Низькі значення VCI протягом декількох послідовних часових інтервалів показують розвиток посухи. Значення VCI, близькі до 0%, відображують екстремально посушливий період, в якому значення NDVI близькі до свого міжрічного мінімуму. Переваги цього індексу перш за все в тому, що він відображує не просто стан рослинності чи підстильного покриву, як NDVI, а саме такий стан, що склався завдяки поточним метеорологічним умовам.

Для того, щоб коректно використовувати VCI як оцінку умов вегетації, необхідно його попередньо оцінити з використанням залежних від поточної погоди характеристик рослинності на певній території, таких як висота рослинності, біомаса, урожайність сільськогосподарських культур.

Індекс температурних умов TCI (англ. **Temperature Condition Index**) ґрунтується на яrkісних температурах (BT), отриманих у тепловому каналі зондування. TCI використовується для визначення *стресу рослинності*, пов'язаному з високими температурами, а також викликаному надмірною вологістю. Розрахунок TCI є аналогічним до VCI:

$$TCI = \frac{BT_{max} - BT}{BT_{max} - BT_{min}} \cdot 100\% \quad (6)$$

де  $BT$  – поточне декадне (або іншого періоду) значення яrkісної температури;

$BT_{max}$ ,  $BT_{min}$  – абсолютний міжрічний максимум та мінімум яrkісної температури індексу за той самий період.

Високі температури протягом вегетаційного періоду відповідають несприятливим умовам й можливості посухи, низькі температури свідчать про переважно сприятливі умови.

Індекс здоров'я рослинності **VHI** (англ. **Vegetation Health Index**) оцінює кумулятивні температурні та вологісні умови для розвитку рослинності та визначається за формулою

$$VHI = a \cdot VCI + (1 - a) \cdot TCI, \quad (7)$$

де  $a$  – коефіцієнт, що визначає внесок VCI та TCI до загального стану рослинності.

VHI змінюється від 0 (екстремальний стрес) до 100 (найсприятливіші умови). Як і для VCI, значення VHI менше 40% відповідають стресовому стану рослинності, а значення VHI більше 60% відповідають сприятливим умовам для рослинності.

Виділяють наступні класи посух за значеннями VHI (згідно Ф. Когану):

- VHI > 40% - посуха відсутня;
- VHI = 30-40% - слабка посуха;
- VHI = 20-30% - помірна посуха;
- VHI = 10-20% - сильна посуха;
- VHI < 10% - екстремальна посуха.

## 2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

До змісту практичної частини входить ознайомлення студентів із загальнодоступними базами даних по вегетаційних індексах і продуктах у відкритих дослідницьких інтернет-проектах, які застосовуються для моніторингу стану рослинності та умов посух. Практична робота з цими базами передбачає знайомство з інтерфейсом відповідних сайтів, набором продуктів, що надаються, а також аналіз графічних матеріалів і цифрова обробка інформації для виконання завдання, що ставиться викладачем.

### 2.1 Аналіз вегетаційного індексу NDVI за допомогою бази даних VI Time Series Database з проекту Global Agriculture Monitoring (GLAM)

Для оцінки посушливих умов на території України за допомогою продуктів супутникового зондування та для подальшого використання їх у моделюванні урожайності зернових культур скористуємося вихідною інформацією з бази даних сенсорів MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), яка надається Проектом глобального сільськогосподарського моніторингу GLAM (Global Agriculture Monitoring Project, <http://deleon.edc.usda.gov>). Цей проект створений при співробітництві Департаменту США з сільського господарства та Національної адміністрації по аеронавтиці і дослідженню космосу (NASA). Система швидкого відклику MODIS забезпечує мобільний доступ до бази даних MODIS двічі на день: від супутника Terra вранці (10:30) та супутника Aqua після полудня (14:30). Глобальні дані MODIS на сайті проекту доступні у роздільності 250 м, починаючи з 2000 р.

Крім того, з 2015 р. в базу даних також включені дані сенсору VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), які встановлені на полярноорбітальних супутниках Suomi NPP, NOAA-20 космічної програми JPSS (Joint Polar Satellite System). Представлена на сайті проекту інформація цього сканеру має роздільність 500 м.

#### *Етапи виконання практичної роботи*

1. Знайомство з інтерфейсом сайту бази даних проекту GLAM - GLAM VI Time Series Database.

Доступ до бази даних здійснюється через початкову сторінку за URL: <http://pekko.geog.umd.edu/usda/beta/index.php> (рис. 13). Для початку роботи треба обрати регіон у меню Select Region (червоний овал на рисунку). У списку, що випаде при натисненні на вікно регіону, знаходимо Україну (Ukraine). Далі буде здійснено автоматичний перехід на сторінку ресурсу бази даних для території України.

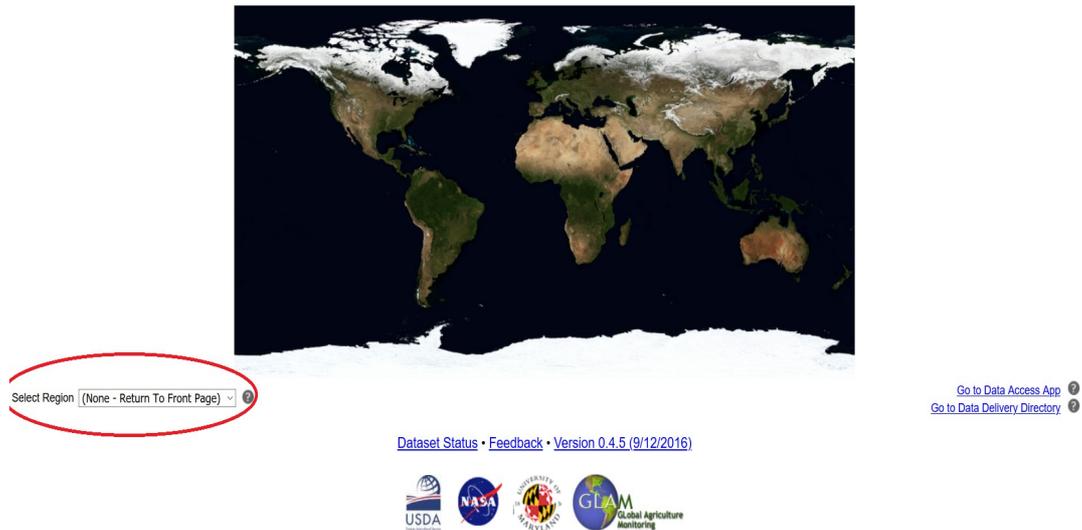


Рис. 13. Початкова сторінка сайту GLAM VI Time Series Database

Робоча область екрану бази даних містить декілька розділів, які дозволяють обрати необхідну інформацію по вегетаційному індексу та провести її детальний аналіз по обраному регіону.

В верхній частині міститься графічне зображення обраного регіону (Україна) з прилеглими областями, на якому в кольорах зображено величини індексу NDVI згідно наведеної нижче шкали кольорів (рис. 14). У відповідних розділах користувач може обрати, окрім регіону, тип продукту (Product Type) у вигляді 8-ми або 16-ти денних композитів для різних типів сенсорів (MODIS, VIIRS), тип супутнику (Data Source) – Terra або Aqua, та можливість заміщення відсутніх з сенсорів даних даними чисельного моделювання (опція Use FAS NRT?). Праворуч від зображення знаходиться область обирання дати (періоду), за який буде здійснюватися аналіз, випадаюче меню Regional Image Date Select .

Просуваючись вниз по сторінці, в середній її частині можна обрати наступні опції для аналізу інформації в районі, що досліджується. Перш за все, для дослідження часового ходу індексу NDVI можна обрати будь-яку область України, в розділі Polygon Options (Опції полігону). Для цього позначають галочкою опцію Admin і в списку, що буде доступний, обирають потрібну область України, наприклад Ukraine-Odessa. Після обрання на знімку обрана область виділяється червоним прямокутником (рис. 15). Це означає, що всі наступні обчислення на сторінці будуть робитися саме для виділеної області. Якщо в розділі Polygon Options обрати країну — Country, то буде виділена цілком територія обраної країни, наприклад, України.

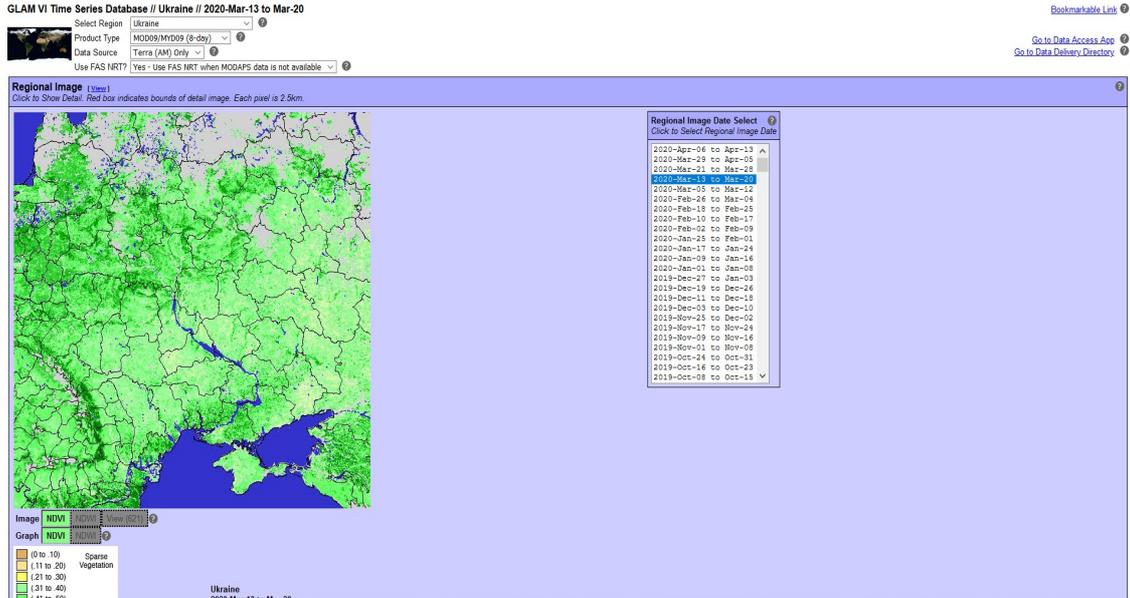


Рис. 14. Верхня частина сторінки бази даних GLAM VI Time Series Database. Обрання дати/періоду дослідження

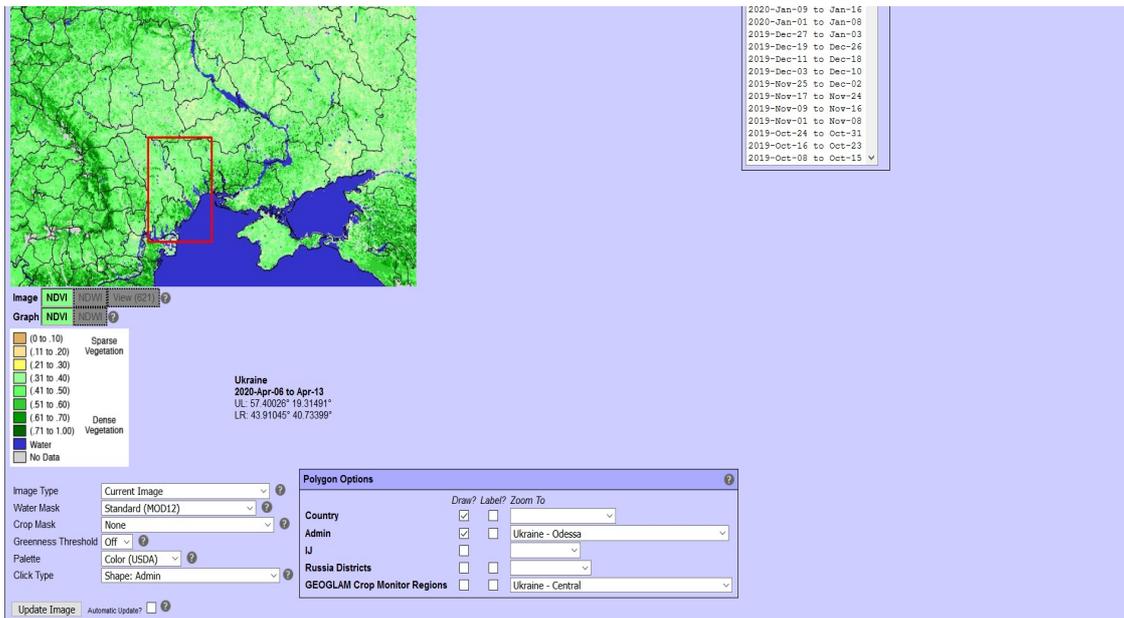


Рис. 15. Середня частина сторінки бази даних GLAM VI Time Series Database. Опції полігону дослідження та характеристик зображення

В цьому ж розділі також можливе обрання більш укрупнених орних районів країни, в опції GEOGLAM Crop Monitor Regions, наприклад — Ukraine-Central. Тоді буде виділена відповідна центральна частина України, для якої будуть надані всі калькуляції щодо часового ходу вегетаційного індексу.

Ліворуч від опцій обрання полігонів є набір властивостей, які дозволяють уточнити характер інформації і вигляд самого зображення, що аналізується.

*Image Type* — тип зображення, дозволяє обрати варіанти різних візуальних представлень статично оброблених знімків на масиві архівних даних — середнє, медіана, стандартне відхилення, аномалії, максимальні і мінімальні значення, а також різниці між поточним знімком та будь-яким архівним за той самий період. Всі обчислення ведуться для кожного пікселя зображення.

*Water Mask* — маска води, дозволяє вмикати або вимикати маскування пікселів, які вважаються водою у вихідному зображенні. Водне маскування виконується для візуалізації зображень та обробки зображень для отримання графіку та гістограми часового ходу індексу.

*Crop Mask* - маска орних земель, опції доступні не для всіх територій.

*Greenness Threshold* — поріг зеленості, коли опція увімкнена, дані, які мають нижче значення NDVI, ніж постійний поріг (0,125), будуть замасковані.

*Palette* — обрання різних типів кольорових наборів для візуалізації знімку.

*Click Type* — опція дозволяє обрати спосіб інтерпретації клацань миші на деталізованому зображенні, розташованому нижче: Point показує область, що оточує курсор; Admin Area показує натиснуту адміністративну область.

Для того, щоб внесені зміни у вигляд зображення набули чинності, треба натиснути кнопку *Update image*, або відмітити одразу *Automatic Update*, тоді інтерфейс буде оновлено автоматично, коли ви зміните будь-яку іншу опцію.

Після обрання району дослідження та внесення опцій для найкращої інтерпретації знімку можна переходити до детального знімку та графіків часового ходу індексу NDVI, які представлені в нижній частині веб-сторінки (рис. 16). В лівій частині представлений детальний знімок території, виділеної в попередніх розділах, в даному прикладі Одеська область. Знімок є інтерактивним і дозволяє клацнувши курсором миші по будь-якому пікселю (розміром 250x250 м, на знімку помічається червоним хрестиком) отримати графічну і статистичну інформацію саме для цього пікселя на графіку праворуч від деталізованого регіону.

Графіки часового ходу по замовченню будуються автоматично для

осереднених значень NDVI для обраного полігону. На ньому можна додавати криву середніх кліматичних значень (з 2000 р.), змінювати перший місяць, з якого будуються криві часового ходу, змінювати кількість місяців на графіку, додавати середні або медіанні дані в окремих точках та за окремі роки. Ці опції обираються в декількох меню, розташованих нижче графіка. Також можна обрати шкалу представлення NDVI - NDVI Values (відсотки або абсолютні значення); вивести накопичене значення NDVI - Cumulative, за обраний період; змінити шкалу кольорів (Color) для найкращої візуалізації графіків.

Для того, щоб внесені зміни у вигляд графіку набули чинності, треба натиснути кнопку Update Graphs, або відмітити одразу Automatic Update, тоді інтерфейс буде оновлюватися автоматично при внесенні змін.

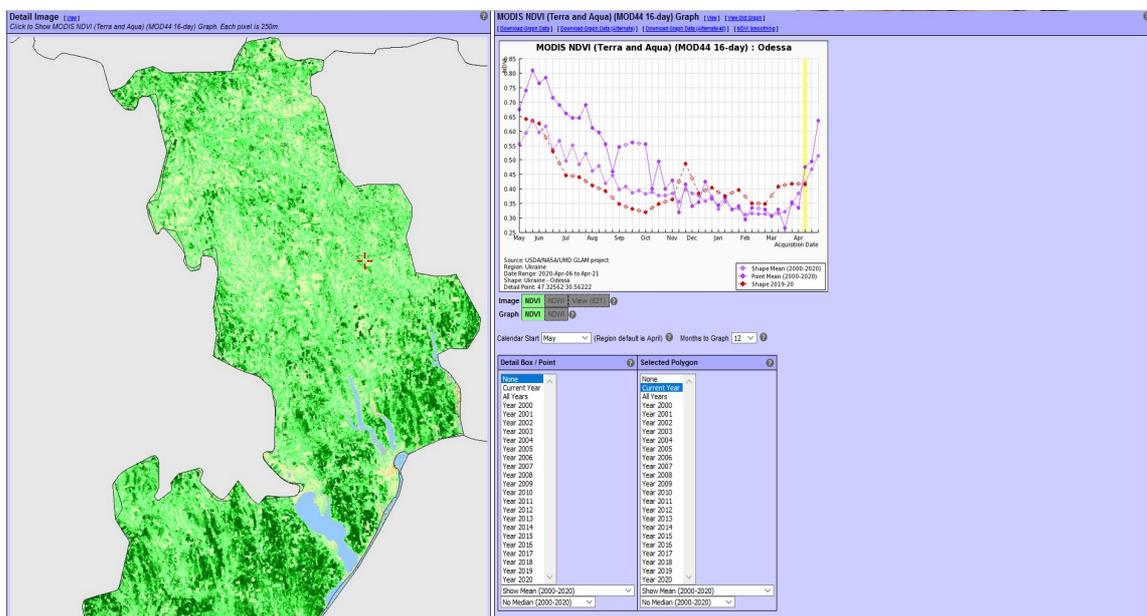


Рис. 16. Нижня частина сторінки бази даних GLAM VI Time Series Database. Деталізоване зображення, графіки часового ходу NDVI

Побудовані графіки часового ходу для подальшого аналізу можна зберегти у графічному вигляді, використовуючи опцію [View], розташовану над знімком, або завантажити у вигляді текстового файлу (формат txt) в одному з трьох варіантів, використовуючи посилання [Download Graph Data], [Download Graph Data (Alternate)], [Download Graph Data (Alternate #2)], також розміщені над графіком, поряд з його назвою.

## 2. Практичне завдання на використання даних бази GLAM VI Time Series Database.

- Зайти на сайт головної сторінки бази, обрати регіон Україна, після

автоматичного переходу на сторінку даних по вегетаційному індексу налаштувати вигляд зображення для вказаної викладачем області України і періоду часу (8-ми або 16-ти денний період).

– Змінюючи налаштування типу знімку (Image type), оцінити візуально різницю між поточним знімком та знімками середніми, медіанними, максимальними і мінімальними значеннями NDVI за досліджуваній період часу. Також вивести на екран знімки аномалій індексу і зробити висновок, чи є досліджуваній період більш посушливим або більш вологим по відношенню до середнього багаторічного стану.

– Розглянути на деталізованому знімку стан вегетаційного покриву по території обраної області. Виділити зони з найвищими і найнижчими значеннями індексу, побудувати для них графіки, а також графік для всієї області (полігону). Порівняти криві часового ходу в поточний рік з середніми кривими як у окремих точках так й по полігону. Узагальнити висновок про стан вегетації по області в цілому та окремих її районах порівняно з середніми багаторічними даними.

– Проаналізувати річний хід індексу NDVI по області дослідження, побудувавши криві часового ходу осереднених та/або медіанних значень для всіх років з бази даних (опція Show mean та/або Show median). Визначити, в які місяці спостерігаються мінімуми та максимуми NDVI в річному ході, коли спостерігаються періоди наростання, стабілізації та зменшення індексу.

– Обрати з бази даних декілька років (або вказаних викладачем), побудувати для них графіки та порівняти з часовим ходом вегетаційного індексу в поточному році. Або побудувати графіки часового ходу NDVI для всіх років з бази даних одночасно (опція All years) та проаналізувати їх з виділенням найбільш посушливих років, тобто років з найбільш низькими значеннями NDVI протягом вегетаційного сезону (квітень-жовтень). Вказати, в які місяці спостерігалися найбільш несприятливі умови.

## **2.2 Аналіз умов вегетації та посух за допомогою індексів VCI, TCI, VHI бази даних STAR - Global Vegetation Health Products (NOAA)**

Веб-ресурс **STAR - Global Vegetation Health Products** (Глобальні продукти здоров'я вегетації) - це система NOAA / NESDIS, яка оцінює здоров'я рослинності, стан вологи, тепловий стан та продуктивність рослинності. Ресурс містить показники здоров'я вегетації (VHI), отримані від сенсорів AVHRR, які встановлені на борту полярноорбітальних супутників NOAA-7, 9, 11, 14, 16, 18 та 19 та сенсору VIIRS від супутнику Suomi-NPP.

Вегетаційні продукти від AVHRR доступні за період з 1981 р. по

теперішній час. Дані та зображення мають просторову роздільну здатність 4 км та 7-денну часову роздільну здатність. Продукти від VIIRS доступні з 2012 р. по теперішній час (просторова роздільна здатність 1 км, композиція 7 днів).

Продукти здоров'я вегетації можуть бути використані для широкого кола задач: моніторингу стану рослинності, визначенню посух, насиченості ґрунту, вологи та теплових умов, пожежонебезпеки, зеленості рослинного покриву, початку / кінця вегетаційного періоду, врожаю та продуктивності пасовищ, зон опустелювання і деградації земель, розповсюдження захворювань, викликаних комарами, екологічні ресурси тощо.

### *Етапи виконання практичної роботи*

#### 1. Знайомство з інтерфейсом сайту STAR - Global Vegetation Health Products.

Початкова сторінка містить загальну інформацію про наявні продукти вегетації <https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/index.php> і меню, яке дозволяє перейти до потрібного виду інформації (рис. 17).

The screenshot shows the NOAA STAR website interface. At the top, there is a header with the NOAA logo and the text 'NOAA STAR CENTER FOR SATELLITE APPLICATIONS AND RESEARCH'. Below the header, there is a search bar and a navigation menu. The main content area is titled 'STAR - Global Vegetation Health Products : Introduction'. It contains several sections: 'Global and Regional Vegetation Health (VH) is a NOAA/NESDIS system...', 'The VH products from AVHRR were produced from the NOAA/NESDIS Global Area Coverage (GAC) data set...', 'The VH products can be used as proxy data for monitoring vegetation health...', and 'The following indices and products are available:'. A list of indices and products is provided, including Vegetation Health (VH), Vegetation Condition Index (VCI), Temperature Condition Index (TCI), Soil Saturation Index (SSI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Fire Risk Index (FRI), Drought (D), Malaria, and ENSO/Land Ecosystem Interaction. A map of North America is displayed, showing the Smoothed NDVI for June 25, 2006. The map uses a color scale from green (high NDVI) to red (low NDVI). A legend below the map indicates 'Smoothed NDVI June 25 2006 [week 26]'. A link '(click to view larger image)' is provided below the map. The page also includes a 'Key words' section and a 'More' link at the bottom.

Рис. 17. Початкова сторінка STAR - Global Vegetation Health Products

Доступ до бази даних продуктів вегетації здійснюється за допомогою обрання потрібного пункту меню в лівій частині початкової сторінки.

Розділи меню:

- 16km VH (Blended, since 1982)
- 4 km VH (Blended, since 1982)
- 1 km VH (VIIRS, since 2012)

дозволяють отримати візуалізацію продуктів здоров'я вегетації для відповідних сенсорів та відповідної просторової роздільності. Візуалізація може бути здійснена для окремих країн, які обираються зі списку, а продукти вегетації, які також обираються з наведеного списку, можуть бути надані осереднено по провінціях (адміністративних областях), або в кожному пікселі з відповідною роздільною здатністю. На рис. 18 наведено приклад візуалізації композиту Стресової та здорової рослинності для території України (Ukraine, Stressed And Healthy Vegetation).

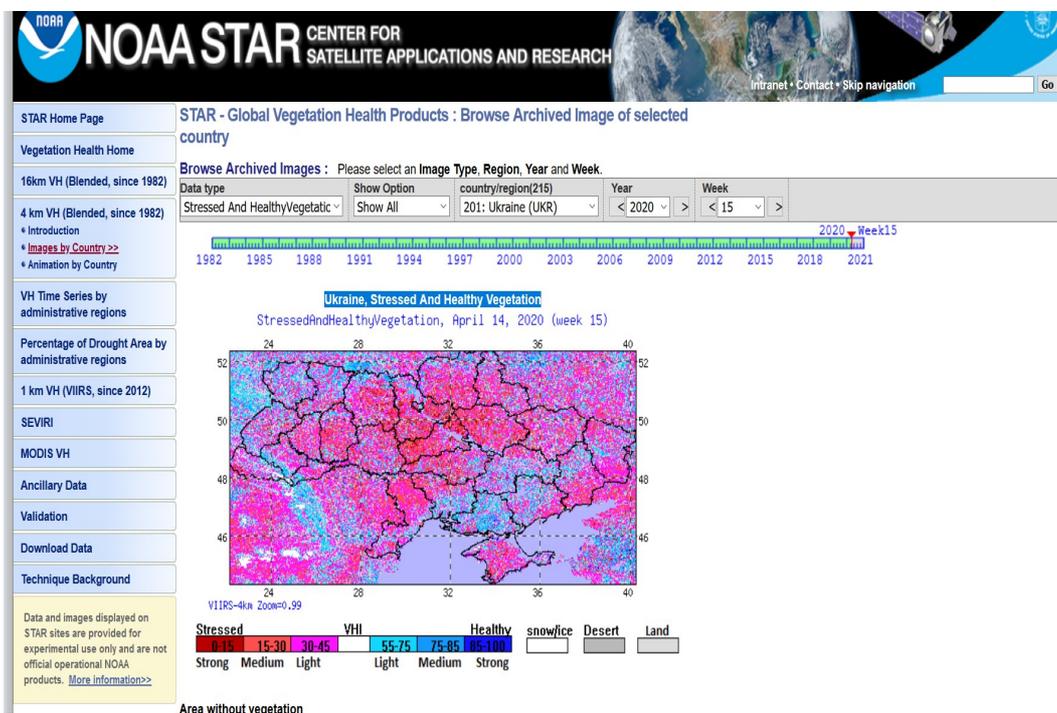


Рис. 18. Приклад візуалізації композиту Ukraine, Stressed And Healthy Vegetation

Для роботи з цифровою інформацією та часовими рядами призначений розділ меню VH Time Series by administrative regions. В цьому розділі можлива робота з часовими рядами в таких часових роздільностях: роки (years), сезони (seasons), тижні (weeks). Обравши потрібну роздільність та регіон (глобальний (global), країна (country), область (province)), в правій частині сторінки здійснюється перехід до робочої області, де у випадючих меню можна обрати країну та область, період часу, за який будуть будуватися ряди. Крім того, можна обрати для відображення інформацію по всій території (land) або тільки по орних землях (cropland), або обидва типи інформації. Також до кривих часового ходу параметрів вегетації можна

додати деякі статистичні характеристики: максимальне/мінімальне значення (Max/Min), додати або прибрати кліматичне середнє (remove Climate\_Mean), додати лінію тренду з відповідним рівнянням (Trend Line). Кнопка submit дозволяє оновити вид графіків після внесення додаткових параметрів.

На рис. 19 наведено приклад побудови часових рядів для Одеської області, Україна, з додаванням усіх можливих параметрів.

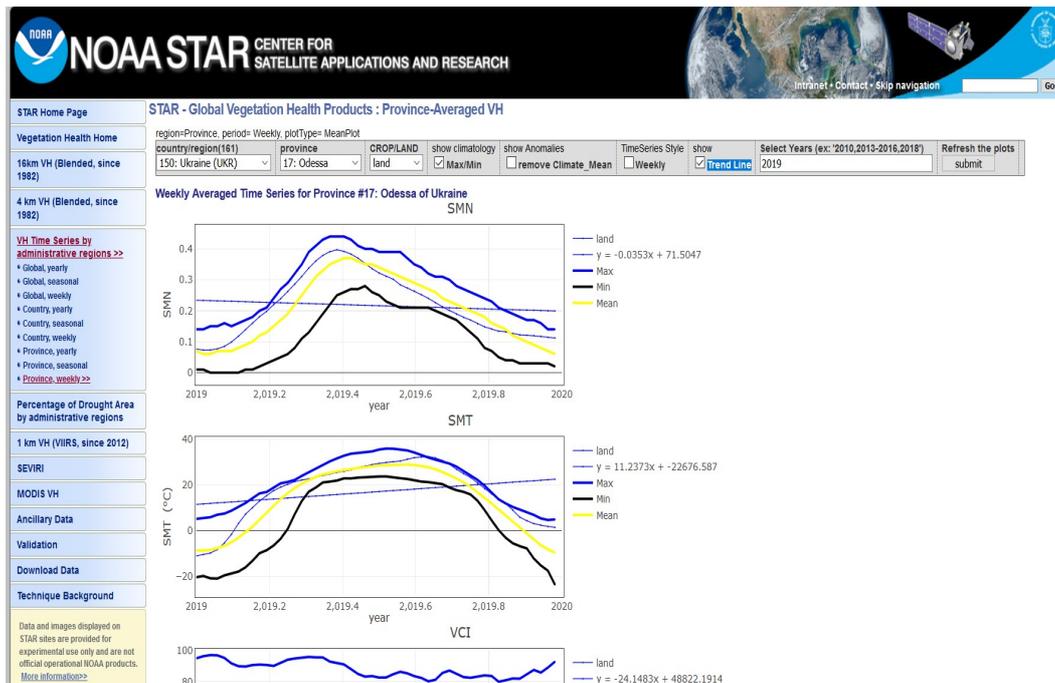


Рис. 19. Приклад побудови часових рядів вегетаційних індексів для Одеської області, Україна, за 2019 р.

Всього на сторінці будуються 5 графіків для таких вегетаційних індексів:

- SMN (Нормалізований диференційний вегетаційний індекс NDVI без шуму)
- SMT (Яркісна температура ВТ без шуму)
- VCI (Індекс умов вегетації)
- TCI (Індекс температурних умов)
- VHI (Індекс здоров'я вегетації).

В нижній частині веб-сторінки можна знайти інтерактивну карту з виділеною областю, на якій можна вибрати інший район для дослідження, клацнувши курсором миші по ньому (рис. 20).

Крім того, під всіма графіками є посилання, за якими можна завантажити всі часові ряди, які були візуалізовані, в форматі ASCII для подальшого зберігання і використання в цифровому вигляді.

**Data of Weekly Averaged Time Series (ASCII format)**

Data Category	All Years
Province-Averaged VH data for land	<a href="#">1982~ 2020</a>
Province-Averaged VH data for CropLand	<a href="#">1982~ 2020</a>

Note: The information on this page is for selected provinces/countries.  
Here is the list of selected [provinces](#) and [countries](#)

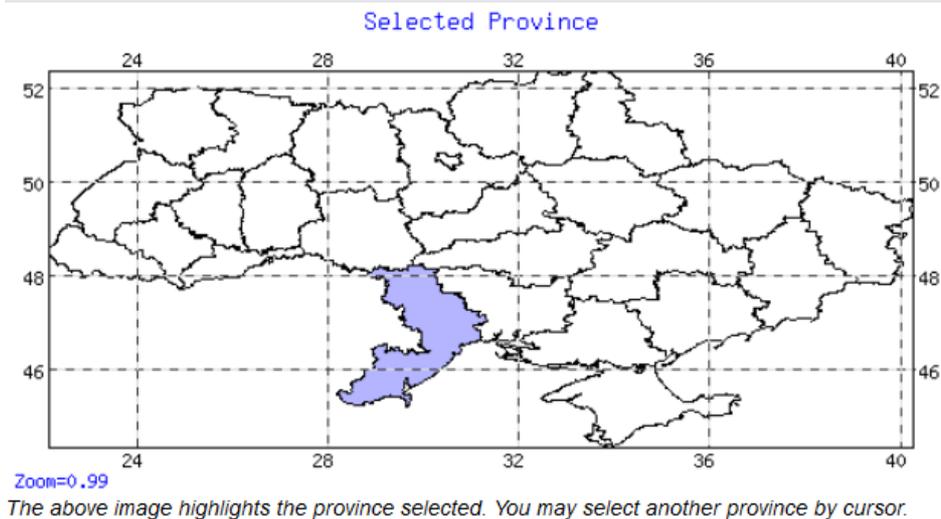


Рис. 20. Нижня частина веб-сторінки з часовими рядами: інтерактивна карта та засіб для зберігання даних у цифровому форматі ASCII

В розділі меню Percentage of Drought Area by administrative regions можна проаналізувати інформацію по вегетаційних індексах з точки зору посушливих умов. А саме, за критеріями індексів VCI, TCI, VHI будуються часові графіки процентного охоплення обраної території певним критерієм посухи. На рис. 21 можна бачити приклад побудови графіків для індексу умов вегетації VCI для Одеської області за 2019 р., на яких в кольоровій шкалі виділені чотири критерії цього індексу - для посух всіх інтенсивностей, та окремо для сильної, екстремальної та виключної посухи, які вказані в легенді до графіків. Будуються одразу два графіки, один для всієї території обраного району (land), інший — для орних територій в цьому ж районі (crop). Графіки дозволяють оцінити ступень охопленості посухою певної території, а також процент охоплення посухою різної інтенсивності.

В нижній частині сторінки є опція, яка дозволяє завантажити всю інформацію, яка була візуалізована на графіках, в форматі ASCII для подальшого зберігання і використання в цифровому вигляді.

Інші розділи основного меню веб-ресурсу містять різноманітні види додаткової інформації, що ґрунтується на вегетаційних індексах і може бути застосована для практичних завдань моніторингу стану підстильної поверхні.

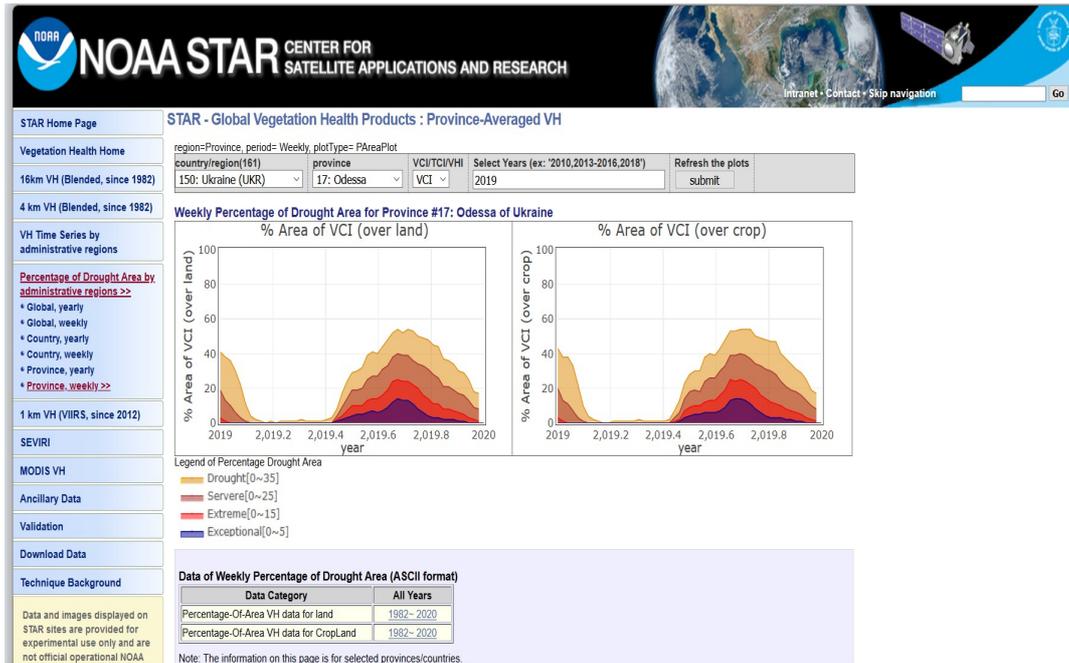


Рис. 21. Приклад побудови графіків часового ходу проценту охоплення посухою Одеської області за даними про індекс VCI

## 2. Практичне завдання на використання даних бази STAR - Global Vegetation Health Products.

1) Зайти на сайт головної сторінки бази, обрати в головному меню пункт - 4 km VH (Blended, since 1982) для роботи з продуктами роздільної здатності 4 км, розділ Images by Country. Після автоматичного переходу на сторінку обрати потрібні налаштування знімку в верхній частині Browse Archived Images: Please select an Image Type, Region, Year and Week — за завданням викладача обрати регіон Україна, встановити рік та тиждень року, обрати тип знімку для дослідження з переліку продуктів, що надаються.

Базовий набір знімків з вегетаційних продуктів для дослідження просторового розподілу за конкретний тиждень року в даній практичній роботі такий:

- Vegetation Health (VHI),
- Moisture and Thermal Conditions (VCI and TCI),
- Stressed and Healthy Vegetation,
- Drought (light-to-exceptional),
- Drought Change (moderate-to-exceptional),
- Fire Risk.

Всі завантажені знімки проаналізувати з виявленням зон максимальних і мінімальних значень параметрів, скласти оцінку і висновки щодо здоров'я вегетації в різних регіонах країни, розповсюдження та

інтенсивності посух і ризику виникнення пожеж.

2) Перейти до розділу головного меню VH Time Series by administrative regions, обравши в ньому пункт Province, weekly. Після автоматичного переходу на сторінку часових рядів провести налаштування району дослідження і параметрів часових рядів, використовуючи панель налаштувань знімку в верхній частині сторінки. Встановити країну (country/region) Україну, обрати область (province) і рік дослідження за завданням викладача, встановити опцію CROP/LAND як Land, встановити позначку для відображення кліматології (*show climatology*) та тренду (*show Trend Line*). Після встановлення всіх параметрів нажати кнопку submit.

Проаналізувати побудовані графіки п'яти вегетаційних індексів: SMN, SMT, VCI, TCI, VHI. Для кожного з них на кривих часового ходу:

виділити періоди максимальних та мінімальних значень,  
виділити періоди убування та зростання індексів,  
порівняти поточну криву часового ходу з кліматичними мінімумами та максимумами,  
описати характер тренду індексу,  
надати свою оцінку сприятливих та несприятливих періодів для вегетації.

За потреби можна зберегти побудовані графіки та цифрові файли до низ, скориставшись опцією *Data of Weekly Averaged Time Series (ASCII format)*.

3) Останній етап роботи передбачає оцінку ступеню розповсюженості посух різної інтенсивності на досліджуваній території. Для цього переходимо до розділу Percentage of Drought Area by administrative regions, де обираємо пункт меню Province, weekly. Після переходу на відповідну сторінку обираємо потрібні налаштування в верхній частині сторінки, а саме, країну (country/region) — Україна, область (province) — за пропозицією викладача, тип продукту (VCI/TCI/VHI) та період часу для дослідження (Select Years). Після введення всіх параметрів підтверджуємо налаштування натисненням кнопки submit.

Для аналізу доступні два типи побудованих графіків — для всієї території області (% Area of VHI (over land)) та для орних площей в межах даної області (% Area of VHI (over crop)). Для кожного з вегетаційних індексів VHI та VCI необхідно провести окремий аналіз, який включає кількісну оцінку відсотку території, охопленою посухою різної інтенсивності в різні періоди часу (за вказівкою викладача), та визначити сезони року, в які найчастіше спостерігається посуха. Для аналізу використовувати критерії індексів для посух, що наведені у легенді до графіків. Оскільки розрахункова формула індексу здоров'я вегетації VHI (див. формулу 7) включає до себе індекси VCI і TCI, порівняйте між собою

графіки для VHI та VCI, та зробить висновок, який внесок в посиленні чи послабленні ступеню посух належить температурним умовам, які описуються індексом TCI.

### **3. КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗНАТЬ ПРИ ВИКОНАННІ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

Виконання практичних робіт за темою „Використання супутникової інформації для моніторингу стану рослинного покриву” сприяє закріпленню теоретичних знань та надає студентам можливість набути практичні навички для роботи з сучасними інтернет-ресурсами продуктів супутникового дистанційного зондування і вільного оперування супутниковими вегетаційними індексами для оцінки стану вегетації.

Оцінка практичних занять здійснюється згідно відведеної кількості балів на цей модуль (20 балів) в програмі навчальної дисципліни “Сільське господарство”. На оцінку кожного з двох практичних занять відводиться по 10 балів. При виконанні завдань передбачається робити робочі записи у зошиті при проходженні кожного етапу роботи, а також оформлення результатів роботи у вигляді текстового файлу з включенням в нього побудованих в процесі роботи графіків та зображень.

Після виконання завдання студент повинен його захистити, представляючи при цьому всі наявні звітні матеріали у файлі. При оцінці виконання завдання враховується правильність і повнота висновків, зроблених щодо кожного виду розглянутих індексів та продуктів. Максимальна кількість балів може бути нарахована за повний і загалом правильний опис усіх вказаних в завданні вегетаційних продуктів. Оцінка також може бути підвищена до максимальної, якщо студент додатково зможе розглянути і правильно оцінити ще додаткові вегетаційні продукти, що надаються в базах даних, але не входять до переліку обов'язкових для вивчення.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Семенова І.Г. Супутникова метеорологія: Конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2008. 74 с. URL: [http://eprints.library.odeku.edu.ua/469/1/SemenovaIG\\_Suputnykova\\_meteorologiya\\_KL\\_2008.pdf](http://eprints.library.odeku.edu.ua/469/1/SemenovaIG_Suputnykova_meteorologiya_KL_2008.pdf)
2. Семенова І.Г. Синоптичні та кліматичні умови формування посух в Україні. Монографія. Харків: ФОП Панов А.М., 2017. 236 с. URL: [http://eprints.library.odeku.edu.ua/2725/1/semenova\\_synoptychni\\_ta\\_klimatychni\\_umovy%20monog%202017.pdf](http://eprints.library.odeku.edu.ua/2725/1/semenova_synoptychni_ta_klimatychni_umovy%20monog%202017.pdf)
3. Monitoring Vegetation From Space. Training module. URL: <http://www.eumetrain.org/data/3/36/print.htm>
4. GIS-Lab: Географические информационные системы (ГИС) и дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). URL: <https://gis-lab.info/about.html>
5. GLAM - GLAM VI Time Series Database. URL: <http://pekko.geog.umd.edu/usda/beta/index.php>
6. STAR - Global Vegetation Health Products. URL: <https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/index.php>

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт за темою  
“Використання супутникової інформації для моніторингу стану  
рослинного покриву”  
з дисципліни “Сільське господарство”

Спеціальність 103 Науки про Землю  
ОПП Агрометеорологія

Укладач: д.геогр. н., проф. Семенова Інна Георгіївна

Підписано до друку  
Ум. друк. арк.

Формат  
Тираж

Папір  
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, вул. Львівська, 15