

<http://doi.org/0.23939/pa2025.01.028>

УДК 631.171

Б. ЧЕТВЕРІКОВ¹, Х. БУРШТИНСЬКА², Л. БАБІЙ³,
Н. ГРИЦЬКІВ, А. ГУНІНА⁴, А. КОЗАК

Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, тел.: +380631671585, E-mail: borys.v.chetverikov@lpnu.ua

¹ ORCID ID 0000-0001-8677-1735, ² ORCID ID 0000-0002-6013-0873, ³ ORCID ID 0000-0002-5772-4865, ⁴ ORCID ID 0000-0003-0930-4820

ОЦІНКА СТАНУ ПОСІВІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДЕКСІВ РОСЛИННОСТІ NDVI ТА EVI НА ОСНОВІ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ SENTINEL-2 – ДВА КЕЙСА ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета. Дослідження спрямоване на оцінку стану сільськогосподарських посівів за допомогою супутникових знімків Sentinel-2 для двох груп аграрних ділянок, розташованих у Львівській та Тернопільській областях. Основною метою є визначення просторово-часової динаміки вегетаційних індексів NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) та EVI (Enhanced Vegetation Index), що дає змогу виявити стресові ділянки рослинного покриву, а також загальний рівень здоров'я культур протягом вегетаційного періоду. **Методи.** У дослідженні застосовано методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), фотограмметрії та геоінформаційного аналізу. Вхідні дані – мультиспектральні знімки із супутника Sentinel-2 – було оброблено за допомогою вебплатформи Google Earth Engine. На етапі попередньої обробки виконано маскування хмарності, фільтрацію даних за якісними критеріями, нормалізацію зображень та обчислення вегетаційних індексів. Застосовані алгоритми дали змогу здійснити точне зонування територій за ступенем розвитку рослинності. **Результати.** У результаті обробки супутникових знімків за 2024 рік із щомісячною періодичністю отримано серію карт, що відображають просторовий розподіл NDVI та EVI. Аналіз динаміки показав суттєві відмінності у стані рослинності між двома регіонами, а також у межах окремих полів. Виявлено локалізовані зони зі зниженими значеннями індексів, що можуть свідчити про наявність стресових чинників, таких як посуха, надмірне зволоження, шкідники чи помилки агротехнічних заходів. Зіставлення результатів індексного аналізу з польовими даними дало змогу верифікувати точність супутникових спостережень та особливості застосування індексів NDVI та EVI для аналізу стану посівів. **Практична значущість.** Результати дослідження мають безпосереднє практичне застосування у сфері точного землеробства. Зокрема, побудовані карти розподілу NDVI та EVI можуть використовувати агрономи, фермери та агрокомпанії для оперативного моніторингу стану посівів, виявлення проблемних зон на ранніх стадіях розвитку культур, оптимізації агротехнічних заходів (наприклад, внесення добрив, іригації чи боротьби зі шкідниками), а також для планування сівозмін та оцінки ефективності застосованих технологій. Застосування супутникових знімків значно скорочує потребу у трудомістких польових обстеженнях, забезпечуючи більш точні, об'єктивні та регулярні дані про стан рослинності на великих територіях. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності агровиробництва, економії ресурсів та зменшенню негативного впливу на довкілля.

Ключові слова: точне землеробство, індекс NDVI, індекс EVI, супутникові знімки Sentinel-2, моніторинг посівів, дистанційне зондування Землі.

Вступ

Оцінка стану посівів є важливим етапом управління сільськогосподарськими угіддями, адже вона забезпечує ефективне використання ресурсів, а також завдяки такій оцінці підвищується врожайність та зменшується вплив на навколишнє середовище. Одним із сучасних методів такого аналізу є використання індексів рослинності, зокрема NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) та EVI (Enhanced

Vegetation Index), які базуються на даних дистанційного зондування Землі. Дані супутника Sentinel-2 забезпечують високу просторову та спектральну роздільну здатність, що робить їх ефективним інструментом для моніторингу агроecosистем.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю впровадження сучасних технологій дистанційного зондування у сільське господарство для підвищення ефективності моніторингу посівів в умовах змін

клімату та зростання вимог до раціонального використання природних ресурсів.

Мета статті - аналіз стану посівів за допомогою індексів рослинності NDVI та EVI на основі даних Sentinel-2 для визначення продуктивності рослинності та виявлення стресових умов.

Завдання дослідження передбачають обробку супутникових зображень Sentinel-2, розрахунок індексів рослинності NDVI та EVI, аналіз отриманих результатів для виявлення просторово-часової динаміки стану посівів, а також оцінку можливостей використання цих індексів для прогнозування врожайності.

Цю тематику вивчає значна кількість вчених у світі. Окремо хотілося б виокремити та провести критичний аналіз таких досліджень.

Дослідження Dong et al. (2020) демонструє ефективність використання мультиспектральних даних Sentinel-2 у поєднанні з SAR-знімками для моніторингу зимової пшениці. Автори пропонують добре обґрунтовану методологію, що враховує сезонні зміни в рослинності. До недоліків можна зарахувати те, що робота орієнтована на один тип культури та географічний регіон, що обмежує її узагальненість. Крім того, недостатньо розглянуто вплив різних метеорологічних умов на індекси NDVI та EVI.

Важливим внеском праці Forkuor et al. (2014) є інтеграція SAR- та оптичних даних, що значно покращує точність картографування посівів у тропічних регіонах із частою хмарністю. Автори продемонстрували високий рівень валідації отриманих результатів. До слабких сторін досліджень можна зарахувати той факт, що дослідження не повністю розкриває проблеми просторової розрізненості під час використання NDVI та EVI. Крім того, аналіз обмежений лише одним агрокліматичним регіоном.

Автори Gao et al. (2020) застосовують комплексний підхід, поєднуючи дані Sentinel-2, MODIS і Landsat для покращення аналізу стану посівів. Використання NDVI та EVI у поєднанні з іншими супутниковими даними підвищує точність моніторингу. Дослідження більш орієнтоване на теоретичний підхід, ніж на практичне застосування. Недостатньо розглянуто точність визначення стану посівів у регіонах із різним рівнем вологості ґрунту.

Дослідження Jin et al. (2018) пропонує огляд методів інтеграції даних дистанційного зондування з аграрними моделями, що може бути корисним для прогнозування врожайності. Інформація про NDVI та EVI використовується для покращення моделей росту культур. Відсутність детального аналізу похибок і порівняння точності NDVI та EVI обмежує цінність роботи для практичного застосування.

Автори Kross et al. (2015) ретельно дослідили кореляцію між NDVI/EVI та біофізичними пара-

метрами культур (індекс листкової поверхні та біомаса). Використані методи обмежені лише двома культурами (кукурудза та соя), що ускладнює узагальнення отриманих висновків.

У Дослідженні Liu et al. (2010) детально розглянуто питання оцінки площі листя за допомогою NDVI. Методологія є чіткою, а результати добре обґрунтовані. Робота базується на даних знімків лише з одного вегетаційного періоду, що може обмежити її застосовність у довгостроковому моніторингу.

Автори Meroni et al. (2020) представили нову фенологічну методику для оцінки аномалій виробництва біомаси, що може бути корисним для забезпечення продовольчої безпеки. Використання NDVI та EVI розглядається без урахування специфіки ґрунтів, що може впливати на точність оцінки стану посівів.

Автори Pan et al. (2015) ефективно використали NDVI-часові ряди для аналізу фенологічних змін культур, що допомагає покращити оцінку врожайності. Відсутній аналіз впливу атмосферних умов на точність розрахунків NDVI та EVI.

Використання альтернативних методів дистанційного зондування в роботі Sakamoto et al. (2007) для визначення фаз росту культур дає змогу покращити точність оцінки стану посівів. Автори не розглядають можливі похибки, спричинені сезонними змінами атмосферних умов, що може вплинути на точність NDVI та EVI.

Дослідження Zhang et al. (2004) демонструє важливість кліматичних факторів у формуванні сезонної динаміки NDVI.

Автори не враховують регіональні відмінності у використанні NDVI та EVI для різних типів культур.

Необхідність проведення дослідження оцінки стану посівів за допомогою індексів рослинності NDVI та EVI на основі даних Sentinel-2 зумовлена кількома ключовими факторами. По-перше, зростаючі виклики у сфері продовольчої безпеки та зміни клімату потребують ефективних методів моніторингу сільськогосподарських угідь для своєчасного реагування на стресові фактори, такі як посухи, хвороби рослин та дефіцит поживних речовин. По-друге, традиційні методи оцінки стану посівів є трудомісткими, дорогими та часто недостатньо точними, особливо на великих територіях. Використання супутникових даних Sentinel-2 у поєднанні з вегетаційними індексами NDVI та EVI дає змогу отримати високоточну, оперативну та масштабовану інформацію про стан рослинності, що є критично важливим для точного землеробства. По-третє, хоча існує багато досліджень, присвячених цій темі, залишається низка невирішених проблем, зокрема вплив атмосферних умов, ґрунтових характеристик та сезонних змін на точність індексів. Також бракує інтегрованих підходів, що поєднують оптичні та радіолокаційні дані для підвищення надійності оцінок. Тому це дослідження

сприятиме вдосконаленню методів дистанційного моніторингу посівів, підвищенню ефективності сільськогосподарських практик та забезпеченню стабільності виробництва продовольства.

Об'єкт досліджень

Об'єктом дослідження є оцінка стану сільськогосподарських посівів на території смт Чижиків (Львівська область) та смт Великі Бірки (Тернопільська область) з використанням супутникових даних Sentinel-2. Рис. 1 ілюструє географічне положення

дослідних ділянок, відображаючи просторове розташування полів, що підлягають аналізу. Застосування індексів дає змогу кількісно охарактеризувати щільність та активність рослинного покриву, виявити відмінності у вегетаційній динаміці між регіонами, а також оцінити вплив природно-кліматичних і агротехнічних чинників на розвиток посівів. Такий підхід забезпечує ефективний моніторинг сільськогосподарських угідь, що є ключовим для управління землекористуванням і прийняття рішень у сфері агровиробництва.



Рис. 1. Схема розташування досліджуваних полів біля смт Чижиків Львівської області та смт Великі Бірки Тернопільської області

Матеріали та методи досліджень

Для оцінки стану посівів було використано супутникові дані Sentinel-2, що надає Європейське космічне агентство (ESA). Sentinel-2 є частиною програми Copernicus і забезпечує багатоспектральні зображення з просторовою роздільною здатністю від 10 до 60 метрів, що дає змогу детально аналізувати стан сільсько-

господарських угідь. Для аналізу було обрано ділянки з посівами основних сільськогосподарських культур у вегетаційний період.

Зображення Sentinel-2 були завантажені у форматі Level-2A, що передбачає корекцію атмосферного впливу та отримання значень поверхневого відбиття. Для роботи використовували спектральні канали

червоного (Red) та ближнього інфрачервоного (NIR) діапазонів, необхідних для розрахунку NDVI, а також синього (Blue), червоного та ближнього інфрачервоного каналів для розрахунку EVI.

Опрацювання супутникових зображень здійснювали за допомогою вебплатформи Google Earth Engine. Основні етапи обробки передбачали:

- корекцію геометричних спотворень;
- обрізку зображень до меж досліджуваної території;
- розрахунок індексів рослинності.

Для оцінки стану посівів використовували такі індекси:

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) обчислюється за допомогою різниці між відбиттям у червоному (Red) та інфрачервоному (NIR) спектрах, нормованої на суму цих значень:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}, \quad (1)$$

де *NIR* – відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні (зазвичай 800–900 нм), *RED* – відбиття у червоному діапазоні (зазвичай 620–670 нм).

NDVI використовується для визначення стану вегетації, де значення від -1 до 1:

- значення ближче до 1 вказують на високу вегетаційну активність;
- значення ближче до 0 вказують на оголені ґрунти або водні поверхні;
- значення негативні (-1) можуть вказувати на хмарність або воду.

EVI (Enhanced Vegetation Index) покращує NDVI, враховуючи корекцію для атмосферних впливів, таких як аерозолі, і дає більш точну оцінку для густої рослинності. Формула EVI:

$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C_1 \times RED - C_2 \times BLUE + L)}, \quad (2)$$

де *NIR* – відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні; *RED* – відбиття у червоному діапазоні; *BLUE* – відбиття у синьому діапазоні; *L* – значення корекції для атмосферних умов (звичайно, *L* = 100); *C*₁ і *C*₂ – коефіцієнти корекції для червоного і синього каналів (зазвичай *C*₁ = 6, *C*₂ = 7,5); *G* – коефіцієнт посилення, зазвичай *G* = 2,5.

EVI забезпечує кращу чутливість до змін в рослинності, зокрема у випадку з високою щільністю рослинності, і менш чутливий до впливу атмосферних аномалій.

Отримані значення індексів використовували для просторово-часового аналізу стану посівів. Застосовували методи статистичного аналізу для визначення залежності між значеннями NDVI та EVI й факторами, що впливають на стан рослинності (опаді, температура, вид культури). Крім того, здійснено порівняльний аналіз результатів індексів для оцінки

ефективності кожного методу у виявленні стресових умов.

Як допоміжні дані використовували:

- метеорологічні дані для аналізу впливу кліматичних факторів;
- польові спостереження для валідації результатів дистанційного зондування;
- карти земельних угідь для точного визначення меж посівів.

Запропонований підхід дав змогу отримати інформацію про стан посівів у досліджуваній території, визначити проблемні ділянки та оцінити динаміку розвитку рослинності протягом вегетаційного періоду.

Результати досліджень та їх обговорення

Для дослідження було використано зображення Sentinel-2 за період 2024 року. Таке рішення дає змогу охопити весь період вегетації, протягом якого буде проводитись порівняння отриманих результатів.

Після аналізу наявних зображень були відібрані якісні знімки без хмарного покриття. На жаль, частина даних для певних часових відрізків не задовольняє вимоги через негативний вплив атмосферних умов і не розглядалась в дослідженні. Практичну роботу виконано в середовищі платформи Google Earth Engine, вона полягала в написанні програмного коду для виконання операцій, передбачених алгоритмом досліджень: маскування хмарності, фільтрація даних за якісними критеріями, нормалізація зображень, обчислення вегетаційних індексів, візуалізація результатів. Отож застосування власних створених скриптів дає змогу автоматизувати всі етапи дослідження. Для ефективної візуалізації вегетаційних індексів було підібрано окремі кольорові палітри, які дозволяють краще інтерпретувати рівень рослинного покриття на сільськогосподарських угіддях. Для NDVI застосовано палітру з відтінками від коричневого до темно-зеленого, що відображає градацію від відсутності до високої густоти рослинності. Для EVI обрано палітру в холодних тонах (сірий – синій – фіолетовий), що дає змогу чітко виділяти різні рівні вегетаційної активності навіть на фоні відкритого ґрунту або розріджених посівів. Такий підхід підвищує наочність порівняння результатів і полегшує подальший аналіз.

Дослідження виконано для зображень, отриманих приблизно з місячним інтервалом – з лютого по листопад 2024 року. Для кожної ділянки були побудовані окремі тематичні карти за результатами обрахованих індексів NDVI та EVI на кожен часовий період.

На рис. 2–8 наведено зображення індексів з квітня по листопад 2024 р. для ділянки біля смт Чижиків. Об'єктами аналізу були два поля подібної форми і розміру, на яких впродовж 2024 року вирощували культури з різним строками вегетації.

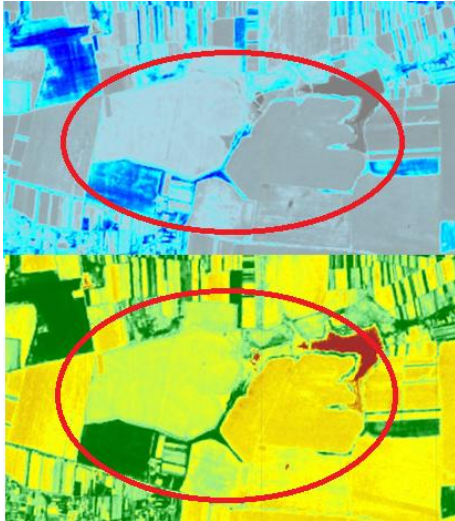


Рис. 2. Індекси EVI та NDVI для ділянки 1 на 12 квітня 2024 р.

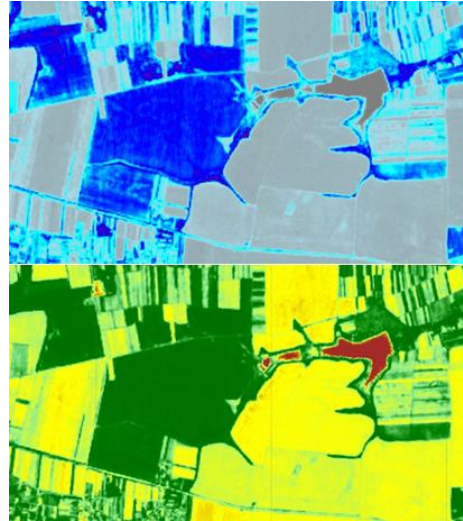


Рис. 3. Індекси EVI та NDVI для ділянки 1 на 25 травня 2024 р.

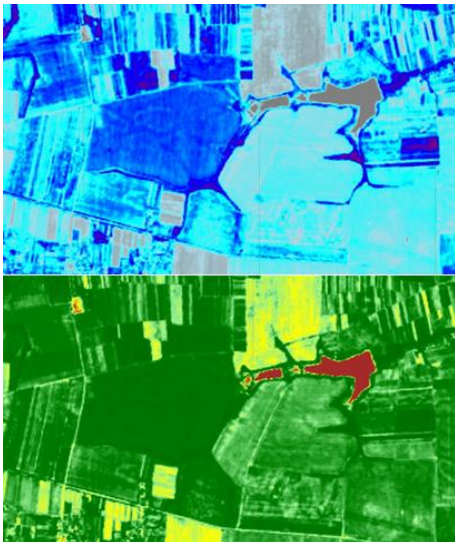


Рис. 4. Індекси EVI та NDVI для ділянки 1 на 16 червня 2024 р.

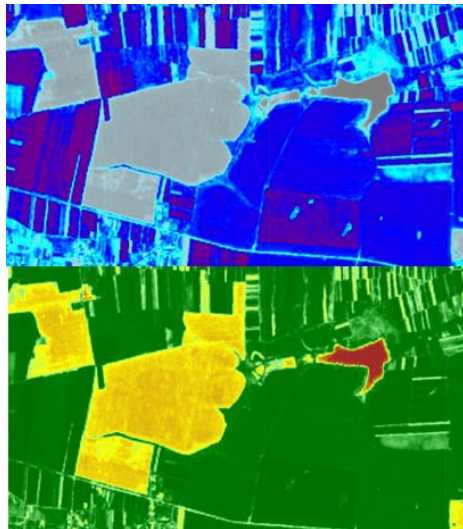


Рис. 5. Індекси EVI та NDVI для ділянки 1 на 16 липня 2024 р.

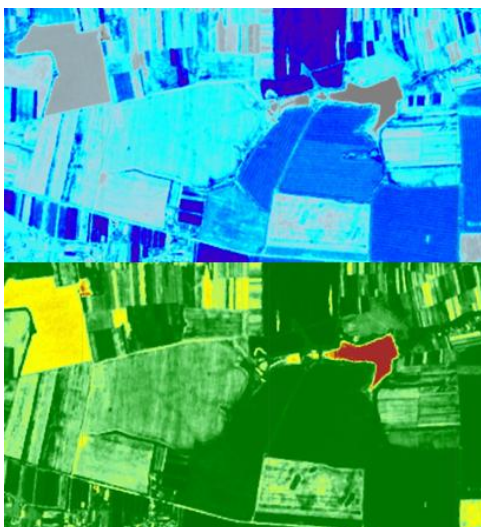


Рис. 6. Індекси EVI та NDVI для ділянки 1 на 28 серпня 2024 р.

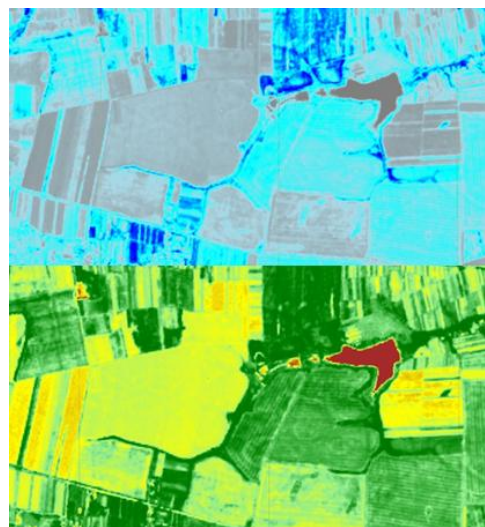


Рис. 7. Індекси EVI та NDVI для ділянки 1 на 19 вересня 2024 р.

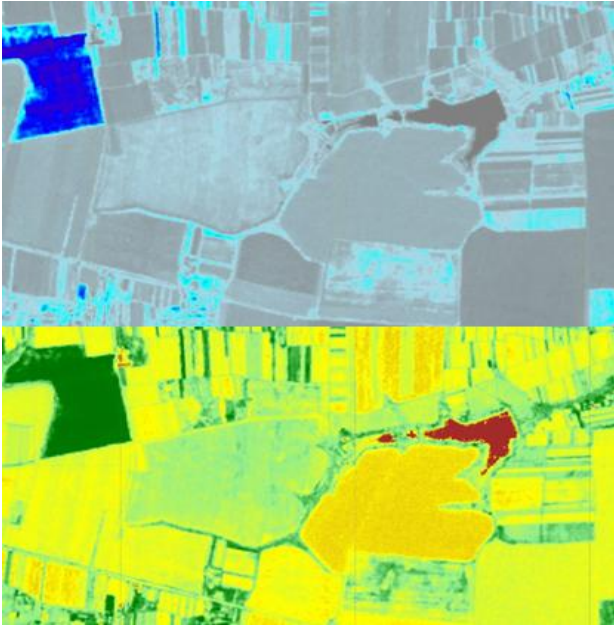


Рис. 8. Індекси EVI та NDVI для ділянки 1 на 9 листопада 2024 р.

Як видно з рисунків, індекси EVI та NDVI якісно та наочно відображають стан посівів на кожному етапі розвитку. Навесні ліве поле на початку вегетаційної активності та показує максимум всередині червня,

після збору урожаю поле відпочивало і поступово вкривалось довільною рослинністю до вересня, коли було оброблено і засіяно озимую культурою. Щодо стану посівів і якості ґрунту та обробітку, то в межах лівого поля вегетація відбувається рівномірно по всьому полю і лише невеликі форми рельєфу впливають через нерівномірність вологості в цих місцях. Щодо правого поля, то в квітні це був зораний ґрунт і лише в червні розпочався процес вегетації, який досяг свого максимуму у липні та поступово зменшувався до вересня. У жовтні вже був зібраний урожай і поле зорано. До листопада ніяких результатів вегетації не спостерігається. Це поле не таке однорідне по стану посівів і має ослаблені ділянки, які добре визначаються на зображеннях. Індекс NDVI краще виділяє такі ділянки за менш розвинутої рослинності, а індекс EVI на більш щільний, коли значення NDVI зливаються.

На ділянці біля смт Великі Бірки для дослідження обрано велике поле на південний схід від населеного пункту. На жаль, космічні зображення для періоду лютий–квітень, листопад є вкриті хмарами і не підходять для опрацювання та аналізу, тому перші дані є з травня. На рис. 9–14 наведено зображення індексів з травня по листопад 2024 р. для ділянки біля смт Великі Бірки.

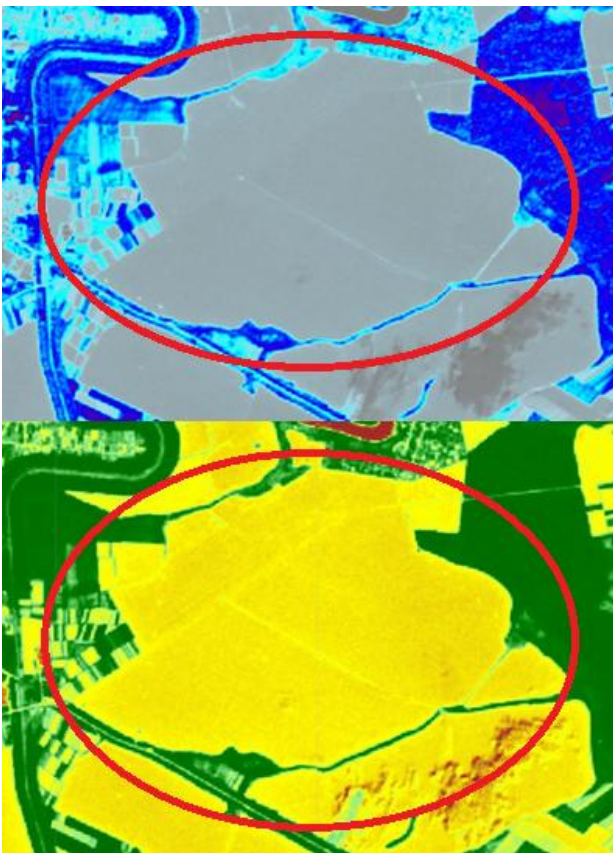


Рис. 9. Індекси EVI та NDVI для ділянки 2 на 17 травня 2024 р.

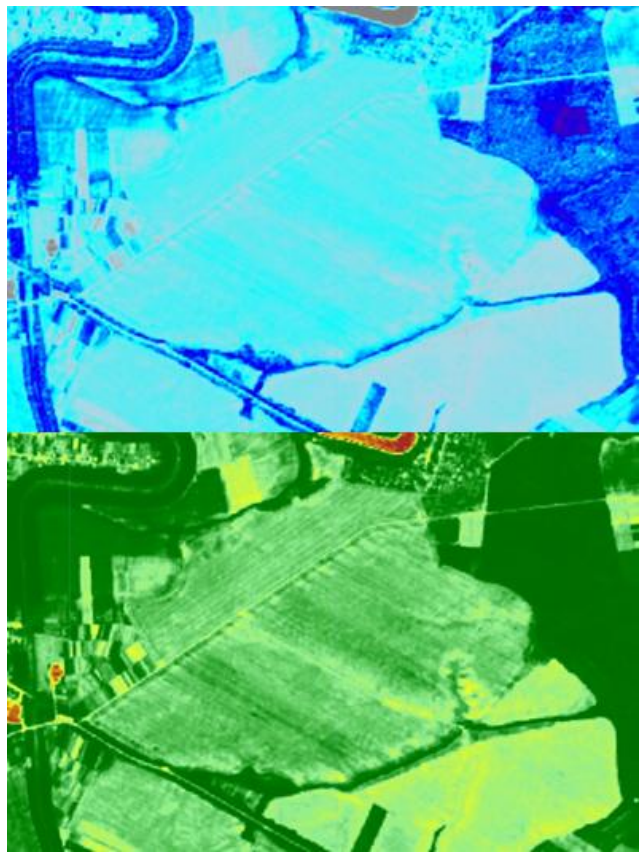


Рис. 10. Індекси EVI та NDVI для ділянки 2 на 21 червня 2024 р.

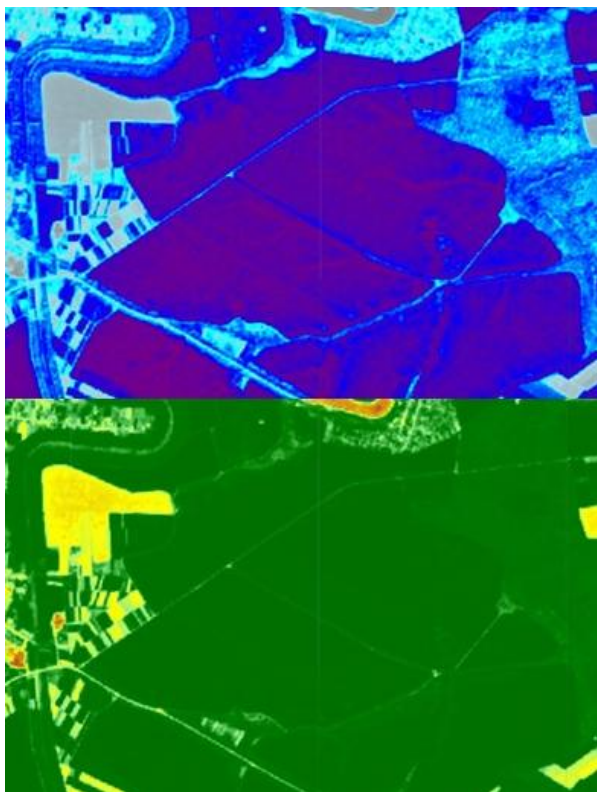


Рис. 11. Індекси EVI та NDVI для ділянки 2 на 16 липня 2024 р.

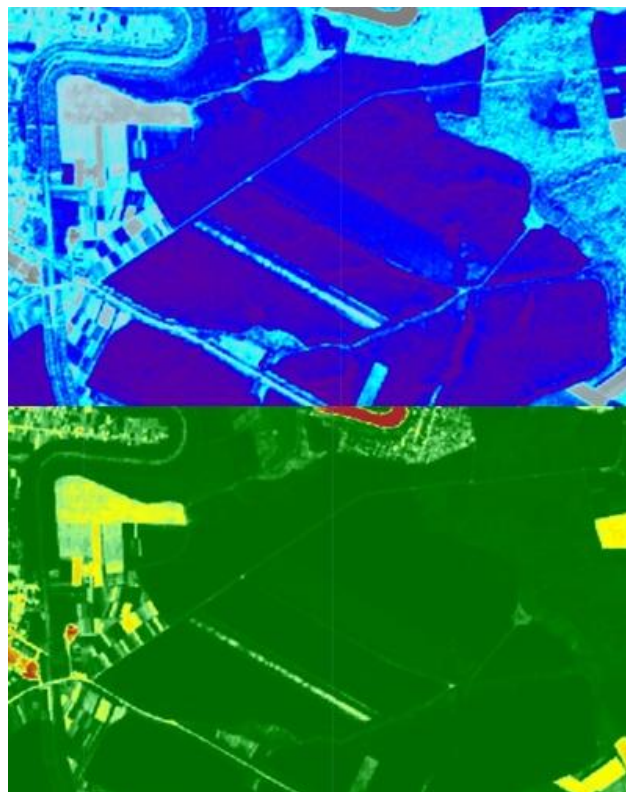


Рис. 12. Індекси EVI та NDVI для ділянки 2 на 15 серпня 2024 р.

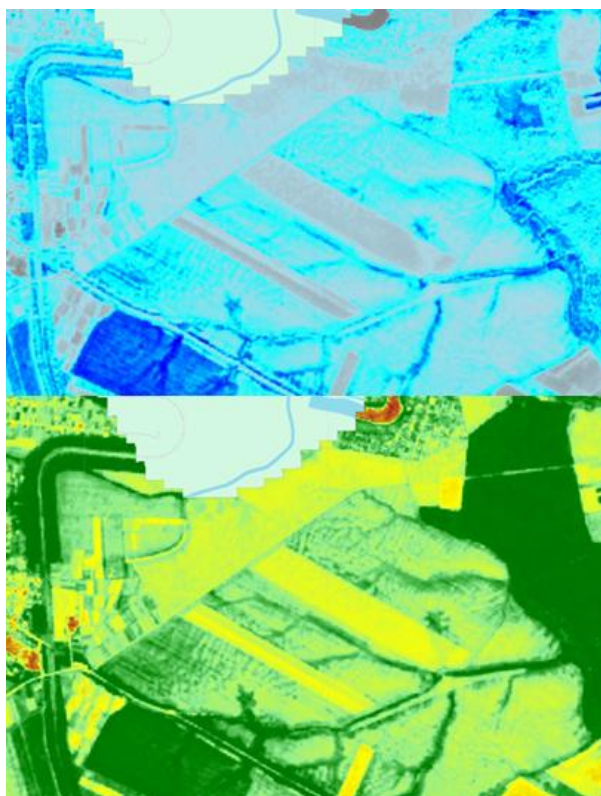


Рис. 13. Індекси EVI та NDVI для ділянки 2 на 9 вересня 2024 р.

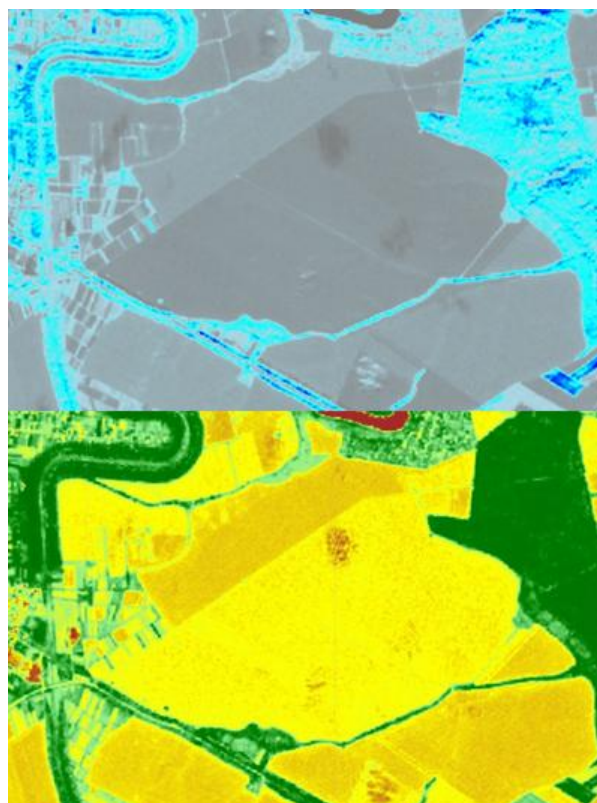


Рис. 14. Індекси EVI та NDVI для ділянки 2 на 19 жовтня 2024 р.

Це поле є неоднорідним за станом вегетації рослинності. На це впливають форми рельєфу, які добре відображаються на рис. 13. У травні площа зорана і на ній немає рослинності. У червні спостерігається рівномірна рослинність з окремими

слабкими ділянками, які добре розпізнаються на зображеннях індексів. У липні досягається максимум зеленої маси і рівномірні значення індексів. У серпні вегетація спадає і завдяки індексу EVI можна спостерігати, що на полі вирощуються різні культури, що

підтверджується вже обома індексами на зображенні за 9 вересня. Станом на 19 жовтня урожай зібрали, а поле зорали. Особливості відображення щільної і ранньої рослинності на цій ділянці підтверджують висновки отримані на ділянці біля смт Чижиків.

Порівнюючи між собою результати двох індексів, можна дійти висновку, що вони гарно зарекомендували себе під час роботи в парі. Застосування EVI показує кращий результат на періоди і ділянки з густою та здоровою рослинністю, тоді як на NDVI картах зображення практично зливається в один тон. І навпаки, за низького рівня рослинності NDVI показує вищу чутливість до змін земного покриву. Це підтверджує загальні принципи використання цих індексів. Удосконалений вегетаційний індекс EVI використовує інформацію з синьої області спектра, що дає змогу ефективніше компенсувати атмосферні спотворення та фонові сигнали від ґрунту. Серед головних переваг цього індексу – підвищена чутливість у зонах з щільною рослинністю, зокрема в лісових масивах і на сільськогосподарських угіддях із високим значенням LAI. Також EVI демонструє меншу чутливість до ефекту насичення, який спостерігається в NDVI за високої рослинності, та краще справляється з впливом аерозолів.

Висновки

Оцінка стану посівів за допомогою індексів рослинності NDVI та EVI на основі даних Sentinel-2 є важливим інструментом для моніторингу сільськогосподарських угідь і управління ресурсами в умовах сучасних викликів, таких як зміни клімату, екстремальні погодні умови та необхідність забезпечення продовольчої безпеки. Вегетаційні індекси NDVI та EVI дають змогу швидко і точно визначити здоров'я рослин, їх розвиток, а також виявляти стреси, пов'язані з недостатньою кількістю води, хворобами чи недоліками поживних речовин.

Дані Sentinel-2 завдяки своїй високій просторовій розрізненості та частоті спостережень дають змогу отримати детальну інформацію про стан посівів на великих територіях, що є надзвичайно корисним для агрономів, фермерів та урядових установ, які працюють над плануванням сільськогосподарського виробництва. Дані NDVI та EVI дають змогу точно оцінювати не лише здоров'я рослин, а й прогнозувати врожайність, що вкрай важливо для точного землеробства та раціонального використання агрономічних ресурсів.

Незважаючи на значні досягнення в застосуванні цих індексів, існують певні обмеження. Основною проблемою є вплив атмосферних умов, таких як хмарність або пилові бурі, що можуть спотворювати результати обчислень. Також варто зазначити, що індекси NDVI та EVI чутливі до змін у ґрунтових умовах і типах рослинності, що може впливати на точність оцінок, особливо в районах із різними

кліматичними умовами. Крім того, хоча EVI був розроблений для подолання деяких обмежень NDVI, зокрема насичення в умовах високої щільності рослинності, його використання не завжди дає перевагу в порівнянні з NDVI в усіх ситуаціях.

Необхідність подальших досліджень у цій галузі полягає в розробці більш точних методик корекції атмосферних і ґрунтових впливів, а також у застосуванні нових технологій, які дають змогу інтегрувати дані з різних супутникових платформ. Важливим напрямом є також застосування машинного навчання та великих даних для покращення точності прогнозів і створення моделей, які можуть враховувати змінні фактори, такі як кліматичні умови, зміни в ґрунтових характеристиках і механізми впливу стресових факторів на врожайність.

Загалом методи оцінки стану посівів з використанням NDVI та EVI на основі даних Sentinel-2 мають величезний потенціал для розвитку точного землеробства, покращення ефективності сільськогосподарського виробництва та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Список використаної літератури

- Dong T., Liu J., Shang J., Zhao B. (2020). Mapping winter wheat with multi-temporal SAR and optical images: A case study in the North China Plain. *Remote Sensing*, 12(3), 456.
- Forkuor G., Conrad C., Thiel M., Zoungrana B., Tondoh J. E. (2014). Integration of optical and Synthetic Aperture Radar imagery for improving crop mapping in Northwestern Benin, West Africa. *Remote Sensing*, 6(7), 6472- 6499.
- Gao F., Anderson M. C., Zhang X., Yang Z., Alfieri J. G., Kustas W. P., ... Dulaney W. (2020). Toward mapping crop progress at field scales through fusion of Landsat and MODIS imagery. *Remote Sensing of Environment*, 255, 112331.
- Hammond J., Dube T. (2024). Harmonized NDVI time-series from Landsat and Sentinel-2 reveal phenological patterns of diverse, small-scale cropping systems in East Africa. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 35, 101230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101230>.
- Jin X., Kumar L., Li Z., Feng H., Xu X., Yang G. (2018). A review of data assimilation of remote sensing and crop models. *European Journal of Agronomy*, 92, 141- 152.
- Jindain P., Thanawong P. (2020). Comparison of NDVI and multispectral imageries of Sentinel-2 for detection of abandoned paddy field: A case study of eastern Phayao province. *The Journal of Spatial Innovation Development*, 10(2), 1–12. URL: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jsid/article/view/249556>.
- Kalogeras A., Bormpoudakis D., Tsardanidis I., Loka D. A., Kontoes C. (2025). Monitoring digestate application on agricultural crops using Sentinel-2

- satellite imagery. *arXiv preprint arXiv:2504.19996*. URL: <https://arxiv.org/abs/2504.19996>.
- Kross A., McNairn H., Lapen D., Sunohara M., Champagne C. (2015). Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 235- 248.
- Lozano-Tello A., Siesto G., Fernández-Sellers M., Caballero-Mancera A. (2023). Evaluation of the use of the 12 bands vs. NDVI from Sentinel-2 images for crop identification. *Sensors*, 23(16), 7132. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23167132>.
- Liu J., Pattey E., Miller J. R. (2010). Retrieval of leaf area index from top-of-canopy digital photography over agricultural crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(11), 1485- 1490.
- Meroni M., Rembold F., Verstraete M. M., Urbano F. (2020). A phenology-based method to derive biomass production anomalies for food security monitoring in the Horn of Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 41(7), 2670- 2689.
- Pan Z., Huang J., Zhou Q., Wang L., Cheng Y., Zhang H., ... Blackburn G. A. (2015). Mapping crop phenology using NDVI time-series derived from HJ-1 A/B data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 188- 197.
- Rashid M. H., Rahman M. M., Islam M. T. (2024). Monitoring wheat area using Sentinel-2 imagery and in-situ spectroradiometer data in heterogeneous field conditions. *Discover Agriculture*, 2(1), 69. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00069-4>.
- Sakamoto T., Gitelson A. A., Wardlow B. D., Wardlow B. D., Egbert S. L. (2010). A comparison of MODIS 250-m EVI and NDVI data for crop mapping: A case study for southwest Kansas. *International Journal of Remote Sensing*, 31(3), 805–830. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160902897858>.
- Verma S. B., Suyker A. E., Arkebauer T. J. (2007). An alternative method using remote sensing technology to assess crop phenology in maize and soybean. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(3), 396- 406.
- Zhang X., Friedl M. A., Schaaf C. B., Strahler A. H. (2004). Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data. *Global Change Biology*, 10(7), 1133- 1145.

B. CHETVERIKOV¹, Kh. BURSHTYNSKA², L. BABIY³, N. HRYTS'KIV, A. HUNINA⁴

Department of Photogrammetry and Geoinformatics, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str. , Lviv, 79013, Ukraine, Phone: +380631671585, Email: borys.v.chetverikov@lpnu.ua

¹ ORCID ID: 0000-0001-8677-1735, ² ORCID ID: 0000-0002-6013-0873, ³ ORCID ID: 0000-0002-5772-4865, ⁴ ORCID ID: 0000-0003-0930-4820

ASSESSMENT OF CROP CONDITION USING VEGETATION INDICES NDVI AND EVI BASED ON SENTINEL-2 SATELLITE DATA – TWO CASE STUDIES

Objective. The study aims to assess the condition of agricultural crops using Sentinel-2 satellite imagery for two groups of agricultural plots located in the Lviv and Ternopil regions. The primary goal is to determine the spatio-temporal dynamics of vegetation indices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and EVI (Enhanced Vegetation Index), which enables the identification of stressed vegetation zones and the general health level of crops throughout the growing season. **Methods.** The research employs remote sensing (RS) methods, photogrammetry, and geoinformation analysis. The input data—multispectral images from the Sentinel-2 satellite—were processed using the professional GIS environment ArcGIS. During the preprocessing stage, cloud masking, quality filtering, image normalization, and the calculation of vegetation indices were performed. The applied algorithms enabled accurate zoning of the territory based on vegetation development levels. **Results.** As a result of processing Sentinel-2 satellite images for the year 2024 on a monthly basis, a series of maps was generated, illustrating the spatial distribution of NDVI and EVI. The dynamic analysis revealed significant differences in vegetation conditions between the two regions, as well as within individual fields. Localized zones with reduced index values were identified, which may indicate the presence of stress factors such as drought, excessive moisture, pests, or errors in agrotechnical practices. Comparing index analysis results with field data validated the accuracy of satellite observations. **Practical significance.** The study results have direct practical application in the field of precision agriculture. Specifically, the developed NDVI and EVI distribution maps can be used by agronomists, farmers, and agricultural companies for real-time crop monitoring, early detection of problem areas, optimization of agrotechnical measures (e.g., fertilization, irrigation, or pest control), as well as for crop rotation planning and evaluating the effectiveness of applied technologies. The use of satellite imagery significantly reduces the need for labor-intensive field surveys, providing more accurate, objective,

and regular data on vegetation status across large areas. This approach enhances agricultural efficiency, conserves resources, and minimizes the negative environmental impact.

Keywords: precision agriculture, NDVI index, EVI index, Sentinel-2 satellite images, crop monitoring, remote sensing.

References

- Dong, T., Liu, J., Shang, J., & Zhao, B. (2020). Mapping winter wheat with multi-temporal SAR and optical images: A case study in the North China Plain. *Remote Sensing*, 12(3), 456.
- Forkuor, G., Conrad, C., Thiel, M., Zoungrana, B., & Tondoh, J. E. (2014). Integration of optical and Synthetic Aperture Radar imagery for improving crop mapping in Northwestern Benin, West Africa. *Remote Sensing*, 6(7), 6472- 6499.
- Gao, F., Anderson, M. C., Zhang, X., Yang, Z., Alfieri, J. G., Kustas, W. P., ... & Dulaney, W. (2020). Toward mapping crop progress at field scales through fusion of Landsat and MODIS imagery. *Remote Sensing of Environment*, 255, 112331.
- Hammond, J., & Dube, T. (2024). Harmonized NDVI time-series from Landsat and Sentinel-2 reveal phenological patterns of diverse, small-scale cropping systems in East Africa. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 35, 101230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101230>.
- Jin, X., Kumar, L., Li, Z., Feng, H., Xu, X., & Yang, G. (2018). A review of data assimilation of remote sensing and crop models. *European Journal of Agronomy*, 92, 141- 152.
- Jindain, P., & Thanawong, P. (2020). Comparison of NDVI and multispectral imageries of Sentinel-2 for detection of abandoned paddy field: A case study of eastern Phayao province. *The Journal of Spatial Innovation Development*, 10(2), 1–12. Retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jsid/article/view/249556>.
- Kalogeras, A., Bormpoudakis, D., Tsardanidis, I., Loka, D. A., & Kontoes, C. (2025). Monitoring digestate application on agricultural crops using Sentinel-2 satellite imagery. *arXiv preprint arXiv:2504.19996*. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2504.19996>.
- Kross, A., McNairn, H., Lapen, D., Sunohara, M., & Champagne, C. (2015). Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 235- 248.
- Lozano-Tello, A., Siesto, G., Fernández-Sellers, M., & Caballero-Mancera, A. (2023). Evaluation of the use of the 12 bands vs. NDVI from Sentinel-2 images for crop identification. *Sensors*, 23(16), 7132. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23167132>.
- Liu, J., Pattey, E., & Miller, J. R. (2010). Retrieval of leaf area index from top-of-canopy digital photography over agricultural crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(11), 1485- 1490.
- Meroni, M., Rembold, F., Verstraete, M. M., & Urbano, F. (2020). A phenology-based method to derive biomass production anomalies for food security monitoring in the Horn of Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 41(7), 2670- 2689.
- Pan, Z., Huang, J., Zhou, Q., Wang, L., Cheng, Y., Zhang, H., ... & Blackburn, G. A. (2015). Mapping crop phenology using NDVI time-series derived from HJ-1 A/B data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 188- 197.
- Rashid, M. H., Rahman, M. M., & Islam, M. T. (2024). Monitoring wheat area using Sentinel-2 imagery and in-situ spectroradiometer data in heterogeneous field conditions. *Discover Agriculture*, 2(1), 69. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00069-4>.
- Sakamoto, T., Gitelson, A. A., Wardlow, B. D., Wardlow, B. D., & Egbert, S. L. (2010). A comparison of MODIS 250-m EVI and NDVI data for crop mapping: A case study for southwest Kansas. *International Journal of Remote Sensing*, 31(3), 805–830. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160902897858>.
- Verma, S. B., Suyker, A. E., & Arkebauer, T. J. (2007). An alternative method using remote sensing technology to assess crop phenology in maize and soybean. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(3), 396- 406.
- Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., & Strahler, A. H. (2004). Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data. *Global Change Biology*, 10(7), 1133- 1145.