

ЗМІНИ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ ЯК ІНДИКАТОР СТАНУ ҐРУНТІВ ПЕРЕДКАРПАТТЯ ТА ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ

Д.І. РОБУЛЯК

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58012
e-mail: robuliak.dmytro@chnu.edu.ua

Наведено результати досліджень довгострокової динаміки рослинного покриву Чернівецького району шляхом порівняльного аналізу часових рядів індексу NDVI за даними знімків супутників MODIS (2002-2024) та Landsat (2000-2024). Дослідження базувалося на двох незалежних наборах супутникових даних: 16-денних композитах MODIS (продукт MOD13Q1, 250 м) за період 2002-2024 рр. та архіві даних Landsat 5/7/8/9 (30 м) за 2000-2024 рр. Для кожного року було розраховано узагальнений показник NDVI за вегетаційний період (квітень-жовтень): середнє значення для MODIS та медіанне - для більш зашумлених даних Landsat. Для попіксельного аналізу трендів та оцінки їх статистичної значущості було застосовано непараметричний метод рангової кореляції Кендалла (τ). Території класифікувалися як зони «озеленення» ($\tau > 0$, $p < 0.05$), «побуріння» ($\tau < 0$, $p < 0.05$) або «стабільного покриву». За даними дистанційного моніторингу з використанням супутникових знімків MODIS та Landsat створено дві тематичні карти, що візуалізують просторовий розподіл ділянок та дозволяють оцінити стан агроєкосистем. Доведено, що дані MODIS вказують на переважну тенденцію до «побуріння». В той же час, аналіз високодетальних знімків Landsat виявляє домінування процесів «озеленення», які охоплюють до 40-50% досліджуваної території, переважно в межах агроландшафтів. Водночас обидві системи дистанційного моніторингу узгоджено фіксують стійке щорічне зростання пікової літньої вегетації (максимальний NDVI за липень). Доведено, що результати моніторингу з використанням Landsat є більш репрезентативними завдяки вищій роздільній здатності. Виявлена тенденція «озеленення», головним чином, пов'язана з інтенсифікацією землеробства. Негативний тренд MODIS, ймовірно, спричинений меншою роздільною здатністю знімків та особливостями сенсора.

Ключові слова: рослинний покрив, нормалізований індекс рослинності, просторова роздільна здатність, метод рангової кореляції Кендала, вегетаційний період, дистанційне зондування Землі, часові ряди

Вступ. Нормалізований індекс рослинності (NDVI), який визначається за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), є одним з найбільш поширених індикаторів стану рослинного покриву. NDVI широко використовується для кількісного оцінювання щільності рослинного покриву та змін стану рослинності. Результати низки досліджень підтверджують тісний зв'язок NDVI з продуктивністю, фотосинтетичною активністю та іншими характеристиками екосистем. Оскільки рослинність швидко реагує на зміни кліматичних умов та властивостей ґрунтового середовища, динаміка NDVI може виступати інтегральним показником змін стану екосистем та земель.

Актуальність застосування NDVI для моніторингу земельних ресурсів зумовлена потребою в оперативній оцінці деградаційних процесів на великих територіях. Зміни рослинного покриву можуть слугувати індикатором змін стану ґрунтів: погіршення властивостей ґрунту (зниження родючості, розвиток ерозії, нестача продуктивної вологи) зазвичай призводять до менш інтенсивного

розвитку рослинності та зниження NDVI, тоді як покращення умов росту рослин (відновлення родючості, оптимізація зволоження, раціональне землекористування) сприяють підвищенню продуктивності рослинного покриву, а отже й зростанню значень NDVI.

За даними глобальних оцінок, в світі на значних територіях суходолу за останні десятиліття спостерігається процес «озеленення» - тренд до зростання NDVI, що вказує на збільшення біомаси рослинності. Наприклад, за період 1982-2015 рр. сумарний NDVI Землі зріс приблизно на 14%, і на понад 40% суходолу фіксувалося статистично значуще збільшення продуктивності рослинного покриву. Це, головне, обумовлено зростанням концентрації CO₂ (декарбонізація ґрунтів) та інтенсифікація агровиробництва. Разом з тим, протилежне явище - «побуріння» (browning), тобто довгострокове зниження NDVI, фіксується у районах із поширеними процесами деградації земель, виснаження ґрунтів та аридизації клімату. Тому трендовий аналіз часових рядів NDVI став основою для оцінювання рівня земельної деградації у межах показника сталого

розвитку 15.3.1 «частка деградованих земель» (Індикатори цілей..., 2024).

Аналіз останніх досліджень. Існує значна кількість праць, присвячених застосуванню NDVI для моніторингу стану рослинного покриву та деградації земель. NDVI успішно використовується для глобального оцінювання опустелювання, ерозії ґрунтів, засолення та інших форм деградації земель. Зокрема, було встановлено тенденцію до збільшення NDVI на значних площах посушливих регіонів, що інтерпретується як «глобальне озеленення» аридних земель (Yengoh G. T., Dent D., Olsson L., Tengberg A. E. & Tucker C. J., 2016). Деякі дослідження показали наявність статистично значущого кореляційного зв'язку між величинами NDVI та агрохімічними чи фізичними властивостями ґрунту. Зокрема на чорноземах Лісостепу України значення NDVI посівів озимої пшениці добре відображають варіації показників родючості ґрунту (вміст доступного азоту, гумусу тощо), зокрема на полях із технологією обробітку ґрунту по-till. Це підтверджує можливість використання NDVI як надійного індикатора просторової мінливості ґрунтової родючості (Жолобак Г. М., Сибірцева О. М., Ваколюк М. В. та Захарчук Ю. В., 2017). В іншому дослідженні, проведеному в гірському водозборі на північному сході Туреччини, було підтверджено, що ділянки з вищим NDVI відповідають вищому інтегральному індексу якості ґрунту (SQI): найбільш продуктивні за рослинністю землі мали найкращі показники структури, вмісту органіки та вологості ґрунту.

Українські дослідники одними з перших у світі почали використовувати супутникові дані для оцінки стану посівів та прогнозування врожаїв ще в 1970-80-х роках, а з розвитком цифрових технологій цей напрям стрімко розвинувся. Так, Тараріко з співавт. (2017) продемонстрували можливість довгострокового прогнозування впливу змін клімату на продуктивність зернових культур в Україні на основі трендів NDVI та температурних показників. За їх результатами, підвищення температури повітря призведе до підвищення потенційного врожаю в північних та західних областях України, а отже й до збільшення інтегрального NDVI посівів озимої пшениці, тоді як в південних областях урожай та, відповідно, NDVI може знижуватися через посухи. Комплексне дослідження динаміки земної поверхні України на основі мультисенсорних даних (AVHRR, SPOT-VGT, MODIS) за 1982-2013 рр. виконали Ghazaryan та ін. (2016). Вони

показали, що майже на 33% території України отримано статистично значущий позитивний тренд NDVI (переважно лісостепові і поліські області на півночі та заході країни), тоді як суттєве зниження NDVI спостерігалось менш ніж на 2% площі і мало мозаїчний характер. Показники NDVI, отримані з оптичних (Sentinel-2) та радарних (Sentinel-1) знімків для сільськогосподарських полів в Україні, і підтвердила можливість використання радарних даних для оцінки рослинності у хмарну погоду (Кібукевич Ю. 2021).

Особливу увагу приділяють динаміці лісового покриву території. Наприклад, моніторинг вікових лісів Українських Карпат в рамках проекту FORSOC виявив, що за 2016-2021 рр. NDVI пралісів у заповідних масивах залишався стабільно високим ($\approx 0,8$ влітку) з незначними коливаннями. Однак, вибіркові рубки на околицях масивів зумовили зниження NDVI, що сигналізує про деградацію лісового покриву на цих ділянках.

Отже, наведені наукові дані підтверджують інформативність NDVI як непрямого індикатора стану ґрунтів: його тривале зниження є застережним сигналом про наявність деградаційних процесів, тоді як підвищення NDVI може свідчити про відновлення або покращення ґрунто-екологічних умов.

Мета дослідження – провести аналіз багаторічних трендів нормалізованого індексу рослинності (NDVI) та інтерпретувати виявлені зміни для визначення стану ґрунтів Чернівецького району Чернівецької області.

Для досягнення поставленої мети було виконано обробку та гармонізацію архівів супутникових знімків MODIS та Landsat. Попіксельний трендовий аналіз цих даних дає змогу картографувати ділянки зі статистично значущими тенденціями до "озеленення" (зростання NDVI) або "побуріння" (зниження NDVI). Аналіз просторового розподілу цих тенденцій та їх інтерпретація дає змогу виявляти процеси покращення якості або деградації ґрунтового покриву земель.

Матеріали та методи досліджень. Район дослідження охоплює територію Чернівецького району Чернівецької області площею близько 4 тис. км², що характеризується значною ландшафтною гетерогенністю. Район розташований у перехідній зоні від рівнин Придністровського плато на сході до передгір'я Українських Карпат на заході, з висотами від 200 до 500 м. Клімат регіону - помірно-континентальний, кількість опадів (650-800 мм/рік) створює достатній рівень

зволоження. Така різноманітність умов рельєфу та клімату зумовила мозаїчність ґрунтового покриву - від родючих чорноземів до менш продуктивних бурих лісових та дерново-підзолистих ґрунтів. Структура землекористування відображає ці відмінності: агроландшафти займають понад 50% території (Головне управління статистики ..., 2024), переважно на рівнинах, тоді як ліси сконцентровані у передгір'ях, а лісистість становить близько 29% (План ведення господарства ..., 2025). Таке поєднання інтенсивно використовуваних сільськогосподарських земель та природних екосистем на фоні значного антропогенного впливу робить цю територію сприятливим об'єктом для аналізу динаміки NDVI як індикатора стану земель.

Методика обробки даних. NDVI вперше був запропонований Дж. Роусом та співавт. (1974) у 1970-х роках для кількісної оцінки біомаси рослинності на основі відношення відбиття в червоному та інфрачервоному діапазонах спектру. Значення NDVI варіюють від -1 до +1, причому вищі значення відповідають більш густій та здоровій рослинності, близькі до нуля - оголеному ґрунту, а від'ємні - водним поверхням або хмарам. В наших дослідженнях використано виключно відкриті супутникові дані. Базовим джерелом інформації про рослинний покрив слугували багаторічні спостереження NDVI з низькою просторовою роздільною здатністю, але високою частотою. Зокрема, залучено дані модулю MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) - продукт MOD13Q1, що надає 16-денні композитні зображення NDVI з роздільною здатністю ~250 м за період з 2002 по 2025 рр. Цей продукт має атмосферну та радіометричну корекцію і широко застосовується для аналізу довгострокових трендів рослинності. Для підвищення детальності аналізу також використано архівні знімки Landsat 5/7/8/9 з високою роздільною здатністю (30 м). При цьому відібрано переважно безхмарні зображення поверхні періоду пікової вегетації (липень-серпень) та усереднені дані за роки в період

2000-2024 рр. Попередньо всі оптичні дані були скориговані на вплив атмосфери (рівень поверхневої відбивної здатності) і приведені до загальної системи координат (WGS 84 / UTM zone 35N). Розрахунок NDVI для знімків Landsat здійснено за стандартною формулою $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$, де NIR - відбивання в ближньому інфрачервоному каналі, Red - в червоному каналі. Всі операції з даними проведено в середовищі Google Earth Engine.

Результати та їх обговорення. Для дослідження довгострокової динаміки рослинності було сформовано два незалежні часові ряди на основі супутникових архівів MODIS та Landsat. Перший, що охоплює період 2002-2024 рр., базувався на 16-денних композитах вегетаційного індексу NDVI з продукту MODIS (MOD13Q1) з просторовою роздільною здатністю 250 м. Попередня обробка цих даних включала фільтрацію за шаром якості SummaryQA для виключення пікселів, забруднених хмарами та аерозолями, а також застосування коефіцієнта масштабування для приведення значень NDVI до стандартного діапазону. Для отримання єдиного річного показника, що відображає загальну продуктивність рослинності, для кожного року було розраховано середнє значення NDVI за вегетаційний період (квітень-жовтень). Другий часовий ряд, що слугував для перевірки та охоплював період 2000-2024 рр., було створено на основі гармонізованої колекції даних Landsat 5/7/8/9 (роздільна здатність 30 м). Його обробка включала попіксельне маскування хмар та їхніх тіней за допомогою шару QA_PIXEL, застосування коефіцієнтів для розрахунку поверхневої відбивної здатності та подальше обчислення NDVI. Для агрегації даних та створення річного композиту використовувався медіанний редуктор, який є стійким до залишкових шумів та викидів в даних Landsat. Таким чином, було сформовано два набори річних зображень NDVI, що дозволило перейти до попіксельного аналізу їх довгострокових трендів.

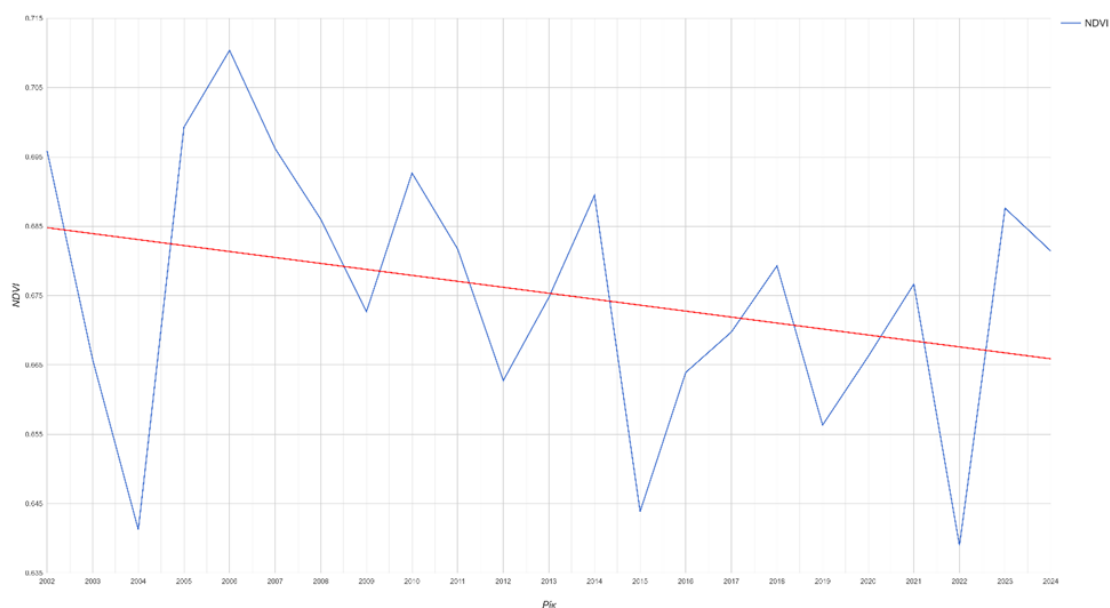


Рис. 1. Динаміка середнього значення NDVI за вегетаційний період (квітень-жовтень) для території дослідження за 2002–2024 рр. (за даними MODIS)

Fig. 1. Dynamics of the average NDVI value for the growing season (April-October) for the study area for 2002-2024 (according to MODIS)

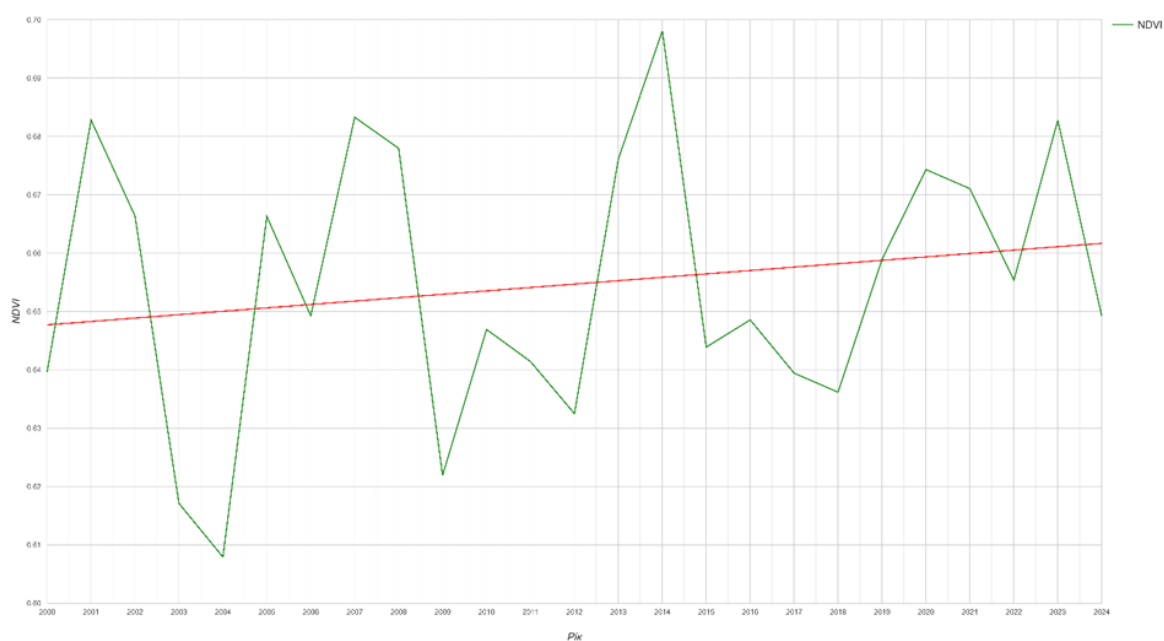


Рис. 2. Динаміка медіанного значення NDVI за вегетаційний період (квітень-жовтень) для території дослідження за 2000–2024 рр. (за даними Landsat)

Fig. 2. Dynamics of the median NDVI value for the growing season (April-October) for the study area in 2000-2024 (according to Landsat data)

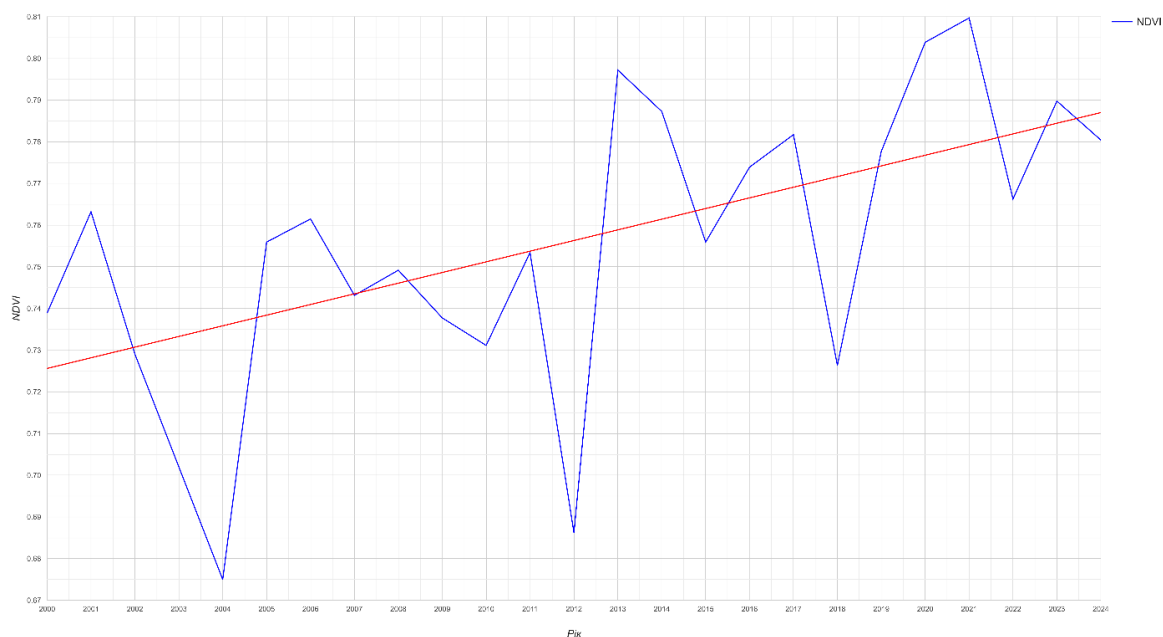


Рис. 3. Динаміка максимального значення NDVI за липень для території дослідження за 2000–2024 рр. (за даними Landsat)

Fig. 3. Dynamics of the maximum NDVI value for July for the study area in 2000–2024 (according to Landsat data)

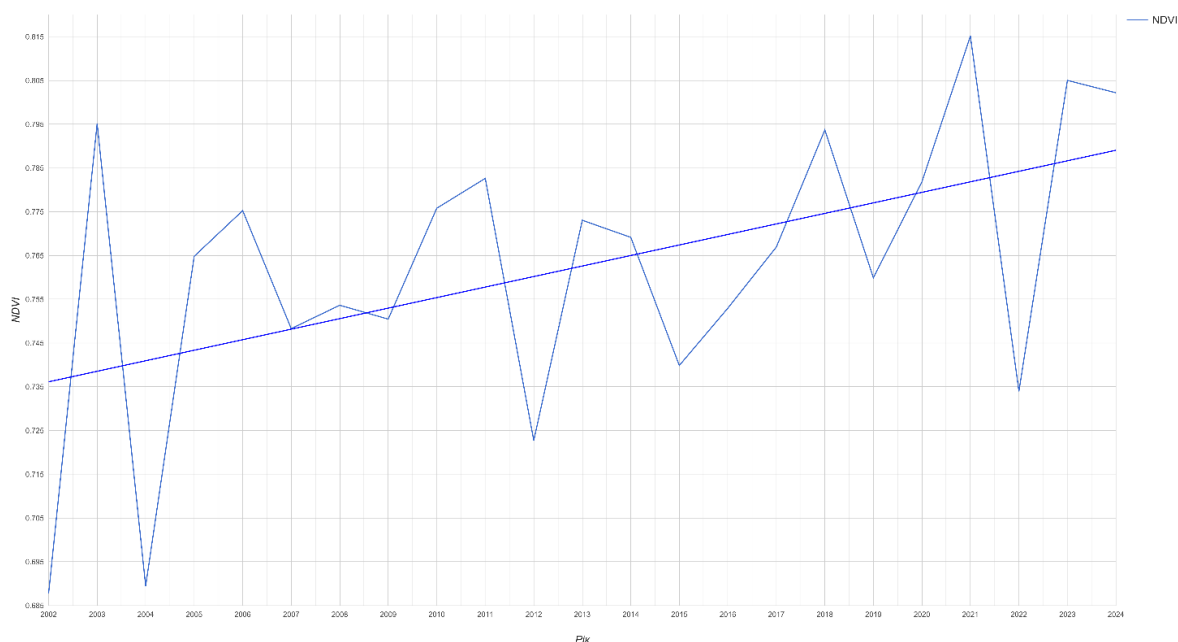


Рис. 4. Динаміка максимального значення NDVI за липень для території дослідження за 2002–2024 рр. (за даними MODIS)

Fig. 4. Dynamics of the maximum NDVI value for July for the study area for 2002–2024 (according to MODIS)

Просторовий аналіз полягав у попиксельній оцінці напрямку та статистичної значущості змін річних значень NDVI для обох підготовлених часових рядів. Для забезпечення методологічної узгодженості та через непараметричний характер супутникових даних, для аналізу обох наборів було застосовано метод рангової кореляції Кендалла. Даний підхід дозволяє для кожного

пікселя розрахувати два ключові показники: коефіцієнт Тау Кендалла (τ), що вказує на напрямок та силу монотонного тренду (позитивні значення відповідають зростанню NDVI, а негативні - спаданню), та р-значення (p-value), що визначає статистичну значущість цього тренду. На основі цих показників було проведено ідентифікацію стану рослинності на

території дослідження, використовуючи рівень значущості $\alpha = 0.05$. Пікселі, що продемонстрували позитивний тренд із $p < 0.05$, відображали територію «озеленення». Пікселі з негативним трендом та $p < 0.05$ були індикаторами «побуріння». Усі інші пікселі, для яких тренд виявився статистично незначущим ($p \geq 0.05$), були об'єднані в категорію «стабільний покрив». Кінцевим результатом аналізу стали дві тематичні карти, що візуалізують просторовий розподіл зон із різною динамікою рослинності за даними MODIS та Landsat, що дозволило провести їх порівняльний аналіз та зробити висновки про довгострокові зміни в екосистемах.

Дані MODIS з роздільною здатністю 250 м показали внутрішню суперечливі тенденції. Так, середній NDVI за вегетаційний період (квітень-жовтень) демонструє слабкий, але стійкий

негативний тренд, що виражається у зниженні усереднених значень з 0.685 до 0.665 (рис. 1). Ця тенденція підтверджується просторовим аналізом, де домінують зони статистично значущого «побуріння», які охоплюють майже 50% території (рис. 5). Водночас аналіз пікової літньої біомаси за тими ж даними свідчить про протилежну динаміку, показуючи впевнений позитивний тренд зі зростанням значень з 0.74 до 0.79 (рис. 4). Таким чином, дані MODIS вказують на ситуацію, за якої загальна сезонна продуктивність повільно знижується, але пік літньої вегетації стає інтенсивнішим. Ця суперечність може пояснюватися обмеженнями даних MODIS: низькою просторовою роздільною здатністю, або ймовірною деградацією сенсора з часом, що може штучно занижувати довгострокові тренди.

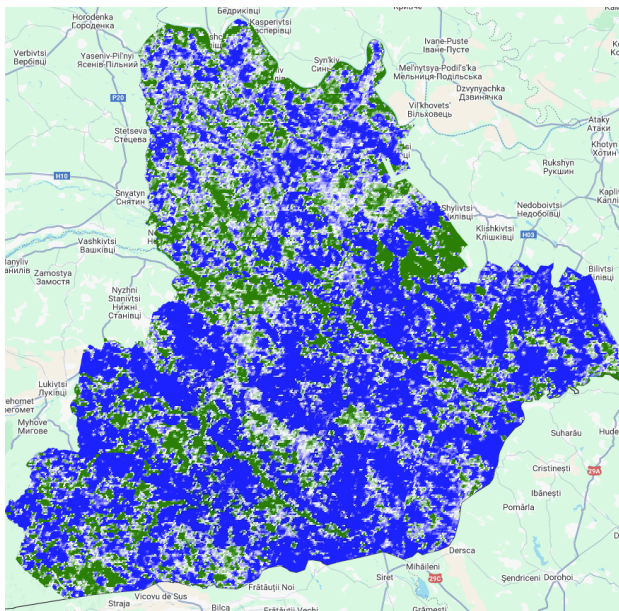


Рис. 5. Карта просторових трендів середнього сезонного NDVI на території дослідження за період 2002-2024 рр., розрахована за даними MODIS (250 м)

Fig. 5. Map of spatial trends of the average seasonal NDVI in the study area for the period 2002-2024, calculated using MODIS data (250 m)

Натомість аналіз даних Landsat з вищою роздільною здатністю (30 м) пропонує чіткіше та, ймовірно, достовірніше пояснення, що вирішує цю суперечність. Медіанний сезонний NDVI за даними Landsat демонструє стійкий позитивний тренд (зростання з 0.645 до 0.665), що суттєво змінює інтерпретацію даних дистанційного дослідження (рис. 2). Це підтверджується просторовою картою трендів

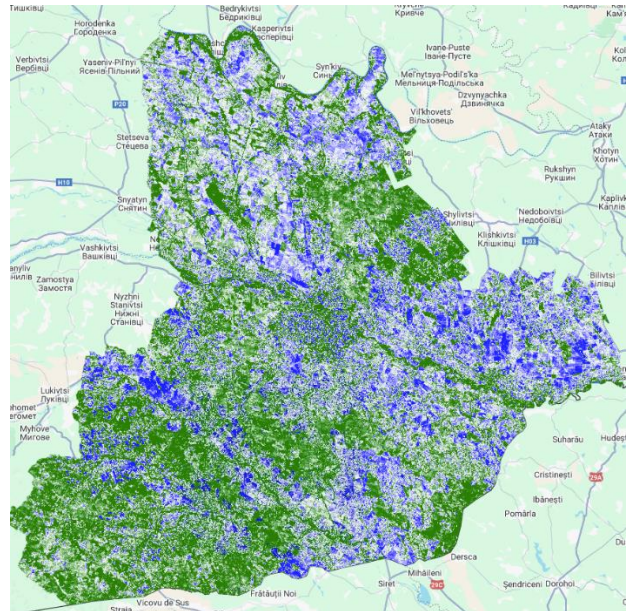


Рис. 6. Карта просторових трендів медіанного сезонного NDVI на території дослідження за період 2000-2024 рр., розрахована за даними архіву Landsat (30 м)

Fig. 6. Map of spatial trends of median seasonal NDVI in the study area for the period 2000-2024, calculated from Landsat archive data (30 m)

Landsat, де домінують процеси «озеленення», що охоплюють близько 40-50% досліджуваної території та здебільшого відповідають сільськогосподарським угіддям (рис. 6). Тренд NDVI для пікового літнього періоду демонструє чітке зростання з 0.725 до 0.79 (рис. 3). Таким чином, результати аналізу даних із супутників Landsat є пріоритетними.

Висновки. Аналіз часових рядів та просторових трендів індексу NDVI на основі даних MODIS (2002-2024 pp.) та Landsat (2000-2024 pp.) дозволив виявити динаміку стану рослинного покриву в піковий період вегетації на території Чернівецького району Чернівецької області. За останні два десятиліття сформувалася чітка тенденція до підвищення продуктивності рослинності в період максимальної вегетації. Процес «озеленення» території є просторово неоднорідним і, найімовірніше, пов'язаний з інтенсивними технологіями вирощування рослин польової культури та поліпшенням ґрунтових

умов життя рослин. Негативний тренд, зафіксований MODIS, зумовлений низькою роздільною здатністю знімків цього супутника, не відображає реальних змін в агроценозах, однак може фіксувати деградацію рослинності на інших типах землекористування.

Конфлікт інтересів. Автор заявляє, що дослідження проводилося за відсутності будь-яких комерційних або фінансових відносин, які можна було б витлумачити як потенційний конфлікт інтересів.

Список літератури:

1. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. В Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Volume I* (с. 309-317). NASA. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022592/downloads/19740022592.pdf>
2. Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A. E., & Tucker, C. J. (2016). Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24112-8>
3. Жолобак, Г. М., Сибірцева, О. М., Ваколюк, М. В., & Захарчук, Ю. В. (2017). Дистанційний моніторинг стану посівів озимої пшениці впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. за вегетаційними індексами супутника Sentinel-2A (на прикладі Лісостепової зони України). *Український журнал дистанційного зондування Землі*, (15), 23-30. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdzz_2018_15_5
4. Zhu, Z., Piao, S., Myneni, R. B., Huang, M., Zeng, Z., & Canadell, J. G. et al. (2016). Greening of the Earth and its drivers. *Nature Climate Change*, 6(8), 791-795. <https://doi.org/10.1038/nclimate3004>
5. Tarariko, O., Iliencko, T., Kuchma, T., & Velychko, V. (2017). Long-term prediction of climate change impact on the productivity of grain crops in Ukraine using satellite data. *Agricultural Science and Practice*, 4(2), 3-13. <https://doi.org/10.15407/agrisp4.02.003>
6. Ghazaryan, G., Dubovyk, O., Kussul, N., & Menz, G. (2016). Towards an Improved Environmental Understanding of Land Surface Dynamics in Ukraine Based on Multi-Source Remote Sensing Time-Series Datasets from 1982 to 2013. *Remote Sensing*, 8(8), 617. <https://doi.org/10.3390/rs8080617>
7. Boychenko, S., Kuchma, T., & Zabarna, O. (2022). Trends in the environmental conditions, climate change and human health in the Southern region of Ukraine. *Sustainability*, 14(9), 5664. <https://doi.org/10.3390/su14095664>
8. Turgut, B., & Güler, S. (2023). Assessment of soil quality index for different NDVI ranges in a watershed. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 47(6), Art.7. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3134>
9. United Nations Convention to Combat Desertification (2017). *Good Practice Guidance for SDG Indicator 15.3.1: Proportion of land that is degraded over total land area*.
10. Жуков, О. В., & Гофман, О. П. (2016). Аналіз часових рядів показника NDVI рослинності Великого Чапельського поду за 2010-2015 pp. *Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія*, 184, 40-46. https://www.researchgate.net/publication/311493631_Analiz_casovih_radiiv_pokaznika_NDVI_roslinnosti_Velikogo_Capelskogo_podu_za2010-2015_pp
11. Береї, С. С., & Карасевич, Н. В. (2021). Вплив основного обробітку ґрунту на його щільність та вологість у посівах жита озимого на схилі землях Передкарпаття. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*, 70(1), 34-43. [https://doi.org/10.32636/01308521.2021-\(70\)-1-3](https://doi.org/10.32636/01308521.2021-(70)-1-3)
12. Кібукевич Ю. (2021). Порівняльний аналіз показників NDVI для різночасових оптичних та радарних зображень. *Системні технології*, 5(136), 14-22. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-136-2021-02>
13. Індикатори цілей сталого розвитку. Державна служба статистики України. <https://sdg.ukrstat.gov.ua/uk/15/>
14. План ведення господарства Чернівецького надлісництва (2025) <https://e-forest.gov.ua/wp-content/uploads/2025/02/plan-lisoupr-2025-na-sajt-DP.pdf>
15. Головне управління статистики у Чернівецькій області. (2024). *Посівні площі сільськогосподарських культур під урожай 2024 року*. <http://www.cv.ukrstat.gov.ua/>

References:

1. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Volume I* (pp. 309-317). NASA. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022592/downloads/19740022592.pdf>
2. Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A. E., & Tucker, C. J. (2016). *Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24112-8>

3. Zholobak, H. M., Sybirtseva, O. M., Vakoliuk, M. V., & Zakharchuk, Yu. V. (2017). Дистанційний моніторинг стану посівів озимої пшениці впродовж весняно-літньої вегетації 2016 р. за вегетаційними індексами супутника Sentinel-2A (на прикладі Лісостепової зони України) [Remote monitoring of winter wheat crop condition during the 2016 spring-summer growing season using Sentinel-2A satellite vegetation indices (on the example of the Forest-Steppe zone of Ukraine)]. *Ukrainskyi Zhurnal Dystantsiinoho Zonduvannia Zemli*, (15), 23–30. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdz_2018_15_5
4. Zhu, Z., Piao, S., Myneni, R. B., Huang, M., Zeng, Z., Canadell, J. G., Ciais, P., Sitch, S., Friedlingstein, P., Arneeth, A., Cao, C., Cheng, L., Kato, E., Koven, C., Li, Y., Lian, X., Liu, Y., Liu, R., Mao, J., ... Zaehle, S. (2016). Greening of the Earth and its drivers. *Nature Climate Change*, 6(8), 791–795. <https://doi.org/10.1038/nclimate3004>
5. Tarariko, O., Iliencko, T., Kuchma, T., & Velychko, V. (2017). Long-term prediction of climate change impact on the productivity of grain crops in Ukraine using satellite data. *Agricultural Science and Practice*, 4(2), 3–13. <https://doi.org/10.15407/agrisp4.02.003>
6. Ghazaryan, G., Dubovyk, O., Kussul, N., & Menz, G. (2016). Towards an improved environmental understanding of land surface dynamics in Ukraine based on multi-source remote sensing time-series datasets from 1982 to 2013. *Remote Sensing*, 8(8), 617. <https://doi.org/10.3390/rs8080617>
7. Boychenko, S., Kuchma, T., & Zabarna, O. (2022). Trends in the environmental conditions, climate change and human health in the Southern region of Ukraine. *Sustainability*, 14(9), 5664. <https://doi.org/10.3390/su14095664>
8. Turgut, B., & Güler, S. (2023). Assessment of soil quality index for different NDVI ranges in a watershed. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 47(6), Article 7. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3134>
9. United Nations Convention to Combat Desertification. (2017). *Good practice guidance for SDG Indicator 15.3.1: Proportion of land that is degraded over total land area*. UNCCD.
10. Zhukov, O. V., & Hofman, O. P. (2016). Аналіз часових рядів показника NDVI рослинності Великого Чапельського поду за 2010-2015 рр. [Analysis of time series of the NDVI index for the vegetation of the Velykyi Chapelskyi Pod for 2010-2015]. *Naukovi Zapysky NaUKMA. Biolohiia Ta Ekolohiia*, 184, 40–46. https://www.researchgate.net/publication/311493631_Analiz_casovih_radiv_pokaznika_NDVI_roslinnosti_Velikogo_Capelskogo_podu_za2010-2015_rr
11. Behei, S. S., & Karasevych, N. V. (2021). Вплив основного обробітку ґрунту на його щільність та вологість у посівах жита озимого на схилі землях Передкарпаття [The influence of primary soil cultivation on its density and moisture in winter rye crops on the sloping lands of Precarpathia]. *Peredhirne Ta Hirske Zemlerobstvo I Tvarynnystvo*, 70(1), 34–43. [https://doi.org/10.32636/01308521.2021-\(70\)-1-3](https://doi.org/10.32636/01308521.2021-(70)-1-3)
12. Kibukevych, Yu. (2021). Порівняльний аналіз показників NDVI для різночасових оптичних та радарних зображень [Comparative analysis of NDVI indicators for multi-temporal optical and radar images]. *Systemni Tekhnologii*, 5(136), 14–22. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-136-2021-02>
13. Main Department of Statistics in Chernivtsi Oblast. (2024). *Posivni ploshchi silskohospodarskykh kultur pid urozhai 2024 roku* [Sown areas of agricultural crops for the 2024 harvest]. <http://www.cv.ukrstat.gov.ua/>
14. State Enterprise "Forests of Ukraine". (2025). *Plan vedennia hospodarstva Chernivetskoho nadlisnytstva* [Management plan for the Chernivtsi Forestry Enterprise]. <https://e-forest.gov.ua/wp-content/uploads/2025/02/plan-lisoupr-2025-na-sajt-DP.pdf>
15. State Statistics Service of Ukraine. (n.d.). *Indykatory tsilei staloho rozvytku* [Indicators of the sustainable development goals]. Retrieved June 24, 2025, from <https://sdg.ukrstat.gov.ua/uk/15/>

CHANGES IN VEGETATION COVERAGE AS AN INDICATOR OF SOIL CONDITION IN THE CARPATHIAN REGION AND ADJACENT TERRITORIES

D. I. Robuliak

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Ukraine, 58012, Chernivtsi, Kotsiubynsky 2 Str.
e-mail: robuliak.dmytro@chnu.edu.ua

The monitoring of land resources is a critical component of sustainable development, particularly in regions with mixed agro-forestry landscapes that are sensitive to both climatic shifts and anthropogenic pressures. This study presents a comprehensive analysis of long-term vegetation dynamics within the Chernivtsi Raion. The primary objective was to assess spatio-temporal trends in vegetation productivity by utilizing the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) as a key indicator of vegetation health and soil condition. A core component of the methodology was a comparative analysis of results derived from two distinct satellite data sources - the moderate-resolution MODIS sensor and the high-resolution Landsat archive - to understand how sensor characteristics influence the interpretation of land

degradation and improvement processes. The analysis was conducted using two independent, long-term satellite data archives. The first dataset comprised 16-day NDVI composites from the MODIS product MOD13Q1 at a 250-meter spatial resolution, covering the period from 2002 to 2024. The second dataset consisted of a harmonized time-series of Landsat 5, 7, 8, and 9 images at a 30-meter resolution for the years 2000 to 2024. For each year, a single representative image for the growing season (April–October) was generated. For MODIS, the annual metric was the mean NDVI of all composites within the season. For the more variable Landsat data, the median NDVI was calculated to create a robust annual composite resistant to outliers such as undetected clouds or sensor artifacts. A non-parametric, per-pixel trend analysis was performed on both time-series using the Kendall's Rank Correlation test to determine the direction and statistical significance of NDVI changes. Based on the Kendall's Tau (τ) coefficient and p -value ($\alpha = 0.05$), pixels were classified into three categories: "greening" (statistically significant positive trend), "browning" (statistically significant negative trend), and "stable". The comparative analysis revealed a significant and critical discrepancy between the trends identified by the two sensors. The MODIS data analysis indicated a predominant "browning" trend, with large, spatially contiguous areas of statistically significant NDVI decline observed throughout the study region. This suggested a widespread degradation of vegetation productivity. In stark contrast, the high-resolution Landsat analysis painted the opposite picture, showing a dominant "greening" trend. These positive changes were not uniformly distributed but were spatially concentrated in areas clearly corresponding to agricultural lands, forming a distinct mosaic of improvement. Despite this major conflict regarding the overall seasonal trend, both MODIS and Landsat data consistently showed a positive trend for the maximum July NDVI, indicating that peak summer vegetation productivity has been increasing across the region. It is concluded that the results derived from the Landsat archive are more representative of the actual on-the-ground biophysical changes. The discrepancy is primarily attributed to the difference in spatial resolution; the 30-meter Landsat data successfully captures field-level improvements in crop health or management intensity, whereas the coarse 250-meter MODIS pixels average these positive signals with non-vegetated or stable surfaces, masking the effect. Therefore, the primary conclusion of this study is that the Chernivtsi Raion has experienced a net "greening" over the past two decades, a process largely driven by the intensification of agricultural practices.

Keywords: vegetation cover, normalized vegetation index, spatial resolution, Kendall's rank correlation method, vegetation period, remote sensing, time series

Отримано редколегією 11.05.2025р.

ORCID ID

Дмитро Робуляк: <https://orcid.org/0009-0001-0816-0151>