

УДК 631.1

DOI <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2026.35.54>

АНАЛІЗ ЗМІНИ ІНДЕКСІВ ВЕГЕТАЦІЇ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

ШУЛЬГА С.С. – кандидат сільськогосподарських наук

orcid.org/0009-0005-0261-0771

Центральноукраїнський національний технічний університет

ВАСИЛЬКОВСЬКА К.В. – кандидат технічних наук, доцент

orcid.org/0000-0002-3524-4027

Центральноукраїнський національний технічний університет

МОРОЗ С.М. – кандидат технічних наук, доцент

orcid.org/0000-0001-5101-8460

Центральноукраїнський національний технічний університет

ВАСИЛЬКОВСЬКА М.О.

orcid.org/0009-0004-9941-5544

Центральноукраїнський національний технічний університет

Постановка проблеми. Кліматичні зміни безпосередньо впливають на продовольчу безпеку, оскільки спричиняють частіші посухи, довготривалі періоди спеки, нерівномірні опади та екстремальні погодні явища, що знижують врожайність основних культур і підвищують ризик втрати продукції. Нестабільність виробництва зерна та олійних, погіршення якості врожаю, зростання витрат на зрошення й захист рослин, а також коливання цін на продовольство в Україні та Світі [1, 2]. Ефективним рішенням є застосування цифрових та космічних технологій, які дозволяють проводити супутниковий моніторинг стану сільськогосподарських рослин та вирішувати важливі агротехнічні задачі.

Цифрова трансформація аграрного виробництва зробила супутникові дані доступними, але їх інтерпретація все ще залишається викликом.

Нормалізований відносний індекс рослинності (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) – це нормалізований вегетаційний індекс, що широко використовується в дистанційному зондуванні для кількісної оцінки стану рослинності на основі відбивної здатності у ближній інфрачервоній (NIR) та червоній (RED) частинах спектра [3]. NDVI дає числову оцінку ступеню фотосинтетичної активності рослин оцінити різницю поглинутого та відбитого спектрів.

Карти NDVI з супутникових даних дозволяють порівнювати динаміку розвитку рослинності на одному й тому ж полі у різні роки, що є дуже важливою інформацією для прийняття агрономічних рішень [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вказаними дослідженнями займалися такі закордонні та українські вчені і фахівці, зокрема: Ю. Кібукевич [1], М. Ліщук [5], Д. Гоздовські (D. Gozdowski) [6], Т. Еш (T. Esch) [7], Г. Мд-Таріп (H. Md-Tahir) [8], М. Малаєє (M. Mahlayeye), Ч. Сан (Ch. Sun), С. Догар (S. Dogar) та багато інших.

Наростаюча популярність інноваційних елементів точного землеробства в Україні стає потребою сьогодення, так як зниження екологічних ризиків та покращення ефективності агровиробництва неможливе без

змін. І саме, точне землеробство стає дедалі актуальнішим і важливішим методом господарювання в контексті зміни клімату, деградації ґрунтів, зростаючого антропогенного навантаження на природні ресурси, обумовлюючи необхідність забезпечення екобезпеки агроєкосистем [5].

Агрономічний аналіз на основі NDVI стає все більш необхідним у зв'язку із зростанням вимог до ефективного землекористування, адаптації до кліматичних змін, оптимізації сівозміни, обробітку ґрунту та управління агресурсами. У рослинництві NDVI застосовується, серед іншого, для моніторингу стану та життєздатності культур, прогнозування врожайності та визначення необхідної кількості добрив [6].

З розвитком технологій, таких як дистанційне зондування та моніторинг посівів, було досягнуто успіхів у отриманні даних про розподіл сільськогосподарських культур та просторову організацію статистичних даних про площі посівів на основі об'єднання інформації з різних джерел [7].

Порівняльний аналіз NDVI між різночасовими зображеннями супутникових знімків, надає можливість оцінки зміни фотосинтетичної активності рослин на конкретних ділянках поля протягом сезону або при порівнянні різних років [1].

Стан рослинності оцінюється як функція часу, що дозволяє враховувати середні, мінімальні та максимальні NDVI значення за вегетаційний період [8].

NDVI використовується для визначення зон продуктивності, оцінки проблемних ділянок, оптимізації відбору ґрунтових зразків та прогнозування врожайності [7].

Так, на думку Г. Мд-Таріас знімки, отримані за допомогою дистанційного зондування, є потужним інструментом для оцінки землекористування та ідентифікації сільськогосподарських культур. Поєднання дистанційного зондування із географічними інформаційними системами та використанням штучного інтелекту виявляються доволі ефективними для стратегічного планування та управління агресурсами [8].



Так, порівняння NDVI карт за різні роки є надзвичайно інформативним підходом, що дозволяє:

- оцінювати ефективність технологічних підходів (сівозміна, обробіток ґрунту) за різні проміжки часу,
- виявляти повторювані або аномальні зміни стану рослинності у різних сезонах,
- співвідносити зміни NDVI із кліматичними або агрономічними факторами.

Використання дистанційного зондування для картографування моделей землеробства зростає в останні роки, особливо в регіональному та глобальному масштабах. Незважаючи на це, все ще існують прогалини у використанні даних та методів дистанційного зондування для картографування різних моделей землеробства в різних масштабах. Також, зростає доступність зображень із достатньо високою роздільною здатністю, що сприяє отриманню якісних даних для оцінки точності отриманих результатів [9].

При отриманні оптичних даних різних типів культур потягом різних стадій вегетаційного періоду дослідниками із Китаю порівнювали чотири найуживаніші індекси для створення оптимальної моделі класифікації для картографування сільськогосподарських культур [10]. Точне розмежування зон є надзвичайно важливим для оптимізації використання ресурсів та підвищення врожайності в точному землеробстві. Електромагнітна індукція забезпечує швидкий, неінвазійний метод картографування мінливості ґрунту, тоді як нормалізований вегетаційний індекс (NDVI), отриманий за допомогою дистанційного зондування, фіксує динаміку надземних культур [10]. Проведено дослідження із інтеграція різних наборів індексів, таких як TVI, EVI, NDWI та NDTI, що покращує аналіз даних. Результати показали, що більшість індексів можна було розділити на початку вегетації, однак індекси краще розділялися в кінці вегетаційного періоду. Дані про врожайність сільськогосподарських культур та зразки ґрунту були використані для уточнення кластерів за допомогою статистичного аналізу. Результати досліджень надають практичні поради для точного землеробства, включаючи оптимізоване внесення добрив, зрошення та цільові втручання, а також можуть бути цінним ресурсом для моделювання навколишнього середовища та дослідження ґрунтів.

Дослідження із проксимального зондування ґрунту (EMI) та дистанційного зондування (NDVI) для визначення зон управління з високою роздільною здатністю, враховуючи мінливість, спричинену умовами навколишнього середовища під час збору даних, вимірювання EMI та Аналогічно, дані NDVI за вегетаційний період були обрані, оскільки вони представляли безперервний цикл вирощування культур до поділу досліджуваного поля на кілька ділянок [11].

Це забезпечило не тільки обчислювальну відмінність кластерів щодо вхідних даних, але й значну відмінність за характеристиками ґрунту та даними врожайності, тим самим підвищивши їх практичну значимість у точному землеробстві.

Результати показали, що зони управління на основі EMI краще відображають властивості підземних шарів, зокрема текстуру ґрунту та глибину, на якій відбуваються

зміни текстури. Для порівняння, зони управління на основі NDVI більш точно відповідали характеристикам верхнього шару ґрунту та картам врожайності, ефективно відображаючи мінливість надземної частини. Таким чином, інтеграція наборів даних EMI та NDVI забезпечила більш комплексне відображення просторової мінливості як характеристик ґрунту, так і врожайності, проаналізувати стан підземного ґрунту та продуктивність надземної рослинності, прийняти управлінські рішення щодо продуктивності, заповнюючи прогалину між властивостями ґрунту та станом культур.

Таким чином, різні підходи є як практичними (для управління полів), так і методологічно обґрунтованими (через часові ряди, мультиспектральні аналізи, інтеграція даних різних датчиків). Тому, важливим в подальших дослідженнях зрозуміти та інтерпретувати методологію в різних кліматичних умовах для вирощування різних сільськогосподарських культур, а також вивчити вплив додаткових джерел даних для подальшого поліпшення представлення неоднорідності ґрунту та культур у межах одного поля.

Мета. Метою дослідження є кількісна оцінка міжрічної варіабельності індексу NDVI в межах одного поля з урахуванням вирощуваної культури, попередника, системи обробітку ґрунту та погодних умов.

Матеріали та методика досліджень. В основу дослідження покладено системний підхід, у межах якого використовували загальноприйняті наукові методи абстрактного та логічного аналізу, синтезу, аналогії, порівняння та узагальнення наукових даних у сфері точного землеробства. Використано наукові праці та матеріали періодичних видань в аграрній сфері для узагальнення інформації.

Об'єктом дослідження є конкретне поле (визначене у вигляді полігону). Предметом дослідження є просторово-часова динаміка NDVI [12], який визначається за формулою:

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

де NIR – відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні спектра;

RED – відбиття у червоному діапазоні спектра.

Для коректної інтерпретації необхідно зібрати наступні дані:

- інформацію про культуру за кожен рік;
- дані про попередника;
- систему обробітку ґрунту;
- погодні дані (опаді, температура);
- дані про врожайність (за наявності);
- межі поля.

Під час аналізу необхідно враховувати, що різні культури мають різний NDVI-потенціал, посушливі роки знижують амплітуду індексу, системи обробітку впливають на збереження вологи та повторювані «слабкі» зони можуть свідчити про деградацію ґрунту, переущільнення та нерівномірність живлення.

Очікувані результати досліджень дадуть змогу виділити стабільні зони продуктивності, оцінити ефективність сівозміни, визначити вплив обробітку ґрунту та

сформувати основу для змінних норм внесення добрив.

Результати досліджень. Застосування дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в сільському господарстві підвищує продуктивність сільського господарства. Це дозволяє не просто мати якість глобальні дані про поверхню Землі дистанційно, але й забезпечувати роботу конкретного господарства [13].

Дослідження із впливу елементів технології вирощування сільськогосподарських культур на індекс вегетації та його аналіз, було поведено у 2024-2025 рр. у с. Христинівка, Христинівській міській громаді Уманського району Черкаської області.

Отримані дані про перебіг технологічних процесів, включаючи дані про ріст сільськогосподарських культур, моніторинг вологості ґрунту, наявність шкідників і попередження про їх появу, а також прогнозування врожайності [14].

Традиційні методи управління та аналізу земельних ресурсів є достатньо трудомісткими, а крім того іноді важко надати актуальну інформацію про різні зміни у землекористуванні. Отримано мультиспектральну інформацію із високою роздільною здатністю, що робить управління землекористування більш економічно ефективним (рис. 1, 2).

На дослідній ділянці у 2024 році вирощувалась кукурудза на зерно. Технологія вирощування культури включала боронування, культивування, посів, внесення гербіциду, міжрядну культивування та збирання. Технологія вирощування – Стріп-тіл (Strip-till).

Використовувався гібрид P8816 (Pioneer). На знімках, що зроблені 20.06.2024 року та 28.08.2024 року індекс вегетації у дві дати суттєво відрізняється. Як бачимо, на 28.06.2024 року активність вегетації була більшою, ніж на 28.08.2024 року. Так, більш високі значення індексу вегетації відповідають зеленому кольору, а зменшення цих значень змінюються від світло зеленого кольору до жовтого. Найбільш низькі значення індексу відповідають червоному кольору. Тобто, кожен відтінок кольору на індексній карті відтворює конкретну цифру вегетаційного індексу.

Зрозуміло, що змінна індексу вегетації на дві конкретні періоди розвитку кукурудзи на зерно відбувалась поступово. Аналіз показника на 28.06.2024 року дає змогу оцінити розвиток рослин кукурудзи в цей період, коли відбувається інтенсивне наростання листкової поверхні, починається закладка майбутніх качанів та початок фази викидання волотей. Так, середнє значення індексу знаходиться в межах 0,70-0,75, що відповідає нормальному розвитку рослин.

На 28.08.2024 року можемо оцінити розвиток рослин кукурудзи в період активної фази наливу зерна, середнє значення індексу знаходить в межах 0,58-0,63, що відповідає дуже посередньому розвитку рослин.

Враховуючи, особливості сезону 2024 року в зоні Лісостепу України, до якої належить дослідне поле, рання тепла весна дала можливість отримати швидкі сходи. Червень–липень цього року мав підвищені температури, місцями дефіцит вологи. Тому, відбувалось

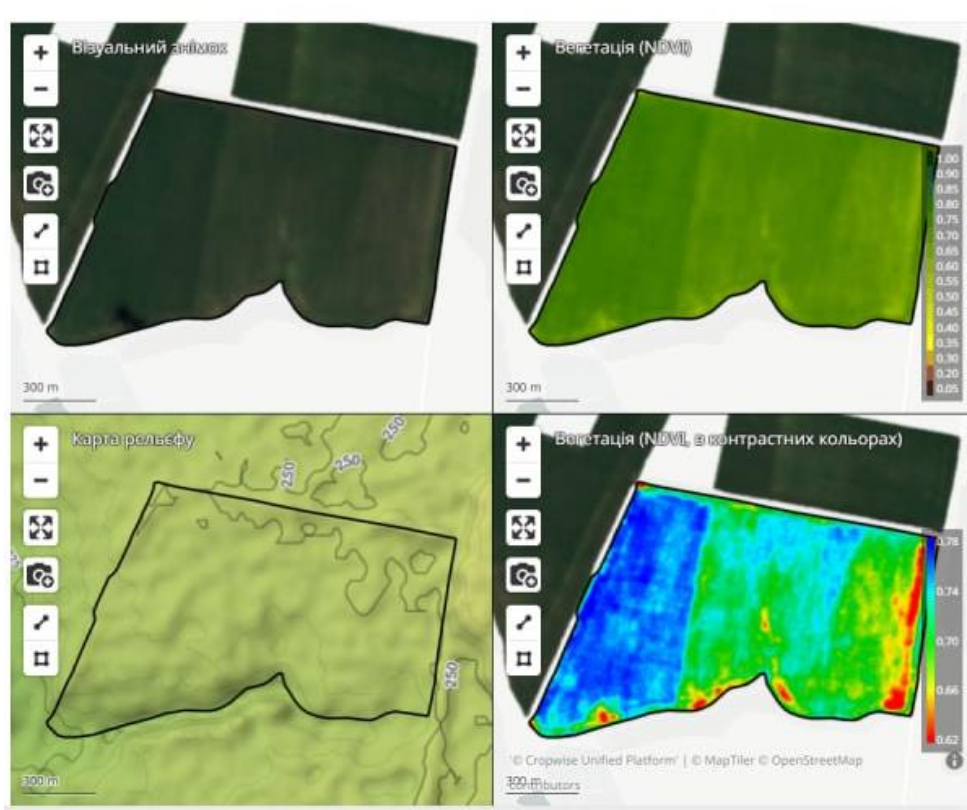


Рис. 1. Загальний вигляд досліджуваної ділянки поля 28.06.2024 року

Джерело: розроблено авторами із використанням [16]

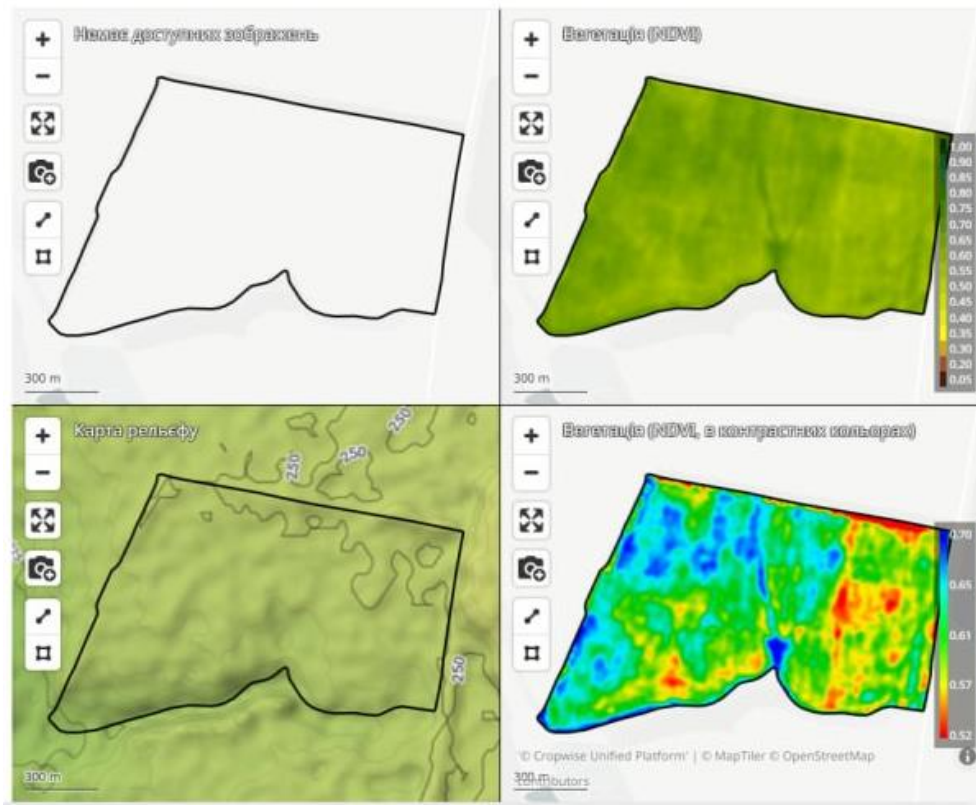


Рис. 2. Загальний вигляд досліджуваної ділянки поля 28.08.2024 року

Джерело: розроблено авторами із використанням [16]

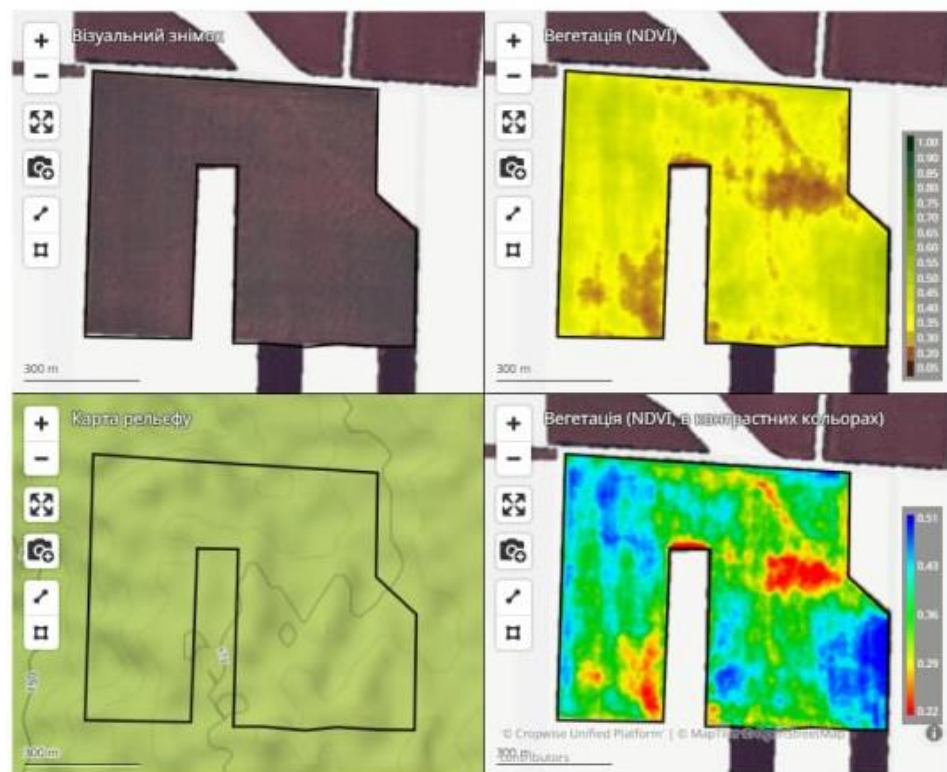


Рис. 3. Загальний вигляд досліджуваної ділянки поля 3.10.2025 року

Джерело: розроблено авторами із використанням [16]

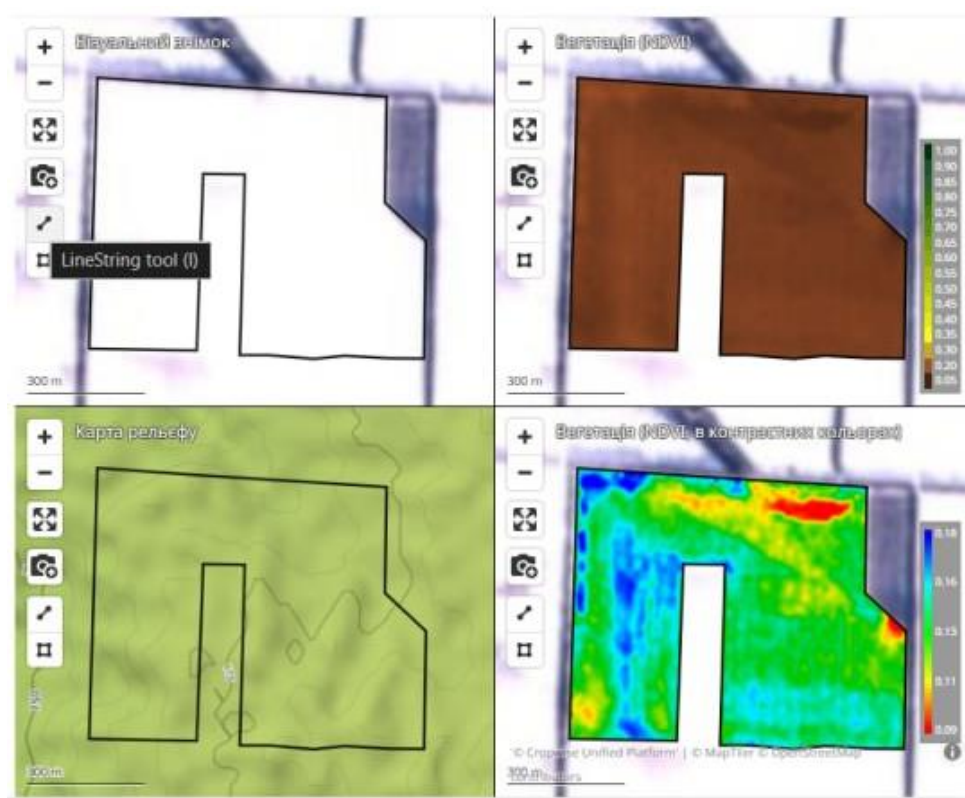


Рис. 4. Загальний вигляд досліджуваної ділянки поля 29.12.2025 року

Джерело: розроблено авторами із використанням [16]

прискорене накопичення активних температур і відповідно відбувався прискорений розвиток рослин, порівняно із середньобогаторічними даними. Нестача вологи спричинила раннє дозрівання та недобір врожайності.

На дослідній ділянці у 2025 році вирощувався соняшник. Технологія вирощування культури включала боронування, внесення ґрунтового гербіциду, культивування, посів, внесення фунгіциду та інсектициду, міжрядна культивування, внесення фунгіциду та інсектициду, збирання. Технологія вирощування – Стріп-тіл (Strip-till). Використовувався гібрид Белла (Lidea). Після соняшнику на ділянці посіяно ріпак озимий ІНВ1199 (BASF). Технологія вирощування культури включала боронування, внесення ґрунтового гербіциду та посів. Як бачимо на знімках, що зроблені 03.10.2025 року та 29.12.2025 року кольорове фото, із індексом вегетації у дві дати несуттєво відрізняється. Крім того, як видно на знімках – у сезоні 2025/2026 – на ділянці присутня рослинність, посіяно озимий ріпак. Станом на 03.10.2025 року активність вегетації була більшою, ніж на 29.12.2025 року. Аналіз показника на 03.10.2025 року дає змогу оцінити розвиток рослин ріпаку озимого в цей період, коли відбувається формування розетки листків. Так, середнє значення індексу знаходиться в межах 0,30-0,35. Індекс вегетації має замалі значення, так як рослинності замало для аналізу стану розвитку, що відповідає фазі розвитку.

На 29.12.2025 року можемо оцінити розвиток рослин ріпаку озимого в період у стані зимового спокою

(припинена вегетація), середнє значення індексу знаходить в межах 0,12-0,15. Рослини в цей час знаходяться в спокої, сніговий покрив відсутній.

Запаси вологи у восени 2025 року були недостатніми для оптимального зволоження ґрунту перед зимою, особливо у вересні, коли випало значно менше дощів, ніж зазвичай. Це вплинуло на розвиток ріпаку озимого, однак, в листопаді вологи випало 75 мм, тому ріпак мав змогу продуктивно формувати розетки.

Вплив елементів технології вирощування на врожайність відіграє незамінну роль в управлінні ростом і розвитком сільськогосподарських культур, а прогнозування врожайності є одним з важливих фундаментальних елементів забезпечення продовольчої безпеки [14, 15]. Традиційні методи прогнозування врожайності зазвичай передбачають доволі складне відбирання проб, що не тільки призводить до значних витрат людських і матеріальних ресурсів у практичному застосуванні, але й не досить ефективним.

Висновки. Індекс вегетації є одним із ключових інструментів сучасного точного землеробства. В умовах сучасної України, при зміні кліматичних умов, коли погодні коливання суттєво впливають на розвиток рослин. Індекс вегетації є інструментом ранньої діагностики проблем, основа точного землеробства, спосіб зменшення ризиків у посушливих умовах та допоміжним показником для прогнозу врожайності. В умовах кліматичних змін для Лісостепу України його використання стає не просто корисним, а стратегічно необхідним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Кібукевич Ю.О. Порівняльний аналіз показників NDVI для різночасових оптичних та радарних зображень. *Системні технології*, 2021. Вип. 5 (136). С. 22-27. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-136-2021-02>
- Vasytkovska K., Andriienko O., Malakhovska V. and Moroz O. Analysis of changes in comfortable sunflower growing areas using the example of Ukraine. *HELIA*, 2022. 45(77). Pp.175-189. <https://doi.org/10.1515/helia-2022-0010>
- Круглик Б. Вегетаційні індекси в сільському господарстві: NDVI, NDRE, MSAVI, NDMI. *WEAGRO*, 2025. URL: <https://weagro.ua/blog/vegetacijni-indeksy-v-silskomu-gospodarstvi-ndvi-ndre-msavi-ndmi/> (дата звернення 11.02.2026)
- Агро інновації від Soft.Farm: моніторинг вегетаційних індексів (NDVI) у сільському господарстві. *AGRI-GATOR*, 2020. URL: <https://agri-gator.com.ua/2020/06/16/ahro-innovatsii-vid-soft-farm-monitorynh-vehetatsijnykh-indeksiv-ndvi-u-silskomu-hospodarstvi-agronews/> (дата звернення 11.02.2026)
- Ліщук А.М., Парфенюк А.І., Карачинська Н.В., Безноска І.В. Інновації точного землеробства у зменшенні екологічних ризиків в агроекосистемах України. *Збалансоване природокористування*, 2024. № 3. С. 105-113. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2024.314928>
- Gozdowski D., Stępień M., Panek E., Varghese J., Bodecka E., Rozbicki Ja., Samborski S. Comparison of winter wheat NDVI data derived from Landsat 8 and active optical sensor at field scale. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2020. Vol. 20, 100409. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100409>
- Esch T., Metz A., Marconcini M., Keil M. Combined use of multi-seasonal high and medium resolution satellite imagery for parcel-related mapping of cropland and grassland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2014, Vol. 28, pp. 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.12.007>
- Md-Tahir H., Mahmood H.S., Husain M., Khalil A., Shoaib M., Ali, M., Ali M.M., Tasawar M., Khan Y.A., Awan U.K. et al. Localized crop classification by ndvi time series analysis of remote sensing satellite data; applications for mechanization strategy and integrated resource management. *AgriEngineering*, 2024. Vol. 6. pp. 2429–2444. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030142>
- Mahlayeye M., Darvishzadeh R., Nelson A. Cropping patterns of annual crops: a remote sensing review. *Remote Sens.* 2022, Vol. 14, 2404. <https://doi.org/10.3390/rs14102404>
- Sun Ch., Bian Ya., Zhou T., Pan Ji. Using of Multi-Source and Multi-Temporal Remote Sensing Data Improves Crop-Type Mapping in the Subtropical Agriculture Region. *Sensors*, 2019. Vol. 19(10). 2401. <https://doi.org/10.3390/s19102401>
- Dogar S.S., Brogi C., O'Leary D., Hernández-Ochoa I.M., Donat M., Vereecken H., Huisman J.A. Combining electromagnetic induction and satellite-based NDVI data for improved determination of management zones for sustainable crop production. *Soil*, 2025. Vol. 11(2). pp. 655–679. <https://doi.org/10.5194/soil-11-655-2025>
- Topolnyi S., Helevera O. Processing of SAT-Based GIS Data for the Agricultural Industry in Ukraine. In: Luntovskyy A., Klymash M., Melnyk I., Beshley M., Güter D. (eds) *Networks and Sustainability. TCSET 2024. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2025. 1473. https://doi.org/10.1007/978-3-032-02272-1_29
- Wang Ju., Wang Ya., Li G., Qi Zh. Integration of Remote Sensing and Machine Learning for Precision Agriculture: A Comprehensive Perspective on Applications. *Agronomy*, 2024. Vol. 14(9), 1975. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091975>
- Vasytkovska K.V., Leshchenko S.M., Vasytkovskyi O.M., Petrenko D.I. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 50(3). P. 13-20.
- Vasytkovska K., Andriienko O., Vasytkovskyi O., Andriienko A., Popov V., Malakhovska V. Dynamics of export potential of sunflower oil in Ukraine. *HELIA*, 2021. Vol. 44(74). pp. 115-123. <https://doi.org/10.1515/helia-2021-0001>
- Huisman O., Rolf A. *Principles of Geographic Information Systems (GIS): an Introductory Textbook*. 2009. Publisher: ITC Educational Textbook Series, The Netherlands. 540.

REFERENCES:

- Kibukevych Yu.O. (2021). Porivniialnyi analiz pokaznykiv NDVI dlia riznochasovykh optychnykh ta radarnykh zobrazhen [Comparative analysis of NDVI indicators for optical and radar images taken at different times]. *Systemni tekhnolohii*, 5 (136). 22-27. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-5-136-2021-02> [in Ukrainian]
- Vasytkovska K., Andriienko O., Malakhovska V. and Moroz O. (2022). Analysis of changes in comfortable sunflower growing areas using the example of Ukraine. *HELIA*, 45(77). 175-189. (DOI: <https://doi.org/10.1515/helia-2022-0010>)
- Kruhlyk B. (2025). Vebetatsiini indeksy v silskomu gospodarstvi: NDVI, NDRE, MSAVI, NDMI [Vegetation indices in agriculture: NDVI, NDRE, MSAVI, NDMI]. *WEAGRO*. URL: <https://weagro.ua/blog/vegetacijni-indeksy-v-silskomu-gospodarstvi-ndvi-ndre-msavi-ndmi/11.02.2026> [in Ukrainian]
- Ahro innovatsii vid Soft.Farm: monitorynh vehetatsiinykh indeksiv (NDVI) u silskomu gospodarstvi [Innovation from Soft.Farm: monitoring vegetation indices (NDVI) in agriculture]. (2020). *AGRI-GATOR*. URL: <https://agri-gator.com.ua/2020/06/16/ahro-innovatsii-vid-soft-farm-monitorynh-vehetatsijnykh-indeksiv-ndvi-u-silskomu-hospodarstvi-agronews/11.02.2026> [in Ukrainian]
- Lishchuk A.M., Parfeniuk A.I., Karachynska N.V., Beznosko I.V. (2024). Innovatsii tochnoho zemlerobstva u zmeshenni ekolohichnykh ryzykiv v ahroekosystemakh Ukrainy [Precision farming innovations in reducing environmental risks in Ukraine's agroecosystems]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 3. 105-113. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2024.314928> [in Ukrainian]
- Gozdowski D., Stępień M., Panek E., Varghese J., Bodecka E., Rozbicki Ja., Samborski S. (2020). Comparison of winter wheat NDVI data derived from Landsat 8 and active optical sensor at field scale. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20. 100409. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100409>

7. Esch T., Metz A., Marconcini M., Keil M. (2014). Combined use of multi-seasonal high and medium resolution satellite imagery for parcel-related mapping of cropland and grassland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 28. 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.12.007>
8. Md-Tahir H., Mahmood H.S., Husain M., Khalil A., Shoaib M., Ali, M., Ali M.M., Tasawar M., Khan Y.A., Awan U.K. et al. (2024). Localized crop classification by ndvi time series analysis of remote sensing satellite data; applications for mechanization strategy and integrated resource management. *AgriEngineering*, 6. 2429–2444. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030142>
9. Mahlayeye M., Darvishzadeh R., Nelson A. (2022). Cropping patterns of annual crops: a remote sensing review. *Remote Sens.* 14. 2404. <https://doi.org/10.3390/rs14102404>
10. Sun Ch., Bian Ya., Zhou T., Pan Ji. (2019). Using of Multi-Source and Multi-Temporal Remote Sensing Data Improves Crop-Type Mapping in the Subtropical Agriculture Region. *Sensors*, 19(10). 2401. <https://doi.org/10.3390/s19102401>
11. Dogar S.S., Brogi C., O'Leary D., Hernández-Ochoa I.M., Donat M., Vereecken H., Huisman J.A. (2025). Combining electromagnetic induction and satellite-based NDVI data for improved determination of management zones for sustainable crop production. *Soil*, 11(2). 655–679. <https://doi.org/10.5194/soil-11-655-2025>
12. Topolnyi S., Helevera O. (2025). Processing of SAT-Based GIS Data for the Agricultural Industry in Ukraine. In: Luntovskyy A., Klymash M., Melnyk I., Beshley M., Gütter D. (eds) *Networks and Sustainability. TCSET 2024. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 1473. https://doi.org/10.1007/978-3-032-02272-1_29
13. Wang Ju., Wang Ya., Li G., Qi Zh. (2024). Integration of Remote Sensing and Machine Learning for Precision Agriculture: A Comprehensive Perspective on Applications. *Agronomy*, 14(9), 1975. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091975>
14. Vasylykova K.V., Leshchenko S.M., Vasylykovskiy O.M., Petrenko D.I. (2016). Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 50(3). 13–20.
15. Vasylykova K., Andriienko O., Vasylykovskiy O., Andriienko A., Popov V., Malakhovska V. (2021). Dynamics of export potential of sunflower oil in Ukraine. *HELIA*, 44(74). 115–123. <https://doi.org/10.1515/helia-2021-0001>
16. Huisman O., Rolf A. (2009). *Principles of Geographic Information Systems (GIS): an Introductory Textbook*. Publisher: ITC Educational Textbook Series, The Netherlands. 540.

Шульга С.С., Васильковська К.В., Мороз С.М., Васильковська М.О. Аналіз зміни індексів вегетації при вирощуванні сільськогосподарських культур

Кліматичні зміни безпосередньо впливають на продовольчу безпеку, оскільки спричиняють частіші посухи, довготривалі періоди спеки, нерівномірні опади та екстремальні погодні явища, що знижують врожайність основних культур і підвищують ризик втрати продукції. Ефективним рішенням є застосування цифрових та

космічних технологій, які дозволяють проводити супутниковий моніторинг стану сільськогосподарських рослин та вирішувати важливі агротехнічні задачі.

Цифрова трансформація аграрного виробництва зробила супутникові дані доступними, але їх інтерпретація все ще залишається викликом.

Нормалізований відносний індекс рослинності – це нормалізований вегетаційний індекс, що широко використовується в дистанційному зондуванні для кількісної оцінки стану рослинності на основі відбивної здатності у ближній інфрачервоній (NIR) та червоній (RED) частинах спектра. NDVI дає числову оцінку ступеню фотосинтетичної активності рослин оцінити різницю поглинутого та відбитого спектрів.

Метою кількісна оцінка міжрічної варіабельності індексу NDVI в межах одного поля з урахуванням вирощуваної культури, попередника, системи обробітку ґрунту та погодних умов.

Методи. В основу дослідження покладено системний підхід, у межах якого використовували загальноприйняті наукові методи абстрактного та логічного аналізу, синтезу, аналогії, порівняння та узагальнення наукових даних у сфері точного землеробства. Використано наукові праці та матеріали періодичних видань в аграрній сфері для узагальнення інформації.

Результати. Отримані дані про перебіг технологічних процесів, включаючи дані про ріст сільськогосподарських культур, моніторинг вологості ґрунту, наявність шкідників і попередження про їх появу, а також прогнозування врожайності.

Традиційні методи управління та аналізу земельних ресурсів є достатньо трудомісткими, а крім того іноді важко надати актуальну інформацію про різні зміни у землекористуванні. Отримано мультиспектральну інформацію із високою роздільною здатністю, що робить управління землекористування більш економічно ефективним.

Вплив елементів технології вирощування на врожайність відіграє незамінну роль в управлінні ростом і розвитком сільськогосподарських культур, а прогнозування врожайності є одним з важливих фундаментальних елементів забезпечення продовольчої безпеки. Традиційні методи прогнозування врожайності зазвичай передбачають доволі складне відбирання проб, що не тільки призводить до значних витрат людських і матеріальних ресурсів у практичному застосуванні, але й не досить ефективним.

Висновки. Індекс вегетації є одним із ключових інструментів сучасного точного землеробства. В умовах сучасної України, при зміні кліматичних умов, коли погодні коливання суттєво впливають на розвиток рослин. Індекс вегетації є інструментом ранньої діагностики проблем, основа точного землеробства, спосіб зменшення ризиків у посушливих умовах та допоміжним показником для прогнозу врожайності. В умовах кліматичних змін для Лісостепу України його використання стає не просто корисним, а стратегічно необхідним.

Ключові слова: зміна клімату, точне землеробство, цифровізація, індекс рослинності.

Shulha S.S., Vasylykova K.V., Moroz S.M., Vasylykova M.O. Analysis of changes in vegetation indices during the cultivation of agricultural crops

Climate change directly affects food security, as it causes more frequent droughts, prolonged periods of heat, uneven rainfall, and extreme weather events, which reduce the yield of major crops and increase the risk of crop loss.

An effective solution is the use of digital and space technologies, which enable satellite monitoring of agricultural crops and the resolution of important agronomic issues.

The digital transformation of agricultural production has made satellite data accessible, but its interpretation remains a challenge.

The normalized relative vegetation index is a normalized vegetation index widely used in remote sensing to quantitatively assess vegetation condition based on reflectance in the near-infrared (NIR) and red (RED) parts of the spectrum. NDVI provides a numerical assessment of the degree of photosynthetic activity of plants by evaluating the difference between the absorbed and reflected spectra.

The aim is to quantitatively assess the interannual variability of the NDVI index within a single field, considering the crop grown, the predecessor, the tillage system, and weather conditions.

Methods. The study is based on a systematic approach, within which generally accepted scientific methods of abstract and logical analysis, synthesis, analogy, comparison, and generalization of scientific data in the field of precision farming were used. Scientific works and materials from periodicals in the agricultural field were used to summarize the information.

Results. Data was obtained on the course of technological processes, including data on crop growth, soil moisture

monitoring, the presence of pests and warnings about their appearance, as well as yield forecasting.

Traditional methods of land resource management and analysis are quite labor-intensive, and in addition, it is sometimes difficult to provide up-to-date information on various changes in land use. High-resolution multispectral information has been obtained, which makes land use management more cost-effective.

The impact of cultivation technology on crop yields plays an indispensable role in managing the growth and development of agricultural crops, and yield forecasting is one of the important fundamental elements of food security. Traditional methods of yield forecasting usually involve rather complex sampling, which not only leads to significant human and material resource costs in practical application, but is also not very effective.

Conclusions. The vegetation index is one of the key tools of modern precision farming. In the conditions of modern Ukraine, with changing climatic conditions, when weather fluctuations significantly affect plant development. The vegetation index is a tool for early diagnosis of problems, the basis of precision farming, a way to reduce risks in arid conditions, and an auxiliary indicator for yield forecasting. In the context of climate change in the forest-steppe zone of Ukraine, its use is not only useful but strategically necessary.

Key words: climate change, precision farming, digitalization, vegetation index.

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 06.05.2026