

УДК: 504:528.88+630.5

Глух О.С., к.х.н., доц.; Симканич О.І., к.х.н., доц.,
Качаєв В.М. студ., Глюдзик Е.І., асп.

ЗМІНА NDVI-ІНДЕКСУ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ ПРОТЯГОМ 2000-2022 РОКІВ

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 88000, м. Ужгород, вул. Підгірна, 46;
e-mail: oleg.glukh@uzhnu.edu.ua

Систематичний моніторинг Карпатського регіону необхідний для збереження його унікального природно-ресурсного потенціалу. Зручним та інформативним показником стану рослинного покриву є NDVI-індекс – Нормалізований Диференційний Вегетаційний Індекс, який розраховується на основі супутникових даних про поглинання та відбивання досліджуваною поверхнею червоного та ближнього інфрачервоного випромінювання.

Для дослідження динаміки значень вегетаційного індексу та стану рослинного покриву Карпатського регіону, завантажено та оброблено знімки космічних проектів Landsat 7 і 8 за 2000, 2013, 2020, 2021 та 2022 роки. Оптимальним показником для аналізу зміни стану рослинного покриву у просторі і часі є інтегральний індекс $NDVI_{сер}$. Для 12-ти із 15-ти оброблених знімків найбільше значення інтегрального індексу $NDVI_{сер}=0,40-0,42$ встановлено для полігону 1, що охоплює частину Закарпатської області. Найменші значення 0,13-0,16 встановлено для полігону 3, що покриває частини Львівської, Івано-Франківської та Тернопільської областей. Розраховано значення площ ареалу, вкритих здоровою або густою рослинністю, для яких $NDVI > 0,33$. Максимальне значення такого показника встановлено для полігону 1 у 2021 році – 81,54%, мінімальне – 52,89% - для полігону 3 у 2013 році.

Ключові слова: Карпатський регіон; рослинний покрив; вегетаційний індекс; багатоспектральний аналіз; растр; екстент.

Всебічне дослідження стану лісових екосистем України у контексті реалізації концепції сталого розвитку [1], а також у зв'язку із загрозами, пов'язаними із змінами клімату, є актуальним як у регіональному, так і глобальному масштабах. Важливим інструментом таких досліджень є використання багатоспектральних супутникових знімків з високою роздільною здатністю, які збільшують якість оцінки стану рослинного покриву як сільськогосподарських угідь, так і лісів. Космічний проект Landsat добре зарекомендував себе як джерело якісних і достовірних супутникових даних [2].

Площа Карпатського регіону становить 9,4% від площі України. При цьому середня лісистість території регіону досягає 36,7% [3]. Систематичний моніторинг цього регіону необхідний для збереження його унікального природно-ресурсного потенціалу.

Зручним та інформативним показником стану рослинного покриву є NDVI-індекс – Нормалізований Диференційний Вегетаційний Індекс [4], який розраховується на основі супутникових даних про поглинання та відбивання досліджуваною поверхнею червоного та ближнього інфрачервоного випромінювання і набуває значень від -1 до +1. Негативні значення індексу свідчать про поверхні, вкриті водою, льодом або снігом. Значення близькі до нуля, вказують на хмари та ґрунти без рослинності. Високі значення NDVI-індексу є ознакою густої та здорової рослинності.

У роботі використано дані проектів Landsat 7 і 8 [5]. Знімки, використані для розрахунку NDVI-індексу Карпатського регіону на території України (частини Закарпатської, Львівської, Івано-Франківської та Тернопільської областей), одержані за допомогою сенсору OLI супутників Landsat 7 (2000, 2013 pp.) –

спектральні канали 3 (Band 3 – Red, 640-670 нм) та 4 (Band 4 – Near Infrared (NIR), 850-880 нм) і Landsat 8 (2020-2022 рр.) – спектральні канали 4 (Band 4 – Red, 640-670 нм) та 5 (Band 5 – Near Infrared (NIR), 850-880 нм) відповідно [6]. Роздільна здатність – 30 м. Вихідні та одержані растри представлені у географічній системі координат WGS84 та картографічній проекції UTMzone34N. Площа екстену космічного знімку - 35992 км² (3599200 га).

Обробку знімків здійснювали у середовищі відкритої ГІС Saga (версія 8.4.1) [7]. Для цього попередньо завантажені растрові файли у форматі TIF обробляли з використанням інструменту Geoprocessing→Imagery→Vegetation Indices→Vegetation Index (SlopeBased). Одержаний растр Normalized Difference Vegetation Index накладали на векторний шар карти України з адміністративними кордонами областей.

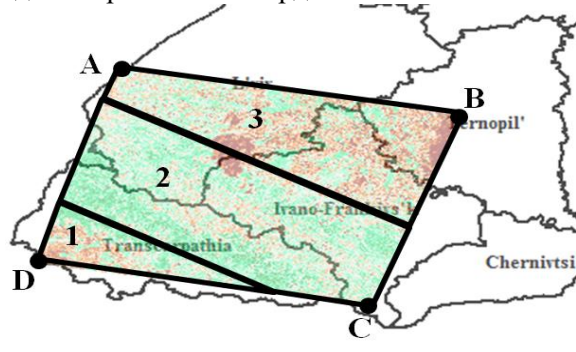


Рис. 1. Оверлей растру Normalized Difference Vegetation Index та векторного шару UKR_adm.shp.

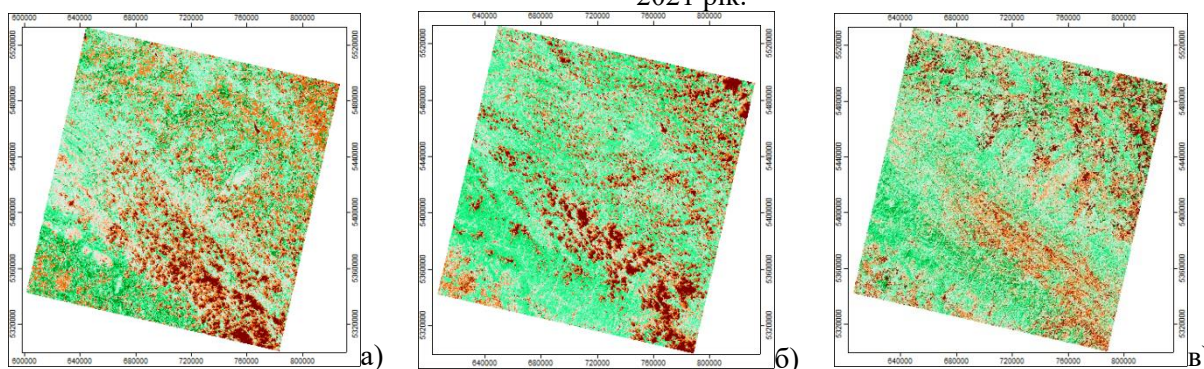


Рис. 2. Растри NDVI досліджуваного ареалу за травень (а), серпень (б) та вересень (с) 2021 року.

Для розрахунку NDVI-індексу досліджуваної території протягом 2021 року використовували знімки проекту Landsat 8. Похибка, зумовлена хмарністю, мінімальна

Досліджуваний растр (екстен) ділили за допомогою інструменту Clip Grid with Polygon на три нові растри (Рис.1).

Полігон 1 – частина території Закарпатської області (7% від площі екстену), полігон 2 – гірський масив Карпат на території України (45% від площі екстену), полігон 3 - частини територій Львівської, Івано-Франківської та Тернопільської областей (48% від площі екстену).

Для кожного полігону будували гістограму, зберігали її у вигляді таблиці, яку, у свою чергу, аналізували з використанням програми Microsoft Excel. При цьому використовували дані колонок AREA (площа класу) та CENTER (середнє значення NDVI-індексу). Для кожного растру розраховували значення NDVI-індексу – мінімальне, максимальне та інтегральне (синонім середнє). Крім цього, обчислювали загальну площу ділянок растру, для яких NDVI-індекс > 0,33. Такі ділянки характеризуються здоровою і/або густою рослинністю.

З метою аналізу динаміки значень вегетаційного індексу та стану рослинного покриву Карпатського регіону, завантажено та оброблено знімки за 2000, 2013, 2020, 2021 та 2022 роки. Для весняного, літнього та осіннього сезонів кожного року здійснювали пошук трьох наборів знімків (по одному на сезон) з мінімальною хмарністю.

Так, на Рис. 2 представлено растри за 2021 рік.

для знімків у серпні та вересні (0,00%), максимальна – для знімку у травні (0,31%).

Максимальне значення NDVI-індексу +0,66 встановлено для полігону 1, мінімальне +0,01 встановлено для полігону 2.

Максимальну частку території, вкритої здоровою рослинністю ($NDVI > 0,33$) 83,21% встановлено для полігону 2.

Оптимальним показником для аналізу зміни стану рослинного покриву у просторі і часі є інтегральний індекс $NDVI_{сер}$ (Рис.3).

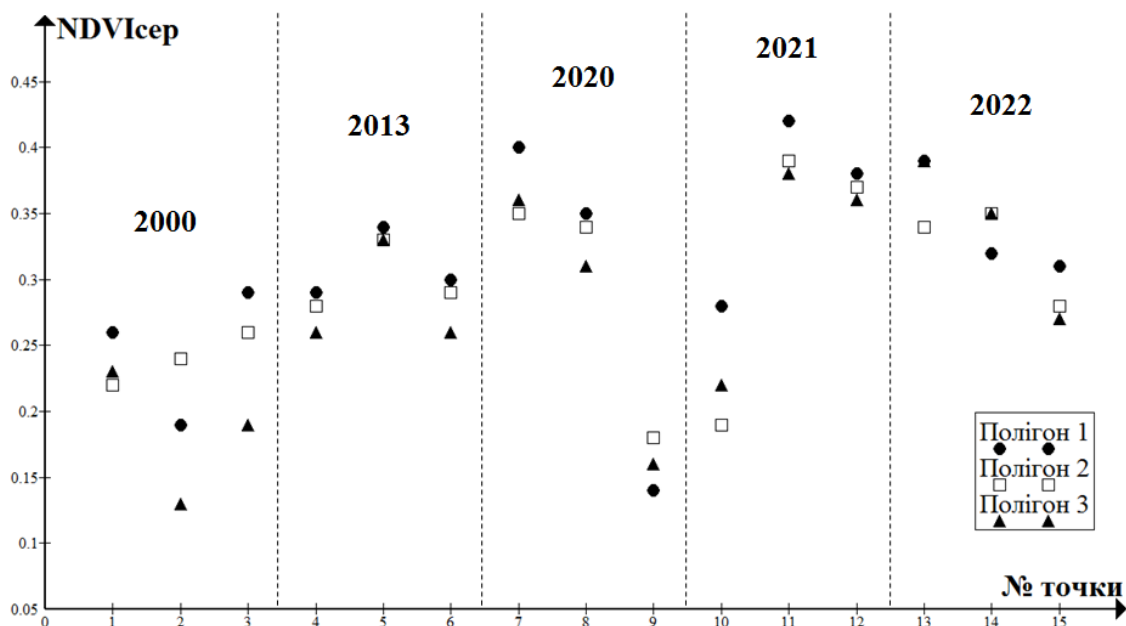


Рис. 3. Зміна інтегрального індексу $NDVI_{сер}$ протягом досліджуваного періоду.

Сезонна зміна значення індексу $NDVI$ для будь-якої вкритої рослинністю території графічно може бути зображена у вигляді кривої з максимумом у серпні-вересні.

Відомо, що на значення $NDVI$ -індексу впливає [8] кількість «здорового» хлорофілу, яка залежить від середньої температури повітря, кількості опадів та кількості сонячних днів за відповідний сезон, видовий склад і стан рослинного покриву, його хвороби. Розширення сільськогосподарських угідь, забудова територій, лісові пожежі і вирубування лісу зменшують значення індексу.

Коливання значень температури повітря, кількості опадів та сонячних днів протягом періоду 2000-2022 років на

території Західної України відбувались у межах норми, без помітних аномалій.

Тому, вплив цього фактору на значення вегетаційного індексу рослинності Карпатського регіону можна вважати незначним.

Для 12-ти із 15-ти оброблених знімків (Рис.3) найбільше значення інтегрального індексу $NDVI_{сер}=0,40-0,42$ встановлено для полігону 1. Найменші значення 0,13-0,16 встановлено для полігону 3. Сезонна зміна вегетаційного індексу має періодичний характер з мінімумом у зимовий період, та максимумом у серпні-вересні. У межах вибірки 2000, 2013, 2020-2022 рр. можна спостерігати тренд до зменшення значень $NDVI$ -індексу та зменшення площі території, вкритої здоровою та/або густою рослинністю.

Таблиця 1. Значення показника NDVI>0,33 на території досліджуваного ареалу протягом 2000-2021 рр.

Полігон	1		2		3	
Площа полігону, га	251944		1619640		1727616	
Дата	Частка території з NDVI>0,33, %	Площа, га	Частка території з NDVI>0,33, %	Площа, га	Частка території з NDVI>0,33, %	Площа, га
серпень 2000*	13,83	34844	19,31	312752	3,2	55284
серпень 2013	55,22	139123	56,99	923033	52,89	913736
серпень 2020	88,11	221988	64,58	1045964	67,56	1167177
серпень 2021	81,54	205435	72,83	1179584	70,46	1217278
серпень 2022	75,61	190494	64,03	1037055	64,59	1115867

*значення показників занижені через значну хмарність на усіх знімках за серпень 2000 року

Отримані результати показали збільшення площі здорової (густої) рослинності на території полігону 1 (частина Закарпатської області) з досягненням максимального значення у 2020 році – 88,11 %. У 2021 і 2022 роках площа зменшується до 81,54 % та 75,61 % відповідно.

Для полігонів 2 і 3 максимальне значення площі вкритої здоровою (густою) рослинністю встановлено у 2021 році: 72,83 % та 70,46 % відповідно. У наступному 2022 році показники зменшуються до 64,03 % та 64,59 %.

Зменшення площі вкритої здоровою рослинністю на території полігону 1 у 2022 році, порівняно із 2021 роком становить 81,54-75,61=5,93 % або 14941 га. Згідно екологічного паспорту Закарпатської області за 2021 рік (документ опубліковано у 2022 році) [9], лісогосподарських заходів, пов'язаних із вирубуванням деревини, проведено загальною площею 19450 га – що становить 3,37 % від площі вкритою лісовою рослинністю. У той же час, заходи лісовідновлення проведено на території загальною площею 2129 га (0,37 % площі вкритою лісовою рослинністю). В цілому, за

2021 рік на території Закарпатської області – зменшення площі лісових насаджень становило $3,37-0,37=3,00$ %. Аналогічні розрахунки проведено для полігонів 2 і 3.

Варто відмітити, що межі досліджуваних полігонів 1-3 встановлені периметром екстену і досить наближеним поділом на гірську та передгірські частини, а тому не співпадають з адміністративними межами Закарпатської, Львівської, Івано-Франківської областей. Однак, одержані значення площ території із значеннями NDVI>0,33 та динаміка їх зміни вказують на співрозмірність із офіційними даними щодо лісистості досліджуваних областей, зазначених у відповідних екологічних паспортах.

Враховуючи потужний природно-ресурсний потенціал та біологічне різноманіття українських Карпат та їх рослинного покриву, встановлена тенденція до зменшення значень вегетаційного індексу NDVI та площі території із NDVI>0,33 за досліджуваний період, викликає занепокоєння і вимагає прийняття негайних рішень на рівні органів державної влади.

Список використаних джерел

1. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року: Указ Президента України від 30.09.2019 №722/2019. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>
2. Landsat Explorer. - Режим доступу: <https://livingatlas2.arcgis.com/landsatexplorer/>
3. Кравців В.С. Карпатський регіон: актуальні проблеми та перспективи розвитку: монографія у 8 томах. Львів: *Арал*, 2013. Том 1. С. 336.
4. Pettorelli N., Olav Vik J., Mysterud A., Gaillard J.-M., Tucker C.J., Stenseth N.C., Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*. 2005. 9(20), 503-511. Doi: 10.1016/j.tree.2005.05.011.
5. NASA Landsat Program, 2022. Landsat OLI/TIRS сцена LC08_L2SP_185026_20220928_20221005_02_T1_SR_B4, L1T, USGS, 28.09.2022. - Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov>.
6. Лялько В.І. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. Київ: *Наукова думка*, 2006. С. 357.
7. Офіційний сайт SAGA. - Режим доступу: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>
8. Hayes D.J. Spatial, spectral and temporal patterns of tropical forest cover change as observed with multiple scales of optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*. 2007, 1(106), 1–16. Doi: 10.1016/j.rse.2006.07.002.
9. Екологічний паспорт Закарпатської області. 2021. - Режим доступу: https://ecozakarpat.gov.ua/wp-content/nd/2021_ecopasport.pdf

Стаття надійшла до редакції: 15.05.2023.

THE NDVI INDEX CHANGE OF THE CARPATHIAN REGION OF UKRAINE DURING 2000-2022

Glukh O.S., Symkanych O.I., Kachaiev V.M., Hliudzyk E.I.

*Uzhhorod national university, 88000, Uzhhorod, Pidhirna str.,46;
e-mail: oleg.glukh@uzhnu.edu.ua*

Systematic monitoring of the Carpathian region is necessary to preserve its unique natural resource potential. The NDVI index, or - Normalized Differential Vegetation Index, - is a convenient and informative indicator of the state of the vegetation cover, and is calculated on the basis of satellite data on the absorption and reflection of red and near-infrared radiation by the studied surface.

To study the dynamics of vegetation index values and the state of the vegetation cover of the Carpathian region, images from the space projects Landsat 7 and 8 for the years 2000, 2013, 2020, 2021 and 2022 were downloaded and processed. The best indicator for analyzing changes in the state of vegetation cover in space and time is the integral index $NDVI_{mean}$. For 12 out of 15 processed images, the highest value of the integral index $NDVI_{mean}=0.40-0.42$ was found for polygon 1, which covers part of the Transcarpathian region. The lowest values of 0.13-0.16 were found for polygon 3, which covers parts of the Lviv, Ivano-Frankivsk, and Ternopil regions. The values of the areas covered with healthy or dense vegetation, for which $NDVI>0.33$, were calculated. The maximum value of this indicator was 81.54% for polygon 1 in 2021, and the minimum was - 52.89% - for the polygon 3 in 2013.

Keywords: Carpathian region; vegetation cover; vegetation index; multispectral analysis; raster; extent.

References

1. Pro Tsili staloho rozvytku Ukrainy na period do 2030 roku: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 30.09.2019 №722/2019. - Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (in Ukr.).
2. Landsat Explorer. - Rezhym dostupu: <https://livingatlas2.arcgis.com/landsatexplorer/>

3. Kravtsiv V.S. Karpatskyi rehion: aktualni problemy ta perspektyvy rozvytku: monohrafiia u 8 tomakh. Lviv: *Aral*, 2013. Tom 1. S. 336 (in Ukr.).
4. Pettorelli N., Olav Vik J., Mysterud A., Gaillard J.-M., Tucker C.J., Stenseth N.C., Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*. 2005. 9(20), 503-511. Doi: 10.1016/j.tree.2005.05.011.
5. NASA Landsat Program, 2022. Landsat OLI/TIRS stsena LC08_L2SP_185026_20220928_20221005_02_T1_SR_B4, L1T, USGS, 28.09.2022. - Rezhym dostupu: <https://earthexplorer.usgs.gov>.
6. Lialko V.I. Bahatospektralni metody dystantsiinoho zonduvannia Zemli v zadachakh pryrodokorystuvannia. Kyiv: *Naukova dumka*, 2006. S. 357 (in Ukr.).
7. Ofitsiinyi sait SAGA. - Rezhym dostupu: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>
8. Hayes D.J. Spatial, spectral and temporal patterns of tropical forest cover change as observed with multiple scales of optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*. 2007, 1(106), 1–16. Doi: 10.1016/j.rse.2006.07.002.
9. Ekolohichnyi pasport Zakarpatskoi oblasti. 2021. - Rezhym dostupu: https://ecozakarp.at.gov.ua/wp-content/nd/2021_ecopasport.pdf (in Ukr.).