

УДК: 504:528.88+630.5+352

¹Глух О.С., к.х.н., доц.; ¹Симканич О.І., к.х.н., доц.; ¹Піпаш В.В., студ.;
¹Шварц Р.Р. асп.; ^{2,3}Молнар-Бабіля Д.І., к.х.н., доц.

АНАЛІЗ СТАНУ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ ГРОМАД УЖГОРОДСЬКОГО РАЙОНУ НА ОСНОВІ ЗНАЧЕНЬ NBR-ІНДЕКСУ

¹ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 88000,
м. Ужгород, вул. Підгірна 46;

²Закарпатський угорський інститут ім. Ф. Ракоці II, 90202,
м. Берегово, пл. Кошута, 6;

³Мукачівський державний університет, 89600, м. Мукачево, вул. Ужгородська 26;
e-mail: oleg.glukh@uzhnu.edu.ua

Важливим ресурсом Ужгородського району і його чотирнадцяти територіальних громад є рослинний покрив, який характеризується значною фітоценотичною різноманітністю. Ландшафти Ужгородського району зазнали суттєвих антропогенних змін, особливо в рівнинній частині, де переважають сільськогосподарські угіддя, переважно рілля та пасовища. Для моніторингу стану рослинного покриву з використанням даних дистанційного зондування використовуються численні вегетаційні індекси, серед яких – NBR – нормалізований індекс вигорання. Такий індекс є інформативним кількісним показником стану рослинності в цілому і у результаті впливу пожеж зокрема. Для розрахунку і порівняння індексу NBR було використано знімки з мінімальною хмарністю за серпень-вересень 2023 року. Обраний період зумовлений температурним піком та сезонним спалюванням сухоостою. Також, в кінці літа на початку осені починається збір врожаю злакових та інших сільськогосподарських культур, у результаті чого відбувається суттєве зменшення рослинного покриву, що впливає на відбивну здатність поверхні та значення індексу NBR. Проаналізовано значення площі громад з негативними значеннями NBR індексу та їх кореляцію з загальною площею та чисельністю населення.

Ключові слова: Ужгородський район; територіальні громади; рослинний покрив; нормалізований індекс вигорання; багатоспектральний аналіз; растр; пожежі.

Ужгородський район у Закарпатській області був створений 17 липня 2020 року згідно з постановою Верховної Ради України №807-ІХ. До його складу входять 14 громад: Ужгородська, Чопська, Перечинська міські, Костринська, Ставненська, Дубриницько-Малоберезнянська, Тур'є-Реметівська, Баранинська, Великодобронська, Оноківська, Сюртівська, Холмківська сільські, Великоберезнянська, Середнянська селищні територіальні громади. Усі громади налічують 125 населених пунктів [1].

Рослинний світ Ужгородського району характеризується значною фітоценотичною різноманітністю. Ландшафти Ужгородського району зазнали суттєвих антропогенних змін, особливо в рівнинній частині, де

переважають сільськогосподарські угіддя, переважно рілля та пасовища. Тут також збереглися залишки водно-болотних угідь, особливо в заплавах нижньої течії річок Тиса та Латориця. В межах річок можна знайти дубові та вербово-тополеві заплавні ліси.

Завдяки значним перепадам висот в Ужгородському районі спостерігається вертикальна зміна природних умов. За характеристиками ґрунтово-рослинного покриву в регіоні виділяють п'ять поясів: передгірний пояс широколистяних лісів і луків (до 600 м), де на дерново-підзолистих ґрунтах ростуть мішані ліси з дуба, граба та ялиці, що чергуються з луками, пасовищами та сіножатями; нижній гірсько-лісовий пояс (приблизно до 1100 м), який складається з

букових і змішаних ялицево-букових лісів [2].

Для моніторингу стану рослинного покриву поверхні Землі використовують технологію спектрального аналізу супутникових знімків високої роздільної здатності і розраховані на їх основі вегетаційні індекси – числові показники, які показують співвідношення інтенсивностей відбитого випромінювання у різних діапазонах спектру [3]. Зокрема, такими показниками є: NDVI – нормалізований диференційний вегетаційний індекс (враховує відбиття у червоній RED та ближній інфрачервоній NIR областях спектру), EVI – вдосконалений вегетаційний індекс (RED, NIR, BLUE), GNDVI – зелений нормалізований вегетаційний індекс (NIR, GREEN), CVI – вегетаційний індекс хлорофілу (RED, NIR, GREEN), NBR – нормалізований індекс вигорання (NIR, SWIR) [4].

Значний вплив на стан рослинного покриву мають пожежі, які виникають як у сезон літньої спеки, так і восени та навесні у результаті навмисного підпалу сухоостою. Зручним способом моніторингу наслідків вигорання рослинності є використання нормалізованого індексу вигорання NBR. Розрахунок індексу NBR проводять за формулою:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

де NIR – інтенсивність відбитого випромінювання у частині спектру Near InfraRed (ближнє інфрачервоне); SWIR – інтенсивність відбитого випромінювання у частині спектру Short

wavelength infrared (короткохвильове інфрачервоне).

Здорова рослинність демонструє дуже високу відбивну здатність у NIR та низьку відбивну здатність у SWIR частині спектра. Протилежні закономірності спостерігаються на ділянках, зруйнованих пожежею.

У роботі використано дані проекту Landsat 8 [5]. Знімки, використані для розрахунку NBR-індексу, одержані за допомогою сенсору OLI супутника Landsat 8 – спектральні канали 5 (Band 5 – Near Infrared (NIR), 850-880 нм) та 7 (Band 7 – Short wavelength infrared (SWIR2), 2100-2300 нм) відповідно. Роздільна здатність – 30 м. Вихідні та одержані растри представлені у географічній системі координат WGS84 та картографічній проекції UTMzone34N. Обробку знімків здійснювали у середовищі відкритої ГІС QGIS (версія 3.38.3) [6]. За допомогою шейп-файлів 14-ти громад Ужгородського району вирізано фрагменти растру і проаналізовано кожен з них.

Для розрахунку і порівняння індексу NBR було використано знімки з мінімальною хмарністю за серпень-вересень 2023 року. Обраний період зумовлений температурним піком та сезонним спалюванням сухоостою. Обидва фактори є причиною локальних та масштабних пожеж. Крім цього, у серпні-вересні починається збір врожаю злакових та інших сільськогосподарських культур, у результаті чого відбувається суттєве зменшення рослинного покриву, що впливає на відбивну здатність поверхні та значення індексу NBR. Приклади карт індексу NBR для деяких громад Ужгородського району представлено на рисунках 1-2.



Рис. 1. Карты NBR індексу Великоберезнянської ОТГ на основі знімку від 6 серпня 2023 року (а) та 30 вересня 2023 року (б).



Рис. 2. Карти NBR індексу Ставненської ОТГ на основі знімку від 6 серпня 2023 року (а) та 30 вересня 2023 року (б).

Слід відмітити, що негативні значення індексу NBR, відображені на картах червоними пікселями, можуть вказувати не лише на пожежу у момент фіксації супутником чи згарище після неї, але й на ґрунт без рослинності. Так, ділянки, які були очищені від рослинності іншими способами - вирубка лісу, скошування трави, висихання, переорювання тощо – також відображаються червоними пікселями на карті і мають негативні значення NBR індексу. Щоб відрізнити спалені ділянки від поверхні без рослинності, слід проводити додаткові дослідження – аналіз супутникових знімків у спектральних каналах TIR (thermal infrared - Bands 10 and 11), які дають можливість вимірювати температуру земної поверхні і виявляти температурні аномалії. Також для більш точного визначення природи явища на поверхні Землі можна використати польовий метод. [7]

Оскільки інтенсивність відбитого рослинністю випромінювання у короткохвильовій області SWIR і червоній RED приблизно однакова [8], то значення індексів NBR та NDVI – приблизно однакові: негативні значення свідчать про відсутність рослинності або її незадовільний стан, високі позитивні значення – про наявність густої здорової рослинності на досліджуваній території. Інформативним є аналіз динаміки зміни площ з негативним значенням індексу.

У таблиці 1 узагальнено дані щодо частки площі 14-ти громад Ужгородського району з негативним значенням NBR індексу та їх зміну протягом досліджуваного періоду.

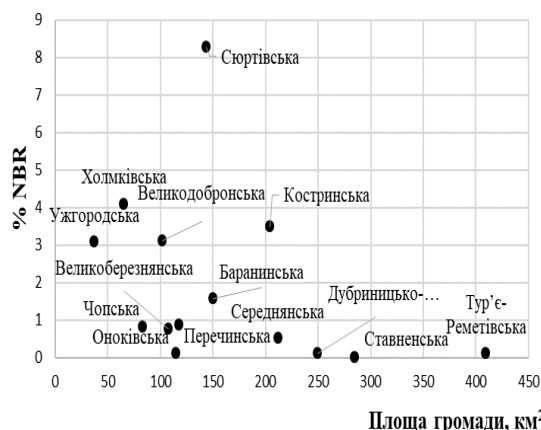
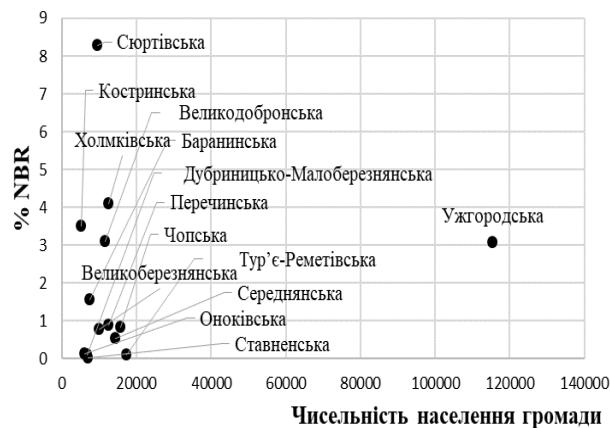
Для дослідження зв'язку між часткою площі громади з негативним значенням індексу NBR та деякими її кількісними

показниками. проаналізовано залежності, представлені на рисунках 3 та 4 та розраховано коефіцієнт кореляції. Виявлено слабкий зв'язок - коефіцієнт кореляції = 0.14 між негативним значенням NBR та кількістю населення ОТГ. З іншого боку, спостерігається більш виражений, але негативний зв'язок ($r = -0.37$) між негативним значенням NBR та площею ОТГ. Це може свідчити про те, що більш статистично значущий зв'язок існує між значеннями частки площі громади з негативним значенням індексу NBR та площею громади [9].

Розподіл громад Ужгородського району за залежністю частки їх території з негативним значенням індексу NBR від чисельності населення вказує на існування 4-х груп. До першої групи належать громади з невеликою кількістю населення і невеликою часткою території з негативним значенням NBR індексу – Баранинська. Перечинська. Чопська. Оноківська. Середнянська. Тур'є-Реметівська. Великоберезнянська. Ставненська і Дубриницько-Малоберезнянська. Друга група громад – це ОТГ з невеликою кількістю населення і середнім значенням частки території з негативним значенням NBR індексу – Холмківська. Костринська і Великодобронська. Третя і четверта групи представлені Сюртівською (низька чисельність населення і висока частка території з негативним NBR індексом) і Ужгородською (висока чисельність населення і середня частка території з негативним NBR індексом) територіальними громадами.

Таблиця 1. Значення частки території громад Ужгородського району з негативним значенням NBR індексу

Назва ОТГ	Площа, км ²	Чисельність населення	Площа території громади з негативним значенням NBR індексу, %		Зміна площі території громади з негативним значенням NBR індексу, %
			серпень 2023	вересень 2023	
Баранинська	149.9	7558	1.06	2.06	+1.00
Великобerezнянська	107.7	9952	0.78	0.77	-0.01
Великодобронська	102.1	11563	0.97	5.24	+4.27
Дубриницько-Малоберезнянська	249.4	6772	0.11	0.09	-0.02
Костринська	204.5	5201	3.08	3.92	+0.84
Оноківська	115	5994	0.10	0.14	+0.04
Перечинська	117.7	12497	0.91	0.85	-0.06
Середнянська	211.8	14 363	0.86	0.18	-0.68
Ставненська	284.9	7102	0.00	0.02	+0.02
Сюртівська	143.9	9460	5.99	10.54	+4.55
Тур'є-Реметівська	409.4	17319	0.10	0.10	0
Ужгородська	37.3	115512	2.94	3.21	+0.27
Холмківська	65.3	12438	1.82	6.37	+4.55
Чопська	83.4	15605	0.70	0.93	+0.23

**Рис. 3.** Залежність зміни частки території громади з негативним значенням індексу NBR та площею громади.**Рис. 4.** Залежність зміни частки території громади з негативним значенням індексу NBR та чисельністю населення.

За результатами дослідження було встановлено, що деякі ОТГ мають значну зміну частки території з негативним значенням індексу NBR у порівнянні з іншими ОТГ. Серед них: Великодобронська. Сюртівська. Холмківська. Ймовірно, це

пов'язано з особливостями господарювання і масштабом сільськогосподарської діяльності. За відсутності даних щодо температурних аномалій, значення NBR індексу еквівалентні значенням NDVI-індексу [10] і характеризують стан рослинного покриву

громад. його кількісні та якісні показники [11-12].

Дані, отримані у результаті обробки та аналізу супутникових знімків у різних частинах спектру, у тому числі за допомогою NBR індексу, є важливими для місцевих громад і органів влади як для моніторингу стану рослинного покриву в цілому, так і у плануванні та здійсненні заходів з попередження та боротьби з пожежами.

Список використаних джерел

1. Постанова Верховної Ради України № 807-ІХ «Про утворення та ліквідацію районів» від 17 липня 2020 року. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/807-20#Text>.
2. Звіт про виконання природоохоронного заходу “Розробки проекту екомережі Закарпатської області (продовження робіт)”. Ужгородський район. 2010 року. Режим доступу: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjWiYCUjZ2JAxWeEBAIHU1qE9oQFnoECBQQAQ&url=http%3A%2F%2Fecozakarpat.gov.ua%2Fwp-content%2Fpzf_ekomereja%2Fzvit_uzhgorod.doc&sg=AOvVaw3XVVHPvRL6SKShRaA5TJSj&opi=89978449.
3. Лялько В.І. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. Київ: Наукова думка, 2006. С. 357.
4. Томченко О.В., Хижняк А.В. Вегетаційні індекси як інструмент оцінки і моніторингу стану земельних ресурсів. *Новітні технології: зб. наукових праць* ПВНЗ «Університет новітніх технологій». К.: ПВНЗ УНТ. 2016, 1 (1), 13–15.
5. Landsat Explorer. - Режим доступу: <https://livingatlas2.arcgis.com/landsatexplorer/>

6. Офіційний сайт QGIS. - Режим доступу: <https://www.qgis.org>.
7. Lal Mohammad, Jatisankar Bandyopadhyay, Rubel Sk, Ismail Mondal, Trinh Trong Nguyen, Giuseppe Francesco Cesare Lama, Duong Tran Anh. Estimation of agricultural burned affected area using NDVI and dNBR satellite-based empirical models. *Journal of Environmental Management*. 2023, 343, 118226. Doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118226.
8. Roman Anamaria, Ursu Tudor. Multispectral satellite imagery and airborne laser scanning techniques for the detection of archaeological vegetation marks. *Landscape archaeology on the northern frontier of the Roman empire at Porolissum. An interdisciplinary research project*. Mega Publishing House. Cluj-Napoca. 2016. 141–153.
9. Піпаш В.В., Глух О.С. Розрахунок NBR індексу для територіальних громад Ужгородського району. Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. *Енергоощадність. Збалансоване природокористування. IX Міжнародний молодіжний конгрес*. 28-29 березня 2024. Україна. Львів. 2024. 35.
10. 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.
11. Dibs H., Hasab H.A., Al-Rifaie J.K., Al-Ansari N. An optimal approach for land-use/land-cover mapping by integration and fusion of multispectral landsat OLI images: Case study in Baghdad, Iraq. *Water Air Soil Pollut.* 2020, 231, 488. Doi: 10.1007/s11270-020-04846-x.
12. Abdikan S., Bayik C., Sekertekin A., Bektas Balcik F., Karimzadeh S., Matsuoka M., Balik Sanli F. Burned area detection using multi-sensor SAR, optical, and thermal data in Mediterranean pine forest. *Forests* 2022, 13, 347. Doi: 10.3390/f13020347.

Стаття надійшла до редакції: 22.10.2024

ANALYSIS OF VEGETATION COVER IN COMMUNITIES OF UZHGOROD DISTRICT BASED ON NBR-INDEX VALUES

¹Glukh O.S., ¹Symkanych O.I., ¹Pipash V.V., ¹Shvarts R.R., ^{2,3}Molnar-Babilya D.I.

¹Uzhhorod National University. 88000. Uzhhorod. Pidhirna str..46;
e-mail: oleg.glukh@uzhnu.edu.ua

²Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Kossuth Sq. 6,
90200, Beregovo, Ukraine

³Mukachevo State University, Uzhhorodska str. 23, 89600, Mukachevo, Ukraine

An important resource of the Uzhgorod district and its fourteen territorial communities is the plant cover, which is characterized by a significant phytocenotic diversity. The landscapes of the Uzhgorod district have been undergone significant anthropogenic changes, especially in the flat part, where agricultural lands with mainly arable land and pastures. Numerous vegetation indices are used for the monitoring of the vegetation cover condition using remote sensing data, among which NBR is the normalized burn ratio index. Such an index is an informative quantitative indicator of the state of vegetation in general and as a result of the impact of fires in particular. To calculate and compare the NBR index, images with minimum cloud cover for August-September 2023 were used. The selected period is due to the temperature peak and seasonal burning of dry vegetation. Also, at the end of summer and beginning of autumn, the harvesting of cereals and other agricultural crops begins, as a result of which there is a significant decrease in vegetation cover, which affects the reflectivity of the surface and the value of the NBR index. The values of community areas with negative values of the NBR index and their correlation with the total area and population were analyzed.

Keywords: Uzhgorod district; communities; vegetation cover; normalized burn ratio index; multispectral analysis; raster; fire

References

1. Postanova Verkhovnoi Rady Ukrainy № 807-IX «Pro utvorennia ta likvidatsiiu raioniv» vid 17 lypnia 2020 roku. - Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/807-20#Text> (in Ukr).
2. Zvit pro vykonannia pryrodokhoronnoho zakhodu “Rozrobky proektu ekomerezhi Zakarpatskoi oblasti (prodovzhennia robot)”. Uzhhorodskiy raion. 2010 roku. - Rezhym dostupu: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjWiYCUjZ2JAxWeEBAIH1qE9oQFnoECBQQAQ&url=http%3A%2F%2Fecozakarpat.gov.ua%2Fwp-content%2Fpzf_ekomereja%2Fzvit_uzhgorod.doc&usg=AOvVaw3XVVHPvRL6SKShRaA5TJSj&opi=89978449 (in Ukr).
3. Lialko V.I. Bahatospektralni metody dystantsiinoho zonduvannia Zemli v zadachakh pryrodokorystuvannia. Kyiv: *Naukova dumka*. 2006. S. 357. (in Ukr).
4. Tomchenko O.V., Khyzhniak A.V. Vehetatsiini indeksy. yak instrument otsinky i monitorynhu stanu zemelnykh resursiv. *Novitni tekhnolohii: zb. naukovykh prats PVNZ «Universytet novitnikh tekhnolohii»*. K.: PVNZ UNT. 2016, 1 (1), 13–15. (in Ukr).
5. Landsat Explorer. - Rezhym dostupu: <https://livingatlas2.arcgis.com/landsatexplorer>.
6. Ofitsiyniy sait QGIS. - Rezhym dostupu: <https://www.qgis.org>.
7. Lal Mohammad, Jatisankar Bandyopadhyay, Rubel Sk, Ismail Mondal, Trinh Trong Nguyen, Giuseppe Francesco Cesare Lama, Duong Tran Anh. Estimation of agricultural burned affected area using NDVI and dNBR satellite-based empirical models. *Journal of Environmental Management*. 2023, 343, 118226. Doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118226.
8. Roman Anamaria, Ursu Tudor. Multispectral satellite imagery and airborne laser scanning techniques for the detection of archaeological vegetation marks. *Landscape archaeology on the northern frontier of the Roman empire at Porolissum. An interdisciplinary research project*. Mega Publishing House. Cluj-Napoca. 2016, 141–153.
9. Pipash V.V., Hluch O.S. Rozrakhunok NBR indeksu dlia terytorialnykh hromad Uzhhorodskoho raionu. Stalyi rozvytok: zakhyst navkolyshnoho seredovyscha. Enerhooschadnist. Zbalansovane pryrodokorystuvannia. IX Mizhnarodnyi molodizhnyi konhres. 28-29 bereznia 2024. Ukraina. Lviv. 2024. 35. (in Ukr).
10. 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.
11. Dibs H., Hasab H.A., Al-Rifaie J.K., Al-Ansari N. An optimal approach for land-use/land-cover mapping by integration and fusion of multispectral landsat OLI images: Case study in Baghdad, Iraq. *Water Air Soil Pollut.* 2020, 231, 488. Doi: 10.1007/s11270-020-04846-x.
12. Abdikan S., Bayik C., Sekertekin A., Bektas Balçık F., Karimzadeh S., Matsuoka M., Balik Sanli F. Burned area detection using multi-sensor SAR, optical, and thermal data in Mediterranean pine forest. *Forests* 2022, 13, 347. Doi: 10.3390/f13020347.