



УДК 528.88:502:35

DOI <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2023-19-7>

Чорний С.Г.,
доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри управління земельними ресурсами
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
s.g.chornyy@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9764-677X

ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ЛІСОСМУГ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ В ЗОНІ БОЙОВИХ ДІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ SENTINEL-2

Військові дії в практично безлісій степовій зоні України так чи інакше стосуються лісосмуг. Саме в лісосмугах будуються лінії оборони з траншеями, бліндажами, тунелями, для облаштування яких використовується деревина лісосмуг. Лінії оборони в лісосмугах зазнають найбільш інтенсивного артилерійського й ракетного вогню, є об'єктом штурмових дій, що призводить до різного ступеня деградації лісових смугових насаджень. Метою досліджень було за допомогою методів дистанційного зондування, зокрема вивчення внутрішньорічного розподілу показника NDVI у 2021 та 2023 роках, оцінити стан лісосмуг безпосередньо в зоні бойових дій, зокрема в Донецькій області. Для цього використовували багатоспектральні безхмарні супутникові зображення Sentinel-2, які оброблені в браузері BO Sentinel Hub. Згідно з проведеними дослідженнями, період «лютий – початок травня» характеризується відсутністю суттєвої різниці в значеннях NDVI між довоєнним і воєнним роком. Це пояснюється тим, що в лісосмугах у результаті військових дій основні дерева (дуби та робінії) частково знищені. Деградовані другорядні породи дерев і чагарники разом із трав'яним покривом суттєво не знижують величину NDVI на початку вегетації у квітні та на початку травня порівняно з довоєнними умовами. Але в період, коли спостерігається максимальна фотосинтетична активність рослинності лісосмуг (червень-липень) у 2023 році показник NDVI був помітно меншим порівняно з 2021 роком. Скоріш за все таке зниження NDVI свідчить про часткову деградацію основної деревної та другорядної рослинності в лісосмугах у результаті військової діяльності. Отже, у зонах бойових дій у Донецькій області йде процес поступового знищення мережі лісосмуг, що погіршує їх ґрунто- й ползахисні функції та зумовлює втрати екологічних спроможностей.

Ключові слова: військова діяльність, лісосмуги, дистанційне зондування, NDVI, Sentinel-2.

Chornyy S.G. Assessment of the state of forest belts of Donetsk region in the combat zone using Sentinel-2 satellite images

Military operations in the practically treeless steppe zone of Ukraine somehow affect forest belts. It is in the forest belts that defence lines with trenches, dugouts, and tunnels are built, for the construction of which wood from forest belts is used. Defence lines in forest belts are exposed to the most intense artillery and rocket fire and are the object of assault operations, which probably leads to varying degrees of degradation of forest belt plantations. The purpose of the research was to assess the condition of forest belts directly in the combat zone, in particular, by studying the intra-annual distribution of the NDVI indicator in 2021 and 2023, using remote sensing methods, in particular, in the Donetsk region. For this purpose, multispectral cloudless Sentinel-2 satellite images were used, which were processed in the BO Sentinel Hub browser. According to the research, the period “February – early May” is characterized by the absence of a significant difference in NDVI values between the pre-war and war years. This is due to the fact that the main trees (oaks and robins) in the forest belts were partially destroyed as a result of military operations. Degraded secondary tree species and shrubs, together with the grass cover, do not significantly reduce the NDVI value at the beginning of the growing season in April and early May compared to pre-war conditions. However, during the period when the maximum photosynthetic activity of forest belt vegetation is observed (June-July), the NDVI was significantly lower in 2023 compared to 2021. Most likely, such a decrease in NDVI indicates a partial degradation of the main woody and secondary vegetation in the forest belts as a result of military activities. Thus, the process of gradual

destruction of the forest belt network is underway in the combat zones in Donetsk region, which worsens their soil and field protection functions and loss of ecological capacity.

Key words: military activities, forest belts, remote sensing, NDVI, Sentinel-2.

Вступ. Російська агресія в Україні, окрім численних людських жертв, зумовила важкі екологічні проблеми, які пов'язані з Каховською катастрофою, знищенням заповідних територій, лісів, забрудненням ґрунтів і водних об'єктів. У роботі ми хочемо звернути увагу на стан лісосмуг у районах бойових дій.

Головні бойові дії після весни 2022 року перемістилися в степову зону України, яка є абсолютно безлісою територією. Інтенсивне використання цієї території для рослинницької галузі сільського господарства призвело до численних негараздів екологічного характеру. Штучне заліснення частки території Степу у вигляді лісосмуг спричинило покращення мікрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур, зокрема зменшення непродуктивного випаровування, затримку снігу на полях, збільшення врожайності сільськогосподарських культур. Інше завдання створення системи лісосмуг у степовій зоні України – це захист ґрунтів від водної та вітрової ерозії. Окрім позитивного впливу лісосмуг на ґрунтозахисні й мікрокліматичні параметри ландшафту, зараз така система лісосмуг розглядається ще і як важливий елемент екологічних мереж, які виконують функції екологічних коридорів, що забезпечують міграційну функцію, реалізуючи умови безперервності, системної єдності й збереження біорізноманіття (Закон, 2004).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання технології дистанційного зондування для вивчення територій насильницьких конфліктів значно зросло за останні 5–10 років. Це пов'язано передусім із безпекою таких досліджень, тому що прямі наземні спостереження мають ризики для життя дослідника (Witmer, 2015).

Існує досить численна література щодо катастрофічного впливу як прямих військових дій, так й опосередкованого нищення природних лісів і штучних лісових насаджень. Наприклад, довготермінова громадянська війна в Анголі призвела до браку продовольства, що спровокувало інтенсивну вирубку лісів під плантації сільськогосподарських культур (Schneibel at

al, 2017). Переселення великої кількості населення в провінції Ніасса на півночі Мозамбіку внаслідок громадянської війни зумовило швидке розширення сільськогосподарських угідь за рахунок тропічних лісів (Marina at al, 2012).

Війна в Україні призвела до прямого знищення природних лісів у різних частинах країни. Унаслідок бойових дій зафіксовано багато випадків лісових пожеж. Ці пожежі частково зачепили територію, яка також була забруднена внаслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції. Пожежі в цій частині України тривали з 25 лютого по 29 березня 2022 року (Shevchuk at al, 2022). На початку травня 2022 року основні бойові дії перемістилися до Харківської, Донецької та Луганської областей, де в долині Сіверського Дінця зосереджені великі лісові масиви. У квітні-травні 2022 року також відбулися пожежі на півдні країни, а саме на Кінбурнському півострові між Дніпровським лиманом і Чорним морем. Це стосувалося, зокрема, лісових масивів, розташованих у межах Чорноморського біосферного заповідника (Shevchuk at al, 2022).

Для кількісного та якісного аналізу рослинності, у тому числі й лісової, за допомогою дистанційних методів використовують так звані індекси рослинності, які ґрунтуються на спектральних характеристиках рослин. Один із найбільш широко застосовуваних вегетаційних індексів є нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI), який розраховується на основі видимого червоного та ближнього інфрачервоного діапазонів:

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

де NIR – кількісне значення відбиття в інфрачервоній частині спектра (760–900 нм), RED – кількісне значення відбиття в червоній частині спектра (630–690 нм).

NDVI часто використовують для різних типів рослинності, окрім випадків, коли рослинний покрив нещільний, а його відбивна здатність занадто низька. NDVI дає найточніші результати в період найбільш активного розвитку вегетації певного рослинного



угруповання. Інформативними щодо стану рослинності є не разові, а внутрішньорічні та багаторічні ряди значень NDVI певного об'єкта спостережень. Якщо зміни, що фіксуються впродовж сезону, найчастіше вказують на фенологічні зміни, то багаторічні динаміки часто показують на збурення, що пов'язані зі зміною клімату або специфічними подіями, такими як пожежі, повені, екстремальні метеорологічні явища (посуха, сильний вітер) або ті, що викликані атаками шкідників і хвороб (Lasaponara et al, 2022).

Зокрема, на основі часових рядів NDVI між 2012 і 2017 роками, що отримані за допомогою зображень Sentinel-2 та Google Earth Engine, виявлено зміни в землекористуванні й рослинному покриві в деяких регіонах Італії (Кампанія, Базиликата, Калабрія, Тоскана, Лаціо та Умбрія), які спричинені сильними пожежами. Через оцінювання динаміки NDVI виявлено різні типи трансформації рослинного покриву після пожеж, а саме: вирубування згорілого лісу, виникнення нових стежок і доріг, перехід лісових масивів у сільськогосподарські угіддя тощо (Lasaponara et al, 2022).

Часові ряди NDVI також успішно використані для оцінювання ступеня вогнестійкості різних типів рослинності Італії, для аналізу стану здоров'я різних рослинних угруповань. Високі значення вегетаційного індексу рослинного угруповання спостерігаються в тому випадку, коли рослинність є здоровою, тобто не зазнає дії шкідників і хвороб (Telesca, Lasaponara, 2010).

Упродовж останніх десятиліть у центральній і південній Італії постійно виникає проблема загибелі листяних дубових лісів. Серед сучасних методів моніторингу наземних екосистем моніторингу наземних екосистем першочергове значення має дистанційне зондування завдяки його здатності надавати інформацію про великі території з високою частотою знімання. У роботі (Recanatesi et al, 2018) представлено попередні результати щодо недорогого інструменту моніторингу, який планується використовувати для кількісного оцінювання стану лісів на основі застосування нормалізованого індексу (NDVI), з використанням зображень, наданих супутником Sentinel-2. Територія дослідження представлена приміським лісом із природних середземноморських листяних

дубров, що характеризується високою мінливістю видового складу (Recanatesi et al, 2018).

Динаміку лісової рослинності під впливом швидкого розмноження жука-короїда вивчали в національних парках Чехії та Словаччини за допомогою супутникових даних Sentinel-2 й використання широкого переліку індексів рослинності, у тому числі NDVI. На основі отриманих результатів проведена класифікація лісового покриву на порушені та непорушені ділянки, а також виявлені порушені ділянки з різними фазами оновлення лісової рослинності після дії шкідника (Lastovicka et al, 2020).

Очевидно, військові дії в практично безлісій степовій зоні України так чи інакше стосуються лісосмуг. Саме в лісосмугах будуються лінії оборони з траншеями, бліндажами, тунелями, для облаштування яких використовується деревина лісосмуг. Лінії оборони в лісосмугах, зрозуміло, піддаються найбільш інтенсивному артилерійському та ракетному вогню та є об'єктом штурмових дій, що призводить до різного ступеня деградації цих насаджень. Узявши до уваги викладену вище непересічну роль лісосмуг у захисті ґрунтів від ерозії та позитивний вплив на біорізноманіття й стан агроландшафтів, необхідно оцінити сучасний стан мереж лісосмуг у зонах бойових дій. Але прямих спостережень у зоні бойових дій зробити неможливо, то необхідно застосовувати дистанційні методи.

Отже, **метою** дослідження було за допомогою методів дистанційного зондування оцінити стан лісосмуг безпосередньо в зоні бойових дій, зокрема в Донецькій області.

Методика та місце дослідження. Полезахисні лісосмуги на Донеччині складаються з однієї породи або головної та супутньої порід. Лісосмуги, які складаються з головних і супутніх порід, висаджені чистими рядами. Чагарники висаджені чистими рядами або чергуються в рядах із супутньою породою. До складу досліджених полезахисних лісосмуг входять такі породи: головні – *Quercus robur* (дуб звичайний), *Robinia pseudoacacia* (робінія звичайна), супутні – *Malus praecox* (яблуня рання), *Acer campestre* (клен польовий), *Prunus stepposa* (терен степовий), *Rugus communis* (груша звичайна), чагарники – *Sambucus racemosa* (бузина червона), *Lonicera tatarica*

(жимолость татарська), *Rosa lupulina* Dubovik (шипшина вовча) (Чирикова, 2010).

Полігоном для досліджень вибрана ділянка в районі селища Невельське, Покровського району, Донецької області (рис. 1). Загальна площа ділянки становить приблизно 780 га. Бої на цій території, згідно з інформацією Deepstatemap (www.deepstatemap.live/en), почалися в липні 2022 року й продовжуються до сьогодні. Досліджували стан п'яти лісосмуг (1–5 на рис. 1). Причому лісосмуга під номером 5 розділена на чотири приблизно однакові за площею фрагменти: 5а, 5б, 5в, 5г (рис. 1).

Контури, координати центру лісосмуг, їх площі визначали за допомогою гуглівського сервісу «Планета Земля». Вище згадували, що найбільш інформативними щодо стану рослинності є не разові, а внутрішньорічні та (або) багаторічні ряди значень NDVI певного об'єкта спостережень. Тому в браузері BO Sentinel Hub (<https://www.sentinel-hub.com>) проводили відбір зображень Sentinel-2 для

визначення внутрішньорічної динаміки NDVI по кожній із лісосмуг з 01.02 по 01.07 довоєнного 2021 року й воєнного 2023 року. Зображення Sentinel-2 мали роздільну здатність у 10 м/піксель. Для аналізу відібрано ті супутникові зображення, які мали хмарність меншу ніж 10% від загальної площі й атмосферну корекцію. Дані щодо площ, координат ділянок, кількості зображень, які взяті для аналізу, їх терміни подано в таблиці 1.

Статистичне оброблення вихідних даних проводили за допомогою програм оброблення вихідних даних, які є складником браузера BO Sentinel Hub, а також у Microsoft Excel.

Результати та їх обговорення. Терміни визначення NDVI лісосмуг у часовому діапазоні саме з 1 лютого до 1 серпня вибрані з таких міркувань. По-перше, на цей проміжок часу припадає найбільш небезпечний період з погляду прояву вітрової ерозії (лютий-квітень, початок травня (Чорний та ін., 2015; Чорний, 2018)). По-друге, якщо лісосмуга складається

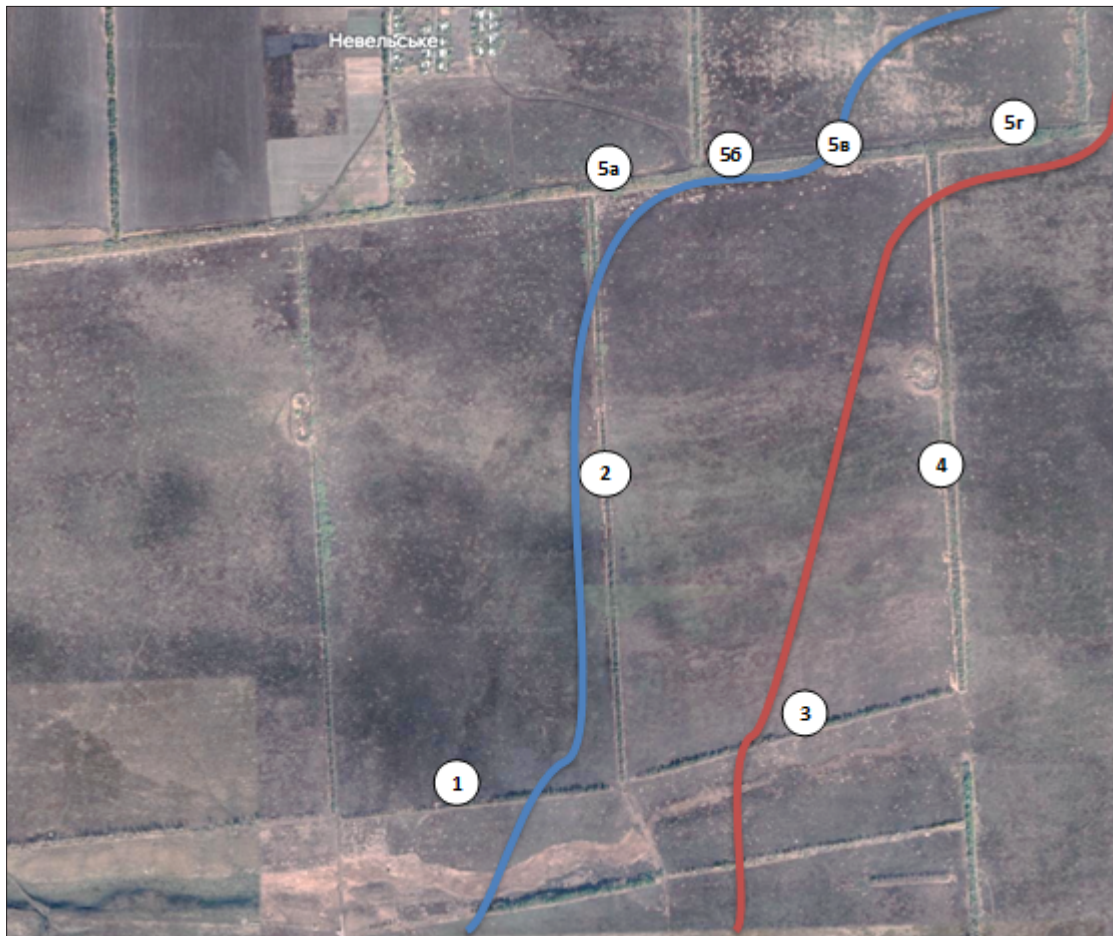


Рис. 1. Територія дослідного полігону (лінія фронту, згідно Deepstatemap (www.deepstatemap.live/en), визначена на 20.10.2023).



Таблиця 1

Вихідна інформація щодо визначення NDVI по лісосмугам та їх фрагментам

Номер лісосмуги або її фрагмента, згідно рис. 1	Площа, лісосмуги га	Координати центру лісосмуги	2021		2023	
			Кількість визначень NDVI з 1.02 по 31.07	Терміни	Кількість визначень NDVI з 1.02 по 31.07	Терміни
1.	1,26	48,0372230; 37,5794151	10	17.02, 04.03, 29.03, 13.05, 23.05, 22.06, 27.06, 02.07, 22.07, 27.07.	18	22.02, 27.02, 04.03, 14.03, 24.03, 08.04, 03.05, 13.05, 18.05, 02.06, 07.06, 12.06, 17.06, 22.06, 02.07, 12.07, 17.07, 27.07.
2	3,38	48,0429328; 37,5972853	11	17.02, 04.03, 29.03, 18.04, 13.05, 23.05, 22.06, 27.06, 02.07, 22.07, 27.07.	17	22.02, 04.03, 14.03, 24.03, 08.04, 03.05, 13.05, 18.05, 02.06, 07.06, 12.06, 17.06, 22.06, 02.07, 12.07, 17.07, 27.07.
3	2,02	48,0444604; 37,5944969	10	17.02, 04.03, 29.03, 13.05, 23.05, 07.06, 22.06, 27.06, 02.07, 27.07.	16	22.02, 27.02, 04.03, 14.03, 24.03, 08.04, 03.05, 13.05, 18.05, 02.06, 07.06, 12.06, 22.06, 12.07, 17.07, 27.07.
4	4,12	48,0417889; 37,5851005	12	17.02, 04.03, 14.03, 29.03, 13.05, 23.05, 07.06, 22.06, 27.06, 02.07, 17.07, 27.07.	11	04.03, 14.03, 24.03, 03.05, 18.05, 02.06, 07.06, 22.06, 12.07, 17.07, 27.07.
5a	2,09	48,0444474; 37,5862592	11	17.02, 04.03, 28.04, 13.05, 23.05, 07.06, 22.06, 27.06, 02.07, 22.07, 27.07.	11	04.03, 14.03, 03.05, 18.05, 02.06, 07.06, 17.06, 22.06, 12.07, 17.07, 27.07.
5б	1,36	48,0475721; 37,5901581	14	17.02, 04.03, 14.03, 18.04, 28.04, 08.05, 13.05, 23.05, 22.06, 27.06, 02.07, 12.07, 17.07, 27.07.	10	04.03, 14.03, 24.03, 03.05, 18.05, 02.06, 07.06, 22.06, 12.07, 27.07.
5в	0,79	48,0430085; 37,5891379	15	17.02, 04.03, 14.03, 18.04, 28.04, 08.05, 13.05, 23.05, 07.06, 22.06, 27.06, 02.07, 12.07, 17.07, 27.07.	12	04.03, 14.03, 24.03, 03.05, 18.05, 28.05, 2.06, 07.06, 17.06, 22.06, 12.07, 27.07.
5г	1,33	48,0478627; 37,5909775	13	17.02, 04.03, 14.03, 08.05, 13.05, 23.05, 07.06, 22.06, 27.06, 02.07, 12.07, 17.07, 27.07.	12	04.03, 14.03, 24.03, 03.05, 18.05, 28.05, 2.06, 07.06, 17.06, 22.06, 12.07, 27.07.

з листяних порід дерев і чагарників, то ползахисна й екологічна функції лісосмуг повністю почнуть реалізуватися з моменту появи листків навесні. В основних порід дерев – дуба звичайного – листки розпускаються у квітні й на зиму опадають, у робінії звичайній листя розпускається лише на початку травня. У другорядних

порід дерев і в чагарників листя з'являються найчастіше у квітні. Але повна ґрунтозахисна, ползахисна й екологічна спроможність лісосмуг буде співвідноситися з максимальною фотосинтетично активною біомасою головних дерев (дуба звичайного та робінії звичайної), яка буде спостерігатися в період з повного

розпускання листя до цвітіння й утворення плодів. Цей період ми приблизно визначили із середини травня по кінець липня (15,05–1,08).

Варто зазначити, що спостереження за NDVI лісових угруповань у другій половині літа та початку осені вже не мають прикладного ефекту, що пов'язано з пожовтінням листя через літню спеку, через природний ефект зменшення вироблення зеленого пігменту та руйнуванням хлорофілу в листках в умовах поступового скорочення світлого періоду доби. У цей період величина NDVI буде зменшуватися й уже не виконуватиме ґрунтозахисної, полезахисної та екологічної функцій лісосмуг.

На рисунку 2 зображена зміна величини NDVI для всіх лісосмуг дослідної ділянки в довоєнному 2021 році й у воєнному 2023 році з 1 лютого по 1 серпня.

Таке узагальнення виявило, що у 2021 році за перші три – три з половиною місяці спостережень (з 1.02 по 15.05) значення NDVI змінювалося з 0,2 до 0,35, а у 2023 році – з 0,25 до 0,50. За класифікаціями, що пропонуються для інтерпретації подібних даних (Омеліч та ін., 2019; EOS Data analysis, 2023), величини NDVI рослинних угруповань, які наближаються 0,5, можуть бути визначені або як рослинні покриви з трав'янистою рослинністю, або як рослинні

покриви з дуже розрідженою деревною рослинністю, і покриви, які складаються з чагарників. Менші значення (0,2–0,3) притаманні лише трав'янистій рослинності. Дійсно, у лютому-березні в лісосмугах, які складаються з листяних порід, навряд чи будуть інші значення NDVI особливо в умовах військових дій.

Тобто в зазначені терміни формально у 2023 році порівняно з 2021 роком дослідження виявляють відсутність впливу військових дій на цей показник. Але, з іншого боку, не ясно, ці значення NDVI отримані внаслідок поверхонь або з розрідженим покривом, який складається із залишків дерев і чагарників, або лише з трав'янистої рослинності. Скоріш за все ці значення NDVI показують на фрагментарно знищені лісосмуги, які, можливо, частково відновлюються навесні 2023 року. У результаті військових дій угруповання з основними деревами (дуби та робінії) деградовані й у лісосмугах залишаються другорядні низькорослі породи та чагарники. Простори, які були ще у 2022 році зайняті основними деревами, частково заростають травою. Тому такі поверхні не знижують величини NDVI у квітні й травні.

Дещо інша ситуація спостерігається в терміни з 15.05 по 01.08, у період формування рослинних покривів, які складаються

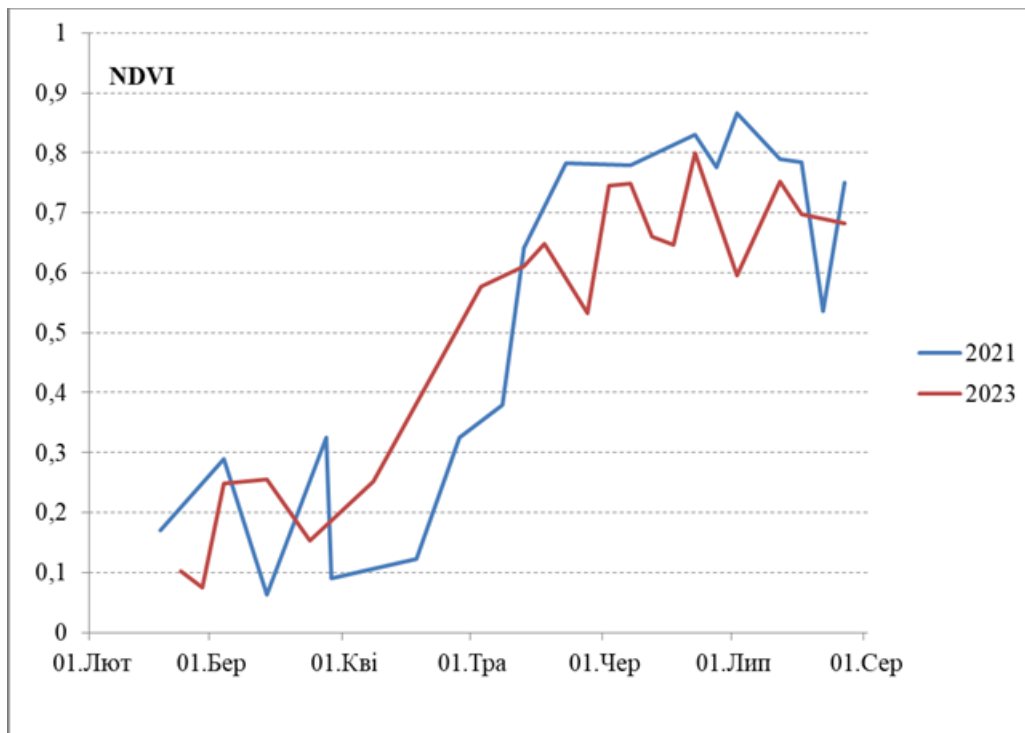


Рис. 2. Зміна величини NDVI для лісосмуг дослідної ділянки в 2021 та 2023 роках



з дерев і чагарників, що мають у цей період максимальну фотосинтетично активну біомасу. У 2021 році середні показники NDVI таких поверхонь, контури яких визначені як лісосмуги, змінювалися з 0,50 до 0,80–0,88, а у 2023 році – з 0,58 до 0,70–0,79. Якщо звзяти для аналізу отриманих даних проміжок часу до двох місяців, із червня по липень, тоді у 2023 році середні значення NDVI по контурах п'яти лісосмуг були помітно меншими порівняно з довоєнним 2021 роком.

Варто зазначити, що, згідно з інформацією (Омелич та ін., 2019; EOS Data analysis, 2023), величини NDVI в 0,60–0,70 зараховують до «густої рослинності», 0,70–0,80 – до «дуже густої рослинності». Тобто на етапі формування найбільш фотосинтетично активної біомаси й у 2021 році, й у 2023 році спостерігаються максимальні значення NDVI, але у 2023 році ці значення помітно менші порівняно з довоєнним роком, що скоріш за все пояснюється інтенсивними впливами на дерева військової діяльності. У цих лісосмугах значною мірою знищені як основні дерева лісосмуг (дуб, робінія), так і другорядні (яблуня, клен, терен степовий тощо). Залишки лісосмуг разом із трав'яною рослинністю дають менші значення NDVI.

Аналіз розподілу значень NDVI за величиною у вибірках 2021 та 2023 років виявив, що загальне зниження цього показника у 2023 році

сталось внаслідок суттєвого зростання частки величин NDVI зі значеннями в діапазоні 0,8–1,0 (24% проти 7%), що помітно компенсує зростання частки значень у діапазоні 0,4–0,6 і діапазоні 0,6–0,8 у 2023 році (рис. 3).

Варто ще зазначити, що визначення NDVI у 2023 році виявили виключну мінливість цього показника у вибірках порівняно з вимірюваннями у 2021 році. Середнє квадратичне відхилення величин NDVI зі значеннями, меншими ніж 0,04 одиниць, у 2023 році спостерігається в 60% випадків, тоді як у 2021 роках ця частка не перевищує 32%. Значні величини середнього квадратичного відхилення, більші за 0,08, у 2023 році становили приблизно 37%, тоді як у 2021 році – лише 3% від загальних кількостей вимірювань (рис. 4). Скоріш за все військова діяльність, а саме: будівництво ліній оборони, інтенсивний стрілецький та артилерійський вогонь, штурмові дії тощо – вибірково знищують випадковим чином окремі дерева, їх угруповання та чагарники, що позначається на спектральних параметрах поверхонь лісосмуг, і це є причиною такої мінливості їх спектральних характеристик.

Узагальнюючи викладене вище, можемо констатувати, що військова деградація лісосмуг Донеччини, очевидно, призведе до погіршення їх ґрунто- й ползахисних функцій і часткової втрати екологічних можливостей.

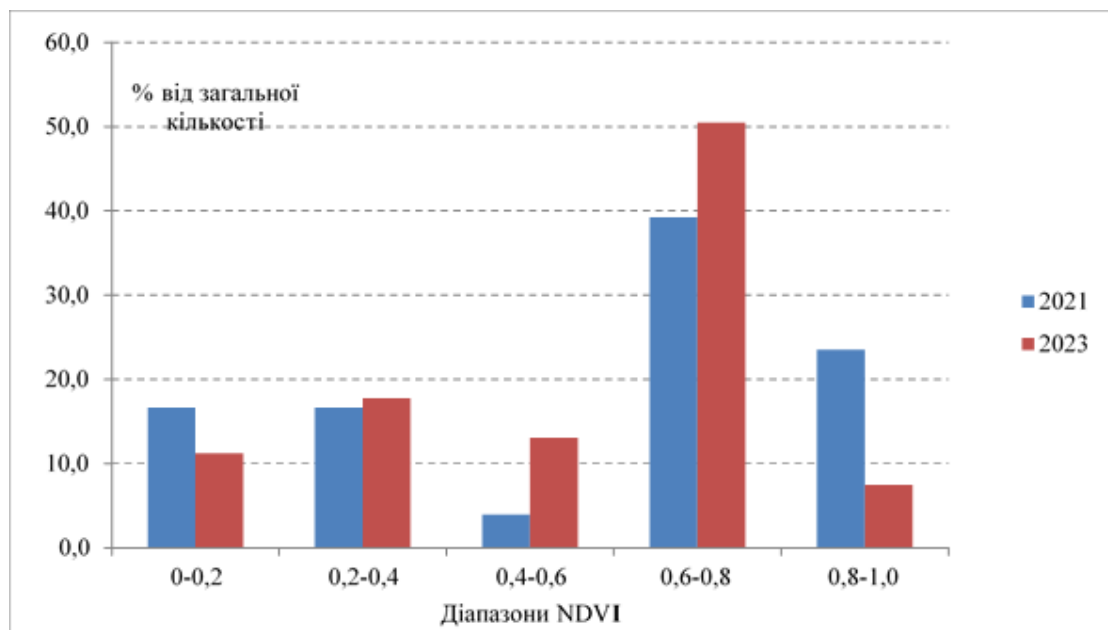


Рисунок 3. Розподіл NDVI за величиною.

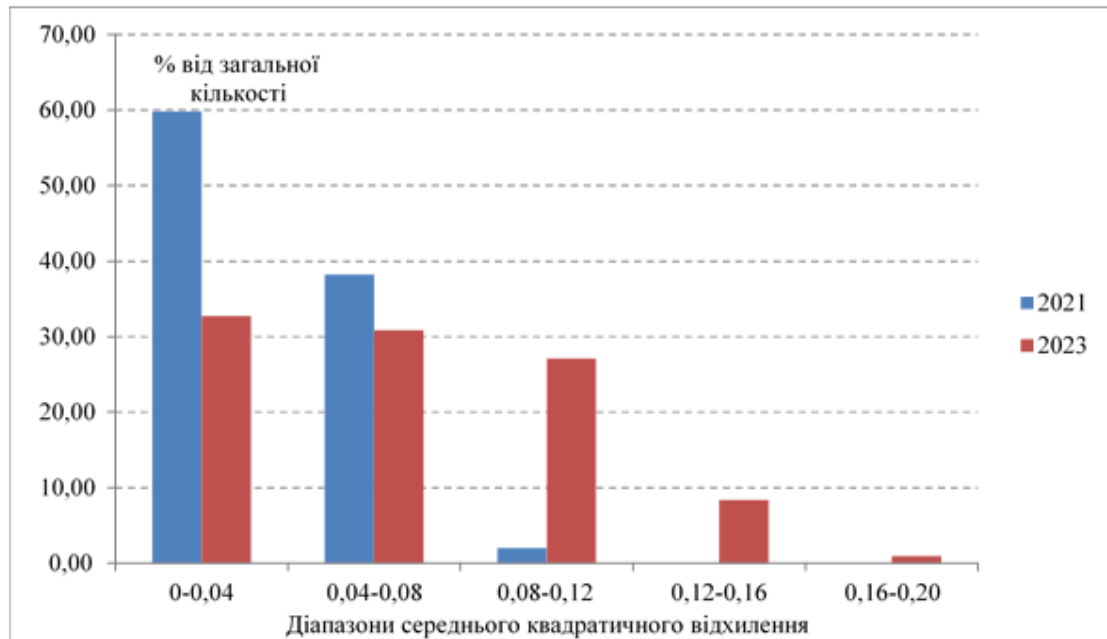


Рисунок 4. Розподіл середнього квадратичного відхилення за значеннями

Висновки з проведеного дослідження.

Вивчення внутрішньорічного розподілу величин NDVI у 2021 й 2023 роках, отриманих за допомогою дистанційних методів моніторингу поверхонь, які зайняті лісосмугами, у зоні військової діяльності Донецької області, виявило відсутність суттєвої різниці в проміжок часу «лютий-травень» по роках. Це пояснюється тим, що в результаті військових дій угруповання з основними деревами (дуби та робінії) деградовані й у лісосмугах ще залишаються другорядні породи дерев і чагарники. Простори, які були зайняті основними деревами, частково заростають травою. Такі поверхні не знижують величини NDVI у квітні й травні порівняно з довоєнними умовами.

Водночас значення NDVI поверхонь, зайнятих лісосмугами, у період, коли спостерігається максимальна фотосинтетична активність (червень-липень), у 2023 році були помітно менші порівняно з 2021 роком. Скоріш за все таке зниження NDVI виявляє часткову деградацію основної деревної та другорядної рослинності в лісосмугах у результаті військової діяльності.

Отже, у зонах бойових дій у Донецькій області триває процес поступового знищення мережі лісосмуг, що погіршує їх ґрунто- й полезахисні функції та зумовлює втрати екологічних спроможностей.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Закон України «Про екологічну мережу України». (2004). *Відомості Верховної Ради України*, 45, 502. [Law of Ukraine «On the Ecological Network of Ukraine» (2004). *Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 45, 502 (in Ukrainian)].
2. Омелич, І.Ю., Яременко, А.А., Непошивайленко, Н.О., Горай, І.В. (2019). Визначення тенденцій розвитку рослинного покриву на підставі розрахунку нормалізованого вегетаційного індексу на прикладі Петриківського району Дніпропетровської області. *Український журнал дистанційного зондування Землі*, 23, 9–13. [Omelych, I.Y., Yaremenko, A.A., Neposhyvailenko, N.O., Gorai, I.V. (2019). Determination of trends in the development of vegetation cover based on the calculation of the normalized vegetation index on the example of Petrykivskiy district of Dnipropetrovska oblast. *Ukrainian Journal of Remote Sensing of the Earth*, 23, 9–13 (in Ukrainian)].
3. Чиркова, О.В. (2010). Структура лесополос как составных элементов экологической сети. *Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону*, 1(10), 97–104. [Chirkova, O.V. (2010). The structure of forest belts as constituent elements of the ecological network. *Problems of ecology and nature protection of the technogenic region*, 1 (10), 97–104 (in Ukrainian)].
4. Чорний, С.Г. (2018). Кількісна оцінка вітрової ерозії ґрунту: можливості WEQ. *Агрохімія та ґрунтознавство*, 87, 23–28. [Chornyy, S.G. (2018). Quantitative assessment of wind erosion of soil: possibilities of WEQ. *Agrochemistry and soil science*, 87, 23–28 (in Ukrainian)].
5. Чорний, С.Г., Хотиненко, О.М., Волошенко, А.В. (2015). Трансформація протидефляційної стійкості ґрунтів лівобережного степу України в контексті



сті сучасних змін клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*, 83, 49–54. [Chornyu, S.G., Khotynenko, O.M., Voloshenyuk, A.V. (2015). Transformation of soil wind erodibility of the left-bank steppe of Ukraine in the context of modern climate change, *Agrochemistry and Soil Science*, 83, 49–54 (in Ukrainian)].

6. EOS Data analysis (2023). NDVI: Normalized Difference Vegetation Index. <https://eos.com/make-an-analysis/ndvi> (date of access: 06.06.2023).

7. Lasaponara, R., Abate, N., Fattore, C., Aromando, A., Cardettini, G., Di Fonzo, M. (2022). On the Use of Sentinel-2 NDVI Time Series and Google Earth Engine to Detect Land-Use/Land-Cover Changes in Fire-Affected Areas. *Remote Sens.*, 14, 4723. DOI: <https://doi.org/10.3390>.

8. Lastovicka, J., Svec, P., Paluba, D., Kobliuk, N., Svoboda, J., Hladky, R. Stych, P. (2020). Sentinel-2 Data in an Evaluation of the Impact of the Disturbances on Forest Vegetation. *Remote Sens.*, 12, 1914. DOI: [10.3390/rs12121914](https://doi.org/10.3390/rs12121914).

9. Marina, P., Temudo, J., Silva, M.N. (2012) Agriculture and forest cover changes in post-war Mozambique. *Journal of Land Use Science*, 7:4, 425–442. DOI: [10.1080/1747423X.2011.595834](https://doi.org/10.1080/1747423X.2011.595834).

10. Recanatesi, F., Giuliani, Ch., Nicolina, Ripa M. (2018). Monitoring Mediterranean Oak Decline

in a Peri-Urban Protected Area Using the NDVI and Sentinel-2 Images: The Case Study of Castelporziano State Natural Reserve. *Sustainability*, 2018, 10, 3308. DOI: [10.3390/su10093308](https://doi.org/10.3390/su10093308).

11. Shevchuk, S., Vyshnevskiy, V., Bilous, O. (2022). The use of remote sensing data that is studying the environmental consequences of the Russian invasion of Ukraine, *Research Square*, 1–19. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1770802/v1>.

12. Schneibel, A., Frantz, D., Achim, A., Stellmes, M., Fischer, K., Hill, K. (2017). Using Annual Landsat Time Series for the Detection of Dry Forest Degradation Processes in South-Central Angola. *Remote sensing*. 9, 905. DOI: [10.3390/rs9090905](https://doi.org/10.3390/rs9090905).

13. Telesca, L., Lasaponara, R. (2010). Analysis of Time-Scaling Properties in Forest-Fire Sequence Observed in Italy. *Ecol. Model*, 221, 90–93.

14. Witmer, F.D.W. (2015) Remote sensing of violent conflict: eyes from above. *International Journal of Remote Sensing*, 36:9, 2326–2352. DOI: [10.1080/01431161.2015.1035412](https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1035412).

Стаття надійшла до редакції 29.11.2023.

The article was received 29 November 2023.