

УДК [504.73:574.68](282.247.314)

Т.В. ДВОРЕЦЬКИЙ, к. б. н., наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: d.taras.v@gmail.com
ORCID 0000-0001-6899-1689

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ НАСЛІДКІВ ВИПАЛЮВАННЯ РОСЛИННОСТІ ПЛАВНЕВИХ ЕКОСИСТЕМ НПП «НИЖНЬОДНІСТРОВСЬКИЙ» (ОДЕСЬКА ОБЛАСТЬ)¹

Метою нашого дослідження було визначення площ випалювання території Нижньодністровського національного природного парку, відновлення рослинності плавневих екосистем та виявлення різниці між ними та ділянками, які не горіли, з використанням даних дистанційного зондування Землі. Оцінку впливу випалювання проводили з використанням спектральних індексів, що відображають окремі показники стану рослинності: нормалізований відносний індекс рослинності (Normalized Difference Vegetation Index — NDVI), індекс зеленого хлорофілу (Green Chlorophyll Index — GCI), індекс питомої площі листкової пластинки (Specific Leaf Area Vegetation Index — SLAVI), нормалізований диференціальний індекс вологості (Normalized Difference Moisture Index — NDMI) та індекс вологостійкості (Moisture stress index — MSI). Протягом зимово-весняного періоду 2020 р. пожежі на території Нижньодністровського НПП охоплювали майже 4453 га (33,1 % площі плавневих екосистем). На основі методу імітаційного моделювання виявлено, що різниця між горілими та негорілими ділянками протягом вегетаційного періоду поступово зменшується. Максимальну різницю відмічено на початок вегетації (якість виділення груп — 43,2 %), що свідчить про створення відносно індивідуальних екологічних умов для розвитку плавневої рослинності. У весняний період — 20,3 %, що зумовлено розвитком едіфікатора рослинних комплексів водно-болотних екосистем — *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., стебла якого вийшли зі стадії пікулів і розвинули листову пластинку. Літній період відзначається подальшим зниженням якості виділення груп (19,9 %), що пояснюється вирівнюванням екологічних умов розвитку рослинності внаслідок літньої межени. Осінній період відзначався посушливими умовами та закінченням вегетаційного періоду, що призводило до майже повного зникнення різниці між ділянками (14,5 %). На основі аналізу подібності (ANOSIM) встановлено, що ступінь відмінності між горілими ділянками невелика, що пов'язано з локальни-

¹ Роботу виконано за рахунок бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень (КПКВК 6541230)».

Ц и т у в а н н я: Дворецкий Т.В. Використання даних дистанційного зондування Землі для оцінки наслідків випалювання рослинності плавневих екосистем НПП Нижньодністровський (Одеська область). *Гідробіол. журн.* 2024. Т. 60. № 1. С. 47—59.

ми умовами та інтенсивністю випалювання, а також з кількістю сухої органічної речовини на окремих площах. Виявлено, що лише при зимовому (лютий) випалюванні спостерігається поступове (впродовж вегетаційного періоду) зменшення відмінностей порівняно з контролем. Вплив весняного (березень, квітень) випалювання відзначається значною варіабельністю значень ступеня подібності за сезонами.

Ключові слова: Дністер, плавневі екосистеми, несанкціоноване випалювання, вегетаційні індекси, сезонна динаміка, дистанційні дослідження.

Плавневі екосистеми в усьому світі зберігають непропорційно велику кількість вуглецю в ґрунті, що робить їх вразливими під час пожеж. Випалювання є найбільш розповсюдженим і також найбільш дискусійним методом регулювання плавневих екосистем, і особливу небезпеку представляють несанкціоновані підпали [1—4, 8, 15]. В умовах порушеного гідрологічного режиму територій пониззя Дністра підпали є переважно позитивним фактором, оскільки дозволяють вилучити надлишок сухої органічної речовини рослинності плавнів, поліпшити кисневий режим та сприяють кращому проростанню насіння і відростанню молодих пагонів. Випалювання широко застосовується для управління сукцесіями перезволожених територій, підвищення їхньої продуктивності, регулювання кормової бази водних птахів [1, 2, 12, 16]. Головними недоліками цього методу управління є слабкий контроль за швидкістю розповсюдження вогню та залежність від погодних умов.

Супутникові дані відіграють виключно важливу роль в отриманні оперативної інформації для точного і швидкого картування територій, пошкоджених вогнем [13, 16, 18, 22]. Вони мають фундаментальне значення для виявлення впливу випалювання на рослинність, розрахунку екологічних втрат, уточнення стратегій планування та моніторингу відновлення рослинності. Визначення площ та ступеня випалювання, оцінка відновлення рослинності протягом вегетаційного періоду є важливим практичним і теоретичним завданням у зв'язку з посиленням антропогенного впливу та глобальними кліматичними змінами, які суттєво впливають на стан та функціонування рослинних угруповань.

Метою роботи було визначення площ пожеж протягом зимового та ранньовесняного періоду 2020 р., виявлення сезонної динаміки горілих і негорілих ділянок у межах Нижньодністровського НПП на основі спектральних показників стану рослинності.

Матеріал і методика досліджень

Завданням нашого дослідження є визначення відновлення ділянок рослинності плавневих екосистем Нижньодністровського НПП після зимових (лютий) та весняних (березень, квітень) пожеж з використанням даних дистанційного зондування та спектральних індексів. Контролем виступали 25 довільно обраних на всій території парку плавневих ділянок, що не горіли, загальною площею 314 га (рис. 1).

Вихідна інформація отримана з даних багатоспектральних космічних знімків, зроблених супутником «Landsat 8», який був створений Націона-



Рис. 1. Карта-схема розташування площ пожеж у зимово-весняний період 2020 р. на території плавневих екосистем Нижньодністровського НПП: ділянки, які випалювались у F — лютому, M — березні, A — квітні; K — контрольні ділянки

льним управлінням з аеронавтики і дослідження космічного простору (NASA) спільно з Геологічною служби США (USGS) (<https://www.usgs.gov/>) для дистанційного зондування Землі в рамках програми Landsat.

У роботі використовували архівні зображення, які зроблені в лютому — жовтні 2020 р. Застосовували прямокутну географічну систему координат EPSG: 32636 — WGS 84 / UTM zone 36N. Для всіх зображень проводили атмосферну корекцію з використанням плагіну Semi-Automatic Classification [7]. Використовували знімки, що мають не більше 20 % хмарного покриття, для яких робили маску хмар.

Визначення площ пожеж проводили з використанням нормалізованого коефіцієнту випалювання (Normalized Burn Ratio — NBR) [9, 13]. Він є найефективнішим інструментом для кращого розуміння масштабів пожежі та ступеня ушкодження рослинності. Біофізичною передумовою для його застосування є те, що після пожежі в інфрачервоній зоні (Near

Infrared) спектру спостерігається зниження світлового потоку, в той час як у короткохвильовому інфрачервоному спектрі (Short Wavelength Infrared 1) спостерігається підвищення значень порівняно з іншими каналами. Формула для розрахунку NBR:

$$NBR = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR1}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR1}}$$

Другим етапом є визначення різниці (Δ) між двома знімками — до і після пожежі:

$$\Delta NBR = NBR_{pre} - NBR_{post},$$

де NBR_{pre} — значення індексу NBR перед пожежею, NBR_{post} — після пожежі.

Оцінку впливу випалювання на рослинність плавневих екосистем проводили з використанням вегетаційних індексів, що відображають окремі показники стану рослинності: нормалізований диференціальний індекс рослинності (Normalized Difference Vegetation Index — NDVI) [21], індекс зеленого хлорофілу (Green Chlorophyll Index — GCI) [10, 11], індекс питомої площі листової пластинки (Specific Leaf Area Vegetation Index — SLAVI) [5, 15], нормалізований диференціальний індекс вологості (Normalized Difference Moisture Index — NDMI) [19] та індекс вологостійкості (Moisture stress index — MSI) [23].

Отримані результати були розбиті на чотири групи. Перша (I) група сформована даними за лютий та березень і визначає вплив випалювання на початкові умови розвитку рослинності. Друга (II) об'єднує три місяці — березень, квітень і травень — і узагальнює розвиток рослинності за весняний період. Третя (III) представлена червнем, липнем та серпнем (літній період). Четверта (IV) — вереснем та жовтнем (осінній період).

Розраховані індекси є інтегральним показником функціонування плавневих екосистем і залежать від умов місцезростань та пірогенного фактору. Вплив випалювання на взаємозв'язки між індексами визначали з використанням тесту суми рангів Вілкоксона, методу головних компонент, імітаційного моделювання та аналізу подібності (ANOSIM).

Метод головних компонент широко застосовується для обробки даних з багатьма змінними, дозволяє встановити кореляцію між ними і зменшити кількість даних з найменшою втратою інформації. Моделювання екологічної напруги на вегетаційні індекси здійснювали за допомогою методу Монте-Карло. Одним з найбільш широко використовуваних багатовимірних методів в екології є аналіз подібності (ANOSIM). Він застосовується для порівняння внутрішньо- та міжгрупової подібності [6] за допомогою міри відстані. Метод заснований на простій ідеї: якщо тестовані групи різні, то зразки всередині груп повинні бути більш схожі за складом, ніж зразки з різних груп. Тому нульова гіпотеза говорить: «середнє значення рангів внутрішньогрупових відстаней більше або дорів-

ное середньому значенню рангів міжгрупових відстаней». Статистика тесту ANOSIM заснована на різниці середніх рангів між групами і всередині груп. Значення R інтерпретується як коефіцієнт кореляції, який є мірою «розміру ефекту». Статистика ANOSIM порівнює середнє значення ранжованих відмінностей між групами з середнім значенням та ранжованих відмінностей всередині груп. Емпірично виділяють наступні групи: $0,75 < R < 1$ — сильно розрізняються, $0,5 < R < 0,75$ — розрізняються; $0,25 < R < 0,5$ — різні з деяким перекриттям; $0,1 < R < 0,25$ — схожі з деякими відмінностями (або великий збіг); $R < 0,1$ — схожі.

Для отримання та аналізу кількісних характеристик знімків використовували програмні продукти Quantum GIS і статистичний пакет R версії 3.4.4 [20] з використанням бібліотеки «vegan» [18].

Результати досліджень та їх обговорення

Результати обробки космічних знімків показали, що в зимово-весняний період 2020 р. площа пожеж дорівнювала 4453 га, або 33,1 % загальної площі плавневих систем (див. рис. 1). Площа палів у лютому складала 467 га (3,5 %), у березні — 1230 га (9,1 %). У квітні відбулися наймасштабніші пожежі, їхня загальна площа складала 2756 га (20,5 %).

За результатами тесту суми рангів Вілкоксона встановлено, що значення ΔNBR на початок вегетаційного періоду між ділянками з випалюванням та контролем мали статистично значущу ($p < 0,05$) різницю. Це обумовлено зростанням просторових відмінностей порівняно з контрольними ділянками внаслідок нерівномірного випалювання мертвої органічної речовини та дії інших чинників, переважно нерівномірності підтоплення території НПП (рис. 2).

Встановлено, що середні значення вегетативних індексів усіх ділянок, що розглядаються, досить близькі, але характеризуються суттєвими показниками асиметрії та ексцесу. Це пояснюється сукупним впливом часу випалювання та дії погодних факторів — вітру, опадів. На основі методу головних компонент виявлено, що взаємозв'язок варіабельності значень вегетаційних індексів, екологічних умов та часу випалювання на початок вегетаційного періоду визначається двома головними компонентами, які пояснюють 88,7 % загальної варіації даних (рис. 3, а). Перша головна компонента пояснює 50,8 % та є інтегральною оцінкою взаємодії значень індексів NDVI, GCI та SLAVI. Друга компонента, сформована індексами зволоження NDMI та MSI, пояснює 37,9 % загальної варіабельності даних.

Моделювання впливу сукупності пірогенного фактору та екологічних умов на динаміку значень вегетаційних індексів проводилось з використанням методу Монте-Карло. Якість виділення груп становила 43,2 %, що свідчить про нечітку різницю між ними за показниками вегетаційних індексів (див. рис. 3, а).

На основі аналізу подібності (ANOSIM) встановлено, що для дослідних ділянок значення R дорівнювало 0,4 ($p = 1e-04$). Це також свідчить про те, що вплив пірогенного фактора сформував на них різні умови, з де-

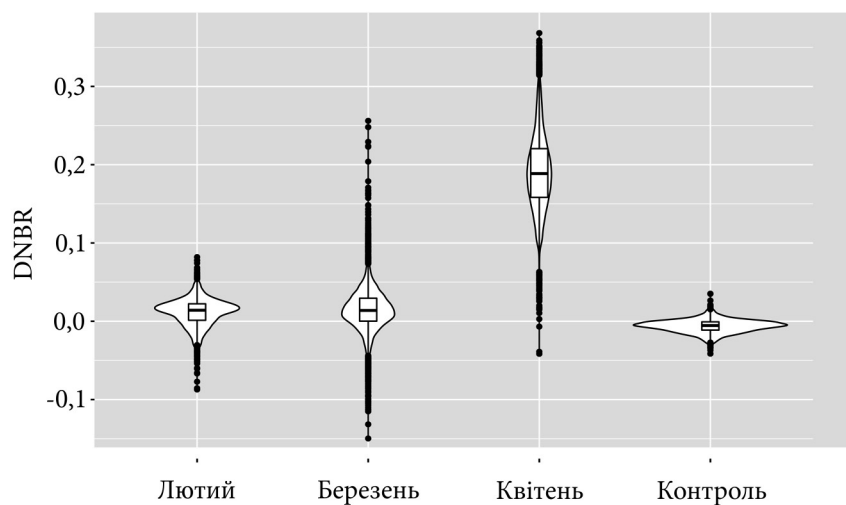


Рис. 2. Зміна значень ΔNBR залежно від часу випалювання травостою плавневих екосистем Нижньодністровського НПП на початок вегетаційного періоду

яким перекриттям, і підтверджує результати методу Монте-Карло (рис. 4, а).

Міжгруповий аналіз окремих ділянок на початок вегетаційного періоду виявив, що за ступенем подібності ділянки можна об'єднати в декілька груп (табл. 1).

Першу, найбільш подібну групу формують ділянки, що вигорали в лютому та березні (див. рис. 3, а). Друга група створена ділянками, котрі випалювалися в березні — квітні та лютому — квітні. Третя, найменш подібна група сформована парами з контролем, найбільша різниця наявна в контролі — квітні (табл. 1).

Показано, що на початок вегетаційного періоду різні строки зимо-во-весняного випалювання, за даними вегетаційних індексів, формують відносно індивідуальні екологічні умови для розвитку плавневої рослинності. Однак виявлена різниця є нечіткою, що може пояснюватися сукупним впливом: часом підтоплення території, природними умовами та ступенем випалювання рослинності.

Протягом весняного періоду відмічається значна варіація показників вегетаційних індексів, обумовлених різним ступенем підтоплення та часом випалювання. Їхній взаємозв'язок визначається двома головними компонентами, які пояснюють 93,5 % загальної варіації даних (див. рис. 3, б). Перша головна компонента пояснює 61,0 % та є інтегральною оцінкою взаємодії значень індексів SLAVI, GCI та NDVI. Друга компонента, сформована індексами зволоження NDMI та MSI, пояснює 32,5 % загальної варіабельності даних. Якість виділення груп знижувалась і становила 20,3 %. Це свідчить про малу різницю між ділянками та зменшення опосередкованого впливу пірогенного фактора (див. рис. 3, б).

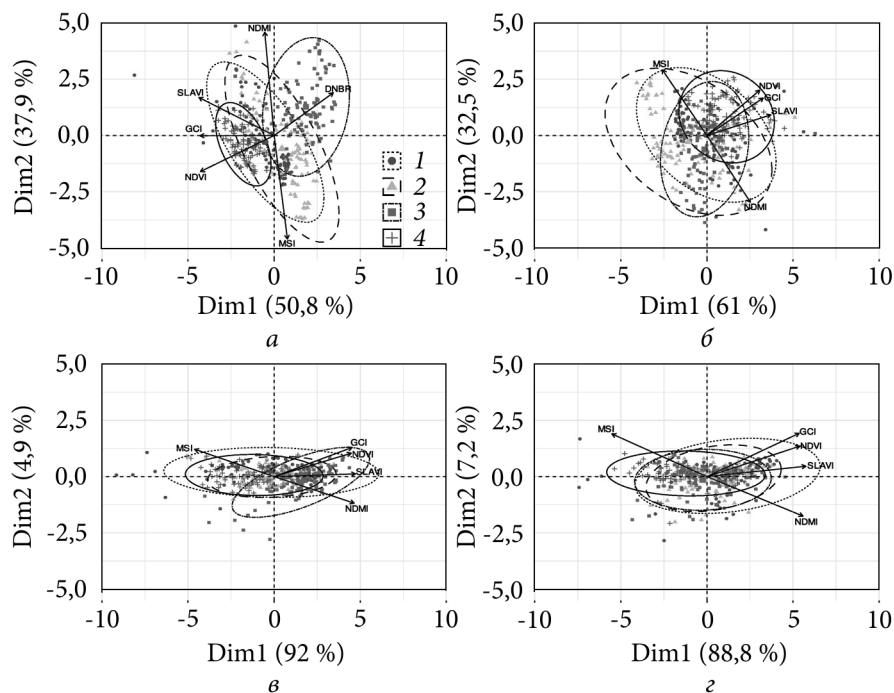


Рис. 3. Міжгруповий аналіз значень вегетаційних індексів та внесок кожного фактора в перші дві компоненти на початок вегетаційного періоду: *a* — на початок вегетаційного періоду; *б* — весна; *в* — літо; *г* — осінь; 1 — лютий; 2 — березень; 3 — квітень; 4 — контроль

Виявлено, що для дослідних ділянок значення R дорівнювало 0,25 ($p = 1e-04$). Це також підтверджує, що вплив пірогенного фактора сформував подібні, з деяким перекриттям, умови для розвитку рослинності плавневих екосистем (рис. 4, б). Міжгруповий аналіз окремих ділянок за весняний період виявив, що за ступенем подібності їх можна об'єднати в декілька груп (табл. 1). Першу, найбільш подібну групу формують ділянки, що вигорали в лютому та березні (див. рис. 4, б). Друга група створена ділянками, що випалювалися в березні — квітні та лютому — квітні. Третя група представлена контрольними ділянками та тими, що випалювалися у лютому. Найменш подібна група сформована парами з контролем, максимальна різниця наявна в парі контроль — лютий (див. табл. 1).

Показано, що протягом весняного періоду на ділянках з різними строками зимово-весняного випалювання, за даними вегетаційних індексів, зберігаються відносно індивідуальні екологічні умови розвитку плавневої рослинності. Однак виявлена різниця, порівняно з початком вегетаційного періоду, є нечіткою, що пояснюється сукупним впливом формування рослинності залежно від локальних умов та тривалістю підтоплення території.

Встановлено, що протягом літнього періоду наявне майже 2—3-разове збільшення середніх значень вегетаційних індексів та суттєве зниження

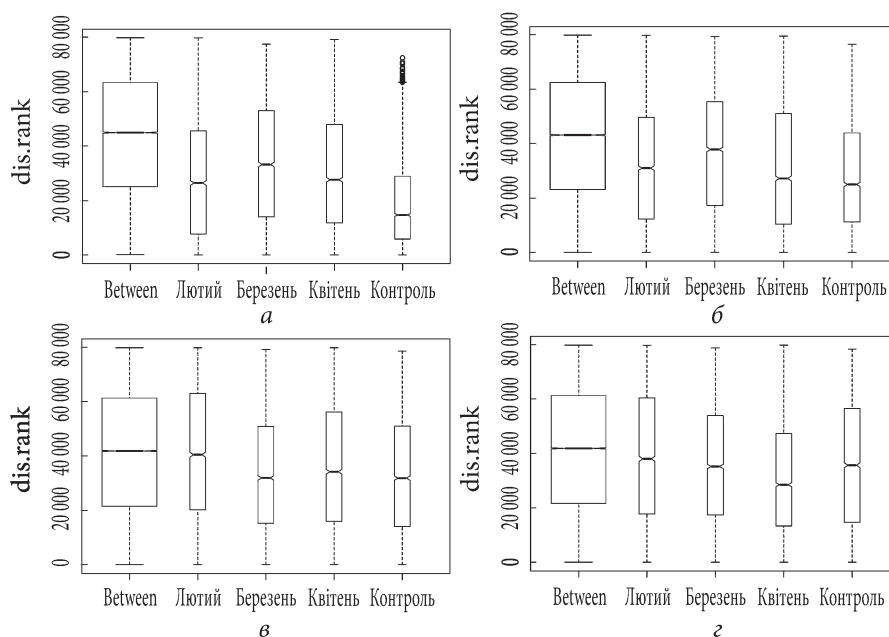


Рис. 4. Графіки аналізу подібності (ANOSIM), що показує відмінність між ділянками та всередині них: dis.rank — значення рангу відмінності (dissimilarity rank value); between — ранг відстані між ділянками; а — на початок вегетаційного періоду; б — весна; в — літо; г — осінь

ня їхньої варіації порівняно з весняними показниками, що обумовлено вирівнюванням екологічних умов існування плавневої рослинності Нижньодністровського НПП [8]. Їхній взаємозв'язок найбільш повно визначається двома головними компонентами, які пояснюють 96,9 % загальної варіації даних (див. рис. 3, в). Перша головна компонента пояснює 92,0 % та є інтегральною оцінкою взаємодії значень вегетаційних індексів. Друга компонента, сформована неоднорідністю зволоження території (NDMI та MSI), пояснює 4,9 % загальної варіабельності даних. Якість виділення груп продовжує знижуватись (19,9 %) і обумовлена нівелюванням природних умов на всій дослідній території та незначною різницею між дослідними ділянками за даними вегетаційних індексів.

Літній період характеризується досить незначними відмінностями між ділянками. Значення R складало 0,13 ($p = 1e-04$), що визначає їх як схожі, з деякими відмінностями. Це пояснюється подальшим розвитком плавневої рослинності протягом літніх місяців, яке нівелює вплив пірогенного фактору і формує подібні умови для її розвитку (рис. 4, г). Міжгруповий аналіз окремих ділянок за цей період виявив, що за ступенем подібності ділянки можна об'єднати в три групи (див. табл. 1). Першу (схожі) групу формують ділянки, що вигорали в лютому, березні та квітні (лютий — березень, лютий — квітень) та квітень — контроль (див. рис. 4,

г). Друга (подібні, з деякими відмінностями) група представлена парами лютий — контроль та березень — квітень. Третя (різні, з перекриттям) група сформована лише однією парою: квітень — контроль (див. табл. 1).

Показано, що вплив різних строків випалювання майже повністю нівелюється протягом літнього періоду. Виявлена різниця є нечіткою і пояснюється нерівномірністю розвитку рослинності плавневих екосистем залежно від строку випалювання, що виражається в значній розбіжності показників асиметрії та ексцесу значень вегетаційних індексів.

Протягом осіннього періоду відмічається повільне зменшення середніх значень вегетаційних індексів та збільшення показників асиметрії та ексцесу, що обумовлено зміною рівня підтоплення протягом літньо-осіннього періоду плавневих екосистем Нижньодністровського НПП [7]. Їхній взаємозв'язок також визначається двома головними компонентами, які пояснюють 96,0 % загальної варіації даних. Перша, головна, компонента пояснює 88,8 % та є інтегральною оцінкою взаємодії значень індексів SLAVI, GCI та NDVI. Друга компонента, сформована індексами зволоження (NDMI та MSI), пояснює 7,2 % загальної варіабельності даних. Якість виділення груп є мінімальною (14,5 %), що свідчить про майже повне зникнення відмінностей між ними (див. рис. 3, г).

Таблиця 1

Результати порівняння дослідних ділянок протягом вегетаційного періоду методом ANOSIM

Час випалювання	березень	квітень	контроль
Початок вегетаційного періоду			
Лютий	0,05	0,22	0,53
Березень		0,17	0,6
Квітень			0,72
Весна			
Лютий	0,05	0,13	0,42
Березень		0,18	0,52
Квітень			0,22
Літо			
Лютий	0,06	0,07	0,1
Березень		0,2	0,03
Квітень			0,33
Осінь			
Лютий	0,09	0,19	0,3
Березень		0,03	0,12
Квітень			0,09

Усі дослідні ділянки визначаються як схожі, з деякими відмінностями ($R = 0,13$, $p = 1e-04$). Це обумовлено продовженням формування подібних умов розвитку плавневої рослинності, яке нівелює вплив пірогенного фактору (див. рис. 4, з). Міжгруповий аналіз окремих ділянок за весняний період виявив, що за ступенем подібності ділянки можна об'єднати в три групи (табл. 2). Першу (схожі) групу формують ділянки, що вигорали в лютому, березні та квітні (лютий — березень, березень — квітень), а також пара квітень — контроль (див. рис. 4, з). Друга (подібні, з деякими відмінностями) група представлена парами лютий — квітень та березень — контроль. Третя (різні, з перекриттям) група сформована лише однією парою: лютий — контроль (див. табл. 1).

Виявлено, що протягом осіннього періоду майже повністю зникає вплив різних строків випалювання. Переважно це пов'язано зі зменшенням рівня обводненості території та закінченням вегетаційного періоду.

Результати аналізу подібності вегетаційних індексів дослідних ділянок протягом вегетаційного періоду дозволили встановити закономірності їхнього відновлення (табл. 2).

Таблиця 2

Розподіл за ступенем подібності ділянок з різними строками випалювання та контролем протягом вегетаційного періоду 2020 р.

Інтервали R	Лютий — березень	Лютий — квітень	Березень — квітень	Лютий — контроль	Березень — контроль	Квітень — контроль
<0,1	I, II, III, IV	III	IV	IV	III	IV
0,1—0,25		I, II, IV	I, II, III	III	IV	II
0,25—0,5				II		III
0,5—0,75				I	I, II	I

Показано, що ділянки, які випалювались до початку вегетаційного періоду (лютий та березень), характеризувалися схожим розвитком протягом усього періоду спостережень (див. табл. 2). Встановлено, що ступінь відмінності між горілими ділянками невелика, що пов'язано з локальними умовами підтоплення та інтенсивністю випалювання, а також кількістю сухої органічної речовини на окремих площах. Виявлено, що лише при зимовому (лютий) випалюванні спостерігається поступове, впродовж вегетаційного періоду, зменшення відмінностей порівняно з контролем (див. табл. 2). Вплив весняного (березень, квітень) випалювання відзначається значною варіабельністю значень ступеня подібності за сезонами протягом вегетаційного періоду (див. табл. 2).

Висновки

Дослідження даних дистанційного зондування Землі показали, що протягом зимово-весняного періоду 2020 р. пожежі на території Ниж-

ньодністровського НПП охоплювали майже 4453 га (33,1 % площі плавневих систем). На початок вегетаційного періоду різні строки зимово—весняного випалювання, за даними спектральних індексів показників стану рослинності (NDVI, GCI, SLAVI, NDMI, MSI), формують відносно індивідуальні екологічні умови для розвитку плавневої рослинності. Однак виявлена різниця є нечіткою (якість виділення груп — 43,2 %), що пояснюється сукупним впливом підтоплення території, природними умовами та ступенем випалювання рослинного покриву. Протягом весняного періоду зберігаються відносно індивідуальні екологічні умови розвитку плавневої рослинності. Однак виявлена різниця стає менш нечіткою (20,3 %), що обумовлено масовим розвитком едифікатора рослинних комплексів водно-болотних екосистем — *Phragmites australis*, стебла якого вийшли зі стадії пікулів і розвинули листову пластинку. Протягом літнього періоду різниця у розвитку рослинності продовжує знижуватись (19,9 %) і пояснюється просторовою нерівномірністю екологічних умов розвитку рослинності. Формування посушливих умов протягом осіннього сезону та закінчення вегетаційного періоду сприяє майже повному зникненню різниці між ділянками (14,5 %), що пов'язано з локальними умовами та інтенсивністю випалювання, а також із залишками сухої органічної речовини на окремих площах. Виявлено, що лише при зимовому (лютий) випалюванні спостерігається поступове (впродовж вегетаційного періоду) зменшення відмінностей порівняно з контролем. Вплив весняного (березень, квітень) випалювання відзначається значною варіабельністю значень ступеня подібності за сезонами протягом вегетаційного періоду.

Розроблений алгоритм може бути адаптований для різних типів екосистем та використаний для отримання більш повних даних. Краще розуміння масштабів пожеж та динаміки відновлення рослинності має вирішальне значення для ефективного управління цими та іншими плавневими екосистемами.

Список використаної літератури

1. Дворецький Т.В. Зміни ресурсних і морфометричних параметрів *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. болотних угруповань дельти Кілійського гирла Дунаю під впливом прямих антропогенних факторів. *Укр. ботан. журн.* 2002. № 5. С. 547—553.
2. Дубина Д.В., Дворецький Т.В., Дзюба Т.П., Тимошенко П.А. Активна охорона фіторізноманіття природно-заповідного фонду плавнево-літоральних геосистем Північного Причорномор'я: проблеми та шляхи їх вирішення *Чорноморськ. ботан. журн.* 2017. Т. 13, № 2. С. 22—238
3. Дубина Д.В., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Плавни Причорномор'я. Київ : Наук. думка, 1989. 272 с.
4. Екомережа степової зони України: принципи створення, структура, елементи / Ред. д-р біол. наук, проф. Д.В. Дубина, д-р біол. наук, проф. Я.І. Мовчан. Київ, 2013. 409 с.
5. Aber James S., Marzolf Irene, Ries Johannes Ries. Small-format aerial photography. Elsevier, 2010. 268 p.

6. Clarke K.R. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian J. Ecol.* 1993. N 18. P. 117—143.
7. Congedo L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *JOSS.* 2021. Vol. 6. DOI: 10.21105/joss.03172
8. Dvoretzkiy T.V., Gubanov V.V. Seasonal dynamics of vegetation in the wetlands of the Lower Dniester NNP based on remote data from the Landsat-8 Satellite *Hydrobiol. J.* 2023. Vol. 59, N 1. P. 3—15.
9. Garcia M.J.L., Caselles V. Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data. *Geocarto Int.* 1991. N .6 (1), P. 31—37.
10. Gitelson A., Gritz Y., Merzlyak M. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *J. Plant Physiol.* 2003. Vol. 160. P. 271—282.
11. Gitelson A.A., Kaufman Y.J., Merzlyak M.N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment.* 1996. Vol. 58. P. 289—298.
12. Hawbaker T., Vanderhoof iM., Beal Y.-J. et al. Mapping burned areas using dense time-series of Landsat data. *Ibid.* 2017. Vol. 198. P. 504—522. (11)
13. Keeley J.E. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *Intern. J. Wildland Fire.* 2009. Vol. 18, N 1. P. 116—126.
14. Li Xiaodong, Song Kaishan, Liu Ge. Wetland Fire Scar Monitoring and Its Response to Changes of the Pantanal. *Wetland. Sensors.* 2020. Vol. 20 (15):4268. DOI:10.3390/s20154268
15. Lymburner L., Beggs P., Jacobson C. Estimation of canopy-average surface-specific leaf area using Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.* 2000. Vol. 66, N 2. P. 183—191.
16. McKenna Ph., Phinn S., Erskine P. Fire severity and vegetation recovery on mine site rehabilitation using WorldView-3 Imagery. *Fire.* 2018. Vol. 1 (2):22. DOI:10.3390/fire1020022
17. Moura S., Bento-Gonzalves A., Rocha W., Baptista G. Assessment of burned forest area severity and postfire regrowth in Chapada Diamantina National Park (Bahia, Brazil) using dNBR and RdNBR spectral indices. *Geosciences.* 2020. Vol. 10 (3):106 DOI:10.3390/geosciences10030106
18. Oksanen Jari, Simpson Gavin L., Blanchet F. Guillaume et al. Community ecology package. October 2022. Режим доступа: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>
19. Penuelas J., Filella I., Gamon J.A. Assessment of photosynthetic radiation-use efficiency with spectral reflectance. *New Phytologist.* 2010. Vol. 131, N 3. P. 291—296.
20. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. R Core Team (2021). Режим доступа: URL <https://www.R-project.org/>.
21. Rouse J.W, Haas R.H., Scheel J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceed. 3rd Earth resource technology satellite (ERTS) symposium. 1974. Vol. 1. P. 48—62.
22. Viedma O., Torres I., Perez B., Moreno J.M. Modeling plant species richness using reflectance and texture data derived from QuickBird in a recently burned area of Central Spain. *Remote Sensing of Environment.* 2012. Vol. 119. P. 208—221.
23. Welikhe P., Quansah J.E., Fall S., Elhenney W.Mc. Estimation of soil moisture percentage using LANDSAT-based moisture stress index. *Remote Sensing & GIS.* 2017. DOI:10.4172/2469-4134.1000200

Надійшла 19.06.2023

T.V. Dvoreckiy, PhD (Biol.), Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: d.taras.v@gmail.com
ORCID 0000-0001-6899-1689

USE OF REMOTE EARTH SENSING DATA FOR ASSESSMENT OF THE
CONSEQUENCES OF BURNING VEGETATION OF FLOODIAN ECOSYSTEMS OF
THE LOWER DNIESTER NATIONAL NATURE PARK

The aim of our study was to determine the areas of fires, the response of floodplain ecosystems to burning, and to identify the difference between them and the control using remote sensing data. The impact of burning was assessed using spectral indices that reflect certain indicators of ecosystem condition: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Chlorophyll Index (GCI), Specific Leaf Area Vegetation Index (SLAVI), Normalized Difference Moisture Index (NDMI) and Moisture stress index (MSI). It was established that during the winter-spring period of 2020, fires in the territory of the Lower Dniester NNP covered almost 4453 hectares (33.1 % of the area of floodplain ecosystems). Based on the method of simulation modeling, it was found that the difference between the burned areas and the control is gradually decreasing over the course of the vegetation period. The maximum difference was observed at the beginning of the growing season (the quality of group selection is 43.2 %), which indicates the creation of relatively individual environmental conditions for the development of floodplain vegetation. In the spring, the difference is 20.3 %, which is due to the development of *Phragmites australis*, a unifier of plant complexes of wetland ecosystems, whose stems have developed a leaf blade. The summer period is characterized by a further decrease in the quality of group selection (19.9 %), which can be explained by the equalization of ecological conditions for vegetation development. The autumn period is characterized by dry conditions and the end of the growing season, which also contributes to the almost complete disappearance of differences between the plots (14.5 %). Based on the analysis of similarity (ANOSIM), it was found that the degree of difference between the burned plots is small, which is related to local conditions and intensity of burning, as well as the amount of dry organic matter in certain areas. It was found that only during winter (February) burning there is a gradual decrease in differences during the vegetation season compared to the control. The influence of spring (March, April) burning is marked by significant variability of the degree of similarity by season during the vegetation period.

Keywords: Dniester, floodplain ecosystems, fires, vegetation indices, seasonal dynamics, remote sensing.