

ЗАГАЛЬНА ГІДРОБІОЛОГІЯ

УДК [504.73:574.68](282.247.314)

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

В.В. ГУБАНОВ, к. б. н., наук., ст. наук. співроб.,
Благодійний фонд «Підтримка та розвиток об'єктів природно-заповідного фонду»,
вул. Ковальська, 7, Одеса, 65020, Україна
e-mail: v.gubanov.odessa.@ gmail.com

СЕЗОННА ДИНАМІКА РОСЛИННОСТІ ПЛАВНЕВИХ ЕКОСИСТЕМ НИЖНЬОДНІСТРОВСЬКОГО НПП НА ОСНОВІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ СУПУТНИКОМ LANDSAT-8

На основі даних дистанційного зондування Землі супутником Landsat-8 розглянуто динаміку рослинності плавневих екосистем Нижньодністровського НПП з використанням вегетаційних індексів NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) та VCI (Vegetation Condition Index) протягом вегетаційного періоду 2020 р. Виявлено, що розподіли значень протягом усього вегетаційного періоду не відповідали нормальному закону розподілу, що свідчить про різноманіття умов розвитку рослинності. Показано, що на її розвиток у весняний період негативно вплинув пірогенний фактор, який призвів до знищення та ушкодження рослинності на значних ділянках плавнів. Різке збільшення показників NDVI на початку літнього періоду було викликано швидким розвитком едифікатора рослинних комплексів водно-болотних екосистем — *Phragmites australis*, стебла якого вийшли зі стадії пікулів і розвинули листову пластинку. У цей період переважала добре розвинена і сильно розвинена рослинність, загальна площа якої перевищила 97 %. Осінній період характеризувався поступовим зменшенням площ розвиненої і збільшенням площ слабо розвиненої рослинності. Результати проведених досліджень свідчать про ефективність дистанційного зондування території з використанням індексів NDVI і VCI для оцінки стану рослинного покриву та необхідні для розв'язання проблеми збереження, відновлення та сталого використання плавневих екосистем південно-західного Причорномор'я в умовах збільшення антропогенного навантаження та глобальних кліматичних змін.

Ключові слова: Дністер, вегетаційні індекси, сезонна динаміка, дистанційні дослідження.

Ц и т у в а н н я: Дворецький Т.В., Губанов В.В. Сезонна динаміка рослинності плавневих екосистем Нижньодністровського НПП на основі даних дистанційного зондування землі супутником Landsat-8. *Гідробіол. журн.* 2022. Т. 58. № 5. С. 3—18.

ISSN 0375-8990. Гідробіологічний журнал. 2022. 58(5)

3

Нижньодністровський національний природний парк, розташований у дельті Дністра, є основною частиною плавневих екосистем водно-болотних угідь міжнародного значення «Північна частина Дністровського лиману» та «Межиріччя Дністра і Турунчука», які охороняються Рамсарською конвенцією. Ці плавневі екосистеми характеризуються багатим біорізноманіттям і є важливими для збереження рослинного і тваринного світу дельти Дністра [2]. Останні десятиліття територія Нижньодністровського НПП виявилася в фокусі значних екологічних проблем, які виникли внаслідок зарегулювання стоку та зменшення його об'ємів [3, 4], а також та значного посилення різнопланового антропогенного навантаження на екосистему дельти Дністра. Оцінка і моніторинг просторової та сезонної динаміки рослинності плавневих екосистем Нижньодністровського НПП 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. Одним із сучасних методів є дистанційне вивчення стану рослинності на основі мультиспектральних даних, отриманих за результатами космічного спостереження. На основі даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) розраховуються вегетаційні індекси, за якими можна встановити стан рослинності та виявити тенденції її змін [5, 11, 12, 14]. Застосування цього метода найбільш доцільно для вивчення великих і складних для прямого спостереження об'єктів, таких як плавневі екосистеми дельтових частин річок.

Метою роботи було визначення сезонної динаміки стану рослинності плавневих екосистем у межах Нижньодністровського НПП на основі спектрального індексу NDVI.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктом дослідження є сезонна динаміка та просторова нерівномірність рослинності плавневих екосистем Нижньодністровського НПП на основі вегетаційного спектрального індексу NDVI. Вихідна інформація щодо сезонної продуктивності рослинного покриву отримана з даних мультиспектральних космічних знімків, зроблених супутником Landsat 8, створеним Національним управлінням з аеронавтики і дослідження космічного простору (NASA) спільно з Геологічною службою США (USGS) (<https://www.usgs.gov/>) для дистанційного зондування Землі у рамках програми Landsat. Основний інструмент супутника — Landsat Operational Land Imager (OLI), який вимірює у видимому, ближньому інфрачервоному і короткохвильовому інфрачервоному частинах електромагнітного спектра, із роздільною здатністю 30 м/піксель та Thermal Infra-Red Scanner (TIRS) — тепловізор, що працює в режимі з двома інфрачервоними каналами: 10,8 мкм і 12 мкм (100 м/піксель).

У роботі використовували архівні зображення, які було зроблено у березні (III), квітні (IV), травні (V), червні (VI), липні (VII), серпні (VIII), вересні (IX), жовтні (X) та листопаді (XI) 2020 р. Використовувалася прямокутна географічна система координат EPSG: 32636 — WGS 84 / UTM

zone 36N. Для всіх зображень проводилась атмосферна корекція з використанням плагіну Semi-Automatic Classification [6]. Відбиралися знімки, що мають не більше 20 % хмарного покриття, для яких робилася маска хмар. Для отримання і аналізу кількісних характеристик знімків використовували програмні продукти Quantum GIS і статистичний пакет R [13].

Найбільш розповсюдженим методом вивчення формування та розвитку великих площ наземної і водної рослинності є нормалізований відносний індекс рослинності — NDVI [7]. Розрахунок індексу здійснюється за формулою:

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

де ρ_{NIR} — коефіцієнт спектральної яскравості у ближньому інфрачервоному спектрі; ρ_{RED} — коефіцієнт спектральної яскравості у червоному спектрі.

Згідно з інформацією з сайту Sentinel Hub, значення індексу NDVI для живої рослинності змінюються від 0,2 до 1. Отримані дані NDVI залежно від поставлених завдань емпірично поділяли на окремі групи: хмари; -1—0 — відсутність рослинності (відкритий ґрунт, поверхня води), 0—0,2 — нерозвинена рослинність, 0,2—0,3 — слабо розвинена, 0,3—0,6 — розвинена, 0,6—0,8 — добре розвинена, >0,8 — сильно розвинена рослинність [1]. Встановлені часові зміни значень NDVI містять інформацію про фенологічні цикли рослинності, яка необхідна у роботі геоботаніків, екологів і фахівців, що займаються природоохоронними заходами [8, 16]. Визначено основні статистичні показники по місяцях і простежено динаміку їхніх змін протягом вегетаційного періоду.

Для оцінки просторової характеристики неоднорідності рослинного покриву використовували індекс стану рослинності (VCI) [9]. Використана лінійна модель для отримання VCI з індексів рослинності [10] описується наступним чином:

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}, \quad (2)$$

де $NDVI_{\max}$ и $NDVI_{\min}$ відповідають NDVI еталонної рослинності ($VCI = 1$) і еталонного ґрунту ($VCI = 0$). Ми використовуємо модифіковану версію цієї моделі [15], де NDVI — поточне значення, $NDVI_{\max}$ и $NDVI_{\min}$ — мінімальні і максимальні значення за цей же час. Вибір найбільшого і найменшого значень NDVI гарантує, що отримані значення VCI невід'ємні і не перевищують одиниці. Отримані значення індексу VCI були також розбиті на окремі групи: 0,2—0,3 — слабкий та незадовільний стан рослинності, 0,3—0,7 — задовільний, близький до середньо-багаторічно-

го показника, $VCI > 0,7$ — добрий стан рослинності, який характерний для сприятливих погодних умов.

Для виявлення відмінностей інтенсивності розвитку рослинності протягом вегетаційного періоду визначали абсолютні (абсолютний приріст) і відносні (ланцюговий темп зростання) показники динаміки значень індексу NDVI.

Приріст (Δn) показує абсолютну швидкість зміни ряду динаміки і визначається як різниця між даними рівнем і рівнем, прийнятим за основу порівняння:

$$\Delta n = Y_i - Y_j, \quad (3)$$

де Y_i — значення індексу NDVI порівнюваного періоду; Y_j — значення індексу NDVI попереднього періоду.

Ланцюговий темп зростання ($T_{пр}$), характеризує інтенсивність зміни рівня від поточного періоду до базового, показуючи на скільки відсотків поточний рівень більше або менше попереднього. Розрахунок здійснюється за формулою:

$$T_{пр} = \frac{Y_i}{Y_0} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де Y_i — значення індексу NDVI порівнюваного періоду; Y_0 — значення індексу NDVI базового періоду.

Оцінка змін значень індексу NDVI за вегетаційний період проводилась до показника індексу сезонності та сили сезонних коливань. Індекс сезонності (I_c) показує, у скільки разів фактичний рівень ряду значень у момент часу t відрізняється від середнього рівня, відповідного даному моменту (інтервалу) часу, або рівня, що розрахований за рівнянням тенденції $f(t)$. Визначається по співвідношенню окремого місяця до середнього значення за вегетаційний період, виражений у відсотках:

$$I_c = \frac{Y_i}{\bar{Y}_i} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де Y_i — середнє значення індексу NDVI за поточний місяць; \bar{Y}_i — середнє значення індексу NDVI за вегетаційний період.

Ступінь сезонних коливань показує коефіцієнт сезонності V_c — величина, на яку збільшується або зменшується значення індексу сезонності порівняно із середніми в окремий проміжок часу:

$$V_c = \sqrt{\frac{\sum (i_c - 100\%)^2}{n}}, \quad (6)$$

де i_c — коефіцієнт сезонності; n — кількість місяців у вегетаційному періоді. Чим менше значення V_c , тим менше проявляється сезонність явища. Ступень сезонних коливань поділяють на рівні: <10 % — слабкі, 10—25 % — помірні, 25—40 % — сильні, >40 % — дуже сильні.

Результати досліджень

На початку вегетаційного періоду (березень) значення індексу NDVI характеризувались істотним розмахом значень (0,47) при середньому — 0,24, відмічена сильна лівостороння асиметрія (2,7) і позитивний ексцес — 13,6 (рис. 1).

Значення просторової мінливості продуктивності (VCI), розраховане за формулою 2, становило 0,1, що вказує на слабкий розвиток рослинності плавневих екосистем. Встановлені показники розподілу значень NDVI не відповідали нормальному закону розподілу, що свідчить про неоднорідність умов розвитку плавневої рослинності, які, однак, не формують значущих скупчень (рис. 1). Встановлено, що загальна площа рослинності плавневих екосистем у межах Нижньодністрівського НПП становить 8848,7 га, або 65,8 % їхньої загальної площі (рис. 2, а). Домінували ділянки зі слабо розвинутою та розвинутою рослинністю, які займали відповідно 62,5 і 3,3 % (табл. 1).

Суттєва роль у формуванні значень індексу NDVI та територіального розподілу рослинності у квітні належить ділянкам з випаленим сухостоєм, площа яких становила 4453 га, або 33,1 % площі плавневих екосистем. Відмічено зростання показників NDVI, які характеризувалися помітним розмахом (0,51) і середнім — 0,27. На відміну від попереднього місяця, виявлено зниження показників асиметрії (2,09) і ексцесу — 7,47, що свідчить про початок масової вегетації рослинності, хід якої, однак, залежить від місця її зростання. На початку вегетаційного періоду (березень) значення індексу NDVI, при середньому значенні 0,24, характеризувались істотним розмахом (0,47). Приріст (Δp) індексу NDVI, згідно з формулою 4, склав 0,03, $T_{пр}$ — ланцюговий темп зростання, розрахований за формулою 5, у порівнянні з вихідними (квітневими) значеннями склав 112,5 %. Значення VCI становили 0,1, що вказує на слабкий розвиток рослинності плавневих екосистем. Загальна площа рослинності становила 8124,1 га (60,4 % площі плавневих екосистем) (табл. 1). Вплив пожеж призвів до формування від'ємних значень $T_{пр}$ до 91,7 % (-724,6 га). У квітні переважала слабо розвинена рослинність (49,8 %) та відмічено майже триразове збільшення частки розвинутої рослинності — до 10,6 % (рис. 2, б).

У травні на визначення значень індексу NDVI та територіального розподілу рослинності впливала хмарність, яка закрила 2935,6 га, тобто

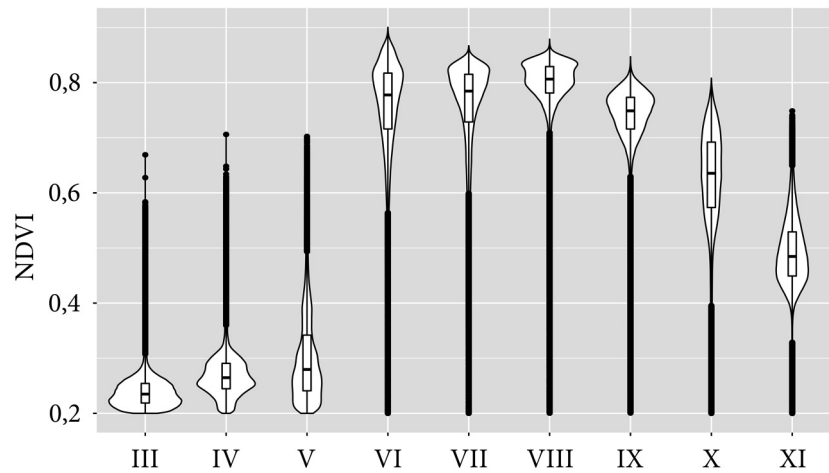


Рис. 1. Динаміка розподілу значень індексу NDVI плавневих екосистем Нижньодністровського НПП протягом вегетаційного періоду 2020 р.: III—XI — місяці

21,8 % всієї території (рис. 2, в). Значення індексу NDVI продовжували збільшуватись і характеризувались дещо меншим розмахом (0,5) у порівнянні з попереднім місяцем. Середні значення індексу NDVI збільшилось до 0,3. Відзначається подальше зниження показників асиметрії (1,38) і ексцесу — 2,01, що свідчить про поступове вирівнювання процесів розвитку рослинності на всій території досліджень і підтверджується збільшенням показників VCI до 0,2. Значення Δ п NDVI не змінилось і дорівнювало 0,03, Тпр — 125 %. Загальна площа рослинності становила 7324,9 га (54,4 % площі плавневих екосистем) (див. табл. 1). Наслідки пожеж сприяли зниженню Δ п до -799,2 га та Тпр — до 82,8 %. У травні, як і у попередні місяці, переважала слабо розвинена та розвинена рослинність

Таблиця 1

Зміни площ рослинності плавневих екосистем (га) на території Нижньодністровського НПП за вегетаційний період 2020 р. на основі індексу NDVI

Значення NDVI	Місяці							
	III	IV	VI	VII	VIII	IX	X	X
Хмари	0	5,8	0	1375,5	0	0	511	0
<0,2	4606,3	5324,9	122,3	120,6	122,4	146,7	260,2	320,3
0,2—0,3	8407,1	6698,2	81,7	33,9	40,8	50,8	146,4	69,8
0,3—0,6	44 0,2	1423,8	773,6	933,3	292,4	421,6	4287,3	12334,5
0,6—0,8	1,4	2,1	7615,6	6456,8	5397,9	12217,3	8248,6	730,4
>0,8	0	0	4861,8	4534,9	7601,5	618,6	1,5	0

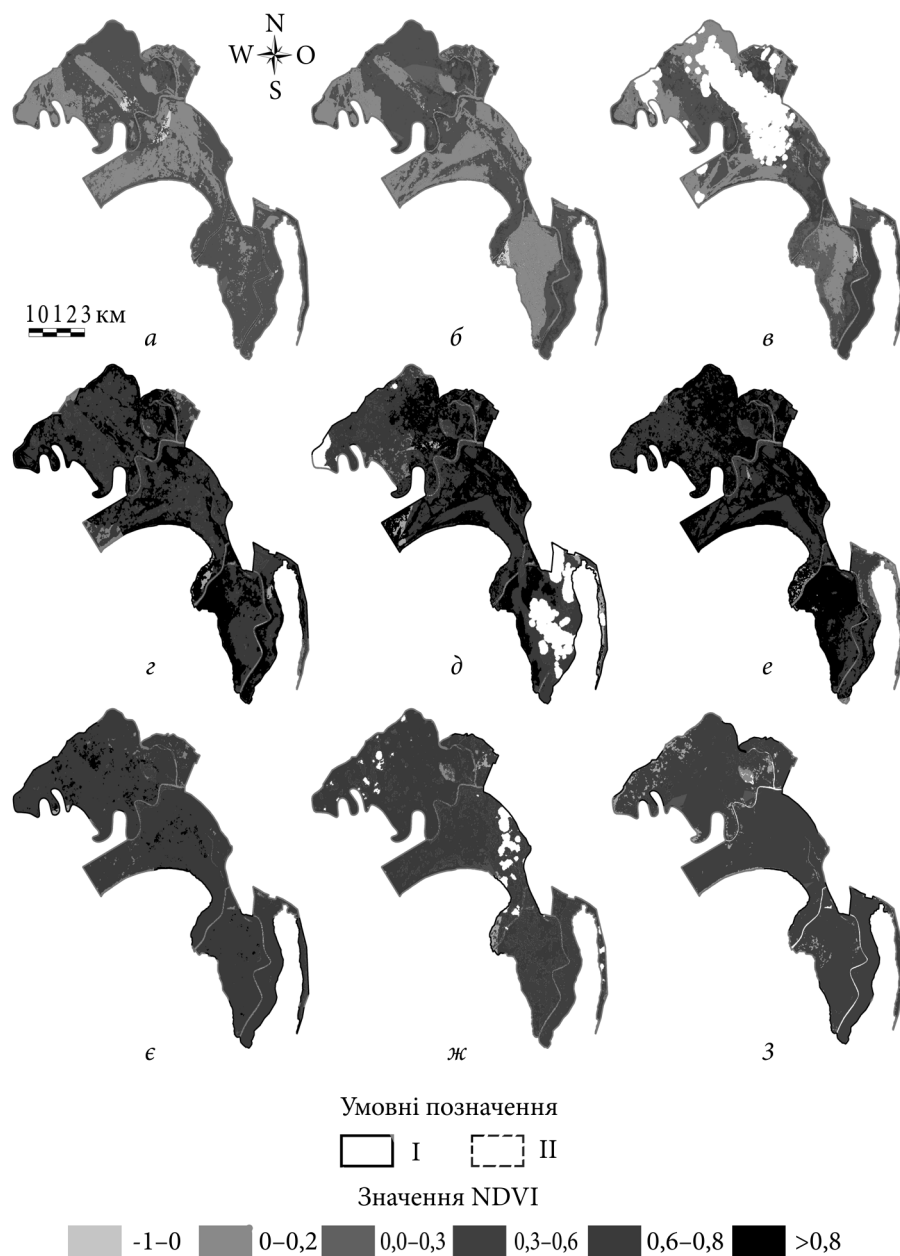


Рис. 2. Карта розподілу значень індексу NDVI плавневих екосистем Нижньодністрівського НПП за вегетаційний період 2020 р.: I — мережі плавневих екосистем Нижньодністрівського НПП; II — хмари; -1—0 — відсутність рослинності (вода, відкритий ґрунт); 0—0,2 — нерозвинена рослинність; 0,2—0,3 — слабо розвинена; 0,3—0,6 — розвинена; 0,6—0,8 — добре розвинена; >0,8 — сильно розвинена рослинність; а — березень; б — квітень; в — травень; г — червень; д — липень; е — серпень; є — вересень; ж — жовтень; з — листопад

— відповідно 32,8 і 21,3 %. На окремих ділянках почала формуватися добре розвинена рослинність — 0,3 % (див. рис. 2, в).

У червні значення індексу NDVI плавневих екосистем характеризувались великим розмахом значень — 0,9, а середнє значення збільшилось у порівнянні з попереднім місяцем до 0,76. Також відзначена сильна правобічна асиметрія (-1,84) і позитивний ексцес — 5,57 (див. рис. 1), що показує нерівномірність розвитку рослинності на всій території плавневих екосистем Нижньодністровського НПП у цей період. Це свідчить про переважання площ рослинності зі значеннями NDVI більше середнього показника індексу, що підтверджується збільшенням VCI до 0,8. Таке різке зростання значень індексу NDVI викликане особливостями розвитку едифікатора рослинного покриву водно-болотних екосистем — *Phragmites australis* (Cav.) Trin.ex Steud., стебла якого вийшли зі стадії пікулів і розправили листову пластинку. Значення Δ п NDVI зросло порівняно з попереднім місяцем і складало 0,46, що є максимальним показником за вегетаційний період, Тпр — 316,7 %. Загальна площа рослинності збільшилась до 13332,7 га (99,1 %), що вказує на майже повну відсутність чистого дзеркала води у водоймах і нерозвиненої рослинності (0,6 %) (див. табл. 1). Значення Δ п площі рослинності становить 6007,7 га, Тпр — 150,7 %. На відміну від попереднього місяця, переважає добре розвинена (56,6 %) та сильно розвинена рослинність (36,1 %). Найбільш суттєво скоротилися площі слабо розвиненої — до 0,6 % та відмічено майже чотириразове зниження площ розвиненої рослинності — до 5,7 % (рис. 2, з).

У липні, як і у червні, на визначення значень індексу NDVI та територіального розподілу рослинності також впливала хмарність, яка закрила 1375,5 га (10,2 %) території, що досліджується (рис. 2, д). У порівнянні зі значеннями попереднього місяця, показники індексу NDVI не збільшились і становили: середнє — 0,76, розмах — 0,8. Виявлено збільшення правобічної асиметрії (-1,89) і позитивний ексцес — 3,66 (див. рис. 1). Значення індексу VCI не змінилось і становило 0,8. Показник Δ п NDVI дорівнює нулю, ланцюговий темп зростання — 316,7 %. Площа рослинності становила 11 959 га (88,9 % площі плавневих екосистем), що менше попередніх значень та пов'язано з наявністю хмар протягом місяця (див. табл. 1). Значення Δ п площі рослинності становить —1373,6 га, Тпр — 135,2 %. Як і в попередньому місяці, переважає добре розвинена (48,0 %) та сильно розвинена рослинність (33,7 %). Площі слабо розвиненої рослинності досягають мінімальних значень (до 0,3 %), та водночас відмічено невелике збільшення територій розвиненої рослинності — до 6,9 % (рис. 2, д).

У серпні середнє значення індексу NDVI продовжувало збільшуватись і досягло піку — 0,8, розмах — 0,68. Відмічається подальше збільшення показників асиметрії (-4,2) і ексцесу (26,0), що свідчить про нерівномірність розвитку рослинності на всій території плавневих екосистем Нижньодністровського НПП (див. рис. 1) і підтверджується збільшенням значення VCI до 0,9. Значення Δ п NDVI становить 0,04, Тпр — 329,2 %, що є максимальним значенням за вегетаційний період 2020 р. За-

гальна площа рослинності у цей час становила 13 332,6 га (99,1 % площі плавневих екосистем), що вказує на майже повне покриття поверхні плавневих водойм водною рослинністю і відсутність нерозвинутої рослинності (0,9 %) (див. табл. 1). Значення площі рослинності становить 1373,4 га, Тпр — 150,7 % і також є максимальним значенням за вегетаційний період 2020 р. У цей період найбільш представлені сильно розвинена та добре розвинена рослинність, сукупна площа яких становить 96,6 % території плавневих екосистем (див. табл. 1). Відмічається подальше, майже втричі, зменшення площ розвинутої рослинності — до 2,2 %. Незмінними залишились площі слабо розвинутої рослинності — 0,3 % (рис. 2, е).

У вересні відмічається зниження середнього значення індексу NDVI плавневих екосистем у порівнянні з попереднім місяцем до 0,74 з розмахом 0,65. Так само відмічено зменшення показників правобічної асиметрії (-3,39) і позитивного ексцесу - 18,34 (див. рис. 1). Значення індексу VCI дещо знизилось і становить 0,8, що пояснюється уповільненням розвитку рослинності на всій території плавневих екосистем. Показник Дп NDVI у порівнянні з попереднім місяцем має від'ємне значення — -0,06, Тпр також знизився до 304,2 %. Загальна площа рослинності становила 13 308,3 га (98,9 % площі плавневих екосистем), що вказує на початок відмирання рослинності на поверхні води у плавневих водоймах та формування нерозвинутої рослинності (1,1 %) (див. табл. 1). Значення Дп площі рослинності у порівнянні з попереднім місяцем має від'ємне значення і становить -24,3 га, Тпр — 150,4 %. У вересні вже майже вся територія плавневих екосистем представлена добре розвинутою рослинністю — 90,8 %. На відміну від попереднього місяця спостерігається зниження площ сильно розвинутої рослинності майже у 12 разів — до 4,6 %, та збільшення у півтора раза територій з розвинутою рослинністю — до 3,1 % (див. рис. 2, е).

У жовтні на визначення значень індексу NDVI та територіального розподілу рослинності впливала хмарність, яка закрила 511,0 га — 3,8 % території, що досліджується (рис. 2, ж). Встановлено зниження середнього значення індексу NDVI до 0,62 та розмаху значень — до 0,61 у порівнянні з вереснем. Також відмічено подальше зменшення значень правобічної асиметрії (-1,01) і позитивного ексцесу — 1,73 (див. рис. 1). Це свідчить про подальше зниження розвитку рослинності, що підтверджується зменшенням показника індексу VCI до 0,7. Значення Дп NDVI так само знизилось у порівнянні з попереднім місяцем і складало -0,11, Тпр — 258,3 %. Площа рослинності у цей період становила 12 683,8 га (94,3 % площі плавневих екосистем) внаслідок подальшого збільшення площ чистого дзеркала води у зв'язку з відмиранням плаваючої водної рослинності (*Nymphaea alba* L., *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Trapa natans* L. *Salvinia natans* (L.) All. та ін.), а також ділянок суходолу з нерозвинутою рослинністю (1,9 %) (табл. 1). Дп площі рослинності у порівнянні з попереднім місяцем складає від'ємне значення -624,3 га, Тпр — 143,3 %. Спостерігається зникнення сильно розвинутої та зменшення у півтора раза

площ добре розвинутої рослинності (до 61,3 %) у порівнянні з вереснем (див. табл. 1). Відмічено збільшення площ розвинутої рослинності відносно попереднього місяця майже у 12 разів — до 31,9 % і слабо розвинутої рослинності втричі — до 1,1 % (див. рис. 2, ж).

У листопаді триває зниження середнього значення індексу NDVI до 0,49 та розмаху значень — 0,54. На відміну від попереднього місяця, відмічена невелика лівостороння асиметрія (0,29) і позитивний ексцес — 0,93 (див. рис. 1). Значення VCI становило 0,5, що вказує на задовільний стан рослинності. Значення Δ NDVI продовжує знижуватись і дорівнює -0,13, Тпр — 204,2 %. Площа рослинності у цей період становила 13 134,7 га (97,6 % площі плавневих екосистем). Деяке збільшення площі рослинності обумовлено наявністю хмар, що занизили жовтневі показники. Відмічається подальше зростання площ чистого дзеркала води та ділянок з нерозвинутою рослинністю (2,4 %) (див. табл. 1). Δ п площі рослинності у порівнянні з попереднім місяцем має додаткове значення, що пов'язано з впливом хмарності, і становить 450,7 га, Тпр — 148,4 %. Продовжується зменшення майже у 11 разів площ добре розвинутої (до 5,4 %) та вдвічі — слабо розвинутої рослинності (до 0,5 %) у порівнянні з жовтнем (табл. 1). Відмічено збільшення майже втричі відносно попереднього місяця площ розвинутої рослинності — до 91,7 % (рис. 2, з).

Обговорення результатів досліджень

Отримані результати змін показників NDVI та VCI дозволили встановити зміни індексу (I_c) та коефіцієнта сезонності (V_c) протягом вегетаційного періоду (табл. 2).

Встановлено, що I_c NDVI змінюється у широких межах і має майже трикратні відмінності залежно від сезону. Мінімальні значення характерні для весни, максимальні — для літа. Визначене значення V_c NDVI характеризує сильні коливання індексу, що викликано неконтрольованим випалюванням сухої водно-болотної рослинності та неоднорідністю абіотичних умов. Значення I_c VCI також змінюються у широких межах і мають майже десятикратну різницю залежно від сезону. Мінімальні значення характерні для весни, максимальні — для літа. Розраховане значення V_c VCI відзначає дуже сильні коливання індексу, також викликані неконтрольованим випалюванням та неоднорідністю абіотичних умов (див. табл. 2).

Отримані дані просторового розподілу територій з груп з однаковими значеннями індексу NDVI дозволяють визначити їхні сезонні зміни (рис. 3).

Весняний сезон характеризується середнім значенням індексу NDVI — 0,28, розмах — 0,44, відзначена лівостороння асиметрія (1,8) і позитивний ексцес — 4,3, що свідчить про нерівномірність розвитку рослинності у цей період на всій території плавневих екосистем Нижньодністровського НПП (рис. 3). Значення VCI дорівнювало 0,2, що вказує на слабкий розвиток рослинності, загальна площа якої складала 6098,1 га (45,3 %) (рис. 4, а). У цей період переважали площі слабо розвинутої та розвинутої

рослинності, які склали відповідно 34,2 та 11,2 % території плавневих екосистем (табл. 3).

Літній сезон характеризувався зростанням середнього значення індексу NDVI до 0,77, розмах — 0,67 (рис. 3). Відмічається формування правобічної асиметрії (-2,6) і значного ексцесу (10,5), що свідчить про нерівномірність розвитку рослинності на території плавневих екосистем і підтверджується збільшенням значення VCI до 0,9. Загальна площа рослинності влітку становила 13 359,9 га (99,3 % площі плавневих екосистем) (рис. 4, б). У цей сезон переважають площі добре розвинені (62,5 %) та сильно розвинутої рослинності (33,9 %) (див. табл. 3).

Осінній сезон характеризувався зниженням середнього значення індексу NDVI до 0,62 та розмаху — до 0,59 (див. рис. 3). Встановлено зменшення значень лівобічної асиметрії (-1,9) та ексцесу (8,2) у порівнянні з літнім сезоном. Це свідчить про відносно рівномірне завершення вегетаційного періоду на всій території плавневих екосистем і підтверджується зменшенням значення VCI до 0,7. Загальна площа рослинності у цей період становила 13 253,1 га (98,5 % площі плавневих екосистем) (рис. 4, в). Переважають площі добре розвинутої (66,4 %) та розвинутої рослинності (33,0 %) (див. табл. 3).

Виявлені сезонні зміни розподілу площ рослинності з однаковими значеннями індексу NDVI дозволяють встановити особливості їхніх змін (табл. 4).

Встановлено, що протягом весняно-літнього періоду найбільш динамічно збільшуються площі слабо

Таблиця 2
Сезонні зміни значень індексів NDVI та VCI плавневих екосистем Нижньодніпровського НПП за вегетаційний період 2020 р.

Значення індексів	Місяці										Середнє за вегетаційний період
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
NDVI	mean	0,24	0,27	0,3	0,76	0,75	0,79	0,73	0,62	0,49	0,55
	I _c %	43,64	49,09	54,55	138,18	136,36	143,64	132,73	112,73	89,09	—
VCI	V _c %	39,26									
	mean	0,09	0,14	0,20	0,80	0,82	0,87	0,82	0,69	0,54	0,55
	I _c %	15,47	24,96	36,36	145,45	149,25	157,75	148,25	125,19	97,64	—
	V _c %	55,40									

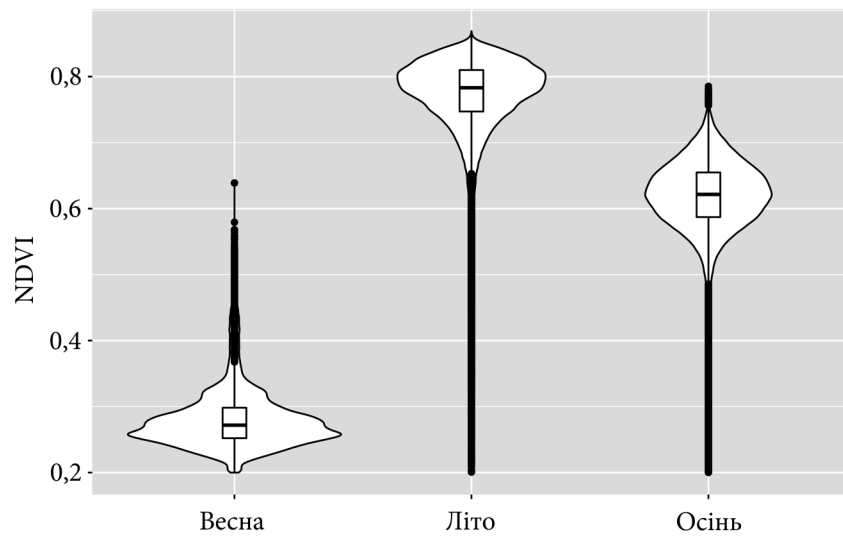


Рис. 3. Динаміка розподілу значень індексу NDVI плавневих екосистем Нижньодністровського НПП за сезонами 2020 р.

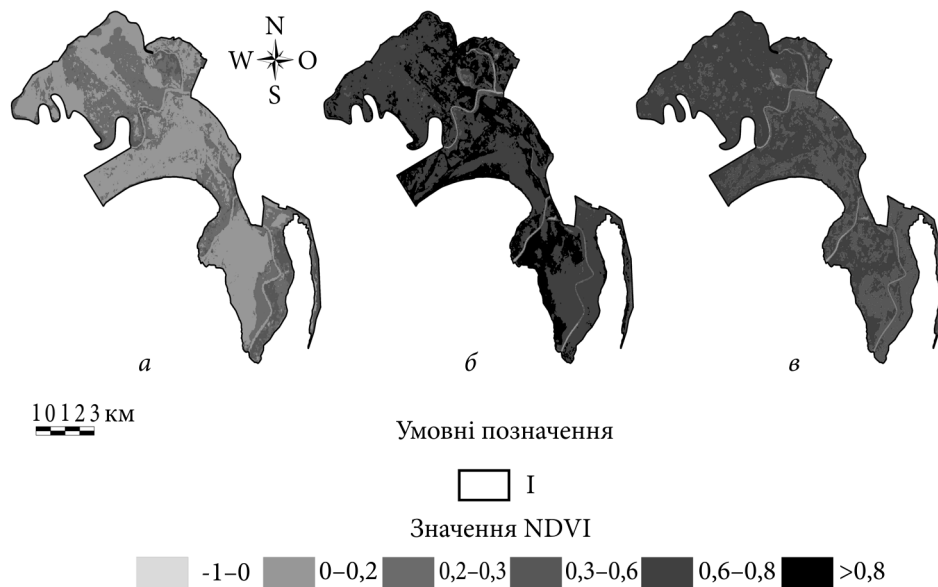


Рис. 4. Карта сезонного розподілу площ плавневих екосистем Нижньодністровського НПП по значенням індексу NDVI за вегетаційний період 2020 р.: I — межі плавневих екосистем; -1—0 — відсутність рослинності (відкритий ґрунт, вода); 0—0,2 — нерозвинена рослинність; 0,2—0,3 — слабо розвинена; 0,3—0,6 — розвинена; 0,6—0,8 — добре розвинена; >0,8 — сильно розвинена рослинність.

розвиненої рослинності, які зростають до розвиненої, добре розвиненої та сильно розвиненої рослинності (табл. 4). Ділянки плавнів з водойма-

ми, на яких рослинність була відсутня, поступово вкриваються розвиненою, добре розвиненою та сильно розвиненою рослинністю (рис. 4, б). Розвинена рослинність також розвивається до добре та сильно розвиненої, але на відміну від попередніх груп, протягом весняно-літнього періоду формує ділянки, де значення індексу NDVI не змінюється, або навпаки, значення знижуються до показників слаборозвиненої. Добре розвинена рослинність повністю трансформувалась до сильно розвиненої (див. табл. 4).

Таблиця 3

Зміни площ рослинності плавневих екосистем (га) на території Нижньодністровського НПП по сезонах 2020 р. (на основі індексу NDVI)

Значення NDVI	Весна	Літо	Осінь
<0,2	7356,9	95,1	201,9
0,2—0,3	4597,3	52,7	91,7
0,3—0,6	1500,6	428,2	4364,0
0,6—0,8	0,2	8343,5	8797,4
>0,8	0	4535,5	0

Таблиця 4

Зміни співвідношення (%) груп NDVI плавневих екосистем Нижньодністровського НПП за весняно-літній період 2020 р.

Весна	Літо				
	<0,2	0,2—0,3	0,3—0,6	0,6—0,8	>0,8
<0,2	1,4	0,7	3,5	51,8	42,6
0,2—0,3	0,0	0,0	1,4	75,3	23,2
0,3—0,6	0,0	0,1	5,7	70,6	23,5
0,6—0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Таблиця 5

Зміни співвідношення (%) груп NDVI плавневих екосистем Нижньодністровського НПП за літньо-осінній період 2020 р.

Літо	Осінь			
	<0,2	0,2—0,3	0,3—0,6	0,6—0,8
<0,2	96,6	2,3	0,6	0,6
0,2—0,3	76,3	14,8	7,3	1,5
0,3—0,6	15,7	13,7	66,1	4,5
0,6—0,8	0	0,3	39,1	60,6
>0,8	0	0	2,0	98,0

Зміни у розвитку рослинності за літньо-осінній період характеризуються зменшенням площ рослинності з високими значеннями індексу NDVI (табл. 5).

Встановлено, що в літньо-осінній період формуються переважно площі з розвинутою рослинністю (табл. 5). Завершення вегетаційного періоду призводить до зменшення площ територій з сильно розвинутою, а також зі слабо розвинутою рослинністю (див. табл. 4). Також збільшується частка розвинутої та слабо розвинутої рослинності (рис. 4, в).

Отримані результати динаміки значень NDVI, VCI з високим ступенем імовірності можна прийняти в якості інтервальних оцінок їхньої природної динаміки. Це дає підставу для їхнього використання для визначення ступеня трансформації рослинних угруповань під впливом різноманітних антропогенних факторів (пожеж, змін гідрологічного режиму, викошування, випасу худоби, інвазій чужорідних видів рослин та тварин), у тому числі глобальних кліматичних змін.

Висновки

На основі даних дистанційного зондування розглянуто закономірності змін розвитку рослинності плавневих екосистем Нижньодністрівського НПП протягом вегетаційного періоду 2020 р. Виявлено, що розподіли значень індексу NDVI протягом усього вегетаційного періоду не відповідали нормальному закону розподілу, що свідчить про значний вплив на розвиток рослинності пірогенного фактору та гідрологічного режиму окремих ділянок плавнів. Встановлено місячну і сезонну динаміку значень NDVI і VCI. Показано, що на розвиток рослинності у весняний період негативно вплинув пірогенний фактор, який сформував окремі ділянки з ушкодженою та слабо розвинутою рослинністю. У літній період на території плавневих екосистем переважала добре розвинена і сильно розвинена рослинність, загальна площа яких перевищила 97 %. Різке збільшення показників NDVI було обумовлено розвитком едификатора рослинних комплексів водно-болотних екосистем — *Phragmites australis*, стебла якого вийшли зі стадії пікулів і розвинули листову пластинку. Осінній період характеризувався поступовим зменшенням площ розвинутої і збільшенням площ слабо розвинутої рослинності. Результати проведених досліджень свідчать про ефективність дистанційного зондування території плавневих екосистем з використанням індексу NDVI для оцінки стану рослинного покриву та доцільні для розв'язання проблеми збереження, відновлення та сталого використання водно-болотних екосистем південно-західного Причорномор'я в умовах антропогенного навантаження та глобальних кліматичних змін.

Список використаної літератури

1. Дворецький Т.В., Триліс В.В., Савицький О.Л. Оцінка масового розвитку *Pistia stratiotes* у водоймах лівобережної заплави Дніпра у районі Києва на основі супутникових даних *Гідробіол. журн.* 2022. Т. 58, № 2. С. 18—31.
2. Дубына Д.В., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Плавни Причорномор'я. Київ : Наук. думка, 1989. 272 с.

3. Кольвенко В.В., Долгов Ю.А., Ершов Л.А., Гиренко В.А. Исследования полноводности реки Днестр за последние 136 лет по данным гидрологического поста Бендеры. *Hydropower impact on river ecosystem functioning : proceed. Intern. conf. Tiraspol, Moldova, October 8—9, Eco-TIRAS, Тирасполь*. 2019. С. 170—175.
4. Шевцова Л.В. Оценка режимов экологических попусков из Днестровского водохранилища для экосистем дельты Днестра. *Гидробиол. журн.* 2003. 39, № 4. С. 11—23.
5. Cheruiyot E.K., Mito C., Menenti M. et al. Evaluating MERIS-Based Aquatic Vegetation Mapping in Lake Victoria. *Remote Sens.* 2014. Vol. 6 (8). P. 7762 —7782.
6. Congedo L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *The Journal of Open Source Software.* 2021. Vol. 6. P. 3172.
7. Crippen R.E. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sens.* 1990. Vol. 34. P. 71—73.
8. Ederson Jose da Silva, Diogo Martins Rosa, Jhony Vendruscolo, Wanderson Cleiton Schmidt Cavalheiro. Sentinel-2 imaging potential in estimating the biomass of *Tectona grandis* L.f. in the Western Amazon. *Research, Society and Development.* 2021. Vol. 10 (11). e128101119491.
9. Jiang Z., Huete A.R., Chen J. et al. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sens.* 2006. Vol. 101. P. 366—378.
10. Johnson B., Tateishi R., Kobayashi T. Remote Sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote Sens.* 2012. Vol. 4. P. 2619—2634.
11. Karnieli A., Agam N., Pinker R. T. et al. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. *J. Climate.* 2010. Vol. 23. P. 618—663.
12. Kogan F.N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data. *Bull. Amer. Met. Soc.* 1995. Vol. 76. N 5. P. 655—668.
13. 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/>.
14. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-3511973. 1974. Vol. 1. P. 309—317.
15. Singh R.P., Roy S., Kogan F. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *Int. J. Remote Sens.* 2003. Vol. 24, N 22. P. 4393—4402.
16. Bhangale U., More S., Shaikh T. et al. Analysis of surface water resources using Sentinel-2 Imagery. *Procedia Computer Science.* 2020. Vol. 171. P. 2645—2654.

Надійшла 03.11.2021

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

V.V. Gubanov, PhD (Biol.)
Charitable Trust «Preservation and Developmento Nature Reserves»
Kovalska str., 7, Odesa, 65020, Ukraine
e-mail: v.gubanov.odessa@gmail.com

SEASONAL DYNAMICS OF VEGETATION IN THE WETLANDS OF THE LOWER
DNIESTER NNP BASED ON REMOTE SENSING DATA FROM THE LANDSAT-8
SATELLITE

During the season of 2020, the vegetation dynamics of the wetlands of the Lower Dniester National Nature Park were examined using vegetation indices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and VCI (Vegetation Condition Index) on the basis of Landsat-8 satellite remote sensing data. The results demonstrated that the distribution of values throughout the vegetation season did not correspond to the normal distribution, indicating a variety of conditions for their development. Observations showed that the development of vegetation in the spring period was negatively affected by the pyrogenic factor, which created some areas without vegetation and with poorly developed vegetation. The sharp increase in NDVI values at the beginning of the summer period is due to the development of the dominant wetland ecosystem *Phragmites australis*, whose stems have emerged from the pickle stage and have developed a leaf lamina. During this period, well-developed vegetation prevails, the total area of which exceeds 97 %. The autumn period is characterized by a gradual decrease in the developed vegetation and an increase in the area of underdeveloped vegetation. The results of the research indicate the effectiveness of remote sensing of wetland areas using NDVI and VCI to assess the status of vegetation and can be used to address the conservation, restoration and sustainable use of wetland ecosystems of the Northwest Black Sea coastal area under increasing anthropogenic pressure and global climate change.

Key words: the Dniester River, the Lower Dniester National Nature Park, vegetation indices, seasonal dynamics, remote sensing.