УДК [581.526.3:574.68](282.247.32)

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

В.В. ТРИЛІС, к. б. н., ст. наук співроб.,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
ORCID 0000-0002-4773-8681

О.Л. САВИЦЬКИЙ, мол. наук. співроб.,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна,
ORCID 0000-0002-4570-9908

ОЦІНКА МАСОВОГО РОЗВИТКУ *PISTIA STRATIOTES* У ВОДОЙМАХ ЛІВОБЕРЕЖНОЇ ЗАПЛАВИ ДНІПРА У РАЙОНІ КИЄВА НА ОСНОВІ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ

Наводяться результати спостережень за спалахом розвитку інвазивного виду Pistia stratiotes L. у системі водойм «дренажний канал — оз. Золоче» (Київська обл.) з використанням вегетаційного спектрального індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) за вегетаційний період 2020 р. Встановлені основні статистичні параметри значень індексу NDVI та їх динаміка. Розглянута сезонна мінливість і побудовані карти заростання водного дзеркала. Виділено ряд етапів масового розвитку P. stratiotes, кожен з яких характеризується певними особливостями. Встановлено, що розподіл значень NDVI впродовж вегетаційного періоду не відповідав нормальному, що є ознакою r-стратегії розвитку Pistia stratiotes.

Ключові слова: *інвазивні чужорідні види (IAB), Pistia stratiotes, NDVI, VCI.*

Pistia stratiotes L. — тропічна водяна рослина з плаваючим листям, представник монотипного роду *Pistia* L. родини Araceae класу Liliopsida. Вона, ймовірно, походить з Південної Америки, де зростає у замкнутих і проточних водоймах. Завдяки здатності до швидкого вегетативного розмноження рослина поширилась по всьому тропічному поясу і є одним із важливих пантропічних водяних бур'янів [20]. Як карантинний вид розповсюджена у Південній і Північній Америці, Африці, Австралії, Європі, Південно-Східній Азії та на деяких островах Азійсько-Тихоокеанського регіону [8, 12, 24, 27]. Останнім часом її ареал помітно розширюється на північ [4, 6, 8]. У відкритих водоймах Європи *P. stratiotes* вперше від-

Цитування: 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.

мічена у 1973 р. у каналах Нідерландів [22], після чого неодноразово реєструвалась у різних країнах [11, 15, 16, 25]. Відсутність природних ворогів зумовлює її масове розмноження, що може створювати гідрологічні та економічні проблеми, через що у багатьох країнах Європи вона входить до списку заборонених (нелегальних) водних рослин [21].

В Україні перші екземпляри *P. stratiotes* були знайдені в околицях м. Києва у 2005 р. [6]. У 2013—2014 рр. відбувся її масовий розвиток у р. Сіверський Донець у Харківській області, суцільний килим вкрив близько 40 км русла річки [2, 4]. Поодинокі екземпляри також періодично зустрічались у природних і антропогенно змінених водоймах [1, 3, 29]. Останнім часом збільшилась кількість місцезнаходжень рослини на території України, зокрема в Одеській області [13].

У 2020 р. суцільний покрив *P. stratiotes* утворився у водній системі лівобережної заплави Дніпра поблизу Києва: дренажний канал — оз. Золоче, що створило ризик катастрофічної евтрофікації. Метою дослідження був аналіз сезонної динаміки розвитку *P. stratiotes* у дослідженому регіоні та її кількісних характеристик.

Матеріали і методика досліджень

Досліджували масовий розвиток *Pistia stratiotes* L. у мережі взаємопов'язаних штучних і антропогенно змінених водних об'єктів, які формують водну систему дренажний канал — оз. Золоче загальною площею 85,8 га (рис. 1).

Скидний канал є складовою частиною Бортницької станції аерації (БСА) — комплексу біологічного очищення стічних вод Києва довжиною близько 10 км. Його особливістю є підвищена температура води, що дозволяє не замерзати взимку. Озеро Золоче є останцем русла однойменної річки, воно розташоване на території житлових районів м. Києва (Позняки, Осокорки, Бортничі) та селища Гнідин. Дренажий канал виконує функцію водовідведення з заболоченої лівобережної заплави Дніпра, він з'єднує оз. Золоче і канал БСА. Вода, що надходить дренажним каналом, перекачується насосною станцією до водосховища, а при зупинці її роботи стічні води з каналу БСА надходять у дренажний канал і по ньому потрапляють в оз. Золоче.

Вихідна інформація про сезонну динаміку заростання дзеркала води отримана з багатоспектральних космічних знімків (розподільна здатність 10 м/піксель), зроблених супутником «Sentinel-2», що належить Європейському космічному агентству (www.esa.int). Дані дистанційного зондування отримані з веб-сайту Центру Sentinel (https://sentinel-hub.com). У роботі використані зображення, зроблені щомісяця з березня по грудень 2020 р. Застосована прямокутна географічна система координат EPSG: 32636 — WGS84 / UTM zone 36N. Для всіх зображень проведена атмосферна корекція з використанням плагіна Semi-Automatic Classification [9]. Для визначення кількісних характеристик і їх аналізу використовували програмні продукти Quantum GIS і статистичний пакет R [26].

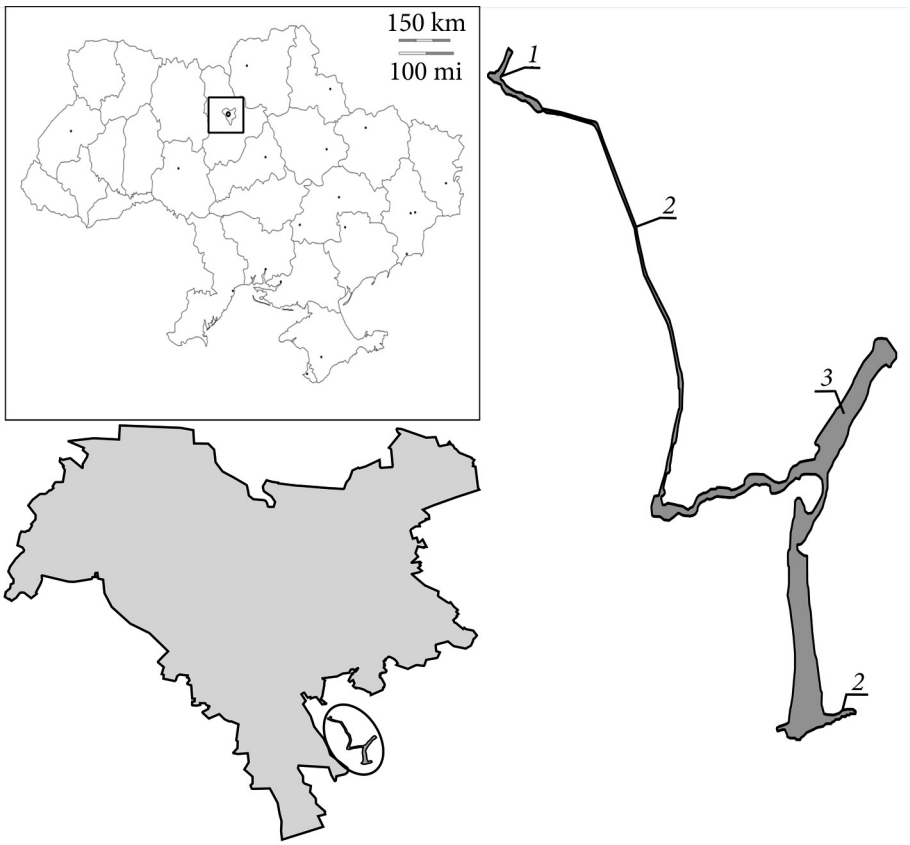

Рис. 1. Карта-схема району досліджень. *1* — канал Бортницької станції аерації (БСА); *2* — дренажний канал; *3* — оз. Золоче

Для оцінки масового розвитку *P. stratiotes* за даними супутникових знімків застосовували спектральний вегетаційний індекс NDVI — нормалізований диференційний індекс рослинності [10]. Його визначення ґрунтується на використанні двох областей спектральної кривої відбиття рослинами, які практично не залежать від інших чинників середовища. Червона (620—670 нм) область спектра характеризується максимумом поглинання хлорофілом сонячної радіації, а ближня інфрачервона (841—876 нм) максимально відбивається клітинними структурами листка. Розвинена рослинність, в якій багато хлорофілу і нормальна клітинна структура, активно поглинає червоне світло і відбиває ближнє інфрачервоне, натомість слаборозвинена відбиває червоний і поглинає ближній інфрачервоний спектр. Розрахунок індексу здійснюється за формулою:

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

де ρNIR — коефіцієнт спектральної яскравості у ближній інфрачервоній зоні, ρRED — коефіцієнт спектральної яскравості у червоній зоні. При використанні даних з супутника «Sentinel-2» формула набуває такого вигляду:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}, \qquad (2)$$

Згідно з інформацією з сайту Sentinel Hub, значення індексу NDVI для рослинного покриву варіюють від 0,2 до 1,0. Визначали основні статистичні показники і простежували динаміку їх змін впродовж вегетаційного періоду. Отримані значення індексу NDVI були розділені на групи: -1—0,2 — відкрита вода; 0,2—0,3 — слабко розвинена рослинність; 0,3—0,6 — розвинена; 0,6—0,8 — добре розвинена; >0,8 — сильно розвинена; побудована карта їх часової динаміки [17, 28].

Просторову характеристику неоднорідності рослинного покриву розглядали з використанням індексу стану рослинності (VCI) [18]. Використана лінійна модель для отримання VCI з індексів рослинності [19] описується наступним чином:

$$VCI = \frac{NDVI_i - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}, \qquad (3)$$

де $NDVI_i$ – поточні значення, $NDVI_{max}$ і $NDVI_{min}$ — найбільші та найменші показники NDVI, що визначені на основі багаторічних спостережень. Значення *VCI* варіюється від 0 (вкрай несприятливі умови) до 1 (оптимальні умови розвитку рослинності).

Ми застосували модифіковану версію цієї моделі [14], де NDVI — поточне значення для кожного пікселю зображення, $NDVI_{max}$ і $NDVI_{min}$ — його мінімальні і максимальні значення. Вибір найбільшого і найменшого значень NDVI гарантує, що отримані значення VCI не є від'ємними і не перевищують одиниці. Отримані значення VCI були розділені на окремі групи: 0,2–0,3 — слабкий та незадовільний стан рослинності, 0,3–0,7 — задовільний, близький до середньо–багаторічного показника, VCI > 0,7 — добрий стан рослинності, характерний для сприятливих погодних умов.

Для визначення інтенсивності розвитку рослинності впродовж вегетаційного періоду були виміряні абсолютні (абсолютний приріст) і відносні (ланцюговий темп зростання) показники динаміки значень індексу NDVI.

Приріст (Δп) ілюструє абсолютну швидкість зміни значень і визначається як різниця між поточним і попереднім рівнями:

$$\Delta\text{п} = Y_i - Y_j, \tag{4}$$

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

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

$$T_{\text{пр}} = \frac{Y_i}{Y_0} \cdot 100, \tag{5}$$

де Y_i — значення індексу NDVI певного; Y_0 — значення індексу NDVI базисного періоду.

Оцінка змін значень індексу NDVI за вегетаційний період проводили за показниками індексу сезонності і сили сезонних коливань. Індекс сезонності (i_c) показує, у скільки раз фактичний рівень ряду у момент (інтервал) часу t більше середнього рівня, відповідного цьому моменту (інтервалу) часу, або рівня, який обчислюється за рівнянням тенденції $f(t)$. Його розраховували за відношенням окремого місяця до середнього рівня за вегетаційний період, вираженим у відсотках:

$$i_c = \frac{Y_i}{\overline{Y_i}} \cdot 100\%, \tag{6}$$

де $\overline{Y_i}$ — середнє значення індексу NDVI за поточний місяць; Y_i — значення індексу NDVI за вегетаційний період.

Ступінь сезонних коливань показує коефіцієнт сезонності V_c — величина, на яку збільшуються або зменшуються значення індексу сезонності у порівнянні з середніми за певний проміжок часу:

$$V_c = \sqrt{\frac{\sum (i_c - 100\%)^2}{n}}, \tag{7}$$

де i_c — коефіцієнт сезонності; n — кількість місяців вегетаційного періоду. Чим менше значення V_c, тим менше проявляється сезонність дос-

ліджуваного явища. Ступінь сезонних коливань ділиться на рівні: <10 % — слабкі; 10—25 % — помірні; 25—40 % — сильні; >40 % — дуже сильні.

Натурні дослідження та збір матеріалу проводили відповідно до загальноприйнятої методики флористичних та геоботанічних досліджень [7]. Флору макрофітів розглядали в об'ємі, прийнятому В.М. Катанською [5].

Результати досліджень

Аналіз космічних знімків, зроблених у березні, показав, що повітряно-водна та вільноплаваюча рослинність була відсутня, що дозволило виділити межі водного дзеркала території досліджень (рис. 2, *а*).

На початку вегетаційного сезону (квітень) домінувала повітряно-водна рослинність, вона була зосереджена вздовж берегів окремими куртинами площею переважно складала 3—7—10 м^2. Відмічено формування різновеликих ділянок заростання *P. stratiotes* у північній частині каналу БСА (рис. 2, *б*). Значення індексу NDVI суттєво варіювали (до 0,4), середнє було невисоким — 0,31 (рис. 3). Нерівномірність формування заростей призвела до утворення лівосторонньої асиметрії (0,58) і негативного ексцесу — -0,59. Значення просторової мінливості продуктивності (VCI), розраховане за формулою 3, становило 0,28, що вказує на слабкий розвиток рослинності. Розподіл значень NDVI не відповідав нормальному, що підтверджує формування куртин *P. stratiotes* на різних стадіях розвитку.

У квітні *P. stratiotes* займала 8,7 га, або 10,1 % загальної площа водного дзеркала. Ділянки слабко розвиненої і розвиненої рослинності були приблизно, однакові — по 4 га (табл. 1).

У травні у північній частині дренажного каналу відбувалось подальше формуванням заростей *P. stratiotes.* Середнє значення NDVI дорівнювало 0,37, розмах значень складав 0,59. Встановлено зростання значень лівосторонньої асиметрії (0,62) і від'ємного ексцесу — -0,54 порівняно з квітнем (див. рис. 3). Приріст (Δп) значення NDVI за формулою 3 становив 0,06, $T_{пр}$ (ланцюговий темп зростання, розрахований за формулою 4) у порівнянні з вихідними (квітневими) значеннями, склав 119 %. Значення VCI становило 0,3, що вказує на слабкий розвиток заростей *P. stratiotes*. Площа заростання зросла до 16,3 га, тобто 19 % водного дзеркала. Переважали ділянки з розвиненою (9,4 га, або 11% загальної площі), та слабкорозвиненою (6,4%) рослинністю, спорадично зустрічались ділянки добре розвиненої (див. табл. 1). Значення п площі рослинності становлять понад 7,6 га, $T_{пр}$ — 188 %.

У червні у верхній та середній частинах дренажного каналу та на окремих ділянках оз. Золоче угруповання *P. stratiotes* сформували однорідні суцільні зарості (див рис. 2, *б*). Це супроводжувалось зменшенням розмаху значень NDVI (0,27) та незначним зростанням середнього (0,38). На відміну від попереднього місяця, відмічена правостороння асиметрія (-1,05) та позитивний ексцес — 0,1. Значення п NDVI місяцем не змінився і становив 0,06, $T_{пр}$ — 119 %. Значення VCI становили 0,63, що вказує на нерівномірний розвиток популяції *P. stratiotes*. Загальна площа угру-

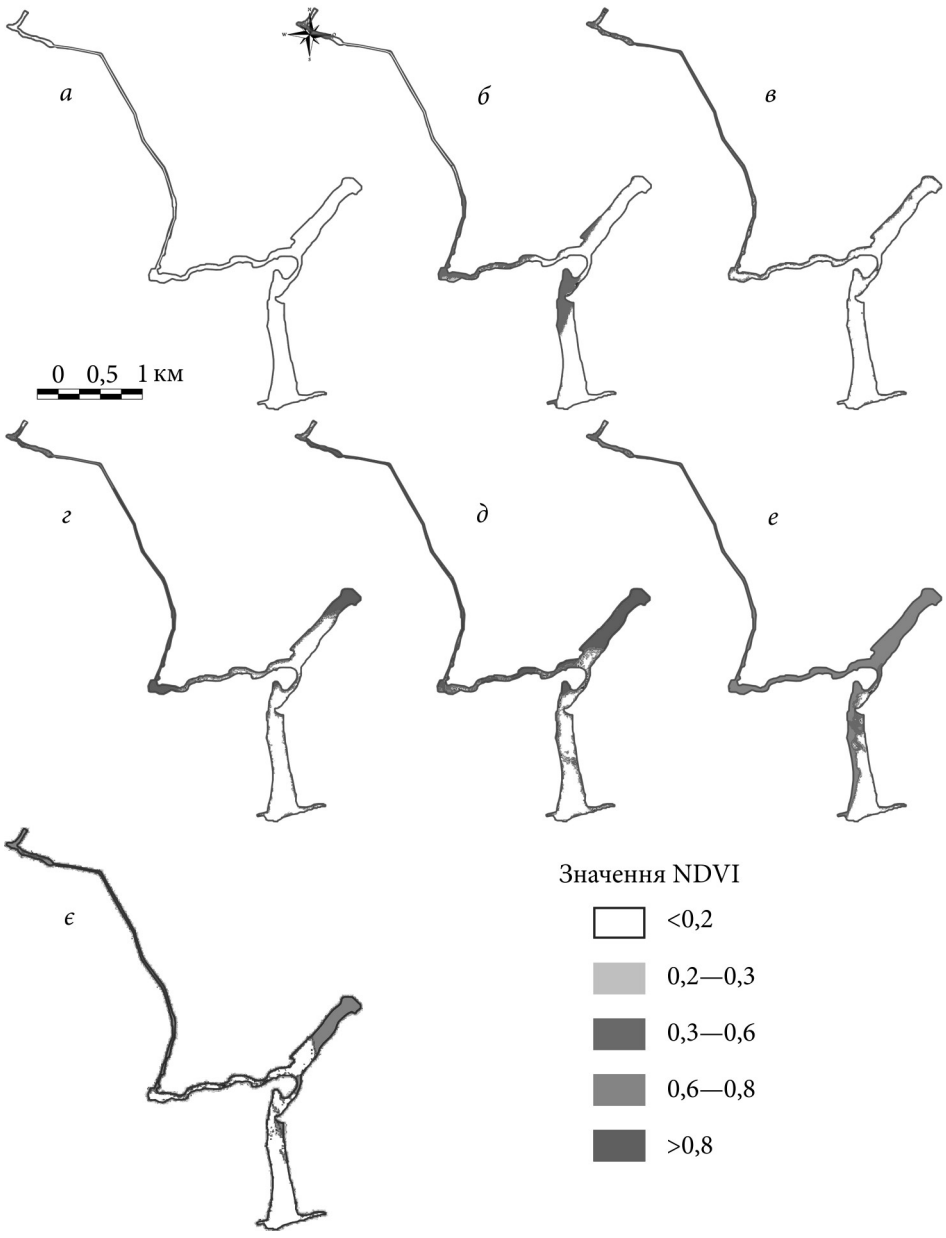

Рис. 2. Карта розподілу площ по градієнту значень індексу NDVI системи дренажний канал — оз. Золоче впродовж вегетаційного сезону 2020 р.: <0,2— відкрита вода, 0,2—0,3 — слабко розвинена рослинність; 0,3—0,6 — розвинена; 0,6—0,8 — добре розвинена; >0,8 — сильно розвинена рослинність; *а* — березень, *б* — червень, *в* — липень, *г* — серпень, *д* — вересень, *е* — жовтень, *є* — листопад.

повань зросла до 27,3 га, (32 % акваторії, див. рис. 2, *б*). Значення Δп площі становлять 11 га, $T_{пр}$ — 313 %. Переважали ділянки з розвиненою (26,2 %) і слабко розвиненою (5,6 %) рослинністю (див табл. 1).

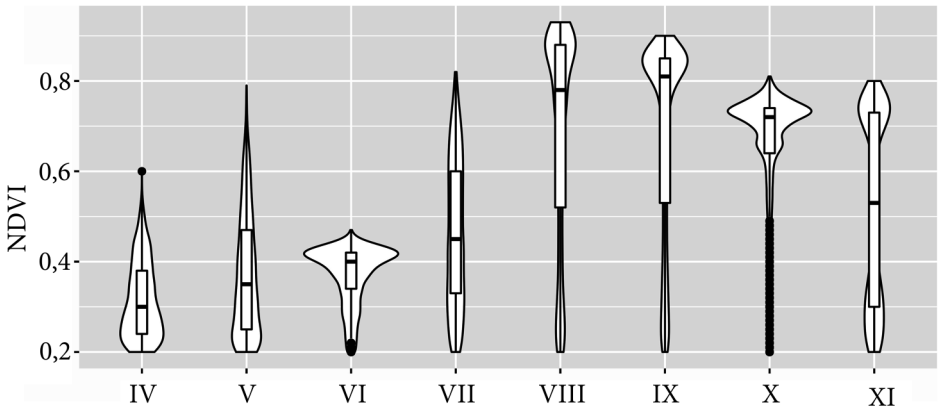

Рис. 3. Динаміка розподілу значень NDVI у системі дренажний канал — оз. Золоче протягом вегетаційного сезону 2020 р.

У липні площа заростання скоротилась. Середнє значення NDVI дорівнювало 0,47, розмах значень — 0,62. Виявлена лівостороння асиметрія (0,62) і негативний ексцес — -1,07 (див. рис. 3). Значення Δп NDVI становило 0,1, $T_{пр}$ — 152 %. Значення VCI зменшилось до 0,4, що пов'язано зі зниженням площі заростей *P. stratiotes*, яка складала 21,2 га (25 % акваторії) (див. рис. 2, *в*). Значення Δп площі має від'ємне значення — -6,1 га, $T_{пр}$ також знижується і становить 243 %. Переважали ділянки з розвиненою (26,2 %), та слабко розвиненою (5,6 %) рослинністю (див. табл. 1).

Серпень характеризувався масовим розвитком *P. stratiotes* вздовж всього дренажного каналу та на значній частині оз. Золоче. Це призвело до максимального збільшення розмаху значень NDVI (0,73) та середнього до 0,69. На відміну від попереднього місяця, відмічена незначна правостороння асиметрія (-0,86) та негативний ексцес — -0,74 (див. рис. 3). Значення Δп NDVI у порівнянні з попереднім місяцем було максимальним за вегетаційний період і становило 0,22, $T_{пр}$ — 223 %. Площа заростей *P. stratiotes* зросла до 37,6 га (44 % акваторії) (див. рис. 2, *г*). Значення Δп площі

Таблиця 1

Динаміка площ заростання (га) *Pistia stratiotes* системи оз. Золоче – дренажний канал за вегетаційний період 2020 р. на основі індексу NDVI

NDVI	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Вода	85,8	77,1	69,5	58,5	64,6	48,2	30,3	20,5	49,2
0,2—0,3	—	4,31	5,5	4,8	3,7	4,7	5,6	2,1	9,1
0,3—0,6	—	4,4	9,4	22,5	11,4	6,3	9,7	10,4	10,3
0,6—0,8	—	—	1,4	—	5,8	8,8	11,0	52,7	17,2
>0,8	—	—	—	—	0,3	17,8	29,1	0,1	—

становило 16,4 га, $T_{пр}$ — 431 %. Переважали ділянки з сильно розвиненою (20,8 %) і добре розвиненою (10,2 %) рослинністю (див. табл. 1).

Вересень відзначався значним заростанням *P. stratiotes* північної частини дренажного каналу та озера. Середнє значення NDVI не змінилося (0,69), але відмічено зменшення розмаху його значень (0,7). Встановлено збільшення показників правосторонньої асиметрії (-1,02) і від'ємного ексцесу — -0,52 (див. рис. 3). За цей місяць відмічено нульове значення Δп NDVI, $T_{пр}$ — 223 %. Значення VCI становило 0,7, що вказує на добрий розвиток популяції *P. stratiotes*. Площа її заростей складала 55,5 га (65 % акваторії) (рис. 2, *д*). Значення Δп площі складало 18 га, $T_{пр}$ — 637 %. Переважали ділянки з сильно розвиненою (33,9 %), добре розвиненою (12,9 %), розвиненою (11,3 %) та слаборозвиненою (6,5 %) рослинністю (див. табл. 1).

У жовтні зарості *P. stratiotes* зайняли майже усю акваторію системи. Розмах значень NDVI зменшився до 0,61, середнє — до 0,66. Відмічена правостороння асиметрія (-1,83) і позитивний ексцес (2,64), що свідчить про нерівномірний розвиток *P. stratiotes* у цей період (див. рис. 3). Значення Δп NDVI відносно попереднього місяця стало від'ємним — -0,03, $T_{пр}$ — 213 %. Значення VCI становило 0,75 і було найбільшими за весь період спостережень, що вказує на активний розвиток. Площа заростей *P. stratiotes* зросла до 65,5 га (76,3 % акваторії, див. рис. 2, *е*). Значення Δп площі становило 10 га, $T_{пр}$ — 752 %. Переважали ділянки з добре розвиненою (61,4 %) і розвиненою (10,4 %), рослинністю (див. табл. 1).

У ході натурних досліджень було встановлено, що 99 % площі проективного покриття заростей вільноплаваючої рослинності були представлені угрупованнями *P. stratiotes*, решта — *Lemna minor* L. Кількість особин *P. stratiotes* варіювала в досить широких межах — від 10 до 30 екз/м^2, фітомаса — від 7,3 до 12,4 кг/м^2, що майже вдвічі більше показників, що були відмічені на р. Сіверський Донець [4]. Максимальна біомаса *P. stratiotes* у досліджених водоймах досягла близько 8,1 тис. т, можна вважати, що саме така біомаса після заморозків та відлиги потрапила на дно водойм.

У листопаді відбулось пригнічення росту *P. stratiotes* через зниження температури води та завершення періоду вегетації. Середнє значення NDVI і розмах знизились відповідно до 0,52 і 0,6. Показники правосторонньої асиметрії також зменшились (-0,11), відмічене формування негативного ексцесу — -1,73 (див. рис. 3). Значення Δп NDVI від'ємне -0,14, $T_{пр}$ — 168 %. Площа заростей *P. stratiotes* зменшилася до 36,5 га (42,6 % акваторії) (рис. 2, *є*). Відмічається від'ємне значення Δп площі *P. stratiotes*, яка становила майже 30 га, $T_{пр}$ — 419 %. Переважали ділянки з добре розвиненою (20,0 %), розвиненою (12,0 %) і слабко розвиненою (10,6) рослинністю (див. табл. 1). Наприкінці місяця почалися заморозки, вегетація припинилась, *P. stratiotes* вмерзла у лід. Візуально її фізіологічний стан залишався задовільним до самого льодоставу. Екземпляри *P. stratiotes* після розморожування виявились нежиттєздатними та одразу починали розкладатись. Перша велика відлига, внаслідок якої лід на водоймах розтанув,

відбулася у січні. Після танення льоду вся накопичена біомаса *P. stratiotes* опустилася на дно.

Обговорення результатів досліджень

Дослідження випадків інтенсивного неконтрольованого розвитку інвазійного виду *P. stratiotes* має важливе значення для розуміння процесів формування подібних явищ на природно-техногенних об'єктах. На основі отриманих результатів визначено середні значення індексів NDVI для угруповань *P. stratiotes* протягом вегетаційного періоду, індекс сезонності і коефіцієнт сезонності (табл. 2).

Впродовж вегетаційного періоду I_c NDVI змінювалось у досить широких межах. Мінімальні значення характерні для весни, максимальні для літа (див. табл. 2). Значення V_cNDVI характеризує нерівномірний розвиток популяції *P. stratiotes* впродовж вегетаційного періоду, зумовлено спалахом її розвитку у серпні — жовтні. Значення I_cVCI також змінювалось у широких межах (майже у три рази). Мінімальні значення характерні для весни, максимальні для осені (див. табл. 2). Розраховане значення V_c VCI підтверджує значну просторову нерівномірність розвитку рослинності, що пов'язано з *r*-стратегією розвитку виду.

Статистичні показники та коефіцієнти сезонності індексів NDVI і VCI, площі заростання і співвідношення між ними можна розглядати як вектори багатомірного простору, що відображають інтенсивність розвитку виду на

Таблиця 2

Сезонні зміни значення індексів NDVI та VCI угруповань *Pistia stratiotes* системи дренажний канал — оз. Золоче за вегетаційний період 2020 р.

Значення вегетаційних індексів		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Середнє за вегетаційний період
NDVI	Mean	0,31	0,37	0,37	0,47	0,69	0,69	0,66	0,52	0,51
	I_c, %	60,78	72,55	72,55	92,16	135,29	135,29	129,41	101,96	—
	V_c, %	28,4								
VCI	Mean	0,28	0,29	0,63	0,44	0,67	0,70	0,75	0,53	0,54
	I_c, %	50,9	53,4	116,6	80,65	124,3	129,63	139,65	98,77	—
	V_c, %	32,2								

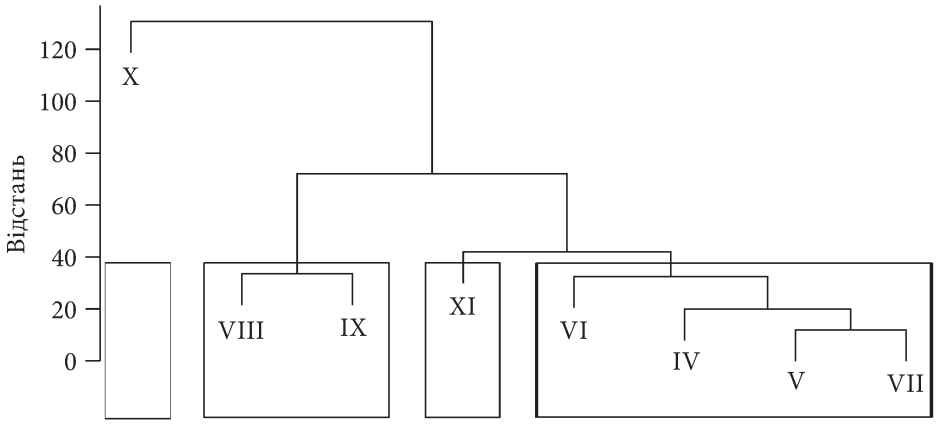

Рис. 4. Дендрограма подібності стану заростей *Pistia stratiotes* впродовж вегетаційного періоду 2020 р.

дослідженій території. Аналіз дендрограми подібності стану заростей *P. stratiotes*, розрахованої на основі евклідової відстані для кожного періоду спостереження, виявив чотири групи кластерів (рис 4).

Перший кластер представлений лише одним місяцем — жовтнем, який відрізнявся від інших максимальною площею заростання водного дзеркала *P. stratiotes* внаслідок аномально теплої осені 2020 р., а також суттєвим переважанням площ з добре розвиненою рослинністю (61 % водної поверхні з 76 % загального покриття). Другий кластер сформований вереснем і серпнем, які характеризувались наявністю значних площ сильно розвиненої рослинності (>50 %). Характерною особливістю першого і другого кластерів є максимальне покриття водного дзеркала. Третій також представлений одним місяцем — листопадом, коли вегетація виду припинилась, що призвело до зниження площ та показників вегетаційних індексів. Особливістю четвертого кластеру є мінімальні площі покриття акваторії (30—40 %).

Висновки

За вегетаційний період 2020 р. внаслідок активного розвитку *P. stratiotes* у водній системі оз. Золоче — Дренажний канал утворилися значні площі заростей цього виду, які займали до 80 % водної поверхні. На основі супутникових даних виявлено, що сезон існування *P. stratiotes* у дослідженому регіоні охоплює період від квітня до листопада. Використання вегетаційного спектрального індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) дозволило розділити масовий розвиток *P. stratiotes* на кілька етапів. Перший — повільний розвиток впродовж квітня — липня. Він характеризується мінімальними показниками NDVI (0,3—0,5) та площами заростання (8—27 га) і, відповідно, незначними значеннями приросту: Δп NDVI — 0,1, п площ — 19 га. Другий етап (серпень — вересень)

відзначається максимальними значеннями приросту NDVI та площ (Δп NDVI — 0,2, Δп площ — 28 га). Третій характеризується максимальною площею заростання (65 га), однак відмічається зниження Δп площ — 10 га, а значення Δп NDVI близькі до нуля. Особливістю четвертого етапу (жовтень) було досягнення максимального значення біомаси, що цілком відповідало тим аномальним умовам, що склалися восени 2020 р. і різкого зниження значень NDVI та площ заростання наприкінці місяця та, відповідно, від'ємні показники Δп NDVI — -0,2, Δп площ — -28 га.

Загальна біомаса *P. stratiotes*, яка сформувалася у системі водойм оз. Золоче — дренажний канал на кінець вегетаційного сезону оцінюється в 8,1 тис.т сирої речовини.

Список використаної літератури

1. Афанасьев С.А., Савицкий А.Л. Находка пистии телорезовидной *Pistia stratiotes* в Каневском водохранилище и оценка риска ее натурализации. Гідробиол. журн. 2016. Т. 52, № 4. С. 55—63.

2. Васенко А.Г. О нахождении пистии телорезовидной (*Pistia stratiotes* L.) в Харьковской области : Материалы X Всерос. научно-практ. конф. Тобольск : Тюменск. изд. дом, 2013. С. 69—71.

3. Дубина Д.В., Дзюба Т.П., Дворецький Т.В. та ін. Інвазійні водні макрофіти України. *Укр. ботан. журн.* 2017. Т. 74, № 3. С. 248—262.

4. Казарінова Г.О., Гамуля Ю.Г., Громакова А.Б. Масовий розвиток *Pistia stratiotes* (Araceae) в р. Сіверський донець (Харківська область). *Там же.* 2014. Т. 71, № 1. С. 17—21.

5. Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. — Л. : Наука, 1981.

6. Лушпа В.І. Водяний латук (*Pistia stratiotes* L.) у Голосіївському ставку м. Києва. *Наук. вісн. НУБіП*. 2009. Вип. 134, ч. 1. С. 147—152.

7. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. За ред. В.Д. Романенка. Київ : Логос, 2006. 408 с.

8. Шаповалов М.И., Сапрыкин М.А. Чужеродный вид *Pistia stratiotes* L. (Araceae) в водоёмах урбанизированной территории юга России. *Рос. журн. биол. инвазий.* 2016. № 1. С. 139—146.

9. Congedo L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. Release 6.0.1.1, 1346, 2017.

10. Crippen R.E. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sens.* 1990. Vol. 34. P. 71—73.

11. D'Auria G., Zavagno F. Indagine sui «bodri» della provincia di Cremona. Monografie di Pianura 3. 1999. 230 p.

12. Dray F.A., Center Jr., Center T.D. Seed production by *Pistia stratiotes* L. (water lettuce) in the United States. *Aquatic Botany.* 1989. Vol. 33. P. 155—160.

13. Dvoretsky T.V., Gubanov V.V. Non-native plant species *Pistia stratiotes* L. in the Dniester delta. Materials VI Iinvasion of alien species in holarctic (Borok — Uglich, 11—15 October 2021). Borok, Kazan : Buk, 2021. P. 61.

14. Cheruiyot E.K., Collins M., Massimo Menenti M. et al. Evaluating MERIS-Based Aquatic Vegetation Mapping in Lake Victoria. *Remote Sens*. 2014. Vol. 6. P. 7762 —7782.

15. Garcı ma Murillo P., Dana Sanchez E.D., Rodrigez Hiraldo C. *Pistia stratiotes* L. (Araceae) una planta acuatica en las proximidades del parque nacional de donana (SW Espana). *Acta bot. Malacit*. 2005. Vol. 30. P. 235—236.

16. Georges N., Pax N. *Pistia stratiotes* L. et *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms, deux nouvelles hydrophytes dans la vallée de la Moselle. Départ./ Région: Meurthe-et-Moselle 54, Willemetia (Bulletin de liaison de Floraine). 2002. Vol. 1, N 28. P. 3—4.

17. Mihretab G. Ghebrezgabher, Taibao Yang, Xuemei Yang, Temesghen Eyassu Sereke. Assessment of NDVI variations in responses to climate change in the Horn of Africa. Egypt. J. Remote Sens. Space Sci. 2020. Vol. 23, Iss. 3. P. 249—261.

18. 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.

19. 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.

20. Labrada R., Fornasari L., Management of the Worst Aquatic Weeds in Africa. FAO Efforts and Achievements During the Period. Rome, Food and Agriculture Organization of The United Nations, 2002. 28 p.

21. List of Regulated or Illegal Aquatic Plants https://www.pondplantsonline.com/pages/2016-list-of-regulated-or-illegal-aquatic-plants.

22. Mennema J. Is water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) becoming a new aquatic weed in the Netherlands? *Natura*. 1977. Vol. 74. P. 187—190.

23. Neuenschwander P., Julien M.H., Center T.D., Hill M.P. *Pistia stratiotes* L. (Araceae). Biological Control of Tropical Weeds Using Arthropods. Ed. by R. Muniappan, G.V.P. Reddy, A. Raman. Cambridge, Cambridge University Press. 2009. P. 332—352.

24. Pacific Island Ecosystems at Risk (PIER), *Pistia stratiotes* L., Araceae. http://www.hear.org/pier/species/pistia_stratiotes.html

25. Pyšěk P., Sádlo J., Mandák B. Catalogue of alien plants of the Czech Republic. Preslia. 2002. Vol. 74. P. 97—186.

26. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, http://www.R-project.org.

27. Sajna N., Haler M., Skornik S., Kaligaric M. Survival and expansion of *Pistia stratiotes* L. in a thermal stream in Slovenia. *Aquatic Botany*. 2007. N 87. P. 75—79.

28. Yi Dong, Dongqin Yin , Xiang Li et al. Spatial-Temporal Evolution of Vegetation NDVI in Association with Climatic, Environmental and Anthropogenic Factors in the Loess Plateau, China during 2000-2015: Quantitative Analysis Based on Geographical Detector Model. Remote Sens. 2021. Vol. 13, N 20. P. 41—75.

29. Zub L.M., Prokopuk M. S. The Features of macrophyte invasions in aquatic ecosystems of the middle Dnieper region (Ukraine). *Rus. J. Biol. Invasions*. 2020 Vol.11, N 2. P. 108—117.

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. Trylis, PhD (Biol.), Senior researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Geroyiv Stalingrada prosp., 12, Kyiv, 04210, Ukraine
ORCID 0000-0002-4773-8681

O.L. Savitskiy, Junior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Geroyiv Stalingrada prosp., 12, Kyiv, 04210, Ukraine
ORCID 0000-0002-4570-9908

EVALUATION OF MASS DEVELOPMENT OF WATER PLANT *PISTIA STRATIOTES* IN THE WATERBODIES OF LEFT-BANK FLOOD PLAIN OF THE DNIEPER RIVER NEARBY KYIV ON THE BASIS OF SATELLITE DATA

The paper deals with monitoring of the invasive species *Pistia stratiotes* L. development outburst in the network of the channels of Bortnychi waste water treatment system, Zoloche lake, and drainage channel (Kyiv) using the vegetation spectral index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) over the vegetation period 2020. The main statistical parameters of NDVI and their dynamics over the vegetation season were determined. The seasonal variability of water surface overgrowth was established and maps of the species distribution were plotted. The distribution of NDVI values distribution over the researched period did not follow the normal distribution, which indicatedf R-strategy of *Pistia stratiotes* development.

***Keywords**: invasive alien species (IAS), Pistia stratiotes, NDVI, VCI, aquatic plants, remote sensing.*