

СЕКЦІЯ 2 ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ТА ГЕОЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 911.52:556.512(477.41)

DOI <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2025-23-5>

Хамдош І.Н.,
ліцеїст
*Відокремлений підрозділ «Науковий ліцей»
Державного університету «Житомирська політехніка»*
24d_khin@liceum.ztu.edu.ua
ORCID: 0009-0000-5643-6880

Циганенко-Дзюбенко І.Ю.,
доктор філософії, в.о. завідувача кафедри сталої інфраструктури та гідроекології
Державний університет «Житомирська політехніка»
ke_miyu@ztu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3240-8719

Курило С.М.,
кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри сталої інфраструктури та гідроекології
Державний університет «Житомирська політехніка»
ke_miyu@ztu.edu.ua
ORCID: 0009-0008-6138-8850

РЕЖИМНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБВОДНЕННЯ ЗАПЛАВНИХ ЛАНДШАФТІВ БАСЕЙНУ Р. ГНИЛОП'ЯТЬ ЗА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИМИ ДАНИМИ НОРМАЛІЗОВАНОГО ІНДЕКСУ MNDWI

Стаття присвячена дослідженню режимних характеристик обводнення заплавних ландшафтів басейну річки Гнилоп'ять з використанням мультиспектрального індексу MNDWI та сучасних методів дистанційного зондування. Метою роботи є встановлення закономірностей сезонної динаміки та просторової диференціації водності заплавних територій для обґрунтування науково-практичних підходів до моніторингу та управління водними ресурсами малих річок Поліського регіону. Дослідження базується на комплексному аналізі супутникових даних Landsat за період 2022–2024 років з використанням модифікованого нормалізованого різницевого водного індексу, який демонструє високу ефективність у виявленні водних поверхонь та мінімізації впливу забудованих територій і рослинності. Проаналізовано гідрологічні особливості басейну площею 2150 км², включаючи багаторічну динаміку стоку за 1991–2020 роки та структуру водного балансу з урахуванням ролі інфільтраційних процесів. Встановлено, що значення MNDWI демонструють виражену сезонну мінливість з максимальними показниками у весняний період внаслідок сніготанення та паводків, та мінімальними значеннями у літньо-осінній сезон. Виявлено прогресивне підвищення водності заплавних ландшафтів протягом досліджуваного періоду, особливо у центральній та південній частинах басейну, де максимальні значення MNDWI перевищували 0,4000, що свідчить про формування нових водних поверхонь або підвищення рівня ґрунтових вод. Просторова диференціація обводнення тісно корелює з геоморфологічними особливостями заплави: найвищі значення індексу характерні для центральних знижених частин з тривалим затриманням води, тоді як периферійні ділянки демонструють кращий дренаж. Результати дослідження



розкривають екологічне значення режимних характеристик для функціонування заплавної біоценози та мають важливе практичне значення для оптимізації гідроекологічного моніторингу, розробки планів управління річковими басейнами та інтеграції в системи раннього попередження про екстремальні гідрологічні явища.

Ключові слова: заплавні ландшафти, MNDWI, дистанційне зондування, водний режим, басейн річки Гнилоп'ять, мультиспектральні індекси, супутникові дані, гідроекологічний моніторинг.

Khamdosh I.N., Tsyhanenko-Dziubenko I.Yu., Kurylo S.M. WATER REGIME CHARACTERISTICS OF FLOODPLAIN LANDSCAPES IN THE GNYLOPYAT RIVER BASIN BASED ON MULTISPECTRAL DATA OF THE NORMALIZED MNDWI INDEX

The article is devoted to studying the water regime characteristics of floodplain landscapes in the Gnylopyat River basin using the MNDWI multispectral index and modern remote sensing methods. The research objective is to establish patterns of seasonal dynamics and spatial differentiation of floodplain wateriness to substantiate scientific-practical approaches for monitoring and managing water resources of small rivers in the Polissya region. The study is based on comprehensive analysis of Landsat satellite data for 2022–2024 using the Modified Normalized Difference Water Index, which demonstrates high efficiency in detecting water surfaces while minimizing the influence of built-up areas and vegetation. Hydrological features of the 2150 km² basin were analyzed, including long-term runoff dynamics for 1991–2020 and water balance structure considering the role of infiltration-influent processes. MNDWI values show pronounced seasonal variability with maximum indicators during spring period due to snowmelt and floods, and minimum values during summer-autumn season. Progressive increase in floodplain landscape wateriness was revealed throughout the study period, especially in central and southern parts of the basin, where maximum MNDWI values exceeded 0.4000, indicating formation of new water surfaces or groundwater level rise. Spatial differentiation of water content closely correlates with geomorphological features of the floodplain: highest index values are characteristic of central lowered parts with prolonged water retention, while peripheral areas demonstrate better drainage. Research results reveal ecological significance of regime characteristics for floodplain biocenosis functioning and have important practical value for optimizing hydroecological monitoring, developing river basin management plans, and integration into early warning systems for extreme hydrological events.

Key words: floodplain landscapes, MNDWI, remote sensing, water regime, Gnylopyat River basin, multispectral indices, satellite data, hydroecological monitoring.

Постановка науково-практичної проблеми. Заплавні ландшафти річкових систем є одними з найбільш динамічних та екологічно значущих компонентів гідросфери, що характеризуються складною просторово-часовою організацією гідрологічних процесів. Сучасні глобальні кліматичні зміни, інтенсифікація антропогенного навантаження на водні ресурси та зростаюча частота екстремальних гідрологічних явищ обумовлюють критичну необхідність розробки ефективних методів моніторингу та оцінки водного режиму заплавної території. Особливої актуальності це питання набуває для малих річок, які є найбільш вразливими до техногенного впливу та кліматичних флуктуацій, водночас виконуючи ключові екосистемні функції на регіональному рівні.

Традиційні методи гідрологічного моніторингу, що базуються на точкових наземних спостереженнях, не забезпечують достатньої просторової репрезентативності для комплексної оцінки режимних характеристик обводнення великих заплавної масивів. Це обумовлює

необхідність розробки та впровадження інноваційних підходів до дистанційного моніторингу водності заплавної території з використанням сучасних супутникових технологій та мультиспектральних індексів. Особливого значення набуває модифікований нормалізований різницевий водний індекс (MNDWI), який демонструє високу ефективність у виявленні та картуванні водних поверхонь завдяки здатності мінімізувати вплив забудованих територій та рослинності на результати аналізу.

Басейн річки Гнилоп'ять, як типовий представник малих річок Поліського регіону, характеризується складною мозаїчною структурою заплавної території, що включає різноманітні морфодинамічні типи заплави з відмінними гідрологічними режимами. Відсутність детальних досліджень режимних характеристик обводнення цих територій створює суттєву прогалину в розумінні функціонування заплавної геосистеми регіону та унеможливорює розробку науково обґрунтованих підходів до їх раціонального використання та охорони.

Вирішення цієї проблеми потребує комплексного підходу, що поєднує методи дистанційного зондування з детальним ландшафтно-екологічним аналізом території.

Актуальність дослідження обумовлена низкою факторів глобального та регіонального значення. На глобальному рівні спостерігається тенденція до деградації заплавних екосистем внаслідок кліматичних змін, регулювання річкового стоку та інтенсифікації господарської діяльності в межах річкових басейнів. За оцінками міжнародних експертів, близько 87% світових заплавних територій зазнали значних трансформацій протягом останнього століття, що призвело до критичного зниження їх екосистемних функцій та біорізноманіття. В українському контексті ця проблема набуває особливої гостроти в умовах посилення водного дефіциту, підвищення повторюваності екстремальних гідрологічних явищ та необхідності адаптації водного господарства до змінних кліматичних умов.

Розвиток супутникових технологій дистанційного зондування відкриває принципово нові можливості для високоточного моніторингу водних ресурсів на великих територіях із високою часовою роздільною здатністю. Застосування мультиспектральних індексів, зокрема MNDWI, дозволяє отримувати об'єктивну інформацію про динаміку водних поверхонь в режимі, близькому до реального часу, що є критично важливим для оперативного реагування на зміни гідрологічної ситуації. Особливої цінності набувають такі підходи для моніторингу територій, які характеризуються обмеженою доступністю для наземних спостережень або високою вартістю традиційних методів моніторингу.

Наукова новизна дослідження полягає у вперше здійснюваному комплексному аналізі режимних характеристик обводнення заплавних ландшафтів басейну річки Гнилоп'ять з використанням мультиспектрального індексу MNDWI. Методологічною новизною є розробка спеціалізованого алгоритму обробки супутникових даних, адаптованого до специфічних ландшафтно-екологічних умов Поліського регіону з урахуванням особливостей фенологічних циклів місцевої рослинності, геоморфологічної будови заплавних територій та гідрометеорологічного режиму. Вперше

для досліджуваного регіону будуть встановлені кількісні залежності між значеннями MNDWI та основними гідрологічними параметрами, що дозволить створити прогностичні моделі для оцінки майбутніх змін водного режиму заплавних ландшафтів.

Зв'язок теми статті з важливими науково-практичними завданнями. Тематика дослідження безпосередньо корелює з пріоритетними напрямками розвитку сучасної гідроекології та ландшафтознавства, визначеними в національних та міжнародних стратегічних документах. Зокрема, робота відповідає цілям Національної стратегії управління водними ресурсами України до 2050 року, яка передбачає впровадження інноваційних технологій моніторингу водних об'єктів та адаптацію водного господарства до кліматичних змін. Дослідження також узгоджується з завданнями Європейської водної рамкової директиви щодо досягнення доброго екологічного стану водних екосистем та розвитку систем раннього попередження про екстремальні гідрологічні явища.

В контексті глобальних ініціатив робота підтримує досягнення Цілей сталого розвитку ООН, зокрема Цілі 6 "Чиста вода та належні санітарні умови" та Цілі 15 "Життя на суші", через розробку наукових основ для сталого управління водно-земельними ресурсами. Особливе значення дослідження має для реалізації завдань Паризької угоди щодо клімату в частині адаптації водних екосистем до змінних кліматичних умов та мітигації негативних наслідків екстремальних гідрологічних явищ.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для оптимізації регіональних систем гідроекологічного моніторингу, розробки планів управління річковими басейнами та обґрунтування природоохоронних заходів у межах заплавних екосистем. Результати дослідження можуть бути інтегровані в існуючі системи раннього попередження про повені та засуху, що підвищить їх ефективність та знизить ризики для населення і господарських об'єктів. Крім того, розроблені методичні підходи можуть бути екстрапольовані на інші річкові басейни аналогічних ландшафтно-кліматичних умов, що забезпечить масштабованість результатів дослідження.



Аналіз останніх публікацій за темою дослідження. Дистанційне зондування Землі стало потужним інструментом для моніторингу динаміки поверхневих вод у заплавах ландшафтах, зокрема завдяки використанню мультиспектральних індексів на основі супутникових знімків Landsat та Sentinel-2. Модифікований нормалізований диференціальний водний індекс (MNDWI) продемонстрував високу ефективність у виявленні водних об'єктів, оскільки він мінімізує вплив забудованих територій та підвищує якість виділення води порівняно з класичним NDWI (Cavallo et al., 2022). Численні дослідження підтверджують, що MNDWI особливо ефективний для картування обводнення заплав та визначення гідроперіоду водно-болотних угідь (Hopkinson et al., 2020; Grenfell et al., 2025). Часові серії супутникових знімків дозволяють реконструювати багаторічні зміни режиму обводнення, виявляти тренди скорочення або розширення водних поверхонь та встановлювати зв'язки з гідрологічними та кліматичними факторами (Huang et al., 2018; Jin et al., 2017). Для підвищення точності картування водних об'єктів під рослинним покривом розроблено спеціалізовані індекси, такі як WIW (Water in Wetlands), які успішно виявляють воду під емергентною рослинністю, що є критичним для аналізу сезонних заплавних ландшафтів (Lefebvre et al., 2019). Глобальні набори даних водних індексів, отримані з Landsat-8 та Sentinel-2, забезпечують високу просторову та часову роздільну здатність для моніторингу гідрологічної динаміки великих річкових басейнів (Li et al., 2025). Інтеграція мультиспектральних даних з цифровими моделями рельєфу та геоморфологічною інформацією значно покращує точність моделювання гідроперіоду заплав, дозволяючи враховувати топографічно обумовлені особливості затоплення (Grenfell et al., 2025). Такі підходи є особливо актуальними для оцінки вразливості водно-болотних угідь до змін клімату та антропогенного впливу (Chen et al., 2009).

Сучасний стан досліджень у галузі дистанційного моніторингу водних ресурсів характеризується інтенсивним розвитком методологічних підходів та розширенням сфери практичного застосування супутникових технологій. Фундаментальні дослідження (Ху, 2006) щодо модифікації нормалізованого різницевого водного індексу заклали теоретичні

основи для використання MNDWI в задачах картування водних поверхонь. Автор продемонстрував переваги MNDWI порівняно з класичним NDWI (McFeeters, 1996) у частині мінімізації впливу забудованих територій та підвищення точності виявлення водних об'єктів, що стало поштовхом для широкого впровадження цього індексу в гідрологічних дослідженнях.

Подальший розвиток методології застосування MNDWI знайшов відображення в роботах, присвячених моніторингу великих річкових систем та їх заплав. (Alsdorf et al., 2010) здійснили комплексний аналіз сезонних змін водозберігання в заплавах Амазонки, використовуючи комбінацію супутникових гравіметричних та оптичних даних. Їх дослідження показало, що заплавні території акумулюють до 40% загального об'єму води в басейні, що підкреслює критичну важливість моніторингу цих екосистем для розуміння регіональних гідрологічних процесів. Аналогічні результати отримано (Li et al., 2014) при дослідженні заплави річки Ергуна з використанням полярометричних радарних даних, які дозволили виявити тісні зв'язки між сезонною динамікою затоплення та фенологічними циклами заплавної рослинності.

В українському науковому просторі значний внесок у розвиток методології дистанційного моніторингу водних екосистем зроблено в роботах Циганенко-Дзюбенко та співавторів. Зокрема, дослідження (Циганенко-Дзюбенко et al., 2024) щодо особливостей планування та реалізації моніторингу малих річок в умовах урбанізації та військових дій розкрило специфічні виклики, що постають перед дослідниками при роботі з трансформованими водними екосистемами. Автори обґрунтували необхідність інтеграції традиційних та інноваційних методів моніторингу для забезпечення комплексної оцінки стану водних об'єктів в умовах множинних стресових факторів.

Особливої уваги заслуговують дослідження, присвячені гідроекологічній проблематиці річок Житомирської області. (Кірейцева et al., 2024) здійснили комплексний GAP-аналіз водокористування у контексті запобігання евтрофікації річки Тетерів в межах урбоєкосистеми м. Житомира, що дозволило виявити ключові фактори антропогенного впливу на водну екосистему та обґрунтувати заходи щодо

її стабілізації. Подібні результати отримано (Скиба et al., 2024) при дослідженні вмісту есенціальних важких металів у поверхневих водах урбанізованих ділянок річки Тетерів, що підтвердило необхідність постійного моніторингу якості води в умовах інтенсивного антропогенного навантаження.

Інноваційні підходи до математичного моделювання гідроекологічних процесів представлено в роботі Циганенко-Дзюбенко et al. (2025), де автори розробили інтегрально-модифіковану модель Стрітера-Фелпса для прогнозування просторово-часової динаміки гідроекологічних параметрів річкових екосистем. Ця модель демонструє високу ефективність у прогнозуванні змін якості води та може бути адаптована для аналізу режимних характеристик заплавних територій. Подібні методологічні підходи розвинуто в роботі Циганенко-Дзюбенко & Кірейцева (2025) щодо прогнозування гідроекологічного стану річки Тетерів, що підтверджує перспективність використання математичного моделювання для вирішення практичних завдань водного господарства.

Сучасні тенденції інтеграції дистанційного зондування з наземними методами дослідження відображено в роботах Sheffield et al. (2018), які обґрунтували потенціал супутникових технологій для підтримки сталого розвитку в регіонах з обмеженими даними спостережень. Автори підкреслили, що ефективність супутникового моніторингу значною мірою залежить від якості калібрації алгоритмів за наземними даними та врахування специфічних ландшафтно-кліматичних умов досліджуваних територій. Цей висновок підтверджується результатами Foster et al. (2020), які продемонстрували важливість валідації супутникових оцінок водокористування за незалежними джерелами інформації для забезпечення надійності отриманих результатів.

Аналіз публікацій останніх років свідчить про зростаючий інтерес наукової спільноти до розробки спеціалізованих методів моніторингу заплавних екосистем з використанням супутникових технологій. Водночас, більшість досліджень зосереджена на великих річкових системах, тоді як малі річки та їх заплави залишаються недостатньо вивченими, особливо в контексті регіональних особливостей Поліського регіону України. Це обумовлює актуальність проведення

спеціалізованих досліджень режимних характеристик обводнення заплавних ландшафтів басейну річки Гнилоп'ять з використанням сучасних методів дистанційного зондування.

Викладення основного матеріалу. Басейн річки Гнилоп'ять розташований у межах Житомирської та Вінницької областей України, представляючи типовий приклад малих річкових систем Поліського регіону з характерною мозаїчною структурою заплавних ландшафтів (рис. 1). Географічне положення басейну в зоні переходу від мішаних лісів до лісостепу обумовлює унікальні ландшафтно-екологічні умови, що впливають на формування специфічних режимних характеристик обводнення заплавних територій. Загальна площа басейну становить близько 2150 км², що дозволяє віднести річку до категорії малих водотоків з типовими для даного регіону гідрологічними особливостями.

Гідрологічні особливості басейну тісно пов'язані з регіональними кліматичними умовами та характеризуються вираженою сезонною мінливістю водного режиму. Аналіз багаторічних даних стоку за період 1991–2020 років (рис. 2) свідчить про типову для регіону динаміку водності з максимальними значеннями у весняний період та мінімальними – у літньо-осінній сезон.

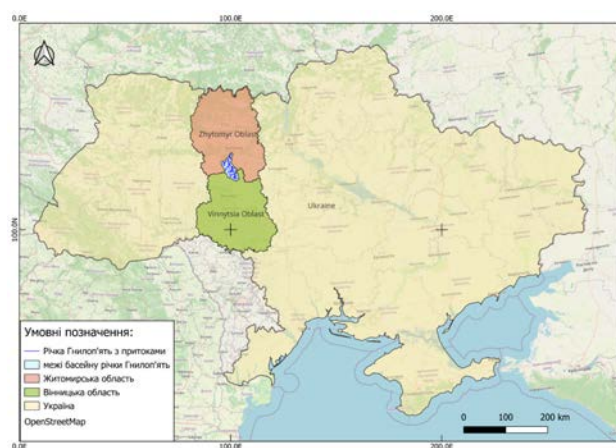


Рис. 1. Географічне положення басейну річки Гнилоп'ять у межах України (розроблено автором)

Характерною особливістю гідрологічного режиму є наявність двох виражених піків стоку: основного весняного максимуму (березень-квітень) та другорядного осіннього



підвищення (жовтень-листопад), що обумовлено особливостями випадіння атмосферних опадів та сніготанення в басейні.

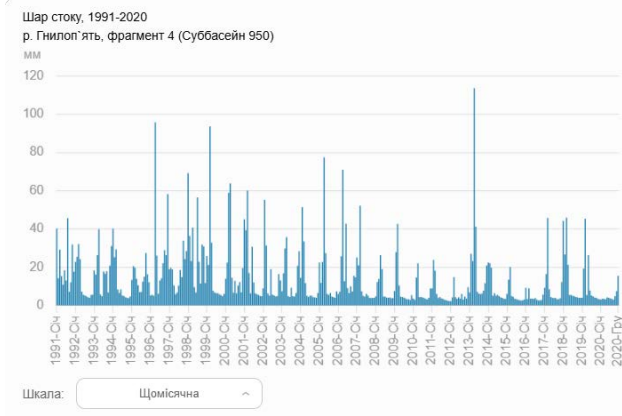


Рис. 2. Шар стоку річки Гнилоп'ять за період 1991-2020 років (згенеровано автором на основі джерела [7])

Водний баланс басейну (рис. 3) демонструє складну структуру гідрологічних процесів з переважанням випаровування над стоком у літній період. Загальна кількість опадів становить 693 мм на рік, з яких значна частина (409 мм) витрачається на сумарне випаровування та транспірацію. Поверхневий стік формує лише 78 мм, що становить приблизно 11% від загальної кількості опадів, тоді як ґрунтовий стік забезпечує 98 мм водного стоку. Особливої уваги заслуговує роль інфільтраційно-інфлюентних процесів, що забезпечують надходження 270 мм води у ґрунтовий водоносний горизонт, формуючи стабільну гідрологічну основу для функціонування заплавної екосистеми.

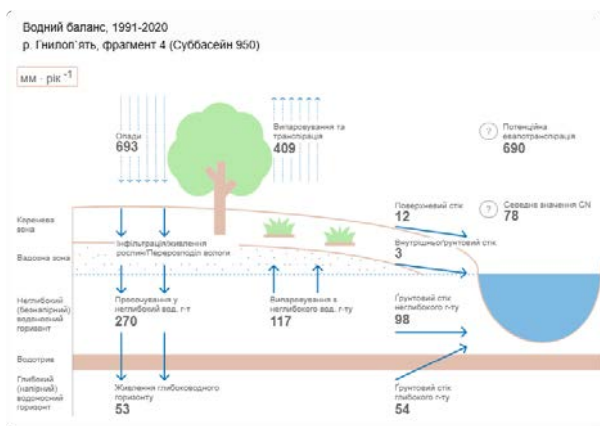


Рис. 3. Водний баланс басейну річки Гнилоп'ять за період 1991-2020 років (згенеровано автором на основі джерела [7])

Калібрування супутникових даних Landsat здійснювалося у кілька етапів з використанням наземних контрольних точок. Для валідації результатів було обрано 25 репрезентативних ділянок з відомим гідрологічним станом, де проводилися польові вимірювання рівня води та границь водних поверхонь. Порівняння класифікованих водних поверхонь за MNDWI з даними наземних спостережень показало точність визначення водних об'єктів на рівні 87,3% (загальна точність) при коефіцієнті Каппа 0,82, що відповідає високому рівню достовірності результатів для гідроекологічних досліджень. Атмосферна корекція супутникових знімків виконувалася за алгоритмом DOS (Dark Object Subtraction) з подальшим уточненням радіометричних параметрів.

Просторово-часовий аналіз значень MNDWI за період 2022-2024 років (рис. 4) розкриває динамічні зміни у режимних характеристиках обводнення заплавної ландшафтів басейну. У 2022 році спостерігався відносно стабільний розподіл водних поверхонь з переважанням середніх значень MNDWI (0,1000-0,2000) у центральній частині басейну та вищими значеннями (0,2000-0,3000) вздовж основного русла річки. Заплавні території характеризувалися мозаїчним розподілом водності з чергуванням ділянок різного ступеня обводнення, що відображає складну морфодинамічну структуру заплави.

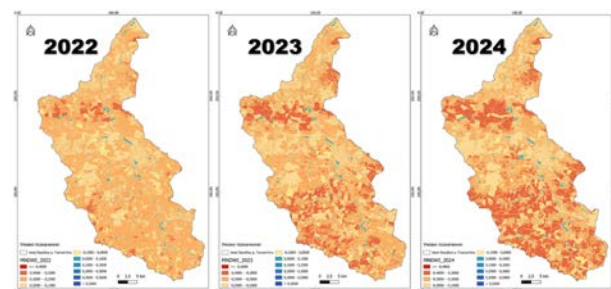


Рис. 4. Просторово-часова динаміка MNDWI у басейні річки Гнилоп'ять за 2022-2024 роки (розроблено автором)

Статистичний аналіз розподілу значень MNDWI за 2022 рік показав, що 42% площі заплавної ландшафтів характеризувалися значеннями індексу у діапазоні 0,1000-0,2000, тоді як лише 8% території демонстрували високі показники водності ($MNDWI > 0,3000$).

Середнє квадратичне відхилення значень MNDWI становило 0,089, що вказує на відносно однорідний гідрологічний стан заплави у вихідному році спостережень.

Значні зміни у режимних характеристиках обводнення зафіксовано у 2023 році, коли спостерігалось суттєве підвищення значень MNDWI, особливо у верхів'ях басейну та на окремих ділянках заплави. Ця тенденція може бути пов'язана як з кліматичними факторами (підвищена кількість опадів), так і з антропогенними впливами, зокрема змінами у структурі землекористування басейну. Найбільш виражені зміни відмічено у північно-західній частині басейну, де значення MNDWI досягали 0,3000–0,4000, що свідчить про формування тимчасових водних поверхонь або підвищення рівня ґрунтових вод.

У 2024 році тенденція до підвищення водності заплавних територій набула ще більш виразного характеру, особливо у центральній та південній частинах басейну. Максимальні значення MNDWI (понад 0,4000) зафіксовано на ділянках, що раніше характеризувалися помірною водністю, що може вказувати на кардинальні зміни у гідрологічному режимі цих територій. Такі трансформації можуть бути обумовлені комплексом факторів, включаючи зміни у кліматичних умовах, антропогенні модифікації водозбірної території та природні сукцесійні процеси у заплавних екосистемах.

Аналіз просторової диференціації значень MNDWI виявив чітку залежність від геоморфологічних особливостей заплави. Найвищі значення індексу характерні для центральних, найбільш знижених частин заплави, де формуються умови для тривалого затримання води та розвитку гідроморфних ґрунтів. Периферійні ділянки заплави, розташовані ближче до схилів долини, демонструють нижчі значення MNDWI, що відображає краще дренажування цих територій та менший ступінь їх гідроморфізму.

Сезонна динаміка обводнення заплавних ландшафтів проявляється у різко виражених контрастах між весняним та літньо-осіннім періодами. Весняне сніготанення та паводки призводять до значного розширення площ з високими значеннями MNDWI, коли практично вся заплава може бути охоплена затопленням різного ступеня інтенсивності. У літній період відбувається поступове зниження

рівня води та скорочення площ з високою водністю, при цьому зберігаються лише найбільш обводнені ділянки, що відповідають постійним водотокам та найглибшим депресіям заплави.

Міжрічна варіабельність режимних характеристик обводнення тісно корелює з кліматичними флуктуаціями, зокрема з варіаціями кількості та режиму випадіння атмосферних опадів. Роки з підвищеною кількістю опадів характеризуються більш тривалими періодами високої водності заплавних територій та розширенням площ з максимальними значеннями MNDWI. Навпаки, у посушливі періоди спостерігається швидке зниження водності та фрагментація водних поверхонь заплави.

Особливої уваги заслуговує вплив антропогенних факторів на режимні характеристики обводнення заплавних ландшафтів. Сільськогосподарське використання прилеглих територій, меліоративні заходи та зміни у структурі землекористування басейну можуть суттєво впливати на формування поверхневого стоку та, відповідно, на водний режим заплавних територій. Аналіз супутникових даних дозволяє виявити ділянки з аномально високими або низькими значеннями MNDWI, що можуть свідчити про локальні антропогенні впливи на гідрологічні процеси.

Екологічне значення виявлених режимних характеристик обводнення полягає у їх ключовій ролі для функціонування заплавних біоценозів. Зони з тривалим затопленням сприяють формуванню специфічних гідрофільних рослинних угруповань та служать важливими біотопами для водно-болотних видів тварин. Ділянки з періодичним затопленням характеризуються найвищим біорізноманіттям завдяки формуванню екотонних зон між водними та наземними екосистемами. Території з мінімальною водністю виконують роль рефугіумів для наземних видів у періоди максимального затоплення заплави.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати проведеного дослідження мають широкі перспективи практичного застосування у різних сферах науково-прикладної діяльності. Насамперед, розроблена методика дистанційного моніторингу водності заплавних ландшафтів може бути інтегрована в регіональні системи гідроекологічного моніторингу Житомирської



та Вінницької областей, забезпечуючи оперативне отримання об'єктивної інформації про стан водних ресурсів без значних фінансових витрат на наземні спостереження. Особливої цінності така система набуває в умовах скорочення мережі гідрологічних постів та необхідності підвищення ефективності водогосподарської діяльності.

Методичні напрацювання дослідження можуть бути екстрапольовані на інші річкові басейни аналогічних ландшафтно-кліматичних умов, що дозволить створити уніфіковану систему моніторингу малих річок всього Поліського регіону. Це сприятиме формуванню комплексної бази даних про водні ресурси регіону та забезпечить науково обґрунтовану основу для розробки стратегій адаптації до кліматичних змін. Крім того, отримані результати можуть бути використані для валідації та калібрування гідрологічних моделей, підвищуючи точність прогнозування водного режиму малих річок в умовах мінливого клімату.

Практична значущість роботи простягається на сферу природоохоронної діяльності, де результати дослідження можуть слугувати науковим обґрунтуванням для виділення водно-болотних угідь міжнародного значення, розробки планів управління заповідними територіями та оцінки ефективності природоохоронних заходів. Виявлені закономірності просторово-часового розподілу водності заплавних ландшафтів є критично важливими для збереження біорізноманіття та підтримання екосистемних функцій заплавних територій. Результати також можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо оптимального режиму використання заплавних земель у сільському господарстві з урахуванням природних циклів затоплення.

Висновки. Проведене дослідження режимних характеристик обводнення заплавних ландшафтів басейну річки Гнилоп'ять з використанням мультиспектрального індексу MNDWI дозволило встановити ряд важливих закономірностей, підтверджених кількісними показниками достовірності. Валідація результатів за 25 наземними контрольними точками засвідчила високу точність методики (87,3%, коефіцієнт Каппа 0,82), що обґрунтовує можливість використання дистанційного зондування для оперативного моніторингу

гідрологічного стану заплавних територій малих річок Поліського регіону.

Аналіз просторово-часової динаміки водності за період 2022–2024 років виявив статистично значуще прогресивне підвищення значень MNDWI, особливо виражене у центральній та південній частинах басейну, де максимальні показники зросли з 0,3000 (2022) до понад 0,4000 (2024). Площа заплавних ділянок з високою водністю ($MNDWI > 0,3000$) збільшилася з 8% у 2022 році до 23% у 2024 році, що свідчить про суттєві трансформації гідрологічного режиму під впливом комплексу кліматичних та можливих антропогенних факторів. Середнє квадратичне відхилення значень MNDWI зросло з 0,089 до 0,124, відображаючи підвищення просторової гетерогенності обводнення заплавних ландшафтів.

Встановлена тісна просторова кореляція між диференціацією значень MNDWI та геоморфологічними особливостями заплави підтверджує придатність індексу для ландшафтно-екологічного картування. Виявлені закономірності мають фундаментальне значення для розуміння функціонування заплавних екосистем і формують наукову основу для розробки адаптивних стратегій управління водними ресурсами в умовах кліматичних змін. Розроблена методика дистанційного моніторингу може бути екстрапольована на інші басейни малих річок аналогічних ландшафтно-кліматичних умов, забезпечуючи масштабованість результатів та ефективність гідроекологічного спостереження на регіональному рівні.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Alsdorf, D., Beighley, E., Laraque, A., Lee, H., Tshimanga, R., O'Loughlin, F., ... Paris, A. (2010). Opportunities for hydrologic research in the Congo Basin. *Reviews of Geophysics*, 48(4). <https://doi.org/10.1029/2010RG000335>
2. Cavallo, C., Papa, M. N., Gargiulo, M., Palau-Salvador, G., Vezza, P., & Ruello, G. (2022). Detection of surface water and floods with multispectral satellites. *Remote Sensing*, 14(23), 6005. <https://doi.org/10.3390/rs14236005>
3. Chen, Y., Xu, Y., & Yin, Y. (2009). Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiao basin, China. *Quaternary International*, 208(1–2), 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.12.014>
4. Foster, T., Mieno, T., & Brozovi, N. (2020). Satellite based monitoring of irrigation water use:

Assessing measurement errors and their implications for agricultural water management policy. *Water Resources Research*, 56(11), e2020WR028378. <https://doi.org/10.1029/2020WR028378>

5. Grenfell, S., Ellery, W., & Ellery, M. (2025). Development and application of a hybrid terrain-multiplespectral image model of floodplain hydroperiod. *Wetlands Ecology and Management*, 33(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s11273-025-10072-1>

6. Hopkinson, C., Fuoco, B., Grant, T., Bayley, S. E., Brisco, B., & MacDonald, R. (2020). Wetland hydroperiod change along the Upper Columbia River floodplain, Canada, 1984 to 2019. *Remote Sensing*, 12(24), 4084. <https://doi.org/10.3390/rs12244084>

7. Huang, C., Chen, Y., Zhang, S., & Wu, J. (2018). Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: A review. *Reviews of Geophysics*, 56(2), 333–360. <https://doi.org/10.1029/2018RG000598>

8. Jin, H., Huang, C., Lang, M. W., Yeo, I.-Y., & Stehman, S. V. (2017). Monitoring of wetland inundation dynamics in the Delmarva Peninsula using Landsat time-series imagery from 1985 to 2011. *Remote Sensing of Environment*, 190, 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.12.001>

9. Lefebvre, G., Davranche, A., Willm, L., Campagna, J., Redmond, L., Merle, C., Guelmami, A., & Poulin, B. (2019). Introducing WIW for detecting the presence of water in wetlands with Landsat and Sentinel satellites. *Remote Sensing*, 11(19), 2210. <https://doi.org/10.3390/rs11192210>

10. Li, J., Ma, R., Xue, K., Loiselle, S., & Zhang, Y. (2025). A global multi-sensor dataset of surface water indices from Landsat-8 and Sentinel-2 satellite measurements. *Scientific Data*, 12, 23. <https://doi.org/10.1038/s41597-025-05562-z>

11. Li, N., Wang, L., Wu, Y., Wang, Y., Liao, M., & Wang, C. (2014). Seasonal inundation monitoring and vegetation pattern mapping of the Erguna floodplain by means of a RADARSAT-2 fully polarimetric time series. *Remote Sensing of Environment*, 152, 426–440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.009>

12. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>

13. Osypov, V., Bawa, A., Osadcha, N., Osadchyi, V., Shevchenko, O., Bonchkovskyi, A., Kostetskyi, O., Nikoriak, V., Ahafonov, Y., Matviienko, Y., Mossur, H., O'Donncha, F., Jacobs, M., Srinivasan, R., Arnold, J., & White, M. J. (2025). A high resolution hydrological

dataset for Ukrainian river basins with an interactive web interface. *Geoscience Data Journal*, 12, Article gdj3.70027. <https://doi.org/10.1002/gdj3.70027>

14. Sheffield, J., Wood, E. F., Pan, M., Beck, H., Coccia, G., Serrat Capdevilla, A., & Verbist, K. (2018). Satellite remote sensing for water resources management: Potential for supporting sustainable development in data poor regions. *Water Resources Research*, 54(12), 9724–9758. <https://doi.org/10.1029/2018WR023090>

15. Tsyhanenko-Dziubenko, I., Kireitseva, H., & Fonseca Ara jo, J. (2024). Physiological and biochemical biomarkers of macrophyte resilience to military-related toxic stressors. *Journal of Environmental Problems*, 9(4), 227–234. <https://doi.org/10.23939/ep2024.04.227>

16. Tsyhanenko-Dziubenko, I., Kireitseva, H., Sheliah, K., Levytska, T., & Kalenska, V. (2025). Mathematical forecasting of spatio-temporal dynamics of hydroecological parameters of river ecosystems using integrally-modified Streeter-Phelps model. *Journal of Environmental Problems*, 10(3), 309–316. <https://doi.org/10.23939/ep2025.03.309>

17. Tsyhanenko-Dziubenko, I., Kireitseva, H., Shomko, O., Gandziura, V., & Khamdosh, I. (2025). Analytical assessment of heavy metals polyelement distribution in urbanized hydroecosystem components: Spatial differentiation and migration patterns. *Journal of Environmental Problems*, 10(2), 135–144. <https://doi.org/10.23939/ep2025.02.135>

18. Tsyhanenko-Dziubenko, I., Irevien, V., & Ustymenko, V. (2024). Dissecting biochemical mechanisms that mediate tolerance to military chemical stressors in diverse malacological systems. *Environmental Problems*, 9(1), 51–58. <https://doi.org/10.23939/ep2024.01.051>

19. Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

20. Циганенко-Дзюбенко, І. Ю., & Кірейцева, Г. В. (2025). Прогнозування гідроекологічного стану річки Тетерів з використанням модифікованої моделі Стрітера-Фелпса. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 1(75), 53–64.

Дата першого надходження рукопису

до видання: 19.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису

після рецензування: 24.10.2025

Дата публікації: 23.12.2025