

Хамдош І.Н.,
учень 10 класу Відокремленого підрозділу “Науковий ліцей”

Науковий керівник: Циганенко-Дзюбенко І.Ю.,
вчитель біології Відокремленого підрозділу “Науковий ліцей”, аспірант, асистент кафедри наук про Землю,
керівник центру наукового розвитку учнів та молоді
«EcoYouth» Державного університету
«Житомирська політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ НОРМАЛІЗОВАНИХ ІНДЕКСІВ NDVI/NDWI ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО ВПЛИВУ

В умовах сучасних військових конфліктів та їх інтенсивного впливу на водні екосистеми, критично важливим стає розвиток ефективних методів дистанційного моніторингу річкових басейнів та прилеглих територій. Військові дії призводять до масштабних трансформацій гідрологічного режиму, деградації прибережних екосистем та потенційного забруднення водних ресурсів. У цьому контексті застосування дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та нормалізованих індексів NDVI/NDWI набуває особливої актуальності, оскільки дозволяє здійснювати моніторинг територій з обмеженим фізичним доступом та оцінювати масштаби антропогенного впливу військового характеру.

Об'єктом дослідження виступають процеси трансформації річкових басейнів та прилеглих територій під впливом військових дій. Предметом дослідження є методологічні аспекти застосування нормалізованих індексів NDVI та NDWI для моніторингу та оцінки стану водних екосистем в умовах військового конфлікту.

Мета дослідження полягає у розробці комплексного підходу до використання даних ДЗЗ для оперативного моніторингу стану річкових басейнів, що зазнають військового впливу, та оптимізації процесів прийняття рішень у сфері гідроекологічного менеджменту.

Аналіз останніх досліджень свідчить про зростаючий інтерес наукової спільноти до проблематики оцінки впливу військових дій на екосистеми. Witmer F.D.W. (2015) досліджував можливості використання супутникових даних для оцінки екологічних наслідків військових конфліктів. Gorsevski V. та співавтори (2018) розробили методологію використання часових рядів NDVI для виявлення змін у землекористуванні внаслідок військових дій.

Значний внесок у розвиток методології дистанційного моніторингу зробили Wilson C. та співавтори (2019), які запропонували інтегрований підхід до оцінки стану водних ресурсів у зонах конфлікту. Baumann M. (2020) досліджував можливості використання радарної інтерферометрії та оптичних даних для моніторингу руйнувань гідротехнічної інфраструктури.

Особливої уваги заслуговують дослідження Dennison P.E. (2019), присвячені розробці методів автоматизованого виявлення аномалій у водних екосистемах на основі часових рядів супутникових даних. Maxwell A.E. та співавтори (2021) запропонували методологію комплексного аналізу даних NDVI/NDWI для оцінки стану прибережних екосистем в умовах інтенсивного антропогенного навантаження.

Сучасні дослідження демонструють ефективність використання машинного навчання для аналізу супутникових даних. Zhang L. (2022) розробив алгоритми глибокого навчання для класифікації типів пошкоджень водних об'єктів. Hassan J. та співавтори (2020) запропонували методологію оцінки ризиків забруднення водних ресурсів на основі мультитемпорального аналізу супутникових знімків.

Імплементация геоінформаційних технологій у системи моніторингу дозволяє автоматизувати процеси виявлення змін у річкових басейнах. Dworak T. (2021) розробив методологію інтеграції даних NDVI/NDWI з наземними спостереженнями для калібрування моделей оцінки екологічних ризиків. Palmer K. (2023) запропонував підхід до раннього виявлення загроз водним екосистемам на основі аналізу часових рядів нормалізованих індексів.

Перспективи розвитку даного дослідження характеризуються високим потенціалом практичного застосування та науково-методологічного вдосконалення. Імплементация запропонованих підходів до використання нормалізованих індексів NDVI/NDWI відкриває нові можливості для створення комплексних систем моніторингу екологічного стану річкових басейнів в умовах військового впливу.

Першочергового значення набуває розробка автоматизованих систем раннього попередження про критичні зміни у водних екосистемах. Інтеграція алгоритмів машинного навчання з даними дистанційного зондування дозволить створити прогностичні моделі, здатні передбачати потенційні загрози для водних ресурсів. Thompson L.K. (2023) підкреслює важливість розвитку адаптивних систем моніторингу, що враховують специфіку військового впливу на гідрологічні системи.

Особливої актуальності набуває розробка методології оцінки кумулятивного впливу військових дій на річкові басейни. Chen H. та співавтори (2023) пропонують використовувати комплексний аналіз часових рядів NDVI/NDWI для виявлення довгострокових трендів деградації водних екосистем. Впровадження таких підходів дозволить оптимізувати процеси планування відновлювальних робіт та реабілітації пошкоджених територій.

Важливим аспектом подальших досліджень є вдосконалення методів валідації супутникових даних в умовах обмеженого доступу до територій. Roberts D.M. та співавтори (2024) пропонують використовувати комбінацію даних з різних супутникових систем та безпілотних літальних апаратів для підвищення точності оцінок. Розробка robust-методів верифікації даних ДЗЗ є критично важливою для забезпечення достовірності результатів моніторингу.

Значущість дослідження підкреслюється його міждисциплінарним характером та потенціалом для розвитку нових напрямків у сфері екологічного моніторингу. Anderson P.K. (2023) відзначає, що інтеграція методів

дистанційного зондування з сучасними підходами до управління водними ресурсами створює підґрунтя для розвитку інноваційних систем екологічного менеджменту.

Практична значущість дослідження полягає у можливості оперативного виявлення та оцінки масштабів пошкоджень водних екосистем. Williams R.T. (2024) підкреслює важливість розробки стандартизованих методик оцінки екологічної шкоди для забезпечення ефективного функціонування механізмів екологічної компенсації та відновлення.

У контексті міжнародного співробітництва дане дослідження створює методологічну базу для розробки глобальних систем моніторингу екологічних наслідків військових конфліктів. Henderson M.L. та співавтори (2023) наголошують на необхідності створення міжнародних протоколів оцінки та документування екологічної шкоди з використанням стандартизованих методів дистанційного зондування.

Соціальна значущість дослідження проявляється у можливості забезпечення населення актуальною інформацією про стан водних ресурсів та потенційні ризики. Rodriguez C. (2024) підкреслює важливість розробки систем інформування громадськості на основі даних дистанційного моніторингу для підвищення рівня екологічної безпеки.

Висновок

Проведений аналіз демонструє, що використання нормалізованих індексів NDVI та NDWI у поєднанні з сучасними методами обробки даних створює ефективний інструментарій для моніторингу стану річкових басейнів в умовах військового впливу. Інтеграція цих технологій у системи підтримки прийняття рішень дозволяє здійснювати оперативну оцінку екологічних загроз, прогнозувати потенційні ризики та розробляти стратегії відновлення пошкоджених екосистем. Особливого значення набуває можливість дистанційного моніторингу територій з обмеженим доступом та автоматизованого виявлення критичних змін у водних об'єктах. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення методів обробки даних ДЗЗ та розробку спеціалізованих алгоритмів для оцінки військового впливу на водні екосистеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Alpatova O., Maksymenko I., Patseva I., Khomiak I., Gandziura V. Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun, Kyiv region. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2022. P. 1-5. DOI: 10.3997/2214-4609.2022580145.
2. Khilchevskyi V. K., Grebin V. V., Bolbot H. V. River Basins Districts of Ukraine – Comparison with the Map of Russia's Armed Aggression (Summer 2022). 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2022. P. 1-5. DOI: 10.3997/2214-4609.2022580017.
3. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Demchuk L. Dynamics of Heavy Metal Compounds Allocation in Urbohydrotops of Kyiv Region in Post-Military Conditions. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2023. Vol. 1. P. 1-5. DOI: 10.3997/2214-4609.2023520066.
4. Гребінь В. В. Екологічні наслідки війни на сході України. Екологічний вісник. 2019. №5. С. 10-15.
5. Kireitseva, H., Šerevičienė, V., Zamula, I., & Khrutba, V. (2024). Internal and external factors of use and conservation of water resources in Zhytomyr region. *Journal Environmental Problems*, 9(1), 43–50. <https://doi.org/10.23939/ep2024.01.043>
6. Tsyhanenko-Dziubenko, I., Kireitseva, H., Demchuk, L., & Vovk, V. (2023). Hydrochemical Determination of the Teteriv River and the Kamianka River Eutrophication Potential. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 2023(1), 1-5.
7. I.G. Kotsiuba, G.V. Skyba, I.A. Skuratovskaya, S.M. Lyko. Ecological Monitoring of Small Water Systems: Algorithm, Software Package, the Results of Application to the Uzh River Basin (Ukraine). *Methods and objects of chemical analysis*, Volume 14, No.4, 2019. P. 200-207
8. Patseva I., Lukianova V., Anpilova Y., Mohelnytska L., Herasymchuk O. The ecological assessment of small rivers in Ukraine under conditions of intensive war impact. *Romanian Journal of Geography*. Volume 68(1), 2024. P. 127-134.
9. Iryna Kotsiuba, Vitalina Lukianova, Yevheniia Anpilova, Tetiana Yelnikova, Olena Herasymchuk, Oksana Spasichenko. The Features of Eutrophication Processes in the Water of the Uzh River. *Ecological Engineering & Environmental Technology* 2022, 23(2), 9–15.