S E S 2 0 2 6
Twenty-second International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
20 – 24 October 2026, Stara Zagora, Bulgaria

МОНИТОРИНГ НА ПРОСТРАНСТВЕНО-ВРЕМЕВАТА ДИНАМИКА НА КОМПЛЕКС „РОПОТАМО“ ЗА ПЕРИОДА 2013–2025 Г.

Ива Иванова, Наталия Станкова

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: ivaivanova@space.bas.bg

Ключови думи: *мониторинг, спътникови данни, влажна зона, защитени територии*

Резюме: *Настоящото изследване представя мониторинг на пространствено-времевата динамика на Комплекс „Ропотамо“ за периода 2013–2025 г. чрез спътникови данни. За оценка на измененията в растителната покривка и влажните зони са използвани спътникови данни от Landsat 8 OLI и Sentinel-2. Изчислени са спектралните индекси NDVI и NDWI. Анализирани са предимно изображения от пролетния и есенния сезон с минимална облачност над изследваната територия. Получените резултати позволяват да се проследят годишните изменения в състоянието и пространственото разпределение на растителността, повърхностните води и влажните зони. Установява се относителна устойчивост на основната пространствена структура на екосистемите, съпроводена с локални изменения, най-силно изразени в зоните, свързани с р. Ропотамо и прилежащите и влажни територии.*

SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS MONITORING OF THE ROPOTAMO COMPLEX FOR THE PERIOD 2013–2025

Iva Ivanova, Nataliya Stankova

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ivaivanova@space.bas.bg

Keywords: *Arterial blood pressure, pulse wave, electrocardiogram (ECG)*

Abstract: *This study presents the monitoring of the spatial and temporal dynamics of the Ropotamo Complex for the period 2013–2025 using satellite data. Satellite data from Landsat 8 OLI and Sentinel-2 were used to assess changes in vegetation cover and wetland areas. The NDVI and NDWI spectral indices were calculated to characterize vegetation and water-related dynamics. The analysis was based primarily on spring and autumn satellite imagery with minimal cloud cover over the study area. The results allow the assessment of annual changes in the condition and spatial distribution of vegetation, water bodies, and wetlands. The analysis indicates a relatively stable overall spatial structure of the ecosystems, accompanied by local changes that are most pronounced along the Ropotamo River and the adjacent wetland areas.*

Въведение

Комплекс Ропотамо е разположен в югоизточната част на България, по южното Черноморско крайбрежие, в близост до град Приморско и устието на река Ропотамо. Територията попада в рамките на Бургаска област и обхваща долното течение на река Ропотамо, прилежащите влажни зони, крайбрежни горски масиви, пясъчни дюни и лиманни участъци. Резерват „Ропотамо“, който е част от комплекса е сред най-представителните природни обекти по българското Черноморие и се характеризира с висока степен на ландшафтно и биологично разнообразие [1].

Комплексът е включен в мрежата на защитените зони по европейската екологична мрежа Natura 2000 съгласно Директивата за местообитанията (92/43/ЕИО) и Директивата за птиците (2009/147/ЕО) [2]. Територията попада и в обхвата на Рамсарската конвенция като влажна зона с международно значение. През последните десетилетия крайбрежните и влажните екосистеми са подложени на нарастващ антропогенен натиск, включително урбанизация, туристическа дейност, промени в хидрологичния режим, ерозионни процеси и

климатични изменения. Тези фактори водят до промени в структурата и динамиката на растителната покривка, водните площи и екологичното състояние на местообитанията. Поради това мониторингът на защитените територии се превръща в ключов инструмент за оценка на екологичните промени и за подпомагане на природозащитното управление [1].

Поради сложната екологична структура на резервата и динамичния характер на влажните екосистеми, използването на дистанционни методи за наблюдение чрез спътникови данни представлява ефективен подход за дългосрочен мониторинг на природната среда.

Данни и методи

За изследване на пространствено-времевата динамика на Комплекс „Ропотамо“ за периода 2013–2025 г. са използвани мултиспектрални сателитни данни от Landsat 8 OLI и Sentinel-2 MSI, позволяващи проследяване на измененията в растителната покривка и водните обекти [3].

При подбора на спътниковите данни е поставен акцент върху пролетния и есенния сезон, като са използвани изображения с минимална или липсваща облачност над изследваната територия. Пролетните сцени позволяват проследяване на активното развитие на растителността и промените във водния режим, докато есенните отразяват състоянието на растителната покривка в края на вегетационния период.

Таблица 1. Подбор на спътникови данни

Дата	Спътник	Дата	Спътник
19.06.2013 г.	Landsat 8	12.04.2021 г.	Sentinel-2
21.05.2014 г.	Landsat 8	19.09.2022 г.	Sentinel-2
11.07.2015 г.	Landsat 8	02.05.2023 г.	Sentinel-2
16.08.2016 г.	Sentinel-2A	24.09.2023 г.	Sentinel-2
10.09.2017 г.	Sentinel-2A	06.05.2025 г.	Sentinel-2
10.09.2018 г.	Sentinel-2B	10.09.2025 г.	Sentinel-2
26.08.2019 г.	Sentinel-2B		

За оценка на динамиката на растителната покривка и водните обекти в комплекс „Ропотамо“ са приложени два спектрални индекса – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и NDWI (Normalized Difference Water Index).

Нормализираният разликов вегетационен индекс (NDVI) е широко използван показател за дистанционно характеризиране на растителната покривка. Индексът отразява контраста между поглъщането на червената светлина от хлорофила и високата отражателна способност на зелената растителност в близкия инфрачервен диапазон. Стойностите на NDVI теоретично варират между −1 и +1. Високите положителни стойности са характерни за плътна и добре развита растителност, докато ниските и отрицателните стойности са характерни за вода, голи почви, пясъчни повърхности и други територии с ниска растителна покривка[4, 5]. В настоящото изследване NDVI се използва за проследяване на пространствените и времевите изменения на растителността в комплекса“, включително крайречните и лонгозни гори, тревната и храстовата растителност, влажните местообитания и растителността в близост до речното корито.

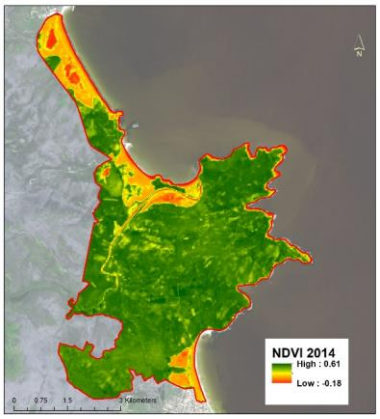
Нормализираният разликов воден индекс (NDWI) се използва за откриване и мониторинг на повърхностни води и за разграничаване на водните обекти от сухоземните компоненти. В настоящото изследване се използва класическата формулировка на NDWI, базирана на зеления и близкия инфрачервен спектрален диапазон [5, 6]. NDWI позволява да бъдат идентифицирани основните повърхностни води в изследваната територия [7, 8]. При комплекс „Ропотамо“ индексът е особено подходящ за проследяване на р. Ропотамо, лиманната зона, влажните зони и сезонно заливаните територии. Получените тематични карти позволяват да се установят пространствените изменения на водните площи и тяхната динамика през изследвания период. Използването на изображения от пролетта и есента позволява и по-добро характеризиране на динамиката на водните обекти чрез NDWI. Това е особено важно за наблюдаваната територия, където речната система, лиманната зона, влажните местообитания и сезонно заливаните територии са тясно свързани с изменението на водния баланс.

Резултати

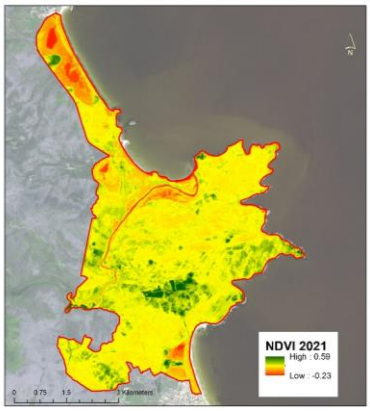
Междугодишен пролетен мониторинг на NDVI за периода 2013–2025 г.

За пролетния период 2013–2025 г. NDVI показва съществени междугодишни различия във вегетационната активност (фиг. 1). През 2013, 2014 и 2021 г. максималните стойности са сходни (0,59–0,61), като през 2021 г. се наблюдава леко по-слабо развитие на растителността.

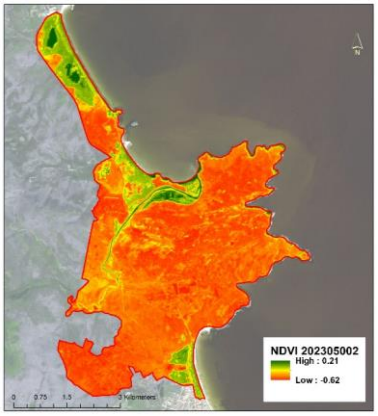
През 2023 г. (Фиг. 1 В) е регистриран значителен спад на NDVI до максимум 0,21, което показва по-слабо изразена вегетационна активност към датата на заснемане. През 2025 г. се установява отчетливо възстановяване, като максималният NDVI достига 0,63 и високите положителни стойности отново обхващат значителна част от изследваната територия.



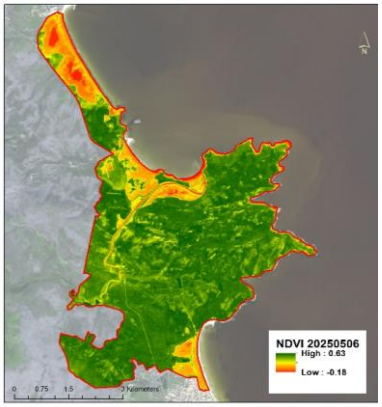
А) NDVI 2014



Б) NDVI 2021



В) NDVI 2023

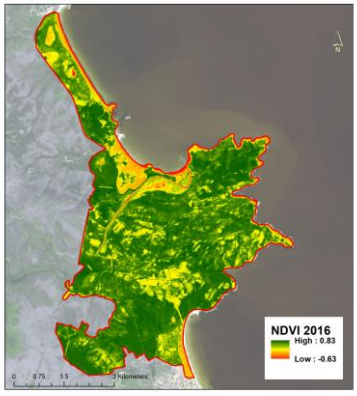


Г) NDVI 2025

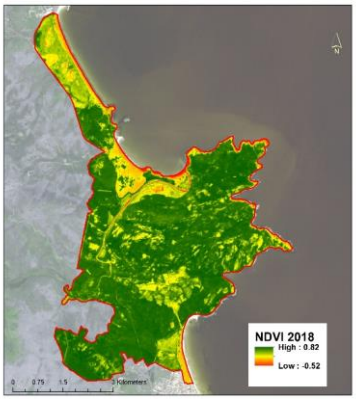
Фиг. 1. Междугодишен пролетен мониторинг на NDVI за периода 2013–2025 г.

Междугодишен есенен мониторинг на NDVI за периода 2013–2025 г.

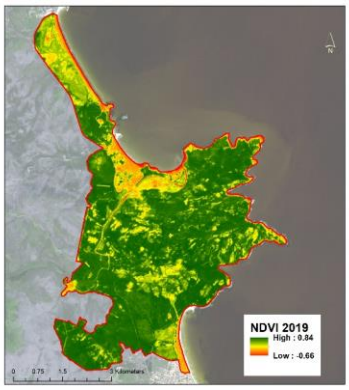
За есенния период 2016–2025 г. (фиг. 2) NDVI показва висока вегетационна активност през 2016–2019 г., с максимални стойности между 0,73 и 0,84, като най-висока стойност е отчетена през 2019 г. (0,84). След 2019 г. се наблюдава понижение на максималните стойности до 0,60 през 2022 г. и 0,56 през 2023 г., което показва по-слабо изразена вегетационна активност. През 2025 г. е регистрирано леко повишение до 0,58, но стойностите остават по-ниски спрямо периода 2016–2019 г. Като цяло резултатите очертават понижение на максималните NDVI стойности през по-късните години на изследвания есенен период.



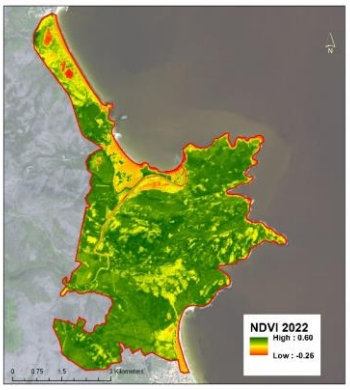
А) NDVI 2016



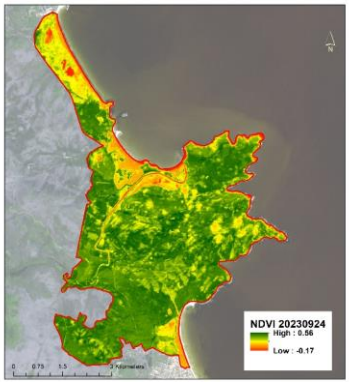
Б) NDVI 2018



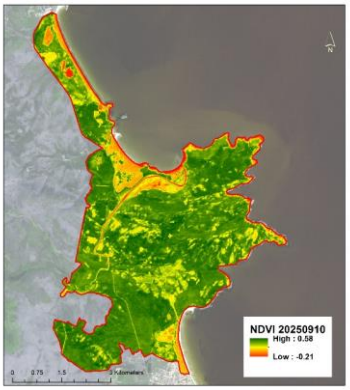
В) NDVI 2019



Г) NDVI 2022



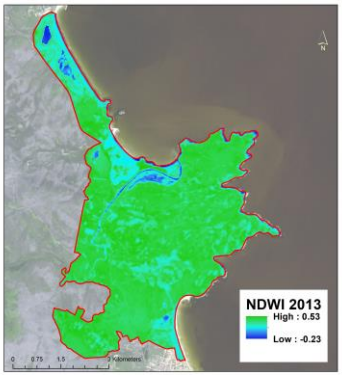
Д) NDVI 2023



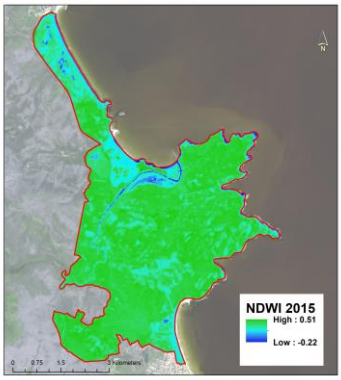
Е) NDVI 2025

Фиг. 2. Междугодишен есенен мониторинг на NDVI за периода 2013–2025 г.

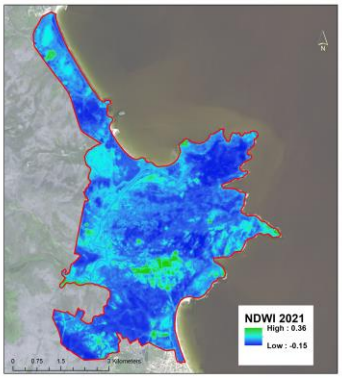
Междугодишен пролетен мониторинг на NDWI за периода 2013-2025 г.



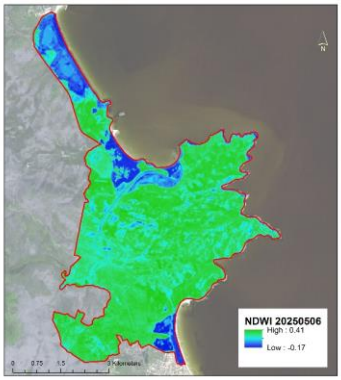
А) NDWI 2013



Б) NDWI 2015



В) NDWI 2021



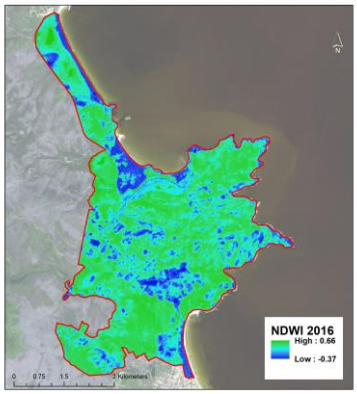
Г) NDWI 2025

Фиг. 3. Междугодишен пролетен мониторинг на NDWI за периода 2013–2025 г.

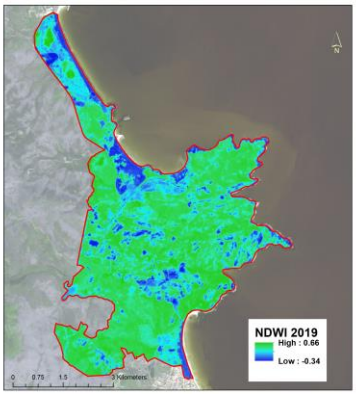
Анализът на NDWI за периода 2013–2025 г. (фиг. 3.) показва относително устойчиво пространствено разпределение на водните и влажните територии, при наличие на локални междугодишни изменения. Стойностите варират от –0,23 до 0,53 през 2013 г. и от –0,22 до 0,51 през 2015 г., като по-високите стойности са характерни основно за р. Ропотамо и прилежащите влажни участъци. През пролетния период 2021–2025 г. максималният NDWI нараства от 0,36 през 2021 г. до 0,42 през 2023 г. и 0,41 през 2025 г., като през последните две години водните и водонаситените площи са по-ясно изразени. Като цяло резултатите показват запазване на основната пространствена структура на водните и влажните територии при локално проявена междугодишна динамика.

Междугодишен есенен мониторинг на NDWI за периода 2013–2025 г.

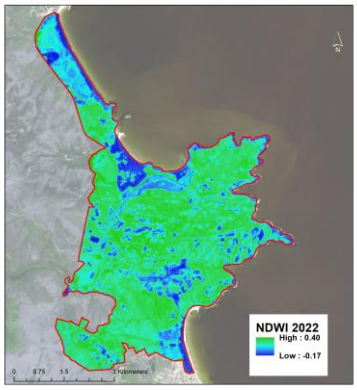
За есенния период 2016–2025 г. NDWI показва отчетлива междугодишна динамика (фиг. 4). Максималните стойности са 0,66 през 2016 и 2019 г., след което намаляват до 0,40 през 2022 г. и 0,35 през 2023 г., което показва по-слабо проявление на водните и водонаситените площи. През 2025 г. се наблюдава частично повишение до 0,39, но стойностите остават под нивата от 2016–2019 г. Независимо от тези изменения, речното корито на Ропотамо и основните влажни участъци запазват ясно изразено пространствено присъствие през целия разглеждан период.



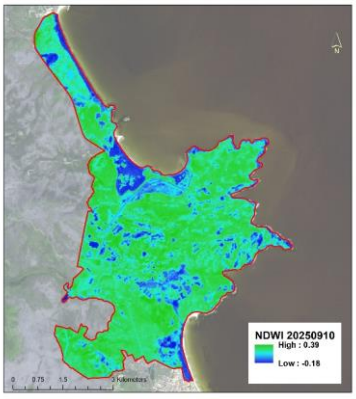
А) NDWI 2016



Б) NDWI 2019



В) NDWI 2022

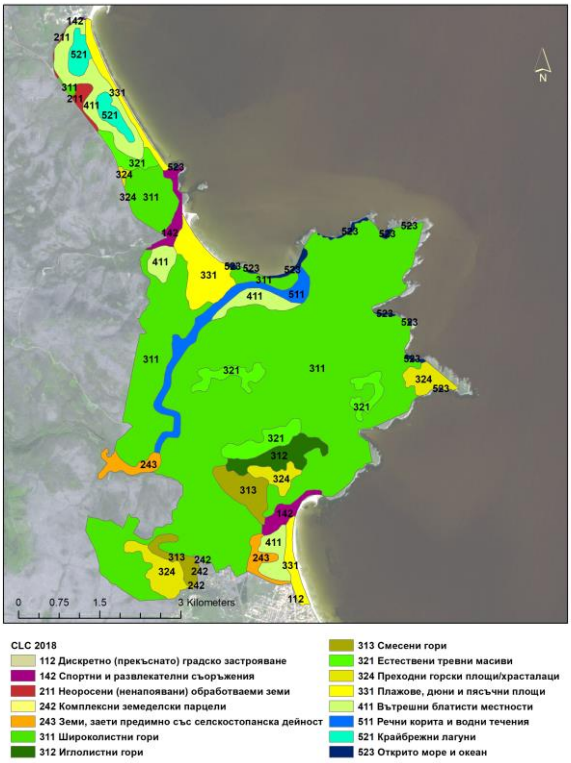


Г) NDWI 2025

Фиг. 4. Междугодишен есенен мониторинг на NDWI за периода 2013–2025 г.

Верификация на данните от спътниковите изображения

За независима пространствена верификация на резултатите от NDVI и NDWI е използван слой CORINE Land Cover (CLC) 2018 г. (фиг. 5) [9]. Извършено е пространствено съпоставяне между разпределението на спектралните индекси и основните класове земно покритие в границите на комплекс „Ропотамо“. При NDVI е оценено съответствието на високите стойности с горските и храстовите територии (CLC 311, 312, 313 и 324), докато при NDWI е проследено съответствието с речните корита и водните течения (511), вътрешните блатисти местности (411) и крайбрежните лагуни (521). Полученото пространствено съответствие между спектралните индекси и референтните класове на CLC се използва като индикативна верификация на резултатите от дистанционното наблюдение.



Фиг. 5. CLC 2018 [9]

Заключение

Съвместният анализ на NDVI и NDWI индексите за периода 2013–2025 г. показва сезонна и междугодишна динамика на растителната покривка и влажните зони в Комплекс „Ропотамо“, при относително запазване на основната им пространствена структура. NDVI отчита понижение на вегетационната активност през пролетта на 2023 г., последвано от възстановяване през 2025 г. Резултатите от NDWI показват по-високи стойности през пролетта на 2023 и 2025 г., докато през есенните периоди след 2019 г. се наблюдава тенденция към понижение, с леко повишение през 2025 г. Като цяло установените колебания в двата индекса отразяват динамичния характер на екосистемите и тяхната чувствителност към сезонните и междугодишните изменения, без да се очертава еднозначна дългосрочна тенденция.

Литература:

1. ПУ Резерват Ропотамо, МОСВ, България, 2018. https://www.moew.government.bg/static/media/ups/tiny/filebase/Nature/Protected_areas/Planove_za_upravlenie/Ropotamo_01_2018.pdf
2. EEA (European Environment Agency), 2021. *Natura 2000 and biodiversity protection in Europe*. https://www.eea.europa.eu
3. European Space Agency, 2020. *Sentinel-2 mission overview*. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2
4. Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... & Bargellini, P., 2012. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment, 120*, 25–36. https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026
5. Ivanova, I., Spasova, T., Stankova, N. Using Sentinel-2 data for efficient monitoring and modeling of wetland protected areas, 2023. Proc. SPIE 12786, Ninth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment 12786, ISSN:0277786X. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2681790, 127861U-1-127861U-8
6. Ivanova I., Stankova N., Borisova D., Spasova T., Dancheva A. Dynamics and development of Alepu marsh for the period 2013-2020 based on satellite data, 2021. Proc. SPIE 11863, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XII, 1186315, 11863, ISBN:9781510645707, ISSN:0277-786X. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2597726, 1186315-1-1186315-9
7. Jelev, G., M. Chanev. Using spectral indexes and spectral channels combination in different colour models for satellite imagery mapping. Ecological Engineering and Environment Protection, 2023, 3–4, 26–47.
8. Ceccato, P., S. Flasse, S. Tarantola, S. Jacquemond, J.M. Gregoire. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain. Remote Sensing of Environment, 2001, 77, 22–33.
9. CLC2018 https://doi.org/10.2909/960998c1-1870-4e82-8051-6485205ebbac