



ИЗВЕСТИЯ НА БЪЛГАРСКОТО ГЕОГРАФСКО ДРУЖЕСТВО JOURNAL OF THE BULGARIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY

web-site: www.geography.bg e-mail: journal.bgs@geography.bg



Наблюдение на динамиката на развитие на лонгозните гори по р. Камчия по дистанционен път

Remote sensing of dynamics of development of riverine forests along Kamchia river

Александър Янакиев

Софийски университет „Св. Климент Орхридски“, Геолого-географски факултет, катедра „Картография и ГИС“
1504 София, България, бул. Цар Освободител 15

Alexander Yanakiev

Sofia University “St. Kliment Ohridski”, Faculty of Geology and Geography, Department of Cartography and GIS,
1504 Sofia, Bulgaria, 15 Tsar Osvoboditel blvd.

ABSTRACT

Key words:

ESA, forestry, Sentinel-2, NDVI,
NDWI

Rapid development of remote sensing technologies, including the introduction of new sensors and platforms opened up a whole new field of their application such as monitoring of vulnerable habitats without direct contact, bearing potential harm of the ecosystems within them. The paper explores such opportunities and looks at the conditions of riverine forests along Kamchia river in 2019, using Sentinel-2a, b imagery.

Увод

През последните години дистанционните изследвания (ДИ) се превърнаха в един от основните методи за събиране, анализ и визуализация на пространствени данни за различни обекти разположени на земната повърхност без пряк досег с тях. Според Schowengerdt (2007), в наши дни дистанционните изследвания позволяват да се решават широк кръг от задачи, като например:

- Наблюдение и оценка на околната среда;
- Наблюдение на глобални процеси като обезлесяването и глобалното затопляне;
- Картографиране на различни територии и произтичащите от тях процеси и явления.

За изпълнение на всяка от горепосочените групи от задачи пред дистанционните изследвания са разработени множество системи за дистанционни изследвания, монтирани на платформи, опериращи както в рамките на ниските слоеве на земната атмосфера, така и на околоземна орбита и насочени към изследване на различни пространствени, спектрални и времеви характеристики на различни обекти на земната повърхност.

Сред тези системи са и многоканалните сензори, базирани на CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor) технологията летящи на околоземна орбита и регистриращи отразената електромагнитна радиация в видимата и близката инфрачервена части на електромагнитния спектър. CMOS сензорите обикновено разполагат с три фотодетектора (син, зелен и червен) за всеки пиксел. Тези сензори са базирани на естествените свойства на силикона да поглъща светлина

на определена дълбочина. По този начин, чрез разполагане на детекторите на различна дълбочина в CMOS сензора, синята, зелената и червената част от спектъра се регистрират поотделно (Lillesand et. al, 2008).

В изследването е представен подход за използване на информацията за земната повърхност и земното покритие, генерирана от гореспоменатите многоканални сензори за целите на изследване на динамиката на развитие на специфичен природен обект като лонгозните гори по долното течение на река Камчия.

Изследвана територия

Река Камчия се формира от сливането на реките Голяма и Луда Камчия при село Величково, община Дългопол. Устието на реката се намира в биогеографския район на Черноморското крайбрежие (Асенов, 2006). Там се намира и биосферният резерват Камчия, създаден през 1951 г. за опазване на намиращите се по устието лонгозни гори. Районът се характеризира с континентално-средиземноморски климат. Годишните валежи се характеризират с есенно-зимен максимум и летен минимум, като за изследвания период за устието на р. Камчия се наблюдава максимум на валежите през юли. За изследвания период, среднодневните температури са в диапазона 9-23 °C. Устието на реката се намира на 23 km от гр. Варна и на 71 km от Бургас и при все, че в него се намира курортен комплекс Камчия, липсват други антропогенни фактори, способни да окажат влияние върху лонгозните гори. В района преобладават ветровете от изток и югоизток.

Източници на данни и методи на изследване

Представител на този тип системи е и инструментът MSI (Multispectral Instrument), монтиран на спътниците Sentinel-2a и 2b на Европейската космическа агенция.

Инструментът разполага с висока пространствена разделителна способност (пиксел с размер между 10 и 60 м.), както и с висока времева разделителна способност, предвид факта, че е монтиран на две платформи, летящи над земната повърхност по срещуположни слънчево-синхронни орбити с приблизителна височина 768 km над земната повърхност и даващи възможност за получаване на нова информация за състоянието на изследваната територия веднъж на 5 дни. Друга важна особеност на MSI е високата му радиометрична разделителна способност. Сензорът осигурява данни в 12 канала, покриващи видимата, близката и средната част инфрачервена част на електромагнитния спектър. Високата времева разделителна способност на сензора увеличава шансовете в рамките на един метеорологичен период от 7 дни да се появи сцена, свободна от облаци, от която да се извлече годно за анализ изображение, което на свой ред облекчава наблюдението на изследваната територия.

Наличието на голям брой участъци от електромагнитния спектър, регистрирани от сензора, дава достатъчно изходни данни за генериране на различни индексни изображения, показващи информация за състоянието на земното покритие, включително на растителността в определен период от време. Поради тази причина изображенията, генерирани от Sentinel-2a и 2b са основен източник на настоящото изследване. Споменавайки източниците на настоящото изследване, следва да се има предвид, че обектът на настоящото изследване – лонгозните гори, е трудно разграничим само с помощта на преки класификационни признаци като тон, сянка и текстура от останалите гори по поречиата на реките. Поради тази причина многоканалните спътникови изображения не са достатъчен източник за идентификацията на лонгозните гори, с цел последващо проследяване на динамиката им на развитие.

С оглед преодоляването на това преизвикателство, като спомагателен източник за изследването са използвани цифров модел на релефа (Digital Elevation Model), както съответните картни листи на Цифровата ортофотокарта на Република България (ЦОФК), покриващи устието на р. Камчия, така и границите на резерват „Камчия“, създаден за опазване на лонгозните гори по долното течение на реката.

Идентификацията на лонгозните гори с помощта на преки класификационни признаци, както и различаването им от останалите гори, намиращи се на изследваната територия, не е възможно, тъй като признаци като текстура и сянка при тях не се отличават от тези при други горски масиви. Предвид несвършенствата на методите за автоматична класификация на обекти, използвани от различни софтуерни пакети за обработка на пространствени данни като Rasurs Photomod и ENVI, както и от географските информационни системи, идентификацията на лонгозните гори на изследваната територия чрез методи за автоматична класификация, като например метода на максималното сходство (maximum likelihood) или равната отдалеченост (equal distance) също не е възможно. Поради тази причина, на подготвителния етап от настоящото изследване, с помощта на описаните по-горе ЦОФК и DEM, явяващи се част от нея, беше извършено визуално разпознаване на заливните тераси по долното течение на река Камчия.

При разпознаването е използван подходът за едновременно отбелязване на идентифицираните гори в отделен клас, с оглед последващото им изследване.

За целите на най-пълното проследяване на динамиката на развитие на лонгозните гори по поречието на Камчия, идентифицираните на предходния етап територии с лонгозни гори са наблюдавани през 3 месеца. Такъв подход дава възможност да се покаже състоянието на горите както в периода на есенно-зимното пълноводие, така и периода на лятното маловодие.

За целите на проследяване на изменението на състоянието на изследваните лонгозни гори се използва радиометричният индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), описан от Rouse (1973). Значенията на индекса се изчислява по формулата:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

където NIR са значенията на спектралната яркост в близката инфрачервена, а Red в червената области на спектъра. Базиран е на разликите в поглъщателната способност на хлорофила, съдържащ се във висшите растения в червената и инфрачервената области на електромагнитния спектър. Изменя се в диапазона от -1 до +1, като за растителността са характерни положителните стойности. Стойностите за почвена покривка са близки до 0. Стойностите между 0 и -1 са характерни за водни обекти. Индексът е подходящ за проследяване на сезонната динамика на развитие на растенията тъй като отразява промяната на нивата на хлорофил, и дава възможност да се проследи състоянието на процеса на фотосинтеза, характерен за здравите растения.

За целите на генериране на индекса са избрани 4 изображения, по едно за месеците януари, април, август и декември 2019 г. Целта на такова разпределение е да се провери състоянието на лонгозните гори в периодите на пълноводие и маловодие на р. Камчия.

Като част от изследването за месеците август и декември е проследено и свързването на вода в листната маса на лонгозните гори. Проследяването е извършено посредством индекса NDWI (Normalized Differential Water Index). Индексът показва количеството на водни молекули в листната маса на здравите растения и се базира на два участъка от инфрачервения спектър (с центрове съответно 860 и 1240 nm), в които водните молекули имат приблизително еднаква отражателна способност (Gao 1996).

Стойностите на индекса се изчисляват по формулата:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (2)$$

където NIR е спектралната яркост в инфрачервена част на спектъра с център 860 nm, а SWIR спектралната яркост в частта на спектъра с център 1240 nm. Важно е да се отбележи, че индексът не замества NDVI, а по-скоро представлява негово допълнение, даващо по-пълна информация за състоянието на изследваните обекти.

За целите на изследването индексните изображения са генерирани с приложението SNAP на Европейската космическа агенция. Приложението е предпочетено пред стандартните растерни калкулатори на ГИС пакети като QGIS и ArcGIS, тъй като съдържа подготвени модули за тематична обработка, позволяващи генериране на индексни изображения, както и облекчени функционалности за последваща обработка на изображенията посредством нормализация или изравняване на хистограмите на изображението, с цел по-добро

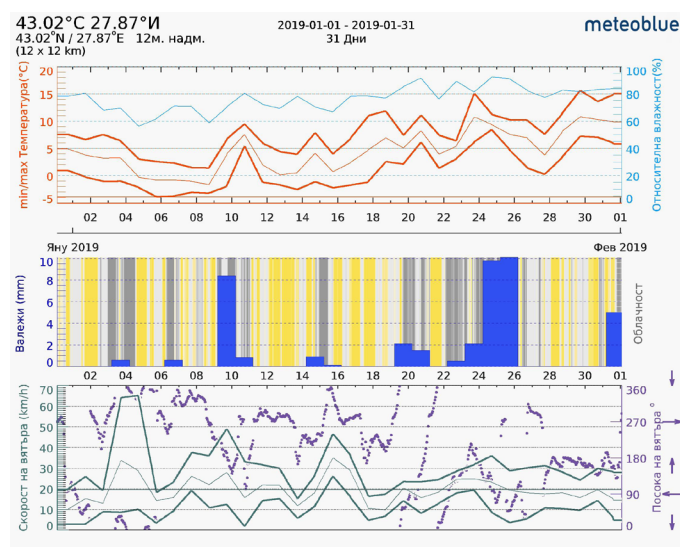
подчертаване на изследваните гори.

На базата на всички генерирани индексни изображения са съставени тематични карти, като за целите на последващата им интерпретация е осигурена и климатична информация от www.meteoblue.com. Информацията, предоставяна от портала, се базира на комбинация от няколко растрерни метеорологични модела като NEMS и ECMWF, комбиниращи данни, както от спътникови източници и наземни и/или симулирани с висока степен на вероятност данни от наземни измервания, даващи детайлно описание на климата на дадена територия.

Резултати

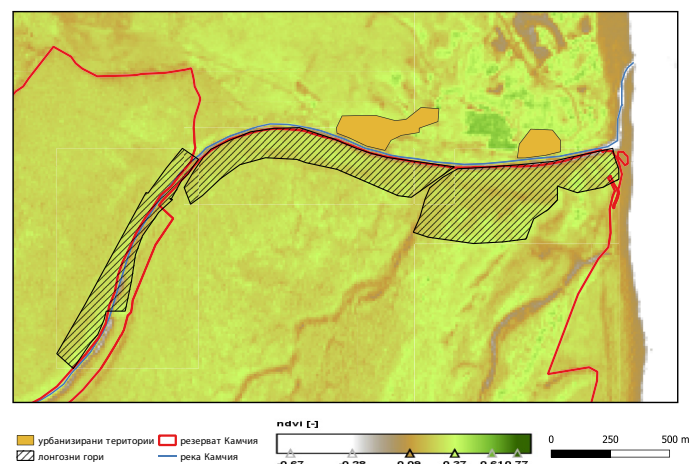
Януари 2019 г.

Месецът се характеризира с температури от -5 до 15 градуса и валежи до 10 мм. на кв. м. през втората си половина, което предполага забавяне на процеса на фотосинтеза и намаляване на количеството на хлорофила в здравите растения.



Фигура 1. Метеорологични данни за устието на р. Камчия през януари 2019 г. Източник: www.meteoblue.com

Figure 1. Meteorological data for the Kamchia Estuary in January 2019. Source: www.meteoblue.com



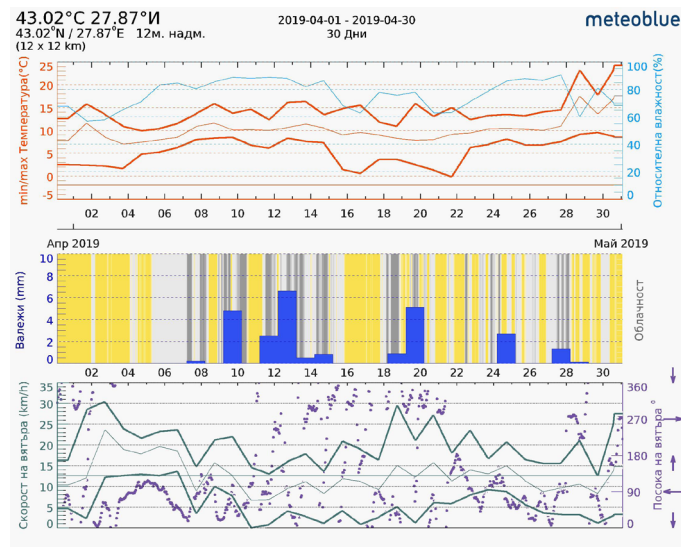
Фигура 2. Състояние на лонгозните гори в р-м Камчия през януари 2019 г.
Figure 2. Condition of riverine forests of Kamchia Reserve in January 2019

Стойностите на индекса NDVI за лонгозните гори са в диапазона 0.08-0.3, което отразява забавянето на процеса на фотосинтеза в лонгозните гори. На изображенията се наблюдават еднородни тон и текстура и липса на съществени колебания в стойностите на NDVI за горите.

Април 2019 г.

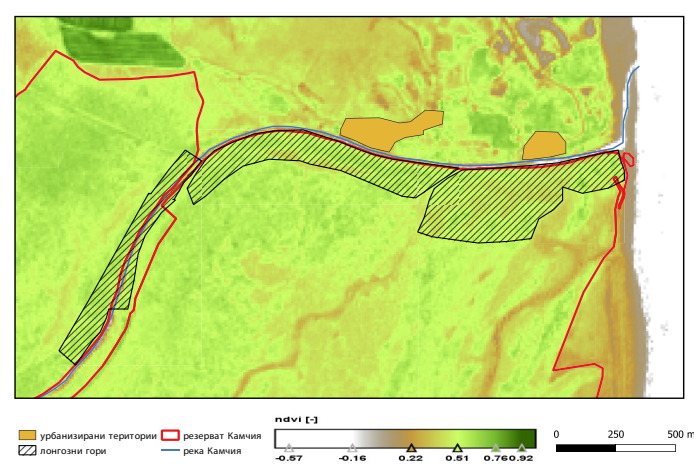
През месеца се наблюдава повишаване на температурите и намаляване на дните с валежи, което води до ускоряване на процеса на фотосинтеза при здравите растения и увеличаване на количеството хлорофил, както и на листната маса.

Стойностите на индекса NDVI за месеца са в диапазона 0.2-0.5, което говори за увеличаване на листната маса и ускоряване на процеса на фотосинтеза. Не се наблюдават колебания в тоновете и текстурата на изображението, което предполага липса на участъци в лонгозните гори с аномалии в развитието.



Фигура 3. Метеорологични данни за устието на р. Камчия през април 2019 г. Източник: www.meteoblue.com

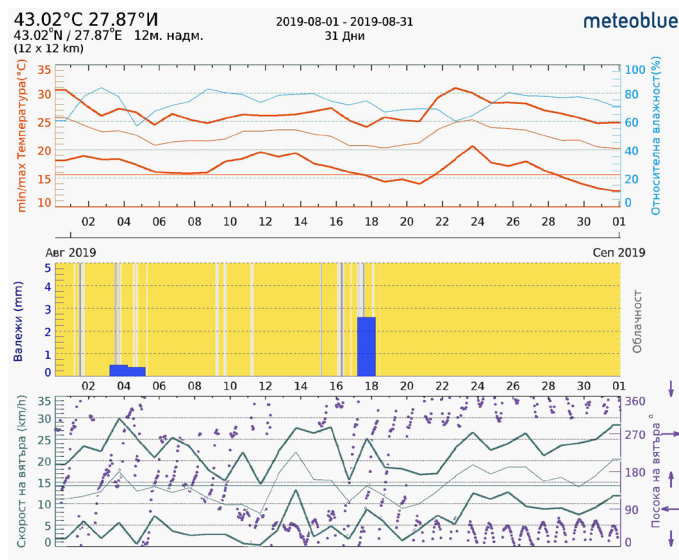
Figure 3. Meteorological data for the Kamchia Estuary in April 2019. Source: www.meteoblue.com



Фигура 4. Състояние на лонгозните гори в р-м Камчия през април 2019 г.
Figure 4. Condition of riverine forests of Kamchia Reserve in April 2019

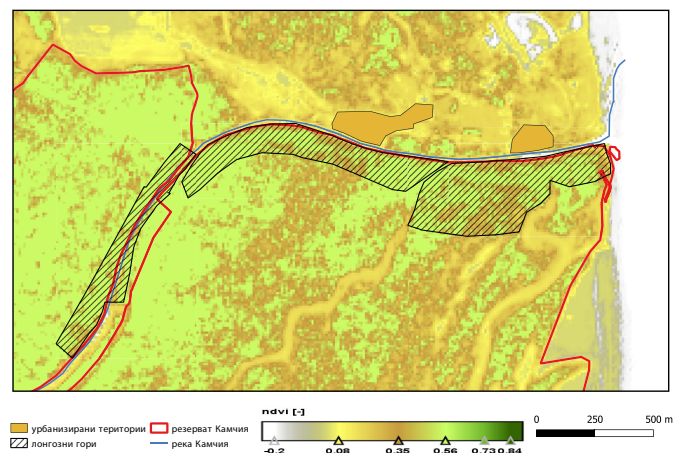
Август 2019 г.

През месеца се наблюдава увеличаване на температурата и дните със слънчево греење, което предполага ускоряване на процеса на фотосинтеза. През месеца обаче се наблюдават незначителни валежи и поради тази причина, като част от изследването е проверено и количеството на свободна вода в лонгозните гори посредством индекса NDWI описан по-горе.



Фигура 5. Метеорологични данни за устието на р. Камчия през август 2019 г. Източник: www.meteoblue.com

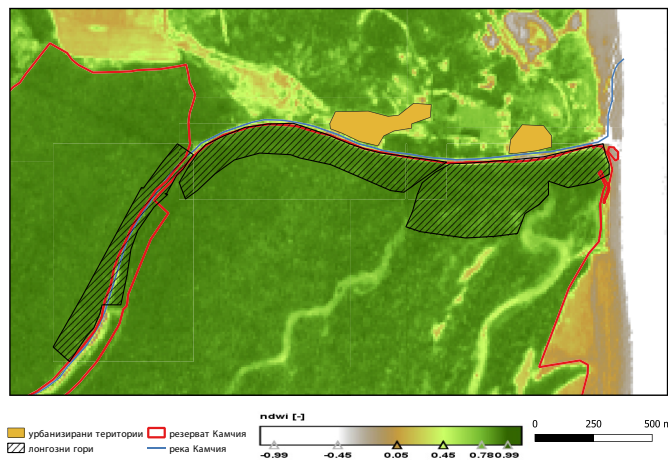
Figure 5. Meteorological data for the Kamchia Estuary in August 2019.
Source: www.meteoblue.com



Фигура 6. Състояние на лонгозните гори в р-т Камчия през август 2019 г.
Figure 6. Condition of riverine forests of Kamchia Reserve in August 2019

През месеца стойностите на NDVI са в диапазона 0.3-0.6. В част от горите, на индексното изображение започват да се наблюдават разлики в тоновете, което предполага наличие на локални участъци с намалена листна маса и по-слабо протичане на процеса на фотосинтеза там. Причините за това могат да се дължат както на недостатъчното количество вода в отделни участъци, водещо в съчетание с високата температура до изсъхване на листната маса и генериране на по-малко хлорофил, в резултат на забавения процес на фотосинтеза в тези участъци, така и на външни

фактори, включително на пряко или непряко антропогенно въздействие върху горите. За установяването на конкретната причина за разликата в тоновете са необходими данни с висока разделителна способност, каквито биха могли да се генерират например, чрез заснемане с безпилотна летателна система.

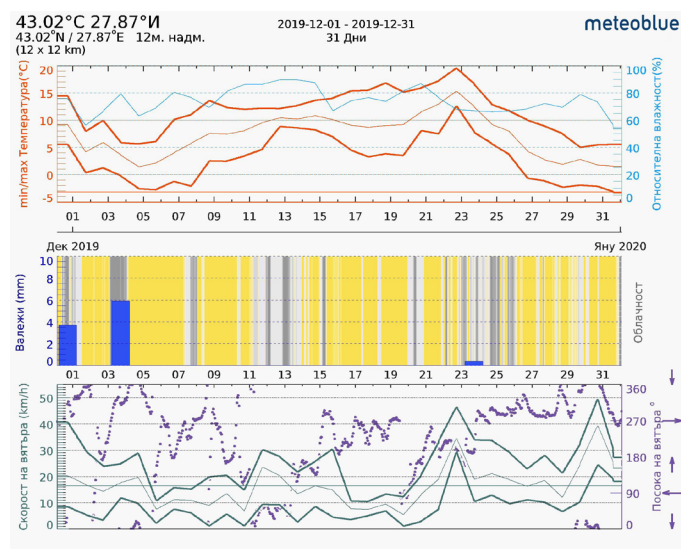


Фигура 7. Наличие на свободна вода в лонгозните гори в р-т Камчия през август 2019 г.

Figure 7. Availability of free water in riverine forests of Kamchia Reserve in August 2019

Както е видно от фигурата по-горе, за месеца е характерно голямо количество свободна вода (стойностите на NDWI са в диапазона 0.8-0.9), което означава, че причината за разликите в тоновете на NDVI изображението следва да се търси на друго място и са необходими допълнителни изследвания.

Декември 2019 г.

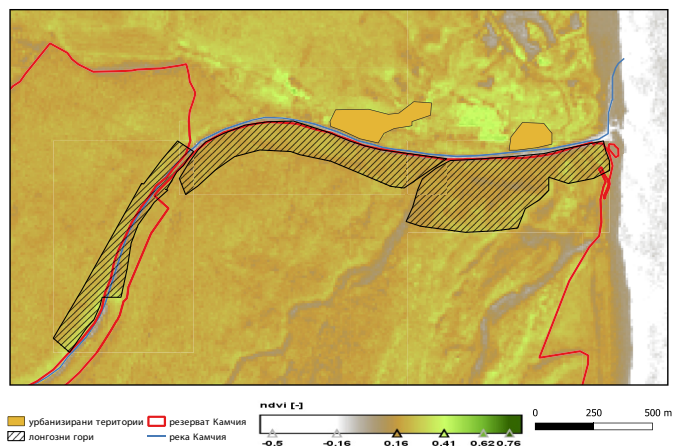


Фигура 8. Метеорологични данни за устието на р. Камчия през декември 2019 г. Източник: www.meteoblue.com

Figure 8. Meteorological data for the Kamchia Estuary in December 2019.
Source: www.meteoblue.com

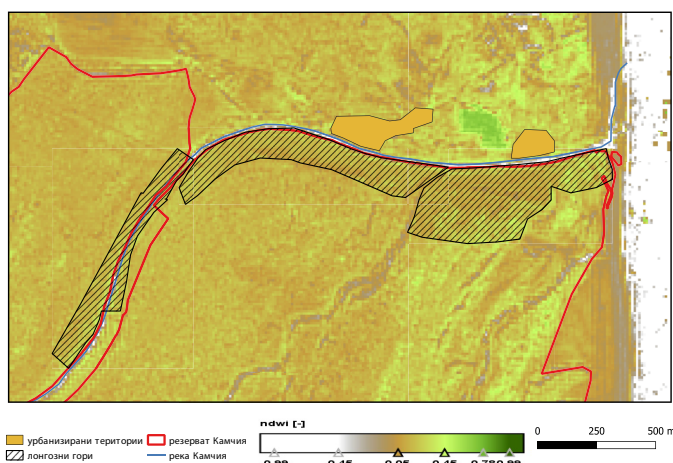
Както се вижда на фигура 8, през месеца все още температурите са достатъчно високи, макар и в началото и в края на месеца да се наблюдават дни с температури под нулата. Остава сравнително висок броят на дните

сът слънчево грее. Поради тази причина може да се очаква постепенно забавяне на процеса на фотосинтеза и намаляване на количествата хлорофил в листната маса, които на свой ред да доведат до намаляване на зелената листна маса и от там на стойностите на NDVI. Тъй като през месеца се наблюдават незначителни валежи е проверено и количеството свободна вода посредством индекса NDWI.



Фигура 9. Състояние на лонгозните гори в р-т Камчия през декември 2019 г.
Figure 9. Condition of riverine forests of Kamchia Reserve in December 2019

Стойностите на индекса NDVI за месеца са в диапазона 0.1-0.41, което потвърждава хипотезата за постепенното намаляване на процеса на фотосинтеза. Прави впечатление, че на индексното изображение се наблюдават сравнително еднородни тонове и текстура на лонгозните гори и констатираните през август разлики не са налице.



Фигура 10. Наличие на свободна вода в лонгозните гори в р-т Камчия през декември 2019 г.
Figure 10. Availability of free water in riverine forests of Kamchia Reserve in December 2019

Както е видно от фигурата, количеството свободна вода в лонгозните гори намалява значително през месец декември. Стойностите на индекса NDWI са в диапазона 0.05-0.2. Въпреки това, както беше споменато и по-горе, разлики в тоновете и текстурата на индексните изображения не се наблюдават.

Дискусия

В изследването беше разгледано развитието на лонгозните гори в резерват Камчия, за да се покаже възможен подход за дистанционни изследвания на крайречни гори в защитени територии. Като цяло не се откриват значителни колебания на радиометричните индекси, което дава основание да се предположи, че горите в резервата следват нормална динамика на развитие през 2019 г. и са в добро общо състояние. Наблюдаваните през месец август 2019 г. разлики в тоновете на индексното изображение се откриват в горите на южния бряг на река Камчия в близост до курортен комплекс „Камчия“ и урбанизираните територии близо до устието на реката. Такива разлики в тоновете предполагат участъци с намаляване на зелената листна маса и биха могли да се дължат както на високи температури през месеца (надхвърлящи в определени дни 30 градуса), така и на антропогенно въздействие от близките урбанизираните територии, предвид факта, че през август броят на жителите им е значително повишен във връзка с летните отпуски. Предвид факта, че разликата в тоновете изчезва изцяло в края на 2019 г., хипотезата за антропогенно въздействие върху горите би могла да се приеме, но за обстойната и проверка са необходими допълнителни изследвания, като например заснемане с безпилотна система, разполагаща със сензор с Red Edge канал, с оглед проверка на нивото на важни за процеса на фотосинтеза елементи като азота. Като цяло, на база на данните може да се направи заключение, че лонгозните гори в резервата са в добро общо състояние.

Следва да се отбележи, че наличните за целите на изследването спътникови данни не позволяват изследването на конкретни горски масиви в големи детайли поради недостатъчно високата си пространствена разделителна способност и липсата на данни във важни участъци от спектъра, като например Red edge ($\lambda = 715 \text{ nm}$), информация за които към настоящия момент може да се получи само при заснемане с безпилотна система. Наличието на данни с висока пространствена разделителна способност ($\text{GSD} < 1 \text{ m.}$) в RGB и NIR диапазоните на спектъра дава възможност и за изследване на вариациите на стойностите на радиометричните индекси в рамките на конкретен горски масив, както и за проверка дали отделни части от масива не са нападнати от паразити (Dimitrov et. al, 2019) и може даде отговор на въпроса на какво се дължат разлики в тоновете и текстурата както на индексни, така и на RGB изображения, без да са необходими теренни проверки, които биха могли да застрашат екосистемите в защитени територии като резервата Камчия.

Изводи и заключение

Радиометричните индексни изображения, генерирани от многоканални сензори за дистанционни изследвания (летищи на ниска околоземна орбита или в близост до земната повърхност) представляват мощен инструмент за изследване и проследяване на динамиката на развитие на различни природни обекти. Подобен подход не изисква пряк контакт с изследваните обекти и продължително присъствие на изследователя на терен, което дава възможност чрез него да бъдат изследвани процеси в защитени територии с висока консервационна значимост, каквито представляват националните и природните паркове и разположените в

техните рамки поддържани резервати, както и другите защитени територии определени с директивите за мрежата Натура 2000 и националните нормативни актове в тази област.

В зависимост от поставените задачи, генерираните от данни получени по дистанционен път индексни изображения позволяват да се изследват различни аспекти на състоянието на наблюдаваните обекти. За целта е необходимо да се подбере подходящата комбинация от индексни изображения, която да отчита особеностите на изследваната територия и отрязка от време, в който ще се изследва тя. Индексните изображения, генерирани от данни получени по дистанционен път, позволяват да се наблюдава както моментното състояние, така и динамиката на развитие в определен период от време.

Важно е да се отбележи, че правилната интерпретация на индексните изображения изисква наличие на климатични данни за периода на изследване, тъй като отражателната способност на различните елементи на изследваните обекти в различните участъци на електромагнитния спектър, както и признаците за разпознаване и проследяване на изследваните обекти, са в пряка зависимост от климатичните условия.

Наличието на голям избор от сензори за дистанционни изследвания с различна пространствена и времева разделителна способност (от 5 дни за спътникови групировки, до няколко часа за безпилотните летателни системи) дава възможност за генериране на индексни изображения с различна степен на детайлност, в зависимост от поставените задачи.

В заключение следва да се отбележи, че основен инструмент за анализ и интерпретация на данните, получени по дистанционен път си остават географските информационни системи (ГИС), като е възможна както паралелната обработка на данните от дистанционните изследвания и допълнителните ГИС данни и генериране на индексни изображения с помощта на създадени за целта приложения (подхода на настоящото изследване), така и едновременна обработка на данните от ГИС и дистанционни изследвания и генериране на индексни изображения с помощта на функционалностите за растерна алгебра на избрания ГИС софтуер.

Литература:

- Асенов, А. 2006. Биогеография на България, Ан-Ди
Иванов, И. 2014. Годишник на Софийския Университет “Св. Климент Охридски”, Геолого-Географски Факултет, Книга 2 – География, том 106
Книжников, Ю.Ф., Крайцова, В.И., Тутубалина, О.В. 2004. Аэрокосмические методы географических исследований, АКАДЕМИА, Москва
Христова, Н. 2012. Речни води на България, Тун-мон прес
Dimitrov, S., Georgiev, G., Mirchev, P., Georgieva, M., Iliev, M., Doychev, D., Bencheva, S., Zaemdzikova, G., Zaphirov, N. 2019. Integrated model of application of remote sensing and field investigations for sanitary status assessment of forest stands in two reserves in West Balkan Range, Bulgaria, Proc. SPIE 11174, Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019), 1117404 (27 June 2019)
Gao. 1996. NDWI – A Normalized Differential Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space, Remote Sensing of Environment, 55, 257-266
Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J. 2008. Remote Sensing and Image Interpretation, sixth edition, Wiley India
Rouse, J.W., Jr., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. 1973. Monitoring the vernal advancement green wave effect) and retrogradation (of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, 93p, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730017588.pdf> (последно достъпен на 29.12.2019 г.)
Schowengerdt, R. 2007. Remote sensing, models and methods for image interpretation Cambridge University Press

Източници на данни:

- <https://scihub.copernicus.eu/> - (последно достъпен 01.11.2020 г.)
Регистър на защитените зони в Р. България <http://eea.government.bg/zpo/bg/> (последно достъпен на 21.12.2020 г.)
Цифрова ортофотокарта на Република България – служебен архив на автора