

АНДРЕЙ СТОЯНОВ СТОЯНОВ

**Приложение на мултидисциплинарен подход за
мониторинг и пространствено-времеви анализ на
горска растителност и наводнени територии на база
Дистанционни изследвания**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд

за присъждане на образователна и научна степен

„ДОКТОР“

Научна специалност

„Дистанционни изследвания на Земята и планетите“

Научен ръководител:

Проф. д-р Румен Недков (Доц. д-р Деян Гочев)

София 2022

Съдържание

Списък на използваните съкращения.....	5
ВЪВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1	9
Съвременно състояние на проблема. Предмет, цели и задачи на изследването	9
1.1. Актуалност на проблемите свързани с дисертационния труд.....	9
1.2. Предмет, цели и задачи на изследването:.....	10
1.2.1. <i>Предмет</i> на изследването	10
1.3. Литературен обзор на използваните методи и данни от ДИ	11
1.3.1. Същност и използване на оптични данни от Sentinel - 2.....	11
1.3.2. Същност и използване на SAR данни от Sentinel - 1	11
1.3.3. Същност и използване на Ортогонална Трансформация (ТСТ).....	12
1.3.4. RVI – Вегетационен индекс на база съотношение	14
ГЛАВА 2	15
Местоположение и описание на обектите на изследване. Спектрално-отражателни характеристики	15
2.1. Физико-географски характеристики на ПП „Сините Камъни“	15
2.1.1. Кратка характеристика на горската растителност на територията на ПП „Сините Камъни“	16
2.2. Спектрално отражателни характеристики на растителността.....	16
2.3. Кратка обща характеристика на втория избран обект за изследване	18
2.4. Спектрално отражателни характеристики на водата.....	19
ГЛАВА 3	21
Методика за мониторинг и пространствено-времеви анализ на динамиката на горска растителност и наводнени територии. Избор на данни. Вегетационни индекси. ТСТ.....	21

3.1. Структура на приложената методика за мониторинг и пространствено-времени анализ на динамиката на горската растителност.....	21
3.1.1. Избор на данни. Вегетационни индекси. ТСТ.....	24
3.2. Методика за мониторинг и пространствено-времени анализ на наводнените площи по поречието на р. Тимок, община Брегово. Избор на данни. Водни индекси.	26
3.2.1. Избор на спътникови данни.....	27
3.2.2. Използвани методи за обработка на сателитни изображения. Индекси и индикатори.....	27
ГЛАВА 4.....	28
Анализ на получените резултати	28
4.1. Резултати за състоянието на горската растителност	28
4.2. Получени резултати за териториите засегнати от наводнението на р. Тимок	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
Приноси на дисертационния труд.....	45
Публикации на автора свързани с дисертационния труд	46
ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА	47

Настоящото изследване е извършено в рамките на задочна докторантура в секция „Аерокосмическа информация“ към Института за космически изследвания и технологии при Българската академия на науките (ИКИТ-БАН). Дисертационният труд е обсъден на заседание на еднократно разширен Научен семинар на секция „Аерокосмическа информация“ ” при ИКИТ-БАН, проведено на 11.04.2022г., и е разкрита процедура за публична защита с решение на Научния съвет на ИКИТ-БАН пред Научно жури в състав:

Вътрешни членове:

1. Проф. д-н Гаро Мардиросян – ИКИТ-БАН
2. Доц. д-р Деян Гочев – ИКИТ-БАН
3. Проф. д-р Лъчезар Филчев – ИКИТ-БАН (резервен)

Външни членове:

1. Проф. д-сн Никола Колев - Русенски университет "Ангел Кънчев"
2. Проф. д-р Бойко Рангелов - Минно.геоложки университет "Св. Ив. Рилски"
3. Доц. д-р Ралица Берберова - Нов български университет
4. Доц. д-р Георги Железов - Национален институт по геофизика, геодезия и география при БАН (резервен)

Номерацията на фигурите, таблиците, формулите и цитираната литература в рамките на автореферата отговаря на тази в пълния дисертационен труд.

Благодарности

Бих искал специално да благодаря за подкрепата, помощта и споделения опит на моя научен ръководител проф. д-р Румен Недков - Вечна му памет! – оказани в хода на разработване на настоящия дисертационен труд, както и на доц. д-р Деян Гочев, и на всички колеги от Институт за Космически Изследвания и Технологии, и колегите от секция „Аерокосмическа Информация“, за оказаната помощ и предложените препоръки и насоки за написването на този труд.

Списък на използваните съкращения

БИЧ – близък инфрачервен

ГИС – Географски информационни системи

ВИ – Вегетационни индекси

ДИ – Дистанционни изследвания

ЕКА – Европейска Космическа Агенция

ЕМС – Електро-магнитен спектър

ЕМЕ – Електро-магнитна енергия

ЕМР – Електро-магнитна радиация

ИЧ – инфрачервен

КВИЧ – късовълнов инфрачервен

ОТ – Ортогонална Трансформация

ПП – Природен парк

ПРС – пространствена разделителна способност

СОХ – Спектрално-отражателни характеристики

ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

AVHRR – Advanced Very-High-Resolution Radiometer

CNES – Centre national d'études spatiales (Френска космическа агенция)

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Германска космическа агенция)

Envisat – Enviromental Satellites

EOS – Earth Observation System – Системи за наблюдение на Земята

ERS – European Remote Sensing Satellite

ERTS – Earth Resources Technology Satellite

EVI – Enhanced Vegetation Index

HH – хоризонтална поляризация

HV – хоризонтално-вертикална поляризация

IKONOS – гр. *Eikōn* – „снимка“ – Сателити за дистанционно наблюдение на Земята разработени от Lockheed Martin Space Systems

LANDSAT – Land Satellite,

LIDAR – Light Detection and Ranging

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MSI – Multispectral Instrument

MSS – Multispectral Scanner

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NDGI – Normalized Difference Greenness Index

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

NDWI – Normalized Difference Water Index

NIR – Near infrared

OLI TIRS – Operational Land Imager Thermal Infrared Scanner

RVI – Ratio Vegetation Index

SAR – Synthetic Aperture Radar

SPOT – Satellite Pour l’Observation de la Terre

Radarsat – Radar Satellite

TOPSAR – Terrain Observation with Progressive Scans SAR

TCT – Tasseled Cap Transformation

TVI – Transformed Vegetation Index

VH – вертикално-хоризонтална поляризация

VV – вертикална поляризация

ВЪВЕДЕНИЕ

Мониторингът на горската растителност и проследяването на състоянието на горите е от първостепенно значение за ефективността на горското планиране, управлението и съхранението на горските ресурси и поддържането на горски екосистеми в подкрепа на социални, икономически и екологични цели, пряко свързани с горското стопанство в рамките на даден регион или страна [3].

Данните, които се използват от дистанционните изследвания (ДИ) допринасят за обогатяването на информацията и знанието за разпределението и границите на горската растителност [4, 5, 6]. Постоянно нарастващата пространствена спектрална и радиометрична разделителна способност на сателитните сензори и обработката на получените данни са от особено значение в някои области, свързани с опазване на околната среда като горското стопанство, управление на водите и др. [7, 8].

Данните от ДИ, възможността лесно да бъдат интегрирани в Географски информационни системи (ГИС) и анализирани заедно с информация от други източници позволява съставянето на ефективни приложения в горското стопанство, земеделието, управлението на води, хидрологията, хидрографията и др. [10].

Съвременните тенденции в мониторинга на околната среда, базирани на аерокосмически данни изискват използването и комбинацията на изображения и/или информация от различни диапазони на електромагнитния спектър нужни при решаването на различни проблеми и задачи, от обхвата на редица науки за Земята [10].

ГЛАВА 1

Съвременно състояние на проблема. Предмет, цели и задачи на изследването

1.1. Актуалност на проблемите свързани с дисертационния труд

Горските и водни ресурси са подложени на различни по обхват и произход антропогенни, биотични и природо-климатични въздействия, оказващи пряко влияние върху тяхното естествено състояние. Борбата с негативните въздействия върху горските и водни ресурси, тяхното устойчиво управление и защита изисква голям обем от информация на различни нива [12, 13]. Използването на данни от ДИ при оценяването на горски и водни ресурси предоставя три нива на информация:

- за определяне на пространствения обхват и динамика на горска покривка и водна повърхност;
- за типа от горски съобщества, и вида от водни повърхности;
- за техните биофизични и биохимични характеристики.

Генерирането на информация за горите и водите, събирана с течение на времето и развитието на инструментите за ДИ, и технологиите като цяло, позволява извършването на цялостен мониторинг на горските и водни ресурси [14].

Динамичните промени в наводнените площи и рязкото намаляване на площите с мокър сняг в континенталните части и увеличаване на площите с мокър сняг в полюсните шапки не са тенденция само на локално или регионално ниво, а обхващат големи по територия площи в световен мащаб [15, 16, 17]. Това налага научните изследвания да се насочат към все по-иновативни методи за решаване на редица проблеми, свързани с мониторинга на водите като цяло, тъй като те са фактор, който влияе на всички елементи на климата и на останалите компоненти на природната среда като растителност и почви. Възниква все по-голяма нужда от разработване и внедряване на нови подходи и методи за получаване на мултиспектрални данни с малка времева разделителна способност [18], които да дават възможност за изследване динамиката на горската вегетация и наводнени площи.

1.2. Предмет, цели и задачи на изследването:

1.2.1. Предмет на изследването

Предмет на настоящето изследване е на базата на приложената методика за избор и обработка на данни да се направи мониторинг, количествена оценка и анализ на моментното състояние и динамика на два избрани компонента от земната повърхност: *растителност* (горската растителност от ПП „Сините Камъни“) и *вода* (наводнението при с. Брегово от 11.03.20) за определени времеви периоди.

1.2.2. Цели и задачи на дисертационния труд

Главната **цел** на дисертационния труд е да се приложи предложената, разработена методика за получаване на по-прецизни резултати, за оценка състоянието на избраните обекти на изследване, чрез използване предимствата на различни типове данни от ДИ, от различни спектрални диапазони, и ТСТ на сегментирани сателитни данни.

Друга **цел** на настоящия труд е да се използват предимствата на ТСТ и съответно да се интегрират и използват по по-достъпен начин за нуждите на интерпретацията и анализа на сателитни изображения.

Основните **задачи** за осъществяването на тази цел са:

- Избор на обекти и тестови участъци за изследване;
- Подбор/селектиране на спътникови изображения с различни пространствени, спектрални, радиометрични и времеви характеристики, съдържащи информация за избраните обследвани територии;
- Прилагане на различни подходи и методи за обработка на избраните данни от ДИ;
- Интерпретация и сравнителен анализ на получените резултати;
- Верификация на получените резултати от приложената методика за изследване на посочените типове обекти от земната повърхност.

1.3. Литературен обзор на използваните методи и данни от ДИ

1.3.1. Същност и използване на оптични данни от Sentinel - 2

Sentinel-2А стартира на 23 юни 2015 г., а Sentinel-2В – на 7 март 2017 г. [24]. Sentinel-2 притежава иновативен широкоспектърен и мултиспектрален сензор с висока разделителна способност включващ 13 спектрални канала. Комбинацията от висока разделителна способност, нови спектрални възможности, широчина на откоса от 290 km и намалена времева разделителна способност дават един широкообхватен „поглед“ към Земята. Мисията основно предоставя информация свързана с управлението на земеделски и горски територии и за подпомагане на управлението на продоволствената сигурност [24]. Сателитните изображения могат да се използват за определяне на различни индекси за растителността, като например индекси на хлорофила, съдържанието на влага в листата и др. [25, 26, 27].

1.3.2. Същност и използване на SAR данни от Sentinel - 1

Sentinel-1А стартира на 3 април 2014 г., а Sentinel-1В – на 25 април 2016 г. [36]. Sentinel-1 носи на борда си 12-метров радар със синтезирана апертура (SAR), работещ в С-диапозона ($\lambda=5,54$ cm или $f=5,4$ GHz) от EMC. Мисията Sentinel-1 облагодетелства множество видове услуги. Основните от тях, се отнасят за мониторинг на земната повърхност, картографиране за управление на горите, водите и почвите, мониторинг на арктическия лед, рутинно картографиране на морския лед, наблюдение на морската среда, включително мониторинг на разливи на петрол, за морска сигурност (откриването на кораби), картографиране в подкрепа на хуманитарната помощ при кризисни ситуации [24, 37, 38, 39].

SAR на Sentinel-1 работи общо в четири различни режима на заснемане: *интерферометричен широколентов* (IW), с много голяма ширина на лентата на сканиране (EW), *„вълнов режим“* (WV) и *лентов* (SM). Тези режими могат да се управляват в няколко схеми на поляризация. При поляризация VV или HH, изпратеният от антената сигнал към Земята, и регистрирането на върнатия обратно към антената сигнал, се извършва в една и съща поляризация (единична), съответно вертикална за VV, и хоризонтална за HH. При поляризация VH или HV (т.нар. кръстосана), изпратеният от антената сигнал към Земята, е съответно във вертикална или

хоризонтална поляризация, но регистрирането на върнатия обратно към антената сигнал, е във хоризонтална или вертикална поляризация [36, 46].

С проектирането и внедряването, на второ поколение сателитни сензори със синтезирана апертура – Synthetic Aperture Radar (SAR), се подобрява значително информацията за обектите от земната повърхност нужна за извършването на изследванията в науките за Земята [47]. Общите характеристики на тези нови системи включват намалена времева разделителна способност (по-кратък времеви период за получаване на данни от една и съща територия) и в повечето случаи подобрена пространствена разделителна способност до няколко метра, представяща точни данни за картографиране, и мониторинг на природни и антропогенни събития и явления [47].

SAR сензорите са в състояние да локализируют наводнение понеже равните водни повърхности отразяват дифузно сигнала от сензора, като намаляват количеството на излъчения, обратно към сензора сигнал (радиация), който се регистрира на записващата матрица [55].

1.3.3. Същност и използване на Ортогонална Трансформация (ТСТ)

Ортогоналната трансформация ТСТ развита първо от Kauth и Thomas [69] се прилага първоначално като инструмент за компресиране и визуализация на данни от мултиспектралният скенер (MSS) на Landsat-1 за извличане информация за елементите и характеристиките на земеделските земи. В литературата съществуват изследвания свързани с унитарните матрици на ТСТ [70, 71], като през годините ОТ е била адаптирана за различни сензори: Thematic Mapper (TM) [72, 73, 74]; Enhanced Thematic Mapper (ETM+) [75]; сензорите на MODIS [76,77]; IKONOS [78]; Quickbird [79]; ASTER [80]; SPOT5 [81]; Sentinel-2 MultiSpectral instrument (MSI) [82].

Главните предимства на ТСТ са способността ѝ да визуализира мулти- и хиперспектрални данни в едно кондензирано и смислово дефинирано пространство на елементите (от сателитните изображения), което вероятно е най-важното предимство на ТСТ в сравнение с другите подобни линейни трансформации (напр. Principle Component Transform). Използването на линейна трансформация е един подходящ метод за редуциране на размерността на данните, и позволява извършването на интерпретация и анализ. Сателитните данни търпят постоянно развитие и техните пространства от данни

(съответно брой на спектрални канали) надхвърлят повече от три измерения, и съответно визуалната интерпретация става все по-трудна и по-сложна [23, 69].

Унитарната матрица на ТСТ е фиксирана и уникална за всеки различен сензор. През годините са използвани различни подходи, за определяне на елементите на унитарната матрица. Един от тях е метода на главните компоненти, който се базира на статистическата независимост на самите компоненти в полученото многомерно пространство, докато другият подход е алгебричен метод на ортогонализацията на Gram-Schmidt [82].

Колоните на унитарната матрица са векторите на *яркостта*, *зелеността* и *мокростта*, които са ортогонални една спрямо друга. Използването на ТСТ за сателитни изображения дава резултати в една чиста ротация и трансляция, като по този начин получените резултати имат променена структура в сравнение с първично получените данни, което позволява да се направи по-ясно и прецизно разпознаване и класифициране на различните компоненти (почви, растителност, вода) от земното покритие. След сегментирането на сателитните изображения се получават хомогенни клъстери, които са ясно дефинирани – *яркост*, *зеленост* и *мокрост* (*brightness*, *greenness*, *wetness*) [82].

Използвания автоматизиран модел за ортогонална трансформация, на сателитни изображения, от сензора MSI, се състои от:

- входни данни – композитни растерни изображения от всички спектрални канали на сензора;
- TR коефициент на отражение – представлява константа на конвертиращите стойности на спектрално отражение;
- ТСТ матрица с размери 3 x 13 (Табл. 1);
- Линейна комбинация – превръща входните растерни данни в едно изображение с три основни слоя – *яркост*, *зеленост* и *мокрост* (ТСТ IMAGE_BR_GR_WN).

Таблица. 1 – Унитарна матрица за сегментация на сателитни изображения от сензора MSI [82]

Канали	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B8A
--------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

Яркост	0.0356	0.0822	0.1360	0.2611	0.2964	0.3338	0.3877	0.3895	0.949	0.0009	0.3882	0.1366	0.4750
Зеленост	-0.063	-0.112	-0.1683	-0.3480	-0.3303	0.0852	0.3302	0.3165	0.0467	-0.0009	-0.4578	-0.4064	0.3625
Мокрост	0.0649	0.1363	0.2802	0.3072	0.5288	0.1379	-0.0001	-0.0807	-0.0302	0.0003	-0.4064	-0.5602	-0.1389

1.3.4. RVI – Вегетационен индекс на база съотношение

The Ratio Vegetative Index (вегетационен индекс на база съотношение) (RVI – форм. 3), създаден от Jordan [92], е първият индекс, който използва разликата в поглъщането на ЕМЕ между червеният и ИЧ диапазон от ЕМС [91, 92, 93, 94]. RVI индексът е съотношение между спектрално-отражателните стойности, регистрирани от даден сензор за даден изследван обект от земната повърхност:

$$RVI = \rho_{NIR} / \rho_{red} \quad (3)$$

където: ρ_{NIR} е спектралното отражение от БИЧ диапазон от ЕМС

ρ_{red} е спектралното отражение от диапазона на червеното от ЕМС

Повечето ВИ са валидни само в случаите, когато се използват стойностите на спектрално отражение, изключвайки Дигиталният номер (DN), фотоновият поток или падащото общо електромагнитно излъчване.

При генерирането на NDVI се използват отражателните характеристики от получените сателитни данни (в червения и ИЧ канали) и отнасящите се към тях съответно, представени данни за биомасата от дадена територия, като се прилага следното уравнение:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{red}) \quad (4)$$

където: ρ_{NIR} е спектралното отражение от БИЧ диапазон от ЕМС

ρ_{red} е спектралното отражение от диапазона на червеното от ЕМС

Получените резултати от NDVI са реални стойности, вариращи между -1 и +1, където позитивните стойности показват наличието на биомаса или растителност.

Въпреки че ВИ да са разработени с цел извличане на информация за растителността, факторите: отражение на почвата, степента на влажност, зенитния ъгъл

на Слънцето, зрителния ъгъл на сензора, както и влиянието на атмосферата, могат да изменят стойностите на индекса по различни и сложни начини [99].

В литературата и практиката на ДИ има голям набор от вегетационни индекси. Това изследване включва някои от тях, за да създаде една рамка за сравнение с ТСТ. Повечето от тези индекси са отлични инструменти за анализ на изображения, но когато вегетационният индекс се използва самостоятелно (изолирано), той няма способността да улови всички явления от дадена сателитна *сцена* [23].

ГЛАВА 2

Местоположение и описание на обектите на изследване. Спектрално-отражателни характеристики

2.1. Физико-географски характеристики на ПП „Сините Камъни“

Природен парк „Сините камъни“ се намира в югоизточната част на България в Сливенска планина, Стидовска планина и възвишението Гребенец, които са част от южното било на Източна Стара планина. Природният парк „Сините камъни“ е разположен на южните склонове на Източна Стара планина (Удвой планина – Чатал балкан) в близост до град Сливен.[102].

Релефът в парка е с подчертан планински характер, силно разчленен и оформен от много скални образувания, пропасти, пещери и водопади. Най-ниската точка е с 290 m надморска височина, а най-високата – връх Българка, е на 1181 m. Северните склонове на парка са стръмни, труднопроходими и обрасли с гъсти букови гори, а южните са по-голи, прорязани от долове и оврази, заети от нискостъблени дъбово-габъррови гори, храсти и крайречна растителност [102, 103].

Климатът в района на парка е сравнително мек, характеризиращ се като умерено-континентален, в по-ниските части - преходно-континентален, а при надм.в. над 1000 m - планински. Във височина температурата на въздуха се понижава, относителната влажност и количеството на валежите (включително и твърдите) нараства, а скоростта на вятъра се повишава. Максимумът на валежите е през м. май, а

минимумът – през м. август. Във високите части, лятото е прохладно, а в по-ниските – сухо и горещо [102].

2.1.1. Кратка характеристика на горската растителност на територията на III „Сините Камъни“

Широколистните гори са представени от формациите на: мизийския бук (*Fagus sylvatica* L. subsp. *moesiaca* /K.Maly/ Hjelmq.), обикновен горун (*Quercus dalechampii* L.), обикновен габър (*Carpinus betulus*), цер (*Quercus cerris* L.), космат дъб (*Quercus pubescens* Willd.), източен келяв габър (*Carpinus orientalis* Mill.) и по-малка част от благун (*Quercus frainetto* Ten.) и сребролистна липа (*Tilia tomentosa* Moench.) [104,105].

Характерно за растителността в този пояс е, че тя включва листопадни широколистни гори от средно-европейски тип, но е с по-южни черти, характерни за средиземноморската горска растителност. Формациите на цера, благуна, косматия дъб, източния габър и мъждряна са представители на ксеротермния дъбов пояс [104]. По-голяма част, т.е. 9 000 ha, от територията на парка, е покрита с монодоминантни и смесени широколистни гори, а над 600 ha са заети с иглолистни [102, 104].

Формациите от мизийски бук заемат главно северните и североизточни части на парка при надморска височина 600-1180 m. Разпространена е както върху силикатна скална основа (вр. Българка), така и върху варовик с дълбоки до средно дълбоки кафяви горски, канелени горски, преходни и хумусно-карбонатни почви. Буковите гори са високостъблени, по-рядко издънкови, понякога силно разредени с ниски и силно разклонени индивиди. Най-широко са разпространени гъстите букови гори, без или почти без тревна покривка. Една част от формациите на бука са смесени съответно с обикновен габър, обикновен горун и цер. В някои от буковите и буково-габъррови съобщества има доста добро семенно възобновяване и в повечето случаи по-младите индивиди формират ясно изразен подетаж.[102, 104].

2.2. Спектрално отразителни характеристики на растителността

Фотосинтезата е процес на „складиране“ на енергия, който протича в листата и други зелени части на растенията при наличието на светлина. Светлинната енергия се съхранява в обикновена захарна молекула (*глюкоза*), която се произвежда от въглеродния диоксид (CO_2) във въздуха и водата (H_2O), които се абсорбират предимно

чрез кореновата система на растението. При взаимодействието на въглеродния диоксид с водата се образува захарна молекула ($C_6H_{12}O_6$) в *хлоропластите* на растението, а кислородният газ (O_2) се отделя като страничен продукт, който се отделя в атмосферата. Процесът на фотосинтеза започва, когато слънчевата светлина попадне върху *хлоропластите* – малките тела в листата, които съдържат зелено вещество, наречено хлорофил. Растенията са приспособили своята вътрешна и външна структура за извършването на процеса фотосинтеза [106, 107].

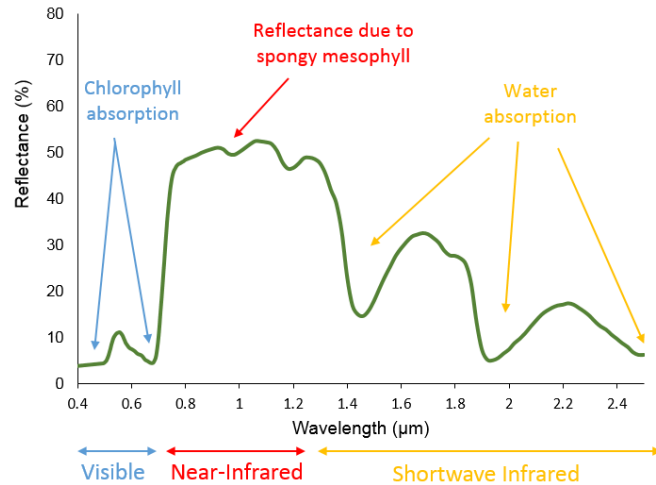
Върху едно „здрово“ зелено листо пада поток лъчиста енергия (Φ_i) директно от Слънцето или дифузна светлина, отразена от атмосферата или околните обекти. Тази падаща електромагнитна енергия взаимодейства с пигментите, водата и междуклетъчните въздушни пространства в листото на растението. Количеството лъчист поток, отразен от листа (Φ_ρ), количеството лъчист поток, погълнат от листа (Φ_α), и количеството лъчист поток, пропуснат през листа (Φ_τ), могат да бъдат измерени, за да бъдат използвани в уравнението за енергиен баланс с цел проследяване какво се случва с цялата падаща енергия. Общото уравнение за взаимодействието на спектралния (λ) лъчист поток върху и вътре в листа е:

$$\Phi_i \lambda = \Phi_\rho \lambda + \Phi_\alpha \lambda + \Phi_\tau \lambda \quad (6)$$

Повечето системи за ДИ функционират в диапазона между 0.35 – 3.0 nm и регистрират отразената електромагнитна енергия, което може да бъде изразено чрез уравнението:

$$\rho_\lambda = i_\lambda - (\alpha_\lambda + \tau_\lambda), \quad (7)$$

където енергията отразена от листната повърхност на растението (ρ_λ), е равна на падащата енергия (i_λ) минус погълнатата енергия директно от растението (α_λ) нужна за фотосинтеза и количеството енергия (τ_λ), пропусната (преминала) директно през листото върху другите листа или земята под короната [106].



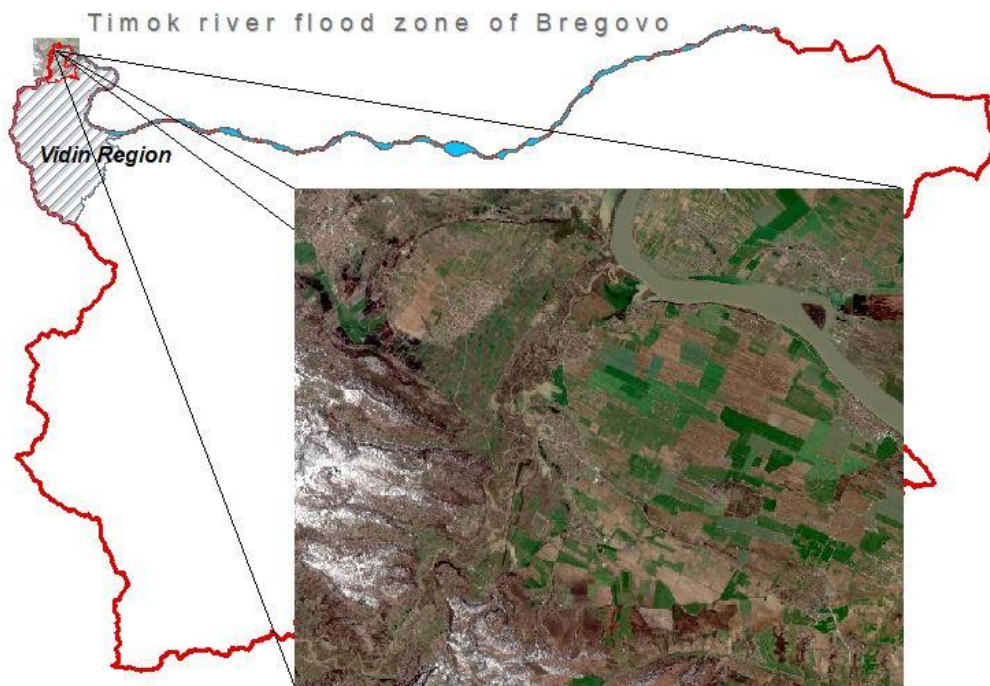
Фиг. 6. Крива на спектралната отражателна характеристика на растителността. [106]

Важно е да се познава, физиологията на растенията и особено техните пигментационни характеристики, за да може да бъде оценено как едно растение би реагирало на динамиката в количеството на хлорофила, породена от сезонно стареене или стрес от околната среда. Когато растението е под стрес и/или производството на хлорофил намалява липсата на пигментация на хлорофил обикновено води до по-слаба абсорбция на хлорофил от растението. Такива растения ще имат много по-висока отражателна способност, особено в зелената и червената част на ЕМС и следователно може да изглеждат жълтеникави или хлорични. Всъщност Carter [109, 110, 111] предполага, че повишената отражателна способност във видимия спектър е типично за растенията, които се намират под въздействието на стресови фактори. Инфрачервеното отражение реагира само когато стресът се е развил достатъчно, за да причини голяма дехидратация на листа, който съответно придобива кафяви и тъмни цветове [106].

2.3. Кратка обща характеристика на втория избран обект за изследване

В настоящият труд са представени резултатите от проведено изследване върху обхвата на засегнатите площи в община Брегово от наводнението на р. Тимок, което се случи на 11.03.2018 г. Река Тимок е с обща дължина от 202 km. Тя извира от Чипровска планина и се влива в река Дунав между българското село Куделин и сръбското село Сърбово, на 33 m надм.вис., като участъка от 15 km, преди устието се явява естествена държавна граница между Република Сърбия и Република България. Проследен е пространственият обхват и динамика на случилото се наводнение на р. Тимок за избран

изследван период чрез приложение на Ортогоналната Трансформация ТСТ за сегментиране на данни от Sentinel 2 както и чрез приложението на данни от SAR.



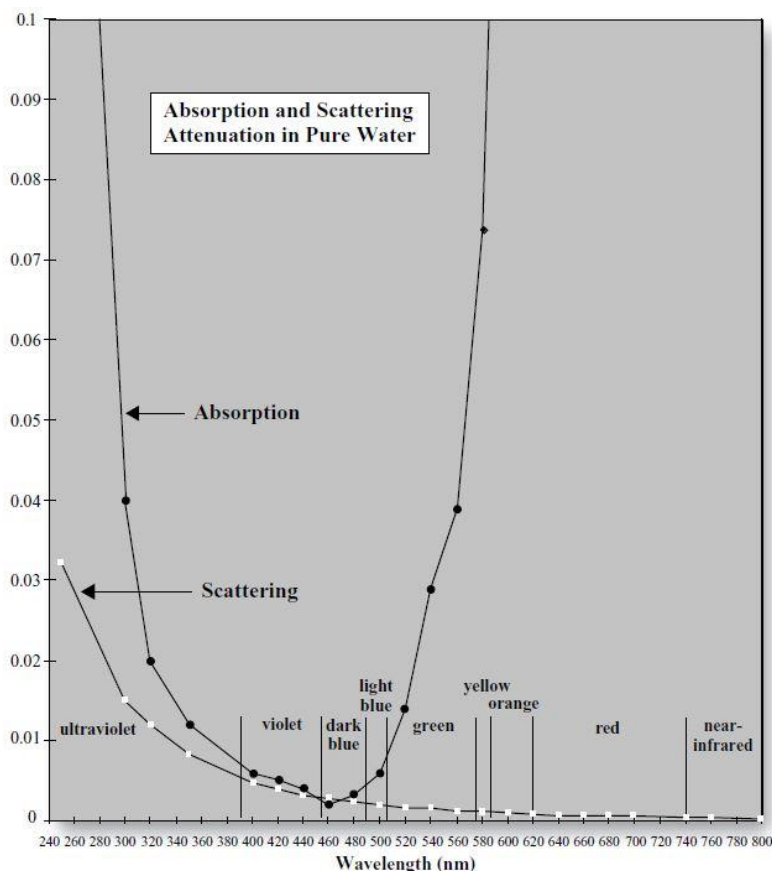
Фиг. 7. Сателитно изображение от територията на устието на р. Тимок в реални цветове MSI 30.03.2018

2.4. Спектрално отражателни характеристики на водата

Едни от основните предимства на методите на ДИ при изследването на характеристиките и особеностите на водните обекти (акватории) от земната повърхност, както и за нуждите на хидрологията и глациологията са [106, 112]:

- Изчисление на водната площ (в т.ч. реки, потоци, езера, язовири и морета);
- Определяне на водния състав (органично и неорганично съдържание);
- Изчисление на дълбочината на водата (батиметрия);
- Определяне на температурата на водната повърхност;
- Изчисление площта на снежното покритие (в т.ч. разграничение между мокър сняг и др.);
- Изчисление площта на ледена покривка;
- Изследване на облачната покривка;
- Изследване на валежи и водни пари.

Водните молекули от чисти води, в които липсват органични и неорганични частици, поглъщат и разсейват ЕМР основно в диапазона от 250 до 800 nm на ЕМС. *Поглъщането* на ЕМС доминира в UV (под 400 nm) спектъра и в целия диапазон след жълтия цвят над 580 nm, обхващайки целия дял от близкия ИЧ спектър. Почти целият близък и среден ИЧ диапазон от падащата ЕМР се поглъща от водните молекули, което обяснява защо водните обекти в изображенията на каналите от ИЧ спектър са толкова тъмни или черни. Най-малкото количество на *поглъщане* и *разсейване* на ЕМР е в дължините на вълните на виолетовия, тъмно синия и светло синия цвят между 400 и 500 nm, като техният минимум е между 460 и 480 nm, което е причината да виждаме водата синя (фиг. 9.) [106, 119]. Дължините на вълните на зеления и жълтия цвят (520-580 nm) от ЕМС се *поглъщат* от водата, като *разсейването* е незначително. Същото се отнася, за дължините на вълните на оранжевия и червения цвят, където *поглъщането* е в по- големи стойности отколкото *разсейването*. Синият цвят е особено видим за чистите води на откритите морета, за тела незасегнати от различни течения, както и вътрешни водни площи [106].



Фиг. 9. Графика на *поглъщането* и *разсейването* на ЕМР от чисти водно тела [113]

За осъществяването на мониторинг на териториалния обхват на водни обекти се използват основно изображения от диапазона на ЕМС в границите между 740-2500 nm (близък и среден ИЧ), при които ясно може да се разграничат териториите заети от вода от тези на сушата. В близкия и среден ИЧ диапазони водните тела са много тъмни, дори черни, защото те поглъщат почти цялата падаща ЕМР, особено когато водите са с голяма дълбочина и в техния състав не присъстват разтворени минерали или органични частици. И обратно, териториите заети от сушата, които се състоят основно от растителност и голи почви, отразяват голяма част от ЕМР в близкия и среден ИЧ диапазон от ЕМС, в резултат на което на изображенията те са представени предимно в ярки и светли тонове (нюанси, цветове) [106].

ГЛАВА 3

Методика за мониторинг и пространствено-времеви анализ на динамиката на горска растителност и наводнени територии. Избор на данни. Вегетационни индекси. ТСТ.

3.1. Структура на приложената методика за мониторинг и пространствено-времеви анализ на динамиката на горската растителност

Приложената в настоящия труд методика, включва използването на обработени оптични данни, за избрани различни времеви моменти, както следва:

- За 2015 г., от 04.09., когато растителността е в своята най-активна фаза от вегетационния ѝ период (преди фазата пожълтяване), приблизително след средата на лятото (началото на месец август до средата на месец септември) [121];

- За 2016 г., от 08.09., когато растителността е в своята най-активна фаза от вегетационния и период;

- За 2017 г., от 10.06, когато фенофазата „разлистване“ (7-14 дни) от вегетационния период на горската растителност е завършила (което за надморска

височина 600-1100м. се явява късния пролетен сезон, приблизително в края на месец април и началото на месец май) [121];

- За 2017 г., от 24.08., когато растителността е в своята най-активна фаза от вегетационния и период;

- За 2018 г., от 31.05., когато фенофазата на „разлистване“ от вегетационния период на горската растителност е приключила;

- За 2018 г., от 19.08., когато растителността е в своята най-активна фаза от вегетационния и период;

- За 2019 г., от 29.08., когато растителността е в своята най-активна фаза от вегетационния и период;

- За 2020 г., от 25.04. и от 15.05., краткосрочен период от 20 дни от пролетния сезон, през който се наблюдава появата на новата листна маса, при надморска височина над 600-700м;

- За 2020 г., от 28.08., когато растителността е в своята най-активна фаза от вегетационния и период;

- За 2021 г., от 25.05., когато фенофазата на „разлистване“ от вегетационния период на горската растителност е завършила;

- За 2021 г., от 08.08., когато растителността е в своята най-активна фаза от вегетационния и период.

Формираният по този начин времеви период дава възможност за проследяване динамиката и настъпилите промени на териториите заети от горска растителност. За годините 2015, 2016 и 2019 не са налични безоблачни изображения от пролетния сезон, от сензора MSI. Избраните сателитни изображения са подложени на различни преработки, и съответно са генерирани два ВИ – NDVI и NDGI. След приложението на ТСТ са получени различни ТСТ изображения, които са декомпозирани до своите основни компоненти: *brightness*, *greenness* и *wetness*. На базата на компонента *greenness* за всеки избран времеви момент са генерирани изображения със стойностите на NDGI за различни времеви рамки: между двете „пролетни“ изображения за двете години,

между двете „летни“ изображения за двете години и за периодите между пролетта и лятото от същите години.

За да се проследи и оцени динамиката на горската растителност, на територията на ПП „Сините Камъни“ и нейните моментни състояния за избрания времеви период е приложена следната разработена методика:

- Избор на тестови участъци на обектите за изследване;
- Избор на аерокосмически данни съобразени със задачите на изследването;
- Обработка на данни – геореферирание и калибриране на спътниковите данни;
- Генериране на астерни и векторни слоеве необходими за провеждане на изследването;
- Генериране на композитни растрни изображения в оптичен диапазон;
- Генериране на композитни растрни изображения (композит от една дата R-VN, G-VV, B-VN/VV; RGB композити от две, три и повече дати) от микровълнов диапазон;
- Прилагането на *Orthogonal Tasseled Cap Transformation (TCT)* на оптични сателитни изображения от инструмента MSI, Sentinel 2;
- Генерирането на NDGI на базата на компонента „зеленост“;
- Генериране на NDVI от оптични сателитни изображения от инструмента MSI, Sentinel 2;
- Визуална интерпретация, верификация и анализ на резултатите получени от приложената методика.

Приложената методика дава възможност за точното и прецизно определяне на пространственото разпределение и моментно състояние на горската покривка на територията на ПП „Сините Камъни“ за избрания изследван период. Предложеният метод за горски мониторинг може да се интегрира в управлението на горите, горското стопанство и при инвентаризацията на горските ресурси.

3.1.1. Избор на данни. Вегетационни индекси. ТСТ.

В настоящото изследване са използвани сателитни изображения от Sentinel-2 MSI (ЕКА) и Landsat 8 Oli Tirs (НАСА). Мултиспектралният инструмент MSI, има 13 канала и регистрира данните в оптичния диапазон с различни пространствена и спектрална разделителна способност от видимия диапазон БИЧ и КВИЧ на ЕМС. (Табл. 2, Табл. 3)

Табл. 2. Използвани сателитни данни

Сателит, сензор	Дата на заснемане	Спектрални канали	ППС (m)
Landsat 8 Oli TIRS	18.07. 2015	Видим диапазон	30x30
Sentinel-2 MSI	04.09.2015	Всички спектрални канали	10x10
	08.09.2016		
	10.06.2017		
	24.08.2017		20x20
	31.05.2018		60x60
	19.08.2018		
	29.08.2019		
	25.04.2020		
	15.05.2020		
	28.08.2020		
	25.05.2021		
08.08.2021			

Табл. 3. Спектрални канали на Landsat 8 Oli Tirs и Sentinel-2 MSI [122]

L8 Band		CW (μm)	Wavelength (lower-upper)	Bandwidth	Res. (m)	S2 Band		CW (μm)	Wavelength (min-max)	Bandwidth	Res. (m)	
1	C/A	0.443	0.435 - 0.451	0.016	30	C/A	1	C/A	0.443	0.421 - 0.457	0.036	60
2	Blue	0.482	0.452 - 0.512	0.060	30	Blue	2	Blue	0.494	0.439 - 0.535	0.096	10
3	Green	0.561	0.533 - 0.590	0.057	30	Green	3	Green	0.560	0.537 - 0.582	0.045	10
4	Red	0.655	0.636 - 0.673	0.037	30	Red	4	Red	0.665	0.646 - 0.685	0.039	10
							5	VRE	0.704	0.694 - 0.714	0.020	20
							6	VRE	0.740	0.731 - 0.749	0.018	20
							7	VRE	0.781	0.768 - 0.796	0.028	20
							8	NIR	0.834	0.767 - 0.908	0.141	10
5	NIR	0.865	0.851 - 0.879	0.028	30	NIR	8a	NIR	0.864	0.848 - 0.881	0.033	20
							9	WV	0.944	0.931 - 0.958	0.027	60
9	Cirrus	1.373	1.363 - 1.384	0.020	30	Cirrus	10	Cirrus	1.375	1.338 - 1.414	0.076	60
6	SWIR	1.609	1.567 - 1.651	0.085	30	SWIR	11	SWIR	1.612	1.539 - 1.681	0.142	20
7	SWIR	2.201	2.107 - 2.294	0.187	30	SWIR	12	SWIR	2.194	2.072 - 2.312	0.240	20
8	Pan	0.590	0.503 - 0.676	0.172	15							
10	TIRS	10.895	10.60 - 11.19	0.590	100 *							
11	TIRS	12.005	11.50 - 12.51	1.010	100 *							

NDGI е формиран на основата на компонента *зеленост* (*greenness*) получен чрез декомпозирането от приложената ТСТ на избрани оптични изображения от инструмента MSI. Този индекс отразява настъпилите промени в динамиката на растителността за избрания времеви период. Получените стойности варират между -1 и +1 и съответстват на негативните и позитивни промени настъпили в състоянието на растителността [123]. Най-често използваните ВИ не са достатъчно чувствителни към настъпилите минимални промени в състоянието на растителността, което е най-забележимо при изследванията за възстановителните процеси на горските екосистеми след пожар [124, 125]. Получените в следствие на приложената ортогонализация три диференцирани класа са силно чувствителни към минималните промени настъпили в състоянието на растителността. В настоящото изследване е използвана ТСТ компонента *зеленост*, на чиято основа е изчислен индекса NDGI, обхващащ количествените позитивни и негативни стойности в процесите на развитие и растеж на растителността [123]. NDGI може да бъде изразен чрез следното уравнение:

$$NDGI = \frac{GR_n(t_2) - GR_n(t_1)}{|GR_n(t_2)| + |GR_n(t_1)|}, \quad (9)$$

където $GR_n(t_1)$ и $GR_n(t_2)$ представляват нормираните стойности на компонента *зеленост* (*greenness*) във времеви точки t_1 и t_2 , а $|GR_n(t_1)|$ and $|GR_n(t_2)|$ представят абсолютните стойности на същия компонент [123].

Стойностите за $GR_n(t_1)$ и $GR_n(t_2)$ са получени на базата на следното уравнение:

$$GR_n(t) = \frac{GR(t) - E\{GR(t)\}}{St.Dev.\{GR(t)\}}, \quad (10)$$

където $E\{GR(t)\}$ са осреднените стойности на $GR(t)$. [122]

Когато стойностите на NDGI са по-малки от 0, това показва, че са настъпили негативни промени в състоянието на растителността. Когато те са над 0, са налице позитивни промени, като степента на промените кореспондира с получените стойности на индекса. Крайните стойности – $NDGI = -1$ отразяват пълната деградация на растителността, докато $NDGI = +1$ показва интензивно нарастване на листната биомаса или поява на растителност. Това показва, че позитивните и негативни стойности на индекса представляват една количествена скала, която може да бъде използвана за оценка на настъпилите промени в растителността [123].

3.2. Методика за мониторинг и пространствено-времеви анализ на наводнените площи по поречието на р. Тимок, община Брегово. Избор на данни. Водни индекси.

Използваната методика за мониторинг и оценка на състоянието на териториите, засегнати от проливни дъждове и предизвиканите от тях високи водни нива на реките, включва: комбинирането на различни обработени оптични (Sentinel 2 – MSI) и радарни сателитни изображения (SAR-Sentinel 1) и приложение на *Ортогонална Трансформация* за получаването на ТСТ компонента – „мокрост“ от територията засегната, от наводнението за избрани времеви моменти:

а) Спътниково оптично изображение от дата 23.03.2017 г., предхождаща наводнението, когато климатичната обстановка е приета за „нормална“ – служи за *референтна* точка за последващия анализ и оценка;

б) Спътниково радарно изображение, заснето няколко часа след настъпването на наводнението и след като валежите са отминали – 12.03.2018 г.;

в) Спътниково оптично изображение, заснето 19 дена след наводнението – 30.03.2018 г.;

г) Спътниково оптично изображение, заснето 33 дни след наводнението – 14.04.2018 г.;

д) Спътниково оптично изображение, заснето близо два месеца след наводнението – 02.05.2018 г.

Формиран по този начин избраният времеви период позволява проследяване динамиката на речните води и настъпилите промени в околната среда, в която попада речното корито.

3.2.1. Избор на спътникови данни.

За извършването на мониторинг и оценка на състоянието на наводнените територии от проливните дъждове и високите речни нива на р. Тимок в настоящото изследване са използвани сателитни изображения от мисиите „Sentinel-1“, „Sentinel-2“, от програмата „Коперник“ на ЕКА.

Табл. 4. Използвани сателитни данни

Сателит, сензор	Дата на заснемане	Спектрални канали	PPC (m)
Sentinel-1- SAR	12.03.2018	$\lambda=5,6\text{cm}$, Поляризации: VH, VV	10x10
Sentinel-2- MSI	23.03.2017 30.03.2018 14.04.2018 02.05.2018	Всички спектрални канали	10x10 20x20 60x60

3.2.2. Използвани методи за обработка на сателитни изображения.

Индекси и индикатори

Методите за обработка на спътникови данни, варират за различните типове избрани входни данни, в конкретния случай това са: SAR данни и оптични данни от инструмента MSI. Това се дължи на различните принципи на регистриране на ЕМЕ от двата типа сензори. В много случаи се налага получените данни да бъдат използвани комбинативно за генериране на композитни изображения с цел получаване на точни и детайлни резултати, свързани със задачите на изследването [126, 127].

Избраните спътникови данни от всички времеви точки са преработени с цел получаване на по-представителни резултати за различните компоненти на околната среда, и по-специално за *вода* и *растителност*. Тук също е приложен и използван автоматизиран модел за ТСТ на оптични изображения от инструмента MSI, за получаването на ТСТ компонента – „*мокрост*“ (*wetness*) – необходим за мониторинга на динамиката на речните води, и ТСТ компонента „*зеленост*“ (*greenness*), нужен за генерирането на NDGI. Получените стойности от приложени индекс дават по-подробна информация (за териториалния обхват, за процесите на възстановяване на засегнатите територии, и др.) за влиянието, което е оказало природното събитие върху околната среда (вкл. растителността) от изследваната територия [123].

Методът за линейна ОТ в многомерно пространство на сателитни данни използва трите компонента – *яркост*, *зеленост* и *мокрост*, които са ортогонални, т.е. декорелирани едни спрямо други. Този вид спектрална трансформация преобразува оригиналните силно корелирани данни в три некорелирани класа (*яркост*, *зеленост* и *мокрост*) като не се намалява броя на признаците в пространството, а се повишава степента на тяхната идентификация при класификация на обектите от земното покритие [128, 129].

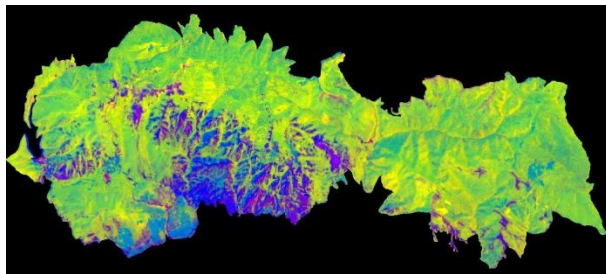
ГЛАВА 4

Анализ на получените резултати

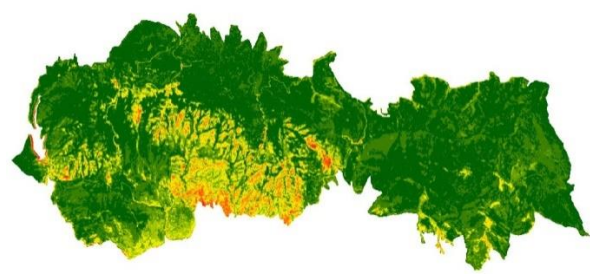
4.1. Резултати за състоянието на горската растителност

На фиг. 11а и 12а са представени резултатите от приложената матрица на ТСТ, които представляват псевдокомполитни изображения, в които всички компоненти от ОТ (*яркост*, *зеленост* и *мокрост*) са визуализирани заедно. Генерирането на тези данни е преходен етап от приложената методика и тяхната интерпретация е много трудна, вследствие на получените смесени, псевдокомполитни цветове. За да се извлече ценната информация от тях нужна за интерпретацията и анализа, изображенията са декомпозирани, и компонента *зеленост* (*greenness*) е изолиран и визуализиран (фиг. 11с, 12с.), като получените по този начин количествени стойности силно си корелират с пространственото разпределение на горската растителност. Областите изобразени със

зелен цвят съвпадат с тези на териториите заети от растителност, като по-тъмните тонове на зеленото кореспондират със по-старите и по-гъсти горски територии, заети предимно от съобщества на мизийския бук. Зоните представени в жълтия цвят кореспондират с териториите заети от горски поляни, тревни съобщества и ниска храстова растителност като в тях попадат също и някои каменисти и голи пространства, докато зоните в червения цвят отговарят за териториите заети от скали и камъни (сипей, камънаци, чукари). Получените количествени стойности от генерирания NDVI (фиг. 11b и 12b) са представени и визуализирани в същата цветова гама, но след извършването на интерпретация и сравнителен анализ с тези от изображенията на TCT-*greenness* компонента се вижда, че те не показват такава детайлност и прецизност на териториалния обхват на горската растителност.



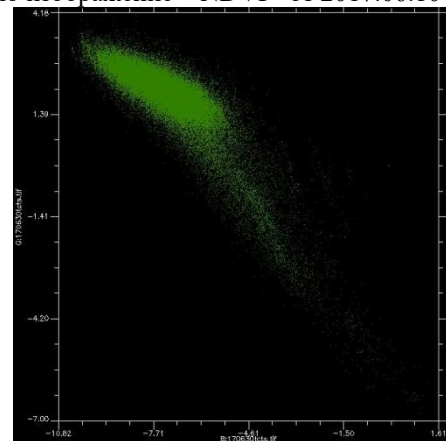
а) композитно изображение на TCT от 2017.06.10



б) растерно изображение – NDVI - от 2017.06.10

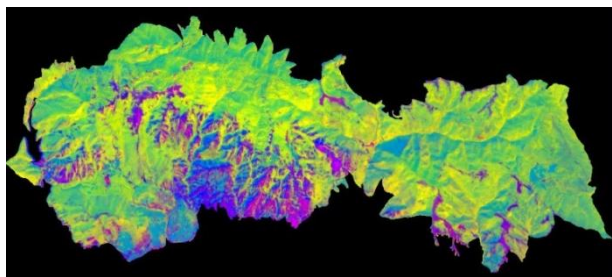


с) TCT-*Greenness* компонент от 2017.06.10



д) Графика на стойностите на комп. *Greenness*

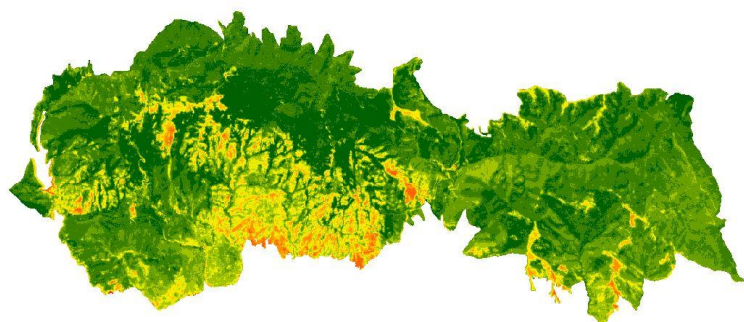
Фиг. 11. Обработено сателитно изображение от 10.06.2017г., TCT композит, NDVI, TCT-*greenness* и графика на TCT-*greenness*



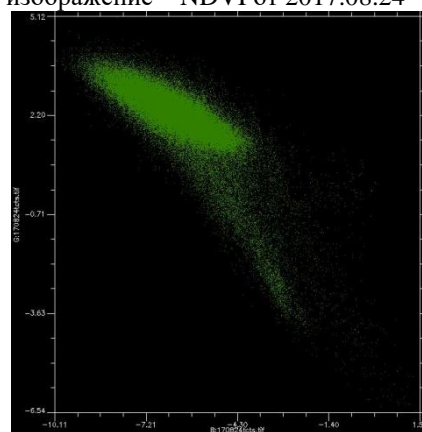
a) композитно изображение на ТСТ от 2017.08.24



b) растерно изображение – NDVI от 2017.08.24



c) TCT-Greenness компонент от 2017.08.24

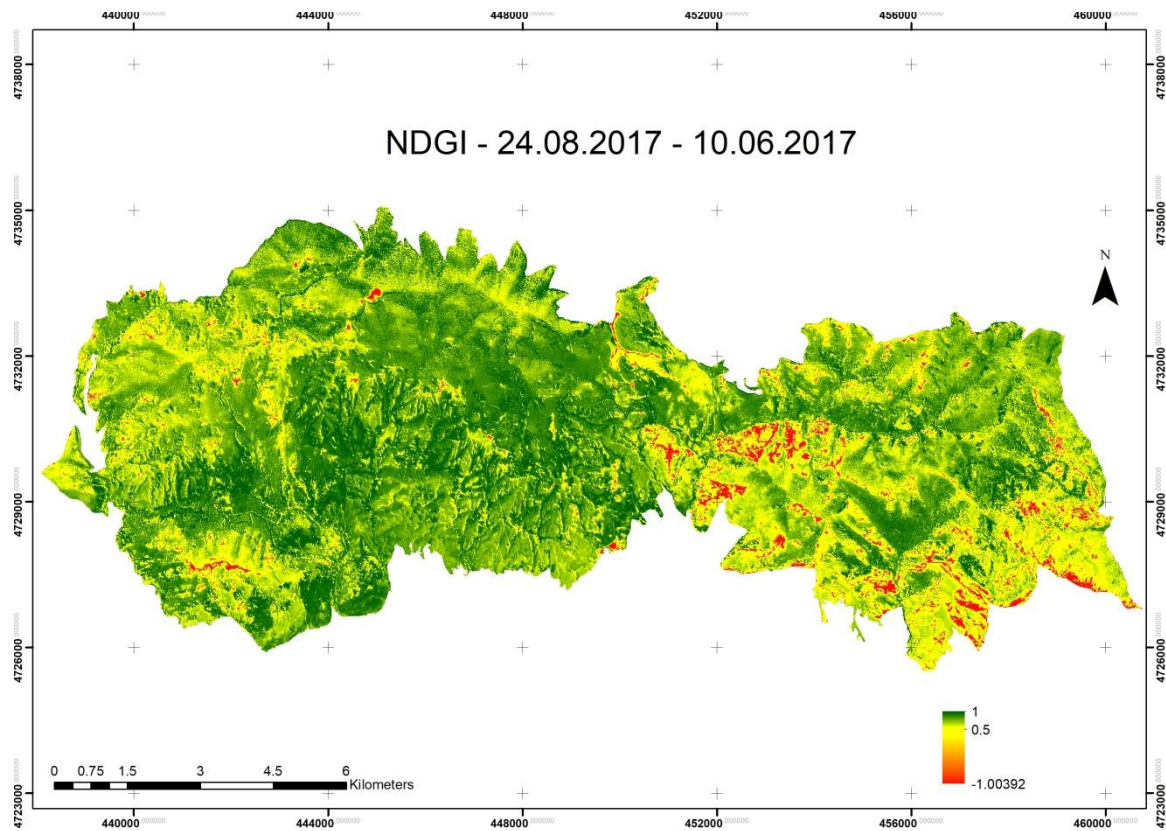


d) Графика на стойностите на комп. *Greenness*

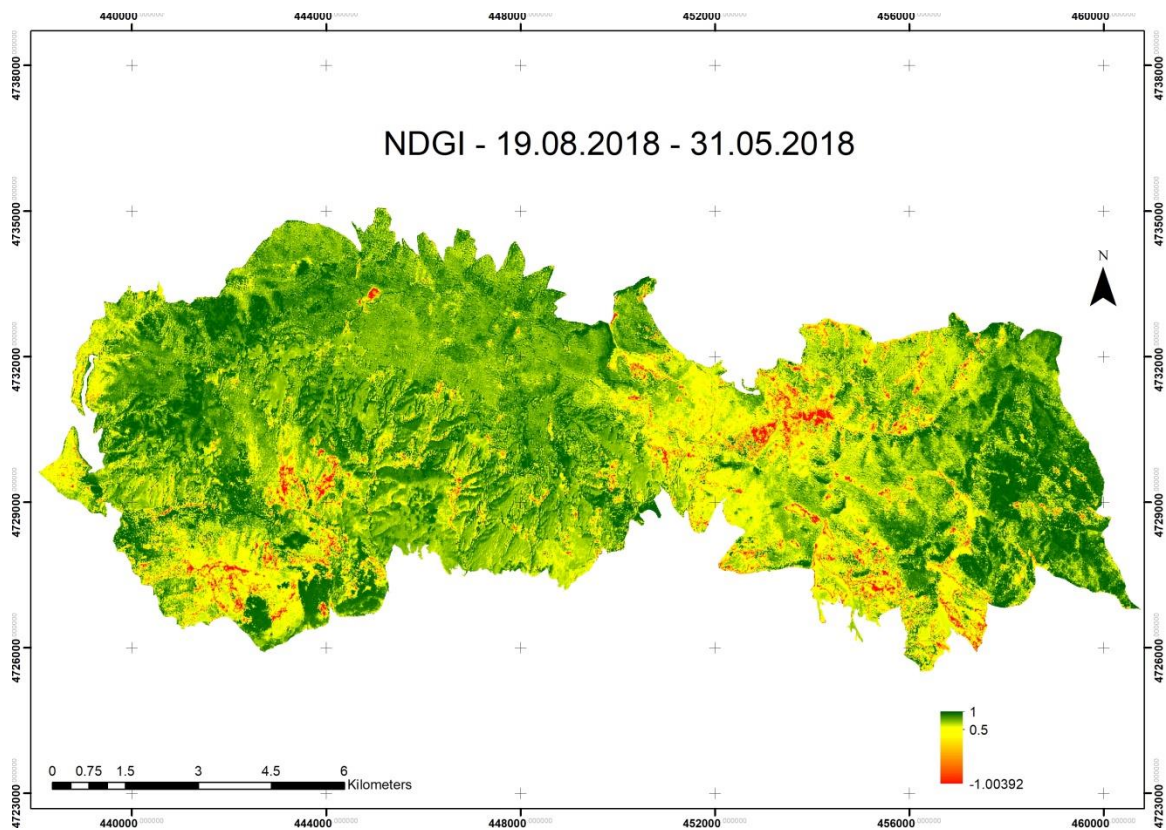
Фиг. 12. Обработено сателитно изображение от 24.08.2017г., ТСТ композит, NDVI, TCT-greenness и графика на TCT-greenness

На фиг. 15 и 16 са представени стойностите на NDGI за периодите 06.10.2017 – 08.24.2017 и 31.05.2018 – 19.08.2018, като данните представят динамиката на растителността през нейната активна фаза на вегетация, и съответно представляват едно сравнение между моментните състояния на растителността за периода от края на пролетта до средата и края на лятото на съответната година. Техните стойности представляват регистрираните от сензора COX на растителността, за изследваните периоди, като показват максималните и минимални промени, настъпили в нейните COX. Всички пиксели със зелен цвят ($NDGI > 0,5$) представят територии от земната повърхност, където са настъпили позитивни промени в състоянието на растителността през периода или, с други думи, новата растителност, която се е развила за дадения период (вкл. растителността по поречията и речните долини, ниски храсти и др.). Пикселите в жълт цвят ($NDGI \geq 0 \leq 0,5$), представят територии, където са настъпили минимални позитивни промени в състоянието на растителността или никакви такива през периода. Пикселите с червен цвят ($NDGI < 0$) представят територии от земната повърхност, където са настъпили негативни промени в състоянието на растителността

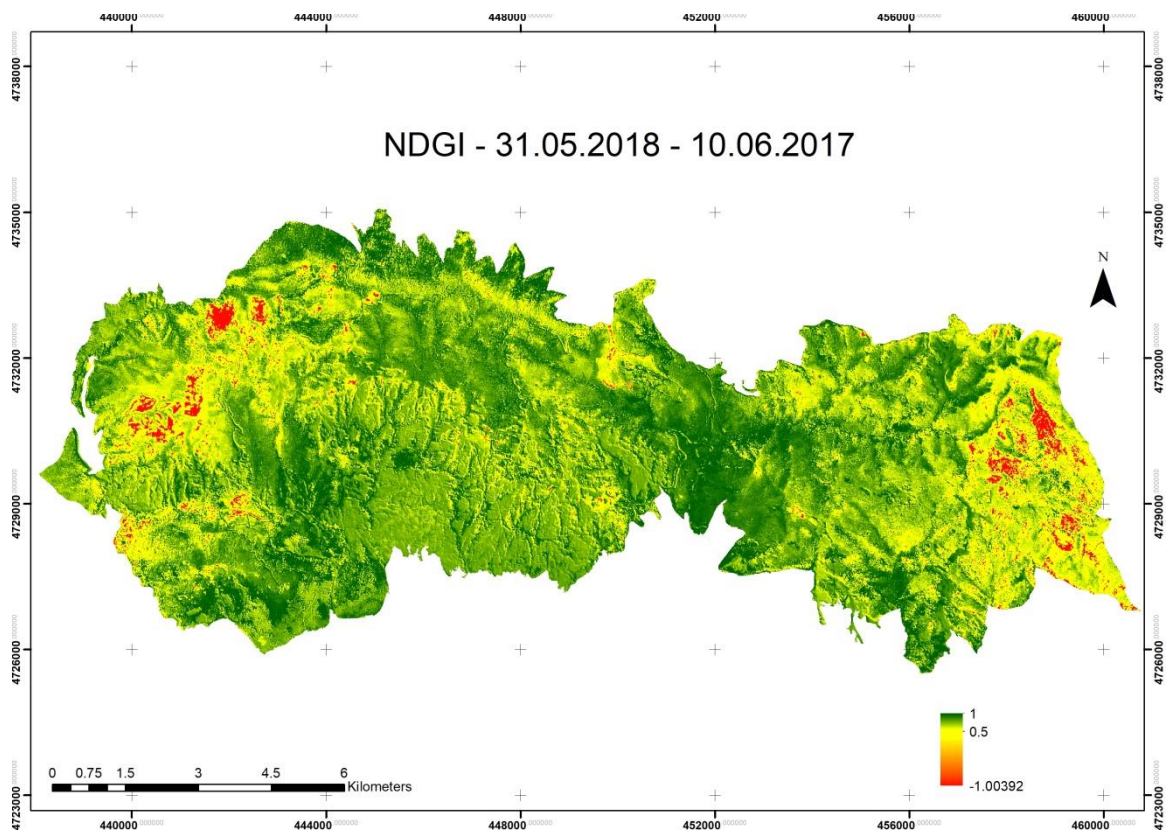
(вследствие на засушаване, извършена сеч, изсъхнали тревни формации и др.) или кореспондират с терени, заети от скални формации и образувания, където растителността липсва или нейната вегетация не се е проявила активно.



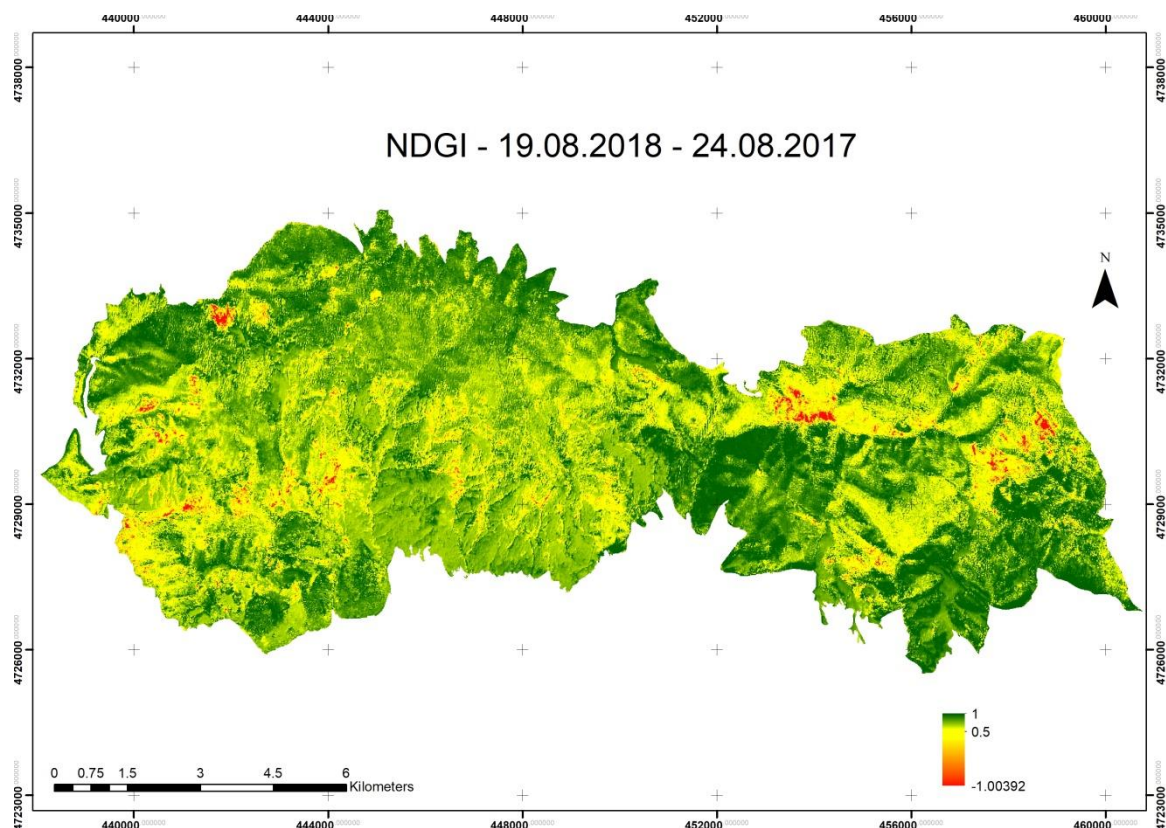
Фиг.15. Карта със стойностите на **NDGI** за периода 10.06.2017 - 24.08.2017



Фиг.16. Карта със стойностите на NDGI за периода 31.05.2018 - 19.08.2018

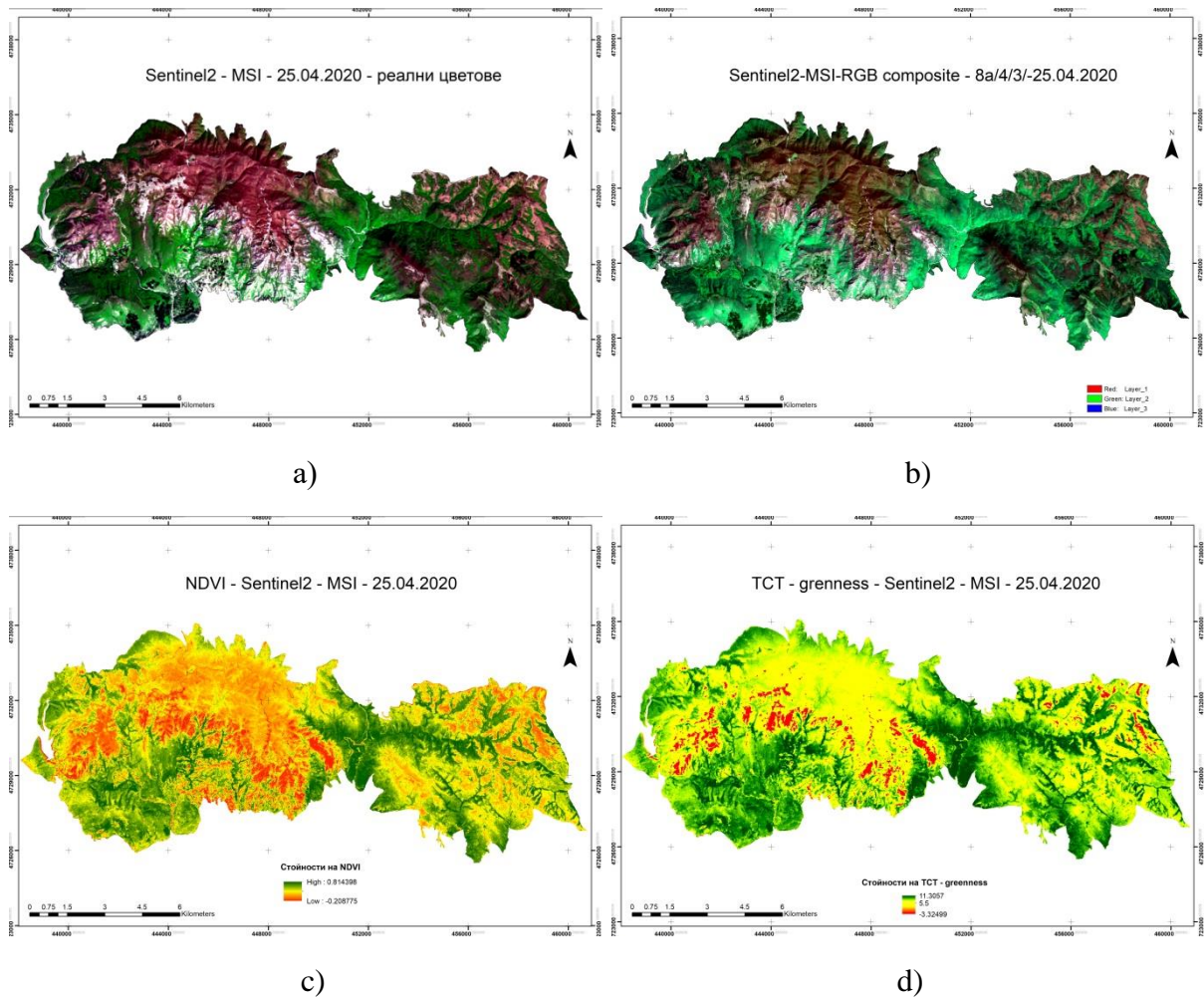


Фиг.17. Карта със стойностите на NDGI за периода 10.06.2017 - 31.05.2018



Фиг.18. Карта със стойностите на **NDGI** за периода 24.08.2018 - 19.08.2018

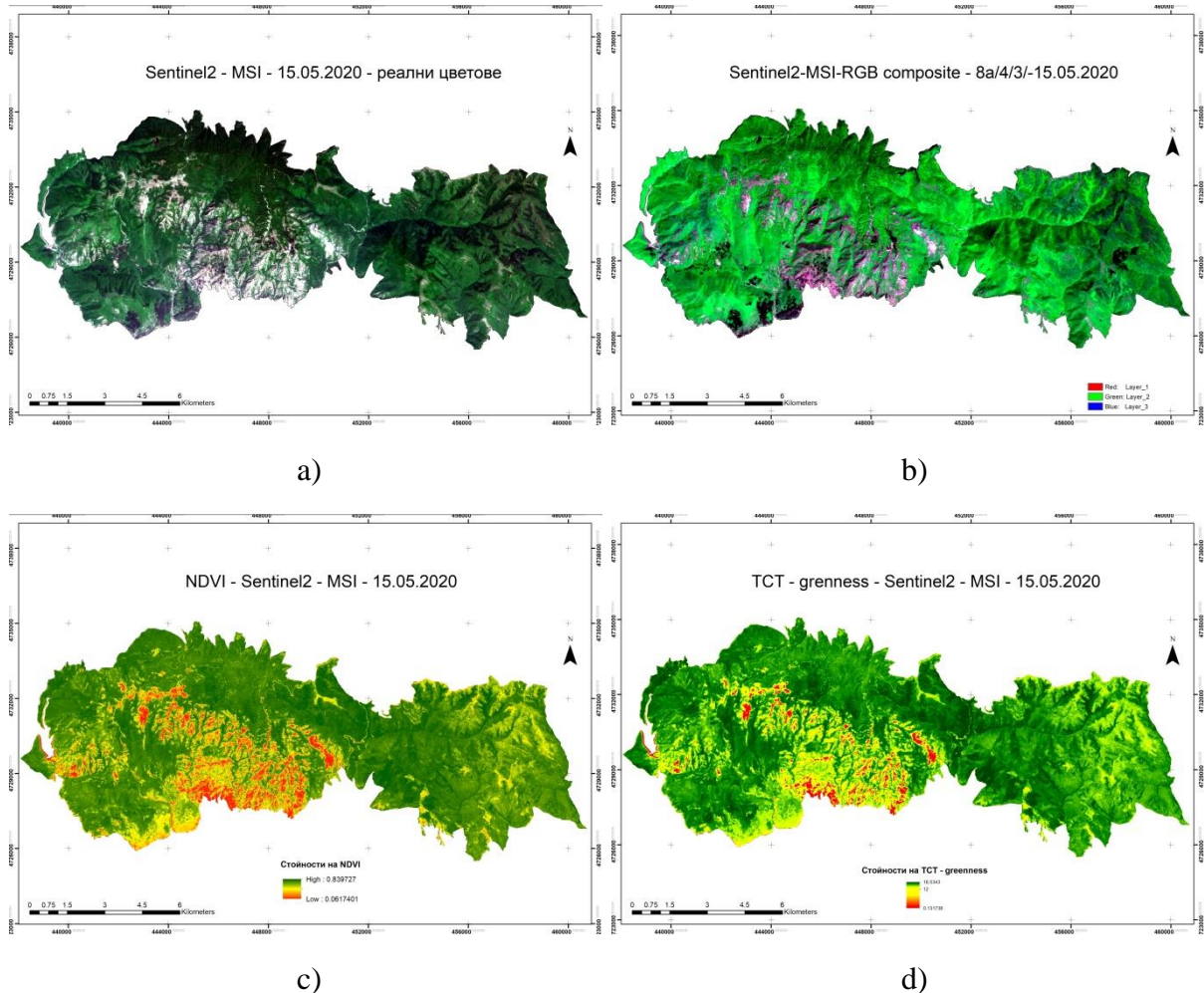
Използваният подход е по-подходящ за извършване на изследвания, чиито времеви периоди са краткосрочни понеже позволява проследяването на динамиката на растителността в много кратки времеви интервали. Този подход може да се използва и за проследяване развитието на земеделски култури (с по-къс вегетационен период), пожари, засушавания, изчисление на влагата в почвите и др.[130, 131, 132]. Въпреки това представените на фиг. 17 и 18 резултати от приложението на избрания подход включват едногодишни периоди, за да се покаже какви промени и разлики има в моментното състояние на растителността спрямо предходната година. Тук стойностите показват също, че условията за развитие на растителността са били по-добри през 2017 г., т.к. процесите на дехидратация (степената на засушаване) са по-силно изразени през 2018 г.



Фиг.19. Карти за състоянието на горската растителност от 25.04.2020г., в реални цветове, в псевдокомпонитни цветове, стойности на NDVI и стойности на TCT

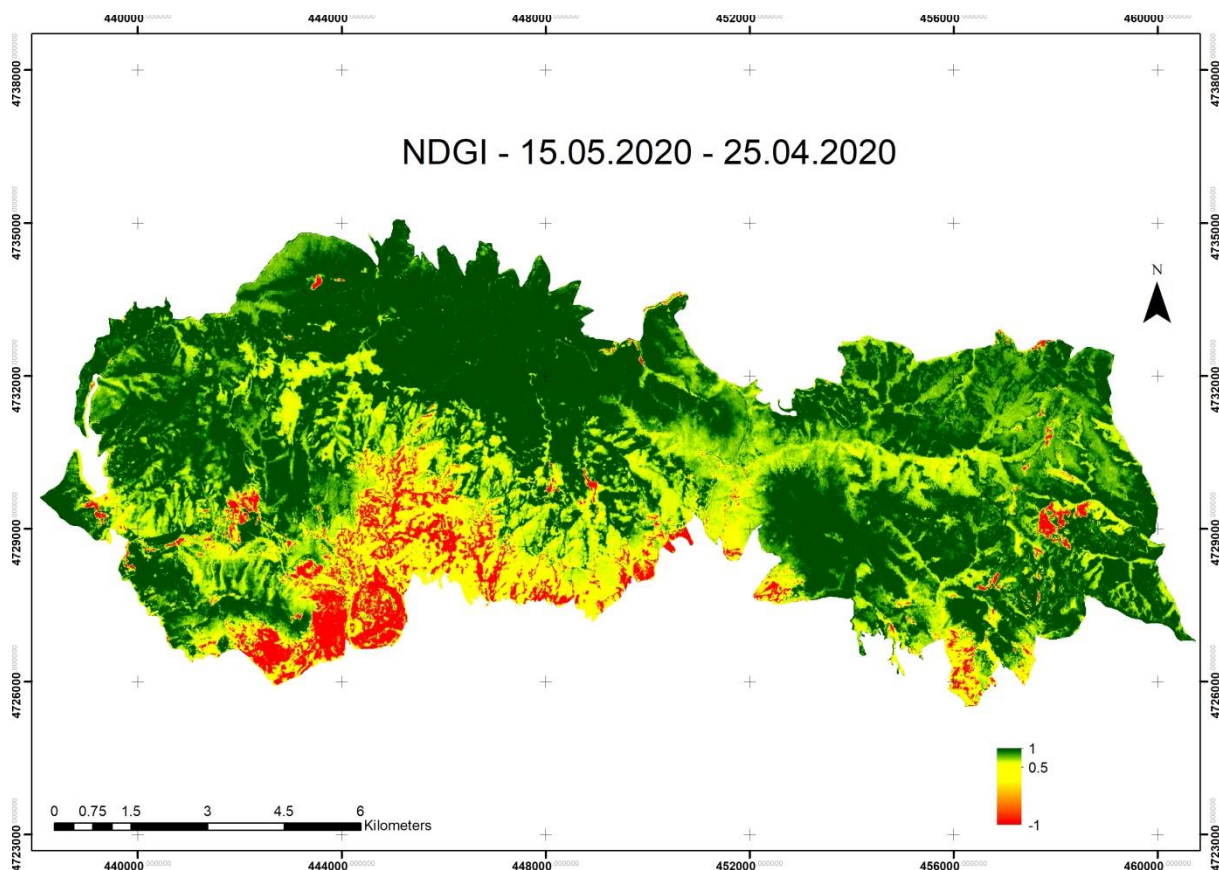
На фиг. 19а и фиг. 20а са представени многоканални изображения, визуализирани в реални цветове от избрания краткосрочен период (20дни) за 2020 г., които служат като референтна рамка за: визуализация на горската покривка; нейното териториално разпределение; извършването на анализ и верификация точността на получените резултати. Времевият период обхваща интервал от късния пролетен сезон, през който ясно проличава прорасналата нова листна маса при надморска височина над 600-700 m към дата 15.05.2020 г. На фиг. 19b и фиг. 20b са представени многоканални изображения от същия времеви период визуализирани в псевдоцветове (обработени в Erdas Imagine) в комбинация на каналите – ИЧ - 8а/Ч - 4/З - 3/. Използваната комбинация позволява разграничаването на иглолистните горски масиви от широколистните, като тяхното териториално разпределение попада в пикселите с тъмно-виолетов черен цвят, което е особено видимо на фиг. 20b. На фиг. 19c и фиг. 20c са представени стойностите на NDVI, и тяхното териториално разпределение,

съпоставени със стойностите на TCT-greenness – фиг. 19d и фиг. 20d. След извършването на визуална интерпретация и сравнителен анализ, стойностите на TCT-greenness показват по-детайлна информация за състоянието и териториалното разпределение на растителността в сравнение със стойностите на NDVI.



Фиг.20. Карти за състоянието на горската растителност от 15.05.2020г., в реални цветове, в псевдокомпонентни цветове, стойности на NDVI и стойности на TCT

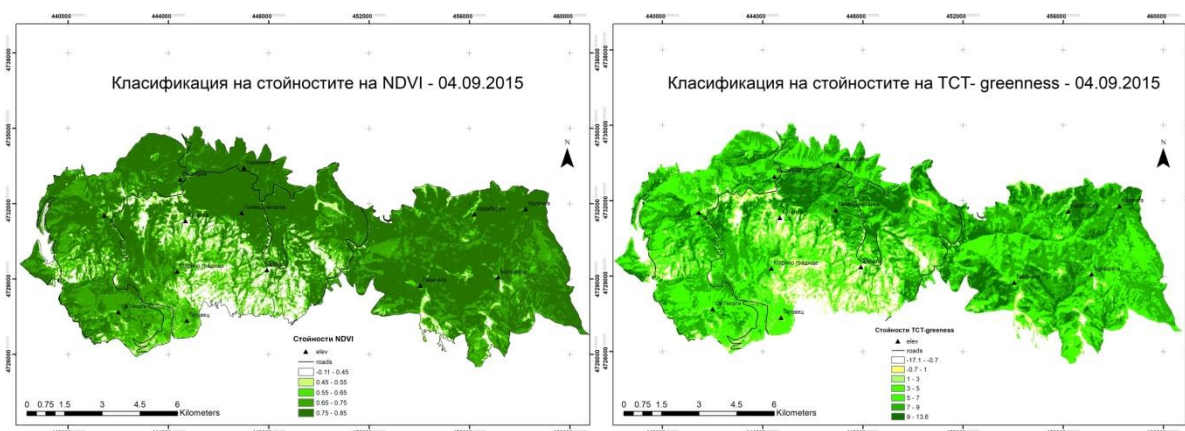
На фиг. 21 са визуализирани стойностите на NDGI и тяхното териториално разпределение, като пикселите в зелен цвят показват прорасналата нова листна маса и растителност, през времеви интервал от 25.04.2020 – 15.05.2020г. При обработването на стойностите от индекса, е зададен праг от 0.5, т.к. след верификацията им с данните от многоканалните изображения в реални цветове, стойностите над 0.5 кореспондират с териториите заети от нова растителност, а пикселите в жълт цвят кореспондират с териториите заети от растителността, която вече е била развита към 25.04.2020 г.



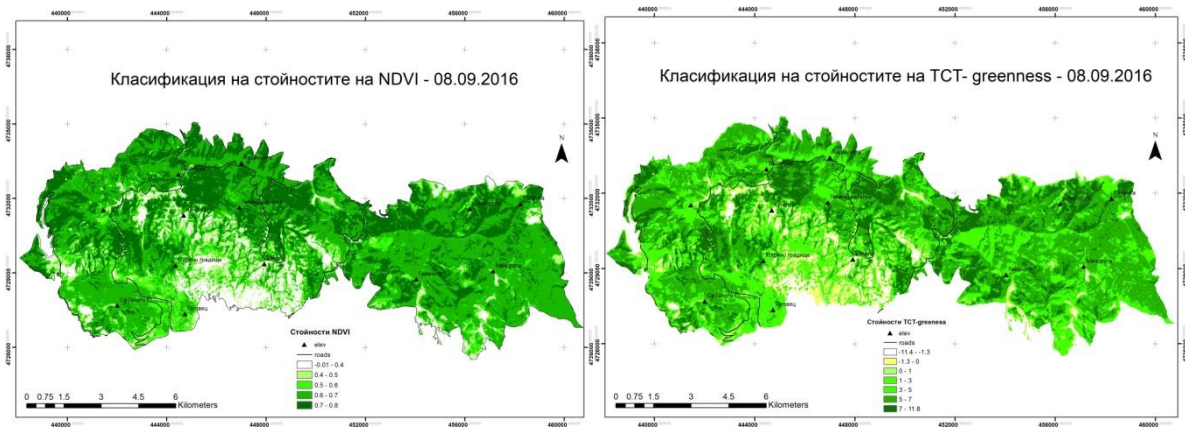
Фиг.21. Карта със стойностите на NDGI за периода 25.04.2020 – 15.05.2020

На фиг. 29, и 30 са представени класифицирани стойностите на NDVI и TCT-*greenness* за годините 2015 и 2016 (в дисертационния труд периода вкл. 7 поредни години (2015-2021), като използваните данни са от края на м. август, и началото на м. септември (с изкл. за 2021 г.). Въпреки, че няма точно дефинирана скала със стойностите на NDVI някои автори [133, 134, 135] определят следните категории: стойности на NDVI от -1 до 0,1, които показват местата заети от водни обекти, скали, голи местности и др.; стойности на $NDVI \geq 0,1 \leq 0,4$ - в тях попадат тревни формации, ниска широколистна или иглолистна, дървесно-храстова растителност, и стойности на $NDVI > 0,4$, които показват места, заети от горски екосистеми (умерени широколистни и смесени гори или тропически влажни гори). В настоящия труд след сравнителен анализ (вкл. хистограмите на всяко едно сателитно изображение) и визуална интерпретация на наличните данни е избрана следната класификация: максималните стойности на NDVI са категоризирани в три различни класа: съответно, с интервал от 1 десетична единица от стойностите на индекса, отнасящи се за територии заети от горска растителност (напр. при $NDVI_{max} = 0,85$, то 3-те класа са: от 0,75 до 0,85; от 0,65 до 0,75, и от 0,55 до 0,65); един клас в обхват от 1 десетична единица (напр. 0,45-0,55), отнасящ се за тревната и храстова растителност; и един клас, в който попадат всички

останали обекти и елементи от земната повърхност (напр. $NDVI < 0,45$). За стойностите на *TCT-greenness* е избрана подобна класификация като са избрани 5 класа с положителните стойности на компонента на *TCT-greenness* с интервал от 2 единици, като в последния клас броя на включените максимални стойности варира от 4 до 7 единици (напр. при $TCT-greenness_{max} = 13,6$, то класовете са: от 9-13,6; 7-9; 5-7; 3-5; 1-3), един клас със стойности < 1 , и един клас с отрицателните стойности (има изключение за изображението от 24.08.2017г.). Използваните класификации на стойностите на *NDVI* и *TCT-greenness* са избрани с цел по-добра и точна визуализация на различните видове растителност и тяхното териториално разпределение от изследвания район.



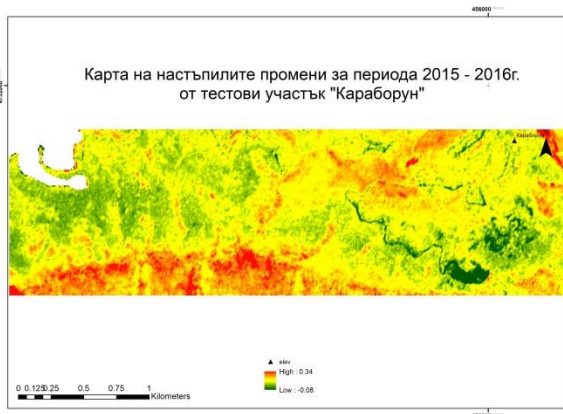
Фиг.29. Карти с класификация на стойности на *NDVI* и *TCT-greenness* от 04.09.2015 г.



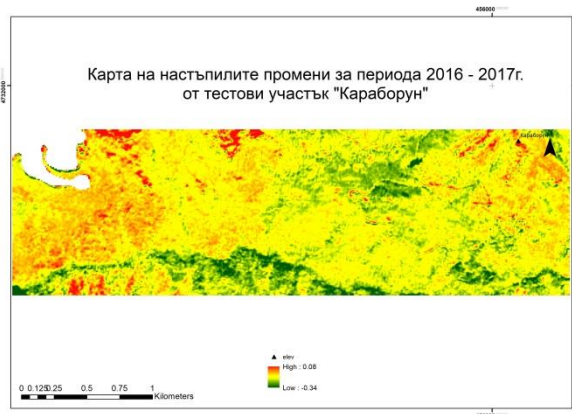
Фиг.30. Карти с класификация на стойности на *NDVI* и *TCT-greenness* от 08.09.2016 г.

На фиг. 36, 37, 38, 39, 40 и 41 са представени, получените резултати за тестови участък „Караборун“, които показват настъпилите позитивни и негативни промени в състоянието и разпределението на горската растителност за всяка отделна година за периода 2015-2021 г. Тестовият полигон е избран, т.к. в обхвата на територията му

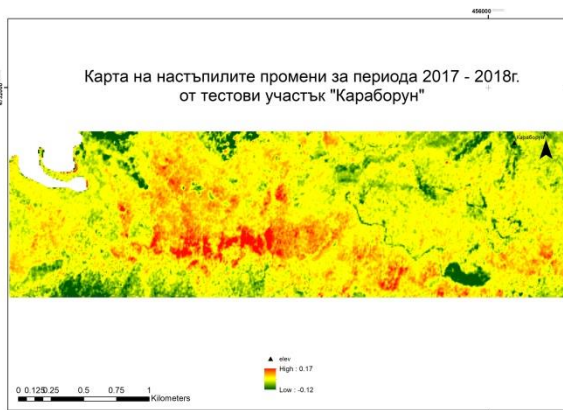
попадат разработена горска сеч от 2014-2015 г. и няколко нови горски просеки и пътища през годините от 2018-2021.



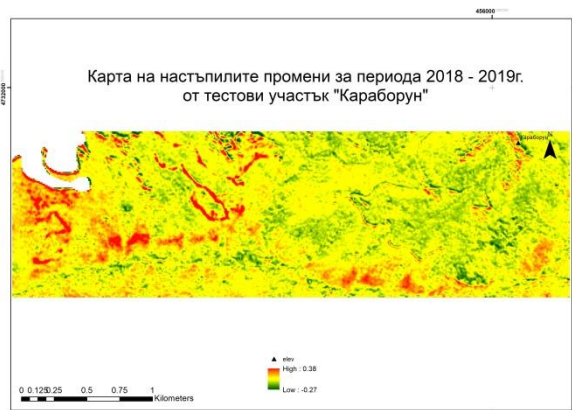
Фиг.36. Карта на промените за 2015-2016г.



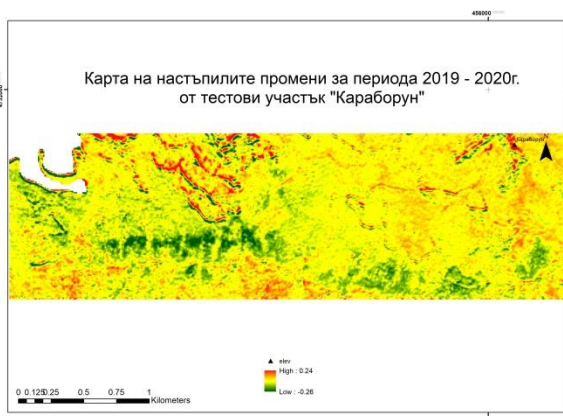
Фиг.37. Карта на промените за 2016-2017г.



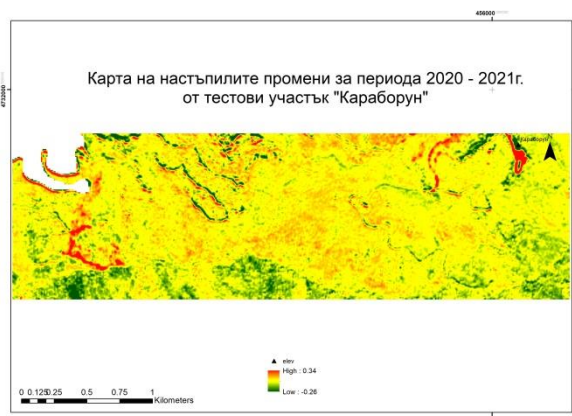
Фиг.38. Карта на промените за 2017-2018 г.



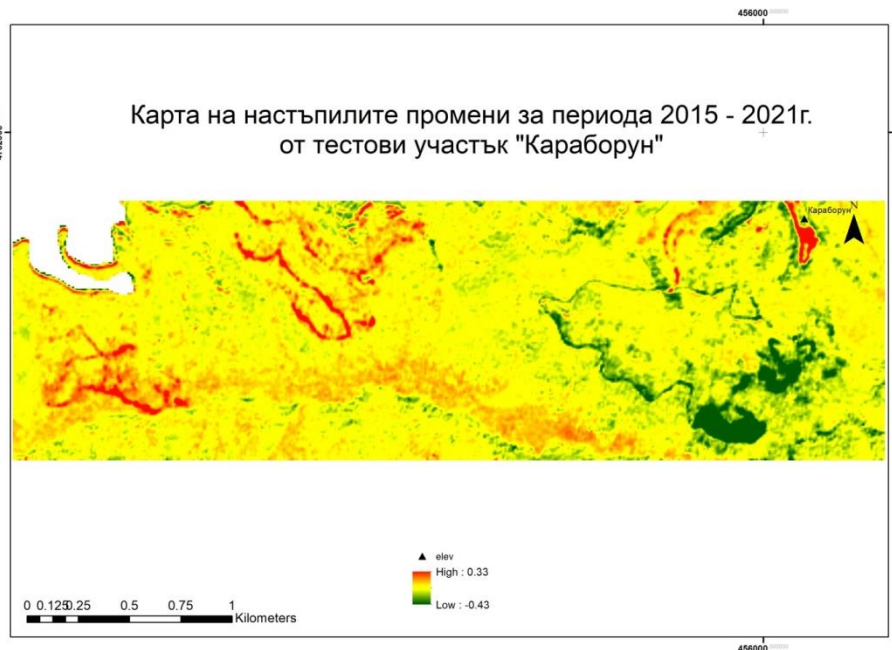
Фиг.39. Карта на промените за 2018-2019 г.



Фиг.40. Карта на промените за 2019-2020 г.



Фиг.41. Карта на промените за 2020-2021 г.



Фиг.42. Карта на настъпилите промени в горската растителност от м. „Караборун“ за периода 2015-2021 г.

На фиг. 42 са представени получените резултати за тестови участък „Караборун“, които показват настъпилите позитивни и негативни промени в състоянието и разпределението на горската растителност за периода от 2015-2021 г. Пикселите в ярко зелен цвят отразяват позитивните промени и възстановителни процеси настъпили в състоянието на горската растителност от територията на сечището и прокарания към него горски път. Пикселите в ярко червен цвят отразяват негативните промени в състоянието на горската растителност, т.е. обезлесените територии от изследвания тестови район. В тях попадат новите горски просеки и пътища прокарани през периода 2018-2021 г., както и едно ново сечище с по-малък обхват в южното подножие на вр. Караборун.

4.2. Получени резултати за териториите засегнати от наводнението на р. Тимок

На фиг. 43а е представено обработено псевдокомполитно изображение от Sentinel-2 от 23.03.2017 г., което показва състоянието на изследваната територия в годината предхождаща наводнението, и служи като референтна точка (изображение) за направения мониторинг и оценка на засегнатите от наводнението територии. На фиг. 44b е представено обработено псевдокомполитно изображение от 02.05.2018 г. (52 дни след настъпване на бедствието), когато количеството вода заляла околните земи вече се

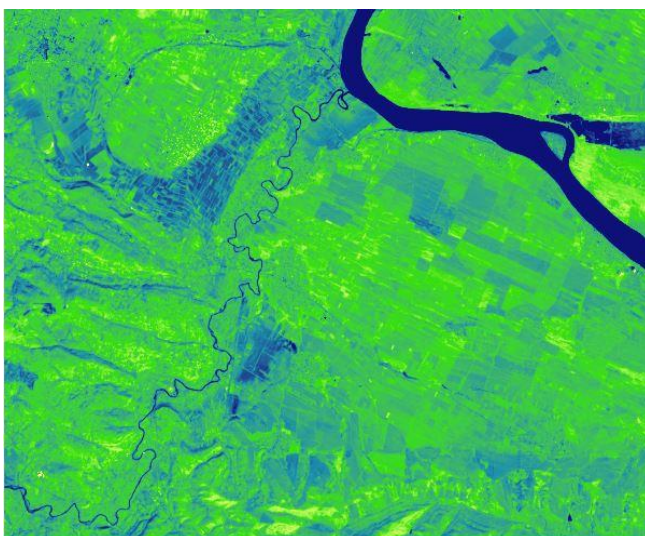
е оттекла и ситуацията в дадения район се е върнала към своето „нормално“ състояние. Използваната комбинация от канали в оптичния диапазон позволява разграничението на териториите заети от водна повърхност от тези заети с растителност.



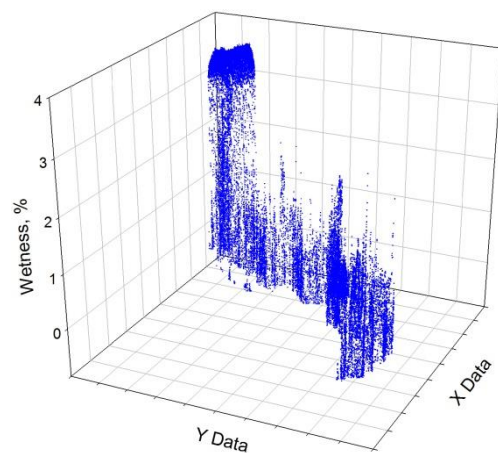
а) Композитно изображение канали 8-12-4 от 23.03.2017 б) Композитно изображение канали 8-12-4 от 02.05.2018

Фиг.43. Обработени оптични изображения от първа и последна времева точка.

Обработеното изображение на компонента TCT-*wetness*, от 23.03.2017 г., представено на фиг. 44а, и 3D графиката на неговото пространствено разпределение (фиг. 44б) показват количествените стойности на водния компонент (в син цвят) за изследвания район.



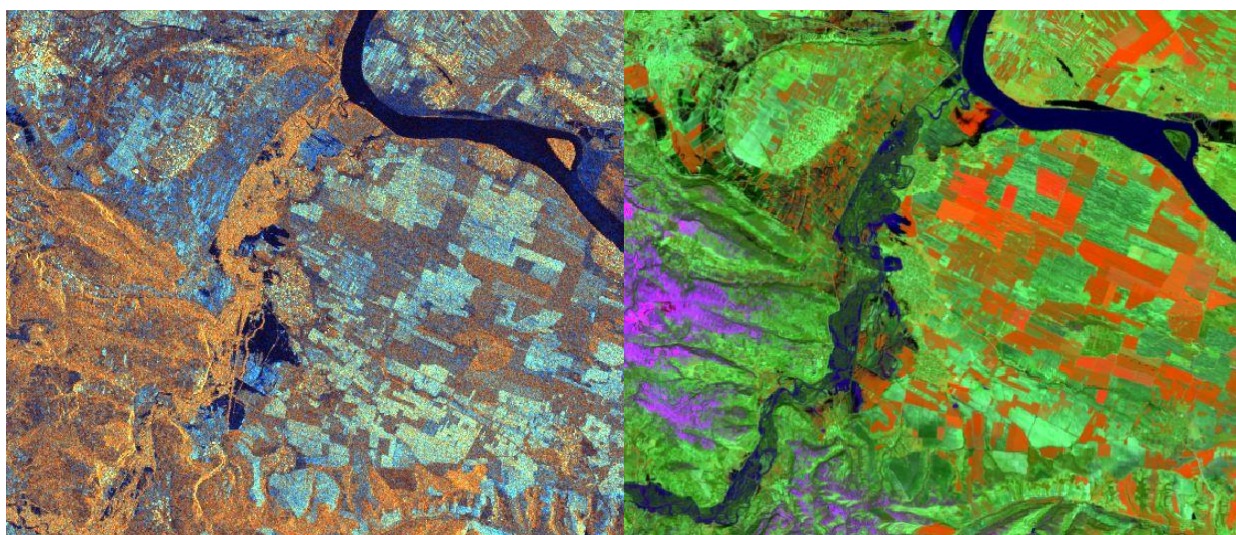
а) изображение на TCT-*wetness* от 23.03.2017



б) 3D графика на TCT- *wetness* от 23.03.2017

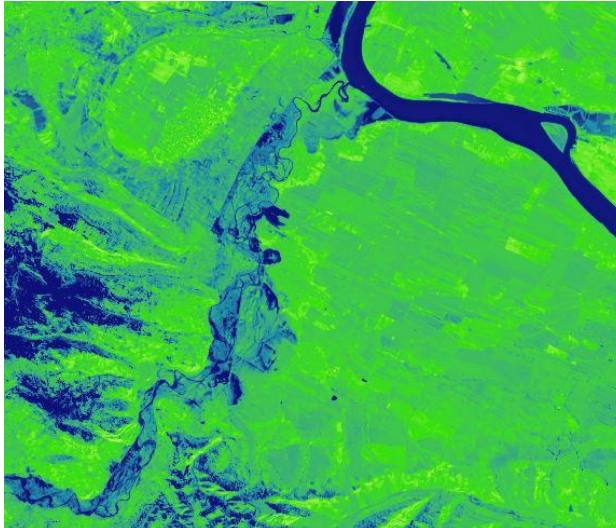
Фиг. 44. TCT- *wetness* и неговата 3D графика от 23.03.2017

На фиг. 45а е представено обработено, радарно, сателитно изображение от 12.03.2018 (един ден след наводнението) за да се определи, териториалния обхват на териториите засегнати от бедствието. Залетите територии по поречието на р. Тимок са ясно видими и разграничими в радарното изображение и съвпадат с тези от първото, най-близко по време до датата на наводнението, безоблачно оптично изображение от инструмента MSI-30.03.2018 г. (фиг. 45b). Въпреки разликата от 18 дни между двете изображения, ясно се вижда, че засегнатите територии са все още наводнени. След направения сравнителен анализ между последната графика (фиг.44b) и тази от референтната точка (23.03.2017 г.) се констатира огромно нарастване на стойностите на компонента TCT-*wetness*, което е пряко следствие на случилото се природно бедствие.

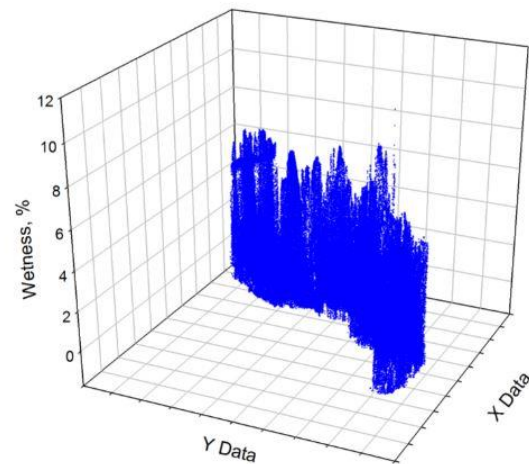


а) SAR-псевдокомполитно радарно изображение с поляризации: vh-vv-vv/vh от 12.03.2018

б) Композитно изображение канали 8-12-4 от 30.03.2018



с) изображение на TCT-wetness от 30.03.2018



д) 3D графика на TCT-wetness от 30.03.2018

Фиг. 45. Радарно изображение от 12.03.2018, псевдокомполитно изображение от 30.03.2018, TCT-wetness и 3D графика на TCT-wetness от 30.03.2018

На фиг. 48а, 48b са представени получените стойности от генериранят NDGI индекс за 2 избрани времеви периода: **първият** период включва 2 времеви точки, като първата е от годината предхождаща наводнението, служеща като референтна точка (23.03.2017), а втората представя териториите по поречието на реката, които са се върнали приблизително до своето „нормално“ състояние (02.05.2018); **вторият** период обхваща интервала от 30.03.2018-02.05.2018 г. и е представителен за времето, през което водите залели крайбрежните територии са се оттекли. Получените стойности на NDGI за втория избран период (30.03.2018-02.05.2018) отразяват състоянието и развитието на растителността, като пикселите с ярко зелен цвят отразяват местата, където вегетацията на растителността е била най-интензивна през дадения период.



а) NDGI-23.03.2017 – 02.05.2018

а) NDGI-02.05.2018 – 30.03.2018

Фиг. 48. NDGI за периодите 23.03.2017 – 02.05.2018г. и 30.03.2018 – 02.05.2018г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на получените резултати чрез приложения комбинативен подход за обработка на сателитни изображения от оптичния и микровълновия диапазон на електро-магнитния спектър, и генерираните компоненти на ТСТ- *яркост, зеленост и мокрост*, се дава възможността да се направят някои заключения за настъпилите промени на компонентите от земната повърхност, за избраните територии на изследване. Приложената методология в настоящия труд и получените резултати дават възможност да се извърши оценка, анализ и мониторинг на горската растителност, и съответно, проследяване на нейната динамика на територията от ПП „Сините Камъни“. Приложената методология може да бъде интегрирана при решаването на редица задачи и въпроси свързани с управлението и мониторинга на горските ресурси, инвентаризацията на горите, тяхната защита и тяхното екологично опазване за бъдещи поколения.

Използваният комплексен подход за обработка на сателитни данни от инструментите SAR и MSI, генериране на компонентите на ТСТ- *яркост, зеленост и мокрост* и получените резултати позволяват извършването на мониторинг, количествена оценка и определяне териториалния обхват на наводнението на р. Тимок, както и направата на оценка на негативните последствия, настъпили в дадения район върху компонентите на околната среда, както и проследяване оттока на придошлите води за избрания времеви период. Приложеният комплексен подход може да бъде използван като помощно средство, съответно от институциите и ведомствата, свързани с управление и мониторинг на води, и превенция и защита, от природни бедствия.

Приноси на дисертационния труд

1. Разработена е методика на база ортогонализирани спектрални спътникови данни за изследване и мониторинг динамиката на горски екосистеми.

2. Въведена е класификация на стойностите на компонента TCT-*greenness*, за нуждите на горския мониторинг.

3. Разработена е интегрирана методика за изследване на пространствено и времево разпределение на наводнени територии на база оптични и SAR спътникови данни.

4. Въведени са за първи път в литературата наименованията на компонентите TCT-*greenness*, TCT-*wetness*, на български език съответно, *зеленост* и *мокрост*.

Публикации на автора свързани с дисертационния труд

1. **Стоянов, А.** APPLICATION OF TASSELED CAP TRANSFORMATION OF SENTINEL 2 – MSI DATA FOR FOREST MONITORING ON TERRITORY OF NATRURAL PARK “BLUE STONES”. Proceedings SES'2021, Space Research and Technology Institute Bulgarian Academy of Sciences, 2021, ISSN:2603 – 3313, 224-229.

2. **Spasova, T., Nedkov, R., Dancheva, A., Stoyanov, A., Ivanova, I., Georgiev, N.** Seasonal assessment of the dynamics of sea ice based on aerospace data on Livingston Island, New Shetland Islands in Antarctica and Longyearbyen in the Arctic. Proc. SPIE 11524, Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020), 115240, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2020, ISSN:0277-786X, DOI:<https://doi.org/10.1117/12.2570829>, SJR (Scopus):0.215.

3. **Stoyanov, A., Borisova, D., Radeva, K.** Application of SAR and optical data from Sentinel satellites for spatial-temporal analysis of the flood in the region of Bregovo-Bulgaria, 11/03/2018. Proc. SPIE 10783, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX, 10783, SPIE, 2018, ISSN:0277-786X, DOI:10.1117/12.2325773, 107831K-1-107831K-7. SJR:0.234

4. **Stoyanov, A., Borisova, D.** Monitoring on forest ecosystems by using space-temporal analysis of different types aerospace data. Ecological Engineering and Environment Protection, 2, 2017, ISSN:1311-8668, 31-37

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

3. www.mzh.government.bg/bg/politiki-i-programi/politiki-i-strategii/nacionalna-strategiya-za-razvitie-na-gorskiya-sektor-v-republika/.
4. Lacerda Silva, A.; Salas Alves, D.; Pinheiro Ferreira, M. Landsat-Based Land Use Change Assessment in the Brazilian Atlantic Forest: Forest Transition and Sugarcane Expansion. *Remote Sens.* 2018, 10, 996. <https://doi.org/10.3390/rs10070996>.
5. Elhag, Mohamed, Boteva, Silevna and Al-Amri, Nassir. "Forest cover assessment using remote-sensing techniques in Crete Island, Greece" *Open Geosciences*, vol. 13, no. 1, 2021, pp. 345-358. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-023>.
6. https://ec.europa.eu/environment/forests/pdf/report_monitoring_forests_through_remote_sensing.pdf.
7. Fisher, J.R.B., Acosta, E.A., Dennedy-Frank, P.J., Kroeger, T. and Boucher, T.M. (2018), Impact of satellite imagery spatial resolution on land use classification accuracy and modeled water quality. *Remote Sens Ecol Conserv*, 4: 137-149. <https://doi.org/10.1002/rse2.61>.
8. Li, J.; Pei, Y.; Zhao, S.; Xiao, R.; Sang, X.; Zhang, C. A Review of Remote Sensing for Environmental Monitoring in China. *Remote Sens.* 2020, 12, 1130. doi.org/10.3390/rs12071130.
10. Jensen, J. R., 2005, *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Upper Saddle River: Prentice-Hall, 325 p., ISBN-13: 978-0131453616.
12. IPCC, 2007. *Climate Change 2007; Synthesis Report (Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)*. Cambridge University Press, Cambridge.
13. <https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-data-strategy>.
14. Danson, F. M., 1998, "Teaching the Physical Principles of Vegetation Canopy Reflectance Using the SAIL Model," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 64(8): 8010–8012.

15. UN ISDR (2011). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction Revealing Risk, Redefining Development. International Strategy for Disaster Reduction. Geneva, Switzerland: United Nations.
16. Beniston, M.; Farinotti, D.; Stoffel, M.; Andreassen, L.M.; Coppola, E.; Eckert, N.; Fantini, A.; Giacona, F.; Hauck, C.; Huss, M. The European mountain cryosphere: A review of its current state, trends, and future challenges. *Cryosphere* 2018, 12, 759–794. doi.org/10.5194/tc-12-759-2018.
17. Brown, R.D.; Robinson, D.A. Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty. *Cryosphere* 2011, 5, 219–229. doi.org/10.5194/tc-5-219-2011, 2011.
18. Cretaux, J. F., Abarca-del-Rio, R., Berge-Nguyen, M., Arsen, A., Drolon, V., Clos, G., & Maisongrande, P., 2016. Lake Volume Monitoring from Space. *Surveys in Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s10712-016-9362-6>.
23. Yarbrough Lance D, 2006, Thesis for: PhD, “The Legacy of the Tasseled Cap Transform: A Development of a More Robust Kauth-Thomas Transform Derivation”, The University of Mississippi.
24. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>
25. Dimitrov, P., Kamenova, I., Roumenina, E., Filchev, L., Ilieva, I., Jelev, G., Gikov, A., Banov, M., Krasteva, V., Kolchakov, V., Kercheva, M., Dimitrov. E., & Miteva. N., “Estimation of biophysical and biochemical variables of winter wheat through Sentinel-2 vegetation indices,” *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(5): 819–832(2019).
26. Avetisyan, D.; Borisova, D.; Velizarova, E. Integrated Evaluation of Vegetation Drought Stress through Satellite Remote Sensing. *Forests* 2021, 12, 974. <https://doi.org/10.3390/f12080974>.
27. Stankova N., Nedkov R., Ivanova I., Avetisyan D., Modeling of forest ecosystems recovery after fire based on orthogonalization of multispectral satellite data. *Proc. SPIE 10790, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications IX, 10790, SPIE, 2018, DOI:10.1117/12.2325643, 107901R-1-107901R-7. SJR:0.234.*
36. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1>

37. Avetisyan D., Nedkov R., Velizarova E., Borisova D, (2017). SAR and optical data in land degradation processes estimation: a case study from Southeast Bulgaria. *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VIII*, edited by Ulrich Michel, Karsten Schulz *Proc. of SPIE Vol. 10428, 104281D*, doi: 10.1117/12.2277945.
38. Avetisyan D, Velizarova E., Nedkov R. (2017), Tracing Dynamics of Relative Volumetric Soil Moisture Content Using SAR Data. *Fifth International Conf. on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2017)*, Kyriacos Themistocleous, Silas Michaelides, Giorgos Papadavid, Vincent Ambrosia, Gunter Schreier, Diofantos G. Hadjimitsis, Eds., *Proc. of SPIE Vol. 10444, 1044410*, doi: 10.1117/12.2277506.
39. Stankova N, Nedkov R, Ivanova I, Avetisyan D. (2017), Integration of Multispectral and SAR Data for Monitoring Forest Ecosystems Recovery After Fire. *Fifth International Conf. on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2017)*, Kyriacos Themistocleous, Silas Michaelides, Giorgos Papadavid, Vincent Ambrosia, Gunter Schreier, Diofantos G. Hadjimitsis, Eds., *Proc. of SPIE Vol. 10444, 104441J*, <https://doi.org/10.1117/12.2277313>.
46. <https://www.nrcan.gc.ca/tutorial-radar-polarimetry/polarization-radar-systems>
47. <https://asf.alaska.edu/information/sar-information/what-is-sar/>
55. Pricope, N. G., Husak, G., Lopez-Carr, D., Funk, C., & Michaelsen, J. 2013. The climate-population nexus in the East African Horn: Emerging degradation trends in rangeland and pastoral livelihood zones. *Global Environmental Change*, 23(6), 1525–1541. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.10.002>.
69. Kauth, R.J., & Thomas, G.S., 1976. Tasselled Cap – A graphic description of the spactral-temporal developement of agricultural crops as seen by Landsat. In, *Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data* (pp. 41–51). West Lafayette, IN, USA: NTC Conference Record – National Telecommunications Conference.
70. Jackson R. D., 1983, “Spectral indices in *n*-space”, *Remote Sensing of environment*, v.13, no.5, pp 409-421, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(83\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(83)90010-X).
71. Jackson, R.D., Slater, P.N., & Pinter, P.J. (1983). Adjusting the Tasselled-Cap brightness and greenness factors for atmospheric path radiance and absorption on a pixel by pixel basis. *International Journal of Remote Sensing*,4, 313–323.

72. Crist, E.P., & Cicone, R.C., 1984b. A physically-based transformation of Thematic Mapper data - the TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 22, 256–263.
73. Crist, E.P., & Cicone, R.C. (1984c). Comparisons of the dimensionality and features of simulated Landsat-4 MSS and TM data. *Remote Sensing of Environment*, 14, 235–246.
74. Crist, E.P., Laurin, R., & Cicone, R.C. (1986). Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data. In, *IGARSS '86: Remote Sensing, Today's Solutions for Tomorrow's Information Needs* (pp. 1465–1470). Zurich, Switz: ESA Publ Div (ESA SP-254), Noordwijk, NL.
75. Huang, C., Wylie, B., Yang, L., Homer, C., & Zylstra, G. (2002). Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 1741–1748.
76. Zhang, X., Schaaf, C.B., Friedl, M.A., Strahler, A.H., Gao, F., & Hodges, J.C.F. 2002. MODIS tasseled cap transformation and its utility. In, *2002 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 1063–1065). Toronto, Ont., Canada: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
77. Zhang, X., Schaaf, C.B., Friedl, M.A., Strahler, A.H., Gao, F., & Hodges, J.C.F. 2002. MODIS tasseled cap transformation and its utility. In: *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'02)*, Toronto, Canada, 24-28.
78. Crist E. P., Cicone R. C., 2003, A Physically-based Transformation of Thematic Mapper Data – The TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions*, 41, Horne, J.H. A Tasseled Cap Transform for IKONOS Images. In: *ASPRS Annual Conference Proceedings*, Anchorage, Alaska.
79. Yarborough L.D., G. Easson, J.S. Kuzmaul, 2005, Quickbird 2 Tasseled Cap Transform coefficients: A Comparison of derivation methods, Pecora 16 “Global Priorities in Land Remote Sensing”, October 23-27, Sioux Falls, South Dakota.
80. Yarborough L.D., G. Easson, J.S. Kuzmaul, 2005 Using At-sensor Radiance and Reflectance Tasseled Cap Transforms applied to Change detection for the ASTER Sensor (Eds, R.L. King and N.H. Younan), In: *Proceedings of the third International Workshop on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images*, 16-18 May, Beau Rivage and Casino, Biloxi, Mississippi, USA.

81. Ivits E., A. Lamb, F. Langar, S. Hemphill, B. Koch, 2008, Orthogonal Transformation of Segmented SPOTS images: seasonal and geographical dependence of the tasseled cap parameters, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74(11), 1351–1364.
82. Nedkov, Roumen, 2017, Orthogonal Transformation of Segmented Images from the Satellite Sentinel-2. *Comptes rendus de l'Acad'emie bulgare des Sciences*, 70, 5, Prof.Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Scinces, ISSN:1310–1331, 687–692.
91. J. W. Rouse Jr., R. Haas, J. Schell, and D. Deering, “Monitoring vegetation systems in the great plains with erts,” *NASA Special Publication 351*, 309, 1974.
92. C. F. Jordan, “Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor,” *Ecology*, 50(4): 663–666, 1969.
93. Pearson, R. L., & Miller, L. D. 1972. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie. *Remote sensing of environment*, VIII, 1355.
94. Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J., & Dextraze, L. 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote sensing of environment*, 81(2-3): 416–426.
99. Jackson, Ray D., Alfredo R., Huete, Interpreting vegetation indices, *Preventive Veterinary Medicine*, Volume 11, Issues 3–4, 1991, Pages 185-200, ISSN 0167-5877, [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(05\)80004-2](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(05)80004-2).
102. ДПП „Сините Камъни“, <http://dppsk.org>.
103. Николов, В., Йорданова, М., Ботева, И., 2018. „Планините в България“, Акад.изд.“Проф. М. Дринов”, НИГТГ, София, четв.изд., стр. 109, ISBN: 978-854-322-946-8.
104. Стоева, М., (ред.), 2004. Биологично разнообразие в Природен парк „Сините Камъни“, Стара Загора.
106. Jensen, J. R., 2005, *Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective Second Edition*, pp. 358-362; p. 417–424.

107. Gausmann, H. W., Allen, W. A. and R. Cardenas, 1969, "Reflectance of Cotton Leaves and their Structure," *Remote Sensing of Environment*, 1: 110–122.
109. Carter, G. A., 1991, "Primary and Secondary Effects of the Water Content on the Spectral Reflectance of Leaves," *American Journal of Botany*, 78(7): 916–924.
110. Carter, G. A., 1993, "Responses of Leaf Spectral Reflectance to Plant Stress," *American Journal of Botany*, 80(3): 2310–2343.
111. Carter, G. A., Cibula, W. G. and R. L. Miller, 1996, "Narrowband Reflectance Imagery Compared with Thermal Imagery for Early Detection of Plant Stress," *Journal of Plant Physiology*, 148: 515–522.
112. Kroger, S. and R. J. Law, 2005, "Sensing the Sea," *Trends in Biotechnology*, 23(5): 250–256.
113. Bukata, R. P., J. H. Jerome, K. Y. Kondratyev and D. V. Pozdnyakov, 1995, *Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters*, NY: CRC, 362 p.
119. Clark, R. N., 1999, "Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy," in *Manual of Remote Sensing – Geosciences*, A. Rencz (Ed.), NY: John Wiley.
121. https://itu.bg/images/files/file/Fakulteti/ELA/Doctoranti/Aftoreferati/Aftoreferat_Kuzmanova.pdf, стр.14-27.
122. <http://www.gisagmaps.com/landsat-8-sentinel-2-bands/>.
123. Nedkov R., 2017, Normalized Differential Greenness Index for Vegetation Dynamics Assessment. *Comptes rendus de l'Acad'emie bulgare des Sciences*, 70, 8, Prof.Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2017, ISSN:1310–1331, 1143-1146.
124. Stankova N., Nedkov R., 2015, Monitoring forest regrowth with different burn severity using aerial and Landsat data, In: *Geoscience and remote Sensing Symposium (IGARSS)*, IEEE International, 26-31 July 2015, 2166-2169, doi: 10.1109/IGARSS.2015.7326233.
125. Stankova N., Nedkov R., 2016, Research Model of monitoring the recovery of an ecosystem after fire based on satellite and GPS data, *Ecol. Engin. Env. Protection*, 1: 5-11.

126. Nedkov R., Spasova T., Gotchev D. A Discriminative Approach Based on Aerospace Multispectral Bands Data in Monitoring of Snow Cover and Water. *Ecological engineering and environment protection*, 2, 2016, pp. 55–61 ISSN:1311-8668.
127. Nedkov R., Gotchev D., Spasova T., Zaharinova M. A Discriminative The Skopje Floods On August 2016 - Satellite Data based Analysis. *Ecological engineering and environment protection*, 3, 2016, pp. 52-55. ISSN:1311-8668.
128. Станкова, Н., „Използване на дистанционни аерокосмически методи и данни за изследване на последствията и състоянието на горски екосистеми след пожар“. ИКИТ-БАН. София 2017, стр. 38-39.
129. Avetisyan, D., Nedkov, R., 2018, “Modification in landscape horizontal structure, induced by changing environmental conditions: a case study of Haskovo region (Southeastern Bulgaria)”, *Proc. SPIE 10790, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications IX*, 107901K (9 October 2018); doi: 10.1117/12.2325398, p. 7.
130. Daniela Avetisyan, Roumen Nedkov, “Monitoring the dynamics of phenological development of winter wheat using orthogonalization of multispectral satellite data”, *Proc. SPIE 11528, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXII*, 115280Y (20 September 2020); doi: 10.1117/12.2573274.
131. Roumen Nedkov, Emiliya Velizarova, Daniela Avetisyan, Nikolay Georgiev, “Assessment of forest vegetation state through remote sensing in response to fire impact,” *Proc. SPIE 11524, Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020)*, 115240Q (26 August 2020); doi: 10.1117/12.2570808.
132. Emiliya Velizarova, Roumen Nedkov, Daniela Avetisyan, Kameliya Radeva, Andrey Stoyanov, Nikolai Georgiev, Iliyana Gigova.(2019) Application of remote sensing techniques for monitoring of the climatic parameters in forest fire vulnerable regions in Bulgaria. *Proc. SPIE 11174, Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019)*, 111741E (27 June 2019); doi: 10.1117/12.2533656.
133. R.B. Myneni, F.G. Hall, P.J. Sellers and A.L. Marshak, Interpretation of Spectral Vegetation Indexes, *IEEE Trans.Geosci.Remote Sens.* 33 (1995), pp. 481-486.
134. T.M. Lillesand, R.W. Kiefer and J.W. Chipman, *Remote Sensing and Image Interpretation.*, John Wiley & Sons Ltd, 2004.

135. [https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation#:~:text=The%20most%20common%20measurement%20is,rainforests%20\(0.6%20to%200.8\).](https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation#:~:text=The%20most%20common%20measurement%20is,rainforests%20(0.6%20to%200.8).)