



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

София 1113, ул. „Акад. Георги Бончев“ бл. 1, тел./факс +359 2 988 35 03, e-mail: office@space.bas.bg

ТЕМЕНУЖКА ГЕОРГИЕВА СПАСОВА

ДИФЕРЕНЦИРАН ПОДХОД ПРИ МОНИТОРИНГ НА НАВОДНЕНИ ПЛОЩИ, ПОВЪРХНОСТНИ ВОДНИ ОБЕКТИ И МОКРА СНЕЖНА ПОКРИВКА НА БАЗА ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ И ГИС

АВТОРЕФЕРАТ

За получаване на образователна и научна степен

„Доктор“

В областта на висшето образование: 4. „Природни науки, математика и информатика“

Професионално направление 4.4. „Науки за Земята“

Научна специалност „Дистанционни изследвания на Земята и планетите“

Научен ръководител:

проф. д-р инж. Румен Недков

София

2019

СЪДЪРЖАНИЕ

СПИСЪК НА СЪКРАЩЕНИЯТА	3
ВЪВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА I. ОБЗОР НА ПРОБЛЕМИТЕ, СВЪРЗАНИ С ИЗУЧАВАНЕТО НА НАВОДНЕНИ ПЛОЩИ, ВОДНИ ТЕЛА И МОКРА СНЕЖНА ПОКРИВКА НА БАЗА АЕРОКОСМИЧЕСКИ МЕТОДИ, СПЪТНИКОВИ ДАННИ И ГИС	7
1.1. Актуалност на проблема	7
1.2. Литературен обзор	9
1.2.1. Същност и използване на оптични данни от Sentinel -2	11
1.2.2 Същност и използване на SAR	12
ГЛАВА II. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ	13
2.1. Обект и предмет на изследването	13
2.2. Цел и задачи на дисертационния труд	13
ГЛАВА III. МЕТОДИКА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАВОДНЕНИ ПЛОЩИ, ПОВЪРХНОСТНИ ВОДНИ ТЕЛА И МОКРА (КРАТКОТРАЙНА) СНЕЖНА ПОКРИВКА	14
3.1. Описание на структурата на методиката за изследване на наводнени площи, повърхностни водни тела и мокра (краткотрайна) снежна покривка на базата на спътникови данни от различни спектрални диапазони	14
3.2. Описание на методиката за конкретните примери	16
3.2.1. Пример 1	16
3.2.1.1. Избор на спътникови данни	16
3.2.1.2. Методика	18
3.2.1.3. Индекси и индикатори	19
3.2.2. Пример 2	20
3.2.2.1. Избор на спътникови данни	21

3.2.2.2. Методика	22
3.2.3. Пример 3	23
3.2.3. 1. Избор на спътникови данни	24
3.2.3.2. Методика	25
3.2.4. Пример 4	26
3.2.4.1. Избор на спътникови данни	27
3.2.4.2. Методика	28
3.2.5. Пример 5	30
3.2.5.1. Избор на спътникови данни	30
3.2.5.2 Методика	31
ГЛАВА IV. АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ	33
4.1. Анализ на резултатите от пример 1	33
4.2. Анализ на резултатите от пример 2	39
4.3. Анализ на резултатите от пример 3	42
4.4. Анализ на резултатите от пример 4	47
4.5. Анализ на резултатите от пример 5	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
Приноси на дисертационния труд	57
Публикации на автора, свързани с дисертационния труд	57
Приложение 7	58
БИБЛИОГРАФИЯ	58

СПИСЪК НА СЪКРАЩЕНИЯ

Съкращения на кирилица

ГИС	Географски информационни системи
ДМ	Дистанционни методи
ЕМС	Електромагнитен спектър
ЕС	Европейски Съюз
ИЧ	Инфрачервен
СВЧ	Свръх високо честотен диапазон
СКО	Спектрален коефициент на отражение

Съкращения на английски

ANVIR	Advanced Visible and Near Infrared Radiometer
AOI	Area of interes
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
B	B band
BAI	Bulgarian Antarctic Institute
DTM	DIGITAL TERRAIN MODEL
DEM	DIGITAL ELEVATION MODEL
ESA	European Space Agency
EOS	Earth Observing System
ERTS-1	Earth Resource Thematic Satelite
GPS	Global Position System
GSD	Ground Sample Distance
G	Green band

LIDAR	Light Identification Detection And Ranging
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectrum Radiometer
MSI	Multi-Spectral Instrument
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBMI	Normalized radar Backscatter soil Moisture Index
NIR	Near Infrared
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
R	Red Band
Radar	RADio Detection And Ranging
SAR	Syntetic Apperture Radar
SWE	Snow Water Equivalence
SPOT	Satellite Pour l' Observation de la Terre
SWIR	Shortwave Infrared
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIR	Thermal Infrared
TM	Thematic mapper
TCT	Tasseled Cap Transformation
USGS	U. S. Geological Survey
USGS-EROS Center	U.S. Geological Survey – Earth Resources Observation and Science
UTM	Universal Transverse Mercator
VIS	Visible

W **Wetness**

WGS **World Geodetic System**

Съкращения на латиница

dB **децибел**

DTM **Цифров модел на терена**

DEM **Цифров модел на релефа**

GPS **Спътникова система за глобално позициониране**

HH **хоризонтална поляризация**

INSAR **SAR-интерферометрия**

IR **инфрачервен**

MIR **Среден инфрачервен**

Q **цифрова стойност на отразения радарен сигнал**

SAR **Радар със синтезирана апертура**

SD **Снежна дълбочина**

UT **универсално време (по Greenwich)**

VH **вертикално-хоризонтална поляризация**

VV **вертикална поляризация**

ВЪВЕДЕНИЕ

Същност на изследваните явления наводнения, повърхностни водни обекти, снежна покривка и мокра снежна покривка

Наводненията са резултат от излишък на оттичане, който може да се увеличи или намали в зависимост от различните фактори като интензивност на валежите, снеготопене, тип на почвата, условия на влага в почвата, земеползването и земното покритие. Отклонението от селските и градските райони като цяло е отговор на излишна вода след процесите на инфилтрация и евапотранспирация [1].

Наводненията са най-често срещаните природни бедствия, както в световен мащаб, така и в България; най-чести са наводненията от дъждовно-речен тип. От всички екологични катастрофи, наводненията са най-добре проучени и познати на човека [4].

Най-често стават наводнения от т.нар. дъждовно-речен тип. Следват ги вторият тип наводнения, причинени от бързото покачване на нивото на моретата и океаните като следствие от урагани, цунами и изключително високи океански приливи, както и рязко потъване на части от сушата. По-рядко стават наводнения, причинени от стопяване на снегове, от задръствания на речни корита при ледоход, от стопяване на ледове, от разрушаване на язовирни стени, от недостатъчна пропускателна способност или други аварии на хидротехнически съоръжения и т.н. В много случаи се наблюдава комбинирано въздействие на изброените фактори, единият от които почти винаги са проливните дъждове – например бързо топене на снегове и проливни дъждове, високи океански приливи и проливни дъждове и т.н [5,6].

Снегът, натрупан върху земната повърхнина като снежна покривка, представлява важен фактор за формиране на топлинния режим на почвата и въздуха. Той крие в себе си и значителни запаси влага. При стопяването му те играят важна роля в овлажняването на почвата, а тези факти определят вида и броя на метеорологичните наблюдения на снежната покривка [7].

Опасността от наводнение зависи не толкова от дебелината на снежната покривка, т.е от количеството на снега, колкото от скоростта и времетраенето на топенето му. Тези два параметъра варират в доста широки граници [7].

Дистанционните аерокосмически изследвания са изключително мощно и ефикасно средство за изучаване на големи наводнени територии. Особено важно значение имат експресността и оперативността на тези изследвания, даващи възможност за получаване на информацията и съответното реагиране за минимално време [5].

Снегът притежава свойства, характерни както за течностите, така и за твърдите тела. Едно най-общо феноменологично класифициране на снега го разделя на нов и стар

сняг. От своя страна новият може да бъде сух, мокър, суграшица, повърхностен скреж и т.н. Старият сняг също има редица разновидности – ситнозърнест, едрозърнест, снежна кора, фирн, набит или пресован сняг. Всички тези разновидности на снега имат различни, а в някои случаи много различни физични параметри. Например масата на 1 m³ сух сняг е около 60 kg, а на същия обем фирн – до 800 kg [6].

Снежната покривка е много динамична – метаморфозите ѝ са непрекъснат процес, продължаващ през целия ѝ „живот“ – от падането на снега до стопяването му. Физичните процеси, причина за тези изменения, са доста сложни, а и не всички са напълно изяснени засега [6].

Според NSIDC (National Snow and Ice Data Center) за краткотраен сняг или мокро снежно покритие, се счита сняг, който се натрупва в рамките на сезон или сняг, който се задържа само за един сезон [9;10]. Това е определение, което е в сила и за Антарктика и Арктика. На територията на умерените ширини, където попада и територията на България мокър сняг е снежна покривка, която се задържа в рамките на няколко дни или часове.

Влажният сняг се различава значително от сухия сняг. Мокрият сняг също има по-тъмна повърхност или по-ниско алbedo [9].

Ролята на снега във всички геофизични и хидроложки процеси, включително и при екологичните катастрофи е много важна. Снежната покривка съдържа големи запаси от вода, която при бързото ѝ топене може да причини мащабни наводнения [6].

ГЛАВА I. ОБЗОР НА ПРОБЛЕМИТЕ, СВЪРЗАНИ С ИЗУЧАВАНЕТО НА НАВОДНЕНИ ПЛОЩИ, ВОДНИ ТЕЛА И МОКРА СНЕЖНА ПОКРИВКА НА БАЗА АЕРОКОСМИЧЕСКИ МЕТОДИ, СПЪТНИКОВИ ДАННИ И ГИС

1.1. Актуалност на проблема

Климатичните промени и глобалното затопляне са сред най-големите предизвикателства пред човечеството днес. Според Междуправителствения комитет по изменение на климата „глобалното затопляне от средата на XX век е много вероятно да е в резултат на човешкото влияние“ [12].

Според направен модел от Kleinen, T., et al. с нарастване на глобалната температура с 2 °C спрямо края на XX век ще нарастне честотата на наводненията, а резултатите показват, че до 20% от световното население живее в речни басейни и неизбежно могат да бъдат засегнати от увеличените наводнения в хода на глобалното затопляне [15].

Изключително важна е адаптацията и това тя да се постави в контекста на живота на хората, като се направи цялостен поглед върху всички рискове и съществуващи тенденции. Необходимо е да се направи насърчаване на взаимодействието между

практикуващи и изследователи. Необходимо е увеличаване и подобряване на мониторинга и оценката на адаптацията [16].

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 в локален или регионален мащаб, а обхващат големи по територия площи в световен мащаб. Това налага научните изследвания да се насочат към все по-иновативни методи за решаване на редица проблеми, свързани с мониторинга на водата като цяло, тъй като е фактор, който влияе на всички останали елементи на климата и на други природни обекти като растителност и почви. Възниква все по-остра нужда от разработване на нови подходи и методи за получаване на актуални мултиспектрални данни с малка времева разделителна способност [11], които да следят динамиката на наводнените площи и площите с мокър сняг или т.нар. краткотрайна снежна покривка.

Динамиката на наводнените площи оказва изключително голямо екологично въздействие, а това въздействие е в резултат на влияние на антропогенна дейност или физикогеографски фактори и явления. Всяка наводнена площ или мокър сняг неминуемо влияят не само на климата, но и на начина ни на живот.

Климатичните промени могат да променят характеристиките на наводненията чрез промени в количеството и интензивността на валежите, в относителния дял на течните спрямо твърдите валежи, както и чрез промените в дефицита на влажност в почвата [15]. С нарастване на средните температури на въздуха процесът на снеготопене ще приключва по-рано, а това може да доведе до промени в годишното разпределение на оттока и до изместване на времето на неговия максимум и минимум [8,17]. Мониторингът чрез аерокосмически данни на повърхностни водни обекти, наводнения и снежна покривка имат изключително голямо екологично значение за проследяване на нормалното протичане на природните процеси, бедствия и последствия от наводнения. Актуалността на данните и пространственият обхват на наблюдаваните обекти позволяват на аерокосмическата информация да бъде надеждна при изготвянето на прогнози за риск и потенциален риск от природни бедствия, както и за ежедневен мониторинг.

За щастие дистанционните изследвания предоставят все по-нови и актуални подходи за изучаване на динамиката на наводнените площи и мокър сняг, каквито са диференцираните подходи. Тези подходи могат да се използват не само на малки територии, както е при класическите методи на наблюдение, а на обширни територии, каквито са Арктика и Антарктика. Лесно и ефективно могат да се регистрират настъпилите динамични промени чрез използване на данни в различен спектрален диапазон и съчетаването им с наземни данни или данни от теренни изследвания [18, 19]. Всички тези въпроси, свързани с динамиката на земната повърхност покрита с вода налагат използването на мултидисциплинарни подходи и методи [20].

Изследванията, които са свързани с мониторинг на динамиката и последствията от наводнените площи и площите с мокър сняг, са чрез активни или пасивни сензори, както и комбинация от двата сензора [18, 21].

При наличие на много данни от наземни измервания и пълни статистически редове хидроложките методи имат своето огромно значение, но при липса на такива данни не би могло да се извърши достатъчно качествен дори и превантивен мониторинг. Това е така, защото няма достатъчно на брой дъждомерни станции не само на територията на България, но и в световен мащаб, а дори и да има данните са интерполирани за една голяма площ, което прави тяхното използване неефективно. Използването на хидроложки модели е трудоемко и има своите плюсове, но само при налични данни. Места, които имат потенциален риск от наводняване, задължително би трябвало да се ръководят от данни и наблюдения и от дистанционни изследвания. Неслучайно някои от примерите в дисертацията са извън територията на България с идеята да се демонстрира технически какъв подход е използван, независимо от географското положение.

1. 2 Литературен обзор

Изучаването на наводнения или наводнени площи с използване на дистанционни методи (ДМ) вече не е толкова нов научноизследователски подход. В началото на 70 - те години са се използвали предимно аерофотоснимки от спътници на Съветския съюз и Америка, но днес разполагаме с достатъчно на брой спътници, които са с различно предназначение, с много висока разделителна способност и много нови методи и алгоритми за обработка на изображенията [22–27]. Данните са в полза не само за администрация и военни цели, а и голяма част са със свободен обществен достъп.

Данните от дистанционното изследване на Земята се утвърждават като едни от важните източници на информация за ГИС (Географски информационни системи) и системите за компютърно картографиране. Практическото приложение на тези технологии вече е предпочитано за тематично картографиране на големи територии от Земята [29].

Цифровата обработка и разпознаването на изображенията е също интензивно развиваща се област в дистанционните изследвания. Прилагането на различни методи за повишаване на качеството на изображенията и резултатите, получени от диференцирани подходи и съчетаването на оптични, микровълнови и наземни данни е един иновативен и с широко приложение подход.

Интересите на повечето изследователи, които се занимават с динамика на наводнени площи, са насочени към избора на дистанционни данни с висока разделителна способност, с възможности за подобряване на точността на данните чрез смесването на данни или т. нар. *Data fusion*, които от своя страна изискват разработването на нови модели, методи и алгоритми за анализ.

Изображенията с много висока разделителна способност спомагат за прилагането на много по-точни хидроложки модели и отстраняване на проблеми, които съществуват при ползването на изображения с малка разделителна способност. Много често се използва комбинирана спектрална и пространствена разделителна способност, интегриране на дистанционни изследвания и ГИС [35, 36], особено за наводнения в урбанизирани територии [37, 38].

За получаване на по-добри бъдещи прогнози, определяне на потенциално опасни райони, определяне на местата за сигурност и други мерки могат да бъдат постигнати изключително с помощта на съвременните технологии на дистанционното наблюдение и ГИС. Използването на спътникови данни спомага много възстановителните процеси и дейности. Изображения с висока разделителна способност се използват от повечето учени за разграничаване на наводненията, но за съжаление тази информация е скъпа и не винаги е налична за всички икономически райони и държави, не всички райони разполагат с точен цифров модел на релефа (DEM), а това със сигурност е пречка за бъдещи прогнози особено за развиващите се страни. Използването на IKONOS и SPOT 5, които са много добри сателитни карти с висока разделителна способност, съчетани с (AVHRR) Advanced Very High Resolution Radiometer [40–44] или получен DEM от LiDAR и дрон, но за съжаление често не се използват, когато става дума за управление на наводненията, защото цените им са високи. Изчерпателното картографиране на хидрогеоморфологията, разкриващо пост наводненията, може да помогне в тази посока изключително много за оценка, така и при смекчаване на последиците от управлението на наводненията [41]. Умерената разделителна способност на MODIS валидирана с усъвършенстваните сензори на системата за наблюдение на Земята (ALOS) също са подход, който се използва за количествено определяне на щетите, причинени от наводненията засегнали над 25 милиона души в Пакистан [45]. Комбиниране на Landsat изображения със средна резолюция в различни хидроложки периоди с ENVISAT, ASAR и 90 m SRTM Digital Elevation Model е следващ подход, който определя водните нива и водните размери при мониторинга и прогнозирането на наводненията [46,47]. Мониторинг на големи по площи наводнения и съчетаването на по-традиционен подход за цифрово моделиране със сателитни изображения с висока резолюция, осигурява предимства за картографиране на опасностите от наводнения [48].

През последните години се проектира и частично се внедри второ поколение сателитни сензори със синтезирана апертура - Synthetic Aperture Radar (SAR), което доведе до значителен пробив в проучванията на науките свързани със Земята. Общите характеристики на тези нови системи всъщност представляват намалено време за преразглеждане (колкото е възможно по-кратко от няколко дни) и в повечето случаи подобрена пространствена разделителна способност от няколко метра, представяща точни данни за картографиране и мониторинг на природни и антропогенни опасности и събития. Явления , характеризирани се с ограничена пространствена степен и изключително бърза динамика, могат да бъдат открити и изследвани подробно. Резултати, основани на диференциалната техника на интерферометрията, подчертават че

SAR не е вече сложен инструмент за дистанционно проучване, но се превръща в оперативна система за мониторинг в почти реално време. Освен това подобрената пространствена разделителна способност разширява възможността за използване на SAR амплитудата на изображението, вместо фаза, за директно сравняване с оптични данни [49]. Подходът с множество сензори позволява ефективно изучаването на явленията чрез генерирането на много дълги серии от време [41, 49].

Космическата информация е от съществено значение за мониторинга на регионите, които са обект на големи наводнения, при които сателитните данни могат да бъдат използвани като вход за хидродинамичните модели, особено за управлението на големи язовири и трансгранични басейни, което става особено важно [50]. Използването на радарна алтиметрия и многоспектрален спътник с висока времева разделителна способност е доста често срещан метод за наблюдение на наводнения, но за съжаление не е подходящ за екваториални или бореални райони поради облачно време, а предимно за сухи и полусухи райони [1].

Широко изследвани са наводненията по поречията на по-големите български реки с данни от спътници Terra и Aqua на територията на България. Използвана е сателитна хидрологична информация и са съставени тематични карти на наводненията [56, 57]. Разработени са ясни критерии за приложимост на спътникови данни от различни оптични източници за изследване на явления от екологично значение като наводненията [58].

За целите на картографиране се сравняват сцена преди наводнението и изображение с пик на наводнение, които очертават заливания район и ясно видимите нива на водата. Въз основа на класификацията за ползване на земята се определят площите. Главно препятствие при регистриране на наводненията е, че облаците обикновено присъстват в атмосферата, което спомага например използването на данни от LANDSAT и SPOT само при безоблачни ситуации [59]. SAR, която е на борда на сателитите ERS, RADARSAT, може да осигурява образи през деня или през нощта, независимо от наличието на мъгла, лек дъжд, сняг, облаци или дим. Ето защо е най-подходящият инструмент за картографиране на наводнения и мониторинг във влажна, умерена климатична среда. SAR е подходящ за открити водни повърхности, влага, промени в почвената влага и степента на влажните снежни покривки. Този сензор е полезен за разграничаване на сухия сняг от влажния сняг и между влажната и сухата земя. Използването на подходящи изображения е възможно да създаде поредица от карти за снежната покривка за периода на сезона за снеготопене, за да се изчисли количествено скоростта на снеготопене във водосборен басейн [60].

1. 2. 1. Същност и използване на оптични данни от Sentinel -2

Sentinel-2 притежава иновативен широкоспектърен мултиспектрален излъчвател с висока разделителна способност и с 13 спектрални канала. Комбинацията от висока

разделителна способност, нови спектрални възможности, ширина на откоса от 290 km и често преразглеждане дава безпрецедентна гледка към Земята. Мисията се базира на съзвездие от два еднакви спътника в една и съща орбита, 180 ° един от друг за оптимално покритие и доставка на данни. Заедно те обхващат всички земни повърхности, големи острови, вътрешни и крайбрежни води на всеки пет дни. Мисията основно предоставя информация за земеделие и горски практики, и за подпомагане на управлението на продоволствената сигурност. Сателитните изображения могат да се използват за определяне на различни индекси на растенията, като например индекси на хлорофила и съдържанието на вода в листата. Това е особено важно за ефективното прогнозиране на добива и приложения, свързани с растителността на Земята.

Със своята мултиспектрална камера и широко покритие, мисията на Sentinel-2 не само предлага приемственост, но и разширява френските мисии Spot и US Landsat.

Sentinel-2A стартира на 23 юни 2015 г., а Sentinel-2B - на 7 март 2017 г. След като стартира, Европейската комисия поема собствеността на спътниците [64].

1. 2. 2 Същност и използване на SAR

Първият в серията от спътници на ESA (Европейската космическа агенция) от програма Copernicus, Sentinel-1 разполага с усъвършенстван радар за осигуряване на всички климатични времена, ден и нощ снабдяване с изображения от повърхността на Земята. Синтетичната апертура (SAR) със С-диапазона се основава на системите на ESA, Канада- ERS-1, ERS-2, Envisat и Radarsat.

Като съзвездие от два спътника, които обикалят около 180°, мисията представя цялата Земя на всеки шест дни. Освен, че предава данни на редица наземни станции по целия свят за бързо разпространение, Sentinel-1 също има лазер за предаване на данни към геостационарната европейска система за предаване на данни за непрекъсната доставка.

Мисията Sentinel-1В облагодетелства множество услуги. Например услугите, които се отнасят до мониторинга на арктическия лед, рутинното картографиране на морския лед, наблюдението на морската среда, включително мониторинга на разлив на петрол и откриването на кораби за морска сигурност, мониторинг на земната повърхност за рискове от движение, картографиране за управление на горите, водите и почвите, картографиране в подкрепа на хуманитарната помощ и кризисни ситуации.

Дизайнът на Sentinel-1 с акцент върху надеждността, оперативната стабилност, глобалното покритие и бързата доставка на данни се очаква да даде възможност за разработване на нови приложения и да отговори на непрекъснато променящите се нужди на Copernicus. Sentinel-1 е резултат от тясното сътрудничество между ESA, Европейската комисия, индустрията, доставчиците на услуги и потребителите на данни. Проектиран и

построен от консорциум от около 60 компании, ръководени от Thales Alenia Space и Airbus Defense and Space, той е изключителен пример за технологично съвършенство на Европа.

Sentinel-1A стартира на 3 април 2014 г., а Sentinel-1B на 25 април 2016 г. И двата спътника са отведени в орбита от ракета Soyuz от европейския космодрум във Френска Гвиана [64].

Базирайки се на добре установено наследство от мисиите ERS, Envisat и Radarsat, Sentinel-1 носи 12-метров радар със синтезирана апертура (SAR), работещ в С-канал от ЕМС (електромагнитен спектър). Предимството на радара като инструмент за дистанционно наблюдение е, че той може да изобразява повърхността на Земята при дъжд и облачна покривка, независимо дали е ден или нощ. Това е особено полезно за наблюдение на райони, склонни към дълги периоди на мрак - като например Арктика или предоставяне на изображения за аварийно реагиране при екстремни метеорологични условия [64].

ГЛАВА II. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

2. 1. Обект и предмет на изследването

Обект на изследването са наводнени площи, открити водни повърхности и площи заети от мокър сняг както на територията на България така и извън нея. Изборът да се изследват тези природни обекти се определя от това, че те имат изключително голямо екологично значение за проследяване на нормалното протичане на природните процеси, бедствия и последствия от наводнения. Актуалността на данните и пространственият обхват на наблюдаваните пет обекта позволяват на аерокосмическата информация да бъде надеждна при изготвянето на прогнози за потенциален риск от природни бедствия и за ежедневен мониторинг. Изследвани са обекти на територията на югоизточна България, София-град, Скопие (Република Северна Македония), Гърция, Турция и Антарктика.

Предмет на изследването е да се проследи динамиката на тези територии преди, по време и след дадено събитие на база спътникови изображения от различен спектрален диапазон.

2. 2. Цел и задачи на дисертационния труд

Основната *цел* е да се изследват възможностите за приложение на диференциран подход при мониторинг на повърхностни водни обекти, наводнения и мокра (краткотрайна) снежна покривка, на базата на аерокосмически данни в различни спектрални диапазони. Целта на изследването не е да прави подробна характеристика на всеки от примерните райони, а да демонстрира използването и съчетаването на различни

подходи и създаване на интегрирана методика за мониторинг на база аерокосмически данни от различни диапазони на ЕМС.

Основните **задачи** за постигане на целта при всеки от обектите са:

1. Избор на подходящи събития, обекти и еталонни или тестови участъци за изследване.
2. Подбор на подходящи спътникови данни с различни спектрални и времеви характеристики за изследване на избраните обекти, където е възможно и наземни данни.
3. Прилагане на познати и нови подходи за обработка и комбиниране на данните с цел изследване на пространственото и времево разпределение на наводнения и мокра снежна покривка.
4. Интерпретация на получените резултати.
5. Изграждане на модел на интегрирана методика за изследване на пространственото и времево разпределение на наводнения и мокра снежна покривка.
6. Разработване на система от модели за изследване на различен тип обекти по предложената методика.
7. Разработване на база данни (Приложение 7)

ГЛАВА III. МЕТОДИКА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАВОДНЕНИ ПЛОЩИ, ПОВЪРХНОСТНИ ВОДНИ ТЕЛА И МОКРА (КРАТКОТРАЙНА) СНЕЖНА ПОКРИВКА

3. 1. Описание на структурата на методиката за изследване на наводнени площи, повърхностни водни тела и мокра (краткотрайна) снежна покривка на базата на спътникови данни от различни спектрални диапазони

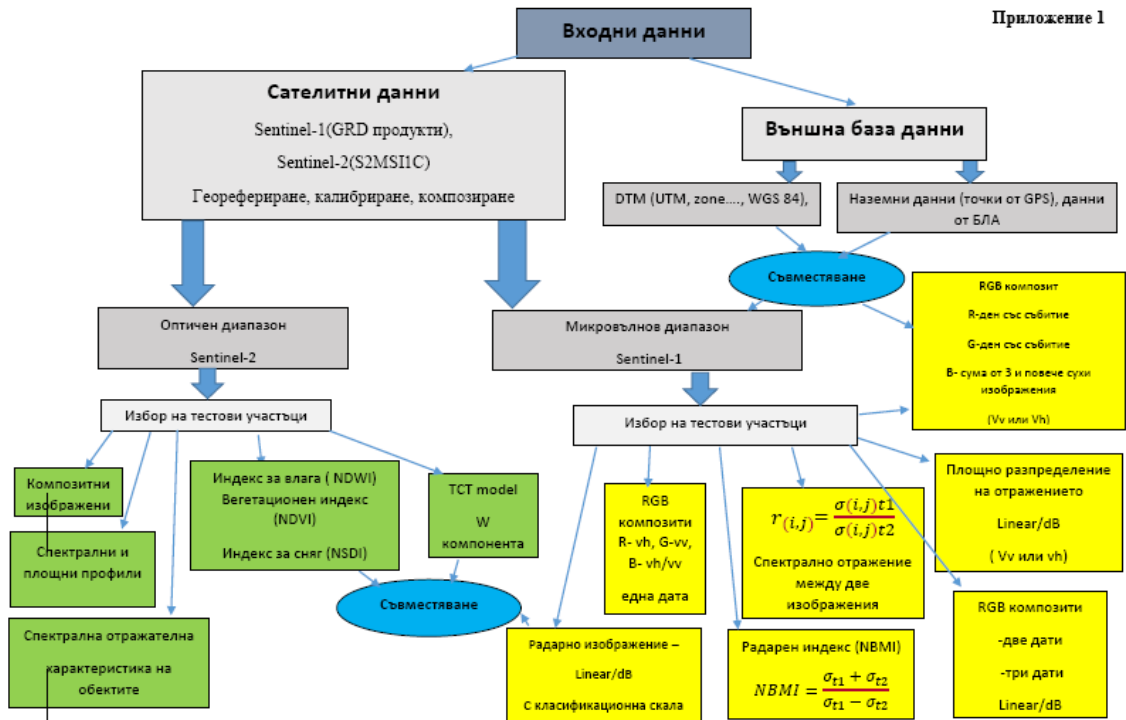
Основната цел на това изследване е мониторинг на повърхностни водни обекти, наводнени площи и мокра снежна покривка като за постигане на целта е използван диференциран подход, направен е подходящ избор на данни, а за реализацията му е направен интегриран модел на методиката и модел за всеки от представените примери.

Предложената интегрирана методика за изследване на наводнени площи и мокра (краткотрайна) снежна покривка се базира на спътникови данни, данни за цифров модел на релефа и GPS данни, но само ако има налични от последните два вида данни. Спътниковите данни са получени от дистанционни изследвания с помощта на сензори в различни диапазони на електромагнитния спекър [184]. GPS данните са само при конкретни теренни проучвания. Предложеният подход не цели да се прави географска характеристика на районите, която обикновено се прави в повечето изследвания. Идеята е по-скоро да се демонстрира чисто технически какво може да се направи на база

интегрираната методика без значение къде се намира даден обект. Методиката на настоящето изследване включва следните етапи:

- Избор на аерокосмически данни съобразени със задачите на изследването за функционирането на модела или методиката
- Геореферирание и калибриране на спътниковите данни;
- Избор на тестови участъци на обектите, процесите и събитията, които се изследват;
- Избор на показатели, индекси и индикатори (за оптични и радарни данни) за количествена и качествена оценка на динамиката на избраните показатели в различните диапазони;
- Избор на диференциран подход и разработване на методика на базата на модел, свързан с динамиката на наводнените площи и мокър сняг (фиг.11).
- Генериране на съответните растерни (DTM) и векторни слоеве необходими за провеждане на изследването;
- Генериране на композитни растерни изображения в оптичен диапазон;
- Генериране на композитни растерни изображения (композит от една дата R- vh, G- vv, B- vh/ vv; RGB композити от две, три и повече дати) от микровълнов диапазон;
- Съвместяване на изображения от оптичен и микровълнов диапазон с цифров модел на релефа за определените тестови участъци и съвместяване на спътникови изображения и цифров модел на релефа с GPS данни, и геодезически точки (за определени примери);
- Генериране на тематични карти за оценка на динамиката на водни обекти, наводнени площи и мокър сняг за отделните обекти на изследване;
- Анализ на резултатите, получени от прилагането на модела на интегриранта методика, използваните индекси и показатели в отделните примери;

МОДЕЛ НА ИЗПОЛЗВАНАТА В ИЗСЛЕДВАНЕТО ИНТЕГРИРАНА МЕТОДИКА



Фиг.11 Модел на използваната в изследването интегрирана методика

3. 2. Описание на методиката за конкретните примери

3. 2. 1. Пример 1

3. 2. 1. 1. Избор на спътникови данни

Пример едно включва обекти от южната част на територията на България и на границата между Турция и Гърция. Първият от обектите е в района на Родопите. Разглежданата площ на интерес е между язовир Батак и язовир Доспат. Като еталонни участъци са избрани териториите около язовир Широка поляна, язовир Голям Беглик и яз. Доспат. Вторият обект се намира по поречието на река Марица на границата между Гърция с Турция (фиг.12 а, б).

Данните (табл.4), които са избрани за изследването на тази територия са от Moderate Resolution Imaging Spectrum Radiometer” (MODIS) и Европейската Космическа агенция (ESA), спътниците Sentinel-1 и Sentinel-2. Sentinel-1 е радар със синтезирана апертура (SAR) , а Sentinel-2 „Multi-Spectral Instrument“ (MSI) и MODIS регистрират данни в оптичния диапазон с различна спектрална резолюция. Sentinel-2A (MSI) регистрира в 13 канала (банда) като се започне от видимия (VIS) през близък инфрачервен (NIR) до късовълнов инфрачервен(SWIR) диапазон. Тяхната спектрална разделителна способност варира от 10 до 60 m [186]. За модела MODIS 36-те спектрални ленти обхващат видимите (VIS) и близките инфрачервени (NIR) спектрални области до тези в

краткотрайната инфрачервена (SWIR), средната инфрачервена (MIR) и термичната инфрачервена (TIR) части от спектъра. Различната им пространствена разделителна способност варира от 250 до 1000 m [187].



Фиг.12 Карта на обекти: а) обект1, б) обект2

Табл. 4. Използвани спътникови изображения

Satellite	Date	Spectral Band, wavelength	Band	GSD*, m
Sentinel-1	24.12.2015	$\lambda=5,6\text{cm}$, Polarization: VH, VV	C	10x10**
	17.01.2016			
	29.01.2016			
Sentinel-2	23.12.2015	2.19 μm	12	20
	01.02.2016	1.61 μm	11	20
	11.02.2016	0.865 μm	8A	20
		0.665 μm	4	10
		0.49 μm	2	10
MODIS	24.12.2016	2.13 μm	7	500
	17.01.2016	0.850 μm	2	250
	29.01.2016	0.650 μm	1	250
	10.02.2016	0.550 μm	4	500
	10.05.2016	0.470 μm	3	500

*Ground Sample Distance (GSD) ** Pixel Spacing Resolution (rg x az)

При избор на данни за изследване на мокри, наводнени или преовлажнени площи е необходимо да се съобразят основни критерии за приложимост на спътникови данни.

При избора на данни с висока разделителна способност от Sentinel има доста предимства. Първо данните са свободно разпространяващи се от ESA, добре могат да се изследват локални обекти и краткотрайни събития, каквито са наводнението или мокрият сняг. Отличен начин за проследяване на силно динамични процеси.

3. 2. 1.2 . Методика

Методите за обработка на данните от SAR и оптичните сензори MSI и MODIS са различни. Това е свързано с принципа на работа на сензорите при регистриране на електромагнитната енергия. На фигура № 13 е представен модел на използваната методика и всяка една от стъпките повдигната в червен цвят, които са използвани в изследването за пример 1.

Изображенията от оптичния спътник са в единна координатна система UTM, Zone35N, WGS84. Това налага да се извърши процедура по даване на проекция (или т.нар. геореферирание) на SAR изображенията в единна UTM, Zone 35N, WGS84. Тази процедура се извършва и за двата вида поляризация vv и vh.



Фиг. 13. Модел на методиката за наблюдение на вода, наводнени площи, мокър сняг и сняг (пример 1).

След геореферирание на изображенията е направено привързване на SAR изображенията към оптичните изображения като са използвани реперни или опорни точки, по които може по-точно да се направи координатно привързване, тъй като 10 метра разделителна способност е достатъчна за реализиране на целта. [189, 190]

Генерирани са композитни изображения и от трите спътника като за целта са използвани различни канали за визуализиране на сняг и вода. На база тези резултати са

определени и тестовите участъци. В следващата стъпка на предложената методика се използват само определените тестови участъци, а не целите сцени от изображенията.

Генерирани са композитни изображения от различни времеви серии и поляризации на SAR изображенията. Това дава възможност за използване на псевдоцветове, които засилват контраста и подчертават контурите. В този случай това повишава и точността при визуализиране и интерпретиране на данните.

Генерирани са композитни изображения от Sentinel 2A-MSI след като е направен т.нар. Resample Pixel Size във видимия спектър (VIS) 4 канал, близък инфрачерв (NIR) 8A канал и среден инфрачерв 11 канал. Данните за дължина на вълната са дадени в табл.4. Използвано е композитно изображение от MODIS (комбинацията от видимия и близкия инфрачервен диапазон на канали 7, 2, 1 дават най-добри резултати за снежна покривка и водни обекти [56].

Използваният мултitemпорален подход е диференциран, тъй като са композирани в RGB модел три изображения от vv ,vh , vh/vv поляризации от един ден, така и от различни времеви серии в рамките на период от един месец или различни сезони. Използвани са различни дати при една и съща комбинация: R- vh, G- vv, B- vh/vv. Изключително подходящо, тъй като наличието на вода и снежна покривка са две от най-динамично променящите се елементи на земната повърхност. Обикновено са използвани данни преди, по време на наблюдаваното събитие или процес и след това. Разгледани са обекти преди силно заснежаване, по време на което има сняг и период , в който няма или снега е стопен в мокър сняг или вода. Направени са комбинации и в различни сезони с цел да се подчертае по-отчетливо разликата. Използван е RGB математически модел, в който са използвани по три изображения във всякакви комбинации. Всяко от радарните изображения е предварително привързано към едно определено като еталон чрез три контролни точки, а в случая това е 24.12.2015година, когато няма толкова много сняг.

3. 2. 1. 3. Индекси и индикатори

За да се подчертае динамиката на природни обекти чрез SAR изображения с вертикална VV поляризация е използван коефициентът на отражение за момент преди и по време на дадено събитие:

$$r_{(i,j)} = \frac{\sigma_{(i,j)t_1}}{\sigma_{(i,j)t_2}} \quad (9),$$

където σ е микровълнов коефициент на отражение за времеви момент t_1 (сателитно изображение от по-ранна дата) и времеви момент t_2 (сателитно изображение от по-късна дата), i,j са номера на реда и колоната на пиксели в дадено SAR изображение, а r е относителното съдържание на влага в почвата , отчетено за съответния период между две изображения от една поляризация. Този математически подход е използван между три изображения в рамките на около месец, което показва обещаващи резултати при

идентифициране на райони с умерена и висока промяна във влажни, наводнени зони, наводнена растителност и мокър сняг. Стойности близки до 2.0 или над 2.0 показват сериозни промени, а ниски стойности под 1.0 показват малки или никакви промени в отражението на даден обект. Използвана е прагова стойност от 2.0 за дискриминиране на големи промени в отражението или за наличие на нов обект по примера на White, L., et al. (2015) [100].

Използван е диференциран подход при изобразяване на наводнение на територията на река Марица, където са съпоставени визуално данни от радиоспектрометъра MODIS в комбинация на спектрални канали 7,2,1 и композитно изображение от SAR. За композита на радарното изображение са подбрани две дати с наводнена територия и една без, но подредени отново в RGB цветови модел.

За изследване на снежната покривка е използван също така и един от най-често ползваните индекси Normalized Difference Snow Index по примера на от Dozier, J.,1987[144] . Изчислен е на база данни от оптичен спътник Sentinel- 2 MSI, който автоматично е сметнат от професионален софтурен продукт Erdas imagine 2015 и който се изчислява по следната формула:

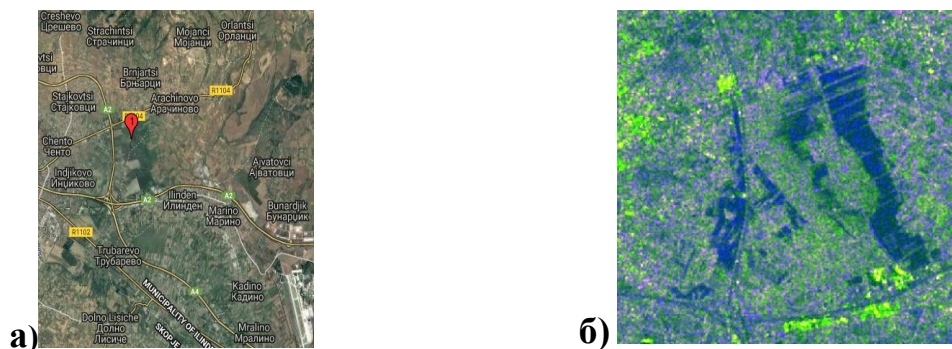
$$NSDI = \frac{\rho_{0.49\mu m} - \rho_{1.61\mu m}}{\rho_{0.49\mu m} + \rho_{1.61\mu m}} \quad (6),$$

където $\rho_{0.49\mu m}$ е отражението в канал 1 ,а $\rho_{1.61\mu m}$ е отражението в канал 11. Стойностите му варират от 0 до 1 (едно). Стойностите над 0.80 биха могли да се разглеждат при проучване на по-старо снежно и ледено покритие.

За подобряване на визуализацията и верификацията на получените данни от предложената методика е извършен така нареченото съвместяване на SAR изображение и изображение от Sentinel- 2 MSI, на което е направен снежен индекс (Normalized Difference Snow Index – Нормиран снежен разликов индекс). Съпоставянето на два различни вида сензорни данни от един и същи период е сигурен начин за точно определяне на границите на наводнена площ, воден обект или снежно покритие.

3. 2. 2. Пример 2

Пример две е от територията на Република Северна Македония. На 6 срещу 7 август 2016 година от наводнение загиват хора, има сериозни материални щети в жилищен квартал на град Скопие. Основната причина е в съчетаването на интензивен валеж на малка площ за кратко време. (фиг. 14. а,б).



Фиг.14 а) Карта на град Скопие, б) SAR изображение от територията след наводнението от 07.08.2016г.

3. 2. 2. 1. Избор на спътникови данни

Данните, които са избрани в изследването са от спътниците Sentinel-1, Sentinel-2 и MODIS, а данните са дадени по дни в таблица №5.

Табл.5. Използвани спътникови изображения

Satellite	Date	Spectral Band, wavelength	Band	GSD*, m
Sentinel-1	14.07.2016			
	21.07.2016	$\lambda=5,6\text{cm}$,	C	10x10**
	02.08.2016	Polarization:		
	07.08.2016	VH, VV		
Sentinel-2	05.08.2016	0.49 μm		
		0.56 μm	3	10
		0.665 μm	4	10
MODIS	03.08.2016	2.13 μm	7	500
	06.08.2016	0.850 μm	2	250
	08.08.2016	0.650 μm	1	250
		0.550 μm	4	500
		0.470 μm	3	500

*Ground Sample Distance (GSD) ** Pixel Spacing Resolution (rg x az)

3. 2. 2. 2. Методика

Фигура № 15 представя модел на използваната методика и всяка една от стъпките, които са използвани в изследването за пример 2 (оградени в червен цвят).



Фиг.15 Модел на методиката за наблюдение на наводнени площи (пример 2)

Използвани са изображения от MODIS, за да се проследи преминаването на циклон над Сицилия и по-късно преместването и трансформирането му във вторичен за дните между 03.08. и 06.08.2016 година. Наблюдавана е температурата на подстилящата повърхност в деня на събитието или в случая наводнението в Скопие.

Направено е композитно оптично изображение от Sentinel -2 MSI от 05.08.2016 г. във видим диапазон като са използвани следните канали: R-4, G-3, B-2, изображението не е от датата на събитието, но е максимално близко преди него, за да може да се проследи дали преди това не е имало никакви белези или показатели, които да предскажат подобно събитие на това място. Изображението от оптичния спътник е в единна координатна система UTM, Zone 34N, WGS84.

Сигурен начин за идентифициране на площите с наводнение е показано чрез композитно радарно изображение, което е генерирано на базата на различен тип поляризация (hv - хоризонтално-вертикална и vv - вертикална). Използвана е следната комбинация (от пример 1): R- vh, G- vv, B- vh/vv. Целта е да се визуализира засегнатата от наводнението площ и е използвано изображение от датата на събитието.

И тук е използван като показател микровълнов коефициент на отражение или т.нар математическо отношение на две изображения от една поляризация. Направен е индексът за относителното съдържание на влага в почвата и за двата вида поляризация за момент преди и по време на наводнението.

$$r_{(i,j)} = \frac{\sigma_{(i,j)t_1}}{\sigma_{(i,j)t_2}} \quad (9),$$

където σ е микровълнов коефициент на отражение за времеви момент t_1 (сателитно изображение от по-ранна дата 14.07.16г.) и времеви момент t_2 (сателитно изображение от по-късна дата или датата със събитието 07.08.2016г.), i, j са номера на реда и колоната на пиксели в дадено SAR изображение, а r е относителното съдържание на влага в почвата, отчетено за съответния период. Изчислен е Normalized radar Backscatter soil Moisture Index (NBMI), който представлява мулти-времево съотношение на отражението и се представя по следния начин:

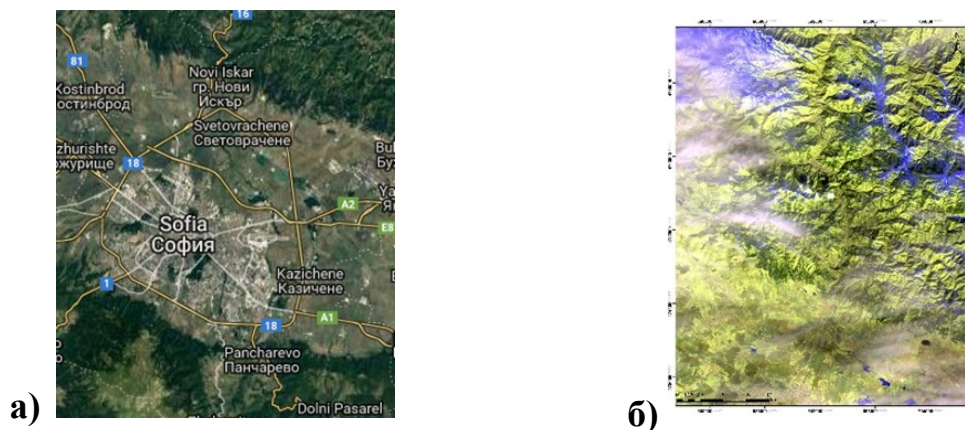
$$NBMI = \frac{\sigma_{t_1} + \sigma_{t_2}}{\sigma_{t_1} - \sigma_{t_2}} \quad (2),$$

където σ_1 и σ_2 са отраженията в различни моменти t_1, t_2 и т.н [97,191]

Използван е цифров релеф на терена, който допълнително е подобрен и е с разделителна способност 25/25метра. Използването му е необходимо за процеса на съвместяване с SAR композитно изображение, за което е използван отново RGB модел. Това налага да се извърши процедура по даване на проекция (или т.нар. геореферирание) на SAR изображенията в единна UTM, Zone 34N, WGS84. Този път във В-канал е използван сбор на три изображения от сух период, а в R-канал и G-канал са поставени изображения от деня със събитието. За направата на композитно радарно изображение съвместно с цифров модел на релефа са използвани данни от датата на наводнението 07.08.2016 г. и други три дати, когато не са с регистрирани наводнения. За композитното изображение е използвана следната комбинация: R- vv от 07.08.2016 г., G- vv от 07.08.2016 г., В- vv поляризация на сума от три изображения регистрирани на следните дати 14.07, 21.07 и 02.08.2016 г. (vv-вертикална поляризация)[184, 189].

3. 2. 3. Пример 3

Пример три е свързан с мониторинг на краткотрайна снежна покривка регистрирана на 12- ти срещу 13 -ти март 2017 година на територията около град София (фиг.16).



Фиг. 16. а) Карта от изследваната територия на София и София-област, б) композитно оптично изображение от същата територия

3. 2. 3. 1. Избор на спътникови данни

Изображенията от Sentinel-1 на ESA /Европейска Космическа агенция/ са Synthetic Aperture Radar (SAR) и имат способността да предоставят изображения както през деня, така и през нощта. Въпреки всички затруднения като мъгла, сняг, лек дъжд, дим или облаци, при влажен умерен климат SAR или радарното изображение е най-подходящото средство за мониторинг на наводнение и краткотрайна (мокър сняг) снежна покривка. Sentinel -1 има способност за откриване на открити водни повърхности близо до повърхността, влага, промени в почвената влага, степен на влажен (мокър) сняг, както и способност за разграничаване между влажен сняг и сух сняг [184,190]. Като се използват SAR изображенията може да се проследи динамиката на снеготопенето. Данните по дати и използвани спътници са в таблица № 6.

Табл.6. Използвани спътникови изображения

Satellite	Date	Spectral Band, wavelength	Band	GSD*, m
Sentinel-1	05.03.2017	$\lambda=5,6\text{cm}$, Polarization: HV,VV	C	10x10**
	11.03.2017			
	12.03.2017			
	13.03.2017			
	17.03.2017			
	18.03.2017			
Sentinel-2	18.02.2017	0.665 μm	4	10
	28.02.2017	0.865 μm	8A	20
		1.61 μm	11	20
		2.19 μm	12	20

*Ground Sample Distance(GSD)** Pixel Spacing Resolution (rg x az)

3. 2. 3. 2. Методика

Фигура №17 представя модел на използваната методика и всяка една от стъпките, които са използвани в изследването за пример 3.



Фиг.17 Модел на методиката за наблюдение на мокър сняг (пример 3)

Използвано е композитно оптично изображение от спътник Sentinel-2 MSI от 18.02.17г, показващо наличието на сняг чрез канали 12, 11, 4. Изображенията от оптичния спътник са в единна координатна система UTM, Zone 34N, WGS84. Това налага да се извърши процедура по даване на проекция (или т.нар. геореферирани) на SAR изображенията в единна UTM, Zone 34N, WGS84. Тази процедура се извършва и за двата вида поляризация vv и vh. За верификация са избрани 5/ пет/ тестови участъка върху оптичното изображение, чиято спектрална характеристика показва, че избраните участъци са със сигурност територии със сняг. Композитът не е от датата на събитието с краткотраен сняг, тъй като оптични изображения с добро качество от Sentinel-2 от дата 13.03.17 г. не са налични.

На следващия етап са използвани композитно оптично и композитно радарно изображение. Оптичното изображение е използвано за геореферирани на радарните изображения. При радарното композитно изображение е включена дата 18.03.2017г. след датата на събитието и 13.03.2017г. с датата на събитието. Тук датата на събитието от радарното изображение е поставена във V /канал/ от RGB модела. Избраните пет тестови или еталонни участъци са нанесени и върху радарното изображение и биха могли да се

използват за валидиране на данните при определяне на местата с краткотрайна (мокра) снежна покривка.

За да се проследи динамиката на подобно кратко събитие като мокър сняг е подходящо използването на изображения с по-голяма времева разделителна способност и за целта са използвани шест дати от радарни изображения в рамките на две седмици, т.е. преди и след събитието [146, 165, 192]. Генерирани са композитни изображения на базата на различен тип поляризация (hv – хоризонтално-вертикална и vv – вертикална). Използвана е отново следната комбинация: $R - vh$, $G - vv$, $B - vh/vv$. Целта е да се визуализира площта на мократа снежна покривка. Мокрият сняг при радарните изображения се характеризира с високо отражение и поради неравността на повърхността може да се регистрира сигнал с по-голяма стойност, който достига до сензора.

Изборът на две дати и различно място на дата със събитието може да се комбинира в RGB модел като дата 13.03.2017г. от събитието с мокър сняг е поставена в R , G или във B канал.

Изборът от три дати с една поляризация при композитните радарни изображения при двата вида vh и vv поляризация показват много малки разлики в стойностите при регистрация на мокър сняг. И в двата случая ясно се регистрират местата с наличие, стига да е използвана датата със събитието в RGB модел поставена в B канал и дата преди събитието. В този случай са подбрани 18.03.2017 г. след събитието, 12.03.2017 г. преди събитието и 13.03.2017 г. по време на събитието. По-нататък е направена графика с площно разпределение на отражението. Подобна е ситуацията при композитни изображения в същата подредба на датите, но трансформирани в dB . Тук минималната разлика е с голямо значение, защото HV хоризонтално-вертикална поляризация дава по-високи стойности. Това се дължи на релефа и на начина, по който сигналът се връща до сензора. Може да се приеме, че стойности между 25 и 28 dB са сигурен индикатор за мокър сняг.[193].

Изображенията трансформирани в dB могат да се използват за валидиране на данни, тъй като dB /децибелът / е логаритмична величина и е изключително точен индикатор. Като последен етап е графичното представяне на площното разпределение на спектралното отражение в dB за едно и също място от дата на събитие 13.03.17 г. с vv и vh поляризация. За изследване на сняг и снежна покривка е по-добре да се използват еднотипни vv и hh поляризация, тъй като vh поляризацията дава по-високи стойности. [193]

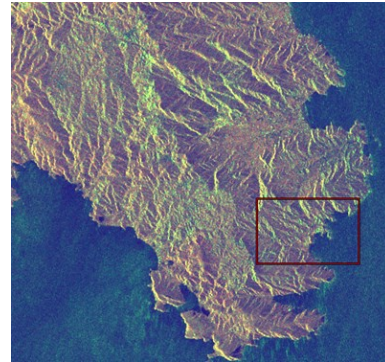
3. 2. 4. Пример 4

Пример четири е от наводнение, което обхваща голяма част от Северна Гърция и Турция на 16-ти и 17-ти юли 2017 година. Циклонът „Медуза“ е с център точно над

южната ни съседка Гърция. Проливните дъждове причиняват свлачища и събарят много дървета, изливат се над 180 литра на кв.м само за денонощие, а температурите падат рязко за сезона под 15 градуса. Най-засегнат е вторият ръкав Ситония, който е част от Халкидическия полуостров и е обект на изследването (фиг.18).



а) Халкидически п-в



б) SAR композит

Фиг.18 а) Карта на Халкидически полуостров и мястото на интерес на п-в Ситония
б) SAR композит с площта на интерес

3. 2. 4. 1. Избор на спътникови данни

Направени са композитни оптични изображения в две комбинации на спектрални канали 4, 3, 2 и 8а, 12, 4. Използването на видим диапазон е за да се придобие представа къде се намират териториите на интерес или наводнените площи чрез така наречените псевдо цветове. Комбинацията с 8а, 12, 4 най- добре регистрира вода , водни обекти и мокър сняг [128].

Използването на радарни изображения с 10 метра разделителна способност е абсолютно достатъчно за проследяване динамиката на наводнения от всякакъв тип [184, 194–196]. Данните от SENTINEL- 1 и SENTINEL- 2 са дадени в таблица № 7.

Табл.7 Използвани спътникови данни

Satellite	Date	Spectral Band, wavelength	Band	GSD*, m
Sentinel-1	04.07.2017 10.07.2017 16.07.2017 17.07.2017 22.07.2017 23.07.2017 28.07.2017 03.08.2017	$\lambda=5,6\text{cm}$, Polarization: VH, VV	C	10x10**

	15.08.2017 03.08.2017			
Sentinel-2	05.07.2017 18.07.2017	0.49 μm 0.56 μm 0.665 μm 0.865 μm 2.19 μm	2 3 4 8A 12	10 10 10 20 20

*Ground Sample Distance(GSD), ** Pixel Spacing Resolution (rg x az)

3. 2. 4. 2. Методика

Фигура № 19 представя модел на използваната методика и всяка една от стъпките, които са използвани в изследването за пример 4.



Фиг. 19 *Модел на методика за наблюдение на наводнени площи (пример 4)*

Използваните изображения от микровълнов диапазон са от деня на събитието, период преди наводнението и след наводнението, а за оптичен диапазон най-близката до тази дата, а в случая 18.07.2017 година и преди събитието 05.07.2017г. Въпреки, че изображението не е най-подходящото, след използване на подходящи спектрални канали би могло да се използва за потвърждение на наличие на вода и за привързване на радарни изображения едно към друго, след геореферирание и използване на едно от изображенията за еталон [185,186].

Използвани са NDVI, NDWI индекси и TCT, с цел да се онагледят максимално местата с наводнени площи от оптичните изображения. Направените индекси са за едни и същи дати. Подробно описание на индексите и техните формули е направено в предходна глава

При NDWI са използвани спектрални канали 3 и 8A от Sentinel -2 с дължина на вълната $\lambda = 0,56\mu\text{m}$ и $\lambda = 0,865\mu\text{m}$, а за NDVI са използвани спектрални канали 4 и 8A или $\lambda = 0,665\mu\text{m}$ и $\lambda = 0,865\mu\text{m}$.

Радарните изображения са в универсалната координатна система UTM, Zona 35 N, WGS 84. Генерирани са композитни радарни изображения с различни времеви серии от hv (хоризонтално-вертикална) и vv (вертикална) поляризация. Използвана е както в предходните примери следната комбинация R-vh, G- vv, B-vh/vv на територията на Халкидически полуостров [184]. Ниската характеристика на обратното разсейване на водата в радарните изображения обикновено е отбелязано в тъмни тонове. Това дава възможност за използване на псевдо цветове, чиято подредба води до нарастване на контраста и контурите на обектите. По този начин водата много лесно бива разпозната за разлика от други природни обекти. Тази комбинация направена за различни дати дава по-добра интерпретация на водните обекти и местата покрити с вода преди, по време или след наводнението [194].

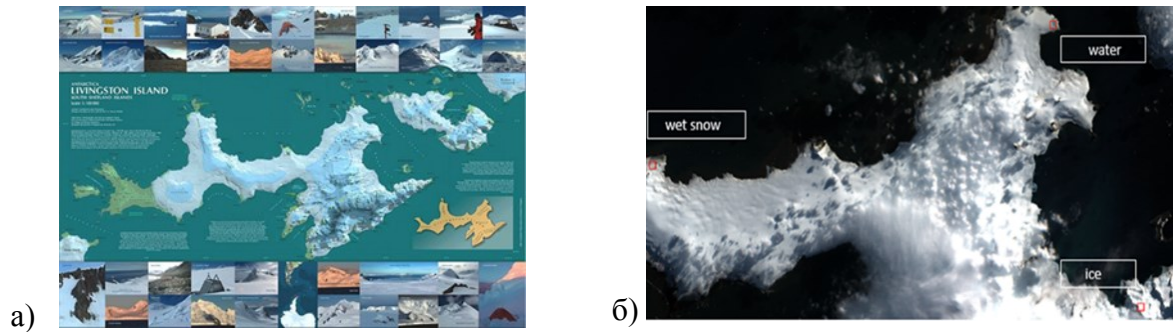
Коефициентът на отражение между две изображения от различни дати с vh и vv поляризация в рамките на ден, седмица, месец, но от един сезон формира ясно представата за размерите на промените, които са настъпили преди и след дадено събитие. Поляризацията vh (вертикално-хоризонтална) в този случай също е подходяща, тъй като релефът е много разнообразен. Може да се проследи динамиката на наводнените площи след настъпване на събитието и да се направи подробен анализ на това, което се случва след отдръпването на водата. От скаларните стойности, които са описани в предходни примери е видно къде има най-значителни изменения в коефициента на отражение.

Композитни радарни изображения от две дати са също начин да се проследи наличието или отсъствието на вода върху по-големи пространства. Използван е математическия цветен RGB модел, в който важно място взема B канал, където се поставя изображение от дъждовен период или изображение от сух период [184,188,194].

Използването на композит от две дати с една и съща поляризация е друг подход в това изследване за регистрация на новоднена площ. Направените композитни комбинации на дати и сухи с влажни периоди, преди и след настъпването на събитието ясно разграничават водата в черно, наводнените площи в светло синьо, а другите територии в жълто.

3. 2. 5. Пример 5

Пример пет е свързан с територията на Антарктика и по-специално с остров Ливингстън (фиг.20). Той е част от Южните Шетлъндски острови и на него се намира българската база „Св. Климент Охридски“ [197]. Площта на интерес обхваща северната част на острова, където е изследвано наличието и динамиката на мокър сняг на база аерокосмически и наземни данни.



Фиг. 20 а) Карта на о-в Ливингстън. Източник: ВАИ [197], б) оптично изображение на острова от Sentinel-2 Източник: Spasova T. (2018)[19]

3.2.5.1. Избор на спътникови данни

Използваните видове сензори и дати на изображенията са дадени в таблица 5, а в таблица 6 са дадени данни от GPS точки.

Табл.8. Използвани спътникови изображения

Satellite	Date	Spectral Band, wavelength	Band	GSD*, m
Sentinel-1	25/03/2016	$\lambda=5,6\text{cm}$, Polarization: HH Incidence Angel 18°-45°	C	10x10**
	12/11/2016			
	05/04/2017			
	13/12/2017			
	25/12/2017			
	06/01/2018			
Sentinel-2	24/04/2018	0.49 μm	2	10
	31/03/2016	0.56 μm	3	10
	13/11/2016	0.665 μm	4	10
	30/03/2017	0.865 μm	8A	20
	19/04/2018	2.19 μm	12	20

*Ground Sample Distance(GSD), ** Pixel Spacing Resolution (rg x az)

За района са налични и наземни данни. Селекцията е извършена посредством наземни данни от остров Ливингстън в близост до Българска Антарктическа база "Св. Климент Охридски", която се намира на 62° 38' 29" S, 60° 21' 53" W, Източния бряг на Южния залив, о-в Ливингстън, Южношотландски острови [197].

3.2.5.2 Методика

На фигура № 21 е представен модел на използваната методика и всяка една от стъпките, които са използвани в изследването за пример 5.



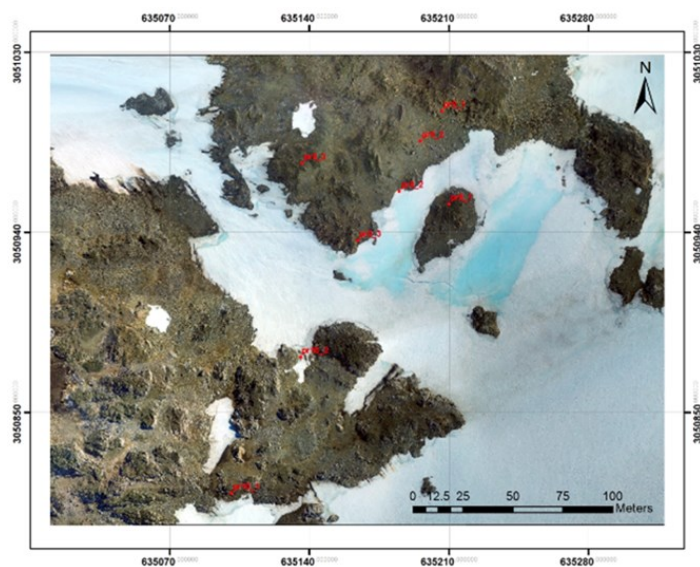
Фиг. 21 Модел на методика за наблюдение на мокър сняг в Антарктика (пример 5)

Композитните радарни изображения от две или три дати трансформирани в dB също са показатели, информацията от които представя динамиката в мокрия сняг, водата и леда. Това са така наречените многокомпонентни изображения от различни времеви периоди.

Наблюдението на спектралните промени, които се наблюдават при топене на сняг и мокър сняг, налага използването на различни спектрални канали. При използването на SAR изображения са използвани безмерни показатели, които отразяват степента на промяна на влажността в определени интервали от време, които са подбрани предварително. Един от тези показатели е коефициент на отражение, получен при математическото отношение на отражението от две изображения в микровълнов диапазон (по пример на методиката на 1,2,4).

Верификацията и валидацията на SAR изображенията е направена чрез използвания ТСТ модел и на базата на предварително избрани еталонни (тестови) участъци с лед, мокър сняг и вода. Данните от наземни изследвания (табл.9) са използвани единствено за контролна информация, с цел идентификация на изследваните обекти и явления, както и за условията, при които се провеждат тези изследвания. Наземните данни са използвани само за калибриране на аерокосмическите данни [5,]. Тестовите участъци са от места без наземни данни.

Взети са координати от точки направени с GPS и заснемане с дрон по време на антарктическо лято декември 2016 - януари 2017 година (фиг. 22)



Фиг. 22 Изображение от дрон на мокър сняг с наземни данни. Източник: Correia, A., et al. 2017 [198]

Направено е геометрично привързване към оптично изображение на Sentinel – 2 от дата 30.03.2017г. Като контролни точки (Ground control points) допълнително са използвани още три точки, които са за да бъдат геореферирани всички SAR изображения. Това е необходимо, защото оптичните изображения са с много голяма геометрична точност, докато при SAR изображенията се налага да се правят допълнителни корекции и са с различна разделителна способност, която е от 12/15 или 13/16 метра големина на пиксела. Всички данни са в проекция WGS_1984_UTM_Zone_20 (Зона 20). След това селекцията е направена на база изображения от спътник Sentinel-2, който работи в оптичния диапазон и има 13 спектрални канала. Спектралните криви на всеки от тестовите участъци служат като индикатори за верификация на данните.

Подбраните оптични изображения от Sentinel -2 са от един и същи сезон (краят на антарктическото лятото) в три последователни години от 2016 до 2018 година. Използвано е изображение и от ноември 2016 година, с цел да се интерпретират участъците по-добре и от друг сезон без дни с облачна покривка. Всички изображения

са с площта на интерес (area of interest) по предварително избраните тестови участъци. Разделителната способност на изображенията е приблизително 10 метра размер на пиксела. След създадената междинна база от данни от оптични изображения е приложен модел на ГСТ на изображенията [86]. Използваните спътникови данни от Sentinel -1 са подбрани от подходящи времеви серии за периода на антарктическото лято, когато се наблюдава процесът на топене и спрямо времевия период избран при Sentinel -2. Данните са с подходящи орбитални характеристики, поляризацията в района на Антарктика е само НН - хоризонтална. Предварително избраните данни обхващат периода от 2014 до 2018 година. Всяко едно SAR изображение е предварително подбрано по площ на интерес (area of interest) и е геоуреферено прецизно спрямо едно първоначално избрано от дата 12/11/16 година (фиг.22). При тази обработка е направена полиномна трансформация от първа степен, която се базира на три контролни точки -Ground Control Points (GCP) и референтни точки или Reference GCP върху оптично изображение от 30/03/2017година.

Създадена е една нова база данни от радарни изображения, които са с определените тестови участъци. От тези участъци са направени профили на спектрално плочно разпределение - Spatial reflectance distribution, а след това е направена трансформация на SAR изображенията в dB (децибели). Създадена е трета база данни от радарни изображения в dB(децибели), които се използват за валидиране на данните. За по-добра визуализация и подсилване на местата с мокър сняг, влага и вода са направени композитни SAR изображения с две и три дати от различни времеви серии, и пространствена разделителна способност около 13 метра [19,193].

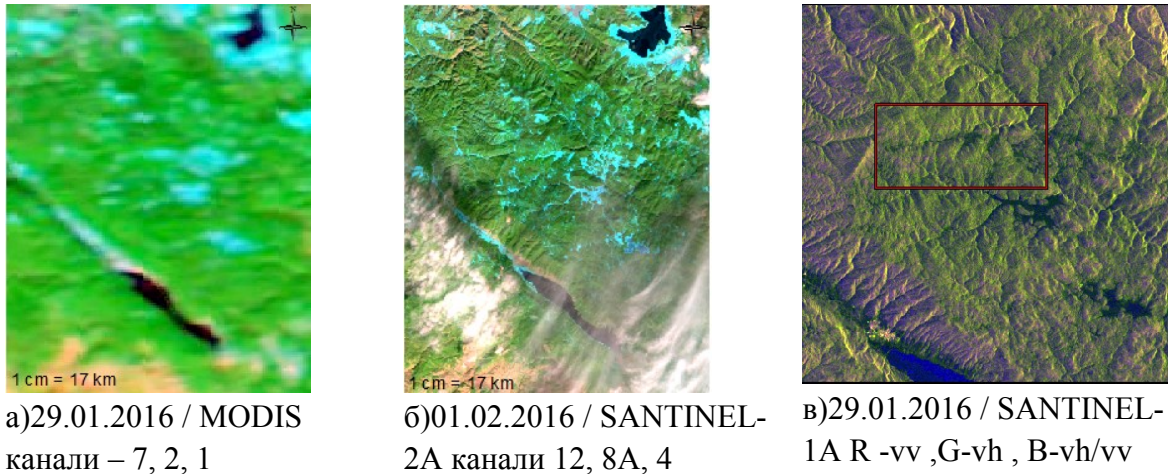
ГЛАВА IV. АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

4. 1. Анализ на резултатите от пример 1

В резултат на направеното описание на методиката в Глава III за всеки от примерите са генерирани следните резултати.

Направените композитни изображения от различни спътникови данни на фигура № 24 а, б, в) и очертавания тестови участък, който ще бъде разглеждан понататък показват най-добре наличието на сняг и вода чрез SAR изображенията. Разделителната способност е достатъчно добра и факторът облачна покривка не играе никаква роля, тъй като е различен принципът на работа на регистриране на електромагнитна енергия. Избраната комбинация за SAR изображенията чрез vv ,vh , vh/vv поляризация много отчетливо разграничава вода от сняг. Там, където има прясна вода, тя остава в синьо-лилав цвят, а където има площи с мокър сняг или по-влажни участъци, е в тъмно зелено, областите със сняг са със по-голямо отражение на електромагнитна енергия и са в по-светли цветове като жълто и светло зелено. Въпреки че датата на оптичното изображение

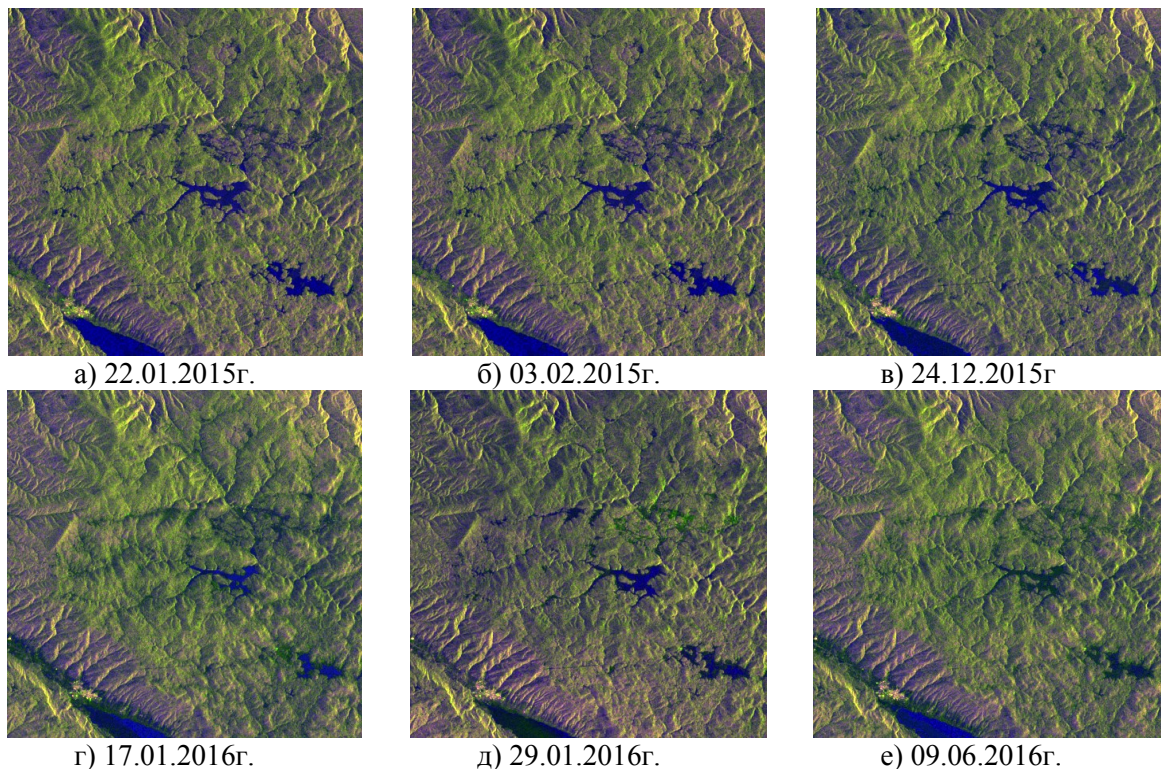
от SANTINEL -2A е максимално близка до SANTINEL- 1A и са с една и съща разделителна способност, голяма част от изображението има наличие на облачна покривка. Що се отнася до изображенията от MODIS, то те са използвани за верифициране на информацията съвместно със SANTINEL -2 за наличие на сняг и вода. Изображенията от MODIS не биха могли дори и след използване на маска да се използват за по-детайлно изследване на видовете сняг и разграничаването на вода от мокър сняг или мокър сняг от сняг поради ниската разделителна способност от 250 m. Видно е, че представя много по-голямо количество от реалното за територията.



Фиг.24 а, б, в) Композитни изображения от различни спътници.

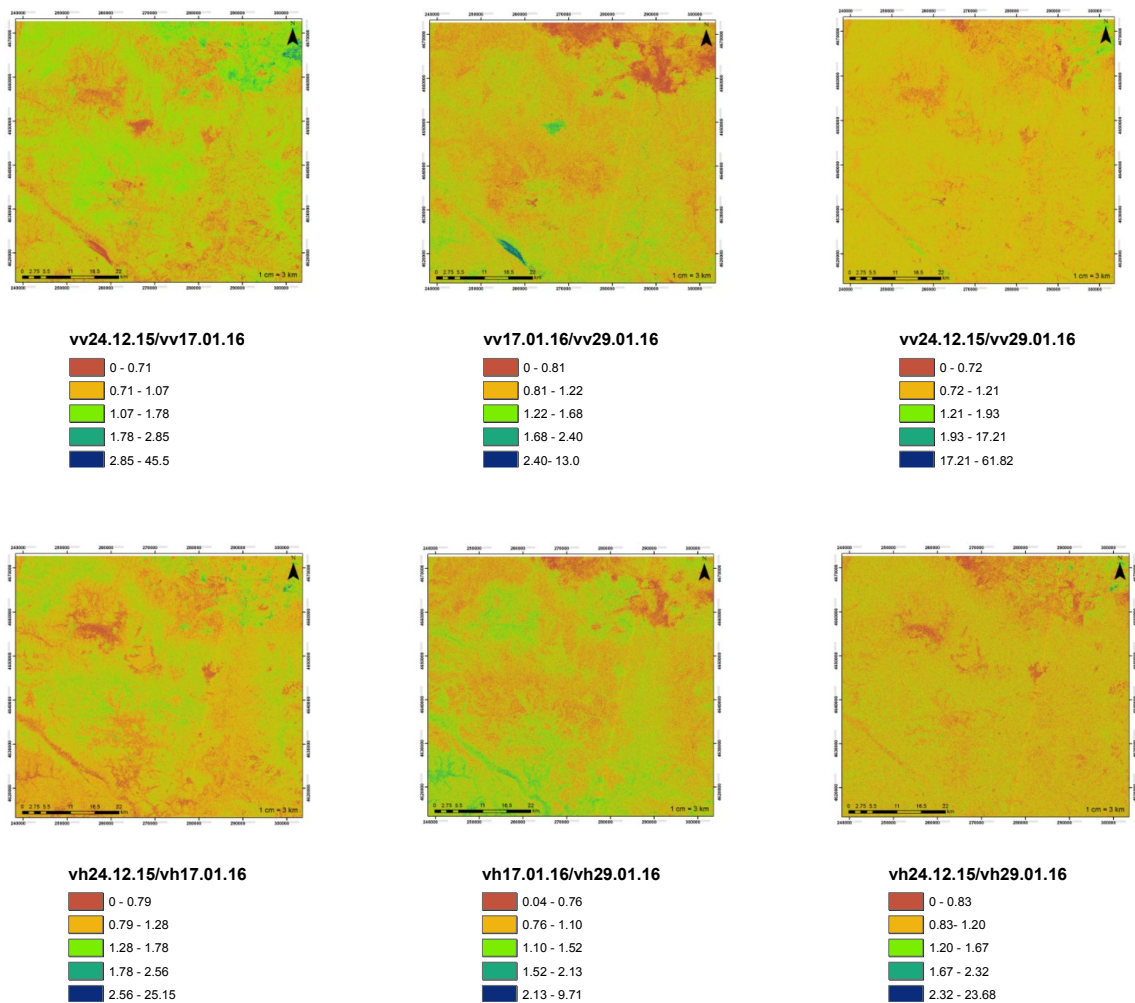
Композитните изображения, използващи vv ,vh и vh/vv поляризация от избран тестови участък на фигура № 25 биха могли да проследят динамиката и интерпретацията на площите с вода, мокър сняг и сняг в различни периоди от годината. Използвани са изображения от две поредни зими, като са използвани максимално близки дни за зимен сезон 2015 и 2016 година, съпоставени с периоди без снежна покривка през лятото на 2016 година. Използвани са изображения в рамките на 10 дни или на месец.

От направените композити може да се отличат дните 17.01.2016г. и 29.01.2016г., когато има повече наличие на сняг върху тестовите участъци, за предходна година тези участъци са предимно с вода. В рамките на месец от 24.12.2015г. до 29.01.2016г. (фиг.25 в, г, д) се наблюдават много динамични промени, които засягат и площите с прясна вода, които на изображение от 17.01.2016г. са покрити от много повече сняг. На 29.01.2016г. също се наблюдава сняг, но съчетан с мокър сняг. На изображение от лятото на 2016 година участъците, където е имало сняг изглеждат по-влажни, чистата вода е в много по-малки количества, с изключение на водата в язовир Доспат в най- южните точки на изображението. Самото изображение е с много по-високи стойности на отражение подобно на прясно натрупан сняг, както при изображението от 17.01.2016г. Количеството на прясна вода в яз. Голям Беглик и яз. Широка поляна е много по-малко от количеството в зимен сезон и има по-голямо наличие на влага и растителност.



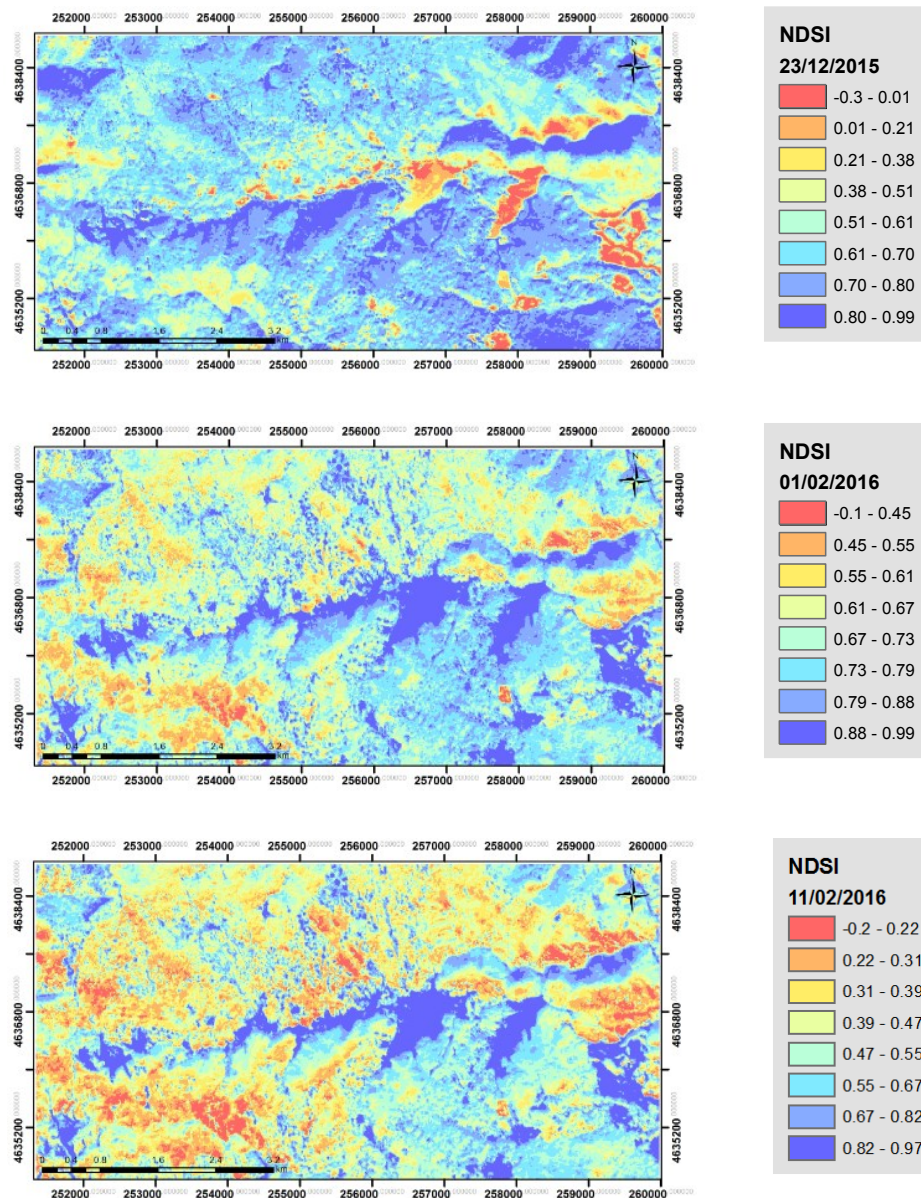
Фиг. 25 Композитни изображения от Sentinel -1A , $R - vh$, $G - vv$, $B - vh/vv$

Измененията на природните обекти са показани с vv и vh поляризация от Sentinel-1A на фигура № 28. Направеният коефициент на отражение е за три различни комбинации от три дати, които са в рамките на един месец. Допълнително е направена и класификация, с цел да изпъкнат по-ясно териториите с динамика. Първото изображение е отношение между дати 24.12.2015г. и 17.01.2016 година, където стойностите над 2 са много малко и за двата вида поляризация, което показва незначителни промени на природните обекти. Стойности над 2 в тъмно синьо са по-скоро в единични пиксели. Коефициентът на отражение е с най-сериозни промени в отношението на дните 17.01.2016г. и 29.01.2016г., когато има най-сериозни изменения в земното покритие и има данни за наличие на сняг. Много по-точни се оказват данните от vv вертикалната поляризация, които показват по-концентрирани промени в участъците, докато данните от vh вертикално-хоризонталната показват промени повсеместно. Стойности под 1 в оранжево и кафяво демонстрират много малки промени или много ниски стойности на коефициента на отражение. Стойностите в пример три, които демонстрират изменението за един месец, показват много малки изменения, но пък има и от най- високите стойности като 61,82, които са само за отделни пиксели с размер 10 m.



Фиг.28. Радарни изображения на индекс на отражение за *vh* и *vv* поляризация.

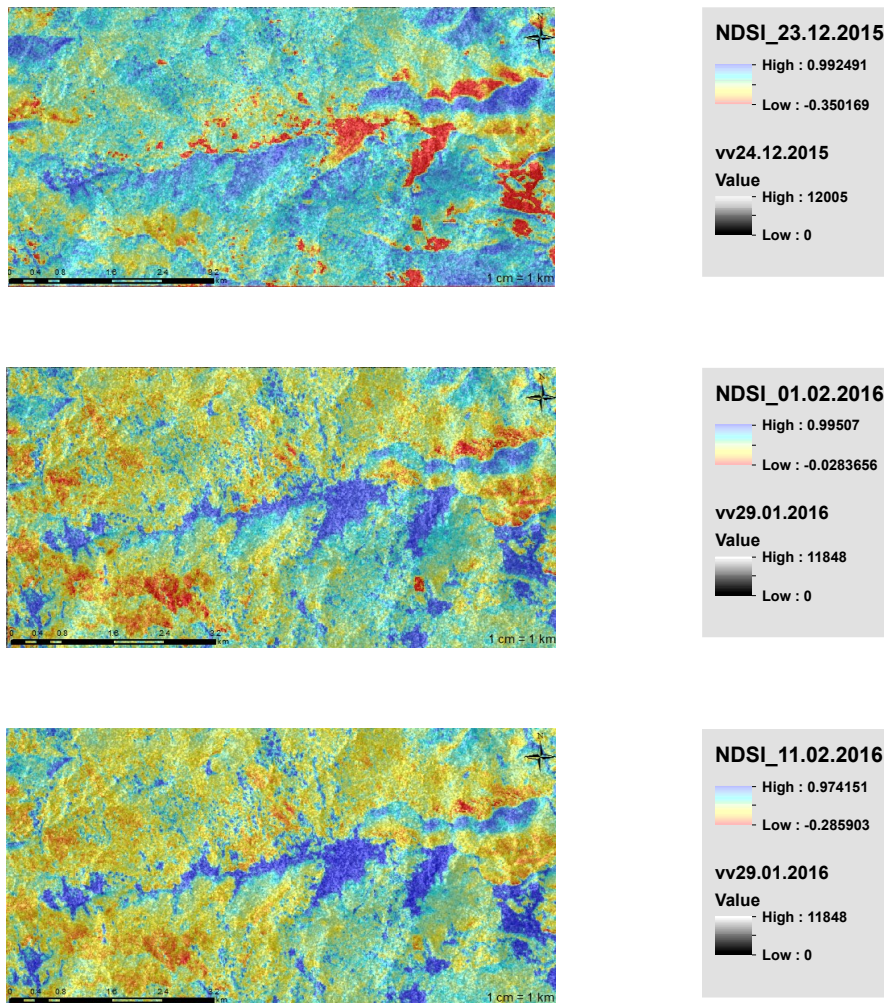
За изследване на снежната покривка е изчислен и класифициран в пет класа Normalized Difference Snow Index или Нормиран разликов снежен индекс за един тестови участък посочен на фигура №24 в). Изчислен е на база данни от оптичен спътник Sentinel- 2 MSI като са използвани три дати с добро качество на изображението, максимално близки до тези от предходен пример с радарни изображения (фиг.29). Използвано е отражението в канал 1 и отражението в канал 11. Стойностите му варират от 0 до 1 (едно). Стойностите над 0.80 биха могли да се разглеждат при проучване на по-старо снежно покритие. За определени места в средата от тестовия участък за дата 23.12.2015г. не се наблюдава снежна покривка, но за останалите две дати е видимо по-голямото разпространение.



Фиг.29 Класификация на снежен индекс (NDSI) на оптични изображения от Sentinel-2

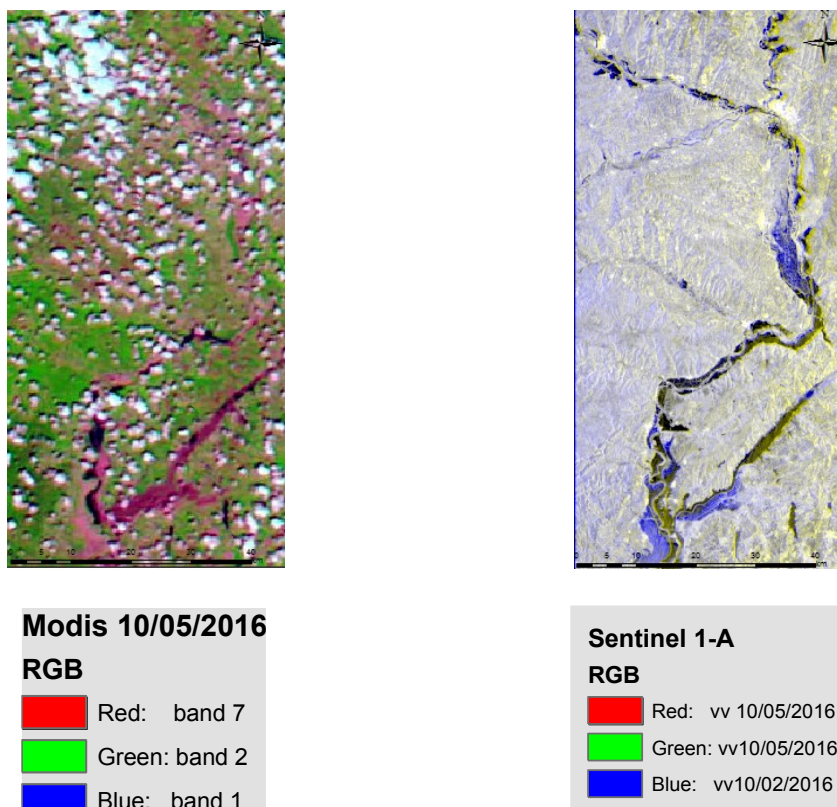
Възможността за съвместяване на две изображения от два различни спътника (фиг.30) дава възможност за подобряване на визуализацията и валидацията на получените данни. Така нареченото съвместяване на SAR изображение и изображение от Sentinel-2 MSI, на което е направен снежен индекс (Normalized Difference Snow Index) от един и същи период е сигурен начин за точно определяне на границите на наводнена площ, воден обект или снежно покритие. Много ясно контрастират на 23.12.2015 година местата с червен цвят от тестовия участък, където все още няма сняг. Същите места един месец по-късно ясно изпъкват върху радарното изображение с наличие на снежна

покривка. За целта е направен по-висок контраст на SAR изображенията, а на оптичните е направена прозрачност от 40% чрез ГИС.



Фиг.30 Съвместени радарни изображения от Sentinel-1 с NDSI индекс на Sentinel-2.

За да изпъкнат наводнените територии от втория обект и тестови участък (фиг.31), който е на територията на Гърция и Турция е използван друг подход. Използвана е два пъти датата с наводнение от 10.05.2016 година, поставена в R и G- канал, а във B-канал е поставена дата от сух период 10.02.2016 година. Разливната зона изпъква ясно и е в син цвят, в черен цвят е по-дълбоката вода, а в жълт и лилав цвят са останалите територии. Тук е използван друг подход и в RGB моделът във B канал е поставено събитието с наводнението. Много ясно се вижда от оптичното изображение на MODIS наличието на наводнение, но то изглежда в много по-малки размери. Може да се използват данни от оптично изображение за верификация на наводнени площи, но за валидиране на точните размери е по-добре да се използва радарно изображение [184].

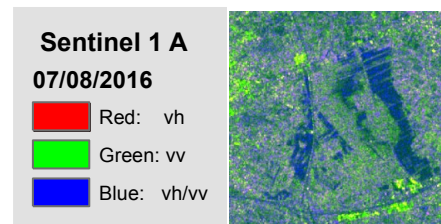
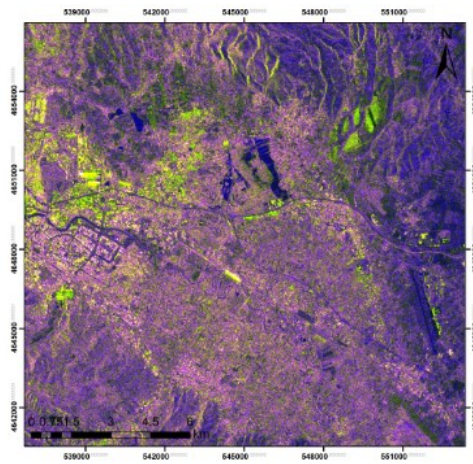
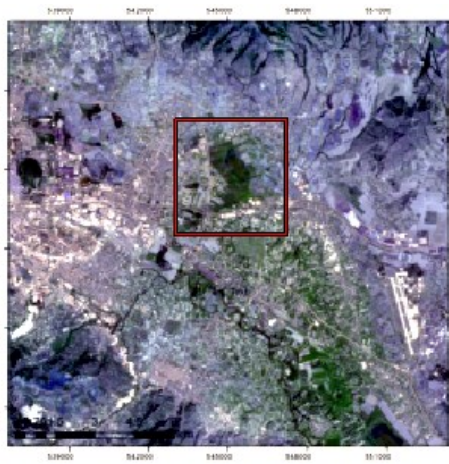


Фиг. 31 Композитни изображения от поречието на река Марица

4. 2. Анализ на резултатите от пример 2

В резултат на направеното описание на методиката в Глава III са генерирани следните резултати:

Направеното композитно оптично изображение на фигура № 33 а) не е от датата на събитието, но е максимално близка, което е много подходящо за проследяване обстановката, наличие на влага преди изваляването на 07.08.2016 година и други фактори. Дори и във видим спектър се вижда наличие на влага на място близо до градска зона. Най-вероятно това е място, което в повечето случаи е влажно. Въпреки че това е изображение от преди ден или два ясно дефинира мястото с влага, което не е никак малко. Сравнено със SAR изображение от датата на събитието (фиг.33 б) с комбинация на vv ,vh, vh/vv поляризации мокрият или наводнен участък е много по-голям още преди събитието, което е сигурен фактор за наличие на влага. Изображението от SAR (фиг.33б) много ясно определя границите на мокрия участък чрез псевдо цветовете.



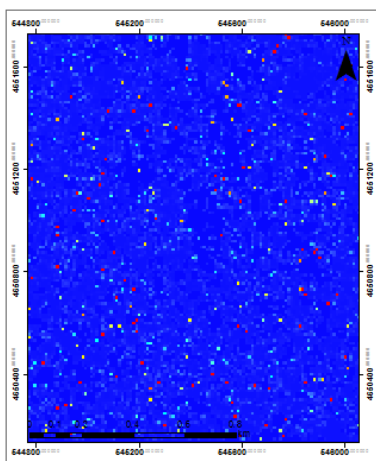
а.) Sentinel-1

б.) Sentinel-2

Фиг. 33 а, б.) Композитни изображения от Sentinel -1 и Sentinel-2

Използването на NDMI е мулти - времево съотношение на отржението в различни моменти (фиг.35). Колкото отражението се доближава до 1, то толкова повече влага има в почвата. За трите избрани момента от време се отличава последният, когато има цели участъци само със стойност до 1(единица), което е сигурен индикатор за влага или вода. В този случай са подбрани изображения от времето на събитието. Става въпрос за данните на изображение от фигура 35 в) 02/08/2016г. и 07/08/2016 година. Като цяло подбраният тестови участък е бил с високи стойности на влага и преди това [191].

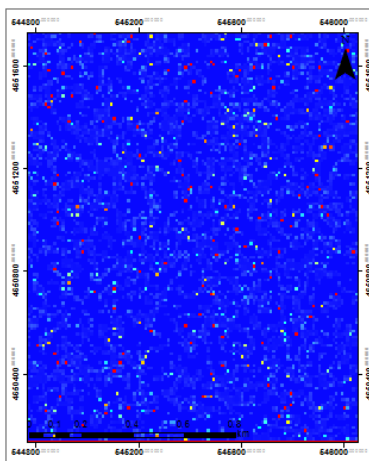
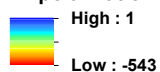
За направата на композитно радарно изображение на фигура №36 съвместно са използвани данни от датата на наводнението 07.08.2016 г. с хоризонтална и хоризонтално-вертикална поляризация, сбор от други три дати, но когато не са регистрирани наводнения, които са поставени в В канал от композита. За композитното изображение е използвана следната комбинация: R- vv от 07.08.2016 г., G- vv от 07.08.2016 г., B- vv поляризация на сума от три изображения на следните дати 14.07, 21.07 и 02.08.2016 година само с vv-вертикална поляризация. Използването на повече от едно сухо изображение е гаранция за по-сигурни резултати, които са стабилна основа на обстановката преди настъпване на наводнение.



NBMI

14.07.2016 and 21.07.2016

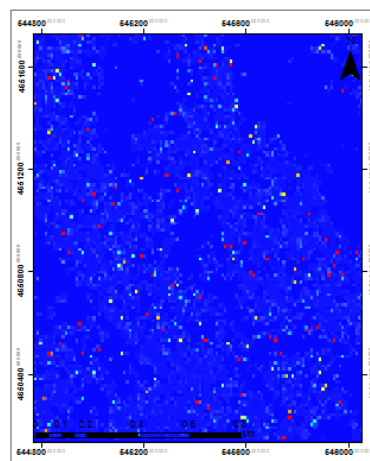
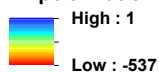
vv polarization



NBMI

21.07.2016 and 02.08.2016

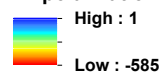
vv polarization



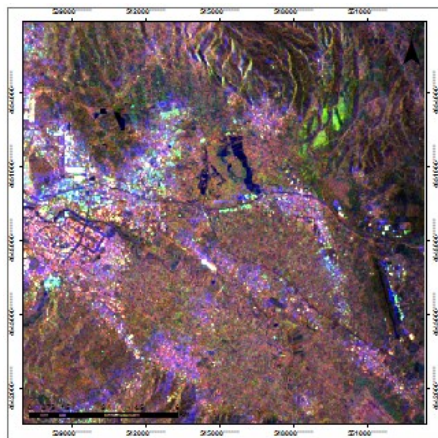
NBMI

02.08.2016 and 07.08.2016

vv polarization

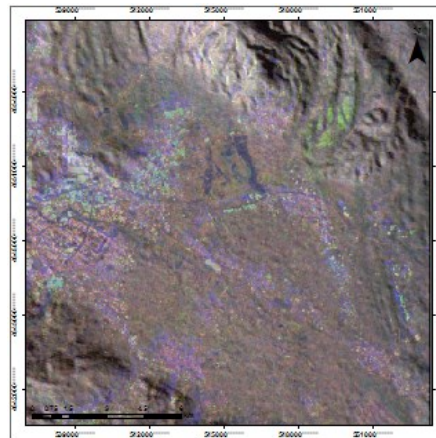
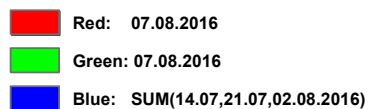


Фиг.35 NBMI (Normalized radar Backscatter soil Moisture Index) за тестови участък с vv-поляризация



SENTINEL- 1 A

RGB



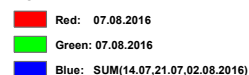
Цифров модел на релефа

Надморска височина (m)



SENTINEL- 1 A

RGB



Фиг.36. Композитно радарно изображение

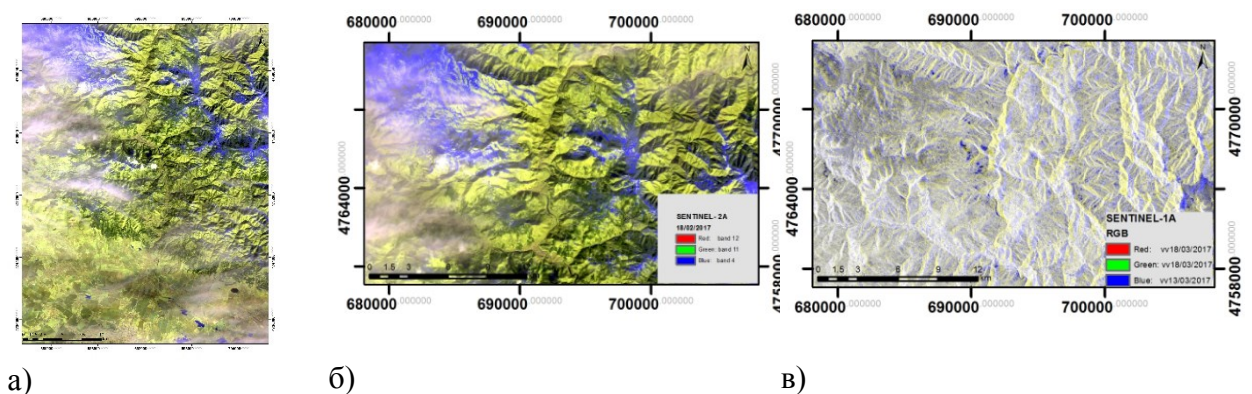
Фиг.37. Композитно радарно изображение с Цифров модел на релефа (DTM)

Съвместяването на различни видове изображения е сигурен начин за валидиране на данните за наводнение. На фигура № 37 е направен композит между радарно изображение от фигура № 36 и Цифров модел на релефа, който е допълнително подобрен и е с точност 25 метра. Много добре подсилва геоморфоложките форми и дава реална представа за обстановката и данни за надморската височина на определени точки. Така това изображение може да послужи като 3- D модел на територията.

4. 3. Анализ на резултатите от пример 3

В резултат на направеното описание на методиката в Глава III са генерирани следните резултати.

Използваното композитно оптично изображение на фигура №38 а) е от спътник Sentinel-2A MSI с дата 18.02.17г. и показва наличието на сняг чрез канали 12,11,4, чиито дължини са подробно описани в глава III. На фигура №38 б) и в) е показан избраният тестови участък от оптично и радарно изображение, който е от територията на град София .

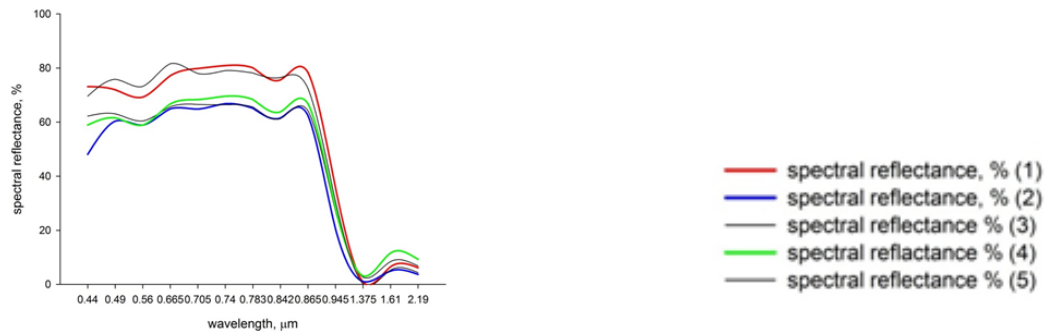


Фиг.38 Композитно оптично а, б) и в)композитно радарно изображение

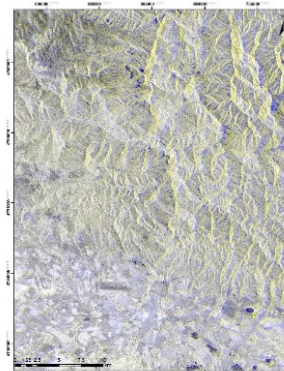
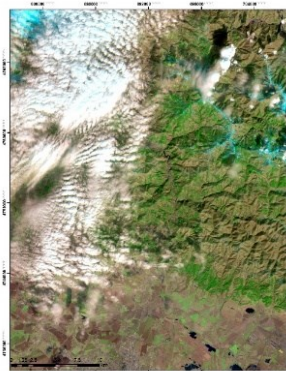
Спектралната характеристика на фигура № 40 е сигурен начин за валидиране на данните само от оптично изображение и показва, че избраните участъци са със сигурност територии със сняг. Спектралната крива на всеки един природен обект е строго дефинирана и тя не се променя.

Изборът на две дати и различно място на дата със събитието може да се комбинира в RGB модел като дата 13.03.2017г. от събитието с мокър сняг е поставена в R , G и във B - канал (фиг.41). И в трите комбинации от фигура№41б, в, г) съпоставени с оптично изображение от фигура № 41 а) много ясно се виждат местата с мокър сняг, вода и влага. Изображението от Sentinel- 2A с комбинация 12, 8A, 4 от 28.02.2017 година е максимално близко преди датата на събитието, но отново е с облачна покривка. Въпреки това местата

с вода и снежна покривка в по-високите части се виждат ясно, но на територията на град София в урбанизираната част няма сняг.

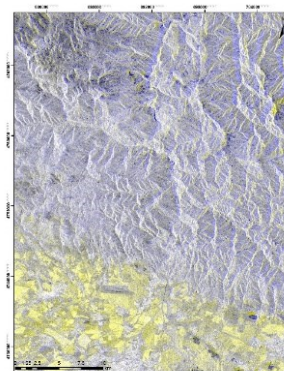
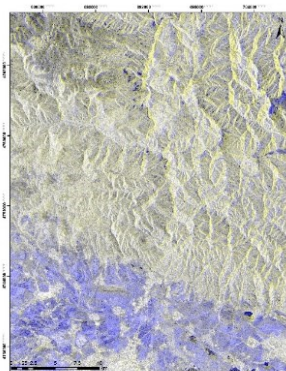


Фиг. 40. Спектрална характеристика на контролни точки от тестовите участъци



а) Композитно оптично изображение от Sentinel-2: канали 12,8A,4

б) Композитно SAR изображение с vv поляризации R-12/03/17, G-12/03/17, B-13/03/17

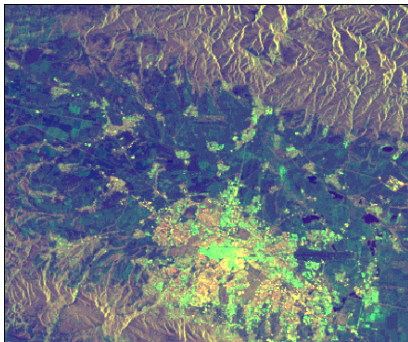


в) Композитно SAR изображение с vv поляризации R-18/03/17, G-18/03/17, B-13/03/17

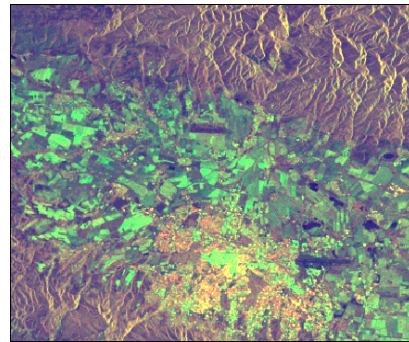
г) Композитно SAR изображение с vv поляризации R-13/03/17, G-13/03/17, B-18/03/17

Фиг.41 Композитни оптично и SAR изображения

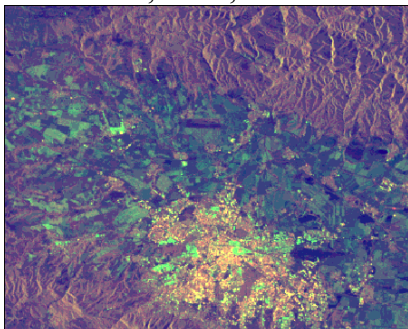
По-голяма времева разделителна способност е също сигурен начин за регистриране на събитието (фиг.42). Генерираните композитни изображения на базата на различен тип поляризация (hv – хоризонтално-вертикална и vv – вертикална) в следната комбинация: R – vh, G – vv, B – vh/vv ясно визуализират площта на мократа снежна покривка. Ясно изпъкват влажните места и водните обекти. Дата 13.03.2017 година рязко контрастира на фона на другите. Пресният мокър сняг и сняг се характеризират с високо отражение и поради неравността на повърхността регистрирания сигнал е бил с по-голяма стойност, когато е достигнал до сензора.



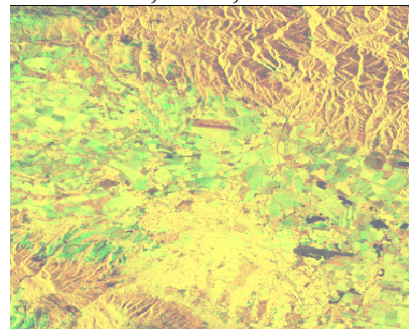
а)05/03/17 R- vh,G- vv, B-vh/vv



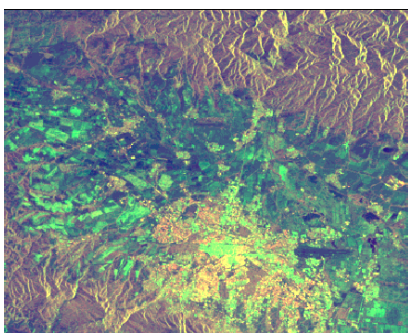
б)11/03/17 R- vh,G- vv, B-vh/vv



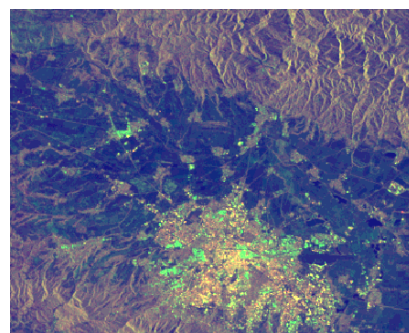
в)12/03/17 R- vh,G- vv, B-vh/vv



г)13/03/17 R- vh,G- vv, B-vh/vv



д)17/03/17 R- vh,G- vv, B-vh/vv

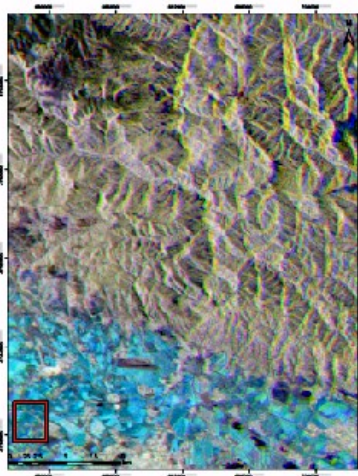


е)18/03/17 R- vh,G- vv, B-vh/vv

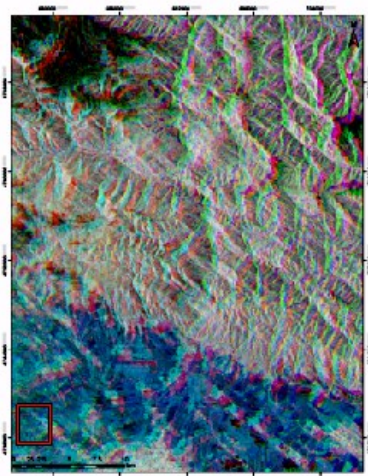
Фиг. 42 *Композитни SAR изображения с различни поляризации и дати*

Изборът от три дати при композитните радарни изображения от двата вида поляризация (фиг.43 а, б) показват много малки визуални разлики в стойностите при

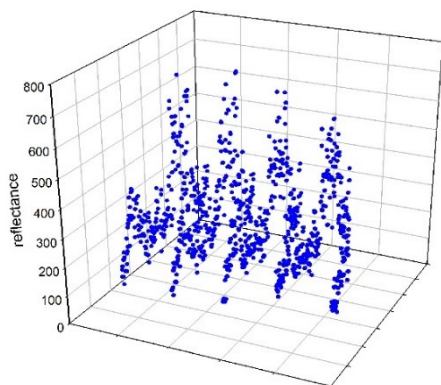
регистрация на мокър сняг в hv и vv поляризация. И в двата случая ясно се регистрират в тестовия участък местата с наличие, стига да е използвана датата със събитието в RGB модел поставена в канал и дата преди събитието. В този случай са подбрани 18.03.2017 г. след събитието, 12.03.2017 г. преди събитието и 13.03.2017 г. по време на събитието. По-нататък е използван и графичен метод чрез който е представено площно разпределение на отражението (фиг. 43 в, г), стойностите на места достигат над 700-800 за vv поляризацията. Това показва наличие на мокър сняг, тъй като той се характеризира с много по-високи стойности на отражение от тези на водата. Тук стойностите за vh поляризация са значително по-ниски, но тъй като това е по-урбанизираната част от София е нормално да има и някакви изкривявания, допустими при този тип поляризация [193].



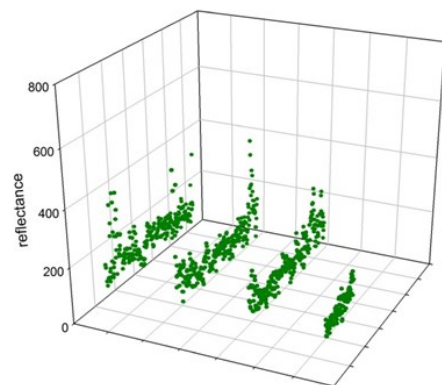
а) vv поляризация R-18/03/17, G-12/03/17, B- 13/03/2017



б) vh поляризация R-18/03/17, G-12/03/17, B- 13/03/2017



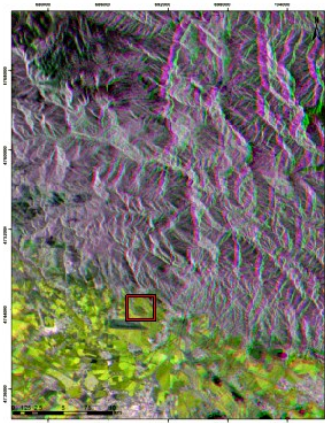
vv поляризация -13/03/2017



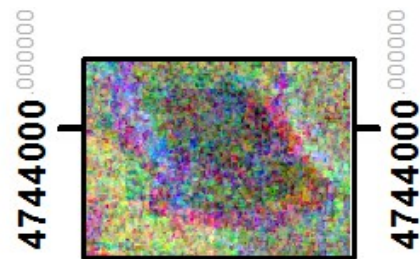
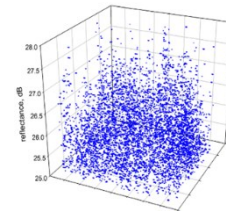
vh поляризация - 13/03/2017

Фиг. 43 Композитни SAR изображения а),б) и Пространствено разпределение на отражението на мокър сняг в) и г) Източник: Spasova T., R. Nedkov;(2017)[193].

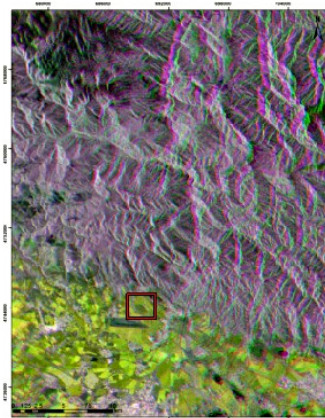
Подобна е ситуацията при композитни изображения в същата подредба на датите, но трансформирани в dB /децибели/ (фиг. 44 а ,б). Въпреки, че е избран друг тестови участък Може да се приеме, че стойностите, които са над 25 до 28 dB са сигурен индикатор за мокър сняг. Тук обратно на пример от фигура № 43 а, б) стойностите на v_h са много повече от тези на vv поляризацията. За предпочитане е да се работи при мокър сняг с vv поляризацията. Стойностите тук са много по-точни, тъй като dB децибелите са логаритмична величина



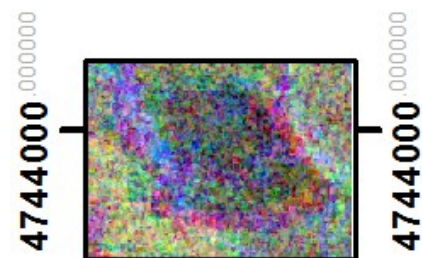
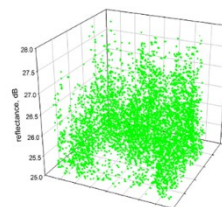
а) VV поляризация:R-12/03/17, G-13/03/17,B- 18/03/17 (dB)



б) VV poliarization -13/03/17



в) VH поляризация:R-12/03/17, G-13/03/17,B- 18/03/17 (dB)



г) VH poliarization -13/03/17

Фиг. 44. Композитни SAR изображения в dB а), в) и Пространствено разпределение на отражението на мокър сняг б) и г) в dB [193]

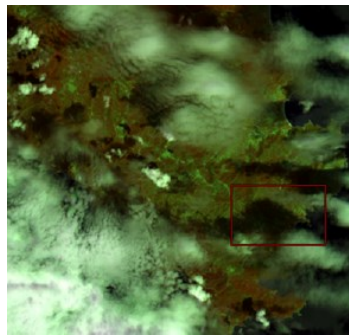
4. 4. Анализ на резултатите от пример 4

В резултат на направеното описание на методиката в Глава III са генерирани следните резултати:

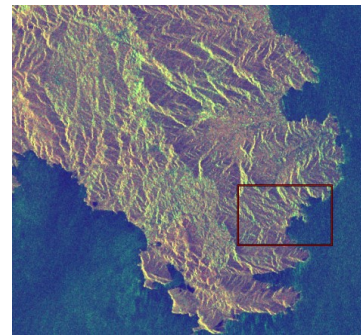
Композитни изображения от оптичен и микровълнов диапазон от мястото на наводнението са показани на фигура 45 а, б, в. Използваните дати за радарното изображение са от деня на събитието фиг.1 в), а за оптичен диапазон фиг.1 б) най-близката до тази дата, а в случая 18.07.2017г. Въпреки че изображението не е най-подходящото, след използване на подходящи спектрални комбинации би могло да се използва за потвърждение на наличие или липса на вода [185, 186, 188].



а) Sentinel 2 -05.07.17г.,
канал R-4,G-3,B-2



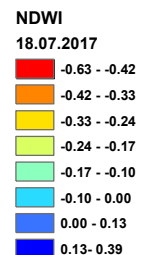
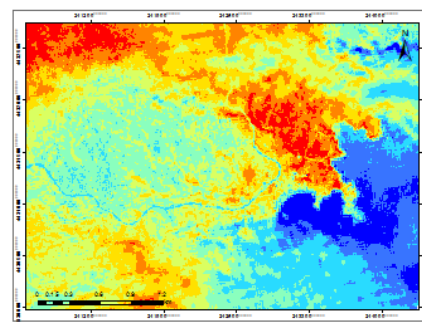
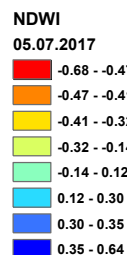
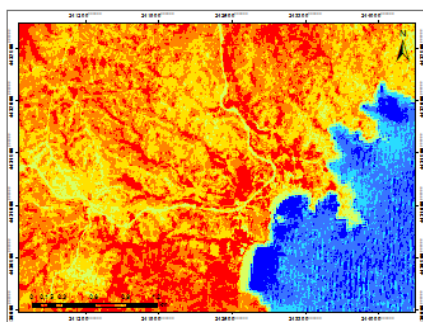
б) Sentinel 2 -18.07.17г.,
канал R-8a,G-12,B-4

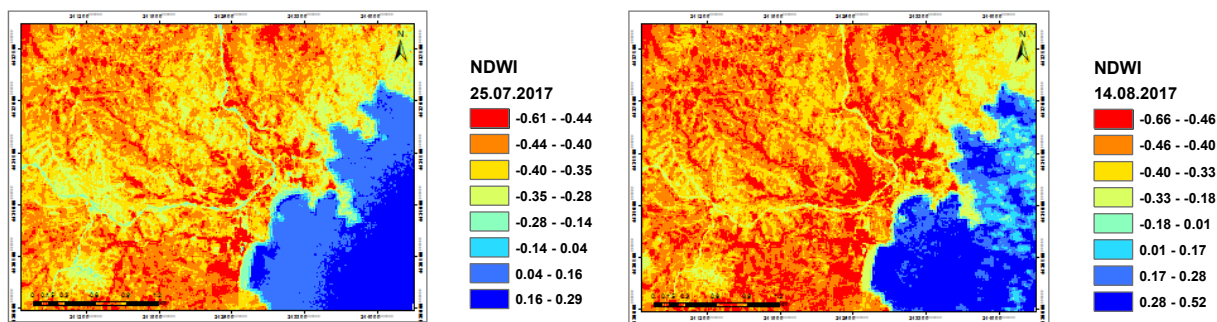


в) Sentinel 1- 17.07.17г.,
канал R-vh, G-vv,B-vh/vv

Фиг.45 Композитни изображения от Sentinel -1 SAR и Sentinel -2 MSI- п-в Ситония, Халкидически полуостров

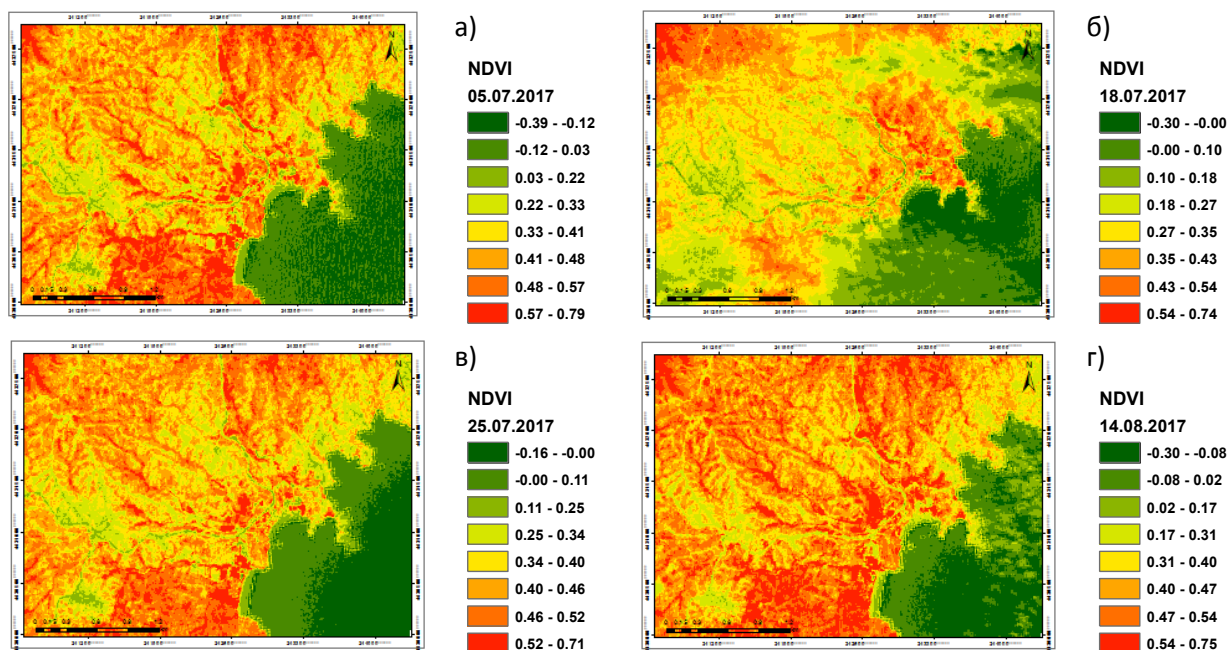
Стойностите на NDWI добре кореспондират с данните от оптични изображения, те биха могли да се използват като верификатор на местата с вода или влага. Стойностите му варират от -1 до $+1$ за вода. Датата след наводнението 18.07.2017 г. е с най-високи стойности на влага и вода. Преди и след събитието картите са идентични, което говори, че територията бързо се е възстановила, тъй като това се случва в средта на лятото, което за района е средна температура над 35°C . Стойности до 0.39 в отделни части от тестовия участък е сигурен белег за много силно овлажнена почва и даже на места наличие на повърхностна вода [76,78].





Фиг.46 Стойности на NDWI от Ситония, Халкидически полуостров

Стойности от около 0.3 на NDVI говорят за рядка растителност или треви в високите части на полуострова, което на места е съчетано с гори и максимални стойности до 0.79, които преобладават за този планински релеф (фиг.47). Стойности под 0.3 се наблюдават предимно на изображението от 18.07.2017г.(фиг. 47 б), което е признак за наличие на влага. На места стойностите на сушата достигат и под нулата, а на места и до -0.3 , което вече е сигурен признак за вода. Само седмица след наводнението (фиг.47 в) стойностите започват да се доближават до първоначалното изображение от фиг. 47 а), а две седмици след наводнението екосистемата изглежда напълно възстановена и стойностите са много близки до първоначалните[191].

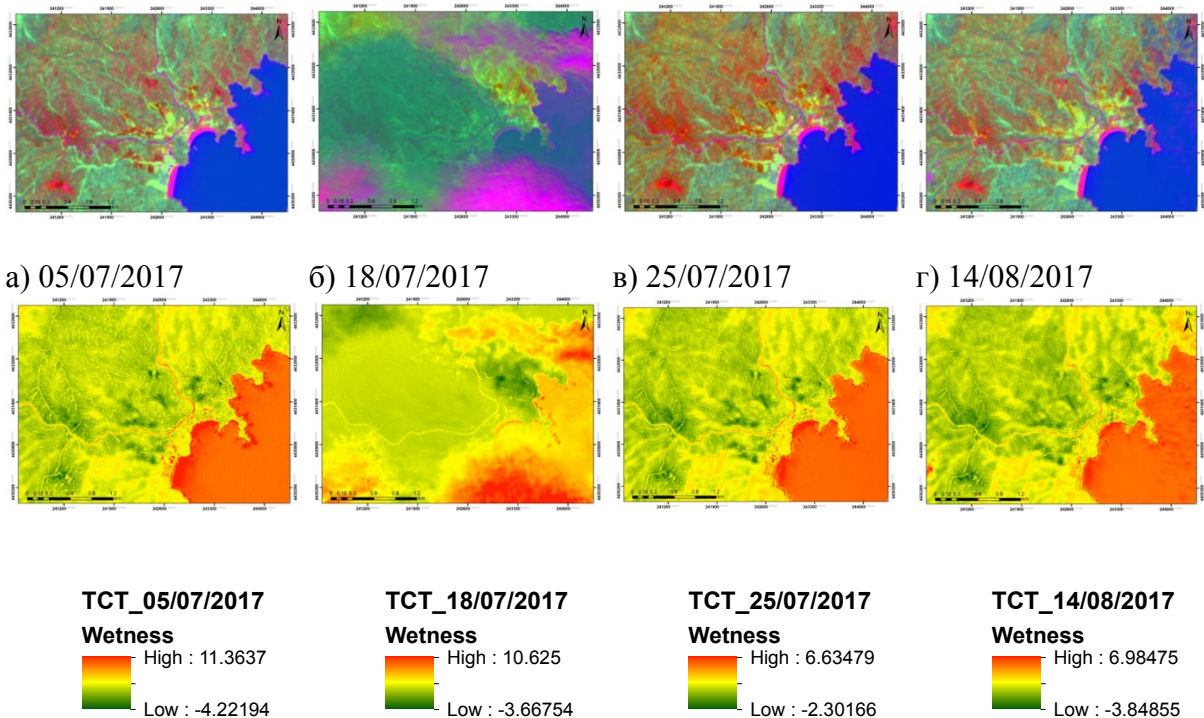


Фиг.47 а – г) Стойности на NDVI от Ситония, Халкидически полуостров

Дори и с просто око може да се забележи разликата в изображенията след ТСТ (фиг.48 а-г). Най-драстично е изменението на признаците във фигура 48 б). Въпреки че

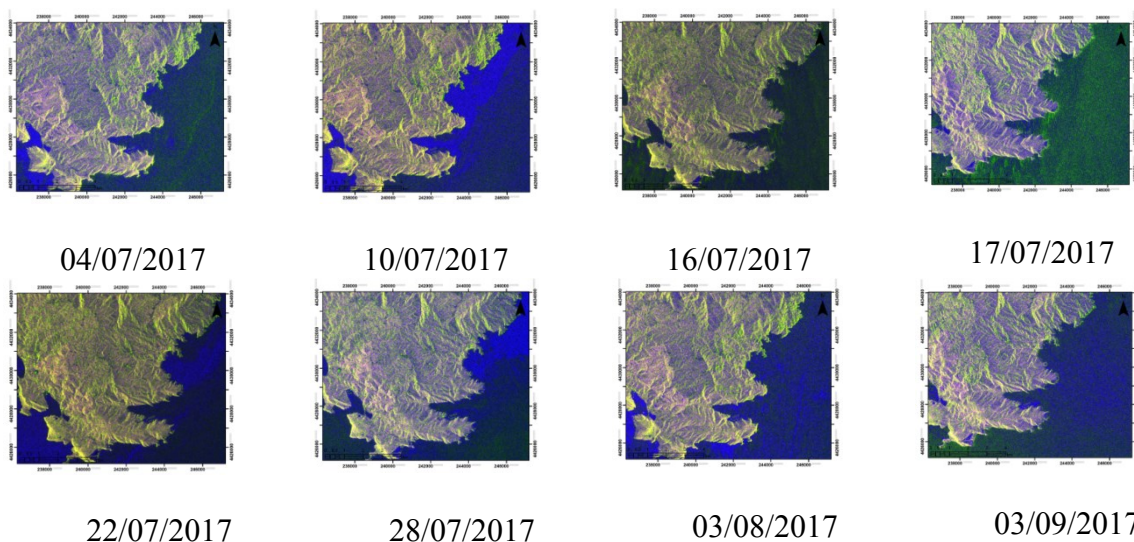
част от изображението е обхванато от облачна покривка, то в централната и североизточната част ясно се вижда изменението и влажността на почвата. Останалите три изображения (фиг. 48 а, в, г) са много сходни, особено тези преди началото и един месец след наводнението.

От площното разпределение на компонентата -влажност (W) отново изображението с наводнението (фиг.48 б) се отличава с най-високи стойности, които на места от сушата се доближават до стойностите на вода и обхващат големи площи, а не единични пиксели. Останалите три изображения са идентични, което говори отново за бързи възстановителни процеси в екосистемата.[19].



Фиг.48 а-г) Карта на TCT и площно разпределение на wetness (W) компонентата от Ситония, Халкидически полуостров

Композитите от различните видове поляризация на фигура № 50 в комбинация R-vh, G-vv, B- vh/vv описват отражателните характеристики на водата и подсилват допълнително местата с влага и вода. Проследявайки събитието две седмици преди и след настъпване отчетливо се виждат дните 16 и 17 юли, където наводненото място на полуостров Халкидики е с много по-тъмни пиксели. Датата на наводнението е 16.07.2017г. срещу 17.07.2017 година. Включително и морската вода е с друг псевдо цвят, поради наличие на много седименти и утайка от проливния над 24 часов дъжд [196].



Фиг.50 Композитни радарни изображения на Sentinel-1 SAR с канали R- vh , G- vv , B- vh/vv от различни дати -Ситония, Халкидически полуостров

4. 5. Анализ на резултатите от пример 5

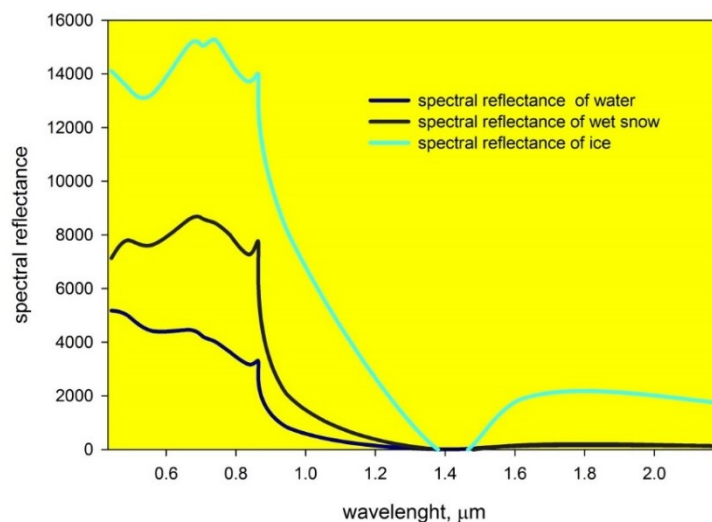
В резултат на направеното описание на методиката в Глава III са генерирани следните резултати:

Направеното композитно оптично изображение на фигура № 52 е във видимия диапазон от о-в Ливингстън. От него са направени три спектрални профила, за да се демонстрира чрез спектралната крива наличието на мокър сняг, вода и лед (фиг.53). Спектралната крива на даден обект е най-точният показател за наличие или отсъствие на даден обект при оптичните изображения.

Влажният сняг се различава значително от сухия сняг. Мокрият сняг също има по-тъмна повърхност или по-ниско алbedo [9].

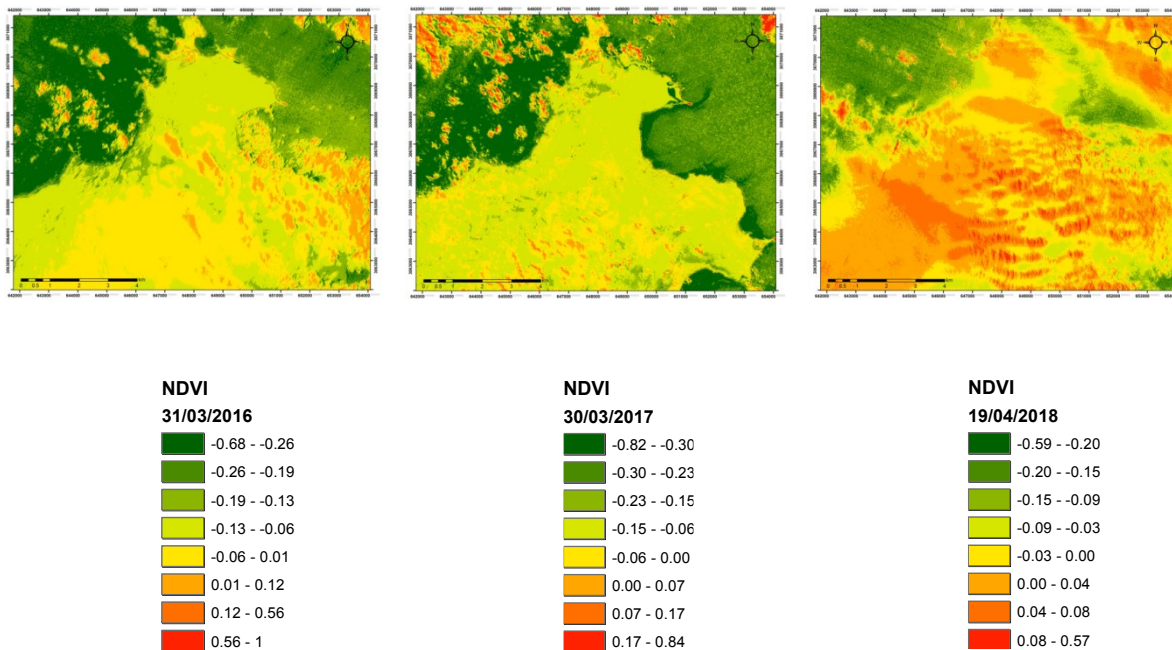


Фиг. 52 Композитно оптично изображение от Sentinel- 1 (Spasova T., 2018)



Фиг. 53. Спектрална отразителна характеристика на вода, мокър сняг и лед

Стойностите на NDVI от около 0,3 са представителни за редки растителни покрития и мъхове (фиг. 54), но не и за здрава гора [191,195, 199]. Това е абсолютно вярно за тази географска ширина, а изображенията от дрон и наземни изследвания го потвърждават. Горната граница на този индекс не надвишава стойност над 0,84 само през летния сезон и заема много малка част от територия на о-в Ливингстън. По-голямата част от летните стойности са около нула, което означава влажни или много влажни зони с мъхова растителност. Стойности над 0.3-0.4 са изключително малки или дори единични пиксели.

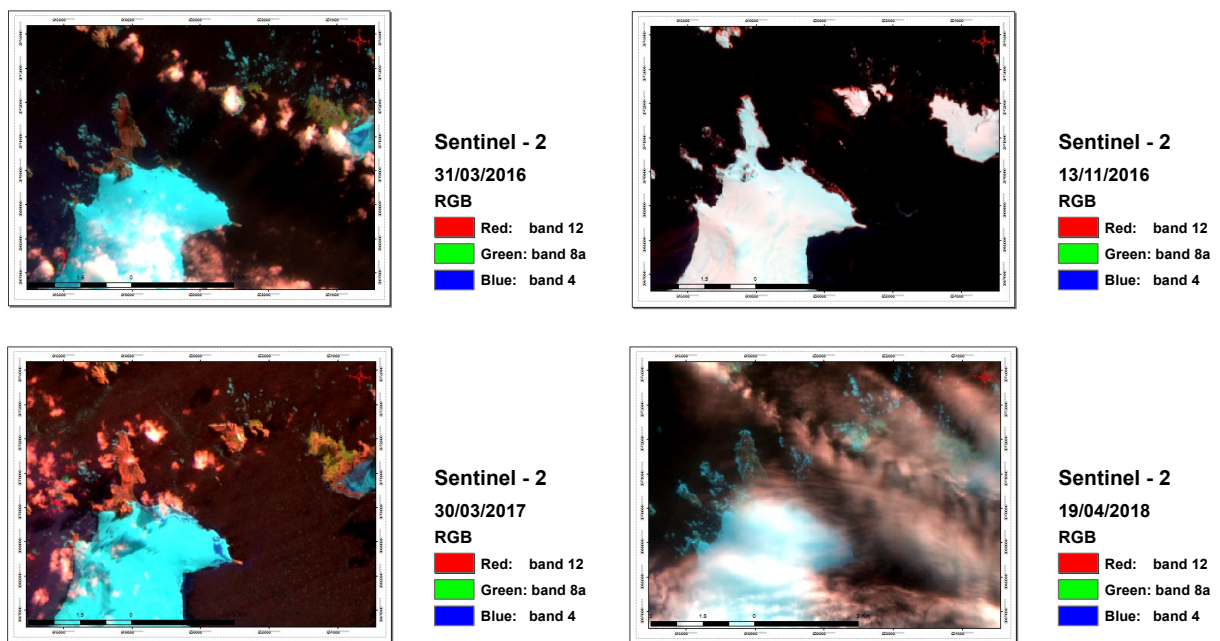


Фиг. 54 Стойности на NDVI от о-в Ливингстън

Изображенията от този район имат по-ниска времева разделителна способност, което ги прави по-малко удобни за мониторинг на мокър сняг, защото той е една от най-бързо променящите се повърхности.

Изключително удобни са оптичните изображения с 10 метра разделителна способност за геореферирание и избор на контролни точки при радарните изображения.

Каналите използвани за наличие на сняг и мокър сняг са 12, 8А, 4 [184]. Те са използвани за определяне на тестовите участъци и като маска за премахване на облачна покривка (фиг.56).

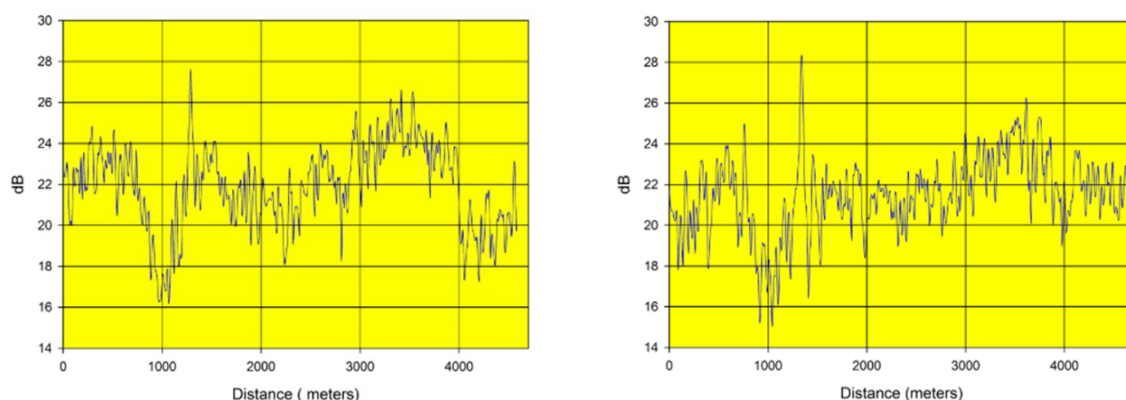


Фиг.56 Композитни оптични изображения от Sentinel -2 с тестови участъци – канали 12, 8А, 4

От профилите за площно разпределение на тестовите участъци от SAR ясно се вижда тенденцията, че стойностите за мокър сняг от 2017 година намаляват през 2018 година и са под 24dB (фиг.57). Стойности под 24 dB се считат за стойност типична за вода [19]. Профилите са направени за територията на тестовите участъци, които са демонстрирани на фигура 52 и са от североизточната част на острова за вода.

05/04/2017

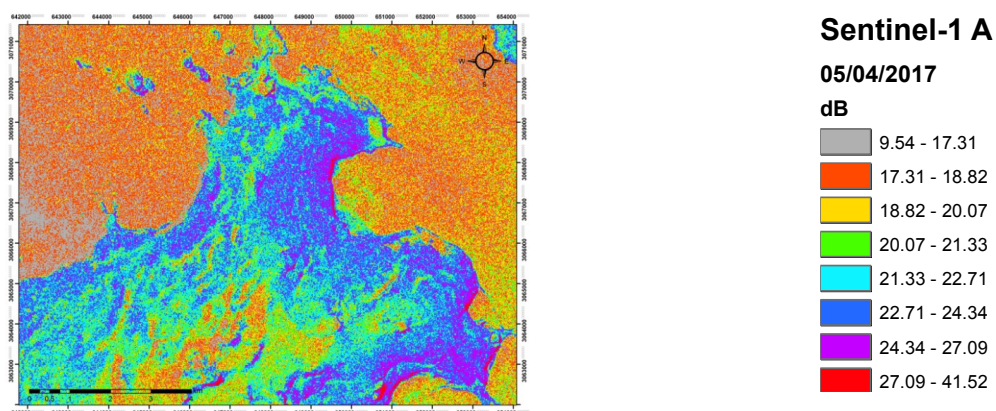
24/04/2018

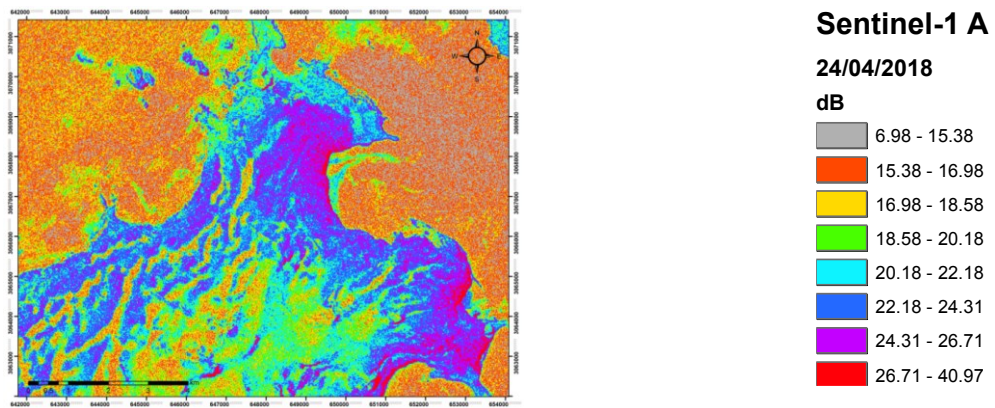


Фиг. 57 Профили на площно разпределение от тестови участък с вода в [dB]

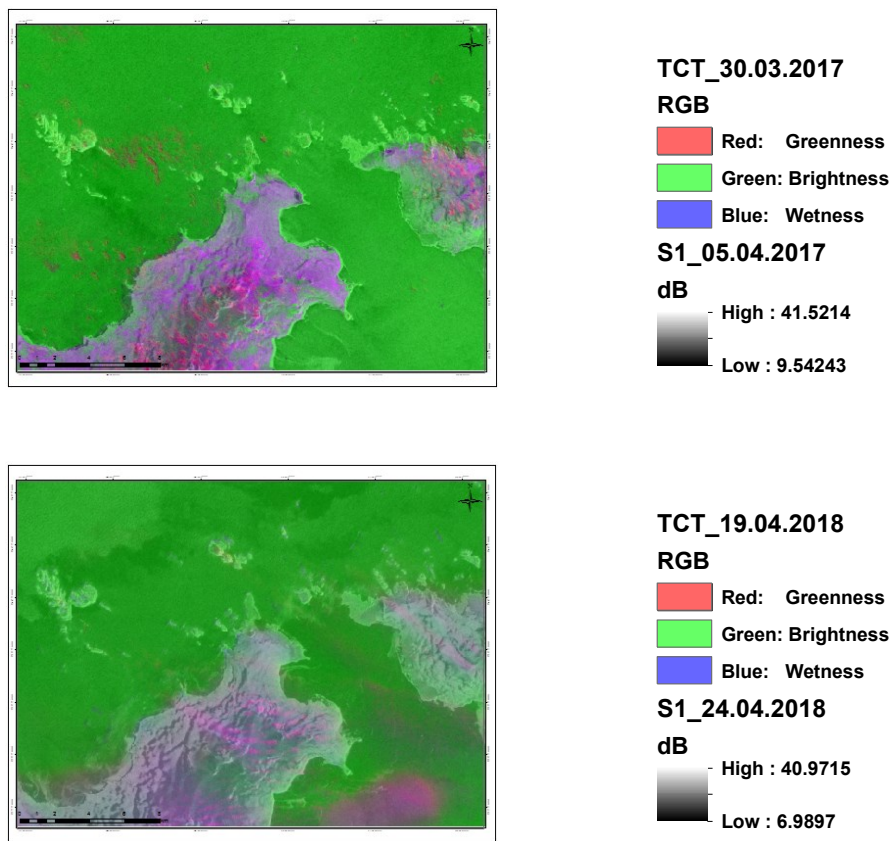
SAR изображенията с hh (хоризонтална) поляризация от три последователни години в dB, но от един и същи период, както спектралната характеристика и профили на площно разпределение на мокър сняг са сигурен начин за валидиране на данните и местата с мокър сняг и вода. С голяма промяна са стойностите 22 -25 dB, което е сигурен признак за изменение на някои климатични компоненти. Стойностите между 25 и 28dB са индикатор за мокър сняг или за краткотрайна снежна покривка (фиг.58),[193], а стойност около 30 dB е индикатор за наличие на лед [200].

Чрез TCT и SAR съвместяването на данни се верифицират резултатите, които са получени в предходните примери и са свързани с наличието или отсъствието на мокра снежна покривка (фиг.59). SARданните са трансформирани в децибели (dB) и по този начин са много по-прецизни. TCT достатъчно добре показва областите с по-влажни и мокри места от тестовия участък на о-в Ливингстън. Избраните SAR изображения са подбрани да са максимално близко до датата от оптичните изображения. Ясно се виждат тенденциите на разрастване на местата с мокър сняг, които през 2017 са в много по-малки размери, а през 2018 година се наблюдава значително изменение.





Фиг. 58 Композитни SAR изображения в dB –Sentinel-1 Източник: Sprasova T. [19]



Фиг. 59 Съвместяване на SAR изображения (Sentinel-1) в dB и TCT на изображения от Sentinel- 2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използваният диференциран подход представлява създаден модел на интегрирана методика за мониторинг на наводнени площи, повърхностни водни тела и краткотрайна снежна покривка. За всеки от обектите, които са разгледани в дисертацията са използвани индивидуални подходи с цел да се проследи по различен начин динамиката и количествените изменения на обектите на база данни от различни спектрални диапазони. За всеки от обектите е направен индивидуален модел.

За различните обекти са използвани различни показатели и индекси от оптичен или микровълнов диапазон. Признаците по които са дефинирани определените обекти за наводнени или за заети от снежна покривка, но краткотрайна са едни и същи. За ориентир са използвани отражателните характеристики на природните обекти, които са признак по който даден обект може да бъде класифициран и/или композитни оптични или микровълнови изображения. Всеки от показателите е класифициран допълнително, за да бъде направен подробен анализ на данните преди или след дадено събитие. Всички от показателите могат да се използват съвместно за всяка една от териториите или могат да бъдат избрани определени комбинации, тъй като използването на всички показатели би било прекалено трудоемко за ежеседмичен или ежемесечен мониторинг.

Използването на класически хидроложки мониторинг се оказва много по-трудоемко и скъпо, тъй като са необходими много дълги статистически редове от данни и моделиране. Докато този подход дава много по-надеждна и актуална информация, независимо от географското положение на обекта.

Динамиката и изменението на наводнената повърхност може да се проследи дори и само от оптични показатели като NDWI, NDVI или TCT (използването на W- wetness компонентата на модела). Те могат да служат за количествено определяне на динамиката, но и за оценка на изменение на дадена територия след определено събитие. Въпреки това като следваща стъка за всеки от моделите са използвани и SAR данни, чиито стойности на коефициент на отражение също ясно демонстрират дните с наводнение и динамиката, служат за валидиране на оптичните данни.

За подобряване на визуализацията и друг вид верификация на получените данни от предложената методика е извършено така нареченото съвместяване на SAR изображение и изображение от Sentinel- 2 MSI, за което е направен снежен индекс (Normalized Difference Snow Index).

Съпоставянето на два различни вида данни от един и същи период е сигурен начин за точно определяне на границите на наводнена площ, воден обект или снежно покритие. Направеният оптичен индекс за сняг или TCT модел е верифициран успешно със SAR изображение от същият период като е направено така нареченото съвместяване на данни.

Достъпът до всекидневна информация от SAR дава по-точна преценка за динамичното развитие на по-трудно достъпни територии като Арктика и Антарктика. Често използването само на оптични изображения дава едни резултати, но използването на диференцирани и мултitemпорални подходи и комбинации засилва, ясно подчертава местата с наличие или липса на даден природен компонент или обект. Липсата на достатъчно добри изображения от Sentinel-2 за района на Антарктика е компенсирана с достатъчно добрата времева и пространствена разделителна способност на Sentinel-1. Наличието и на наземни данни, въпреки че може да не са от тестовия участък, дава на SAR възможност за извършване на ефективен и икономически изгоден мониторинг на климатичните промени в отдалечени територии. C- каналът на SAR дава възможност за ефективно проучване на мокър сняг и наводнени площи.

Данните от Sentinel-2 могат да се използват за локализиране на местата за наличие или отсъствие на мокър сняг и наводнени повърхности. Оптичните изображения са с по-ниска времева разделителна способност, което ги прави по-малко подходящи за мониторинг в градски условия, тъй като там мокрият сняг се топи с по-бързи темпове.

Композитните радарните изображения от една, две или три дати, използват псевдоцветове, на които се разпознава мокър сняг и вода. Резултатите показват ясно, че регистрирането на мокър сняг и топенето му могат да бъдат картирани с помощта на SAR данни чрез vv, hv и hh (за Антарктика) поляризация. На базата на пространствените разпределения на отражението може да се приеме, че данните от вертикалната поляризация са много по-подходящи при проследяване динамиката на мокър сняг в умерените ширини. SAR изображенията в dB са подходящи за разпознаване на мокър сняг, тъй като могат да се определят точни нива на стойностите за вода, мокър сняг, сняг и лед.

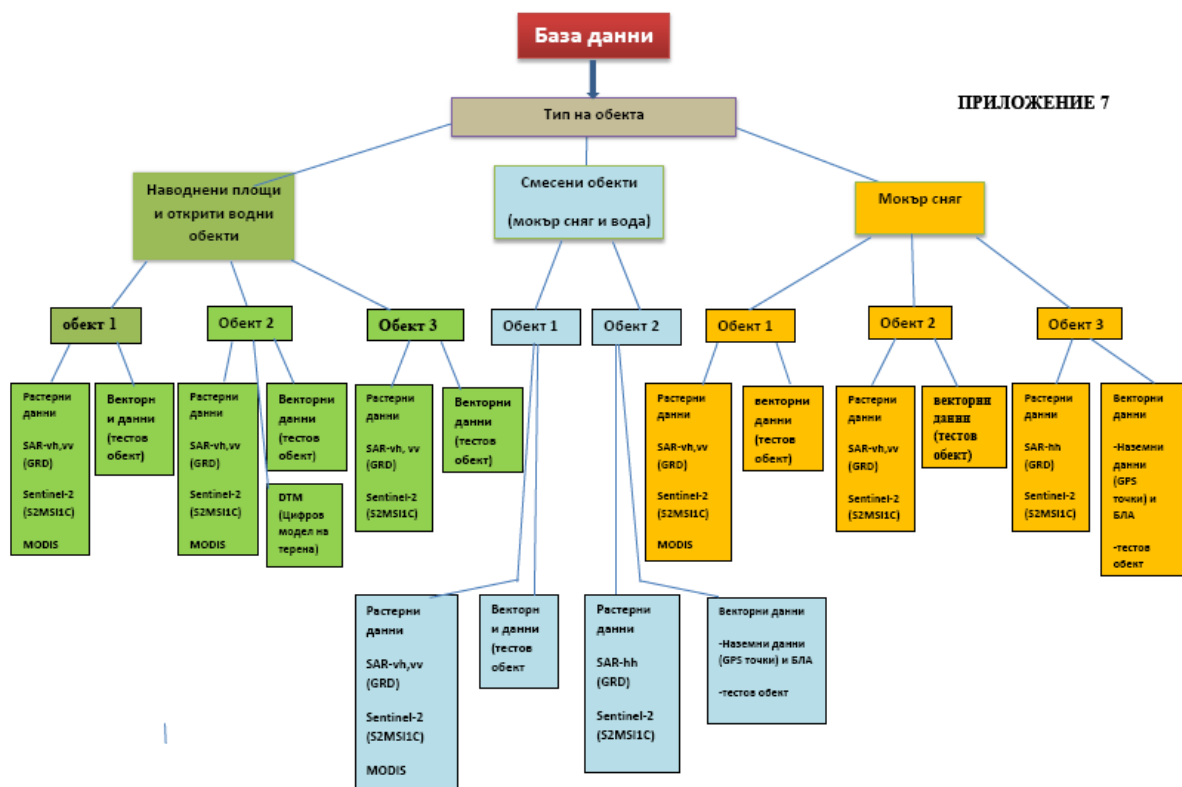
Съвместяването на различни видове изображения е сигурен начин за валидиране на данните за наводнения, водни обекти, сняг и мокър сняг. Особено ефективен е подходът с направени композитни радарни изображения и Цифров модел на релефа (DTM), който много добре подсилва геоморфоложките форми и дава реална представа за обстановката и данните за надморската височина на определени точки. Така това изображение може да послужи като 3- D модел на територията и е бърз, ефективен и актуален модел както преди, по време и след дадено събитие.

Приноси на дисертационния труд

1. Разработен е модел на интегрирана методика за изследване на пространственото и времево разпределение на наводнения, водни обекти и мокра снежна покривка на база оптични и SAR спътникови данни .
2. Разработена е система от модели за изследване на различен тип обекти по предложената методика, която включва индивидуален диференциран подход за всеки от обектите.
3. Получени са резултати на база прилагане на диференциран подход за оценка на динамиката в изменението на наводнени площи, повърхностни водни тела и мокър сняг, използващи SAR данни, оптични данни или синтез на двата вида.
4. Генерирана е гео база данни от спътникови изображения в оптичен и микровълнов диапазон с висока честота на повторение за всеки от обектите.

Публикации на автора, свързани с дисертационния труд

1. Spasova T., Nedkov R., (2019) "On the use of SAR and optical data in assessment of flooded areas," Proc. SPIE 11174, Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019), 111740V (27 June 2019); doi: 10.1117/12.2533660
2. Spasova T., (2018) Monitoring of short-lived snow coverage by SAR data around Livingston Island, South Shetland Islands in Antarctica, Adaptation Futures 2018 – „5th INTERNATIONAL CLIMATE CHANGE ADAPTATION CONFERENCE”: Cape Town – South Africa 18-21 June 2018 <https://doi.org/10.15641/0-7992-2543-3>
3. Nedkov R.; Spasova T.; Gotchev D.; (2016) A DISCRIMINATIVE APPROACH BASED ON AEROSPACE MULTISPECTRAL BANDS DATA IN MONITORING OF SNOW COVER AND WATER, Ecological engineering and environment protection Vol. 2 ,pp. 56-61, ISSN 1311-8668
4. Недков Р., Гочев Д., Спасова Т., Захаринова М.; (2016) АНАЛИЗ НА НАВОДНЕНИЕТО НА ТЕРИТОРИЯТА НА ГРАД СКОПИЕ ОТ МЕСЕЦ АВГУСТ 2016 ГОДИНА НА БАЗАТА НА СПЪТНИКОВИ ДАННИ , Екологично инженерство и опазване на околна среда № 3, с.52-55, ISSN 1311-8668
5. Spasova T., R. Nedkov;(2017) MONITORING OF SHORT-LIVED SNOW COVERAGE BY RADAR AND OPTICAL DATA FROM SENTINEL-1 AND SENTINEL-2 SATELLITES, Ecological engineering and environment protection Vol.2,pp. 13-19, ISSN 1311-8668
6. Spasova T.; (2017) Using radar data for monitoring flooded areas, SES 2017-Thirteenth International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY-November 2017, Sofia, Bulgaria, ISSN 1313- 3888



ПРИЛОЖЕНИЕ 7: Генерирана база данни

Библиография

1. Crétaux J, Bergé-Nguyen M, Leblanc M. Flood mapping infrared from remote sensing data. International Water Technology Journal (2011) 1(1)p. 46-58
4. Романова Хр. , Н. Радева , И. Маринова , М. Маринов , Т. Бозова (2012). Наводненията най-честото бедствие. причини, последици, организационни мерки. ИЗВЕСТИЯ НА СЪЮЗА НА УЧЕНИТЕ- ВАРНА 2'2012 / ТОМ XVII, 65–70
5. Мардиросян Г.(2000) Природни екокатастрофи и тяхното дистанционно аерокосмическо изучаване, Акад.изд.“Проф. М. Дринов”, С, 2000;
6. Мардиросян Г.(2009) Природни бедствия и екологични катастрофи, Акад.изд.“Проф. М. Дринов”, С, 2009;
7. Векилка Б.,Топлийски Д., Рачев Г. (1992) Ръководство по климатология. Университетско изд.“Св.Климент Охридски“, С, 1992;
8. Николова М., Недков С., (2012). Рискът от наводнения. ГИС моделиране на промените на околната среда за оценка на риска от наводнения, изд. Терапт
9. National Snow and Ice Data Center - <https://nsidc.org/>
10. Meier M., (1980) Remote sensing of snow and ice.Hydrological Sciences-Bulletin-dés Sciences Hydrologiques, 25, 3. 9/1980

11. 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>
12. IPCC, 2007. Climate Change 2007; Synthesis Report (Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge University Press, Cambridge
15. Kleinen, T., Petschel-held, G. (2007). Integrated assessment of changes in flooding probabilities due to climate change, 283–284. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9159-6>
16. Adaptation Futures (2018) „5th INTERNATIONAL CLIMATE CHANGE ADAPTATION CONFERENCE”: Cape Town – South Africa 18-21 June 2018 <https://adaptationfutures2018.capetown/>
17. Lehner, B., Oll, P. D., Henrichs, T., Kaspar, F. (2006). ESTIMATING THE IMPACT OF GLOBAL CHANGE ON FLOOD AND DROUGHT RISKS IN EUROPE: A CONTINENTAL, 2001–2002. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-6338-4>
18. Hussain, E., Shan, J. (2010). Mapping major floods with optical and SAR satellite images. IEEE Geoscience and Remote Sensing, 2–5. Retrieved from <http://geodesy.unr.edu/hanspeterplag/library/IGARSS2010/pdfs/4275.pdf>
19. Spasova T. (2018).Monitoring of short-lived snow coverage by SAR data around Livingston Island, South Shetland Islands in Antarctica, Adaptation Futures 2018 – „5th INTERNATIONAL CLIMATE CHANGE ADAPTATION CONFERENCE”: Cape Town – South Africa 18-21 June 2018 <https://doi.org/10.15641/0-7992-2543-3>
20. Tsyganskaya, V., Martinis, S., Marzahn, P., & Ludwig, R. (2018). SAR-based detection of flooded vegetation—a review of characteristics and approaches. International Journal of Remote Sensing. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1420938>
21. Shan, J., Hussain, E., Kim, K., Biehl, L. (2010). Flood mapping with satellite images and its web service. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 76(2), 102–105.
22. Савиных В.П., Цветков В.Я.(2001) Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. - М.: Картгеоцентр - Геодезиздат, 2001. -228 с : ил.ISBN 5-86066-043-2 Освещено
23. Обиралов А., Лимонов А.,Гаврилова Л. (2006) Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Москва “КолосС“
24. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы Техносфера, 2008. - 312 е., 16 с. цв. вклейки. ISBN 978-5-94836-178-9 Москва: Универсальный
25. Шовенгердт Р.А.,(2010)Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Москва: Техносдфера 2010-560 с. ISBN 978-5-94836-244-1
26. Manual, E. (2003). Remote Sensing, (October).DEPARTMENT OF THE ARMY EM U.S. Army Corps of Engineers, Washington D.C. 20314-1000

27. Parkinson, C. L., Ward, A., King, M. D. (2006). Earth Science Reference Handbook, 291. NASA. A Guide to NASA's Earth Science Program and Earth Observing Satellite Missions
29. Стоименов А., Вацева Р.,(1998) Спектралните сигнатури на природни обекти като елемент на компютърната картография и ГИС. 100 години география в Софийски университет-Международна научна конференция София, 1998г.
35. Weng, Q. (2006). Remote Sensing and GIS Integration. Soil Science. <https://doi.org/10.1081/E-ESS-120001835>
36. Clement M., Kilsby C., Moore P. (2017) Multi-temporal synthetic aperture radar flood mapping using change detection. Journal of Flood Risk Management (2017) DOI: DOI:10.1111/jfr3.12303
37. Liu, L., Liu, Y., Wang, X., Yu, D., Liu, K., Huang, H., & Hu, G. (2015). Developing an effective 2-D urban flood inundation model for city emergency management based on cellular automata. Natural Hazards and Earth System Sciences, 15(3), 381–391. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-381-2015>
38. Klemas, V. (2015). Remote Sensing of Floods and Flood-Prone Areas: An Overview. Journal of Coastal Research, 314(4), 1005–1013. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00160.1>
40. Barton, I. J., Bathols, J. M. (1989). Monitoring floods with AVHRR. Remote Sensing of Environment, 30(1), 89–94. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90050-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90050-3)
41. Nirupama, Simonovic S. S. (2002). Role of remote sensing in disaster management, (June), 107.
42. Lawal, D. U., Matori, A. N., Hashim, A. M., Chandio, I. A., Sabri, S., Balogun, A. L., & Abba, H. A. (2011). Geographic information system and remote sensing applications in flood hazards management: A review. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 3(9), 933–947, 2011 ISSN: 2040-7467
43. Cazals, C., Rapinel, S., Frison, et al., (2016). Mapping and Characterization of Hydrological Dynamics in a Coastal Marsh Using High Temporal Resolution Sentinel-1A Images. Remote Sensing, 8, 570 doi: 10.3390/rs8070570 <http://www.mdpi.com/2072-4292/8/7/570>
44. Yun, Q., Yun, Q. (2017). Ponding Excess Water Mapping in Agricultural Areas in Hungary Ponding Excess Water Mapping in Agricultural Areas in Hungary
45. Amarnath, G., Rajah, A. (2016). An evaluation of flood inundation mapping from MODIS and ALOS satellites for Pakistan. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7(5), 1526–1537. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1084953>
46. Andreoli, R., Li, J., & Yesou, H. (2007). Flood extent prediction from lake heights and water level estimation from flood extents using river gauges, elevation models and envisat data. European Space Agency, (Special Publication) ESA SP, (SP-636).

47. Yesou, H., & Andreoli, R. (2007). Change detection analysis dedicated to flood monitoring using ENVISAT Wide Swath Mode Data. Envisat Symposium, 1–6. Retrieved from <https://earth.esa.int/envisatsymposium/proceedings/posters/4P6/460731ra.pdf>
48. Giustarini, L. (2015). Integrating remote sensing information from SAR sensors and hydraulic modelling, 82.
49. Sansosti, E., Berardino, P. et al.(2013) How second generation SAR systems are impacting the analysis of ground deformation. National Research Council (CNR) of Italy – Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell’Ambiente (IREA), via Diocleziano 328, 80124 Napoli, Italy
50. Cretaux, J. F., C., Sylvain, B., Adalbert, A., Muriel, B. N., et al (2015). Global surveys of reservoirs and lakes from satellites and regional application to the Syrdarya river basin. Environmental Research Letters, 10(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/015002>
56. Dimitrova M, Nedkov N.,(2014). Registration of floods and fires using Modis, Ecological engineering and environment protection Volume 3-4/2014, p. 19-24, ISSN 1311-8668
57. Dimitrov, I. (2015). FLOODS MONITORING ALONG THE RIVER TUNDJA AND KAMCHIA, (November), 215–220.
59. Bioresita, F., Puissant, A., Stumpf, A., & Malet, J. P. (2018). A method for automatic and rapid mapping of water surfaces from Sentinel-1 imagery. Remote Sensing, 10(2). <https://doi.org/10.3390/rs10020217>
60. Sansosti, E., Berardino, P. et al.(2013) How second generation SAR systems are impacting the analysis of ground deformation. National Research Council (CNR) of Italy – Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell’Ambiente (IREA), via Diocleziano 328, 80124 Napoli, Italy
64. <http://www.esa.int/Copernicus>
97. Shoshany, M., Svoray, T., Curran, P., Foody, G., and Perevolotsky, A., 2000, The relationships between ERS-2 SAR backscatter and soil moisture: generalization from a humid to semi-arid transect. Int. J. of Remote Sensing, 21(11), 2337-2343.
100. White, L., Brisco, B., Dabboor, M., Schmitt, A., & Pratt, A. (2015). A collection of SAR methodologies for monitoring wetlands. Remote Sensing (Vol. 7). <https://doi.org/10.3390/rs70607615>
- 128 <http://step.esa.int/main/doc/tutorials>
- 144 Dozier, J., 1987. Remote sensing of snow characteristics in the southern Sierra Nevada, "Large Scale Effects of Seasonal Snow Cover," Proceedings of the Vancouver SymPosium, August 1987, FANS, 166, pp, 305-314.
146. Nolin A., Recent advances in remote sensing of seasonal snow, Journal of Glaciology, Vol. 56, No. 200, 2010

184. Nedkov R.; Spasova T.; Gotchev D.; (2016) A DISCRIMINATIVE APPROACH BASED ON AEROSPACE MULTISPECTRAL BANDS DATA IN MONITORING OF SNOW COVER AND WATER, Ecological engineering and environment protection Vol. ,pp. 56-61, ISSN 1311-8668
185. <https://scihub.copernicus.eu>
186. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/userguides/sentinel-2-msi>
187. <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>
188. <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1%20-sar/resolutions/level-1-ground-range-detected>
189. Fotev S., N. Georgiev, R. Nedkov;(2005) Viewing Geometry Model Evaluation for Spaceborn Pushbroom Imagery; 2nd International Conference Recent Advances in Space Technologies, Space in the Service of Society, RAST-2005, June 09-11, 2005, Istanbul, Turkey, Published by IEEE, pp. 540-544, ISBN 978-1-4244-3628-6
190. Nedkov R.;(2012) Assessment of information efficiency and data quality from microsatellite for the need of ecological monitoring; Aerospace research in Bulgaria, 2012, Volume (24), pp. 146-150, ISSN 1313 – 0927
191. Spasova T, R. Nedkov; (2019) On The Use Of Sar And Optical Data In Assessment Of Flooded Areas. Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment Conference Program March 18-21, 2019 <http://www.cyprusremotesensing.com/rscy2019/>
- 193 Spasova T., R. Nedkov;(2017) MONITORING OF SHORT-LIVED SNOW COVERAGE BY RADAR AND OPTICAL DATA FROM SENTINEL-1 AND SENTINEL-2 SATELLITES, Ecological engineering and environment protection Vol.2,pp. 13-19, ISSN 1311-8668
- 194 Недков Р., Д. Гочев, Т. Спасова, М. Захарина; (2016) АНАЛИЗ НА НАВОДНЕНИЕТО НА ТЕРИТОРИЯТА НА ГРАД СКОПИЕ ОТ МЕСЕЦ АВГУСТ 2016 ГОДИНА НА БАЗАТА НА СПЪТНИКОВИ ДАННИ , Екологично инженерство и опазване на околна среда № 3, с.52-55, ISSN 1311-8668
195. Ivanova I., Nedkov R., Borisova D.,(2017) Application of SAR data for seasonal monitoring of floating reed islands dynamic in Srebarna Lake, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VIII, 2017, Proc. of SPIE Vol. 10428, 104280M,doi: 10.1117/12.2278542
196. Spasova T.; (2017) Using radar data for monitoring flooded areas, SES 2017-Thirteenth International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY-November 2017, Sofia, Bulgaria, ISSN 1313- 3888
197. Bulgarian Antarctic Institute (BAI), <https://bai-bg.weebly.com/>

198. Correia, A., Yanakieva, N. and G. Vieira (2017). Permafrost research in Sites CALM and PAPAGAL near Bulgarian Antarctic Base, Hurd Peninsula, Livingston Island, Antarctica). Guadalajara, Mexico 2017
199. Stankova N., R. Nedkov, 2015: Monitoring the dynamics and post-fire recovery processes of different vegetation communities using MODIS satellite images, Journal of Environment Protection and Sustainable Development Vol. 1, No. 3, 2015, pp. 182-192, ISSN 2381-7747
200. Gotchev D., Nedkov R., Dimitrova M. (2017) A study of the geomagnetic activity influence on radar images from the circumpolar region (in Bulgarian). Ecological Engineering and Environment Protection Vol. 3, p. 29-34, ISSN 1311-8668