



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

София 1113, ул. "Акад. Г. Бончев", бл. 1; тел./ факс: +359 2 988 35 03.; e-mail: office@space.bas.bg, <http://www.space.bas.bg>

Камелия Любомирова Радева

**ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ
ПРИ ПРОВЕЖДАНЕ НА
МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ
НА ПРИРОДНИ ОБЕКТИ**

АВТОРЕФЕРАТ

За присъждане на образователна и научна степен

ДОКТОР

В област на висше 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 ПРИЕТИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ	5
ГЛАВА 1. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМИТЕ СВЪРЗАНИ С ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ НА ПРИРОДНИ ОБЕКТИ.....	7
1. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМИТЕ СВЪРЗАНИ С ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ НА ПРИРОДНИ ОБЕКТИ.....	7
1.1. Мониторинг на околната среда – същност, видове	7
1.2. Институции за мониторинг и предоставяне на информация за мониторинг на околната среда.....	8
1.3. Анализ на прилагане на дистанционните методи за целите на наблюдение и опазване на околната среда	9
1.4. Съществуващи модели и методи за определяне на състояние и динамика на разпространение на природни обекти и междинен екологичен мониторинг....	11
1.5. Кратък преглед на законодателна рамка в областта на околната среда и междинен екологичен мониторинг.....	12
2. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИЯ	13
2.1. Цел на дисертацията	13
2.2. Задачи на дисертацията	13
ГЛАВА II. МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ НА БАЗАТА НА АЕРО-КОСМИЧЕСКИ ДАННИ ..	14
1. МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ и МЕТОДИКА ЗА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ	14
2. КРИТЕРИИ ЗА ИЗВЪРШВАНЕ НА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ	16
3. КРИТЕРИИ ЗА ИЗБОР НА ДАННИ ЗА МЕМ	19
3.1. Основни параметри при избор на данни	19
3.2. Определяне на статистически грешки	20
3.3. Грешка при процеса на класификация.....	20

4. ПОДХОД ПРИ ИЗВЪРШВАНЕ НА МЕМ.....	21
5. МЕТОДИ НА ОБРАБОТКА	23
6. МЕТОДИКА ЗА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ (ММЕМ) ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИРОДНИ ОБЕКТИ.....	23
6.1. Особенности при мМЕМ за влажна зона и природни резервати	23
6.2. Валидиране на резултати от прилагане на мМЕМ за влажни зони, резервати и природни резервати.....	26
ГЛАВА III. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ ЗА ПРИРОДНИ ОБЕКТИ (ТИП ВЛАЖНА ЗОНА, ПРИРОДЕН РЕЗЕРВАТ) И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ	26
1. ПРИЛАГАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ	26
1.1. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ 1: ВЛАЖНА ЗОНА, С. НЕГОВАН, ОБЩИНА СОФИЯ.....	27
1.2. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ 2: РЕЗЕРВАТ „ЛЕШНИЦА“	37
1.3. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ 3: ПОДДЪРЖАН РЕЗЕРВАТ „ДОЛНА ТОПЧИЯ“	38
1.4. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ 4: ПОДДЪРЖАН РЕЗЕРВАТ „СИНИ БРЯГ“	40
IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	42
ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД:.....	44
ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД...	45
БИБЛИОГРАФИЯ	46

СПИСЪК НА ПРИЕТИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ

ГИС	Географска информационна система
ЕАОС	Европейска агенция по околна среда
ЕТЦ	Европейски тематични центрове
ЗООС	Закон за опазване на околната среда
ИАОС	Изпълнителна агенция по околна среда
МЕМ	Междинен екологичен мониторинг
мМЕМ	Методика за междинен екологичен мониторинг
МОСВ	Министерство на околната среда и водите
НСМОС	Национална система за мониторинг на околната среда
ПЕ	Промяна в екосистемата
ПЕЕМ	Пан-европейска екологична мрежа
ПЕЕМ-ЗЕ	Пан-европейска екологична мрежа – Западна Европа
ПР	Поддържан резерват
Р	Резерват
ASCIs	Areas of Special Conservation Interest (Места със специален конзервационен интерес)
CBD	Convention on Biological Diversity
CORINE 2000	Corine Land Cover 2000
DI	Disturbance Index
EIONET	European Environment Information and Observation Network (Европейската мрежа за информация и наблюдение на околната среда)
EUNIS	European Nature Information System (Европейска информационна система за природата)
FAO	Food and Agriculture Organization (Организацията по прехрана и земеделие)
GNPP	Global Net Primary Production
GPS	Global Positioning System (Глобална система за позициониране)
IUCN	International Union for Conservation of Nature
JRC	Joint Research Centre (Съвместен изследователски център)
KNP	National Park Kruger

LAI	Leaf Area Index
MAES	Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services
MSAVI2	Modified Soiled Adjusted Vegetation Index
NBR	Net Burned Ration
NDGI	Normalized Difference Greenness Index
NDVI	Normalized Difference Vegetaion Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NPP	Net Primary Production
Rvd/ws	Relation Between Vegetation Dynamics and Water Surface (Връзка между динамика на изменение на растителност и водно огледало)
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SOC	Soil Organic Carbon (Съдържание на органичен въглерод в почвата)
SS1, SS2	Soil-sampling Site (Места за вземане на проба от почвата)
TCT	Tasseled-cup Transformation
UNOOSA	United Nations Office for Outer Space Affairs (Служба по въпроси за космическо пространство към Обединените нации)
V	Vegetation (растителност)
VI	Vegetation Index
WS	Water Surface (Водно огледало)

ГЛАВА 1. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМИТЕ СВЪРЗАНИ С ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ НА ПРИРОДНИ ОБЕКТИ

1. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМИТЕ СВЪРЗАНИ С ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ НА ПРИРОДНИ ОБЕКТИ

1.1. Мониторинг на околната среда – същност, видове

Мониторингът е специална информационна система за повтарящи се наблюдения и анализ на един или повече елементи върху състоянието на природната среда, предназначена да регистрира, преценява и прогнозира въздействието на антропогенните фактори. Системата, чрез която се наблюдават, анализират и прогнозира измененията в състоянието на биосферата, настъпили или настъпващи вследствие на антропогенното въздействие се нарича екологичен мониторинг. Обекти на мониторинга може да бъдат природни, антропогенни или природно-антропогенни системи. Целта на мониторинга е провеждането на непрекъснати изследвания, създаване на модели за установяване на актуалното състояние на наблюдаваните територии и екосистеми и моделиране и прогнозиране на тяхното развитие в краткосрочен и дългосрочен аспект имайки предвид тяхното поддържане, опазване и възстановяване. Няколко вида мониторинг са дефинирани в зависимост от обхвата, реакцията на основните елементи на биосферата, различните видове среди, факторите и източниците на въздействие, по остри глобални проблеми и по методи на наблюдение (фиг. 1). В настоящата работа се изследва прилагането на дистанционни методи при провеждане на междинен екологичен мониторинг за целите на опазване и възстановяване на природни обекти.

Екологичният мониторинг е система за наблюдение, анализ, оценка и прогнозиране на състоянието на компонентите на околната среда и предоставя необходимата информация за формулиране и предприемане на най-адекватни и подходящи мерки и действия. Системата за мониторинг трябва да съдържа два първоначални елемента. Първият елемент е „Оценка на биоразнообразието за определен район/регион“. Вторият елемент се отнася до наличие на показател, с който да се направи количествена и качествена оценка на настъпили промени в пространствено-времеви аспект. В този смисъл системата за мониторинг трябва да използва налични набори от данни генерирани вследствие на прилагане на дистанционните изследвания, а не да се фокусира само върху отделни данни генерирани на базата само на теренни проучвания. Резултатите от прилагане на дистанционните изследвания за целите на мониторинг на различни видове екосистеми се отнасят към проучвания в световен, регионален и национален мащаб, включително и на локално ниво за определена територия/екосистема/вид/популация (Su-Yin Tan, 2015).



Фиг. 1. Видове мониторинг на околната среда

Терминът „Междинен екологичен мониторинг на базата на дистанционни изследвания/аерокосмически данни“ е нов в областта на наблюдение на околната среда и представлява екологичен мониторинг, който се извършва с помощта на дистанционните изследвания като обхваща междинни времеви интервали от продължителността на целия период на задължителния мониторинг, който се прилага в зависимост от вида на обекта и според законодателството на всяка една страна.

1.2. Институции за мониторинг и предоставяне на информация за мониторинг на околната среда

На европейско ниво Европейската агенция по околна среда (ЕАОС) е органът на Европейския съюз, създаден да предоставя навременна, целенасочена, подходяща и достоверна информация за околната среда както на лицата, определящи политиката в тази област, така и на обществеността. (<https://www.eea.europa.eu>)

На национално ниво мониторинга на околната среда се извършва чрез Национална система за мониторинг на околната среда (НСМОС). Системата се ръководи от Министъра на околната среда и водите чрез Изпълнителната агенция по околна среда (ИАОС). Всички измервания и наблюдения се извършват от структурите на ИАОС по единни, унифицирани методи за пробонабиране и анализи при спазване на процедурите за осигуряване на качеството на измерванията и данните. ИАОС поддържа информационни бази данни на национално и регионално ниво. Базите данни и на

национално и регионално ниво са структурирани по компоненти на околната среда с използване на общи номенклатури. (www.iaos.government.bg).

1.3. Анализ на прилагане на дистанционните методи за целите на наблюдение и опазване на околната среда

От 80-те години на миналия век е разработен голям методологически и концептуален напредък на ландшафтната екология (Forman, 1995; Forman y Godron, 1986; Klopatek and Gardner, 1999; Naveh and Lieberman, 1984; Turner and Gardner, 1990; Turner et al. 2001; Zonneveld, 1995). Методологичното развитие произлиза от качествен анализ и описания и достига до количествен анализ като геостатистика, както и моделиране на екологичните процеси (Dale, 1999; Klopatek and Gardner, 1999; Turner and Gardner, 1990; Turner et al. 2001). Голяма част от тези методологични приноси са последица от достъпността до пространствени данни и информация от технологии за дистанционно наблюдение, Географска Информационни Системи (ГИС) и подобрени пространствени математически и статистически данни модели. Данните от дистанционните изследвания са основния източник на информация за установяване на промени в природни обекти. Използват се заедно с надеждни вторични данни като топографски карти, графики за крайбрежната навигация, така и исторически изображения от различни минали времеви периоди или изследвания. Екологичният мониторинг изследва смущенията/нарушенията в дадена екосистема. Смущенията/нарушенията представляват важен процес, който изисква създаването на специфични екологични модели.

При използване на дистанционните изследвания за мониторинг се възприемат 4 основни направления на проучване, които включват: климат, топография, функциониране на растителността, пространствена структура, разпределение на местообитания и изследване на промените в тях. Наблюдаването на тези четири области на регионално ниво ще осигури система за ранно предупреждение, подчертавайки области с висока приоритетност. Пространственото структуриране на местообитания се препоръчва за мониторинг и картиране имайки предвид хетерогенната природа, наземното покритие или степента на фрагментация на ландшафта и местообитанията. Пространствената променливост на различните йерархични нива на природните местообитания може да бъде използван като индикатор за текущото състояние, разпределение или временни промени в биологичното разнообразие.

Космическите технологии, които се използват главно за изследвания на биоразнообразието и управление на екосистеми се разделят на два основни типа: спътникови системи за изображения или за наблюдение на Земята и Спътникови системи за глобална навигация - Global Navigation Satellite System (GNSS).

Климатичните и топографски елементи, които дефинират изискванията на местообитанията, са относително добре разработени. (Ashcroft and Gollan, 2013;

Ashcroft et al., 2012). Това не важи за моделирането на биотичните компоненти на съответствие на местообитанията. Дистанционните изследвания увеличават наличността на информация за промените в качествените характеристики на местообитанието, и на тяхното въздействие върху множество агрегатни компоненти на биоразнообразието, при различни пространствени мащаби. Съвместна работа на специалистите в областта на екологията и дистанционните изследвания се очаква по осигуряване на подходящи протоколи за специфични случаи, с които да се проследят и количествено определят установяване на състояния на организми в защитена зона или мрежа и елементи на заобикалящи околната среда като показател за бърза антропогенна промяна на земеползването, и климатичните промени върху качествените характеристики на местообитанията (Paola Mairota et. al., 2015).

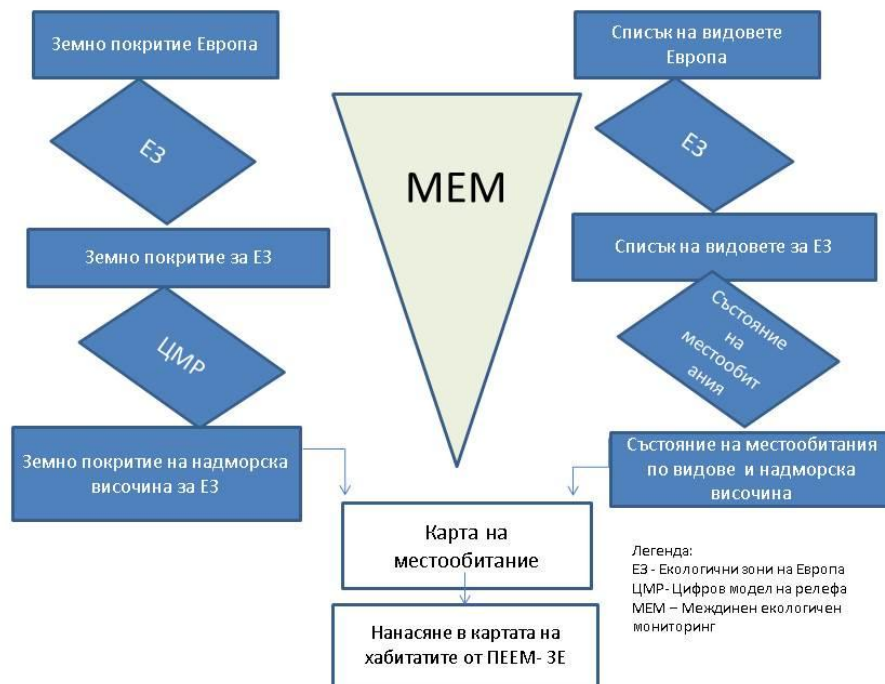
Kerr и Ostrovsky (2003) описват три основни акцента на дистанционните изследвания за екологични цели. Първо, неуправляемата класификация на земното покритие се използва за бързо определяне на растителните видове и местообитания. Второ, за оценка на функционирането на екосистемите за големи области интегрираните измервания на екосистемите не са подходящи. В последно време дистанционните изследвания се използват, за да се получат биофизични показатели – такива като индекс на листната повърхност (Leaf Area Index-LAI) и нетна първична продуктивност (Net Primary Productivity-NPP), (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) (Goetz, 2002). Трето, установяване на промяна е съществено за екологичния мониторинг и като се има предвид устойчивото и надеждно естество на процеса на получаване на изображения от дистанционните изследвания се осигурява надежден източник на информация за тази цел (Corpin et al., 2004). Екстраполирането на времеви анализ може да послужи за прогнозиране на промяна в околната среда за бъдещ период. За целите на мониторинг на околната среда дистанционните изследвания използват основно оптични (мултиспектрални и панхроматични до известна степен) и други видове изображения. Напоследък се появява необходимостта от използване на хиперспектрални изображения, като се дава възможност на изображения с висока разделителна способност да установява незначителни разлики между специфични класове на земното покритие, типични категории растителност или видове почви (Turner et al., 2003). Друга технология като Light Identification Detection and Ranging (LIDAR) е полезна за измерване на височина (Van der Meer et al., 2002), което може да се използва при бъдещи екологични анализи. Радарните изображения се използват широко при екологични проучвания и Kasischke et al. (1997) описва четири основни приложения: при класификация на земното покритие, оценка на биомаса на дървесната растителност, анализ на наводнения и времеви мониторинг.

Дистанционните изследвания за видовото разнообразие се концентрират върху земната повърхност, въпреки че са направени няколко проучвания за сладководни и морски екосистеми. Потенциалните ползи от използване на сателити за дистанционни изследвания за оценка и мониторинг на растителното многообразие са били предложени от изследователите преди десетилетие (Soule and Kohm 1989, Noss 1990, Roughgarden et al., 1991, Lubchenco et al., 1991). Ключов момент при използване на

дистанционните изследвания е избора на подходящи спътникови данни и методи за по-нататъшна обработка и верификация с наземни данни. За оценката на резултати от прилагане на междинен екологичен мониторинг (МЕМ) на базата на аерокосмически данни могат да се използват различни индикатори на екосистемите, които най-добре характеризират тяхното състояние. Като такива индикатори могат да се използват различни индекси, класификации и корелации между различни състояния на екосистемите. При извършване на междинен екологичен мониторинг се анализират сложни процеси, които се проявяват в екосистемите и следователно налагат при мулти-компонентния анализ да се включват биотични и абиотични фактори. Съществен момент при използване на дистанционните изследвания е избора на спътникови данни, които да са съвместими с времевите критерии на междинния екологичен мониторинг. От друга страна, изборът на данни трябва да е съвместим с видовете екосистеми и техните функционални и пространствени характеристики.

1.4. Съществуващи модели и методи за определяне на състояние и динамика на разпространение на природни обекти и междинен екологичен мониторинг

Данните от дистанционните изследвания могат да се използват при модели за прогнозиране на бъдещи въздействия върху видове и местообитания. Анализи на заплахите са важни при начина, времето и последователността на инициативите за опазване. Като пример може да се посочи връзката между МЕМ и модела „Swedi“. Моделът представлява методика за локализиране на съществуващи местообитания тип влажни зони, както и за моделиране на потенциални места, които да бъдат възстановени като биотопи на влажни зони (Schleupner, 2012). Моделът се определя като важна предпоставка за по-нататъшното разработване на икономически ефективен модел за подбор на места за влажните зони на екологична мрежа от влажни зони в целия ЕС. В този смисъл актуална информация за състоянието на съществуващите влажни зони и мониторинг на потенциални такива места определя и необходимостта от МЕМ, с помощта на който ще се оценява състоянието на (потенциалните) влажни зони и ще се отразяват настъпили промени в екосистемата. Друг пример, при който се открива връзката между съществуващи модели за определяне на състоянието и динамиката на разпространение на природни обекти и МЕМ е процедурата за идентифициране на съществени области за Пан- европейската екологична мрежа – Западна Европа (ПЕЕМ). Тази мрежа представя визия за създаването на свързаност на екологичните мрежи в Европа и нейното изпълнение от страна на национални и регионални правителства. Вследствие се разработва метод като се има предвид и европейската и националната перспектива и когато е приложимо се включват създадени регионални мрежи в страните. Мястото на МЕМ при този модел е именно в процеса преди и по време на разработване на картата на местообитанията. При прилагане на МЕМ за избрани времеви интервали може да се идентифицират настъпили промени, които да бъдат отразени и взети под внимание при актуализиране на база данните, генерирани при този модел (фиг. 3).



Фиг. 3. Процедура за идентифициране на съществени области за ПЕЕМ-ЗЕ

Посочените примери са индикативни и имат за цел да покажат, че създадената база данни при прилагане на MEM може да осигурява информация, която се използва като основна или допълнителна при различни екологични модели. Това подчертава значимостта на MEM като част от режима на наблюдение на околната среда в условия на постоянно изменяща се среда и промени в процесите на екосистемите.

1.5. Кратък преглед на законодателна рамка в областта на околната среда и междинен екологичен мониторинг

Необходимостта от извършване на междинен екологичен мониторинг произлиза от отговорността за спазване на изискванията на нормативни документи в световен, регионален (*европейско законодателство*) и локален (*национално законодателство*) мащаб. Прилагане на междинен екологичен мониторинг ще спомогне при получаване на информация за състоянието на местообитанията и определяне на специфични конзервационни мерки при установяване на промени в екологичните условия. В този смисъл MEM е част от процеса на определянето на места със специален конзервационен интерес (ASCIs), тъй като ще се дадат основни линии и посока за избор на местата от особена важност за застрашените видове. MEM е необходим и при опазване и възстановяване на местообитания с цел подобряване на екологичните условия. Междинният екологичен мониторинг е ефективен и при мониторинг на биосферните резервати при прилагане на програмата „Човекът и Биосферата“ на Юнеско.

От направеният анализ се установява, че терминът „Междинен екологичен мониторинг“ не е използван в областта на наблюдение и опазване на природни обекти. До момента такъв вид мониторинг, който се свързва с по-често и продължително наблюдение на природни обекти в рамките на нормативно – определен времеви период, не е извършван и се доказва необходимостта от провеждане на такъв чрез дистанционни изследвания като иновативен метод за наблюдение, оценка и формиране на адекватни мерки за подобряване на екологичните условия на местообитанията.

2. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИЯ

2.1. Цел на дисертацията

При съвременно изследване на процеса мониторинг на природни обекти се установява, че затрудненията при обективно оценяване на състоянието на екосистемите произтича от липса на механизъм за получаване на данни за различни по време моменти от развитието и функционирането на екосистемите, при възникване на определени събития вследствие на природни или антропогенни проявления. Налице е и необходимостта от изпълнение на изисквания на различни нормативни документи в областта на опазване на околната среда в световен, регионален и локален аспект по отношение на генериране на информация за актуалното състояние на природни обекти в определени/ избрани времеви интервали, оценка на състоянието чрез количествено оценяване на индекси от използваните аерокосмически данни. В този смисъл целта на дисертационният труд е разработване и прилагане на Методика за междинен екологичен мониторинг (мМЕМ), чрез която да се извършва наблюдение на различни видове екосистеми чрез използването на дистанционни методи.

2.2. Задачи на дисертацията

1. Изследване на актуалността на проблема за наблюдение, опазване, възстановяване на различни видове природни обекти и описание на методологичния подход и преглед за използване на дистанционните изследвания за целите на наблюдение на околната среда. Извършване на сравнителен анализ с други съществуващи модели, които се използват за целите на екологичен мониторинг.

2. Разработване и представяне на общ методологичен подход „Методика за междинния екологичен мониторинг“ (мМЕМ) като иновативен подход за мониторинг на околната среда чрез използване на дистанционните изследвания. Определяне на критерии за извършване на междинен екологичен мониторинг, включително критерии за избор на входни данни за интегриране в методиката, използване на различни параметри за извършване на МЕМ и определяне на индекси за оценяване на различни компоненти и състояния на природни обекти в различни времеви интервали, както и определяне на индексите, които са индикатори за състоянието на изследваните природни обекти.

3. Представяне на различни подходи и методи за обработка на данни от дистанционни изследвания при прилагане на мМЕМ.

4. Прилагане на мМЕМ за различен тип природни обекти: местообитание, тип „влажна зона“, резерват и природен резерват; Установяване наличието или отсъствие на промени на базата на дистанционни изследвания чрез използване на спътникови данни и аерофото данни с много висока пространствена разделителна способност; Представяне на качествени и количествени анализи на промените, предлагане на подходящи действия и мерки за постигане на устойчивото развитие на екосистемите.

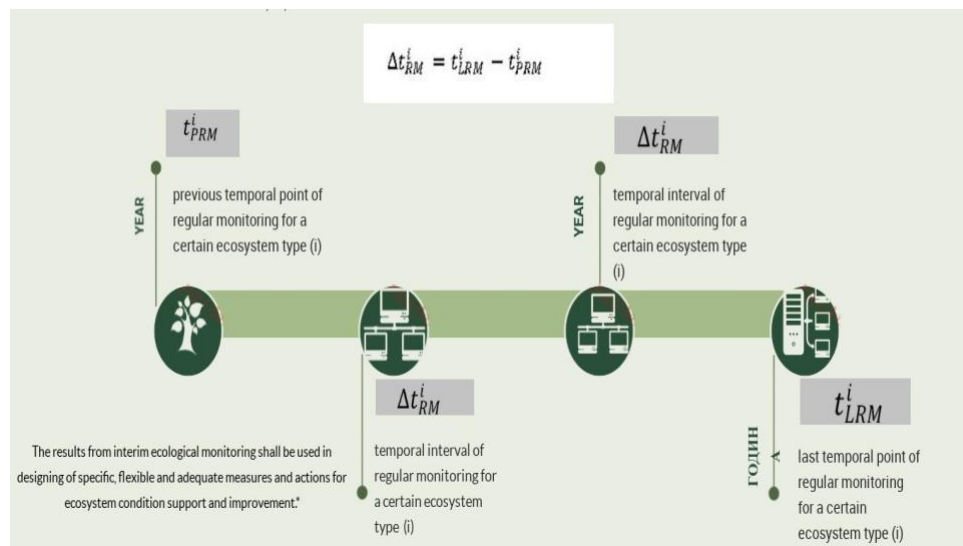
ГЛАВА II. МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ НА БАЗАТА НА АЕРО-КОСМИЧЕСКИ ДАННИ

1. МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ и МЕТОДИКА ЗА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ

Вероятностният характер на процесите, динамиката на изменение на екологичните условия може да се проследят чрез извършване на междинен екологичен мониторинг на базата на дистанционни изследвания. Методиката за междинен екологичен мониторинг представлява модел на системата, по която ще се извършва МЕМ на базата на аерокосмически данни. Методиката за междинен екологичен мониторинг (мМЕМ) може да се определи като системен подход за получаване на количествени оценки за ефективното развитие на процесите в екосистемите и създаване на условия за конкретна обективност. Методиката е система за получаване на текуща измерителна информация за моментното състояние на екосистемата и достъп до информация за всички параметри на екосистемата и нейното функциониране. Това определя МЕМ като система от еволюционен тип и включва едновременно случаи на развитие на съставните компоненти на екосистемата във времето и пространството.

Същността на методиката за междинен екологичен мониторинг се състои в това, че включва изследване на определени параметри и индекси за състоянието на изследваната екосистема в различни времеви интервали. Методиката за МЕМ формира реална оценка за състоянието на екосистемите, тъй като включва анализиране на динамиката на промяната на екосистемата чрез изследване на съответни индикатори за оценка и въздействие на промени в и върху процесите, протичащи в екосистемите. Същността на МЕМ и мМЕМ е представена на фиг. 5. С помощта на мМЕМ на базата на аерокосмически данни се възстановява липсваща информация за определен времеви интервал, който е задължителен при прилагане на методиките за извършване на регулярен мониторинг, съгласно националното законодателство на всяка страна. Използването на спътникови или аерофото данни могат да бъдат валидирани от предшестващи или последващи теренни измервания. В този смисъл МЕМ може да се определи като „квази-мониторинг“, при който резултатите от оценка на състоянието на екосистемите могат да бъдат осигурени чрез използване на времеви интервали с по-голяма честота на приложената стандартна методика за извършване на регулярен мониторинг. Оценката налага изменение на методиката за регулярен мониторинг с цел валидиране на получените резултати. При тези условия може да се заключи, че

методиката за регулярен мониторинг ще бъде правилно приложена, получените крайни резултати ще са обективни и могат да бъдат оповестени. Прилагането на методика за междинен екологичен мониторинг като част от регулярния мониторинг има принос за допълване на съществуващата база данни за актуалното състояние на екосистемите в условията на климатичните промени и в различни етапи от тяхното развитие.



Фиг. 5. Същност на междинен екологичен мониторинг (МЕМ) и методика за междинен екологичен мониторинг(мМЕМ)

Методиката за междинен екологичен мониторинг се базира на данни от дистанционните изследвания и на наземни данни, които могат да послужат за верификация на получените резултати. Целта на методиката е да се открият и анализират промени настъпили в дадена екосистема и да се изследва влиянието на тези промени върху отделни елементи и съобщества в обхвата на екосистемата (промяна в земното покритие, почва, водно огледало, биологично разнообразие, инвазивни видове) с цел информираност на отговорните институции и заинтересованите лица при формиране на политики, мерки и действия за опазване и възстановяване на екосистемите.

Информацията осигурена чрез МЕМ за определен времеви интервал t_k е достатъчна за установяване и на малки смущения в екосистемата. Чрез прилагане на мМЕМ за природни обекти се осигурява информация за физически изменения (наводнения, човешка дейност и др.), влажност на почвата и хидрологичен режим при влажни зони. Чрез сравняване на биомасата, производителността, степента на влажност, видът и моделите, съставът на растителността на природния обект или други фактори, свързани със спектралното отражение (Greenness компонентата) за два или повече времеви периода се използват за определяне на функционалното състояние на обектите. Методиката за междинен екологичен мониторинг може да определи ефектите от нарушаване на екосистемите, които могат да бъдат определени като краткосрочни и

дългосрочни, така и значителни и незначителни. Влошаването на състоянието на екосистемите може да бъде определено във връзка с краткосрочните промени в елементите на екосистемата, определени като критични за поддържането на функцията на екосистемата. Нарушенията може да се считат за приемливи, ако степента на нарушение на екосистемата е ограничена от устойчивостта ѝ или намеса от страна на експерти отговарящи за управлението на екосистемата. Промените в състоянието могат да бъдат свързани с дългосрочни и постоянни промени в критичните екосистемни елементи. Те могат да включват намаляване на броя на местни видове, цялостна регресивна последователност, бързо изменение на количеството жива или мъртва биомаса, промени в производството и потока на енергия, промени в запасите от минерални хранителни запаси и в способността на екосистемата да изхвърля нежеланите концентрации на замърсители.

2. КРИТЕРИИ ЗА ИЗВЪРШВАНЕ НА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ

Определянето на критерии за прилагане на междинен екологичен мониторинг е част от процеса, при който се установяват директни връзки между необходимостта от актуализиране на наличните база данни за екосистемите, съществуващите методики за оценка на природни видове и местообитания и определянето на конкретни и специфични мерки за въвеждане на индикатори за качествено и количествено оценяване на екосистемите и екосистемни услуги вследствие на появата на промени в екологичните условия на природните обекти. Критериите за МЕМ се определят от момента на установената промяна в екосистемите (ПЕ) като се отчитат и времевите интервали от периода на прилагане на регулярния мониторинг за дадена екосистема. Имайки предвид аналитичния характер на информацията, определянето на критериите се характеризира с високи стойности на точността, която произтича от периодичността на извършваното наблюдение.

Първият критерий се определя, когато времевият интервал от проявление на ПЕ попада във времевите интервали, които са посочени и одобрени в методиките за извършване на регулярен мониторинг (Radeva et al., 2018). Първият критерий се изразява със следната формула:

$$(1) \quad \Delta t_{RM}^i = t_{LRM}^i - t_{PRM}^i \quad ,$$

където:

Δt_{RM}^i – времеви интервал между два последователни регулярни мониторинга за даден вид екосистема (i)

t_{LRM}^i – последен времеви момент от регулярния мониторинг за даден вид екосистема (i)

t_{PRM}^i – предишен времеви момент от регулярния мониторинг за даден вид екосистема (i)

Вторият критерий е свързан с установяване на необходимостта от прилагане на междинен екологичен мониторинг, за което се прилага следната формула:

$$(2) \quad t_{EChj}^i \in \Delta t_{RM}^i$$

$$(2^*) \quad t_{EChj}^i \notin \Delta t_{RM}^i \quad ,$$

където t_{EChj}^i е времеви интервал от момента на настъпване на специфична промяна ECh_j за даден вид екосистема (i) и Δt_{RM}^i е времеви интервал от регулярен мониторинг за даден вид екосистема (i). Междинен екологичен мониторинг се препоръчва задължително при положение, че времевият интервал от момента на възникването на специфична ПЕ принадлежи към времевия интервал от регулярен мониторинг за даден вид екосистема, т.е налице е уравнение (2). При всички други случаи, при които времевия интервал при възникване на специфична ПЕ не попада във времевия интервал на регулярен мониторинг за даден вид екосистема (i), не се изисква прилагане на междинен екологичен мониторинг.

Третият критерий показва зависимостта между времевия интервал от регулярен мониторинг за даден вид екосистема (i) (Δt_{RM}^i) и времеви интервал от методиката на междинен екологичен мониторинг (Δt_M^i), т.е.:

$$(3) \quad \Delta t_{RM}^i \in \Delta t_M^i$$

Методиката за междинен екологичен мониторинг се прилага за определяне на функционално състояние на екосистемата като “добро” (healthy) или “нарушено” (unhealthy). Методиката включва изследване на множество индикатори, които могат да бъдат индикатори за реакция, за експозиция, за местообитания и установяване на стрес. Тъй като възстановяване на екосистемата след установяване на негативните последствия от ПЕ е възможно, необходимо е да се въведат допълнителни критерии за разграничаване на степента на последствията. Параметрите за функционалното състояние на екосистемите трябва да се оценяват в зависимост от възрастта или етапа на развитие на екосистемите. Освен това, оценката трябва да отразява етапите на развитие на екосистемите и/или очаквани промени в естественото им развитие. Функционално устойчивото състояние на екосистема е свързано с оценка на екосистемните услуги, които предоставя дадена екосистема. Това включва предположението, че функционално устойчивите състояния са признак за по-здрава и по-устойчива екосистема, която предоставя повече услуги и поддържа капацитета, който е необходим за бъдещ период (в дългосрочен план).

За да се оцени потенциала на даден природен обект, включително и за предоставяне на екосистемни услуги, е необходимо да се вземе предвид и отразяването на основни социално-икономически и биологични параметри, свързани с естествените екологични условия. Тези параметри могат да се класифицират в три основни групи: 1) продуктивност, включително компоненти на флора и фауна; 2) биоразнообразие, определени от разнообразието на съществуващи видове флора и фауна, от гледна точка

структура и състав на общността; както и функционалните ниши, които са представени, и 3) устойчивост към промени в структурата, функциониране и постоянство за продължителни периоди време, които зависят от размера на територията, водния баланс, климатични компоненти, природни бедствия, външни въздействия от техногенен и антропогенен характер. Количествената оценка при мМЕМ се извършва на базата на следните съотношения:

$$(4) \quad \Delta A_{t_j, t_m}^i = A_{t_j}^i (P_1^i, P_2^i, \dots, P_k^i) - A_{t_m}^i (P_1^i, P_2^i, \dots, P_k^i)$$

$$(5) \quad \Delta A_{t_j, t_m}^i = \begin{cases} < 0 \\ = 0 \\ > 0 \end{cases}, \text{ where } j \in 1, n; m \in j, 1 \leq m \leq n \quad ,$$

където:

$\Delta A_{t_j, t_m}^i$ – Оценка на времеви интервали преди и след прилагане на междинен екологичен мониторинг за даден вид екосистема (i)

$A_{t_j}^i$ – Оценка на времеви интервали преди прилагане на междинен екологичен мониторинг за даден вид екосистема (i)

$A_{t_m}^i$ – Оценка на времеви интервали в периода на прилагане на междинен екологичен мониторинг (i)

$P_1^i, P_2^i, \dots, P_k^i$ – индекси от група параметри 1), 2), 3)

Методиката за МЕМ осигурява информация за физически промени в самата екосистема от техногенен и антропогенен характер. Сравнявайки два или повече времеви периода, промяната в биомасата, продуктивността, вида, модели, състав на растителните съобщества, и други фактори, които могат да бъдат оценени със спътникови данни - спектралното отразяване на състоянието на растителността („Greenness“ компонентата). Методиката може да определи резултатите от увреждане на екосистемата, като се разграничават дългосрочно, краткосрочно, основно и второстепенно. Влошено функционално състояние се определя като „обратимо“, ако степента на деградация е ограничена от устойчивостта/гъвкавостта на екосистемата или от управленска намеса. Дългосрочните промени в състоянието на дадена екосистема се свързват с промените в критични елементи на екосистемата. Гореописаните групи параметри за оценка на състоянието на екосистемите при прилагане на мМЕМ успешно могат да бъдат качествено и количествено определени с помощта на аерокосмически методи като от спектралните диапазони се извлича информация за функционалното състояние на екосистемите като вегетационни индекси за биомасата, растителната жизненост (NDVI, NDGI), индекси свързани с линията на почвата, като индекса на растителността коригиран спрямо почвата (SAVI), и модифициран индекс на растителността коригиран спрямо почвата (MSAVI), нормиран разликов воден индекс (NDWI), нормиран разликов индекс на „Greenness“ компонентата (NDGI), индекс на смутеността (DI), Normalized Burn Ration (NBR). (Табл. 2)

Таблица 2. Спектрални индекси

Спектрален индекс Наименование (Английски език)	Абревиатура	Формула
Normalized Difference Vegetation Index (Gamon 1995)	NDVI	$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red})$
Differenced (dNDVI) is computed by subtracting the post-fire NDVI from a pre-fire NDVI. (Hoy, 2008)	dNDVI	$dNDVI = pre\ NDVI - post\ NDVI$
Normalized Burn Ratio (Key and Benson, 1999) (Lillesand, 2015)	NBR	$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$
Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) is computed by subtracting the post-fire scene NBR from a pre-fire scene NBR. (Hoy, 2008)	dNBR	$dNBR = pre\ NBR - post\ NBR$
Normalized Difference Greenness Index (Nedkov, 2017b)	NDGI	$NDGI = \frac{GR_n(t2) - GR_n(t1)}{ GR_n(t2) + GR_n(t1) }$ $GR_n(t) = \frac{GR_n(t) - E\{GR_n(t)\}}{NSt.Dev[GR(t)]}$
Normalized Difference Water Index	NDWI	$NDWI = \frac{(Band2 - Band4)}{(Band2 + Band4)}$
Kauth-Thomas Transformation (Kauth and Thomas, 1976)	TCT	<i>Brightness, Greenness, Wetness</i>
Disturbance Index (Healey et al., 2005)	(DI)	$DI = nBR - (nGr + nW)$

3. КРИТЕРИИ ЗА ИЗБОР НА ДАННИ ЗА MEM

Критериите за избор на спътникови и аерофото данни при извършване на MEM се основават на параметрите на тези данни и вида на природния обект. Основен критерий за извършване на MEM е „времевия интервал“. Това означава, че критерий за избор на спътниковите и аерофото данни в този случай е тяхната времева разделителна способност. От тук следва, че трябва да се подберат данни, които попадат във времевия интервал на извършване на MEM. Вторият критерий за избор на спътникови и аерофото данни е свързан с вида на обекта, т.е. с неговите пространствени и други специфични характеристики (вид растителност, размер на обекта, водно огледало), които го идентифицират в пространството на признаците на обектите.

3.1. Основни параметри при избор на данни

Като основни параметри при избор на данните при прилагане на MEM са пространствената и спектралната разделителна способност. В този случай е необходимо да се отчете фактора за хетерогенността или хомогенността на обекта. Особено важно в този случай е спектралната разделителна способност, тъй като могат да бъдат изчислени конкретни индекси NDVI, SAVI, MSAVI2, NDGI, NDWI, GNPP, NBR.

Освен това, спектралната разделителна способност е важен фактор при различните методи на обработка на аерокосмическите данни за извличане на информация от тях за състоянието на различните екосистеми при провеждане на МЕМ. Това е от съществено значение, особено при липса на данни при регулярен мониторинг, тъй като тази информация може да се използва за заместване на данни свързани с класическите методи на мониторинг.

Друг критерий, по който се избират аерокосмическите данни е радиометричната разделителна способност. При по-висока радиометрична разделителна способност грешката на резултатите е по-ниска отколкото при по-ниската радиометрична разделителна способност на данните (при използване на различни методи за разпознаване и класификация на различните компоненти на екосистемите). Тъй като при голяма част от данните с по-висока пространствена и радиометрична разделителна способност има ограничения в мащаба на изображението (размера на заснетата площ от земната повърхност) се използват няколко сцени във вид на мозайка, които позволяват да се повиши размера на изследваната територия, върху която са разположени екосистемите, които подлежат на МЕМ.

3.2. Определяне на статистически грешки

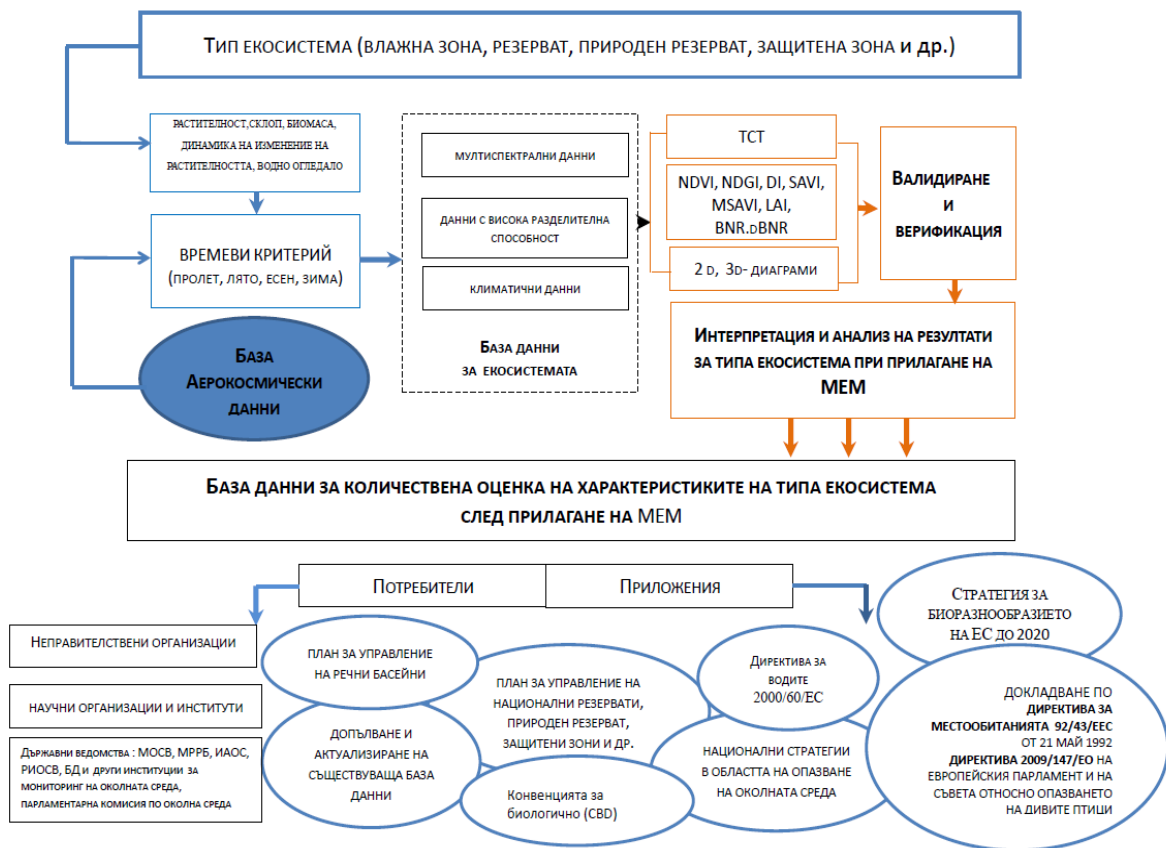
Статистическата грешка при определяне на слоеве данни за индикатори получени от спътников източник трябва да са по-малки спрямо отчетените разлики между данните, генерирани от спътников източник и валидирането на данните. Факторите, които потенциално допринасят за грешка в данните за слоевете, включват: грешка при класифициране, грешка при измерване, грешка в извадката и грешка в модела. Недков, 1998 предлага три модела за използване на метода за сравнение по двойки при обработка на данни от аерокосмически изследвания. Целта на прилагане на конкретни вероятностни модели при обработката е намаляване на грешката при определяне на обучаващите признаци при класификация. Прилагат се конкретни статистически модели при класификация на получените аерокосмически данни още в процеса на първична обработка.

3.3. Грешка при процеса на класификация

Общата наличност на цифровите данни с висока пространствена и спектрална разделителна способност е довело до значителен напредък в спецификата, с която земното покритие може да бъде класифицирано. Алгоритмите за мащабиране се основават на класификацията на земното покритие с изображения от дистанционно наблюдение. Кумулативен подход при междинният екологичен мониторинг е особено чувствителен към грешка при класифициране по избрания индекс или множество индекси, тъй като те са показатели за разглеждания параметър. Грешката при процеса на класификация може да бъде оценена чрез полеви проверки на точки, които не са използвани в анализа на резултатите. Грешка при класифицирането зависи от пространствена, спектрална и радиометрична разделителна способност на данните.

4. ПОДХОД ПРИ ИЗВЪРШВАНЕ НА MEM

За целите на междинен екологичен мониторинг се използва интегриран подход, който се базира на полеви и дистанционни методи за изследване на природни обекти. Комбиниране на спътникови данни с данни от ортофото изображение и GPS измервания на терена осигурява точност при оценка на актуалното състояние на екосистемите. Използване на аерокосмически данни с много висока пространствена, времева и спектрална разделителна способност за избрания времеви период позволява прилагането на методика за междинен екологичен мониторинг за избраните сезони/времеви периоди. Структурата на подхода при провеждане на MEM е представена на фиг. 6.



Фиг. 6. Структурна схема за провеждане на MEM

От различните класове екосистеми се определя конкретна екосистема, за която се проверява хипотезата, че са настъпили промени и за която ще се приложи MEM. Определят се доминиращите компоненти на избраната екосистема, които ще се изследват. Изборът на екосистема за извършване на MEM се определя на базата на уравнения (1) и (3) посочени в т. 3/Глава II и свързаните с тях условия, което е част от предложената методика за MEM.

На базата на критерии за извършване на МЕМ за конкретна екосистема се осъществява подбор на необходимите за тази цел данни от базата аерокосмически данни. След подбора на данните за всеки компонент се получават допълнителни бази данни, които се използват след обработка за количествена оценка на отделните компоненти на екосистемата. С помощта на подходящи методи и средства се извършва обработка на така получените допълнителни бази от данни за всеки отделен компонент на екосистемата.

Получените резултати се валидират и верифицират като се използва повтаряемостта на данните и/или методите за обработка на базата на съществуващи данни от теренни проучвания (съществуващи методики приети от съответното национално законодателство). Процесът на верификация и валидиране на резултатите от МЕМ включва проверка на получените резултати от изследваните индекси и параметри (водно огледало, водно ниво, характеристики на почвата, растителността, пространствени разпределения на видове и местообитания, др.) с набор от независими данни като климатични компоненти (температура, евапотранспирация, валежи, др.) за същите времеви интервали, от които са и данни от дистанционните методи, използвани при прилагане на МЕМ.

След валидация и верификация се осъществява процес на интерпретация и анализ на получените данни. На базата на резултатите от анализа и интерпретацията се генерира база данни от МЕМ, която може директно да бъде използвана от различните видове потребители и за различни приложения в областта на опазване и наблюдение на околната среда. Базата от данни съдържа информация получена чрез използване на дистанционните методи и/или теренни проучвания, които се оказват надежден източник на информация за състоянието на екосистемата. Това предполага, че създадената база от данни от МЕМ се използва като независим индикатор, който отразява реалното състояние на екосистемата. В този смисъл МЕМ спомага за формиране на прогнози за тенденциите във функционирането и поддържането на екосистемите. Прилагането на този подход има съществена роля при избора на оптимално решение (отразяващо информация за пространственост, социално-икономическа и екологична информация) за създаване на пътна карта за управление на природни обекти. Методиката може да послужи за основа за създаване на система за управленски решения свързани с поддържане и възстановяване на природни обекти за отговорните лица, които участват в процеса на управление на околната среда.

Процесът на верификация играе важна роля и се използва за решаване на въпроси, свързани с интерпретацията на изображението, използването на класификацията на земното покритие и определяне на ползите (gain) и загубите (loss) за природните обекти (например, при влажните зони). Полевата работа също се извършва като мярка за контрол на качеството, за да се получи точна информация за извадката.

5. МЕТОДИ НА ОБРАБОТКА

Методите за обработка на изображенията, които позволяват осигуряване на необходимата информация за актуалното състояние на изследвания обект са представени в предложената методика. За извършване на обработката се използват различни методи:

1. Геореферирани на аерокосмичеките данни;
2. Генериране на композитни изображения;
3. Специализирани/специфични методи на обработка, които са свързани с ортогонализация на изображенията, която е използвана за определяне в n -мерното пространство на признаците на специфични индекси като „Brightness“ компонентата, която се свързва с почвената повърхност, „Greenness“ компонентата която се свързва с растителността и „Wetness“ компонентата, която се свързва с влажността;
4. На базата на тези индекси се изчисляват количествени показатели, с помощта на които се оценява динамиката на изменение на определени доминиращи компоненти на конкретния тип екосистема (разликов индекс на „Greenness“ компонентата (NDGI) и нормиран индекс на смутеността на системата (DI)).

С помощта на този тип обработка са направени пространствени разпределения, които количествено показват изменението на характеристиките на конкретната екосистема при различни въздействия (антропогенни и техногенни). Тези пространствени разпределения са индикатор, който показва функционално устойчивото състояние на конкретна екосистема.

От генерираните композитни спътникови изображения се изчисляват индекси, които служат за оценка на актуалното състояние на конкретната екосистема. В среда на ГИС се извършва анализ и интерпретация на обработените спътникови данни и се генерира окончателна база данни след извършване на МЕМ за конкретна екосистема.

От базата данни са генерирани тематични карти, диаграми и графики, които количествено отразяват както актуалното състояние, така и динамиката на изменение на доминиращите характеристики на конкретната екосистема.

6. МЕТОДИКА ЗА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ (мМЕМ) ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИРОДНИ ОБЕКТИ

6.1. Особенности при мМЕМ за влажна зона и природни резервати

По-голямата част от сладководните влажни зони са относително с по-малък размер с много разнообразни, хетерогенни растителни съобщества. В този случай е желателно да се използват изображения с висока и много висока пространствена, спектрална и радиометрична разделителна способност. Това дава възможност за детайлно изследване на отделните компоненти на влажната зона като площта на

водното огледало, растителността и местообитанията, които се намират в обхвата на влажната зона. При мониторинг на влажни зони от особено значение са „времеви периоди/сезони“, които са свързани с размера на „водното огледало“. Тъй като размерите на влажните зони се изменят драстично през различните сезони, което е свързано с валежи и евапотранспирация, необходимо е да се използват спътникови данни със същата времева разделителна способност. Проучването на влажни зони обикновено изисква данни за повече от един сезон. При изследване на влажни зони, достатъчно е да се използват изображения от края на м. април до средата на м. октомври. През този времеви период се отчитат природни явления като наводнения, засушаване, промяна във влажността на почвата, хидрологичния режим на влажната зона.

В случай че целта на мониторинга е да се картират влажните зони без да се отчита растителното покритие, изображения от късна зима-ранна пролет са напълно достатъчни. Влажните зони се картират най-добре през този период, тъй като нивото на подпочвената вода е близко до или под нивото на повърхността. Хидрологичните характеристики и промяна на растителността през годината променят влажната зона и отражателните ѝ характеристики. Спектралните отражателни характеристики на растителността са динамични и зависят както от условията на попадане и отражение на излъчената от слънцето енергия, така и от състоянието на самите обекти – влажност на почвата, вегетационен период (Иванова и Недков, 2015). Свързаността между сухоземните форми на ландшафта от влажните зони и природни резервати или тяхната раздалеченост оказват влияние върху биоразнообразието и мозаечността на разпространение на видовете. Информацията за структурата на местообитанията е слабо представена в исторически аспект на екологията. Пространствените модели на ландшафта са резултат от сложни взаимодействия между физически, биологични и социални компоненти. Различни показатели на ландшафта могат да отразят процеси, които се проявяват на различни нива. Широкомасштабните изображения на ландшафтната структура, получени чрез дистанционните изследвания (Turner, 1989), могат да осигурят подходящи данни за целите на мониторинг на екологични промени в регионален мащаб.

При мониторинг на влажни зони на база дистанционни методи се изследват три важни характеристики: водно огледало (WS), растителност (V), изменение на динамика между растителността и водното огледало ($R_{vd/ws}$). Критериите, които се използват за MEM за влажна зона, са определяне на времевите интервали за изследване на изменения във водното огледало, растителността и съотношението между динамиката на растителността и на водното огледало. В този случай най-подходящи от посочените в mMEM индекси са NDVI, NDGI, NDWI, тъй като те са чувствителни към оценяваните характеристики на влажната зона. Индексът NDVI количествено отразява динамиката на зелената растителност. Индексът NDGI показва степента на изменение на вегетационния процес, а NDWI – съдържанието на влага.

За целите на изследване на влажна зона са използвани методи за обработка на спътникови данни. Композитните изображения от Sentinel-2 се създават и се генерират композитни изображения за избрани дати. Тестовият участък, обект на изследване при прилагане на мМЕМ, се отрязва. Композитните изображения се геореферират и се извършва ортогонализация посредством, което се предоставят значително повече данни отколкото оригиналните данни от Sentinel-2 (Nedkov, 2017a). Процесът на ортогонализация успешно запазва и подчертава информация за растителността, водното огледало, почва и едновременно намалява „шума“ на информацията, която намалява степента на разпознаване на обекта. Изображенията след прилагане на ортогонализация се диференцират на различни слоеве за „Brightness“, „Greenness“ и „Wetness“ компонентите за всяка дата от времеви период от МЕМ. Класифицираните слоеве на компонентата „Wetness“, за различни дати се налагат в среда на ГИС върху аерофото изображение с висока разделителна способност (VHR 0,05m). Последното изображение за влажната зона (Обект на изследване 1) е заснето след приключване на възстановителните дейности през септември, 2018 г. Същата процедура се прилага при класифициране на слоевете на компонентите „Greenness“ и „Brightness“ за същите времеви периоди/интервали от МЕМ, както при компонентата „Wetness“. Компонентата „Brightness“ отразява състоянието на почвата (без растителността), влажна/ суха почва (Nedkov, 2017a) или незалесени участъци в различни времеви интервали и отразява състоянието на почвата (без растителността), влажна/ суха почва (Nedkov, 2017a) или незалесени участъци в различни времеви интервали. „Brightness“ компонентата се свързва с отразяване на почвата и е обвързана с Greenness компонентата, която е индикатор за наличие/отсъствие на растителност (Wang et al., 2004; Patel et al., 2008) и с „Wetness“ компонентата, която определя влагата в почвата (Mallick et al., 2009).

Степента на измененията на водното огледало на влажната зона през различни времеви интервали се оценява количествено и се определя тенденцията на това изменение. Количествена оценка се прави на базата на стойностите на класифицираната компонента, отговаряща за влажността за съответните времеви периоди от МЕМ. Функцията на количествената оценка се отнася до всички позитивни стойности на компонентата, отговаряща за влажността, които надвишават определен праг. Освен това данните за почвата могат да бъдат комбинирани с данни за хидроложкия баланс на определена екосистема и така да се определят обхвата и честота на основни растителни видове, а местообитанията могат да бъдат количествено определени, за да се опише въздействието на промените в екосистемите.

С помощта на дистанционните методи е възможно да се извърши междинен екологичен мониторинг за обекти, независимо от площта на територията или тяхното разположение. Методиката за междинен екологичен мониторинг е приложима и за природни резервати, които са труднодостъпни или недостъпни. При проследяване на динамиката на изменение в природни резервати от изключително значение е да се използва (съществуваща) база данни, която включва данни от: теренни проучвания, земното покритие (CORINE Landcover), спътникови изображения с подходяща

разделителна способност (Landsat, SPOT, IKONOS and QuickBird, Sentinel-2) и аерофото изображения. На базата на този мониторинг е възможно установяване на актуалното състояние, настъпили изменения, динамика на изменения и формиране на тенденции за развитието на (природни) резервати в краткосрочен и дългосрочен аспект.

6.2. Валидиране на резултати от прилагане на мМЕМ за влажни зони, резервати и природни резервати

В процеса на оценяване етап „валидиране“ на резултатите от МЕМ включва проверка на получените резултатите за водната повърхност, разпределението на растителността, с набор от независими данни като утаяване и евапотранспирация за същите времеви интервали, от които са и данни от дистанционните методи, използвани при прилагане на МЕМ. Създаденият набор от данни от МЕМ се използва като независим индикатор за актуалното състояние на влажната зона.

ГЛАВА III. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ ЗА ПРИРОДНИ ОБЕКТИ (ТИП ВЛАЖНА ЗОНА, ПРИРОДЕН РЕЗЕРВАТ) И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

1. ПРИЛАГАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ

В Глава III се изследват четири природни обекти (*Обект на изследване 1: Влажна зона “Негован”*, *Обект на изследване 2: Резерват (Р) „Лешница“*, *Обект на изследване 3: Природен резерват (ПР)* и *Обект на изследване 4: „Долна топчия“*) като се прилага методиката за междинен екологичен мониторинг. За всеки изследван обект е установено наличие или отсъствие на промени на базата на дистанционни методи чрез използване на аерокосмически данни с много висока пространствена разделителна способност. Представени са качествени и количествени анализи на промените, както и са препоръчани подходящи действия и мерки за постигане на устойчивото развитие на екосистемите, за които са установени промени.

Представените резултати са на базата на аерокосмически данни от времеви интервали, посочени в Таблица 2.

Таблица 2. Аерокосмически данни - времеви интервали

<i>№</i>	<i>Обект на изследване</i>	<i>Сензор</i>	<i>Времеви интервал</i>
1	Влажна зона „Негован“	Sentinel-2	06/04/2016, 30/06/2017, 07/08/2017, 11/08/2017, 16/10/2017, 04/04/2018, 24/04/2018, 09/05/2018, 08/06/2018
		Аерофото VHR	Юни 2014, юни 2015
		Аерофото(VHR 0.05m)	Септември 2018
2	Резерват „Лешница“	Sentinel-2	30/06/2017, 24/08/2017, 18/09/2017, 01/05/2018, 31/05/2018, 14/08/2018, 28/09/2018
		Аерофото VHR	2006, 2012
3	ПР „Долна топчия“	Sentinel-2	01/04/2016, 28/04/2016
		Аерофото VHR	2006, 2012
4	ПР Сини бряг“	Sentinel-2	08/2010, 08/2014, 01/05/2016, 10/06/2016, 19/08/2017, 24/08/2017
		Аерофото VHR	2006, 2012

1.1. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ 1: ВЛАЖНА ЗОНА, С. НЕГОВАН, ОБЩИНА СОФИЯ

1.1.1. Местоположение

Влажна зона Негован е разположена в района на Нови искър, Столична Община. За този район са установени големи промени в екологичното състояние вследствие на добивна дейност и развитие на кариери. (Roumenina et al., 2017). Обектът се намира на юг от с. Негован, от двете страни на моста над р. Лесновска (Стари Искър). Обектът е разположен непосредствено до южната дига от корекцията на р.Лесновска, на 4.30 km преди устието ѝ с р. Искър (Фиг. 7) и е разделен от пътя София-Негован на два основни участъка: Източен участък с площ 123 dka и Западен участък с площ 138 dka.



а)



б)

Фиг. 7. а) Сателитно изображение на Влажна зона „Негован“ (Източно и Западно езеро) 2012 г., б) Сателитно изображение на Влажна зона „Негован“ (Източно и Западно езеро) 2017 г.

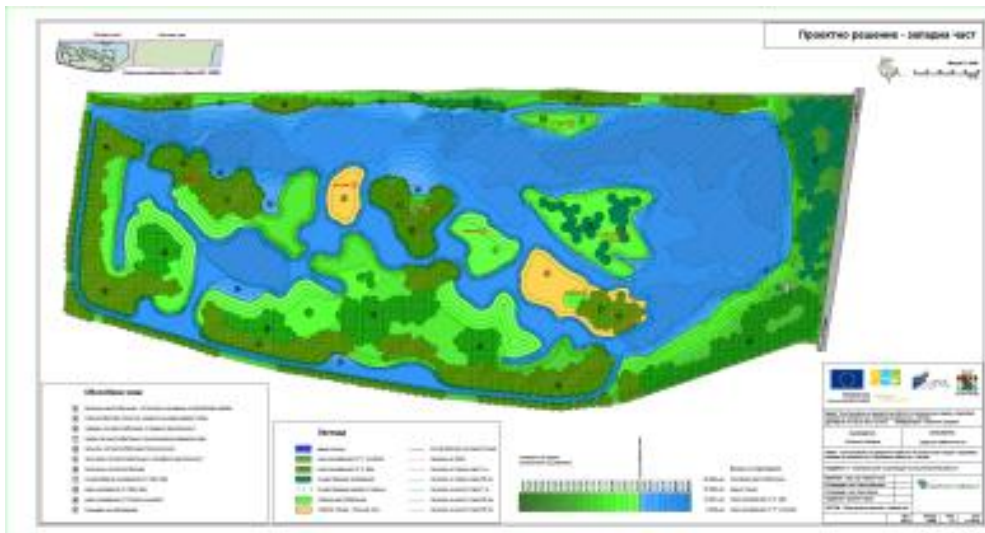
1.1.2. Възстановяване и опазване на местообитания

През периода 2013-2015 г. на територията на Обект 1 е изпълнен проект „Възстановяване и опазване на приоритетни хабитати тип влажни зони по миграционния път на птиците, част от екокоридор „Виа Аристотелис“ по течението на река Лесновска (в района на с. Негован)“. Установено, е че обектът е богат на множество растителни видове. Това обяснява значението на влажната зона и необходимостта от мониторинг на водните повърхности като показател за поддържане на устойчивостта на екосистемите.

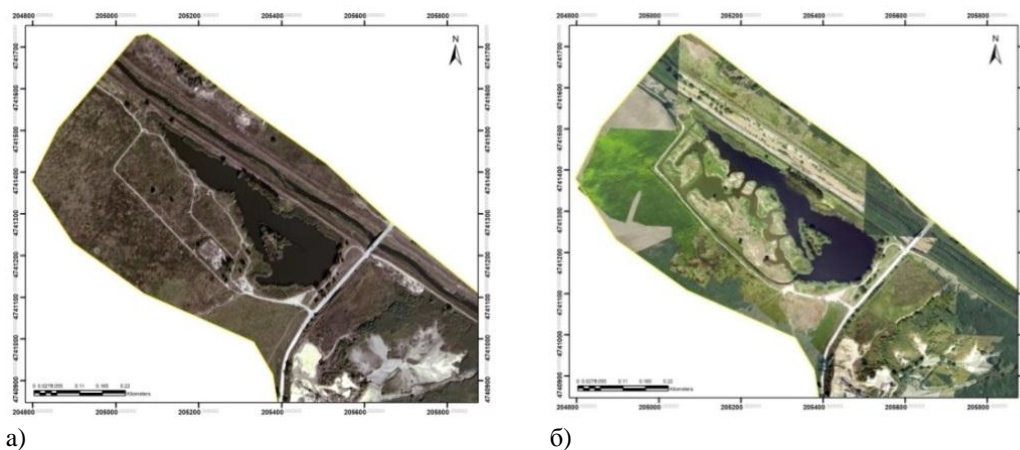
1.1.3. Възстановителни дейности осъществени през периода 2013-2015 г.

На фиг. 9 са представени проектите решения на възстановителните дейности за западната част (Малкото езеро) на влажна зона „Негован“, които основно са свързани с подобряване на екологичните условия на територията като местообитание тип влажна зона с европейско значение.

На фиг. 10б е представено аерофото заснемане на влажната зона непосредствено след приключване на възстановителните дейности през 2015 г. При анализиране на фиг. 7 и фиг. 10а и 10б ясно се вижда, че възстановителните дейности са точно изпълнени съгласно представените проектни решения.



Фиг. 9. Проектните решения на възстановителните дейности за Малкото езеро



Фиг. 10. Влажна зона, с. Негован, Столична Община:

- а) Сателитно изображение от 2010 г. - преди възстановителни дейности
- б) Аерофото изображение от 2015 г. след изпълнение на възстановителни дейности

1.1.4. Приложение на методика за МЕМ за влажна зона Негован

За влажна зона Негован е изследвана площта на водното огледало и растителността, които се определят като индикатор за екологично качество на екосистемата. Прилагането на мМЕМ за влажна зона Негован осигурява данни за състоянието на водното огледало и характеристики на терена, което дава възможност да се оцени качеството на влажната зона като местообитание за водолюбиви птици.

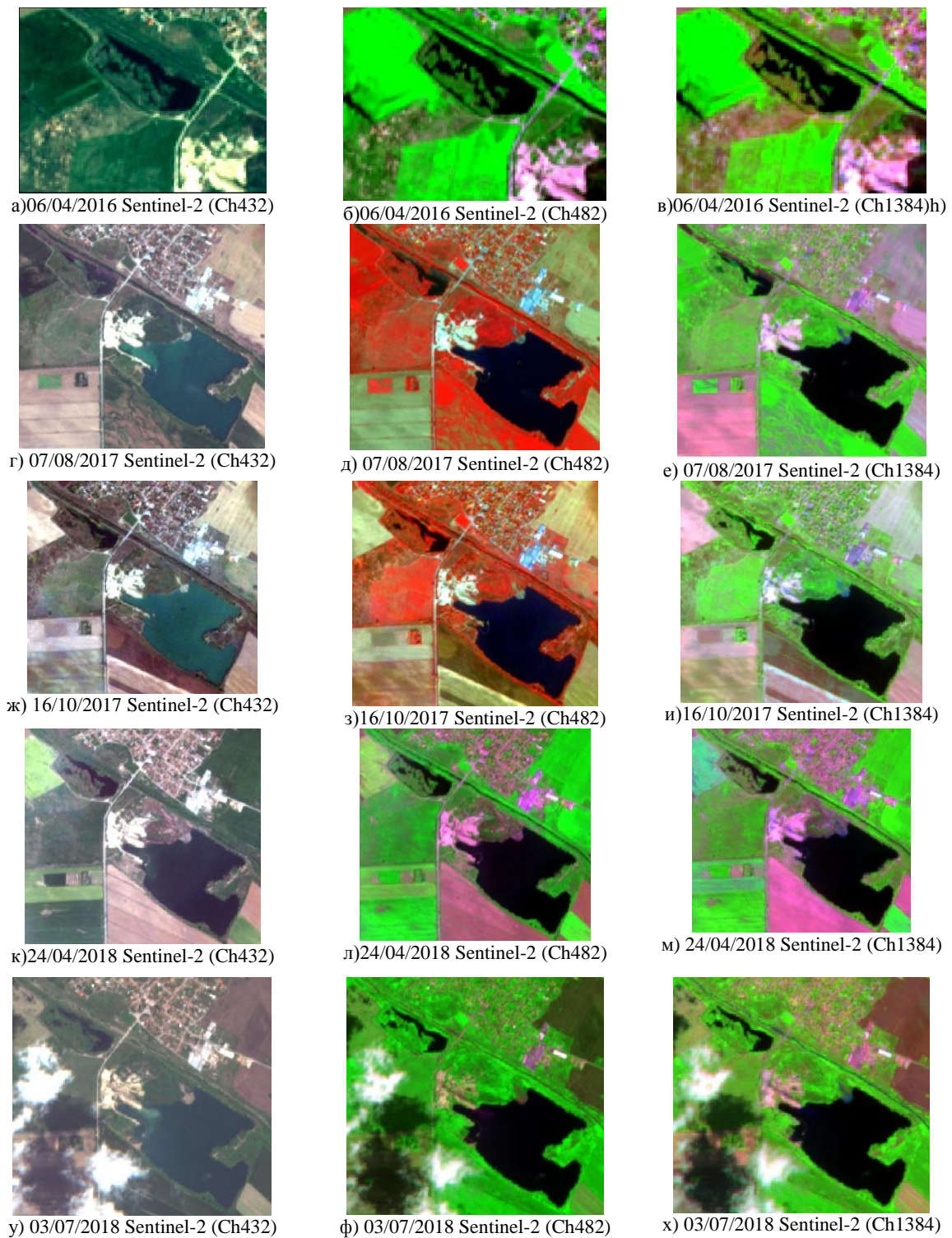
При мониторинг на влажната зона се използват спътникови данни, данни за някои климатични характеристики от JRC и данни за почвата чрез пробовземания и анализи на основни показатели като общо съдържание на въглерод, общо съдържание на азот и рН. За целите на прилагане на методиката за междинен екологичен мониторинг са използвани данни с много висока разделителна способност и мултиспектрални спътникови данни от Sentinel-2 преди и след възстановителните дейности през 2015 г.

Времевите интервали се избират така, че да съвпадат с времевия интервал на регулярния мониторинг или условието $t_{Ech_j}^i \in \Delta t_{RM}^i$ е изпълнено. За проследяване на настъпили промени и изследване на динамиката на възможни промени се извършва ортогонализация на спътникови данни, анализиране на вегетационните индекси като нормиран разликов вегетационен индекс (NDVI), нормиран разликов индекс на зелената компонента (NDGI), нормиран разликов воден индекс (NDWI), индекса на растителността коригиран спрямо почвата (SAVI) и модифициран индекса на растителността коригиран спрямо почвата (MSAVI), извършване на корелационен и многокомпонентен анализ.

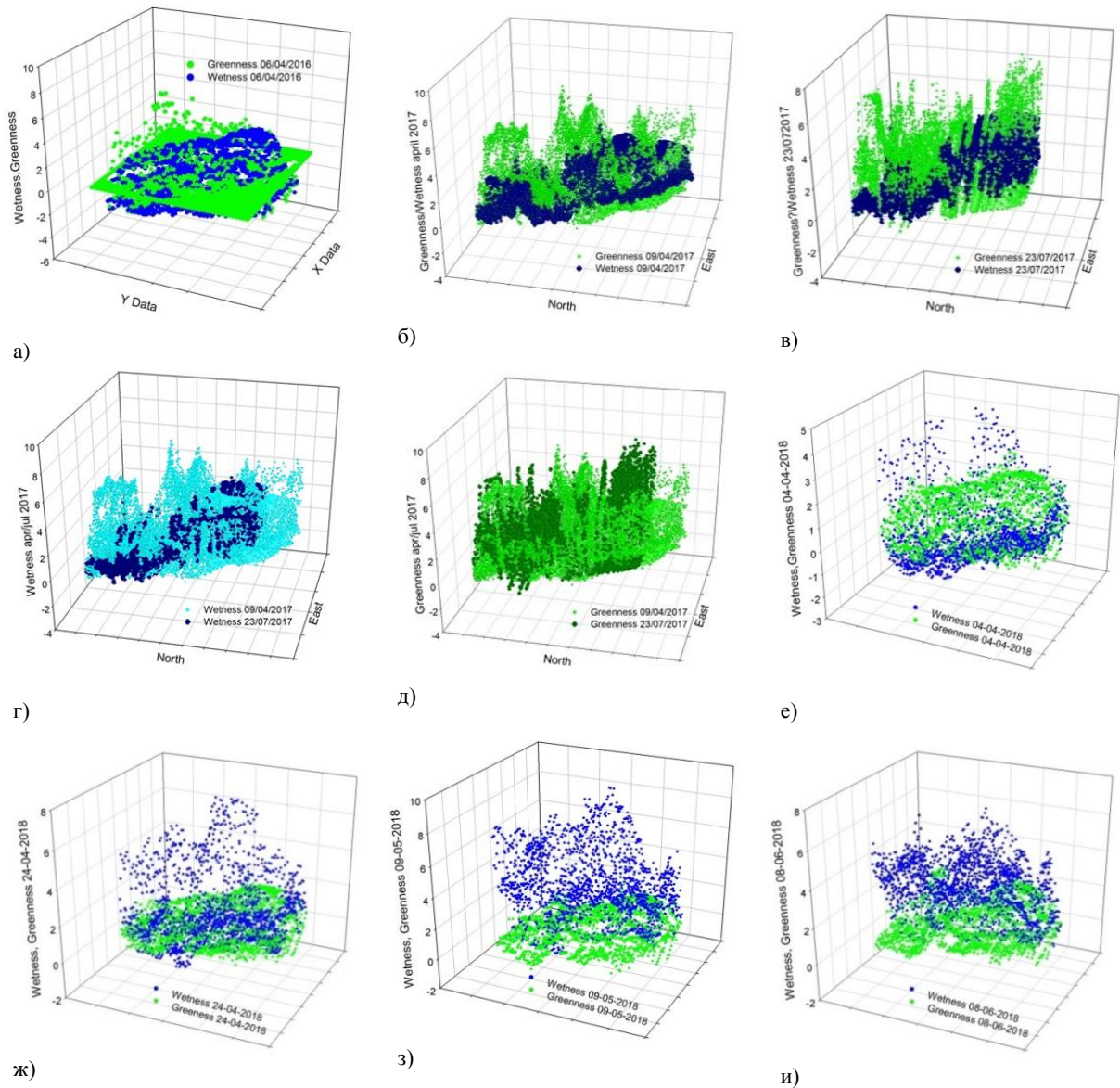
На фиг. 13 са представени спътникови изображения от мултиспектралния инструмент на Sentinel-2 (Ch 432, 482, 1384) за влажната зона за избрани времеви моменти през периода 2016-2018 г. При анализиране на фиг. 13 се установява засилен процес на обрастване на новосъздадените морфологични структури (острови) от м. август 2016 г. до септември 2018 г. За оценка на промени в растителността, почвата и атмосферните условия, са анализирани и вегетационните индекси (VIs) като NDWI, NDGI, SAVI, MSAVI 2, индекс на смутеността (DI). Най-ниските стойности на показателя NDVI, които попадат в скалата 0.2-0.4, са измерени през м. април/2018 г., когато вегетационният процес е още в началото на развитието си. По-високи стойности на показателя се регистрират през м. август/2017 г., м. юни /2018 г. и м. юли/2018 г. и варират между 0.5 и 0.8. Най-високите стойности на NDVI са измерени в началото на м. май/2018 г. и са в скалата 0.8-1.0. Високите стойности на показателя се обвързват с интензивността на валежите. При стойности на NDWI по-големи от нула се допуска наличие на водни площи, докато при стойности по-малки или равни на нула се наблюдава отсъствие на водни площи. Анализът на резултатите показва, че използването на NDGI позволява по-прецизна оценка на моментните промени в състоянието на растителността, което също е стандартизирано и много почувствително, както към максималните, така и към минималните отклонения. Получените стойности на индексът на смутеността потвърждава негативната тенденция в екосистемата до последния времеви период на проведеното изследване.

На базата на анализиране на 3-D диаграмите за изследвания период, чрез които се изследват връзките между „Wetness“ и „Greenness“ компонентата (фиг. 14) е установено, че площта на водното огледало намалява значително, а заетата с растителност площ нараства след 06/04/2016 и продължава до началото на м. юни/2018. За периода м.април-м.юни, 2016 г. са анализирани и данните за валежите (фиг.15), които показват ниски стойности. В този период евапотранспирацията превишава количеството на валежите и може да се направи заключение, че намаляване на площта на водното огледало за този период се дължи на по-малко валежи и високи стойности на евапотранспирация. Резултатите са типични за влажната зона за периода пролет/лято. Тъй като не е осигурена връзка на влажната зона с друг водоизточник, който да осигурява приток на сладки води както и няма отток, стойностите на реалната евапотранспирация през сух период могат да бъдат не по-високи от 30-39 мм/ден. За да

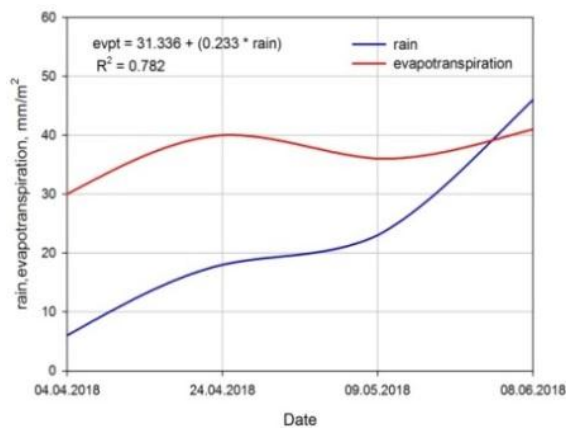
се запази водното огледало през сух период, дълбочината на водата в новосъздадените острови е необходимо да бъде поддържано не по-малко от 1 м.



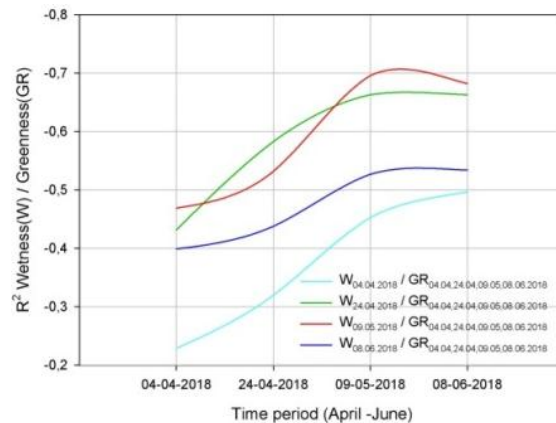
Фиг. 13. Влажна зона „Негован“,София област, България. Мултиспектрални изображения Sentinel-2 (Ch432, Ch482, Ch1384) за периода 2016-2018 г.



Фиг. 14. Влажна зона “Негован“. а) 3D-разпределение на W/Gr- компонентите за 06/04/2016; б) 3D-разпределение на W/Gr- компонентите за 09/04/2017; в) 3D- разпределение на W/Gr компонентите за 23/07/2017; г) 3D- разпределение на W-компонентата за периода 09/04/2017 и 23/07/2017; д) 3D-разпределение на Gr компонентата за 09/04/2017 и 23/07/2017; е) 3D-разпределение на W/Gr компонентите за 04/04/2018, ж) 3D-разпределение на W/Gr компонентите за 24/04/2018, з) 3D- разпределение на W/Gr компонентите за 09/05/2018; и) 3D- разпределение на W/Gr компонентите за 08/06/2018



a)



б)

Фиг. 15. Влажна зона “Негован“

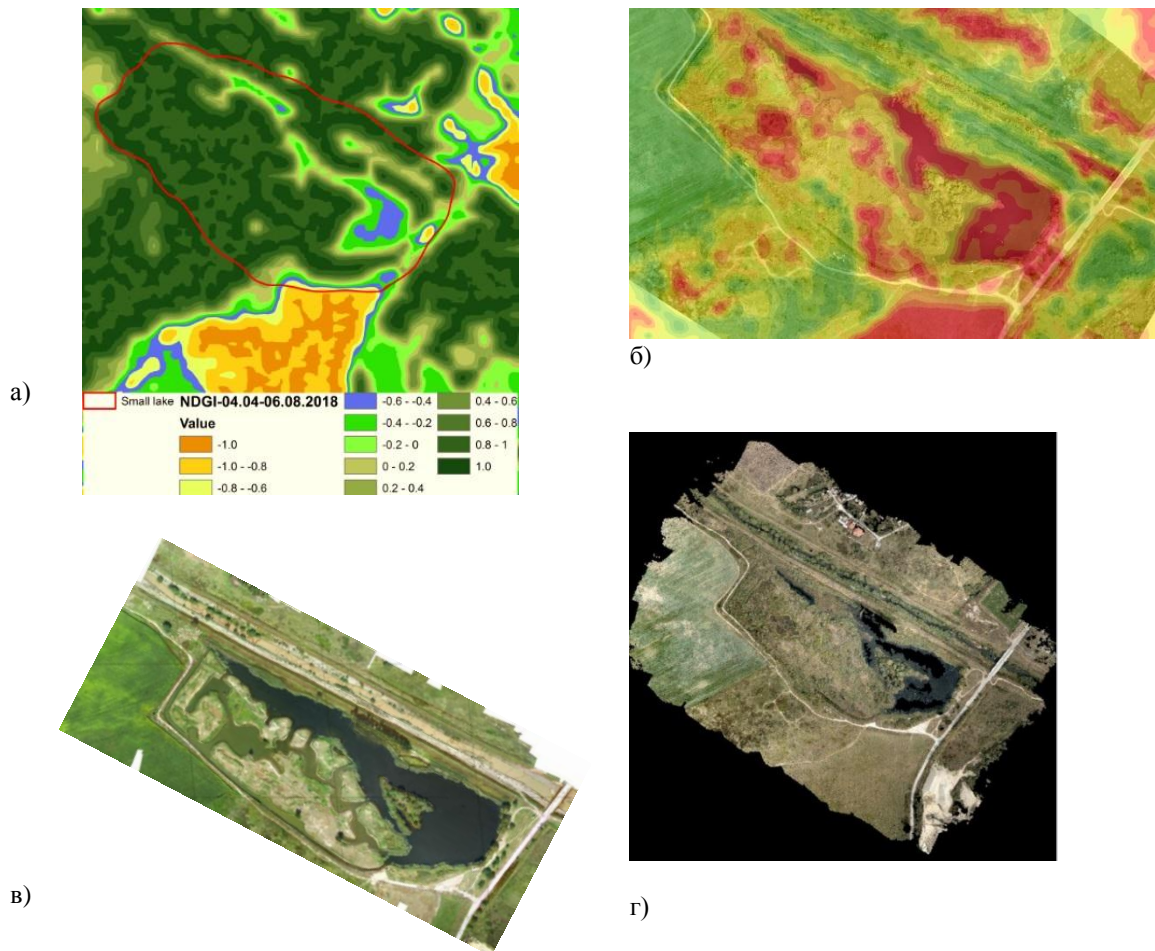
а) Диаграма на изменението на валежите и евапотранспирация

б) Диаграма на коефициента на корелация на измененията на W/Gr компонентите

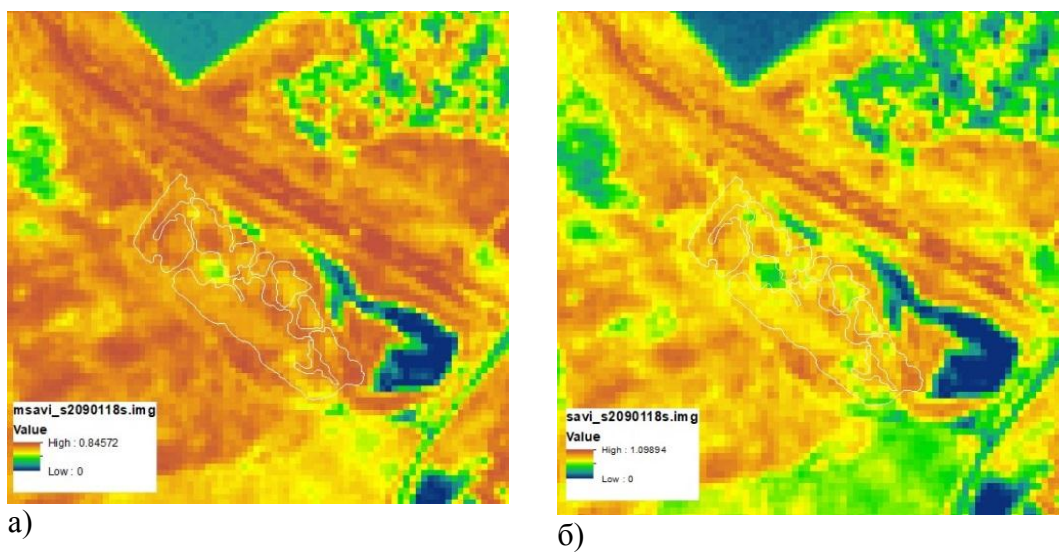
На базата на информацията генерирана от дистанционните методи се прилагат уравнения (1) и (2) от мMEM, представени в Глава II. Получените резултати показват зависимост между екологичните характеристики/условия на екосистемата и годишното разпределение на валежите, което определя и наличието на вода във влажната зона. Анализите на NDGI показват, че червеният цвят при водните полигони означава липса на вода в новосъздадените острови на територията на влажната зона (фиг. 19б).

Анализирането на връзката „ниво на водата - динамика на растителността - почва“ е важно за поддържане на хидрологичния режим на влажната зона и достъпната влага в почвата. Резултатите за стойностите на SAVI са по-малко повлияни от измененията на „Brightness“ компонентата. Разликата в резултатите за показатели SAVI и MSAVI е много малка. При индексът MSAVI количествената оценка е по-прецизна. MSAVI е по-чувствителен от SAVI към степента на влияние на процеса на намаляване на влажността на почвата и намаляване на водата във влажната зона (фиг. 20). Тези резултати ясно посочват значително намаляване на водното огледало. Установеното намаляване на водното огледало за последните 5 години ще предизвика бъдещи промени в екосистемата.

За потвърждаване на получените резултати на индексите SAVI, MSAVI вследствие на прилагане на MEM чрез методите на дистанционните изследвания са направени теренни проучвания за почвата в края на м. септември 2018 г.



Фиг. 19. Влажна зона “Негован“
 а) NDGI за периода април-август 2018 г.
 б) NDGI за периода август-септември 2018 г.
 в) АерофотоVHR 0.05 m септември 2018 г.



Фиг. 20. Влажна зона“ Негован“, а) 2D- диаграма за индекс MSAVI
 б) 2D- диаграма за индекс SAVI

В резултат на интерпретацията на стойностите на изследваните индекси се определя и степента на тяхната чувствителност към компонентите на земното покритие–почва, водно огледало, растителност (Табл. 3).

Табл. 3. Степен на чувствителност на индекси

Индекс	Степен на чувствителност	Чувствителност на индекси към влажната зона	Приложимост на индекси за оценка на екологичното състояние
NDWI	Водно огледало	средна	Приложим
NDGI	Растителност & почва	висока	Приложим
SAVI	Почва	средна	Приложим
MSAVI	Почва	висока	Приложим

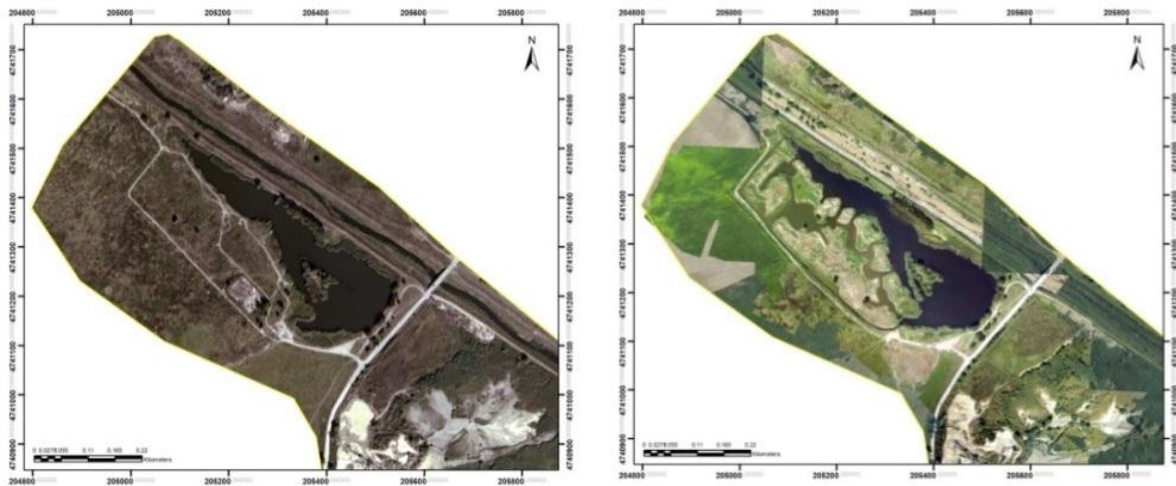
След извършване на MEM е създаден допълнителен каталог от изображения (спътникови и аерофото), който се добавя към съществуващата база данни. Обновената „База данни“ може да се използва от различни потребители за извършване на екологичен мониторинг, оценка на актуалното състояние на обекта и предприемане на адекватни мерки и дейности за опазване на екосистемата.

1.1.5. Изводи

Методиката за междинен екологичен мониторинг предоставя информация за актуалното състояние на влажна зона Негован за периода 2015-2018 г. Резултатите от MEM показват, че водното огледало на влажната зона намалява основно вследствие на евапотранспирация и в по-малка степен на инфилтрация. Независимо от максималните стойности на валежите през 2018 г., се наблюдава намаляване на водното огледало, което се дължи на интензивния процес на „обрастване“ в площта на новосъздадените през 2014-2015 г. острови. Налице е процес на изпарение, при който се загубва голямо количество от площта на водното огледало (Фиг. 23). За изследвания 4-годишен период (2015-2018 г.) на базата на изображения от SENTINEL-2 се установява, че през 2017 г. намаляването на водното огледало на възстановената част на влажната зона е около 20%, през месеците април и май (2018 г.) съответно 30%, и през м. юни (2018 г.) - 40%, които включват и намаляването на площта на водното огледало на съществуващата част от влажната зона.

От изключително значение за влажна зона Негован е динамиката на хидрологичния режим, тъй като има основна роля при протичане на екологични процеси в екосистемите и оказва влияние върху динамиката на разпределение на флора и фауна видове. Динамиката на хидрологичния режим се контролира от екологични фактори като геоморфология, вида на почвата, състояние и стопанисване на растителната покривка. Екосистемите реагират на тези фактори като техните реакции се отразяват в поява или отсъствие на промени. Възможни причини са влошаване на

хидрологичното състояние на влажната зона в резултат на отлагане на органично вещество от съществуващата растителност, антропогенна дейност като нерегламентирани сметища или нарушаване на хранителна верига, създадена през 2014 г. при извършване на възстановителните дейности.



а) преди възстановителни дейности

б) след възстановителни дейности



в) 3 години след възстановителни дейности

Фиг. 23. Влажна зона „Негован“: а) Сателитно изображение от 2010 г.- преди възстановителни дейности, б) Аерофото заснемане от 2015 г. след изпълнение на възстановителни дейности, в) Аерофото заснемане септември, 2018 г. (VHR 0,05 m) при прилагане на междинен екологичен мониторинг

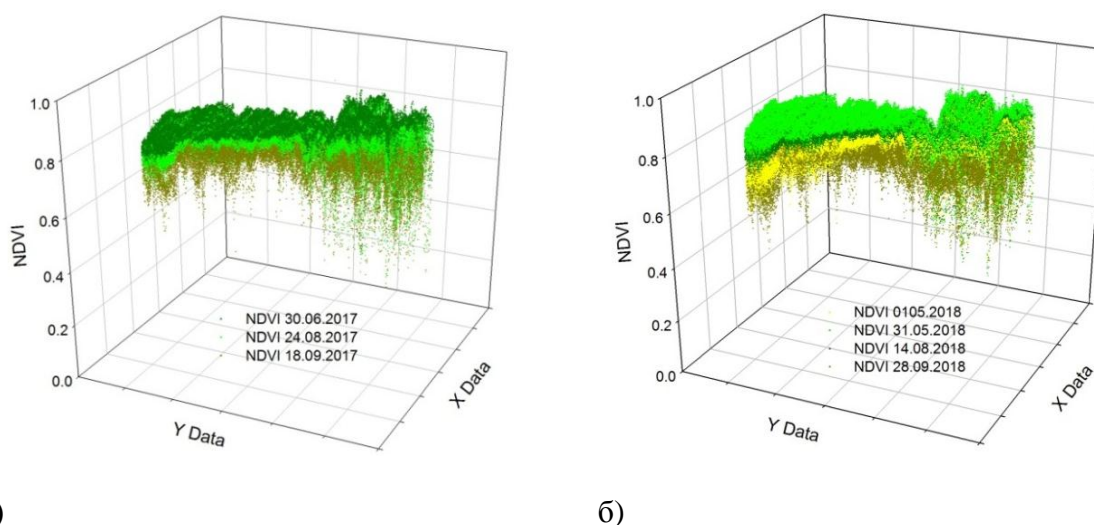
Възможно е при запазване на темповете на динамика на изменение на водното огледало в посока намаляване на водното ниво, оставащото ниско водно ниво може да се загуби чрез евапотранспирация вследствие на засилен/интензивен процес на обрастване. Прилагане на методиката за междинен екологичен мониторинг за влажна зона „Негован“ има принос при подобряване на ефективността при управление на екосистемата. В тази връзка, за възстановяване и запазване на устойчивостта на екосистемата трябва да се има предвид следното:

1. Динамиката на изменение на влажната зона да бъде наблюдавана чрез предложената методика в рамките на по-чести времеви интервали, тъй като методиката за МЕМ е интегрална част от управлението на влажната зона;
2. Да се използват природосъобразни техники за намаляване на процеса на обрастване;
3. Водното ниво да бъде повишено чрез хидравлична връзка като се осигури вода за влажната зона от р. Лесновска.

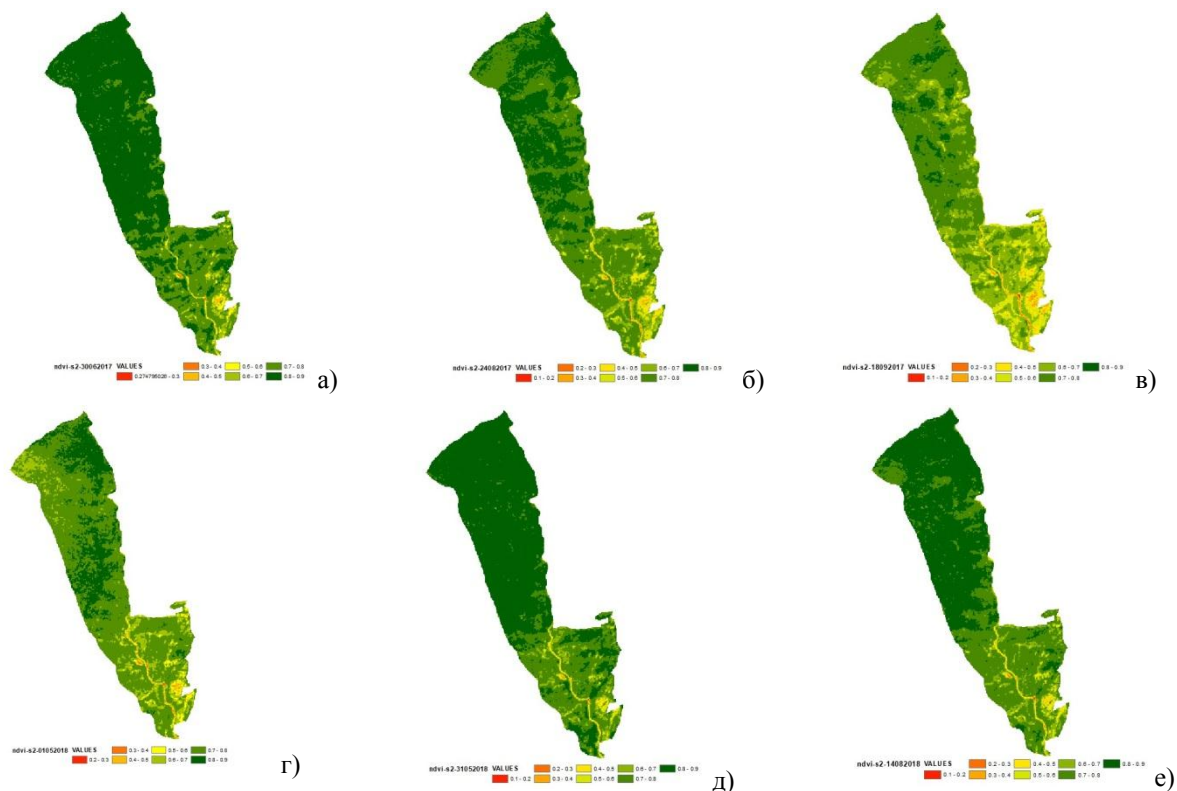
1.2. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ 2: РЕЗЕРВАТ „ ЛЕШНИЦА“

Резерват "Лешница" е разположен във водосбора на р. Лешница в землището на с. Ясеново и съхранява разнообразни и характерни екосистеми в нископланинския горски пояс (Шипченски дял на Стара планина), както и местообитания на редки и защитени видове. Той е с географски координати: 42°42'47"N, 25°13'5"E. За целите на прилагане на МЕМ за резерват "Лешница" се използват спътникови данни от мултиспектралния инструмент на Sentinel-2. За изследване на динамиката на изменение се генерират 3D-диаграми за Greenness компонентата и 2D- и 3D-диаграми за NDVI.

При анализиране на резултатите за Greenness компонентата не се установяват критични нива, а по-скоро нормални стойности на компонентата за избраните времеви интервали. Най-ниските стойности на NDVI са през м. септември и за двете години, което се свързва с намаляване на листната маса и спад на вегетацията. Най-високите стойности са през м. юни/2017 и м. май/2018, когато вегетационният процес е в кулминация. Резултатите показват устойчиво развитие на растителността. Развитие на процес на вегетация през месеците юни и август е в кулминацията, а през м. септември се забелязват ниски стойности, намаляване на зелената листна маса и спад във вегетацията. (фиг. 27 и фиг. 28)



Фиг. 28. Резерват „Лешница“ - а) 3D-диаграми за пространствено разпределение на NDVI за 2017 г.; б) 3D-диаграми за пространствено разпределение на NDVI за 2018 г.



Фиг. 27. Резерват „Лешница“. 2D –диаграми за пространствено разпределение на NDVI за 2017-2018 г.

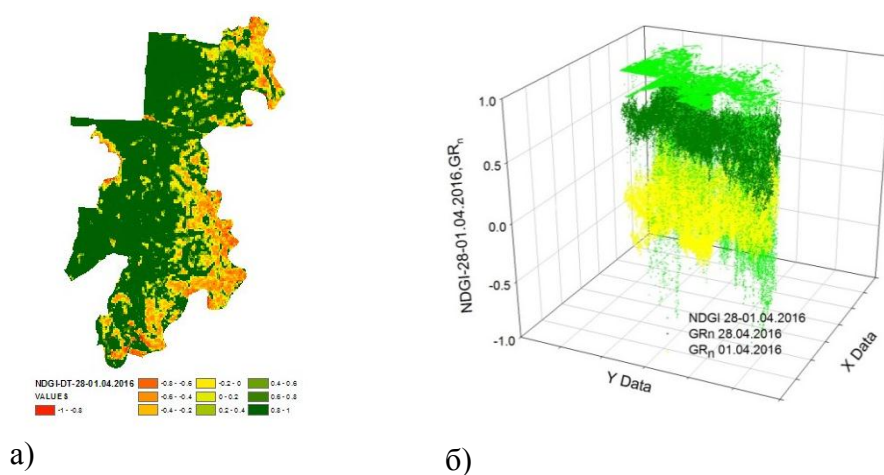
1.3. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ 3: ПОДДЪРЖАН РЕЗЕРВАТ „ДОЛНА ТОПЧИЯ“

Поддържан резерват (ПР) "Долна Топчия" се намира между $41^{\circ}75'$ и $42^{\circ}18'$ северна ширина и $26^{\circ}24'$ и $27^{\circ}02'$ източна дължина по Гринуич. Територията му е разположена в Елховското поле, което обхваща долината на река Тунджа и нейните притоци. При прилагане на MEM за ПР "Долна Топчия" са използвани изображения в близкия инфрачервен спектър за визуализиране на състоянието на растителността, тъй като в близкия инфрачервен канал се наблюдава най-висока степен на отражение при наличието на хлорофил (фиг. 32). На фиг. 32в) и фиг. 32е) е представено композитно изображение (Ch 1384) в среден инфрачервен диапазон и видим диапазон в областта на червения спектрален диапазон. Наличието на растителност на фиг. 32в) и 32е) се представя в зелен цвят, а на фиг. 32б) и 32д) растителността е показана в червен цвят.

Резултатите при анализиране на фиг. 33а) показват, че за голяма част от растителността в границите на ПР "Долна Топчия" стойностите са между 0,8 и 1. Близките стойности на индекс NDGI до 1 показва добро състояние на растителността. Стойностите на нормираната Greenness компонента Gr_n в началото на вегетационния процес (01/04/2018) са значително по-ниски от стойностите на нормираната Gr_n компонента в края на периода (28/04/2016), което е в следствие на устойчив вегетационен процес. (фиг. 33б).



Фиг. 32. ПР „Долна Топчия“, Мултиспектрални изображения Sentinel-2 (Ch432, Ch482, Ch1384) за периода 01/04/2016 и 28/04/2016



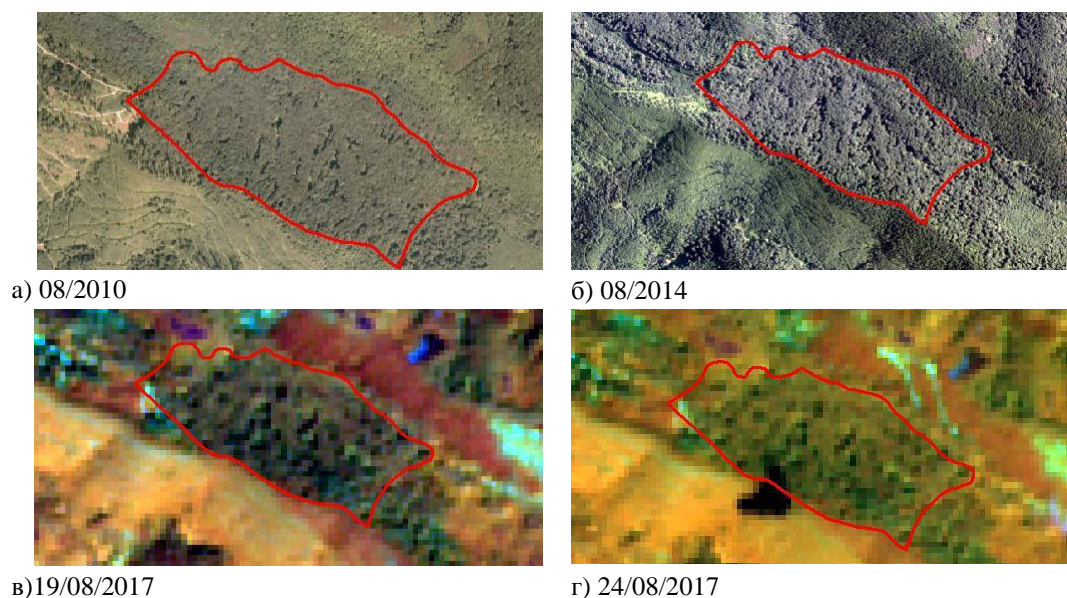
Фиг. 33. ПР „Долна Топчия“
 а) 2D-диаграма NDGI 28-01/04.2016;
 б) 3D-диаграма NDGI 28-01/04.2016, GR_n 28/04/2016, GR_n 01/04/2016

Анализите от приложената мМЕМ показват, че за разглеждания период няма съществени изменения и нарушения във вегетационния процес и може да се направи извода, че има функционираща горска екосистема с устойчив вегетационен процес.

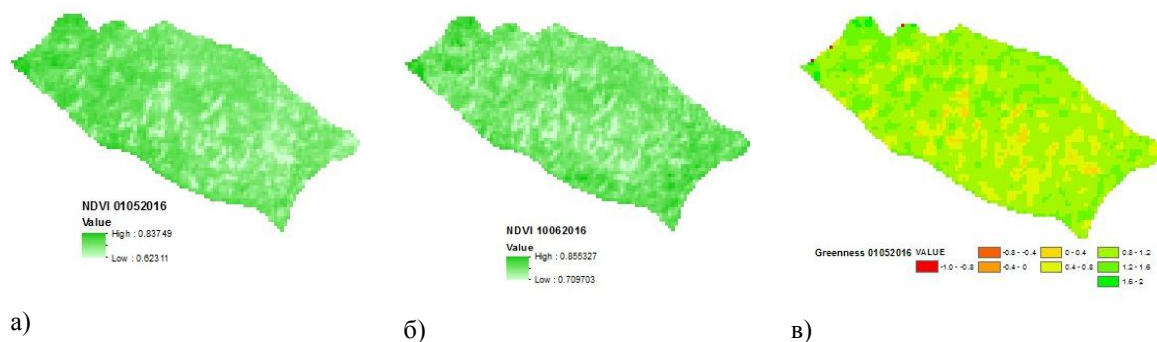
1.4. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ 4: ПОДДЪРЖАН РЕЗЕРВАТ „СИНИ БРЯГ“

Поддържан резерват (ПР) „Сини бряг“ е с географски координати: 42°52'2"N 26°2'26"E. Резерватът е обявен със Заповед №508 от 28.03.1968 г. като вековна девствена букова гора. Обектът се намира близо до селата Божевци и Изгрев, община Сливен.

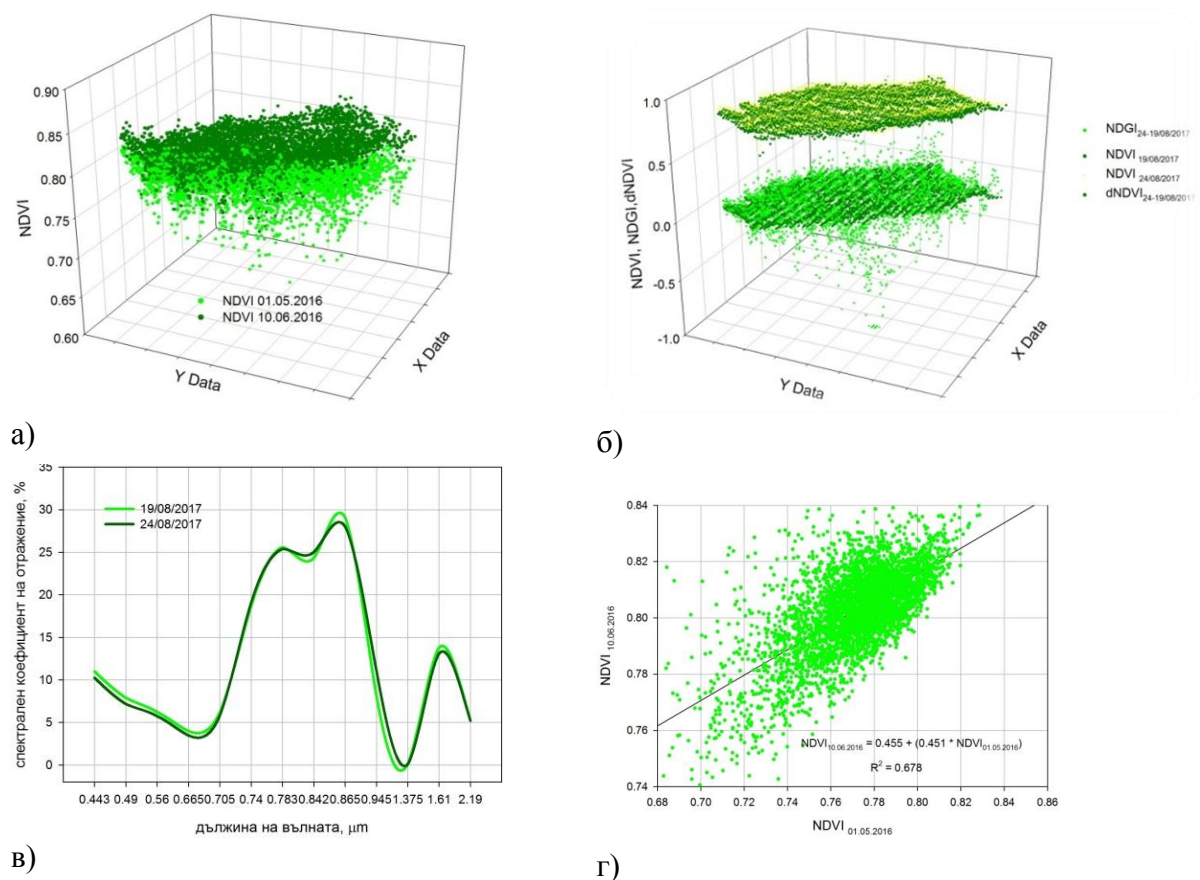
На фиг. 37 в) и 37 г) са представени композитни спътникови изображения (Ch 432) от мултиспектралния инструмент от Sentinel-2 за ПР „Сини бряг“ за различни времеви моменти от 08/2017 г. Вследствие на използване на метода Tasseled Cap Transformation (ТСТ) за периода 19-24/08/2017 са получени количествени оценки за NDVI и спектралния коефициент на отражение (фиг. 39). Високите стойности на индексите NDVI за 01/05/2016 и 10/06/2016 и Greenness компонентата за 01/05/2016 са характерни за периода на вегетация. (фиг. 38). Наблюдава се много висока степен на корелация между стойностите на NDVI от 01/05/2016 и 10/06/2016, като коефициента на корелация $R^2=0.678$. (фиг. 39). Резултатите потвърждават устойчив вегетационен процес за ПР „Сини бряг“.



Фиг. 37. ПР „Сини бряг а) и б) Аерофото изображения ,в) и г) Композитни спътникови изображения (Ch 432) от мултиспектрален инструмент на Sentinel-2



Фиг. 38. ПР „Сини бряг“ – 2D- пространствено разпределение а) индекс NDVI за 01/05/2016, б) 10/06/2016, в) Greenness компонента за 01/05/2016



Фиг. 39. ПР Сини бряг: а) 3D-разпределение на NDVI за 01/05/2016 и 10/06/2016, б) 3D-разпределение на NDVI/ NDGI/ dNDVI за 19-24/08/2017, в) Характеристики на спектрално отражение за 19-24/08/2017

Анализите за трите резервати показват отсъствие на съществени изменения и промяна в динамиката на изменение на растителността, което предполага устойчиво развитие на растителността за изследвания период. Генерираните данни вследствие на извършване на МЕМ ще допълнят и актуализират създадената база данни през 2015 г. на Р „Лешница“, ПР „Долна Топчия“, ПР „Сини бряг“ и ще спомогнат за прогнозиране на тенденцията за динамика на изменение на растителността през период до изготвяне на новия актуализиран план за управление на резервата.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важно условие за опазване и възстановяване на екологичното равновесие в екосистемите и природата е установяване наличието или отсъствие на промени в тях и предприемане на адекватни мерки за тяхното възстановяване и опазване. В този смисъл провеждане на междинен екологичен мониторинг на базата на дистанционните изследвания ще отговори на основни предизвикателства при мониторинг на промените в екосистемите като:

а) проследяване на бързи и резки промени в допълнение към прогресивно и нарастващите промени (например оценка на въздействието при проявление на различни природни събития като наводнение, суша, пожар, вълноломи, снеговали и др.);

б) оценка на промените в сравнение с прогресивно разширяване на селското стопанство откриване на модификации при различни видове (напр. количествено определяне на деградацията на горската покривка поради селективен дърводобив или пожар);

в) оценяване на състоянието и определяне на тенденции за развитие на екосистемите и процесите в тях, особено при положение, че не са налични данни за дълъг период от време (например набавяне на данни за докладване по **ДИРЕКТИВА 92/43/ЕИО НА СЪВЕТА от 21 май 1992 г. за опазване на естествените местообитания и на дивата флора и фауна** и **ДИРЕКТИВА 2009/147/ЕО НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА от 30 ноември 2009 г. относно опазването на дивите птици**, оценка на деградация при засушаване и др.);

г) преодоляване на зависимостта от статистическия мащаб на оценки на промените, получени от данните от дистанционното наблюдение при различни пространствени решения;

д) установяване на бързоразвиващи се процеси в екосистемите и адекватно и навременно реагиране на темповете на тяхното развитие.

Междинният екологичен мониторинг на базата на дистанционните изследвания се определя като иновативен интегриран подход, при който екологичните аспекти се свързват с пространствено-времево измерение. В интегрирания подход някои от екологичните процеси, свързани с екосистемата може да бъдат установени и проследени чрез връзката между тези процеси и спектралния отговор на информация осигурена чрез дистанционни изследвания. Провеждане на междинен екологичен мониторинг осигурява необходимите данни за състояние на екосистемите, тъй като той може да се извършва при възникване на определени събития или при необходимост от осъществяване на междинна оценка на състоянието на екосистемите преди да е настъпил задължителния времеви момент за извършване на наблюдение според приложимия нормативен документ на всяка страна. Генерираните данни допълват липсващата информация през различни времеви моменти, необходима за изготвяне на обективна оценка на състоянието на природните обекти в краткосрочен, средносрочен

или дългосрочен план. С този подход се установяват и наблюдават екологичните процеси, свързани с динамиката на изменение (времеви измерения) като фенология, растеж и развитие, движението на видовете и др. Установяването на тези изменения е възможно чрез използване на инструментите на дистанционните изследвания, с помощта на които се установяват връзки и зависимости между различни групи индекси като NDVI, dNDVI, NDGI, dNDGI, NDWI, SAVI, MSAVI, NBR, dNBR, LAI и др.).

Методът за установяване наличието или отсъствие на промени в екосистемите се съдържа в разработената методика за междинен екологичен мониторинг. (mMEM). Методиката осигурява структуриран процес за осъществяване на мониторинг на местообитания и природни обекти във времеви интервал съвпадащ или различен от времевия интервал на задължителния мониторинг в зависимост от изискванията на съответния нормативен документ. Методиката за MEM определя параметрите, които са чувствителни от гледна точка на дейностите за управление на природната територия или екосистема, или са директно свързани с определени потребители и са достатъчно индикативни за отчитане на въздействието върху състоянието на природни обекти и ефективността на тяхното управление. В този смисъл MEM представлява техника за консервационно планиране и установяване на равновесие между условията на околната среда и потребителите.

Прилагането на мониторинг се осъществяват в сложна и променяща се околна среда и това ограничава степента, до която резултатите от този мониторинг могат да бъдат показателни или предсказуеми. Методиката за междинен екологичен мониторинг създава възможност за преодоляване на това ограничение поради факта, че mMEM изследва множество параметри, които участват в процеса на прецизно оценяване на цялостното състояние на различни по вид природни обекти.

Представена методика за извършване на междинен екологичен мониторинг, базирана на дистанционните методи и технологии е насочена основно към организации и институции в областта на опазване и мониторинг на околната среда. MEM може да се разгледа и като начин за формирана на пътна карта за възможни решения и действия свързани със спазване на законодателството и ангажиментите в областта на опазване на околната среда и предлагане на правилни мерки, които да бъдат приложими на национално ниво. Така например, съгласно конвенцията за биологичното разнообразие всяка страна е необходимо да определи специфична зона, с която да се гарантира опазване на биологичното разнообразие. Връзката между стойността на определения минимален процент за установяване на площта за защитени зони в съответна страна и ефективността за биологичното опазване не е доказана. Провеждане на междинен екологичен мониторинг и прилагане на mMEM може да спомогне за определяне на обективен и реален процент на площта от територията, която може да бъде определена за защитени зони. В този смисъл, предизвикателство е за отговорните лица и институции да обмислят възможности за включване на mMEM в нормативни документи за мониторинг, опазване и поддържане на устойчивостта на природни обекти/екосистеми.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД:

1. Представен е нов интегриран подход за провеждане на екологичен мониторинг, който създава възможности за предоставя на информация за актуалното състояние на природни обекти за различни времеви периоди (при възникване на екологична катастрофа при липса на база данни или неактуални данни). Създаден е алгоритъм за осъществяване на МЕМ, който включва методика за наблюдение на базата на аерокосмически данни в различни етапи от развитието и функционирането на екосистемата.
2. Генерирани са нови данни, които се използват за допълване и актуализиране на съществуващи база данни за природни обекти и могат да се използват при формиране на специфични, гъвкави и адекватни мерки и действия за управление (поддържане и подобряването на състоянието) на екосистемите.
3. Разработени са критерии за извършване на МЕМ на базата на аерокосмически данни, с помощта на които се предоставя интегрирана информация от различен характер, която има отношение към процесите в екосистемите и измерване на екологични индекси за състояние на екосистемата. Получените данни могат да се използват за актуализиране и изпълнение на планове за управление на защитени територии с обективни краткосрочни, средносрочни и дългосрочни цели. В този смисъл мМЕМ има принос и при оценяване на екосистемните услуги, които екосистемите предоставят.
4. Разработена е методика за МЕМ на базата на аерокосмически данни, която е приложена за различни видове природни обекти и се определя като източник на интегрирана информация. Получените резултати са структурирани в база данни, която може да се използва от различни потребители за целите на мониторинг и опазване на околната среда. Методиката за междинен екологичен мониторинг предоставя надеждна информация за състоянието изследваната екосистема и осигурява възможности за формиране на тенденциите за развитие на екосистемите в краткосрочен, средносрочен и дългосрочен план. Прилагането на методиката за междинен мониторинг ще позволи да се направи оценка на подобрения или влошаване на състоянието на екосистемите и околната среда като цяло, както и да се разграничат екологични промени вследствие на природни причини или такива причинени от човека.
5. Методика за МЕМ е разработена за регулярно прилагане при условията на плановете за управление на природни обекти имайки предвид динамиката на развитието на факторите, на базата на които съответната територия е определена като защитена или има определен конзервационен статут.

ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Радева, К. Екологичен мониторинг при възстановяване на влажни зони в района на кариерните езера, Екологично инженерство и опазване на околната среда, кн.4/2015, 15-22 стр.
2. Radeva K. "Aspects and perspective of Interim Ecological Monitoring application on ecosystems by means of Remote sensing", Ecological engineering and environment protection, 2, 26-34, (2018)
3. Kameliya Radeva, Iva Ivanova, Denitsa Borisova, "Application of remote sensing for ecosystems monitoring and risk assessment", Proc. SPIE 10773, Sixth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2018), 107731Q (6 August 2018); doi: 10.1117/12.2325854 Event: Sixth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2018), 2018, Paphos, Cyprus
4. Andrey Stoyanov, Denitsa Borisova, Kameliya Radeva, "Application of SAR and optical data from Sentinel satellites for spatial-temporal analysis of the flood in the region of Bregovo-Bulgaria, 11/03/2018", Proc. SPIE 10783, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX, 107831K (10 October 2018); doi: 10.1117/12.2325773 Event: SPIE Remote Sensing, 2018, Berlin, Germany Downloaded From: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie> on 10/15/2018 Terms of Use: <https://www.spiedigitallibrary.org/terms-of-use>

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Вълчев Вл., Приложение на дистанционни методи при изследване на смесено дъбово общество, Българска академия на науките. Bulgarian Academy of Sciences. Аерокосмически изследвания в България .14. Aerospace Research in Bulgaria, София. 1998. Sofia
2. Гецов П.С., Пенев П., Сотиров Г.С., Недков Р.Д. 2006. КОНЦЕПЦИЯ ЗА НАЦИОНАЛНА СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ. S E N S ' 2 0 0 6 Second Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY 14 – 16 June 2006, Varna, Bulgaria
3. Иванова, Ив. Недков Р.,2015. Сезонна динамика на плаващите тръстикови острови в езерото сребърна на базата на спътникови, наземни и gps данни, за периода март 2014 г. – март 2015 г. SES 2015, Eleventh Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, SAFETY 4 – 6 November 2015, Sofia, Bulgaria
4. Йорданова, А., Недков Р., Димитрова, М., Иванова, И., Захарина М, 2008. Мониторинг на атмосферните замърсявания в региона около град София през зимния период на 2006 и 2007 г. SENS Fourth Scientific Conference with International Participation „SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY“ 4–7 June 2008, Varna, Bulgaria
5. Мардиросян Г. 2015, Основи на дистанционните аерокосмически технологии, ISBN: 9789545358821, 224 стр.
6. Мардиросян Г. 2003, Аерокосмически методи в екологията и изучаването на околната среда, ISBN: 954-430-939-X(1), 204 стр.
7. Михалев Михаил, Чунг мин Зоан, „Метод на нормалните еволюционни криви в СВЧ аерокосмическия мониторинг на надводна растителност, 1999, Българска академия на науките. Bulgarian Academy of Sciences. Аерокосмически изследвания в България,15.Aerospace Research in Bulgaria ,София.
8. Препоръка No. 16 (1989) на постоянния комитет за области със специален консервационен интерес (приет от постоянния комитет на 09 юни 1989 г.)
9. Станкова Н., Недков Р., Иванова И., 2016. Изследване на последствията и състоянието на горски екосистеми след пожар чрез използване на дистанционни аерокосмически методи и данни. SES 2016 Twelfth Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, SAFETY 2 – 4 November 2016, Sofia, Bulgaria
10. Станкова Н., Недков Р.,2015. Модел за количествена оценка на disturbance index и вектора на моментното състояние на екосистема след пожар на базата на аерокосмически данни,единадесете научна конференция с международно участие, SPACE, ECOLOGY, SAFETY, 4-6 ноември, 2015 , София, с. 292-297.
11. ДИРЕКТИВА 92/43/ЕИО НА СЪВЕТА от 21 май 1992 г. за опазване на естествените местообитания и на дивата флора и фауна

12. ДИРЕКТИВА 2009/147/ЕО НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА от 30 ноември 2009 г. относно опазването на дивите птици
13. Рамкова директива за водите 2000/60/ЕО
14. Конвенция за опазване на дивата европейска флора и фауна и природните местообитания (Бернската конвенция, 1979)
15. Aplin, P., 2003a. Remote sensing: base mapping. *Progress in Physical Geography*, 27, pp. 275-283.
16. Aplin, P., 2003b, Vegetation monitoring in southern Africa: a consideration of natural and anthropogenic factors, *Proceedings, 30th International Symposium on Remote Sensing of Environment: Information for Risk Management and Sustainable Development*, Honolulu, 10-14 November 2003, International Center for Remote Sensing of Environment, CD.
17. Ashcroft, M.B., Gollan, J.R., 2013. Moisture, thermal inertia, and the spatial distribution of near-surface soil and air temperatures: understanding factors that promote microrefugia. *Agric. For. Meteorol.* 176, 77–89.
18. Ashcroft, M.B., Gollan, J.R., Warton, D.I., Ramp, D., 2012. A novel approach to quantify and locate potential microrefugia using topoclimate, climate stability, and isolation from the matrix. *Glob. Chang. Biol.* 18, 1866–1879.
19. Coppin, P., Jonckheere, K., Nackaerts, K. and Muys, B., 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25, pp. 1565- 1596
20. Debinski, D. M., and Humphrey, P. S., 1997, An integrated approach to biological diversity assessment. *Natural Areas Journal*, 17, 355–365
21. Development of a consistent methodology to derive land cover information on a European scale from remote sensing for environmental monitoring. The PELCOM report, p 160 Vos CC, Berry P, Opdam P, Baveco H, Nijhof B, O’Hanley J, Bell C, Kuipers H (2008) Adapting landscapes to climate change: examples of climate-proof ecosystem networks and priority adaptation zones. *J Appl Ecol* 45:1722–1731
22. Dimitrov P., Roumenina E., 2012. Studying the relationship between some attributes of coniferous forests and spectral data from the aster satellite sensor, Bulgarian Academy of Sciences. *Space Research and Technology Institute. Aerospace Research in Bulgaria.* 24, , Sofia
23. EEA (ed.) (2000a) CORINE Biotopes Database. Available via <http://dataservice.eea.eu.int/dataservice>
24. European Commission (1991) CORINE biotopes. The design, compilation and use of inventory of sites of major importance for nature conservation in the European Community. EUR 13231 EN. Brussels/Luxembourg.
25. Gamon, J. A., Field, C. B., Goulden M., L., Griffin, K. L., Hartly, a. E., .Geeske, Penuelas J., Valentini R., 1995. Relationships Between NDVI, Canopy Structure, and Photosynthesis in Three Californian Vegetation Types, *Ecological applications* 5(1), pp.28-41. Ecological society of America
26. Goetz, S., 2002: Recent advances in remote sensing of biophysical variables: An overview of the special issue. *Remote Sensing of Environment*, 79, 145-146.

27. Goodwin, N., Turner, R., Merton, R., 2005. Classifying Eucalyptus forests with high spatial and spectral resolution imagery: An investigation of individual species and vegetation communities, *Australian Journal of Botany* 53(4), DOI: 10.1071/BT04085
28. Gorman O. T. and Karr J. R. ,1978. Habitat Structure and Stream Fish Communities, *Ecology*, Vol. 59, No. 3 (Late Spring,), pp. 507-515 Published by: Ecological Society of America Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/1936581>
29. Healey, S. P., Cohen, W. B., Zhiqiang, Y., & Krankina, O. N. (2005). Comparison of Tasseled-Cap Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sensing of Environment*, 97, 301–310
30. Hoy EE, French NHF, Turetsky MR, Trigg SN, Kasischke ES (2008) Evaluating the potential of Landsat TM/ETM+ imagery for assessing fire severity in Alaskan black spruce forests. *International Journal of Wildland Fire* 17, 500–514. doi:10.1071/WF08107
31. <https://www.eea.europa.eu>
32. <https://www.iaos.government.bg>
33. Kamenova I., Filchev L., Ilieva I. 2017 Review of spectral vegetation indices and methods for estimation of crop biophysical variables. Bulgarian Academy of Sciences. Space Research and Technology Institute. Aerospace Research in Bulgaria. 29, Sofia
34. Kasischke, E, S, Melack,J. M., Dobson, M.Cr. February ,1997.The use of imaging radars for ecological applications–A review, *Remote Sensing of Environment* Volume 59, Issue 2, , Pages 141-156 (34)
35. Kauth R., Thomas G., 1976. The Tasseled Cap- a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat.Proceedings second ann. Symp. Machine processing of remotelysensed data. West Lafayette’ Purdue University Lab. App. Remote Sensing
36. Kennedy, R. E., Townsend, P. A., Gross, J. E., Cohen,W. B., Bolstad, P., &Wang, Y. Q. (2009).Remote sensing change detection and natural resource monitoring for managing natural landscapes. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1382–1396 (this issue).
37. Kerr, J.T. and Ostrovsky, M., 2003. From space to species: ecological applications of remote sensing. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, pp. 299-305
38. Key C., Benson N.,199. The Normalized Burn Ratio(NBR): A Landsat TM Radiometric Index of Burn Severity.URL=<http://www.usgs.gov/research/ndbr.htm>
39. Lillesand T. M. and R. W. Kiefer. 1987. Review of: “Remote Sensing and Image Interpretation” (Chichester: John Wiley & Sons) [Pp. 721.], *International Journal of Remote Sensing* , Volume 8, 1987 - Issue 12.
40. Lubchenco ,J., Olson A. M., Brubaker L. B., Carpenter S.R., Holland M. M., Hubbell S. P., Levin S.A., Macmahon J.A., Matson P.A., Melillo J.M., Mooney H.A., Peterson C.H., Pulliam H.R., Real L. A., Regal P.J., Risser P.G., 1991. The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda. *Ecology*, 72(2), pp. 371-412, 1991 by the Ecological society of America.

41. MAES, [Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020], Technical Report 2014 – 080, European Commission (2014)
42. Mallick, K.; Bhattacharya, B.K.; Patel, N.K. 2009. Estimating volumetric surface moisture content for crope soils using a soil wetness index based on surface temperature and NDVI. *Agric. For. Meteorol.*, 149, 1327–1342. [CrossRef]
43. McGraw, J. Timothy, Warner A. T., Key L. T., Lamar R.W.,1998. High spatial resolution remote sensing of forest trees, *Trends in Ecology & Evolution* 13(8):300-1 DOI: 10.1016/S0169-5347(98)01414-1
44. Michev T. M., M. P. Stoyneva, 2007. Conservation of Bulgarian Non-lotic Wetlands, January 2007, In book: *Inventory of Bulgarian Wetlands and their Biodiversity. Part 1: Non-Lotic Wetlands*, Publisher: Publ. House Elsi-M, Sofia, Editors
45. Moss D & Davies C (2002a) Cross-references between EUNIS habitat classification and the Habitats Directive. European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, Paris.
46. Moss D & Davies C (2002b) Cross-references between the EUNIS habitat classification and the nomenclature of the CORINE land cover. CEH project No. CC00389
47. Moss D & Wyatt BK (1994) The CORINE Biotopes Project: a database for conservation of nature and wildlife in the European Community. *Applied Geography* 14, 327-349.
48. Moss D, Davies C & Roy D (1996) CORINE Biotopes sites-database. Status and Perspectives 1995. Topic Report No 27/1996. Available via EEA:<http://www.eea.europa.eu/>.
49. NAGENDRA H., GADGIL M., August (1999). Biodiversity assessment at multiple scales: Linking remotely-sensed data with field information Centre for Ecological Sciences, Indian Institute of Science, Bangalore 560012, India; and Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research, akkur P.O., Bangalore 560064, India Contributed by Madhav Gadgil, June 2, 1999, *J Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 96, pp. 9154–9158, Ecology
50. Nagendra, H., 2001. Using remote sensing to assess biodiversity. *International Journal of Remote Sensing*, 22, pp.2377-2400.
51. Nagendra, H., Mairota, P., Marangi, C., Lucas, R.M., Dimopoulos, P., Honrado, J.P., Niphadkar, M., Múcher, C.A., Tomaselli, V., Panitsa, M., Tarantino, C., Manakos, I., Blonda, P., 2015. Satellite Earth observation data to identify anthropogenic pressures in selected protected areas. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 37, 124–132.
52. Nedkov, R. Assessment of information efficiency and data quality from microsatellite for the need of ecological monitoring, Bulgarian Academy of Sciences. Space Research and Technology Institute. Aerospace Research in Bulgaria. 24, 2012, Sofia
53. Nedkov, R., (2017a). Orthogonal transformation of segmented images from the satellite SENTINEL-2, *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 70(5), 687-692

54. Nedkov, R., (2017a).Orthogonal transformation of segmented images from the satellite SENTINEL-2, *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 70(5), 687-692
55. Nedkov, R., (2017b) “Normalized differential greenness index for vegetation dynamics assessment,” *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, 70(8), 1143–1146
56. Nedkov, R., (2018) “Quantitative assessment of forest degradation after fire using ortogonalized satellite images from SENTINEL – 2”, *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 71(1), Prof.Marín Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Scinces, 83-86
57. Noss, R.F., 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conserv.Biol.* 4, 355–364.(165)
58. Patel, N.R.; Anapashsha, R.; Kumar, S.; Saha, S.K.; Dadhwal, V.K., 2008. Assessing potential of MODIS derived temperature/ vegetation condition index (TVDI) to infer soil moisture status. *Int. J. Remote Sens.*, 30, 23–39. [CrossRef]
59. Patience, N. and V. Klemas. 1993. Wetland Functional health assessment using remote sensing and other techniques: Literature search. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, SE Fisheries Science Center, Beaufort Laboratory, Beaufort, NC. 60 p.
60. Radeva, K., Ivanova ,I., Borisova, D. "Application of remote sensing for ecosystems monitoring and risk assessment," *Proc. SPIE 10773*, Sixth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2018), 107731Q (6 August 2018);doi: 10.1117/12.2325854/Event: Sixth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2018), 2018, Paphos, Cyprus) (108)
61. Rocchini, D., Andreo, V., Förster, M., Garzon-Lopez, C.X., Gutierrez, A.P., Gillespie, T.H., Hauffe, H.C., He, K.S., Kleinschmit, B., Mairota, P., Marcantonio, M., Metz, M.,Nagendra, N., Pareeth, S., Ponti, L., Ricotta, C., Rizzoli, A., Schaab, G., Zebisch, M.,Zorer, R., Neteler, M., 2015b. Potential of remote sensing to predict species invasions.A modelling perspective. *Prog. Phys. Geogr.* 39, 283–309.
62. Rocchini, D., Hernández Stefanoni, J.L., He, K.S., 2015a. Advancing species diversity estimateby remotely sensed proxies: a conceptual review. *Ecol. Inform.* 25, 22–28.
63. Roughgarden, J., Running, S. W., and Matson, P. A., 1991, What does remote sensing do for ecology? Soule, M. E., and Kohm, K. A., 1989, editors, *Research Priorities for Conservation Biology* (Washington, D.C.: Island Press). *Ecology*, 72, 1918–1922
64. Roumenina E., JeleV G., Nedkov R., Naydenova V., Kanev G., 2007. A spatial model to evaluate man-induced transformation using geoinformation technologies, Bulgarian Academy of Sciences. Space Research Institute. Aerospace Research in Bulgaria. 21, Sofia
65. Sarkar, S., 2002. Defining “Biodiversity”; assessing biodiversity. *Monist* 35, 131–15

66. Schleupner, Ch., 2012. Estimation of spatial wetland distribution potentials in Europe International Max Planck Research School on Earth System Modelling, Hamburg, Germany Research Unit Sustainability and Global Change, Center for Marine and Atmospheric Science [\http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2012/16805/pdf/Wetland_I_schleupner135.pdf](http://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2012/16805/pdf/Wetland_I_schleupner135.pdf)
67. Soule, M.E and K.A. Kohm, eds, 1989, *Research Priorities for Conservation Biology*. Island Press, Washinton, D.C, ISBN: 9780933280991
68. Stoms, D. M., and Estes, J. E., 1993, A remote sensing research agenda for mapping and monitoring biodiversity. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1839–1860
69. Su-Yin Tan, 2015. *Satellite biomodelling: use of remote sensing for predicting plant biodiversity*, University of Oxford, Environmental Change Institute,
70. Tanyo M. Michev, Lyubomir A. Profirov, Nikolay P. Karaivanov, Boyan T. Michev, *Migration of Soaring Birds over Bulgaria* March, 2012. *Acta Zoologica Bulgarica* 64(1):33-41
71. Terry, M. A, Tucker G, Jones A (2007) *Guidance on the maintenance of landscape features of major importance for wild flora and fauna—Guidance on the implementation of Article 3 of the Birds Directive (79/409/ EEC) and Article 10 of the Habitats Directive (92/43/ EEC)*. Institute for European Environmental Policy (IEEP), London
72. Thenkabail, P.S., Enclona, E.A., Ashton, M.S., Legg, C. and De Dieu, M.J., 2004. Hyperion, IKONOS, ALI and ETM plus sensors in the study of African rainforests. *Remote Sensing of Environment*, 90, pp. 23-43
73. Thornthwaite, C.W. 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, vol.38, 1: pp55-94 (<http://www.jstor.org>)
74. Tiner, R. W. 1990. Use of high-altitude aerial photography for inventorying forested wetlands in the United States. *Forest Ecology and Management*, 33/34: 593-604
75. Tiner, R.W. 1996. *Wetlands*, In: *Manual of Photographic Interpretation*, second edition. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, VA. 2440 p.
76. Toner M & Keddy P (1997) *River Hydrology and Riparian Wetlands: A Predictive Model for Ecological Assembly*. *Ecological Applications* 7 (1), 236-246.
77. Turner, M. G., (1989). “Landscape ecology: The Effect of Pattern on Process, *Annual Review of Ecology and Systematics*,” 20, 171-197
78. Turner, M. G., ed. 1987. *Landscape Heterogeneity and Disturbance*. New York: Springer-Verlag. *Model for Ecological Assembly*. *Ecological Applications* 7 (1), 236-246.
79. Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E. and Steininger, M., 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, pp. 306-314. (179)
80. Van der Meer, F., Schmidt, K.S., Bakker, W. and Bijker, W., 2002. New environmental remote sensing systems. In: *Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing*, A. Skidmore (editor). Taylor & Francis, London, pp. 26-51

81. Vasileva T., Nedkov R., Borisova D., Sholev D., "MODIS satellite data for estimating actual evapotranspiration in Bulgaria (2000-2014)," Proc. SPIE 10783, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX, 107830G (10 October 2018); doi:10.1117/12.2325771 Event: SPIE Remote Sensing, 2018, Berlin, Germany
82. Vepraskas, MJ, White, JG, Huffman, RL, Fernandez GP, Skaggs, RW, Lees B, ZannerCW, Stucky JM, Gregory JD, Broome WS, Ewing JM, Szuch RP, Luginbhul S & Kreiser GS. (2005). Methodology to assess soil, hydrologic, and site parameters that affect wetland restoration. The Center for Transportation and the Environment, N.C.DOT, Report No. FHWA/NC/2003-06
83. Wang, C.; Qi, J.; Moran, S. 2004. Marsett, R. Soil moisture estimation in a semiarid rangeland using ERS-2 and TM imagery. Remote Sens. Environ., 90, 178–189. [CrossRef]
84. Wang, Y. Q., Mitchell, B. R., Nugranad-Marzilli, J., Bonyng, G., Zhou, Y., & Shriver, G. W.(2009). Remote sensing of land-cover change and landscape context of the national parks: A case study of the Northeast Temperate Network. Remote Sensing of Environment, 113, 1453–1461 (this issue).
85. Winter, T.C. & Labaugh, J.W. (2003). Hydrologic considerations in defining isolated wetlands. Wetlands 23 (3), 531-540.