

Б Ъ Л Г А Р С К А А К А Д Е М И Я Н А Н А У К И Т Е

ИНСТИТУТ ПО БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ЕКОСИСТЕМНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Костадин Маринов Катранджиев

**„Пространствен анализ и оценка на състоянието и екосистемните услуги на
екосистеми в горната горска граница на Рила“**

АВТОРЕФЕРАТ

за присъждане на образователната и научна степен „Доктор“

Научна специалност: 02.22.01. “Екология и опазване на екосистемите”

Научен ръководител: доц. д-р Светла Вълева Братанова-Дончева

Научни консултанти: проф. Стоян Недков и проф. Нешо Чипев

София

2024

Дисертацията е разработена в рамките на редовна докторантура в Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания, Българска академия на науките.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на отдел „Екосистемни изследвания, екологичен риск и консервационна биология” при Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания, БАН, състояло се на 29 октомври 2024 г.

Дисертационният труд е с общ обем 58 страници (отделно, общо 87 страници скрепени публикации по темата на дисертацията) и съдържа 10 основни раздела, включително 5 таблици и 17 фигури. Списъкът на цитираната литература съдържа 73 заглавия на латиница и кирилица.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на г. от часа в Заседателната зала на База 1 на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания, БАН, ул. „Майор Ю. Гагарин” № 2, на открито заседание на петчленно Научно жури (назначено със Заповед на Директора на ИБЕИ – БАН №...../.....) в състав:

1.....

2.....

3.....

4.....

5.....

резерва.....

резерва.....

резерва.....

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания при БАН, база 1.

Благодарности

За реализирането на настоящия дисертационен труд бих искал да изразя своите благодарности, на първо място към моето семейство и близки, които въпреки моментите на трудности бяха до мен и ме подкрепиха по време на целия процес. Изказвам специални благодарности към колегите си от секция "Екосистемни изследвания с център LTER - България" и най- вече на научния си ръководител доц. Светла Братанова- Дончева за напътствията, подкрепата и професионалното си отношение. Благодаря на научните си консултанти проф. Стоян Недков и проф. Нешо Чипев (неофициален) за помощта, насоките и отзивчивостта им по време на съвместната ни работата. Не на последно място, изказвам благодарности към ръководството на ИБЕИ- БАН за възможността, която ми бе дадена в момент на нужда, за материалната и логистична подкрепа, за възможностите да участвам в различни проекти, обучения и мероприятия, по време на които успях да се изградя и израсна като учен, да се усъвършенствам като човек и да имам контакт с интелигентни и перспективни хора.

Благодаря на ръководството на ИБЕИ- БАН за възможността да участвам с проекти по Национална програма „Млади учени и пост-докторанти“ в периода 2019 – 2021 г., с чиято финансова подкрепа завърших цикъла от изследвания по оценка на състоянието и екосистемните услуги в избрания обект на изследване (високопланинска екосистема в ЮЗ Рила).

Изразявам специални благодарности на ръководството на Института за космически изследвания и технологии (ИКИТ) към БАН, в лицето на проф. Румен Недков и хората от екипа му и най- вече на доц. Деян Гочев, чиято помощ и обучение за работа с дистанционни методи спомогна за реализирането на изследванията по дисертацията ми.

Посвещавам труда си на колегите, които вече не са сред нас – проф. Румен Недков и доц. Деян Гочев от Института за космически изследвания и технологии, без чиято помощ и подкрепа дисертационният ми труд нямаше да се реализира. Светла памет!

1. Увод

Промените в климатичните условия на околната среда са фактор, чиято значимост навлиза в общественото съзнание. Природните науки, като обективен инструмент на обществените процеси, са средството, с което можем да разберем и оценим въздействието на климатичните промени върху околната среда и съставлящите я екосистеми. Необходимо е, от една страна, да бъдат идентифицирани чувствителните към тези изменения компоненти на средата и от друга страна, да бъдат проучени и оценени ефектите върху техните функции и произтичащите от тях ползи и услуги за обществото.

Планинските екосистеми са сложни, хетерогенни системи с голямо хабитатно и биологично разнообразие, определящо високата им значимост за обществото. Нарушения в интегритета на тези екосистеми могат да настъпят под въздействието както на антропогенни, така и на естествени фактори като промяната в климата, към която според редица проучвания планинските екосистеми са особено чувствителни.

В последните години се засилва изследователският интерес към връзките на обществото със заобикалящите го екосистеми и използването на предоставяните от тях екосистемни услуги (социоекологични системи). Екосистемните услуги са резултат от функционирането на екосистемите, чиято оценка и пространствен анализ (картиране) е затруднено поради необходимостта да се вземат под внимание както функционални екосистемни аспекти, така и социо- екологични отношения. За оценка на функциите на дадена екосистема, от първостепенно значение е избора на подходящи индикатори. В настоящото изследване освен предложените индикатори в разработената през 2017 г. Методологическа рамка за оценка на екосистемите и техните услуги в България, са разработени като индикатори вегетационни индекси, въведени от дистанционни наблюдения. Те са подбрани така, че да бъдат информативни по отношение на функционирането на тези екосистеми.

Прилагането на концепцията за екосистемните услуги освен на европейско и национално ниво се осъществява и на местно ниво. В тази връзка, в дисертационния труд са картирани и оценени високопланински екосистеми в НП Рила и избрани екосистемни услуги, които те предоставят.

Основен предмет на изследването е определяне на структурно- функционалното състояние на избраната високопланинска екосистема, включващо динамиката на изменение в състоянието като резултат от промени в ключови климатични параметри и влиянието им върху продукцията и капацитета на изследваната високопланинска екосистема да предоставят екосистемни услуги, за период от 42 години (1977 – 2019 г.). За целта са използвани дистанционни методи, климатични данни и геоинформационни технологии.

2. Литературен обзор

2.1 Понятие за високопланинска екосистема и структурна характеристика

Понятието „високопланинска екосистема“ няма точна дефиниция в литературата. Широко използвани са термини като „горна горска граница“ (англ. Treeline) и „екотон на горна горска граница“ за описание на различни горски екосистеми в транзитната зона между планинската зона (гъстата гора) и алпийската зона на планините (Grace et al. 2002; Korner and Paulsen 2004; Resler et al. 2004; Batllori et al. 2009 и др.). Тези понятия обаче, независимо от обхвата на тяхното използване, се отнасят предимно за пространственото разположение на горско- дървесната растителност. Този подход от своя страна не отчита структурно функционални характеристики на цялостното растително покритие в планинския ландшафт. Така се ограничава дефинирането на високопланинските екосистеми в по- широк смисъл като съставни екосистеми, чиято структура и функции се определя от техните компоненти.

2.2 Високопланинските екосистеми и климатичните промени- връзки в структурно- функционален аспект и предизвикателства

Екологичният комплекс като съвкупност от компоненти, включващ прехода от зона на гъстата гора (планинска зона) към зона на редколесие (субалпийска зона) и алпийска зона и наречен високопланинска екосистема, е значим за изучаване на влиянието на промените в климатичните условия върху структурата и функциите на ландшафтно ниво. Съществува широк спектър от концепции свързани с функционирането на високопланинските екосистеми, разгледани от Pettoirelli et al. (2017).

Различни са направленията, в които учените, изучаващи високопланински екосистеми се опитват да обяснят влиянието на климатичните промени върху състава (структурата) и функциите (процесите) им. Някои като Smith et al. (2009) и Batllori et al. (2009) насочват усилията си към изучаване на влиянието на климатичните промени върху структурата на високопланинските екосистеми, а други като Führer (2000) и Smith et al. (2003) към процесите свързани с тяхното формиране, оказващи влияние върху състоянието им, което от своя страна е изследвано от автори като Ferretti (1997), Giordani et al. (2011) и други. Вниманието на редица изследователи е насочено към пространственото разпределение на растителността в самите високопланински екосистеми (Gehrig-Fasel et al. 2007; Holtmeier et al. 2007; Martinez del Castillo, Edurne, et al. 2022), както и към изучаване на адаптивния им капацитет по отношение на въздействието на естествени и антропогенни промени (Lindner et al., 2009).

Основно направление в изучаването на високопланинските екосистеми е проследяването на техния отговор (реакция) вследствие на настъпилите и настъпващи промени. Според редица автори като Walther et al. 2005, Harsch et al. 2009, Leonelli et al. 2010 и Cudlín et al. 2017, този отговор се крие в т.нар. смяна на режима (от англ. „regime shift“), при който, в резултат от настъпили промени в средата на живот – трайно затопляне, промени в почвените характеристики, промени в снежната покривка, зачестяване на деградационни процеси и явления (ерозия, свлачища, снего- и ветровали) и т.н., високопланинските екосистеми реагират като тази реакция или отговор може да се изрази чрез промяна на функционалните характеристики (functional traits) (Pescador et al., 2015) и други.

Трудностите по време на процеса на изучаване на взаимовръзките между климатичните промени и влиянието им върху екосистемите пораждат предизвикателства при оценката на благата и ползите, които хората получават като следствие от функционирането на екосистемите (в т.ч. високопланинските екосистеми) и компонентите им (тяхната структурата) (De Groot, 1992).

2.3 Високопланински екосистеми – роля на дистанционните методи при оценка на състоянието им.

За да отговори на предизвикателствата по разработка на методи и средства за оценка на състоянието и услугите, които ни предоставят високопланинските екосистеми, науката се развива в посока към допълване на теренните с дистанционни методи. Според Kerr and Ostrovsky (2003) е необходимо увеличаване на мащаба в изследванията (т.е. да се премине от ниво „индивид“ към ниво „екосистема“) с цел:

- идентифициране и детайлизиране на екосистемите, проследяване на измененията им вследствие на естествени и антропогенни въздействия на големи територии,
- прилагане на иновативни техники за оценка и измервания на функции и параметри в различните екосистеми, в т.ч. внедряването и използването на дистанционни методи. В потвърждение на това е и проучването на Lawley et al. (2015), според което дистанционните методи имат предимствата на широкомащабни автоматизирани и повтарящи се във времето средства за мониторинг на състоянието на растителността. В комбинация с детайлни теренни данни могат да подобрят процеса на мониторинг и да отговорят на редица екологични въпроси на различни нива и мащаб.

С развитието на аерокосмическите технологии значително се подобряват възможностите на мултиспектралните инструменти (от англ. Multispectral Instruments - MSI) или сензори като прикачените към спътниците Landsat и Sentinel, които предоставят мултиспектрални спътникови данни (сателитни изображения) с относително висока спектрална, пространствена и радиометрична разделителна способност. Както отбелязват Teillet et al. (1997), така се подобрява обективността и качествените характеристики на изчисляваните вегетационни индекси в райони с горска растителност. Според проучванията на редица автори (Král, 2009, Pizzaro et al., 2022, Fu et al., 2023) по отношение на високопланинските екосистеми, дистанционни методи позволяват да се класифицира растителното им покритие, като се диференцират различните класове растителност (типове екосистеми – тревни, храстови, горски, земи с рядка растителност и други). Както показва изследването на Pavlova and Nedkov (2005), информацията получавана при използване на различни вегетационни индекси представлява количествена и качествена оценка на листното покритие и следователно може да служи като сигнал за даден вид изменение в състоянието на покритието.

Използването на дистанционни методи, посредством изчисляване на вегетационни индекси е мощен инструмент за изследване на взаимовръзката между тях и климатични параметри като температура и валежи и влиянието, което те оказват върху високопланинските екосистеми (Wang et al., 2003, Pavlova and Nedkov, 2005). Lambert et al. (2013) проследяват чрез NDVI намаляването на горски територии в планински масив

във Франция, в резултат от засушаване; Avetisyan et al. (2015), въз основа на спътникови данни и вегетационни индекси и с помощта на климатични данни, проследяват динамиката в състоянието на горско-растителното покритие в региона на Хасково за периода 1987 – 2013 г.

2.4 Високопланински екосистеми и техните услуги. Дистанционни методи при оценката им

Екосистемните услуги са ползите за хората от функционирането на екосистемите (De Groot, 1992, Costanza et al., 1997). високопланинските екосистеми са сложни, многокомпонентни системи и се очаква ЕУ, които те предоставят да са резултат от сложните процеси и взаимовръзки, които е необходимо да бъдат класифицирани, описани и оценени (de Groot et al., 2002). Уязвимостта на високопланинските екосистеми към настъпващите климатични промени може да застраши способността им да предоставят услугите, които сме свикнали да ползваме в ежедневието си (Maroschek et al., 2009). Това налага да се обединят усилията на научната общност, вземащите решения, хората изготвящи политики (в т.ч. политици) и всички заинтересовани страни, за да се посрещнат предизвикателствата и да се изготвят мерки за адаптиране на планинските екосистеми към променящите се условия.

Обзорът на тенденциите в проучванията на екосистемното състояние и услуги (в т.ч. на високопланинските екосистеми)и разнообразния инструментариум, използван за разкриване на многостранните взаимовръзки между структурата и функциите, протичащи в тях, потвърждават заключението в обзора на Burkhard et al. (2014), че развитието на изследванията в сферата на екосистемите и екосистемните услуги е процес, отворен за дискусии сред заинтересованите страни. В този процес системата от индикатори за оценка на състоянието и услугите трябва да отразява спецификата на различните методи на проучване и да има възможност за допълване и развитие. В по-широк контекст, създаването на система индикатори за цялостното изучаване на високопланинските екосистеми изисква холистичен подход както в изучаването на екосистемите като социо-екологични системи (Mirtl et al., 2013), така и съответна промяна в социалните нагласи към използването на природни ресурси в различни производства (Charnley and Lemon, 2010). В настоящото изследване е приложен същия холистичен подход и към изучаването на високопланинските екосистеми.

3. Цел на дисертационния труд

Целта на изследването е критичен анализ и оценка на функционалното състояние на дефинирана високопланинска екосистема в югозападните части на НП “Рила”, както и оценка на капацитета ѝ да осигурява избрани екосистемни услуги, с приложение на дистанционни методи и геоинформационни технологии.

4. Задачи

Във връзка с постигане на така заложената цел, в настоящия дисертационен труд бяха заложили за изпълнение следните научни задачи:

1. Структурно-функционална характеристика на избрана високопланинска екосистема на територията на НП Рила;
2. Анализ и оценка на съществуващите данни;

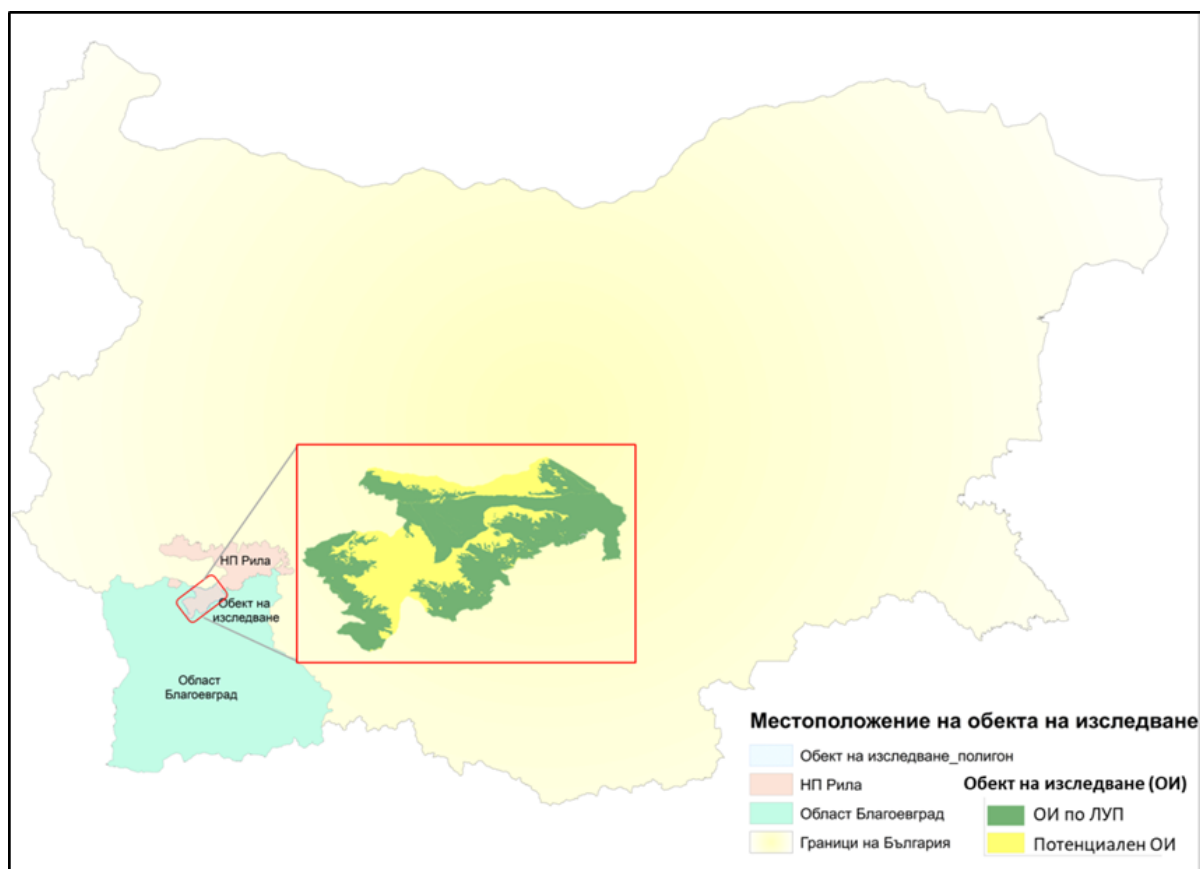
3. Оценка на функционалното състояние на избраната високопланинска екосистема с използване на вегетационни индекси чрез дистанционни (ортофото, сателитни), GIS- базирани и други методи;
4. Избор и оценка на екосистемни услуги във високопланинската екосистема.

5. Материали и методи

5.1. Обект на изследване

За нуждите на дисертационния труд е дефинирана по структурни и функционални критерии „високопланинска екосистема“ в югозападните части на НП Рила в едноименната планина, имаща специфични функционални характеристики и пространствено разпределение и по-конкретно транзитна зона на преход от планинска зона (зона на гъста гора) към субалпийска (редколесие) и алпийска зона. Тук участват три основни компонента – горски, включващи иглолистни, широколистни и издънкови; тревни и храстови. Районът включва също водни тела и земи с рядка растителност.

Така възприета, дефиницията на високопланинската екосистема, позволява оценката на функционалното състояние на всички съставляващи я компоненти поради факта, че протичащите процеси във високопланинската екосистема (и екосистемите като цяло) нямат ясно диференцирани граници, каквито описаното по-горе зонироване предполага. Ето защо височинния диапазон на изследвания обект варира от около 1150 м н.в. (землище на гр. Белица) до 2485 м н.в. (връх Джерман, наричан от местните връх Езерник), показан на фигура 1 по-долу:



Фигура 1. Карта на местоположението на изследваната високопланинска екосистема

5.2. Данни и тяхната обработка

В съответствие с поставената цел бе разработена методика за оценка на избраните високопланински екосистеми и услуги, които те предоставят, включваща следния набор от данни и тяхната обработка (по- подробно им описание е представено в приложените статии):

Пространствени данни – използвани са данни от лесоустройствен проект (ЛУП) във векторен формат (.shp) от 2013 г. (обхващат инвентаризация на горите за 10 годишен период с начало 2003 г.). За обработката на пространствените данни е използван софтуерния продукт ArcGIS, ArcMap 10.3.

Данни от дистанционни изследвания – мултиспектрални спътникови данни с относително висока пространствена, спектрална и радиометрична разделителна способност от сензори, прикачени към сателитите Landsat и Sentinel 2. С помощта на софтуерния продукт ERDAS 14.0 бяха изработени композитни растерни изображения. Въз основа на тях са изчислени вегетационните индекси Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – информативен по отношение на процеса фотосинтеза и продукцията на биомаса, в т.ч. и за здравословното състояние на растителността, Normalized Difference Water Index (NDWI) – информативен по отношение на водното съдържание в короните на растителността и Normalized Differential Greenness Index (NDGI) – динамичен и отразяващ промените в дадено растително покритие за определен период от време, използвани за оценка на състоянието на изследваната високопланинска екосистема и изработката на съответните тематични карти за състояние с помощта на приложението ArcMap 10.3. Като цяло, вегетационните индекси дават количествена и качествена информация за състоянието на растителността в различен пространствен мащаб (Pavlova and Nedkov, 2005)

Климатични данни за ключови параметри като температура, валежи, изпарение, слънчева радиация и вятър на Европейската база данни за климат и на Европейския център за средносрочни климатични прогнози (от англ. European Centre for Middle-range Weather Forecasts, ECMWF) от базата данни ERA Interim, която след 2019 г. бе трансформирана в ERA 5. Данните бяха добивани в многомерен NC формат, съдържащ информация за всеки от параметрите. Отново, с помощта на приложението ArcMap 10.3 данните бяха приведени първо в растерен формат (.tiff), а после във векторен (.shp).

Данни от теренни посещения – проведени бяха две теренни посещения, през 2016 и 2017 с цел верификация на данните от лесоустройствения проект. Общата площ на заснетите полигони през 2016 г. е 116 ха (5 полигона), а през 2017 г. – 80 ха (6 полигона), обхващащи част от основните в обекта на изследване високопланински компоненти във височинния диапазон от 1700 до 2300 м н.в.

5.3. Методологичен подход

Според заложеното в индивидуалния план за обучение и за нуждите на настоящия дисертационен труд, бе използвана адаптирана версия на Методологическата рамка за оценка и картиране на състоянието на екосистемите и екосистемните услуги в България, в частта от рамката, засягаща Методиките за оценка и картиране на състоянието на горските, тревните и храстовите и ерикоидни екосистеми и техните екосистемни услуги.

Поради значителната хетерогенност и оскъдност на наличните данни и поради ограниченията на методологията по отношение на възможностите за прилагане на дистанционни изследвания при оценката и картирането на високопланинските екосистеми и предоставяните от тях екосистемните услуги (културни за настоящото изследване), в дисертацията е използван подхода „Единна система“ (от англ. Whole system), който разглежда избраната високопланинска екосистема като съвкупност от свързани функционално компоненти (подсистеми), организирани в две категории – структурна (включваща биоразнообразие и абиотична хетерогенност) и функционална (вкл. баланса на енергия, материя и вода). Този подход е динамичен и като такъв позволява използването на времеви серии от данни за балансите на енергия, материя и вода чрез вегетационни индекси (NDVI и NDWI), както и индиректно за енергийния баланс чрез промените в параметрите за температура, слънчева радиация и свързаната с тях интензивност на изпарение. Следователно, в рамките на така адаптираната методология е възможно интегрирането както на климатични модели, така и на дистанционните методи при изследване на структурни и функционални параметри на екосистемно ниво.

6. Резултати и обсъждания

6.1 Списък на публикации на автора, чиито резултати са част от дисертационния труд

Резултатите и обсъжданията от проведеното изследване са представени в както следва в изброените научни публикации:

6.1.1. Katrandzhiev, K.; Gocheva, K.; Bratanova-Doncheva, S. Whole System Data Integration for Condition Assessments of Climate Change Impacts: An Example in High-Mountain Ecosystems in Rila (Bulgaria). Diversity 2022, 14, 240. **IF: 2.4, Q1**

6.1.2. Katrandzhiev, K. APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR HIGH MOUNTAIN ECOSYSTEM CONDITION ASSESSMENT (SOUTH WEST RILA MOUNTAIN - BULGARIA). Ecological Engineering and Environment Protection 2018, No 2, p.35-40.

6.1.3. Katrandzhiev, K. and Bratanova-Doncheva, S. Spatial Distribution of High-Mountain Ecosystems—Application of Remote Sensing and GIS: A Case Study in South-Western Rila Mountains (Bulgaria). Silva Balcanica 2019, 20, 3, 57–69. **Q4**

6.1.4. Приложение 1 - готов текст за изготвяне на публикация с работно заглавие: “Data Fusion for Ecosystem Services Assessment: a Case Study in Bulgarian South-western Rila Mountains”.

6.2 Резултати по задача 1. Структурно функционална характеристика на избраната високопланинска екосистема на територията на НП Рила

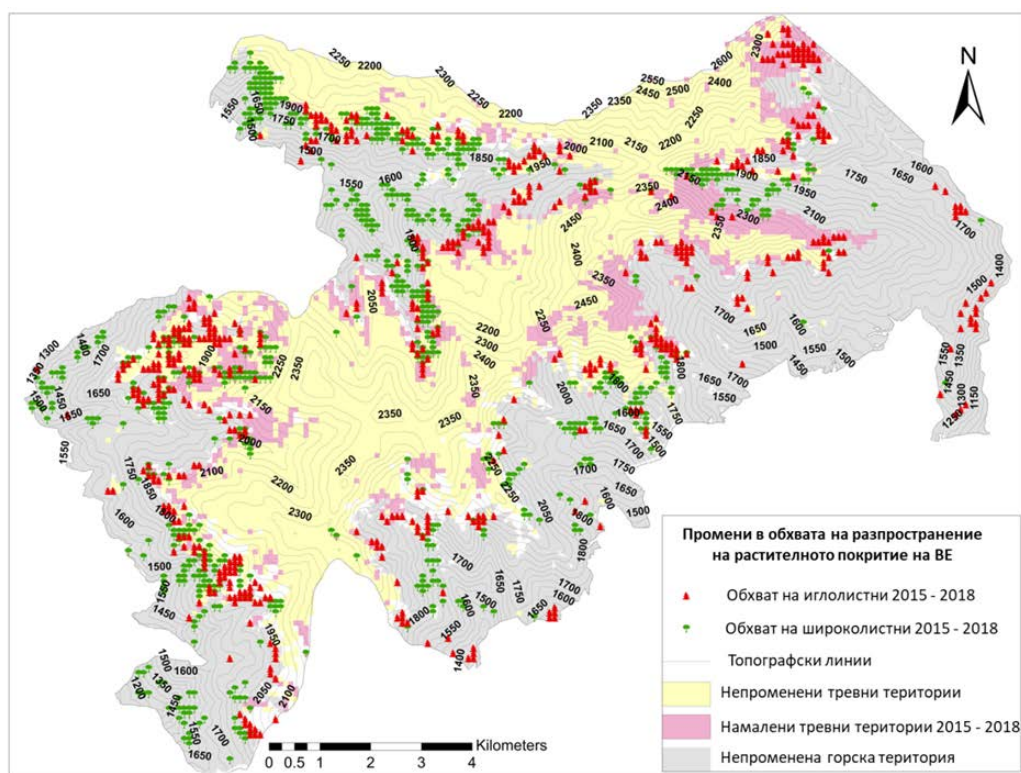
Резултатите са представени в статия по т. 6.1.1.:

Структурна характеристика

Идентифицирани са като структури три основни компонента в състава на високопланинската екосистема – горски, храстови и тревни, а също така са представени

и „Сладководни екосистеми“ в лицето на две малки водни тела – езерото Джерман и горното течение на р. Драглишка (водно тяло BG4ME800R089 – Дирекция Западно егейски речен басейн гр. Благоевград) както и земи с рядка растителност (по каменистите части на върховете). Идентифицирани бяха и три структурни подсистеми на горския компонент (широколистни, иглолистни и издънкови– по Типология на гори и горски екосистеми в България от Методика за оценка и картиране на състоянието на горите и горските екосистеми и техните услуги в България - част Б4 от Методологическата рамка).

Установена е промяна в обхвата на изследваната високопланинска екосистема както е показано на фигура 2 по-долу (фиг. 6 от дисертацията) чрез съвместен анализ на данните от платформата Copernicus (обхват на гъстотата на горско дървесната растителност – Tree Cover Density extent; обхват на тревната растителност) за базовите години 2015 и 2018 и данните от ЛУП. Времева линия на данните бе удължена до 1990 г. чрез изчисляване на NDGI (виж фиг. 10 от статия по т.6.1.1).



Фигура 2: Пространствена схема на изменението в структурата на растителното покритие на изследваната високопланинска екосистема за периода 2015 - 2018.

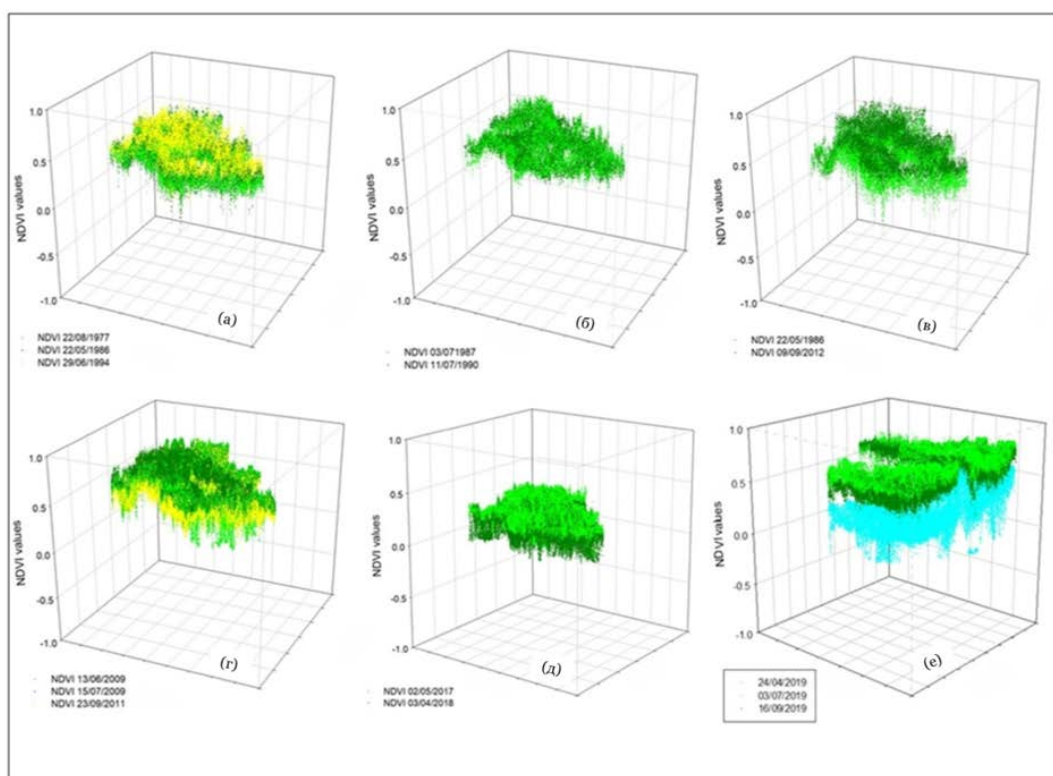
Чрез синтеза на данните бе установено, както е видно на фигура 2 по-горе, че се увеличава гъстотата на иглолистния и широколистния подсистемни компоненти по посока на субалпийската и алпийска зона на високопланинска екосистема (червени и зелени центроиди), за периода от 2003 (непроменена горска територия по ЛУП – в сиво на фигурата) до 2018 г. (обхват на гори – центроиди в червено и зелено на фигурата). От фигурата става ясно, че изменения в структурно отношение има и в разпространението на тревната растителност. Изразено в площи, за периода 2015 – 2018 г. тя намалява обхвата си с 923 ха. През 2018 г. тревните площи обхващат 5 450 ха, за разлика от 2015 – 6 373 ха. Установен е прираст на горските площи с 504 ха между 2015 (7 774 ха) и 2018 г. като общата им площ тогава е 8 278 ха. За периода от началото на инвентаризацията

(2003 г.) до референтната 2018 г. е установено увеличаване в площта на горския компонент с над 1 105 ха. Площ от около 606 ха е заета от други екосистемни компоненти, сред които предполагаемо преобладават храстовите (верификация с настоящия подход е възможна при публикуване на продукти, съдържащи данни за това покритие). Тези резултати демонстрират отговора на изследваната високопланинска екосистема към измененията в климатичните условия.

Функционална характеристика

Спецификата в структурата на изследваната високопланинска екосистема определя специфичните особености във функционирането ѝ като цяло и поотделно, на съставляващите я горски, тревни и храстови компоненти. В настоящото изследване е използван вегетационния индекс NDVI, информативен по отношение на функционалното състояние (протичане на фотосинтезата, количество на биомасата в короните на растителността, съдържание на хлорофил) на дадено растително покритие.

Наличието на почти 100 % растително покритие по територията на обекта на изследване обуславя високата степен на протичане на процеса фотосинтеза (стойности на $NDVI > 0$) в рамките на вегетационния сезон за периода от 1977 до 2019 и по територията на почти целия обект на изследване (виж фигура 3 по-долу – фиг. 10 от дисертация).



Фигура 3: Разпределение на NDVI стойности (нанесени по апликацията) според географските координати на всеки пиксел за периода 1977 – 2019: а) NDVI 1977, 1986, 1994; б) NDVI 1987, 1990; в) NDVI 1986, 2012; г) NDVI 2009, 2011; д) NDVI 2017, 2018; е) NDVI 2019.

Видно от фигура 3 по-горе, изучаваната БЕ активно създава биомаса през целия вегетационен сезон на проучвания 42 годишен период и функционира без индикации

за стрес или нарушения на екосистемния интегритет. Това е валидно за всички изследвани години, в т.ч. при ускорени промени в климатичните параметри на средата (температура), показвайки дългосрочната функционална устойчивост (resilience) на високопланинска екосистема към изменението на климата.

6.3 Резултати по задача 2. Анализ и оценка на съществуващите данни

Резултатите са представени в статии по т. 6.1.1, 6.1.2 и 6.1.3. Включват анализ данни от дистанционни наблюдения, теренни (заснемания с безпилотен летателен апарат) и пространствени данни, включително климатични данни.

Разнородност на данните: различната разделителна способност на пространствените и данните от дистанционните наблюдения затруднява съвместната им обработка, което налага обстоен визуален анализ. Промяната в сензорите на сателитите подобрява качеството на изображенията през годините, но това затруднява сравнимостта на данните за дълги времеви периоди. Освен това различията в поколенията сателитни сензори затрудни верификацията на получените резултати от NDVI анализите чрез индекса за водно съдържание в короните на растителността (NDWI), за чието изчисляване се използва спектралния канал B13, наличен при по-новото поколение сензори (след Landsat MSS).

Установени са тенденции на увеличаване на средните температурни стойности в периода май – юли и септември за целия изследван период. Във втория полупериод (1999 – 2019) бе установено повишаване на средните температурни стойности в сравнение с първия полупериод (1979 – 1999) както следва: за май с 2.2 °C; за юни с 1.1 °C; за юли с 0.9 °C и за септември с 1.2 °C. Изключение прави само месец август, за който бе установена тенденция към намаляване на температурата с 0.6 °C за изследвания период. Резултатите от този анализ показват сходство с изследванията на Cannone et al., 2008 и Vitasse et al., 2022.

Синтезът на данни като подход показва, че дори с оскъдни и разнородни по произход и качество данни е възможно постигането на обективни резултати.

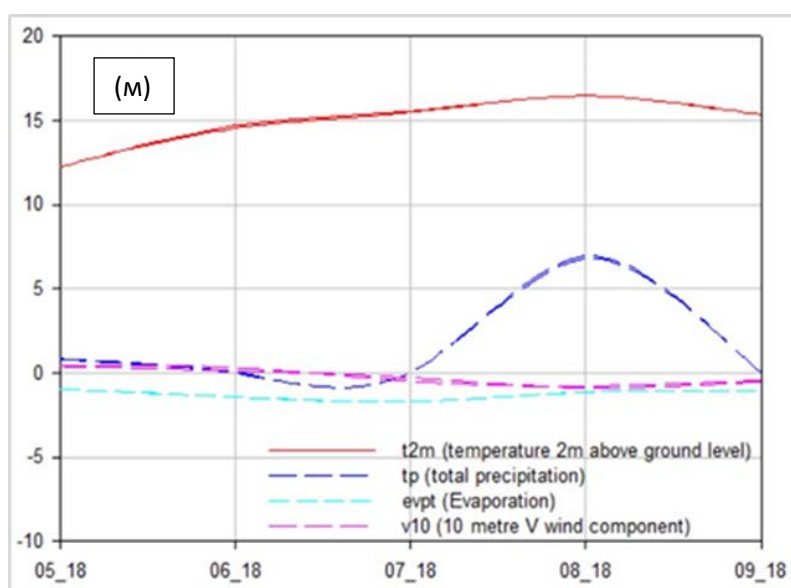
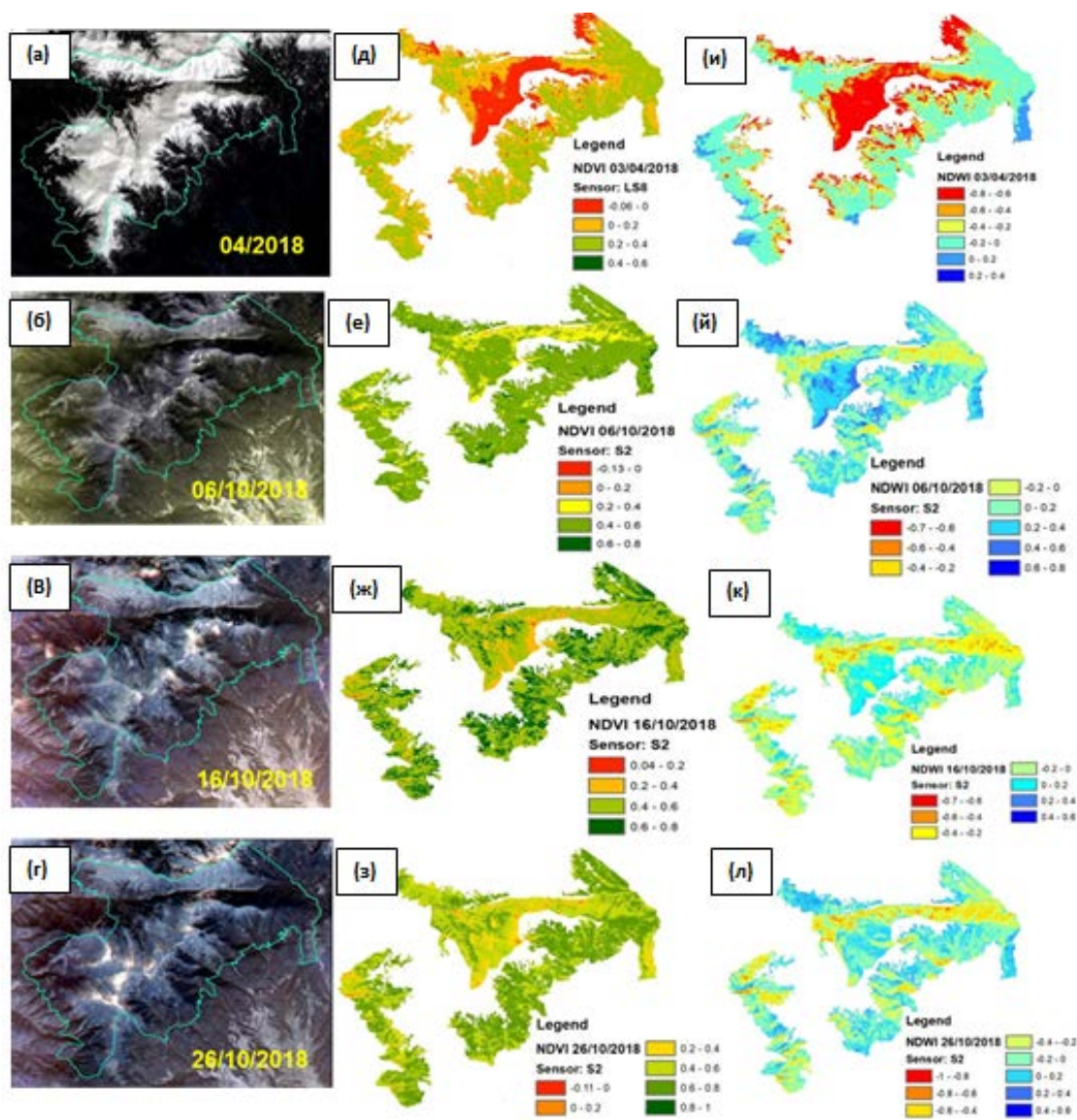
6.4 Резултати по задача 3. Оценка на функционалното състояние на избраната високопланинска екосистема с използване на вегетационни индекси чрез дистанционни (ортофото, сателитни), GIS- базирани и други методи

Резултатите са представени в статиите по т. 6.1.1, 6.1.2 и 6.1.3. По време на изследванията, проведени през 2018 и 2019 г. (статии по т. 6.1.2 и 6.1.3) бе потвърдена връзката между промяната в климатичните параметри и измененията, настъпващи в стойностите на вегетационните индекси и в състоянието на изследваните екосистеми, установена от Pavlova and Nedkov (2005). При увеличаване в стойностите на параметрите слънчева радиация и температура се увеличават нивата на изпарение. При съпоставяне на тези с резултатите получени при изчисляването на NDVI е установена връзка, при която увеличаването на температурата, слънчевата радиация и изпарението води до повишаване на стойностите на NDVI. Липсата на данни за климата преди 2008 г. възпрепятства установяването на директна връзка между

промяната в климатичните параметри и стойностите на NDVI за периода преди 2008 г., за който оценката бе направена индиректно.

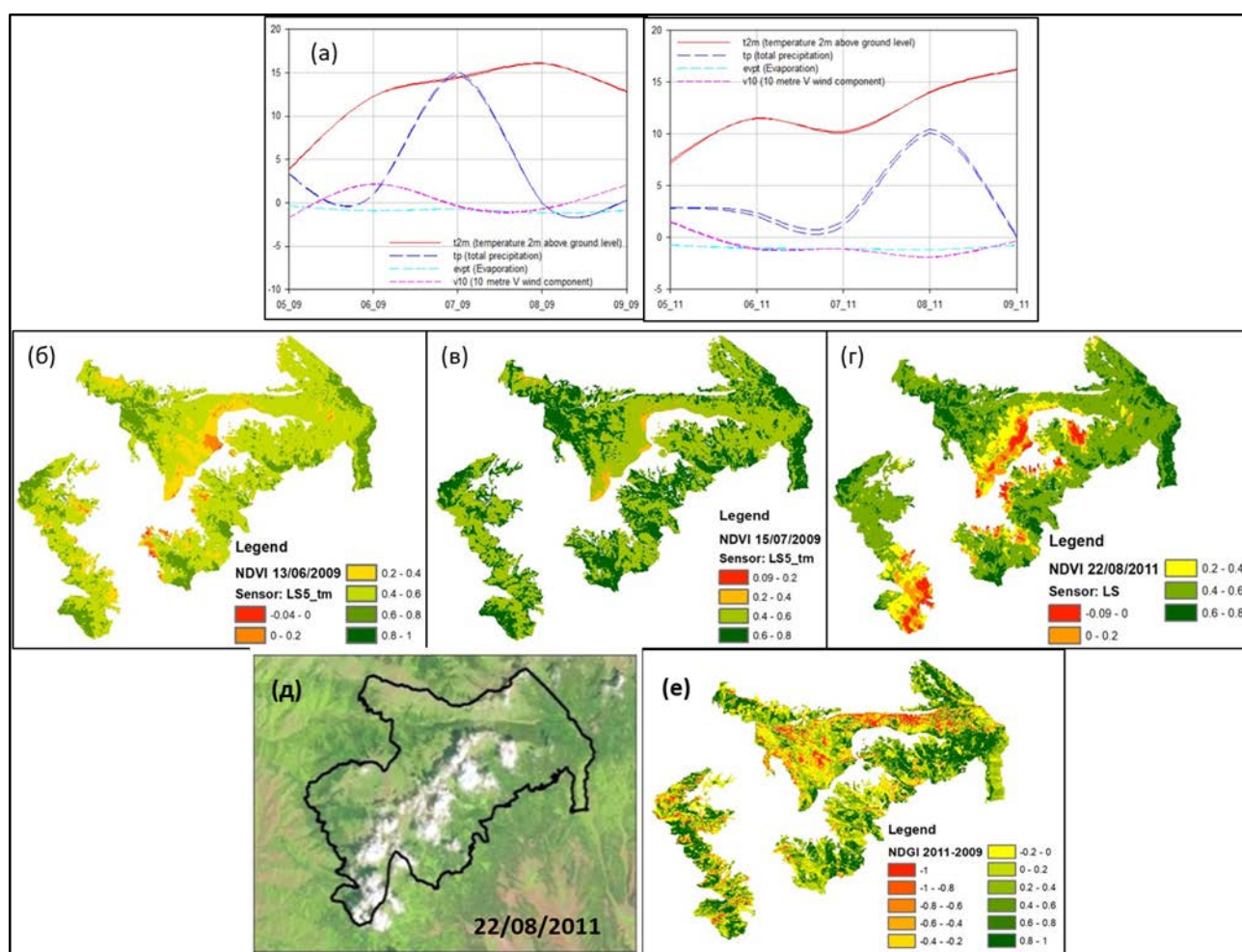
Допълнителна верификация бе направена посредством сравнение на положителните и отрицателни стойности на индекса NDGI за периодите, за които е изчислен. За периода 1990 – 1987 са установени 15 271 положителни стойности и 10 261 отрицателни, а за периода 2011 - 2009 положителните са 70 555 и 31 509 отрицателни стойност. Този анализ демонстрира устойчивост на фотосинтезната активност в рамките на изследваните периоди, което води до акумулиране слънчева енергия и натрупване на биомаса, т.е. до добро функционално състояние на изследваната БЕ.

През 2022 бе проведено изследването по т. 6.1.1, в което пропуските по отношение на климатичните данни са запълнени с използването на базата данни на ECMWF (ERA Interim). Допълнени бяха и данните от дистанционни наблюдения като са добавени към изследването още 16 сцени, с което броят им достигна 33 (след допълнителна обработка една от сцените отпадна поради наличие на атмосферна аномалия – мъгла). Това позволи да се проведе по-пълна оценка на състоянието на високопланинската екосистема, обект на дисертационния труд. Бяха разкрити и обяснени взаимовръзките между промените в климатичните параметри и стойностите на вегетационните индекси NDVI, NDWI (фигура 3 по-долу – фиг. 15 от дисертацията) и NDGI (фиг. 16 дисертацията).



Фигура 4. Извадка с резултати от статия по т. 6.1.1 след обработка на сателитни сцени и изчислени вегетационни индекси (а – л) и климатични данни (м) за вегетационния период през 2018 г.

Положителните стойности на NDVI ($NDVI > 0$) преобладават през целия период на проучване, което е индикатор за добро функционално състояние на изследваната високопланинска екосистема. Верификацията на резултатите с NDWI (фигура 4) и NDGI (фигура 5 – фиг. 16 от дисертацията) потвърждава твърдението. На фигура 4 е представена извадка на резултатите от анализа на данните за 2018 г. като са селектирани 4 спътникови изображения (4а,б,в,г), въз основа на които са изчислени вегетационните индекси NDVI (4д,е,ж,з) и NDWI (4и,й,к,л). В съответствие с изведената тенденция за целия период стойностите на NDVI от фигура 4 са почти изцяло положителни ($NDVI > 0$). Изключение прави резултатът от NDVI анализа за месец април 2018 (4д), който показва наличие на ниски стойности ($NDVI \leq 0$), дължащи се на наличието на снежна покривка в субалпийската и алпийска зони (4а). Резултатите са верифицирани посредством индекса NDWI, който демонстрира сходство в динамиката на промени в стойностите си с NDVI, т.е. $NDWI > 0$ през целия период с изключение на териториите по посока на алпийската зона, покрити със сняг.



Фигура 5. Извадка от резултатите с графики на климатични параметри за 2009 и 2011 г. (а); изчислен индекс NDVI (б, в, г); сателитно изображение от 2011 с облачно покритие (д) и изчислен индекс NDGI: изменение в състоянието на растителното покритие за периода 2009 – 2011 (е).

В периода 2009 – 2011 г. както е видно от фиг. 5а,б NDVI има преобладаващи високи стойности (0.4 – 0.8), показващи високи нива на фотосинтеза, т.е. добро функционално състояние. Ниските стойности на индекса NDVI от фиг. 5б, дължащи се на наличие на

облачно покритие, видно от сателитното изображение (фиг. 5д), потвърждават резултата от анализа на данните от дистанционни наблюдения в т. 6.3 от настоящото изследване. Резултатите са верифицирани с изчисляването на индекса NDGI, чийто преобладаващи нива над 0, за периода от извадката по фиг. 5е (2009 – 2011 г.), потвърждава запазването на високи нива на функционална активност (фотосинтеза и натрупване на биомаса) на растителността в ОИ.

При проведените корелационни анализи не е установена статистически значима връзка между параметрите валежи (tp), изпарение (evpt), вятър (v10) и NDVI. Значима връзка бе установена само между параметъра температура (t2m) и NDVI – $R = 0.605$ (таблица S5 от допълнителните материали към статията по т. 6.1.1)

Определена бе динамиката в пространственото разпространение на основните структурни компоненти (подтипове екосистеми) като бе извършена кръстосана верификация на експертните продукти High Resolution Layers (HRLs) заедно с горската база данни, която показва висока степен на корелация между двете бази данни (фиг. 1 в описанието, а в статия по т. 6.1.1, фиг. 11). На същата фигура са показани и установените тенденции на промени в териториалния обхват на високопланинската екосистема и по-конкретно в пространственото разпространение на горския екосистемен компонент спрямо тревните и храстови екосистемни компоненти. Тези промени предопределят настъпване на изменения във функционирането на изследваната БЕ, което очертава бъдеща перспектива за мониторинг в този ОИ.

Дефинирани са и два потенциални нови индикатора, (които след теренна верификация могат да допълнят Методологическата рамка. Тези кандидат индикатори са подходящи за мониторинг на ефекта от климатичните промени върху сухоземните екосистеми като цяло. Те са: „Увеличаване/ намаляване на обхвата на екосистемите в резултат на изменението на климата“ и „Сукцесия на екосистемата в резултат от изменението на климата“.

6.5 Резултати по задача 4. Избор и оценка на екосистемни услуги в изследваната високопланинска екосистема

Резултатите са представени в Приложение 1 към дисертационния труд. Хетерогенността на данните, недостатъчно детайлизираната Методика за оценка и картиране на състоянието на горите и горските екосистеми и техните услуги в България по отношение на индикаторите и описващите ги параметри за оценка на културните екосистемни услуги, необходимостта от развитие и допълване на методиката в това отношение, както и наличието на културен монумент на територията на изследваната БЕ (м. Радонов гроб) са критериите за избор и оценка на 3 културни екосистемни услуги:

- C2. Физическо използване на ландшафти/морски пейзажи в различни екологични настройки (3112)
- C3. Наследство, културно (3123);
- C7. Наследство (3222).

За оценката на всяка от тези услуги бяха използвани индикаторите, предложени в адаптираната Методика за горите (фиг. 4 от Приложение 1). Допълнително бяха разработени следните параметри, описващи индикаторите за оценка: значимост и брой посетители годишно (за екосистемна услуга C2); достъпност и брой посетители (за

екосистемна услуга C3); значимост, принос към образованието и науката и брой посетители (за екосистемна услуга C7). Резултатите от оценките на избраните културни екосистемни услуги показваха, че изследваната високопланинска екосистема има „висок потенциал“ да предоставя тези услуги.

7. Обобщение и изводи

При проучването на влиянието на климата върху структурно- функционалното състояние на изследваната високопланинска екосистема с оскъдни данни (каквото е случаят с настоящия обект на дисертационния труд), интегрирането на данни от различни източници е наложително. За определяне на семантичните и онтологични връзки между тези данни, бе приложен подхода „Единна система“ съобразно структурата на Методологическата рамка за оценка и картиране на екосистемните услуги в България. Тъй като Методологическата рамка предвижда да се събират предимно данни от полеви изследвания, в настоящата дисертация са разработени методи за работа с данни от дистанционни изследвания, базирани на вегетационни индекси (NDVI, NDWI и NDGI). Тези методи са приложени за период от 42 години заедно с продукти от платформата Copernicus и данни от проведени климатични анализи за 40 години (1979 – 2019 г.).

Потвърдено бе, че използваният методологичен подход за работа с разнородни данни е адаптивен и добре приложим за обработка, смесване, статистически анализи и общата им интерпретация. Извършена е геопространствена идентификация на три основни екосистемни типа - горски, храстови и тревни. В състава на горските екосистемни подтипове е извършена геопространствена идентификация на широколистни, иглолистни и издънкови екосистемни подтипове. Установени бяха тенденции, свързани с промени в териториалния обхват и функциониране на изследваната високопланинска екосистема и по-конкретно свързани с пространственото разпространение на горските екосистемни подтипове спрямо тревните и храстовите, ведно с тенденции на промяна в климатичните условия след 1990 г. Установената от някои автори (Cannone et al., 2008, Vitasse et al., 2022) тенденция към ускоряване на реакцията на високопланинските екосистеми към изменението на климата може да бъде проследена чрез непрекъснат мониторинг на съответните системи с помощта на новата серия продукти - продуктите High Resolution Layers от платформата Copernicus.

Определена и конкретизирана е връзката на данни между местообитания и екосистеми на ниво 3 (екосистемен подтип), а за горските и на ниво 4 (екосистемен подтип с доминиращ дървесен вид), т.е. направена бе връзка на данните от лесоустройствения проект и Методологичната рамка. Също така бяха дефинирани нови потенциални индикатори за включване (допълване) в методологичната рамка, подходящи за мониторинг на ефекта от климатичните промени върху наземни екосистеми, посредством дистанционни методи.

Извършеното проучване през 2023 г. (Приложение 1) свързано с подбор и оценка на културни екосистемни услуги бе завършващия етап на цикъла от изследвания по настоящия дисертационен труд. Важно обобщение е, че оценката на екосистемните услуги от тази категория е истинско предизвикателство пред науката като цяло поради

необходимостта първо от наличието и достъпността на данни и второ поради трансдисциплинарния подход, нужен в процеса на обработката им и при оценка на услугите. В този случай, това обстоятелство е силно валидно, т.к. при преминаване към по-ниско ниво на изследване (от национално ниво към регионално и/или местно), изискващо повече детайлност на данните, очаквано възникна затруднение свързано с оскъдност на данните за района на изследване. Въпреки това, проблемът бе преодолян чрез прилагане на експертен подход като част от подхода Единна система, имплементиран в Методологичната рамка, в частта избрана за нуждите на дисертацията – Методология за оценка и картиране на горските екосистеми и техните услуги в България (2017 г.). Получените резултати – оценки на три културни екосистемни услуги (C2. Физическо използване на ландшафти/морски пейзажи в различни екологични настройки (3112); C3. Наследство, културно (3123); C7. Наследство (3222)) доказват, че приложеният експертен подход е адекватен и надежден за разработването на параметри и индикатори при оценяването на избраните екосистемни услуги. От значение е фактът, че е разработен по начин, позволяващ използването му както на различни нива (национално, регионално, локално), така и за различни цели, в зависимост от нуждите на потребителите (учени, разработчици на карти и маршрути, туристи и други). Подходът също така доказва своята ползност в процеса на вземане на решения като направи възможно разработването на набор от препоръчителни мерки, прилагането на които има потенциала да подобри резултатите при бъдещи проучвания и биха могли да се включат при разработването на планове за управление.

Постигнатите резултати в рамките на проведените изследвания и направените обобщения позволяват да се очертаят следните изводи:

- Приложеният методологичен подход за постигане на поставената цел – чрез използване на разнородни данни, адаптиране и разработване на подходи, трансдисциплинарност, е успешен, адаптивен и приложим за оценка и мониторинг на състоянието и услугите, които предоставят моделни високопланински екосистеми в краткосрочен и в дългосрочен аспект;
- Използваната стандартна Методологична рамка за оценка на състоянието на екосистемите и техните услуги в България от 2017 г., адаптирана към принципа „Единна система“, се доказва като гъвкав механизъм, позволяващ внедряването на нови методи и подходи и прилагането ѝ, както като цяло, така и на отделни елементи от нея (методи и подходи) в зависимост от нуждите на изследванията;
- Цялостното изследване доказва, че високопланинските екосистеми са динамични и чувствителни преди всичко към промените в климатичните условия;
- Наличните тенденции на затопляне в района на изследване през изминалите 40 години, обуславят наблюдавания процес на изменение на структурно-функционалните характеристики, изразяващо се в тенденцията за изместване във височина на горско-дървесната растителност по посока на алпийската зона и съответно редуциране на площите, заети от тревни и храстови екосистеми, което е предпоставка за промяна на биоразнообразието (както и промяна на режима);

- Въпреки наблюдаваните промени в климатичните параметри, пространственото разпределение на типовете и подтипове екосистеми, въз основа на резултатите за състояние на растителната покривка е направен извода, че проучената високопланинска екосистема демонстрира устойчивост и гъвкавост (от англ. Resilience);
- Прилагането на дистанционните методи и изследвания като част от методологичния подход и самостоятелно, като средство за подпомагане научната дейност в сферата на екосистемните изследвания, потвърждава полезността им като мощен инструмент, пестящ време, разходи, човешки ресурс и преодоляващ ограничения като териториален обхват, недостъпност на даден терен, метеорологични условия и др.;
- Потенциалното земеползване, ограничено до пасищна дейност на територията няма изявено негативно въздействие върху състоянието на изследваната високопланинска екосистема поради защитения статут. Потенциалните заплахи за появата на такова, следва да се търсят в начина на ползване на съседните територии и вследствие на туристическа дейност;
- Характерната специфика на района, близостта на местните общности до изследваните високопланински екосистеми и резултатите от високата оценка на изследваните екосистемни услуги, са предпоставки за определянето на значим потенциал на ВЕ да предоставят тези екосистемни услуги;
- Развитието на района около обекта на изследване като туристическа дестинация (в близост са гр. Банско, с. Добърско, м. Картала, к.к. Семково и други по- малки обекти), предполага по-нататъшно усилване на натиска от рекреационна дейност, което налага необходимостта от засилване на мерките за превенцията и смекчаването му;
- В резултат на изследването на оценката на избраните екосистемни услуги в обекта на проучване се налага извода, че е необходимо разработването на официална национална класификация на туристически планински пътища и пътеки;
- Постигнатите резултати по оценка на избраните екосистемни услуги водят до извода, че е необходимо допълване на Методологичната рамка чрез детайлизирането на набор от параметри за оценка на индикаторите, определящи културните екосистемни услуги.

8. Приноси

Реализирането на дейностите по дисертационния труд допринесе за постигането на следните приноси:

8.1. Научни

- Установено е статистически значимо повишаване на температурата в обекта на изследване за периода 1979 – 2019, което е най-ясно изразено през месец май (+2.2°C), най-слабо изразено през юли (+0.9°C) и намаляване на температурата през август (-0.6°C);
- Установена е устойчивост и функционална стабилност на изследваните високопланински екосистеми за 42 години (1977 – 2019 г.). Индексът NDVI за

горския компонент запазва високи стойности, вариращи от 0.4 до 1; за тревния компонент (по ЛУП) NDVI= 0.5 и за храстовия (по ЛУП) NDVI= 0.4;

- Установена е динамиката на промени в пространственото разпределение на основните типове и подтипове екосистеми, изразяващо се в увеличаване и изместване във височина на горските екосистеми за сметка на тревните и храстови. По параметъра гъстота на горско- дървесното покритие е установено увеличаване на гъстотата до 2 200 – 2 300 м н.в.

8.2. Методологични

- Предложена е геопространствена идентификация на горския компонент в състава на високопланинската екосистема до ниво 4 – екосистемен подтип с доминиращ вид чрез връзка между лесоустройствения проект и типологията в Методиката за горските екосистеми. За тревните и храстови екосистеми – до ниво 3 и 4 в зависимост от детайлността на данните в ЛУП;
- Разработени са два потенциални индикатора: (1) Увеличаване/ намаляване на обхвата на екосистемата в резултат от изменението на климата и (2) Екосистемна сукцесия, и двата в резултат от климатични промени на базата на дистанционни методи в резултат от изменението на климата, с които да бъде допълнена Методологичната рамка. Тези потенциални индикатори позволяват оценката на обхвата и състоянието на високопланинската екосистема за целите на екосистемното счетоводство;
- Адаптирана е класификацията за офроуд пътища и пътеки на МТВ-BG (Приложение 1, таблица 1) като елемент от потенциала за предоставяне на екосистемната услуга „Физическо използване на ландшафти/морски пейзажи в различни екологични настройки (3112)“. Така класификацията е приложима и за класифицирането на горски пътища за научно-приложни и управленски нужди и различни групи крайни потребители;
- Дефинирани са параметрите „значимост“ и „брой посетители годишно“ за ЕУ С2 Физическо използване на ландшафти/морски пейзажи в различни екологични настройки (3112); „достъпност“ и „брой посетители“ за ЕУ С3 Наследство, културно (3123) и „значимост“, „принос към образованието и науката“ и „брой посетители“ за ЕУ С7 Наследство (3222), определящи параметрите, свързани с използване в индикаторите за оценка на избраните екосистемни услуги.

8.3. Научно- приложни

- Разработената методика за оценка на функционалното състояние на високопланинската екосистема чрез вегетационни индекси може да бъде използвана при оценката растително покритие при други сухоземни екосистеми и да се приложи в планове за управление на национални и природни паркове, горски стопанства, селскостопански сдружения и други;
- Предложен е набор от мерки за опазване и подобряване на потенциала на изследваните екосистеми да предоставят културни екосистемни услуги.

ДЕКЛАРАЦИЯ ЗА ОРИГИНАЛНОСТ И ДОСТОВЕРНОСТ

от Костадин Маринов Катранджиев

Във връзка с провеждането на процедура за защита на дисертация за придобиване на ОНС „Доктор” в Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания – БАН, еднозначно декларирам:

1. Резултатите, обсъжданията и изводите в научната продукция, които предоставям в процедурата, са оригинални и не са заимствани без цитиране от изследвания и публикации, в които нямам участие.
2. Представената от мен информация във вид на копия на документи и публикации, лично съставени справки и др. съответства на обективната истина.

11.11.2024 г.

гр. София

Декларатор:

К. Катранджиев /подпис/

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Резултатите и обсъжданията от проведеното изследване са представени в както следва в изброените научни публикации:

1. Katrandzhiev, K.; Gocheva, K.; Bratanova-Doncheva, S. Whole System Data Integration for Condition Assessments of Climate Change Impacts: An Example in High-Mountain Ecosystems in Rila (Bulgaria). *Diversity* 2022, 14, 240., **IF: 2.4, Q1**
2. Katrandzhiev, K. APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR HIGH MOUNTAIN ECOSYSTEM CONDITION ASSESSMENT (SOUTH WEST RILA MOUNTAIN - BULGARIA). *Ecological Engineering and Environment Protection* 2018, No 2, p.35-40.
3. Katrandzhiev, K. and Bratanova-Doncheva, S. Spatial Distribution of High-Mountain Ecosystems—Application of Remote Sensing and GIS: A Case Study in South-Western Rila Mountains (Bulgaria). *Silva Balcanica* 2019, 20, 3, 57–69., **Q4**
4. Приложение 1 - готов текст за изготвяне на публикация с работно заглавие: “Data Fusion for Ecosystem Services Assessment: a Case Study in Bulgarian South-western Rila Mountains”.

СПИСЪК НА ЦИТИРАНИЯТА НА ТРУДОВЕТЕ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Katrandzhiev, K., Gocheva, K., Bratanova-Doncheva, S. 2022. Whole System Data Integration for Condition Assessments of Climate Change Impacts: An Example in High-Mountain Ecosystems in Rila (Bulgaria). *Diversity*, 14(4), 240 <https://doi.org/10.3390/d14040240>

е цитирана от:

1. Han, H., Liu, Z., Li, J., Zeng, Z. 2024. Challenges in remote sensing based climate and crop monitoring: navigating the complexities using AI. *J Cloud Computing*. 13, Article 34. <https://doi.org/10.1186/s13677-023-00583-8>
2. Broquet, M., Cabral, P., Campos, F.S. 2024. What ecological factors to integrate in landslide susceptibility mapping? An exploratory review of current trends in support of eco-DRR, *Progress in Disaster Science*, Volume 22, 100328, <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100328> (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590061724000188>)
3. Jombo, S.; Abd Elbasit, M.A.M.; Gumbo, A.D.; Nethengwe, N.S. 2023. Remote Sensing Application in Mountainous Environments: A Bibliographic Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 20, 3538. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043538>
4. Wegler, M.; Kuenzer, C. 2024. Potential of Earth Observation to assess the Impact of Climate Change and Extreme Weather Events in Temperate Forests—A Review. *Remote Sens* 16, 2224. <https://doi.org/10.3390/rs16122224>

5. Borowicc, S. and Alves-Souza, S. 2024. Heterogeneous Data Integration: A Literature Scope Review. DOI: 10.5220/0012551000003690 Paper published under CC license (CC BY-NC-ND 4.0) In Proceedings of the 26th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2024) - Volume 1, pages 189-200 SCITEPRESS – Science and Technology Publications, Lda.
<https://www.scitepress.org/Papers/2024/125510/125510.pdf>

Katrandzhiev, K. APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR HIGH MOUNTAIN ECOSYSTEM CONDITION ASSESSMENT (SOUTH WEST RILA MOUNTAIN - BULGARIA). Ecological Engineering and Environment Protection 2018, No 2, p.35-40. Q4,
<https://ecoleng.org/archive/2018/2/35-40.pdf> - **НЯМА ЦИТИРАНИЯ /2 АВТОЦИТИРАНИЯ/**

Katrandzhiev, K. and Bratanova-Doncheva, S. Spatial Distribution of High-Mountain Ecosystems—Application of Remote Sensing and GIS: A Case Study in South-Western Rila Mountains (Bulgaria). Silva Balcanica 2019, 20, 3, 57–69. Q4,
<https://silvabalcanica.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/03/sb-203-2019-057-069.pdf> - **НЯМА ЦИТИРАНИЯ /1 АВТОЦИТИРАНЕ/**

СПИСЪК НА УЧАСТИЯТА В НАУЧНИ ФОРУМИ С ДОКЛАДИ И ПОСТЕРИ, ОТРАЗЯВАЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯТА ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

Доклади:

K. Katrandzhiev, S. Bratanova- Doncheva, G. Georgieva, Drivers of changes in high mountain ecosystems case study: Rila high mountain ecosystems. 10th Seminar of Ecology 2017 Proceedings, Sofia, Bulgaria, 27 - 28 April, 2017

K. Katrandzhiev, Using remote sensing for high mountain ecosystem condition assessment (South West Rila Mountain - Bulgaria). National Scientific Conference with International Participation Ecology and Health 2018 Proceedings, Plovdiv, Bulgaria, 07 June, 2018; ISSN 2367- 9530, <http://hst.bg/bulgarian/conference.htm>

Постери:

S. Bratanova-Doncheva, Chipev N., Yakimov L., Georgieva G., Fikova R., Katrandzhiev K., Gocheva K., Methodological support for ecosystem service assessment and biophysical valuation. International Scientific Conference: Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services – Science in action, Sofia, Bulgaria, 6-7 February, 2017

K. Katrandzhiev, S. Bratanova- Doncheva, S. Nedkov, Identification of Ecosystem Types in High Mountain Areas: A case study in Rila Mountain. 11th Seminar of Ecology 2018, Sofia, Bulgaria, 26-27 April 2018

K. Katrandzhiev, S. Bratanova- Doncheva, Spatial Distribution of High Mountain Ecosystems Using Remote Sensing and GIS: A Case Study in South West Rila Mountain – Bulgaria. International Scientific Conference “90 years Forest Research Institute – for the Society and People”, Sofia, Bulgaria, 24-26 October 2018

Spatial analyses and high-mountain ecosystem condition and services assessment in Rila Mountains

PhD Dissertation

Kostadin Marinov Katrandzhiev

**Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences, 2
Gagarin Street, 1113 Sofia, Bulgaria**

Supervisor: Assis. Prof. Svetla Bratanova-Doncheva, PhD

Co-supervisor: Prof. Stoyan Nedkov, PhD

Sofia, 2024

Environmental changes as a result of climate change become an important part of the public awareness. Environmental science as an instrument of the social processes is considered to be the tool to understand and assess the influence of climate change on the ecosystems as the main functional unit of nature. It is necessary to both identify the nature components sensitive to these changes, and assess the effects on their functions and the goods and services provided to the society that are related to them.

For the purposes of the current study, a “High-mountain ecosystem” (HME) was defined via structural and functional criteria. It is located in the South-western parts of Rila National park in Rila mountain. The defined HME has specific functional characteristics and spatial distribution including transitional zone from montane forest (zone with high tree density) towards the subalpine and alpine zones where shrubs and grassland components prevail. The HME include three main structural components – forest divided into three sub-components – conifer, broadleaves and coppice forests; grasslands and shrubs. Water bodies and sparsely vegetated components are involved in the HME structure formation.

The aim of the current research is to assess the structural and functional condition of the selected study area, including determining condition dynamics as a result of key climate parameter changes and their influence on the provision capacity of the studied area to provide ecosystem services. To achieve the goal, remote sensing approach, climate data and GIS technology were applied.

Data scarcity forced us to use data fusion approach of integration of different data sources when we studied the influence of the local climate changes on the structure and functions of the defined HME. For the needs of the current dissertation methods were developed including remote sensing based on vegetation indices (NDVI, NDWI and NDGI). It was applied to a 42 years period together with Copernicus’ expert products (High Resolution Layers containing information about tree-cover density and grass-cover changes for the years 2015 and 2018) and data from climate parameter analysis for a 40 years period (1979 – 2019).

The established connection by Pavlova and Nedkov, 2005 between climate parameter changes and vegetation indices was confirmed. A statistically important relation between temperature parameter and the NDVI ($R=0.605$) was established. The resulting prevalence of positive NDVI values ($NDVI > 0$) throughout the entire study period was interpreted as an indication of good functional condition (i.e. the photosynthesis and leaf biomass production remained stable and resilient to the observed temperature parameter acceleration through the last two decades). The obtained results were confirmed using NDWI and NDGI.

The dynamics of the spatial distribution of the main structural components of the HME was established and cross-verification was conducted for both the expert products of Copernicus and forestry database, showing high correlation between them. Trends of changes in the spatial extent of the studied HME and more specifically in the spatial distribution of the forest ecosystem component

relative to grass and shrub ecosystem components were established. These changes predetermine the occurrence of changes in functioning processes of the studied HME which outline a future monitoring perspective.

It was confirmed that the applied methodological approach of using heterogeneous data is adaptive and well applicable for data processing, fusion, statistical analysis and their common interpretation. Geo-spatial identification of the main and sub-components (forests) was conducted. Trends of changes in the spatial extent and functioning of the studied HME as well as trends of local climate conditions, were established. The (Cannone et al., 2008, Vitasse et al., 2022) trend towards acceleration of the HME response to the climate change found by some authors was confirmed to be traceable via constant monitoring of the relevant systems thanks to the new series of Copernicus expert products (High Resolution Layers). The connection of the data between habitats and ecosystems on level 3 (ecosystem subtype) and for forests also on level 4 (ecosystem subtype with dominant tree species) was defined and specified, i.e. a data relation was established between the forestry database and the Methodological framework. In addition, new potential indicators were developed to be included in the Methodological framework. They are suitable for monitoring the climate change effect on the terrestrial ecosystems by means of remote sensing.

Selection and assessment of three cultural ecosystem services (C2- Physical use of land-/ seascapes in different environmental settings, 3112; C3- Heritage, cultural, 3123 and C7- Bequest, 3222 was carried out and assessment of the HME's capacity to provide them was also conducted. The obtained results proved that the applied expert approach was adequate and reliable for both parameter and indicator development in the assessment process of the selected ecosystem services.

The results and discussion of the research carried out are published and presented in the following articles as well as in Annex 1

1. Katrandzhiev, K.; Gocheva, K.; Bratanova-Doncheva, S. Whole System Data Integration for Condition Assessments of Climate Change Impacts: An Example in High-Mountain Ecosystems in Rila (Bulgaria). *Diversity* 2022, 14, 240.
2. Katrandzhiev, K. APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR HIGH MOUNTAIN ECOSYSTEM CONDITION ASSESSMENT (SOUTH WEST RILA MOUNTAIN - BULGARIA). *Ecological Engineering and Environment Protection* 2018, No 2, p.35-40.
3. Katrandzhiev, K. and Bratanova-Doncheva, S. Spatial Distribution of High-Mountain Ecosystems—Application of Remote Sensing and GIS: A Case Study in South-Western Rila Mountains (Bulgaria). *Silva Balcanica* 2019, 20, 3, 57–69.
4. Annex 1 – an article prepared for submission, with the working title: “Data Fusion for Ecosystem Services Assessment: a Case Study in Bulgarian South-western Rila Mountains”.