

Българска академия на науките
Национален институт по геофизика, геодезия и география
Департамент „География“
Секция „Приложна геоинформатика“



Ваня Емилова Стойчева

INTEGRATED ASSESSMENT OF REGULATING ECOSYSTEM
SERVICES IN URBAN AREAS
(ИНТЕГРИРАНА ОЦЕНКА НА РЕГУЛИРАЩИ ЕКОСИСТЕМНИ
УСЛУГИ В УРБАНИЗИРАНИ ТЕРИТОРИИ)

АВТОРЕФЕРАТ
на дисертационен труд
за присъждане на образователна и научна степен „доктор“
професионално направление 4.4. „Науки за Земята“
научна специалност „Физическа география и ландшафтознание“

Научен ръководител: проф. д-р Стоян Цветанов Недков

Научен консултант: проф. Давиде Дженелети

гр. София, 2026 г.

Дисертационният труд е обсъден и предложена за публична защита от департамент „География“ при Националния институт по геофизика, геодезия и география – БАН на 14.07.2026 г.

Дисертационният труд се състои от заглавна страница, съдържание, списък на съкращенията, списък с фигурите, списък с таблиците, увод, пет глави публикации, синтез, списък с използваната литература, приложения, списък на публикациите и декларация за оригиналност.

Общият обем на дисертацията е 201 страници, включително 61 фигури и 13 таблици. Цитираните източници са 285 броя.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на заседание на научното жури на от ч. в Националния институт по геофизика, геодезия и география – БАН, стая 101 в състав:

Външни членове:

1. Assoc. Prof. Fernando Santos
2. Проф. д-р Даниела Аветисян
3. Доц. д-р Светла Братанова-Дончева

Резервен член: доц. д-р Борислав Григоров

Вътрешни членове:

1. Доц. д-р Цветан Коцев
2. Доц. д-р Атанас Китев

Резервен член: проф. д-р Марияна Николова

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в стая 105 на НИГГГ-БАН и на интернет адрес: <https://niggg.bas.bg/>

Начин на цитиране: Стойчева В (2026) Integrated assessment of regulating ecosystem services in urban areas (Интегрирана оценка на регулиращи екосистемни услуги в урбанизирани територии). Автореферат, Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките (НИГГГ-БАН), София, България, 66 стр.

Съдържание

Глава 1. Увод.....	4
1.1. Актуалност на темата и мотивация	4
1.2. Цел на изследване и изследователски задачи	6
Глава 2. Методологична основа	7
2.1. Концептуална рамка.....	7
2.2. Район на изследване	9
2.3. Задача 1: Литературен преглед за идентифициране на приоритетните регулиращи екосистемни услуги в урбанизирани територии и методи за тяхната оценка, моделиране и картиране.....	11
2.3.1. Литературен преглед	11
2.3.2. Преглед на модели и данни.....	13
2.4. Задача 2: Анализ и оценка на приложимостта на моделите и базите данни за картиране и оценка на регулиращи екосистемни услуги в урбанизирани територии ...	15
2.4.1. Анализ на данните и актуализиране.....	15
2.4.2. Анализ на приложимостта на моделите за оценка на осигуряването на екосистемни услуги.....	16
2.5. Задача 3: Разработване на подход за индивидуална оценка на осигуряване, нужда и баланс на екосистемни услуги	17
2.5.1. Осигуряване на екосистемни услуги.....	17
2.5.2. Необходимост от осигуряване на екосистемни услуги	18
2.5.3. Баланс на екосистемни услуги.....	20
2.6. Задача 4: Разработване на интегриран подход за оценка на регулиращи екосистемни услуги, чрез прилагане на многостепенен подход за оценка	21
Глава 3. Литературен преглед на регулиращите екосистемни услуги в контекста на градското планиране	22
Глава 4: Анализ на националната база данни за екосистемите в България: Не(съответствия) в рамката MAES	27
Глава 5: Сравнение на представянето на два модела за регулиране на наводнения в урбанизирани територии чрез различни входни данни	30
Глава 6: Регулиране на охлаждането и пречистване на ФПЧ ₁₀ : Подход за интегрирана оценка на осигуряване – нужда – баланс.....	37
Глава 7: Многостепенен подход за интегрирана оценка на регулиращи екосистемни услуги: София, България	45
Глава 8: Синтез	54
8.1. Основни резултати и отговори на целта и поставените задачи	54
8.1.1. Литературен преглед	54
8.1.2. Анализ и оценка на приложимостта на моделите и базите данни	55
8.1.3. Разработване на подход за индивидуална оценка на осигуряване, нужда и баланс на ЕУ	55
8.1.4. Разработване на интегриран подход	56
8.2. Ограничения и несигурност на използваните методи	57
8.3. Възможности за развитие на изследването	57
8.4. Приноси на дисертационния труд	57
8.5. Заключение	58
Списък на публикациите по темата на дисертацията.....	60
Благодарности	61
Литература	62

Глава 1. Увод

1.1. Актуалност на темата и мотивация

Урбанизацията е една от ключовите демографски тенденции в световното развитие (United Nations 2024), но тя е и една от основните движещи сили за намаляването на защитените местообитания и видовете (Regulation 2024/1991). С очакваното нарастване на населението до 2050, делът на населението живеещо в урбанизирани територии, ще надвиши 70% (Wahba Tadros et al. 2021). Vallecillo et al. (2022) дефинират урбанизираните територии като застроените населени места, характеризиращи се с висока гъстота на населението. Терминът може да бъде интерпретиран в широк и тесен аспект. Широко тълкуване включва всички територии с висока гъстота на населението и застрояването, както и техните околности, докато тясната интерпретация обхваща единствено застроените територии, в които живеят хора (Vallecillo et al. 2022). Урбанизираните екосистеми се определят като комплексни екосистеми, чиято хетерогенност определя високото разнообразие на едромасщабни форми на земното покритие и земеползване (Maes et al. 2013; Keith et al. 2020; Vallecillo et al. 2022).

Зелената градска инфраструктура (ЗГИ) и природно-базираните решения (ПБР) са основните концепции, чрез които се адресират глобалните цели за устойчиво развитие (ЦУР) (United Nations 2015; Marando et al. 2019; Wickenberg et al. 2021), и най-вече цел 11: Устойчиви градове и общности; цел 13: Борба с климатичните промени и цел 15: Живот на Земята. Припокриване между цел 11 и цел 13 се наблюдава по отношение на прилагането на подходи за разрешаване на предизвикателствата, свързани с градските топлинни острови (ГТО) и замърсяването на въздуха (Tate et al. 2024). Цел 15 е адресирана посредством изследванията на приложението на

ЗГИ за ограничаване на риска от наводнения и подобряването на управлението при интензивни валежи (Tate et al. 2024).

Концепцията за екосистемните услуги (ЕУ) (Costanza et al. 1997; Daily 1997; MEA 2005) се основава на интердисциплинарен подход за тяхното оценяване. Концепцията разглежда ЕУ като благата, които хората получават от екосистемите и тяхното функциониране (MEA 2005). ЕУ са екосистемните стоки (материални) и услуги (нематериални), от които хората се възползват при доброто функциониране на екосистемите. Те могат да бъдат класифицирани в различни групи, въз основа на техните функционални характеристики (De Groot et al. 2002). В настоящата дисертация е използвана класификацията CICES 5.1, разработена на целите на екосистемните сметки от Европейската агенция по околна среда (Haines-Young and Potschin 2018) и намира широко приложение в научно-изследователските проекти ESMERALDA (Geneletti et al. 2020), MAIA (Nedkov et al. 2022), и SELINA (Pereira et al. 2024).

Според класификацията CICES (Haines-Young and Potschin 2018), ЕУ са групирани в три основни секции: (1) материални, (2) регулиращи и поддържащи, и (3) културни. Регулиращите екосистемни услуги (РЕУ) са категория ЕУ, която се основава на функциите, чрез които екосистемите и обитаващите ги организми влияят върху околната среда, населявана от хората, за да осигурят здравословен живот (Haines-Young and Potschin 2018). В урбанизирани територии, РЕУ с висока потребност за населението в урбанизираните територии са защитата от наводнения, регулиране на химичния състав на атмосферата и океаните (качеството на въздуха) и регулирането на влажността, проветривостта и транспирацията (Maes et al. 2016; Stoycheva and Geneletti 2023).

На европейско ниво, Регламентът относно възстановяването на природата (Закон за възстановяване на природата) (Regulation 2024/1991) определя РЕУ като най-

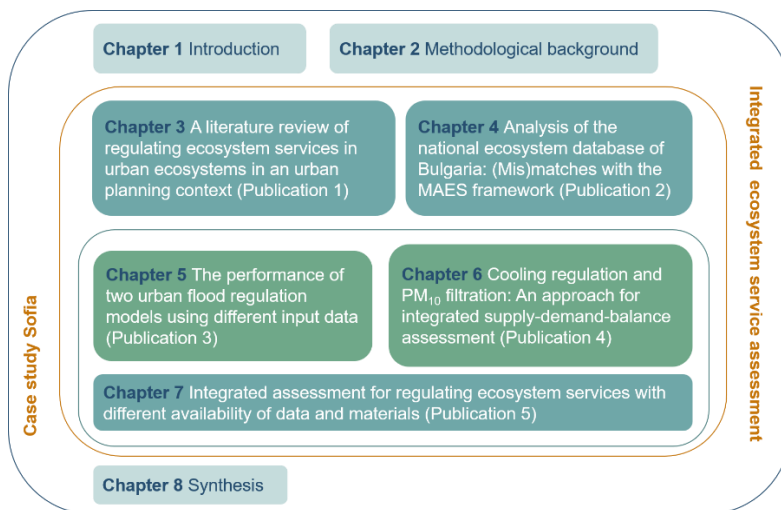
значимите за урбанизираните екосистеми. РЕУ в урбанизирани екосистеми се характеризират от повишеното търсене и ниското осигуряване на ЕУ, основно от ЗГИ.

1.2. Цел на изследване и изследователски задачи

Основната цел на дисертацията е да разработи методологичен подход за интегрирана оценка на регулиращи екосистемни услуги в урбанизирани територии. Целта е свързана и с изследователския въпрос – как да бъде разработен такъв подход за методологичен подход за интегрирана оценка на урбанизирани регулиращи екосистемни услуги. За решаването му са предвидени четири изследователски задачи:

1. Литературен преглед за идентифициране на приоритетните регулиращи екосистемни услуги в урбанизирани територии и методите за тяхната оценка, моделиране и картиране.
2. Анализиране и оценяване на приложимостта на моделите и базите данни за картиране и оценка на регулиращите екосистемни услуги в урбанизирани територии.
3. Разработване на подход за индивидуална оценка на осигуряването, необходимостта и баланса от екосистемни услуги.
4. Разработване на интегриран подход за оценка на регулиращи екосистемни услуги, чрез прилагане на многостепенен подход за оценка.

В резултат от проучването на актуалното състояние и идентифицираните изследователски задачи, съставихме обобщената рамка, която представя отношението на всяка публикация (глава) в рамките на дисертационния труд (Фиг. 1.1.).



Фигура 1.1. Обобщена рамка на дисертацията. Повече детайли са налични в глава 2.

Глава 2. Методологична основа

2.1. Концептуална рамка

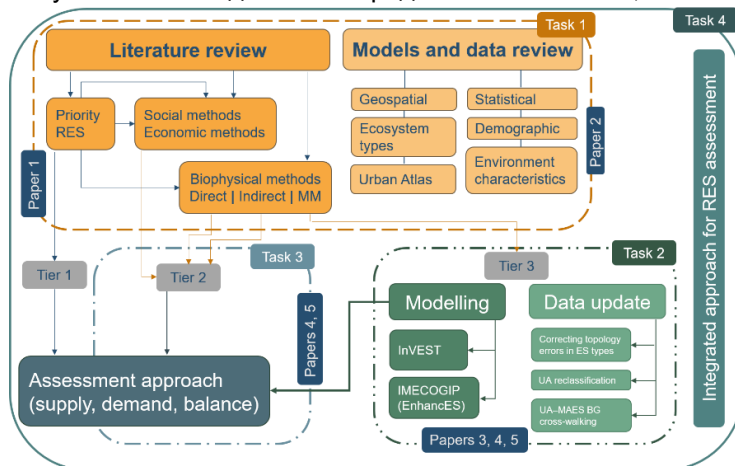
Концептуалната рамка на дисертацията (Фиг. 2.1) демонстрира логическата последователност и обвързаността на публикации в настоящото изследване. Тя включва четирите основни задачи, които са интегрирани в петте публикации. Първата задача обхваща литературния преглед на регулиращите екосистемни услуги (РЕУ), модели и данни (глави 3, 4).

Задача 2 включва две подзадачи – моделиране и актуализиране на данните. Редица дейности са извършени за актуализиране на геопространствената база данни за изследвания район. Допълнително свързване на класовете между отделните бази данни беше необходимо за последващия анализ. Подзадачата, свързана с моделиране, включва проучване, подготовка и тестване на наличните селектирани

данни за района на изследване. В дисертацията са използвани два модела за оценка на ЕУ – InVEST и EnhancES toolbox (преди познат като IMECOGIP) за оценка на някои от РЕУ.

Задача 3 включва оценката на осигуряването, необходимостта и баланса от екосистемни услуги (ЕУ). Ние предлагаме подобряване на подхода за оценка чрез използване на модели за оценка на осигуряването на ЕУ, докато необходимостта от ЕУ се оценява като композитен индекс на уязвимост, експозиция и опасността. Допълнително са приложени и идентификация на уязвимите територии с геопропространствените анализи Optimized Hot Spot Analysis и Optimized Outlier Analysis. Резултатите от задача 3 са представени в глави 5, 6 и 7.

Задача 4 надгражда разработеният в задача 3 подход и го прилага за шест приоритетни РЕУ. Тук се прилага многостепенният подход за оценка на осигуряване – необходимост от РЕУ, в резултат от различията в наличието на модели, данни, както и ограниченията и несигурността. Резултатите от задачата са представени в глава 7, статия 5.



Фигура 2.1. Концептуална рамка на интегрирания подход за оценка на регулиращи екосистемни услуги.

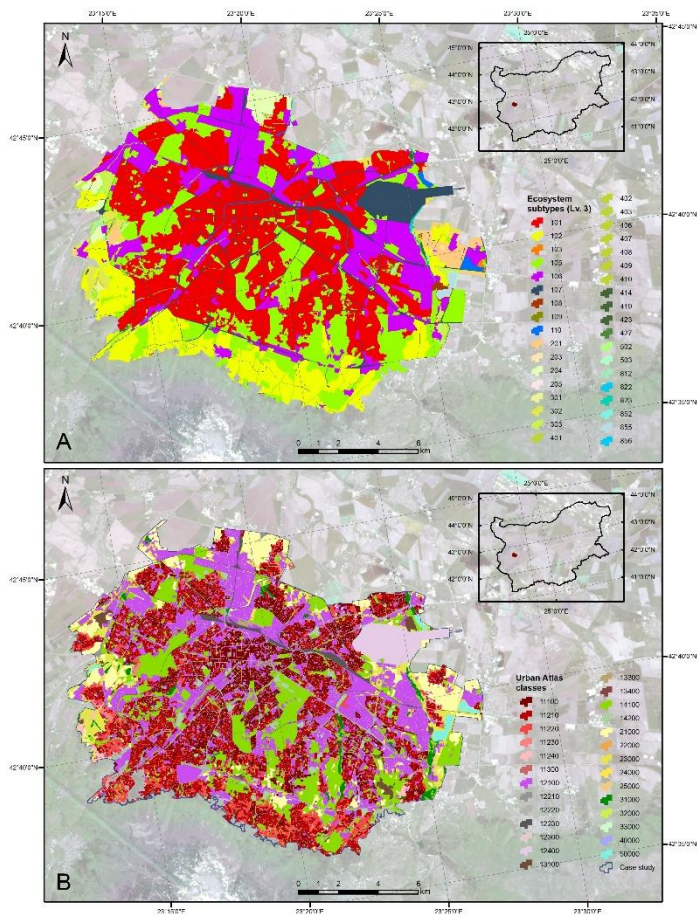
2.2. Район на изследване

София е столица и най-голямата урбанизирана територия в България. Районът на изследване обхваща площ от 221.53 км² (Фиг. 2.2) и е включен в изследването на базата данни за екосистемите в България (Petkova et al. 2022).

Районът на изследване отговаря на пространствено разпространение на застроената урбанизирана територия. Границите следват интензитета на градския топлинен остров в часовия интервал 20 – 22 ч. (август 2019) (Sofiaplan 2020b), а в следствие те са коригирани с границите на прилежащите екосистемни типове от националните методически рамки за картиране и оценка на екосистемите и услугите, които те предоставят (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services in Bulgaria, MAES BG) (Bratanova-Doncheva et al. 2017).

Районът на изследване обхваща шест от осемте сухоземни екосистемни типа от класификацията MAES (Maes et al. 2013) (Фиг. 2.2A). Те включват земеделски, тревни, горски, храстови и ерикоидни и сладководни екосистеми. Урбанизираните екосистеми са основният тип и са представени чрез десетте си подтипа, съгласно методиката за урбанизираните екосистеми (Zhiyanski et al. 2017). Най-голям дял покриват J1. Жилищни и обществено обслужващи зони в градовете от 1-во, 2-ро и 3-то ниво на НКПР; J5. Зелени зони в населените места (вкл. зони за спорт и атракции); J6. Индустриални зони (вкл. складови зони) и J7. Територии за транспорт (линейни мрежи и площадкови обекти).

За целите на сравнението на представянето на моделите (глава 5) са използвани и класовете от Urban Atlas (EEA 2020). Допълнителни анализи са извършени във връзка със свързването на данните от Urban Atlas, данните за екосистемните типове и новодобавените класове зелена инфраструктура от Sofiaplan (2020b).



2.3. Задача 1: Литературен преглед за идентифициране на приоритетните регулиращи екосистемни услуги в урбанизирани територии и методи за тяхната оценка, моделиране и картиране

2.3.1. Литературен преглед

Прегледът на литературата (глава 3) е извършен следвайки международния опит при провеждането на литературни ревюта. Международните бази данни Scopus и Web of Science (WoS) са използвани при търсенето на литература, а селектираните източници са организирани в предварително оформен таблица, чрез която са извлечени данни са ЕУ, методи, използвани бази данни и др.

За селектирането на РЕУ, използвани при оценката в настоящата дисертация, е използван литературния преглед, както и методиката за картиране и биофизична оценка на състоянието на екосистемите и услугите, които те осигуряват, за прилагане при териториалното и пространствено планиране в Столична община (Sofiaplan 2020a). Методиката идентифицира 12 приоритетни ЕУ, шест от които са регулиращи (Табл. 1). Тези шест ЕУ представляват шест групи ЕУ, които съдържат общо 12 ЕУ.

Таблица 1. Приоритетни регулиращи екосистемни услуги, идентифицирани от Софияплан, и изследвани в дисертацията (Sofiaplan 2020a).

Приоритетни ЕУ	Клас CICES 5.1	Код CICES 5.1	Код CICES 4.1	Дял от литературния преглед (%)
Пречистяване на замърсявания	Биоремедиация чрез микроорганизми, водорасли, растения и животни	2.1.1.1		1.72

	Филтрация, секвестриране, съхранение и акумулация на микроорганизми, водорасли, растения и животни	2.1.1.2		29.31
Ограничаване на шума и други вредни въздействия	Ограничаване на миризми	2.1.2.1		1.72
	Ограничаване на шума	2.1.2.2		18.97
	Визуален скрининг	2.1.2.3		5.17
Защита от наводнения	Регулация на хидроложкия цикъл и водните потоци (вкл. защита от наводнения и на крайбрежията)	2.2.1.3	2.2.2.2/2.2.2.1	62.07
Опрашване и биоразнообразие	Опрашване (или разпространение на гамети в морска среда)	2.2.2.1	2.3.1.1	13.79
	Разпространение на семена	2.2.2.2	2.3.1.1	3.45
Контрол на болести и вредители	Контрол на вредители (вкл. инвазивни чужди видове)	2.2.3.1	2.3.2.1	5.17
	Контрол на болести	2.2.3.2	2.3.2.2	8.62
Регулация на климата	Регулиране на химичния състав на атмосферата и океаните	2.2.6.1	2.3.5.1	75.86
	Регулиране на температура и	2.2.6.2	2.3.5.2	70.69

2.3.2. Преглед на модели и данни

Заедно с прегледът на литературата бе извършен и преглед на данните и моделите. Идентифицирани бяха наличните данни и бяха планирани актуализациите по тях. За целите на дисертацията са използвани InVEST и EnhancES (IMECOGIP).

2.3.2.1. InVEST

Моделът за интегрирана оценка на екосистемни услуги и компромиси (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs, InVEST) е един от най-широко използваните модели за оценяване на ЕУ (Natural Capital Project 2011). Специализираният модул за регулиране на наводненията в урбанизирана среда е Urban Flood Risk Mitigation (UFRM) (Natural Capital Project 2020). Моделът придобива висока разпознаваемост и се прилага в множество различни географски мащаби (Cortinovis et al. 2022).

2.3.2.2. EnhancES (IMECOGIP)

Моделът IMECOGIP toolbox е създаден в рамките на проект “Implementation of the ecosystem services framework in green infrastructure planning for resilient urban development in the Ruhr and in Chinese megacities” (IMECOGIP) (Ruhr-Universität Bochum, Geogr. Institut 2021). Той е разработен за урбанизирани територии, работи в ГИС среда (QGIS) и първата му версия (Alpha Release, IMECOGIP 2021) съдържа шест модула за оценка на ЕУ. Впоследствие, моделът е преименуван на EnhancES, the IMECOGIP Toolbox и броят на оценяваните ЕУ достига до три материални, 11 регулиращи и шест културни (IMECOGIP 2024; Zepp et al. 2025).

За трите използвани в дисертацията модули за оценка на РЕУ, е използван и задължителният модел за предварителна обработка (Preprocessing model) (IMECOGIP 2024). Той се използва за хомогенизиране на входните данни, най-вече на данните за земеползване, а също и за обхвата и качествена проверка. Входните данни включват обхват на изследвания участък (Area of Interest, AOI), земеползване, данни за почвите – воден капацитет, Water Capacity (nFK) и ниво на подземните води, Groundwater Level (GW) (IMECOGIP 2024).

За осигуряването на ЕУ защита от наводнения (CICES 2.2.1.3 Hydrological cycle and water flow regulation (Including flood control, and coastal protection)) е използван модулът на IMECOGIP CICES 2.2.1.3: Waterflow Regulation (Retention Model) (WRRM), който моделира наводнения, предизвикани от единични поройни валежи (Ruhr-Universität Bochum, Geogr. Institut 2021), чрез изчисляване на капацитета за ограничаване на оттока.

За осигуряването на ЕУ филтриране на ФПЧ₁₀ (2.1.1.2 Filtration/sequestration/storage/accumulation by micro-organisms, algae, plants, and animals) е използван модулът на EnhancES CICES 2.1.1.2a: Mediation of traffic-caused pollution (PM₁₀-Tool). Той оценява осигуряването като капацитета на растителната покривка да намалява замърсяването с ФПЧ₁₀, емитирано от трафик на превозни средства (IMECOGIP 2024; Zepp et al. 2025).

За осигуряването на ЕУ регулиране на охлаждането (CICES 2.2.6.2 Regulation of temperature and humidity, including ventilation and transpiration) е използван модулът на EnhancES CICES 2.2.6.2: Temperature Regulation (Cooling Intensity – ET). Чрез него капацитетът за предоставяне на услугата се оценява като количествените измерения на регулирането на температурата като интензитет на охлаждане (Zepp et al. 2023, 2025). Интензитетът на охлаждане се разглежда като намаляването на температурата на въздуха от зелените площи,

в сравнение с т.нар. сива инфраструктура (или запечатаните повърхности) (Zepp et al. 2025). В резултатния слой от моделирането, регулирането на температурата се пресмята като разликата на температура (в Келвин) от доминираната от растителност единица земно покритие, в сравнение с запечатаните (непропускливите) повърхности.

2.4. Задача 2: Анализ и оценка на приложимостта на моделите и базите данни за картиране и оценка на регулиращи екосистемни услуги в урбанизирани територии

2.4.1. Анализ на данните и актуализиране

След анализа на данните беше установена необходимостта от тяхното актуализиране. Актуализирането на геопространствените бази данни включва базите данни за екосистемните типове и базата на Urban Atlas.

2.4.1.1. Актуализиране на екосистемните типове

Различните екосистемните типове бяха обединени в един общо слой. След топологичен анализ бяха установени стотици грешки в базата данни (815 припокривания и 336 празнини). Тези грешки включват припокриване между два или повече екосистемни типа и подтипа, както и празнини между отделните пространствени елементи (Табл. 2).

Таблица 2. Брой идентифицирани припокривания и празнини между екосистемните типове (Petkova et al. 2022).

Екосистемен тип	Екосистемен тип	Грешки при припокривания
Земеделски	Тревни	24
Земеделски	Храстови и ерикоидни	1
Земеделски	Горски	8
Тревни	Горски	36

Екосистемен тип	Екосистемен тип	Грешки при припокривания
Храстови и ерикоидни	Тревни	18
Храстови и ерикоидни	Сладководни	4
Храстови и ерикоидни	Горски	24
Урбанизирани	Земеделски	55
Урбанизирани	Храстови и ерикоидни	56
Урбанизирани	Сладководни	26
Урбанизирани	Горски	563
Общо		815

2.4.1.2. Актуализиране на данните от Urban Atlas

Актуализирането на данните от Urban Atlas е осъществено чрез корекции в пространствената база данни. Те включват промени в класовете и добавяне на подкласове (на ниво 3 и 4). Всички класове са сравнени с екосистемните подтипове и впоследствие рекласифицирани, въз основа на екосистемните подтипове и ортофотоизображения.

2.4.1.3. Последващи подобрения на данните за зелената инфраструктура

Базата данни на Urban Atlas е допълнително подобрена с данни за зелената инфраструктура (Sofiaplan 2020b). Класовете зелена инфраструктура покриват 48% от района на изследване.

2.4.2 Анализ на приложимостта на моделите за оценка на осигуряването на екосистемни услуги

Анализът на приложимостта на моделите е постигнат чрез сравнение на някои от характеристиките на моделите InVEST и IMECOGIP/EnhancES. Ключова част от сравнението е тестването с набор от данни за едно събитие (валеж с период на повторемост веднъж на 20, 100 и 1000 год.).

2.5. Задача 3: Разработване на подход за индивидуална оценка на осигуряване, нужда и баланс на екосистемни услуги

Композитният подход се състои от три групи стъпки, въз основа на оценката на: осигуряване, необходимост (нужда) и баланс на всяка една регулираща екосистемна услуга в урбанизирани територии. Проведени са геопространствени анализи за идентифициране на приоритетни райони с различия в осигуряването и нуждата от съответните ЕУ. Анализите са извършени в ГИС-базираните софтуери (ArcGIS Map 10.6, ArcGIS Pro 3.6.4 и QGIS) и статистически (MS Excel, пространствена геостатистика в ArcGIS Pro 3.6.4).

2.5.1. Осигуряване на екосистемни услуги

2.5.1.1. Данни и моделиране с тях (InVEST, IMECOGIP/EnhancES)

Настоящата дисертация използва концептуалното разбиране на Burkhard et al. (2012) за осигуряването на екосистемни услуги (supply) като капацитета на дадена територия да предоставя определен набор от екосистемни стоки и услуги за определен период от време. Осигуряването на ЕУ е оценено чрез използването на два модела за оценка на ЕУ – InVEST и IMECOGIP/EnhancES.

2.5.1.2. Статистически анализи

А. Нормализиране на данните (скала 0 – 1) (normalization)

За осигуряването на сравнимост и съпоставимост между данните от различни източници, в частност резултатите от моделите, различните входни данни, е използвано нормализирането на данните (Patro and Sahu 2015). Използван е методът минимум-максимум (min-max), следвайки формулата (Формула 1):

$$\text{Normalization}(x) = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \text{ (Формула 1)}$$

Където *Normalization(x)* е нормализираната стойност на клетка/векторен обект; x е стойността на растерната клетка и/или на векторния обект; x_{min} и x_{max} са минималната и максималната стойност на растерната клетка и/или на векторния обект.

В. Средно претеглена стойност

За определянето на конкретните стойности за всеки клас земно покритие са изчислени средните претеглени стойности за всяка от оценките – осигуряване, необходимост и баланс.

2.5.2. Необходимост от осигуряване на екосистемни услуги

Въз основа на дефиницията за необходимост (нужда) (demand) от предоставянето на екосистемни услуги на Burkhard et al. (2012), тя обхваща сумата от всички стоки и услуги, които са използвани в определена територията и за определен период от време. Необходимостта от осигуряването на ЕУ е изследователска празнина, която е установена в редица изследвания (Yao et al. 2021; Stoycheva and Geneletti 2023; Kowalska et al. 2024). Това определя е интегрирането на подходите представени от Morabito et al. (2015) и Popov et al. (2019) за оценка на риска от топлина (heat-related risk). Подходът е приложен за две ЕУ – регулиране на охлаждането и филтриране на ФПЧ₁₀ (глава 6). За оценка на индивидуалният необходимост от осигуряване на ЕУ са интегриране две стъпки: 1) комбиниран индекс на уязвимост и експозиция и 2) индекс на опасност.

2.5.2.1. Комбиниран индекс на уязвимост и експозиция

Индексът на уязвимост, предложен като индекс на уязвимост от топлина от Li and Sun (2023), е модифициран, в съответствие с наличните данни и особеностите на района на изследване. Той включва демографски и социално-

икономически индикатори (Li and Sun 2023), а в адаптираната версия включва:

- 1) дял на населението над 65-годишна възраст (NSI 2023);
- 2) дял на населението под 14-годишна възраст (NSI 2023);
- 3) дял на жените от население (NSI 2023);
- 4) дял на населението с по-ниско от средно образование (UfS 2023);
- 5) среден месечен доход на населението (Sofiaplan 2017).

Индексът на експозиция (EI) (Morabito et al. 2015; Popov et al. 2019) се състои от данни за гъстотата на населението (NSI 2023) за всеки административен район.

Всички данни са изчислени за административен район и нормализирани. При изчисляването на комбинирания индекс, индексът на уязвимост и индексът на експозиция имат тежест от по 50% (глава 6).

2.5.2.2. Индекс на опасност

За изчисляването на индекса на опасността са използвани два подхода за регулиране на охлаждането и филтриране на ФПЧ₁₀ (глава 6). Оценката на индекса на опасност за филтрирането на ФПЧ₁₀ е съставен въз основа на подходите използвани от Baró et al. (2015), Amini Parsa et al. (2019), и Yao et al. (2021). Индексът за опасност за филтрирането на ФПЧ₁₀ е изчислен като функция на максималната концентрация на ФПЧ₁₀ и средногодишните стойности на ФПЧ₁₀ (Формула 2):

$$ESd = EQS - AMV \text{ (Формула 2)}$$

Където *ESd* е необходимостта от осигуряване на услугата, *AMV* е средногодишната стойност на ФПЧ₁₀; *EQS* (environmental quality standards, стандарт за качество на околната среда) е максималната концентрация на ФПЧ₁₀ (средногодишна концентрация не повече от 40 µg/m³) (European Commission 2015).

Индексът на опасност за необходимостта от регулиране на охлаждането е получен чрез данните за интензитет на градския топлинен остров (Sofiaplan 2020c).

2.5.3. Баланс на екосистемни услуги

Балансът на екосистемните услуги е оценен като разлика между осигуряването и необходимостта от тях (Формула 3):

$$\text{Баланс} = \text{Осигуряване} - \text{Необходимост (Формула 3)}$$

2.5.3.1. Геопространствени анализи

Пространствените взаимоотношения на географските данни са характеризирани и анализирани чрез анализи на пространствената автокорелация (Isola et al. 2025). Пространствената автокорелация включва глобална и локална пространствена корелация (Yu and Ma 2025). В глава 6 и 7 са използвани Optimized Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*) и Optimized Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I) в софтуера ArcGIS Pro (ArcGIS Pro 2025a, 2025b) за анализ на групирането и пространствените изключения на баланса на ЕУ.

A. Optimized Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*)

Optimized Hot Spot analysis се използва за идентификация на hot spots (горещи точки) или пространствени клъстери с високи стойности, и на cold spots (студени точки) или пространствени клъстери с ниски стойности на ЕУ (ArcGIS Pro 2025a). Пространствените анализи са приложени в глави 6 и 7.

B. Optimized Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I)

Тази стъпка се изпълнява като допълнителна за подобряване на резултатите от анализа на горещите точки (Optimized Hot Spot Analysis). Анализът Optimized Outlier Analysis позволява оценяването на статистически значимото клъстериране на високи (hot spots/горещи точки) и ниски (cold spots/студени точки), а също така и на клъстери и пространствени изключения (high and low clusters/outliers)

(ArcGIS Pro 2025a). Резултатите от анализа могат да бъдат интерпретирани като синергии между ЕУ (high-high и low-low клъстериране) и компромиси между ЕУ (high-low и low-high пространствени изключения) (Yu and Ma 2025).

2.6. Задача 4: Разработване на интегриран подход за оценка на регулиращи екосистемни услуги, чрез прилагане на многостепенен подход за оценка

Въпреки напредъкът в развитието на генерирането данни за урбанизираните територии (Kwon et al. 2023), наличните данни и приложимостта им все още представляват предизвикателство пред провеждането на комплексна оценка на екосистемите и оценяването на услугите, които те предоставят. Наличието на данни повлиява пряко използването на методите за оценка на ЕУ (Nedkov et al. 2022). В резултат от наличните ограничения, използвахме т.нар. многостепенен подход за оценка шестте приоритетни за София регулиращи екосистемни услуги (Stoycheva and Nedkov 2026b). Подходът е разработен за картиране и оценка на потенциала на природното наследство да осигурява ЕУ от Nedkov et al. (2022). Подходът беше модифициран за урбанизирани територии. Като първа стъпка, подходът за интегрирана оценка на ЕУ беше разработен и приложен тестово за две от шестте РЕУ – регулиране на охлаждането и филтриране на ФПЧ₁₀ (глава 6). Подходът е развит и приложен за шестте РЕУ в София, въз основа на обезпечеността с данни и несигурността, свързана с тях.

Многостепенният подход е конструиран, въз основа на обезпечеността с данни, както и тяхното използване като индикатори за оценка на ЕУ. Той съдържа три нива (tier). Първо ниво (tier 1) се използва за данни без единен източник, като експертната оценка на ЕУ, въз основа на индикатори. На второ ниво (tier 2), оценката на ЕУ се извършва чрез употребата на статистически или данни, съдържащи биофизични

характеристики, както и данни от местни и регионални институции, но без пространствени измерение. Третото ниво (tier 3) обхваща оценка, която се генерира чрез моделиране.

За целите на дисертацията са селектирани шестте приоритетни регулиращи екосистемни услуги: филтриране на ФПЧ₁₀ (2.1.1.2), ограничаване на шума (2.1.2.2), регулиране на наводненията (2.2.1.3), опрашване (2.2.2.1), контрол на вредителите (2.2.3.1) и регулиране на охлаждането (2.2.6.2). Оценката на осигуряването и необходимостта от ЕУ е извършена въз основа на обезпечеността с данни и несигурността. За оценка на представянето на ЕУ ограничаване на шума и контрол на вредителите е използвана експертна оценка (tier 1), докато на ниво 1 е оценена необходимостта от осигуряване на ЕУ опрашване и контрол на вредителите. Необходимостта от ограничаване на шума и осигуряването на опрашването са оценени на ниво 2 (tier 2). Осигуряването и търсенето (нуждата) на ЕУ филтриране на ФПЧ₁₀, регулиране на наводненията и регулиране на охлаждането, са оценени на ниво 3 (tier 3).

Глава 3. Литературен преглед на регулиращите екосистемни услуги в контекста на градското планиране

Резултати от тази глава са публикувани в: Stoycheva V, Geneletti D (2023) A review of regulating ecosystem services in the context of urban planning. Journal of the Bulgarian Geographical Society 48: 27-42. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e93499>

Абстракт

Значението на регулиращите екосистемни услуги (РЕУ) (регулиране на качеството на въздуха, регулиране на температурата и влажността, защита от наводнения) за градското планиране в урбанизираните територии се увеличава с нарастването на тяхното търсене, което предполага

провеждането на комплексен преглед на литературата. Настоящата статия представя литературен преглед в шест стъпки, оценяващ актуалното състояние на изследванията за РЕУ и градското планиране. Прегледът включва 58 статии, подбрани след селектиране на ключови думи, търсене в базите данни, определяне на индикатори и създаване на оценъчна скала и последващите анализи на данните. Фокусът на анализите е насочен към методите за изследване, връзките между РЕУ, градското планиране и зелената инфраструктура. Най-изследваните РЕУ са регулиране на химичния състав на атмосферата и океаните, регулиране на температурата и влажността, вкл. проветривост и транспирация и регулирането на хидроложкия цикъл и водните потоци (защита от наводнения). Въпреки че прегледаните статии, разглеждащи градското планиране са 1/3, резултатите отчитат връзката между РЕУ и градското.

Въведение

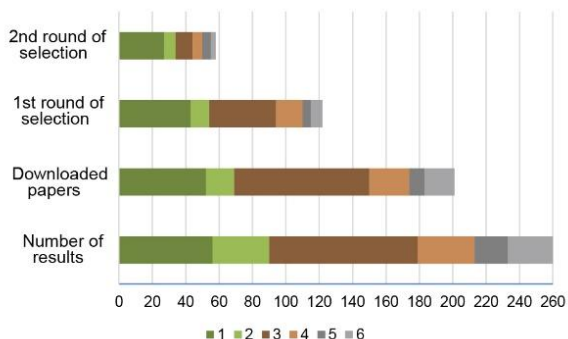
Като едни от най-търсените екосистемни услуги в урбанизирани екосистеми, регулиращите екосистемни услуги (РЕУ) следва да бъдат подробно изследвани. Въз основа на научните изследвания за РЕУ, основната цел на настоящото изследване е да осигури систематизирана информация за РЕУ в урбанизираните екосистеми в контекста на градското планиране, както и да проучи връзките между зелената инфраструктура и методите за тяхната оценка.

Методология

За оценяване на актуалното състояние на изследванията за РЕУ и връзката им с градското планиране и зелената инфраструктура, е проведено литературен преглед, състоящ се от шест стъпки (Фиг. 3.1):

1. избиране на ключови думи;
2. идентифициране на публикациите;
3. първи кръг на проверка – комбинация от ключови думи;

4. втори кръг на проверка (преглед на абстракти);
5. преглед на пълния текст на публикациите, въз основа на критерии за допустимост;
6. анализ на съдържанието на разглежданите публикации.

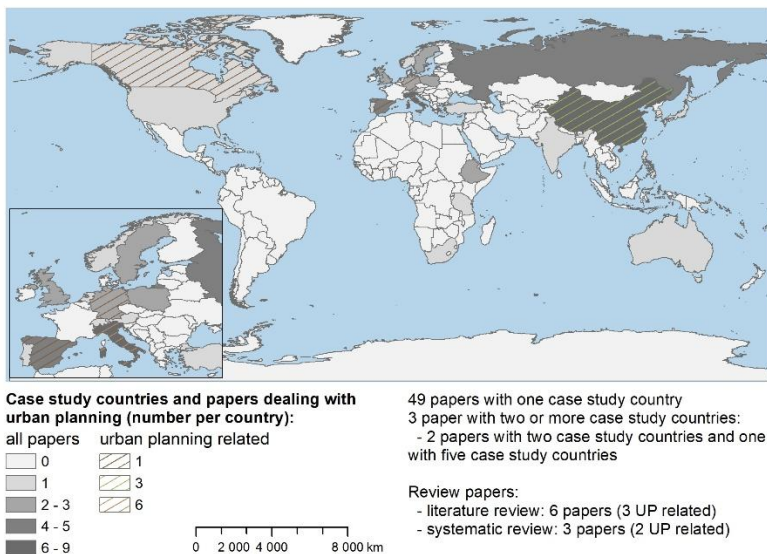


Фигура 3.1. Брой на публикациите на всеки етап (1 – 6) от търсенето на литература.

Резултати

В литературния преглед за включени 58 публикации, които изследват РЕУ в 25 държави (Фиг. 3.2). За по-детайлно проследяване на РЕУ, подробен преглед на използваните методи за оценка е проведен (Фиг. 3.3).

Публикациите, изследващи градското планиране демонстрират връзката между преките методи за оценка и методите за моделиране и предлагат добри практики за управление на територията. Най-изследваните РЕУ са регулиране на химичния състав на атмосферата и океаните, регулиране на температурата и влажността, вкл. проветривост и транспирация и регулирането на хидроложкия цикъл и водните потоци (защита от наводнения).



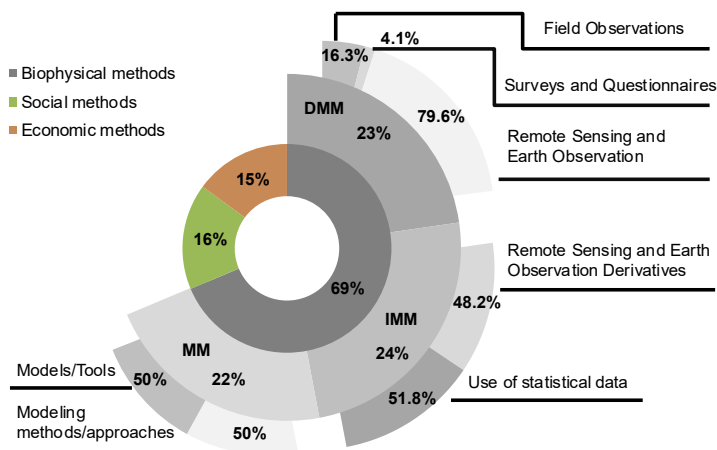
Фигура 3.2. Карта на изследваните райони в публикациите, включени в литературния преглед.

Дискусия

Въз основа на поставената цел е извършен литературен преглед на връзките между РЕУ, зелената инфраструктура и градското планиране. Градското планиране е изследвано в 29% от включени публикации, което представлява идентифицирана празнина в изследванията по темата. Най-висок дял от публикациите, които разглеждат РЕУ и градското планиране, изследват ЕУ 2.2.1.3, 2.2.6.1 и 2.2.6.2 и предлагат добри практики за прилагане в градското планиране. Друго средство за прилагане е използване на принципите за териториално управление.

Най-използваните методи за оценка на РЕУ са биофизичните, като широко приложени имат използването на данни от дистанционни източници. Социалните и икономическите методи нямат значимо разпространение при

оценката на РЕУ, тъй като те не могат да бъдат използвани като заместители на биофизичната оценка (Castillo-Eguskitza et al. 2019).



Фигура 3.3. Методи за оценка на регулиращи екосистемни услуги. Вътрешен кръг – биофизични, социални и икономически методи. Междинен кръг – видове биофизични методи: преки методи за оценка (DMM), непреки методи за оценка (IMM), методи на моделиране (MM). Външен кръг: подвидове DMM, IMM, и MM.

Заклучение

Проучването на връзките между градската зелена инфраструктура, екосистемните услуги, методите за тяхната оценка и градското планиране имат нарастващо значение. Регулиращите екосистемни услуги, като групата с най-голямо значение в урбанизираните екосистеми, имат използват мултидисциплинарния си характер за разрешаване на проблемите в урбанизираните зони.

Значима зависимост се открива между публикации, изследващи набор от РЕУ на ниво град и в мащаб от 30 m. За разлика, услугата регулиране на химичния състава на атмосферата и океаните (2.2.6.1) е изследвана най-широко на

ниво град, а услугата регулиране на температурата и влажността, вкл. проветривост и транспирация (2.2.6.2) предимно е изследвана на ниво гради в по-едър мащаб, между 10 и 30 m.

Резултати демонстрират значителната употреба на биофизични методи за оценка, докато икономическите и социалните се имат ограничено използване в комбинация с биофизичните. Данните от дистанционни източници намират най-широко приложение, тъй като предоставят възможност за сравнимост с други райони на изследване, както и проследяване на сезонните и годишните промени.

Глава 4: Анализ на националната база данни за екосистемите в България: Не(съответствия) в рамката MAES

Резултати от тази глава са публикувани в: Petkova G, Prodanova H, Stoycheva V (2022) Analysis of the national ecosystem database of Bulgaria: (Mis)matches with the MAES framework. Journal of the Bulgarian Geographical Society 47: 73-82. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e99268>

Абстракт

Картирането на екосистемите и важен елемент в Европейската стратегия за биоразнообразие и резултатите от неговото прилагане следва да допринесат за поддържането и възстановяването на екосистемите и услугите, които те предоставят. Качеството на пространствените данни е от ключово значение за постигането на тези цели. Методологичната рамка за картиране в България е съставена от девет отделни методики. Настоящото изследване анализира екосистемните типове в България и ГИС базата данни за оценка на възможностите за развитие на обща база данни за нуждите на интегрираното управление на водите. Анализите на данните включват: 1) анализ на типологията и атрибутивните данни чрез

преглед на таблиците с данни и 2) анализ на пространствените данни чрез използването на топологични правила. Резултатите от изследването открояват три основни проблема при типологията: 1) някои екосистемни типове включват четири нива на детайлност, докато други – три; 2) при някои от екосистемните типове, най-отличително при сладководните екосистеми, различни категории са използвани за едно и също йерархично ниво; 3) съществува дублиране между числовите обозначения на тревните и горските екосистеми. Тези резултати насочват към необходимостта от преглед на типологията и развитие на унифицирана класификация за целите на интегрираната оценка. Топологичните анализи на данните от обединените осем типа екосистеми отчитат значителен брой на празнините и припокриванията. Сред причините за грешните са използването на различни източници на данни за картирането на екосистемните типове. След направените анализи бе установено, че е невъзможно създаването на топологично верен общ ГИС слой от осемте екосистемни типа, поради което е необходимо разработване на нов подход за картиране на всички екосистемни типове в обща база данни.

Въведение

Картирането на екосистемите и важен елемент в Европейската стратегия за биоразнообразие, която поставя за цел страните-членки на ЕС да картират и оценят състоянието на екосистемите и услугите, които те предоставят. Методическата рамка за картиране и оценка на екосистемите и услугите, които те предоставят е разработена в проекта MetEcosMap и включва девет отделни методики (Bratanova-Doncheva et al. 2017). Въз основа на тези методики са проведени картиране и оценка на екосистемите типове за териториите извън Натура 2000. Анализът в настоящото изследва е извършен в два ключови представителни района – басейнът на р. Огоста и София. Изследването е проведено за

осем от деветте екосистемни типа, като единствено морските екосистеми не са включени.

Анализи на базата данни

Анализът на данните е проведен в две направления: 1) атрибутивните данни и класификацията на екосистемните типове, включително йерархичните нива и имена; 2) пространствените данни – геометрия, наличие на празнини и припокривания между осемте ГИС слоя на ниво екосистемен тип, както и на ниво екосистемен подтип. Първичната проверка на табличните и геопространствените данни открио несъответствия между някои екосистемни типове – горски, тревни, сладководни. Идентифицирането и премахването на грешки в пространствената база данни са сред основните задачи, като в изследването са използвани топологичните правила – must not overlap (без припокриване) и must not have gaps (без празнини).

Несъответствия в типологията и атрибутивните данни

Несъответствията между типологията и атрибутивните данни включват: дублиране на цифровите обозначения на горски и тревни екосистемни типове; несъответствия между кодове и имена на екосистемни типове и др.

Несъответствия в пространствените данни

Топологичният анализ е извършен в софтуера ArcGIS, като резултатите включват: 1) статистика в табличен формат, и 2) пространствени векторни данни (полигонални и линейни обекти, представящи празнините и припокриванията).

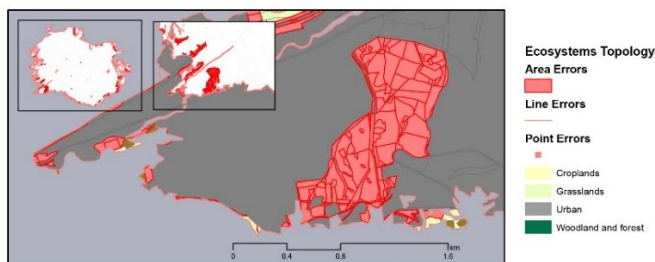
Басейнът на р. Огоста е анализиран в 80% от площта си, поради покритието на Натура 2000 в другите 20%. За басейна на р. Огоста са идентифицирани над 57 000 празнините и припокриванията, с най-голяма честота при земеделските, тревните, храстови и ерикоидни екосистемни типове.

Анализът за София идентифицира значителен брой грешки в периферията на района на изследване. Основната

причина са грешките е наличието на гранични участъци между отделните екосистемни типове, например урбанизирани и тревни и/или земеделски (Фиг. 4.1). Най-висока е честотата на грешките между урбанизирани, земеделски, храстови и ерикоидни припокриващи се с други екосистемни типове (Табл. 2, глава 2). Урбанизираните екосистеми имат най-високо припокриване с горските екосистеми (563 случая от над 700 припокривания общо).

Заклучение и следващи стъпки

Топологичният анализ на обединените слоеве екосистемни типове отчита значително висок брой на празнините и припокриванията. Това може да бъде преодоляно чрез създаване на подход за картиране на всички екосистемни типове в единна пространствена база, въз основа на който да се идентифицират границите на екосистемните типове на ниво 2.



Фигура 4.1. Приближен изглед на празнините и припокриванията в базата данни за София.

Глава 5: Сравнение на представянето на два модела за регулиране на наводнения в урбанизирани територии чрез различни входни данни

Резултати от тази глава са публикувани в: Stoycheva V, Nedkov S (2024) The performance of two urban flood regulation

models using different input data. One Ecosystem 9: e134022.
<https://doi.org/10.3897/oneeco.9.e134022>

Абстракт

Нарастването на проявлението на климатичните промени довежда до повишаване на наводненията в градски условия. Събития с период на повторяемост веднъж на 20 години се случват на всеки две – три години. Основните цели на изследването включват оценяване на ефективността на модели за регулиране на наводнения, чрез използване на различни входни данни и да се сравни тяхното представяне за оценката на осигуряване на защита от наводнения (ОЗН). Оценяване на екосистемата услуга е получено чрез използването на Urban Flood Risk Mitigation (UFRM) от Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) и IMECOGIP Waterflow Regulation (Retention Model) (WRRM). Тези модели работят с данни с отворен достъп, имат кратък период за моделиране и предоставят възможност за работа с резултатите в различни пространствени единици. Върху базата данни бяха извършени някои подобрения, като актуализиране и свързване на екосистемните типове от националното картиране на екосистемите и данните от Urban Atlas, като е предложен и подход за подобряване на надеждността на данните за почвите. Резултатите от двата модела демонстрират различия при оценката на ОЗН. UFRM оценява класовете със застроени площи с различни стойности, вариращи от нисък до среден ОЗН. За разлика от UFRM, WRRM оценява ОЗН в същите класове с еднакви стойности (нисък ОЗН), независимо от промените във валежните количества.

Въведение

Наводненията са сред основните проявления на климатичните промени (UN DESA 2022), като те предизвикват редица щети върху населението и инфраструктурата в урбанизираните територии (IPCC 2023). Картирането на

услугата защита от наводнения може да осигури необходимите данни за определяне на значението на смекчаващата роля на определени територии и по този начин да допринесе за ефективното градско планиране. Защитата от наводнения се основава на функцията на екосистемите да задържат част от постъпващата дъждовна вода в случаите на наводнения (Nedkov and Burkhard 2012). Екосистемната услуга е една от най-често изследваните, като тя е съставна част от редица модели. Моделът InVEST (Urban Flood Risk Mitigation (UFRM)) и IMECOGIP CICES 2.2.1.3: Waterflow Regulation (Retention Model) (WRRM) са двата модела селектирани за оценка на ЕУ, резултат от дъждовни наводнения.

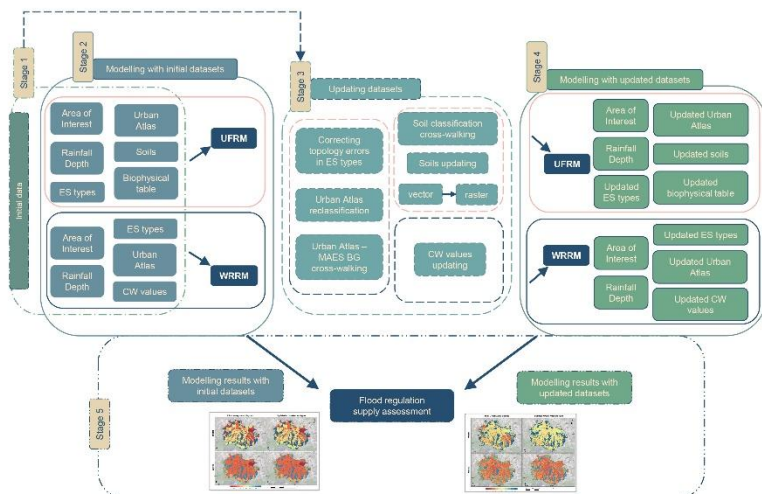
Основната цел на настоящото изследване е да се оцени представянето на моделите, използващи различни входни данни и да бъдат сравнени възможностите за използване на оценката на осигуряване на защита от наводнения (ОЗН). За постигане на целта са извършени следните задачи:

1. събиране на наличните данни с отворен достъп;
2. тестване на моделите с наличните данни;
3. актуализиране на данните;
4. тестване на моделите с актуализираните данни;
5. оценка на осигуряването на защита от наводнение, въз основа на различните данни.

Материали и методи

За постигане на целта е разработен пет-степен подход за оценка на представянето на моделите (Фиг. 5.1). Първият етап включва събиране и анализ на наличните данни с отворен достъп за района на изследване и проучване на моделите и техните характеристики. Вторият етап обхваща първото тестото моделиране със селектираните данните. Третият етап включва актуализиране на данните и понижаване на тяхната несигурност чрез допълнително адаптиране за района на изследване (данни за земеползването, данни за почвените

типове). Етап четири включва моделиране актуализираните данни, а етап 5 обхваща анализа на осигуряването на защита от наводнения (ОЗН).



Фигура 5.1. Концептуална схема на изследването. UFRM – InVEST Urban Flood Risk Mitigation; WRRM – IMECOGIP CICES 2.2.1.3: Waterflow Regulation (Retention Model); CW – коефициент на отток; MAES BG – Картиране оценка на екосистемите и услугите, които те предоставят в България).

Входни данни за моделиране и актуализация

Моделите InVEST и IMECOGIP са селектирани поради свободния достъпност до данни за моделиране с тях и сходството в използваните данни. За ограничаване на несигурността са проведени редица действия по актуализиране на данните и адаптиране към условията на района на изследване. Адаптирането на CN (curve number), използван при моделирането в InVEST, се основава на предложения от Vallecillo et al. (2020) подход за подобряване на данните чрез следната формула (Формула 4):

$$CN_{Total} = 98 \times \left(\frac{Imp}{100}\right) + \left(1 - \frac{Imp}{100}\right) \times CN_{CLC} \text{ (Формула 4)}$$

Където *Imp* е степента на непроницаемост (почвено запечатване) и CN_{CLC} е CN , получен от Vallecillo et al. (2020) без корекции.

Моделиране на защитата от наводнение (InVEST Urban Flood Risk Mitigation и IMECOGIP)

Моделът InVEST UFRM оценява индексът на задържане на оттока (runoff retention index, RRI) въз основа на стойностите на всеки пиксел от използваната класификация за земното покритие/земеползване (Natural Capital Project 2023). Моделът IMECOGIP WRRM оценява капацитетът за ограничаване на оттока (runoff avoidance capacity, CW) за интензивни единични валежи за изследваната територия (Ruhr-Universität Bochum, Geogr. Institut 2021).

Резултати

Резултатите от модела InVEST UFRM включват три параметър на задържане на оттока, които представят задържаното валежно количеството за всеки пиксел (Табл. 3). Стойностите на оттока варират между 0 (без задържане) и 69 mm (цялото валежно количество е задържано в екосистемата). За параметъра на задържане на оттока, тези стойности са трансформирани в количествени (m^3) и нормализирани по скалата от 0 до 1. Индексът на задържане на оттока отразява пространствено разпространение на оттока и се използва за анализ на осигуряването на ЕУ защита от наводнения.

Таблица 3. Връзка между изходните данни от моделите InVEST UFRM и IMECOGIP WRRM. * Резултати, използвани за анализ.

InVEST UFRM		IMECOGIP WRRM	
Outputs	Вид	Изходни данни (резултати)	Вид
Регистър на параметрите	текст (.txt)	Няма прилика	

Задържане на оттока (runoff retention)	растер (без мерна единица)	Частична прилика	
Задържане на оттока (runoff retention)	растер (m ³)	Няма прилика	
Стойност на оттока (runoff values)	растер (mm)	Няма прилика	
Риск от наводнения (flood risk service): - rnf_rt_idx*: средни стойности на оттока за водосборен басейн; - rnf_rt_m3: сума от обема задържат оттока за водосборен басейн; - flood_vol: обемът на наводнението за водосборен басейн; - aff_bld: потенциални щети върху инфраструктура в парична стойност за водосборен басейн; serv_blt: сумата на предотвратените щети за водосборен басейн).	вектор (постоянен)	CW стойности - CW*: от 0 предотвратен отток (avoid runoff) до 1 пълен отток (full runoff); - Площ (A): m ² ; - P (mm): интензитет на валежа (mm = l/m ²); - R_R (km ²): Задържане на оттока (настояще); - R_R_gew (%): Задържане на оттока (настояще) (претеглена стойност); - F_R (km ²): Най-добър сценарий на задържане (целият район на изследване е гора CW = 0.15 и CW = 1 за водни обекти); - F_R_gew (%): Най-добър сценарий на задържане (претеглена стойност); - W_R (km ²): Най-неблагоприятен сценарий (целият район на изследване е със запечатана повърхност CW = 0.9);	вектор (временен и постоянен)
-		ES Balance (екосистемен баланс): стандартизирана скала (от 0 до 1), показваща дефицита на осигуряване на ЕУ, спрямо най-доброто му състояние.	вектор (временен и постоянен)

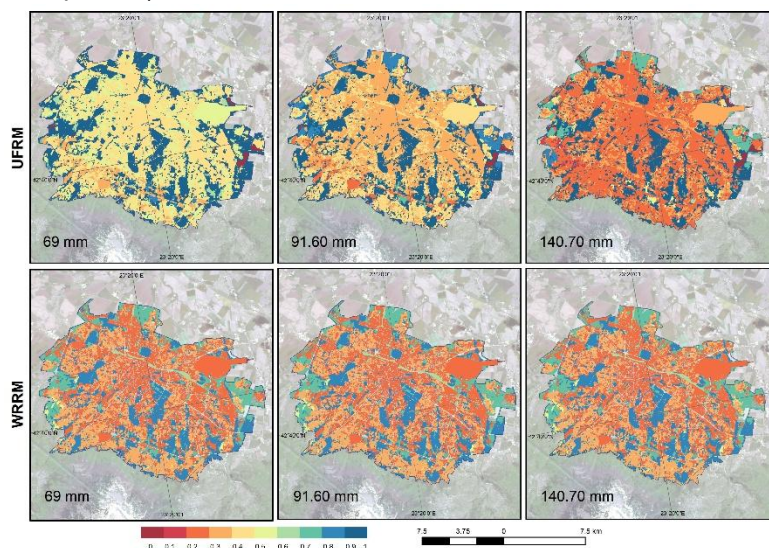
При моделиране с различни валежни сценарии бе установено различие при резултатните слоеве от двата модела. Моделът UFRM отчита промените във валежните количества при моделиране с еднородни данни, докато WRRM не променя

стойностите, отнесени към класовете земно покритие (Фиг. 5.2). Причината за този резултат е използването на данните за земното покритие и CW.

Дискусия

Характеристиките на почвите (вкл. състоянието на водното ниво) влияят върху потенциала за осигуряване на ЕУ защита от наводнения (Zepp et al. 2023). Тъй като входните данни за UFRM включват данните за почвите, процесът по оценяване на услугата е представен с по-малко несигурност, в сравнение с WRRM.

Общо ограничение за двата модела е липсата на интегриране на характеристики на района на изследване, свързани с релефа (надморската височина, наклона на склона). Този подход може да бъде интерпретиран като втора стъпка към верификация (ако първата интерпретирана включва промените в стойностите на CN по отношение на класовете със запечатана повърхност).



Фигура 5.2. Задържане на оттока при различни валежни сценарии.

Заклучение

Настоящото изследване демонстрира как несигурността при моделиране може да бъде ограничена чрез промени във входните данни. Подходът е обективен компромис между точността на данните, достъпността до базите данни и начина на адаптиране към местните условия на района на изследване.

Глава 6: Регулиране на охлаждането и пречистване на ФПЧ₁₀: Подход за интегрирана оценка на осигуряване – нужда – баланс

Резултати от тази глава са налични в: Stoycheva V, Nedkov S (2026) Cooling regulation and PM₁₀ filtration: An approach for integrated supply-demand-balance assessment. Urban Climate (Under review).

Абстракт

В резултат от нарастващите нужди от предоставяне на екосистемни услуги в урбанизираните територии, целта на изследването е да предложи ГИС-базиран подход за оценка на осигуряване – нужда – баланс на регулиране на охлаждането и пречистване на ФПЧ₁₀ и да анализира как ЕУ са пространствено свързани. Изследването използва регулирането на охлаждането като заместител (проху) на регулирането на локалния климат и пречистване (филтриране) на ФПЧ₁₀ като заместител на ЕУ пречистване на въздуха, за да осигури възможност за наличие на индикатори, чрез които да бъде оценена капацитета на зелената инфраструктура за поддържане на качеството на живот в градски условия. Осигуряването на ЕУ е оценено чрез моделиране с EnhancES, (IMECOGIP Toolbox), а предложеният ГИС подход за оценка на нуждата от ЕУ включва индекси за рис и опасност, както и пространствени и статистически анализи. Класовете земно покритие могат да предоставят положителен или отрицателен

баланс, в зависимост от географското положение и разположението в или извън „гореща точка“, „студена точка“, клъстер или изключение. За района на изследване, пречистване на ФПЧ₁₀ се отличава с по-висока тежест при формирането на комбинираната отрицателна оценка на баланса, спрямо регулирането на охлаждането. Този резултат следва високата нужда от услугата и относително ниското ѝ осигуряване.

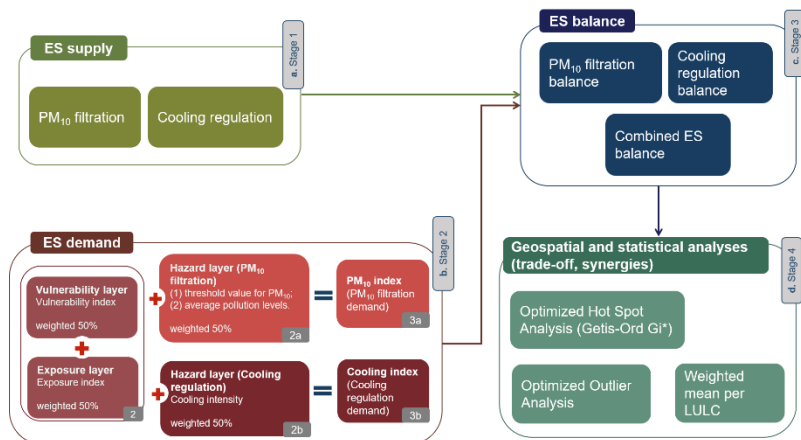
Въведение

Градската зелена инфраструктура осигурява разнообразие от регулиращи екосистемни услуги (РЕУ), като някои от тях като пречистване на въздуха и регулиране на локалния климат, са пряко свързани с човешкото здраве. За оценяване на капацитета на зелената инфраструктура за поддържане на качеството на живот в градски условия са използвани регулирането на охлаждането като заместител (проху) на регулирането на локалния климат и пречистване (филтриране) на ФПЧ₁₀ като заместител на ЕУ пречистване на въздуха.

Основната цел на изследването е да предложи ГИС-базиран подход за оценка на осигуряване – нужда – баланс на регулиране на охлаждането и пречистване на ФПЧ₁₀. Задачите в изследването включват: i) идентифициране на пространственото разпространение зоните за осигуряване, нужда на ЕУ; (ii) проучване на пространствените връзки между ЕУ; (iii) определяне дали тези взаимодействия довеждат до синергии или компромиси.

Методи

Предложеният подход се състои от четири етапа (Фиг. 6.1): 1) оценка на осигуряването на ЕУ, 2) оценка на нуждата от ЕУ, 3) оценка на баланса на ЕУ и 4) пространствени и статистически анализи (компромиси и синергии).



Фигура 6.1. Концептуална схема на изследването.

Първият етап включва оценка на осигуряването на ЕУ чрез използване на моделиране с EnhancES (IMECOGIP 2024). Моделирането на пречистване на ФПЧ₁₀ (CICES 2.1.1.2a: Mediation of traffic-caused pollution (PM₁₀-Tool)) се оценява като капацитета на растителното покритие да ограничава замърсяването с ФПЧ₁₀, резултат от трафика. EnhancES пресмята потенциалното ограничение на ФПЧ₁₀ въз основа на средните месечни концентрации на ФПЧ₁₀. Моделирането на регулиране на охлаждането (CICES 2.2.6.2: Temperature Regulation (Cooling Intensity – ET)) се извършва чрез оценяване на регулирането на температурата от растителността в резултат от евапотранспирацията (Zepp et al. 2025).

Вторият етап включва оценка на нуждата от ЕУ, която се осъществява чрез адаптиране на подходите на Morabito et al. (2015) и Rorov et al. (2019) за оценяване на топлинния риск. Подходът е адаптиран чрез интегриране на индексите за експозиция (exposure), уязвимост (vulnerability) и опасност (hazard) в единен композитен индекс. Индексът на уязвимост, предложен като индекс на топлинна уязвимост (Li and Sun 2023), е модифициран в съответствие с особеностите на

района на изследване и включва демографски и социално-икономически индикатори: 1) дял на населението над 65-годишна възраст; 2) дял на населението под 14-годишна възраст; 3) дял на жените от население; 4) дял на населението с по-ниско от средно образование; 5) среден месечен доход на населението.

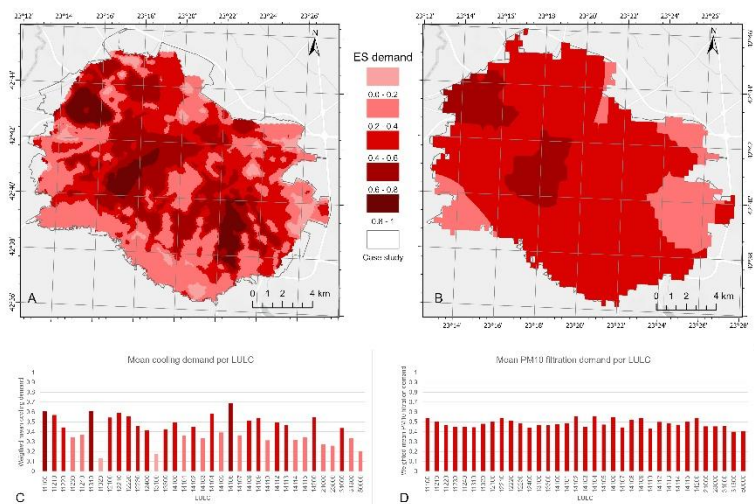
Индексът на експозиция (Morabito et al. 2015; Popov et al. 2019) се състои от данни за гъстотата на населението за всеки административен район. Всички данни са изчислени за административен район и нормализирани. При изчисляването на комбинирания индекс, индексът на уязвимост и индексът на експозиция имат равна тежест.

Оценката на индекса на опасност за филтрирането на ФПЧ₁₀ е съставен въз основа на подходите използвани от Varó et al. (2015), Amini Parsa et al. (2019) и Yao et al. (2021). Индексът е изчислен като функция на максималната концентрация на ФПЧ₁₀ и средногодишните стойности на ФПЧ₁₀. Индексът на опасност за нуждата от регулиране на охлаждането е получен чрез данните за интензитет на градския топлинен остров (Sofiaplan 2020c).

Балансът е оценен като разлика между осигуряването и нуждата от ЕУ. Пространствените връзки са оценени чрез анализ в ГИС на разпространението на връзките между ЕУ чрез Optimized Hot Spot analysis Optimized Outlier Analysis.

Резултати

Осигуряването на регулиране на охлаждането и пречистване на ФПЧ₁₀ е резултат от елементите на зелената инфраструктура (Фиг. 6.2). Най-висок капацитет за охлаждане имат класовете земно покритие зелена и синя инфраструктура, а с най-нисък са класовете 11310 (0.0), 11210 (0.03) и 12100 (0.04).



Sources: Esri, TomTom, Garmin, FAO, NOAA, USGS, © OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Фигура 6.3. Нужда от (търсене на) екосистемни услуги. **А** регулиране на охлаждането **В** пречистване на ФПЧ₁₀ **С** средни стойности на нуждата от регулиране на охлаждането по класове земно покритие **Д** средни стойности на нуждата от пречистване на ФПЧ₁₀ по класове земно покритие.

Балансът между регулирането на охлаждането и пречистването на ФПЧ₁₀ е оценен чрез равни тежести на данните са осигуряване и нужда (Фиг. 6.4). Балансът на регулиране на охлаждането отчита положителни стойности, докато балансът на пречистването на ФПЧ₁₀ се отличава с отрицателни стойности за почти всички класове земно покритие. Значителни са разликите при стойностите на баланса в т.нар. „горещи и студени точки“. Когато са в границите на клъстери от студени точки, зелените зони са пространствено свързани (с преобладаващ отрицателен баланс), докато това не се отнася за големите по площ зелени зони, които формират близък до положителния баланс (напр. Борисова градина). Изключение правят и някои класове, като крайречната

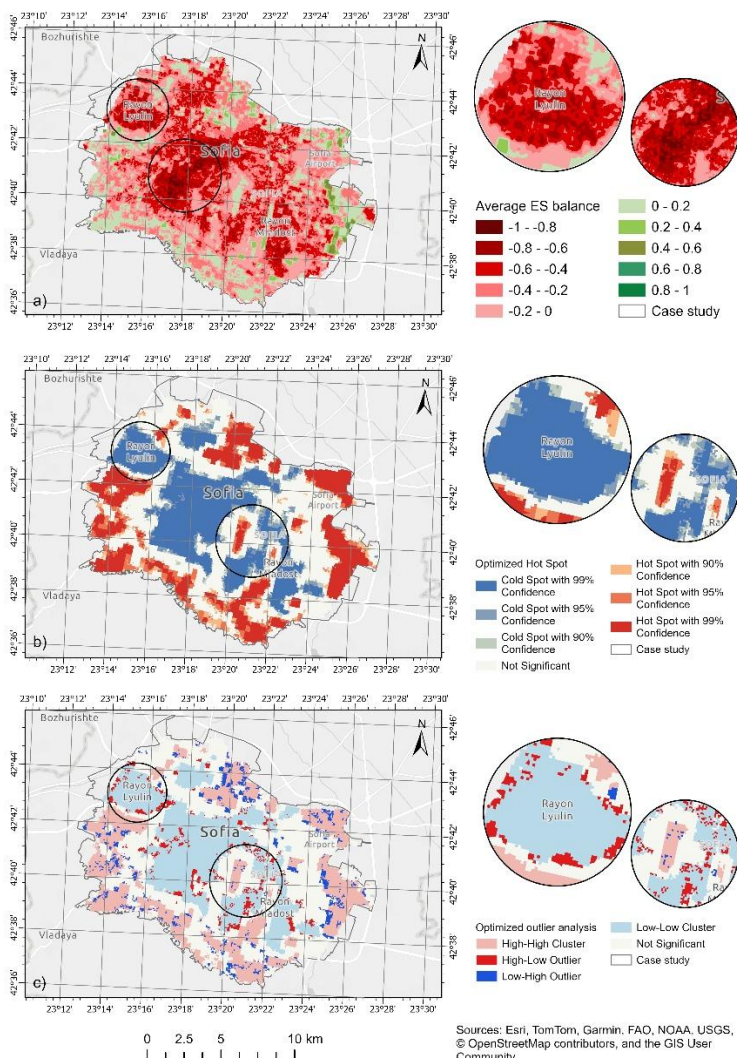
растителност (14105), растителността в гробищните паркове (14103) и растителността в отделни жилищни имоти (14107).

Дискусия

Подобрения на подхода включват прилагане на сценарии, особено такива съдържащи природно-базираните решения; интегриране на сценариите за климатични промени (климатични проекции SSP2-4.5 и SSP5-8.5) и проучване на възможностите за интегриране на концепцията за т.нар. „зелени клинове“.

Заклучение

Изследването предлага ГИС-базиран подход за оценка на търсенето и нуждата от ЕУ, както и анализ на баланса, компромисите и синергиите. Резултатите демонстрират по-високата тежест и отрицателен баланс на ЕУ пречистването на ФПЧ₁₀, спрямо регулирането на охлаждането, което е резултат от високото търсене и ограниченото осигуряване на услугата.



Фигура 6.4. Комбиниран анализ на регулиране на охлаждането и пречистване на ФПЧ₁₀. **А** баланс на ЕУ **В** Optimized Hot Spot Analysis **С** Optimized Outlier Analysis.

Глава 7: Многостепенен подход за интегрирана оценка на регулиращи екосистемни услуги: София, България

Резултати от тази глава са налични в: Stoycheva V, Nedkov S (2026) A multi-tiered approach for integrated assessment of regulating ecosystem services: A case study of Sofia, Bulgaria. *Acta geographica Slovenica* (Подаден).

Абстракт

Изследването оценява пространствено разпространение на шест приоритетни екосистемни услуги в урбанизирани условия. Оценката е извършена чрез прилагането на многостепенен подход въз основа наличните данни и приложимостта им за ЕУ пречистване на замърсявания, ограничаване на шума, защита от наводнения, опрашване, контрол на вредители и регулиране на локалния климат. За всяка ЕУ са приложени анализи за осигуряване, нужда, баланс и пространствени за изясняване на зависимостите между отделните услуги. Нуждата от предоставяне на шестте ЕУ е висока, като някои от териториите с високи стойности се припокриват, за разлика от зоните на осигуряване, при които се отличава по-широко разпространение. Значими са пространствените връзките между регулиране на локалния климат и пречистване на замърсявания, както и между контрол на вредители и ограничаване на шума. Въпреки ограниченията на подход при моделиране и експертна оценка, той може да бъде интегриране при планиране на управлението на територията.

Въведение

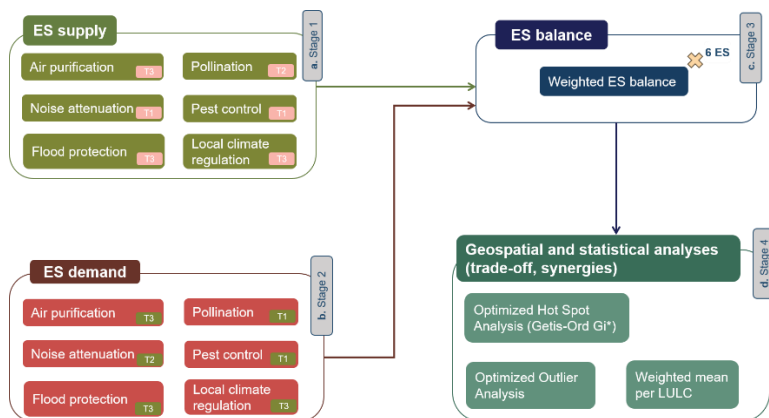
Изследването на регулиращите екосистемни услуги се извършва посредством множество подходи. Основните от тях изследват единствено осигуряването (Stoycheva and Geneletti,

2023; Kowalska et al. 2024), а нуждата (търсенето) не се разглежда, или се оценява въз основа на данни за населението.

Основната цел на изследването е да предложи подход за многостепенен подход за интегрирана оценка на РЕУ: (i) създаване на многостепенен поход за интегрирана оценка на ЕУ; (ii) идентифициране на пространственото разпределение на осигуряване и нужда от ЕУ; (iii) анализиране на пространствените връзки между ЕУ.

Методи

Методологичния подход интегрира многостепенния подход предложен от Nedkov et al. (2022) и подходът за оценка на осигуряване – нужда – баланс (Stoycheva and Nedkov 2026a) (Фиг. 7.1) и включва четири етапа: 1) оценка на осигуряването на ЕУ, 2) оценка на нуждата от ЕУ, 3) оценка на баланса на ЕУ и 4) пространствени и статистически анализи.



Фигура 7.1. Методологичен подход за изследването.

Изследването оценява шест РЕУ (Табл. 1), които са избрани в резултат от проведен литературен преглед (Stoycheva and Genelleti 2023) и от резултатите от непубликуваната методика за картиране и биофизична оценка

на състоянието на екосистемите и екосистемните услуги, с цел планиране и информирано управление на териториалното и пространственото планиране в Столична община (Sofiaplan 2020a).

Таблица 1. Приоритетни регулиращи екосистемни услуги, нива и модели за оценка.

Приоритетни ЕУ	CICES 5.1 клас	Ниво (tier) (осигуряване)	Подход за оценка (осигуряване)	Ниво (tier) (неужда)	Подход за оценка (неужда)
Пречистване на замърсявания	2.1.1.2 Филтрация, секвестриране, съхранение и акумулация на микроорганизми, водорасли, растения и животни	3	EnhancES CICES 2.1.1.2a: Mediation of traffic-caused pollution (PM ₁₀ -Tool)	3	Пространствен заместител (Spatial proxy)
Ограничаване на шума	2.1.2.2 Ограничаване на шума	1	Експертна оценка	2	Статистически данни
Защита от наводнения	2.2.1.3 Регулация на хидроложкия цикъл и водните потоци (вкл. защита от наводнения и на крайбрежията)	3	1) InVEST Urban Flood Risk Mitigation 2) IMECOGIP (EnhancES) CICES 2.2.1.3: Waterflow Regulation (Retention Model)	3	Пространствен заместител (Spatial proxy)
Опращане	2.2.2.1 Опращане (или разпространение на гамети в морска среда)	2	Пространствен заместител (Spatial proxy)	1	Експертна оценка
Контрол на вредители	2.2.3.1 Контрол на вредители (вкл. инвазивни чужди видове)	1	Експертна оценка	1	Експертна оценка
Регулиране на локалния климат	2.2.6.2 Регулиране на температура и влажността, включително охлаждане и транспирация	3	EnhancES CICES 2.2.6.2: Temperature Regulation (Cooling Intensity - ET)	3	Пространствен заместител (Spatial proxy)

Осигуряването на ЕУ пречистване на замърсявания е оценено на ниво 3, въз основа на резултатите от модела EnhancES CICES 2.1.1.2a: Mediation of traffic-caused pollution (PM₁₀-Tool) (Stoycheva and Nedkov 2026a). Осигуряването на ограничаване на шума е оценено чрез експертна оценка (ниво 1), отчитайки функционалните особености на ЕУ, при която градската зелена инфраструктура, нейните размери, форма и гъстота. Осигуряването на ЕУ защита от наводнения е оценено на ниво 3, въз основа на резултатите от Stoycheva and Nedkov (2024), използващи модела IMECOGIP CICES 2.2.1.3: Waterflow Regulation (Retention Model) (WRRM). Осигуряването на ЕУ опрашване е оценено на ниво 2 чрез пространствен заместител. Използвани са данни статистически и пространствени данни за брой и разположението на пчелните кошери. Осигуряването на ЕУ контрол на вредители е оценено на ниво 1 (експертна оценка), отчитайки особеностите на услугата. Осигуряването на регулиране на локалния климат е оценено на ниво 3 с резултати от модела EnhancES CICES 2.2.6.2: Temperature Regulation (Cooling Intensity – ET) (Stoycheva and Nedkov 2026a).

Нуждата от предоставянето на ЕУ е оценена на нива 1, 2 и 3. Нуждата от опрашване и контрол на вредителите са оценени чрез експертна оценка (ниво 1). Нуждата от ограничаване на шума е оценена чрез пространствен заместител (ниво 2), а на ниво 3, чрез използване на модифициран подход за експозиция, уязвимост и опасност, е оценена нуждата от ЕУ пречистване на замърсяванията, защита от наводнения и регулиране на локалния климат.

Балансът на шестте ЕУ е пресметнат по формулата (Формула 5):

$$\text{Баланс} = (\text{Баланс}_{\text{(пречистване на замърсявания)}} + \text{Баланс}_{\text{(ограничаване на шума)}} + \text{Баланс}_{\text{(защита от наводнения)}} + \text{Баланс}_{\text{(опрашване)}} + \text{Баланс}_{\text{(контрол на вредители)}} + \text{Баланс}_{\text{(регулиране на локалния климат)}}) / 6 \text{ (Формула 5)}$$

За установяване на връзките между ЕУ са използвани пространствените и статистическите анализи, включващи Optimized Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*) и Optimized Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I). За целите на изследването, клъстерите (high-high и low-low clustering) са интерпретирани като синергии, а изключенията (outliers) (high-low и low-high outliering) са интерпретирани като компромиси (trade-offs) (Yu and Ma 2025).

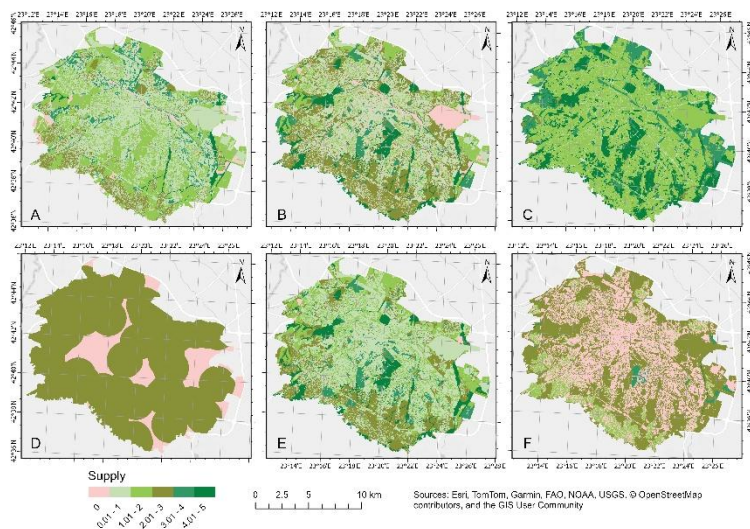
Резултати

Осигуряването на ЕУ се отличава с различия за шестте услуги (Фиг. 7.2). Най-високо е осигуряването на ЕУ опрашване (3.00), докато с най-ниска стойност се отличава регулиране на локалния климат (1.64). ЕУ пречистване на замърсявания (Фиг. 7.2А) се отличава с ниски стойности на осигуряване, въпреки по-високите стойности на някои от класовете зелена инфраструктура (гробещни паркове (2.99), растителността в отделни жилищни имоти (2.77) и иглолистни гори (2.71)). Осигуряването на ЕУ ограничаването на шума (Фиг. 7.2В) се отличава с високи стойности за класовете с по-ниско антропогенно натоварване (14101 и 14105). Осигуряването на ЕУ защита от наводнения (Фиг. 7.2С) се характеризира с високи стойности за класовете 14100, 31300 и 50000. Осигуряването на ЕУ опрашване (Фиг. 7.2D) се отличава с високи стойности в класовете със смесено съотношение между застроени площи и зелени пространства (11210), докато ЕУ контрол на вредители (Фиг. 7.2Е) е свързана с разпространението на зелената инфраструктура.

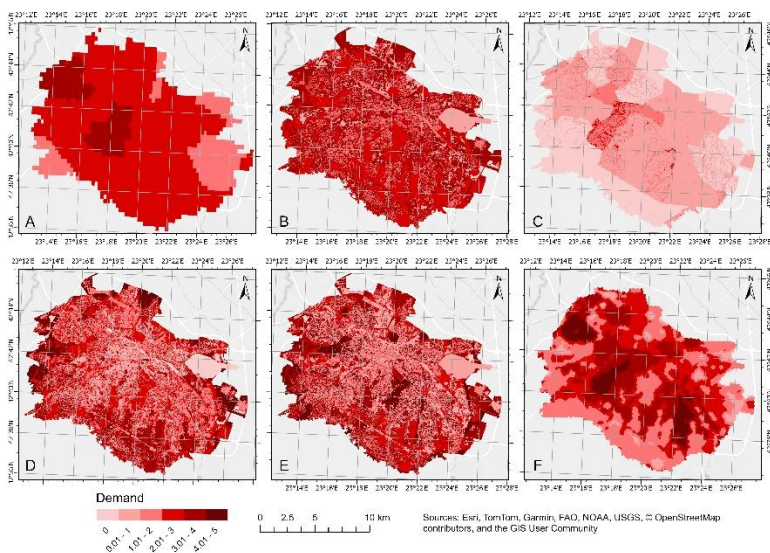
Нуждата от предоставяне на ЕУ се отличава с високи стойности за всички услуги, с изключение на защита от наводнения (Фиг. 7.3). Нуждата от ЕУ пречистване на замърсявания (Фиг. 7.3А). е най-висока в районите Люлин, Възраждане, Красно село и Триадица. Нуждата от ограничаване на шума (Фиг. 7.3В) е свързана с класовете,

характеризиращи се с трафик (12210, 12220), както и териториите от клас 12100. Нуждата от защита от наводнения (Фиг. 7.3C) се отличава с ниски стойности, които са равномерни разпределени в района на изследване. Високите стойности на нуждата от ЕУ опрашване (Фиг. 7.3D) са свързани с териториите с естествена или полуестествена растителност, както и клас 14104. Сходна е оценката за нуждата от контрол на вредители (Фиг. 7.3E). Нуждата от регулиране на локалния климат е (Фиг. 7.3F) се отличава с високи стойности за класовете с висок дял за запечатани повърхности – 11100 и 11210.

Балансът на ЕУ (Фиг. 7.4) отчита отрицателни стойности за пет от шестте услуги, като единствено ЕУ защита от наводнения има положителен баланс (1,97).



Фигура 7.2. Осигуряване на екосистемни услуги. **А** пречистване на замърсявания **В** ограничаване на шума **С** защита от наводнения **Д** опрашване **Е** контрол на вредители **Ф** регулиране на локалния климат.



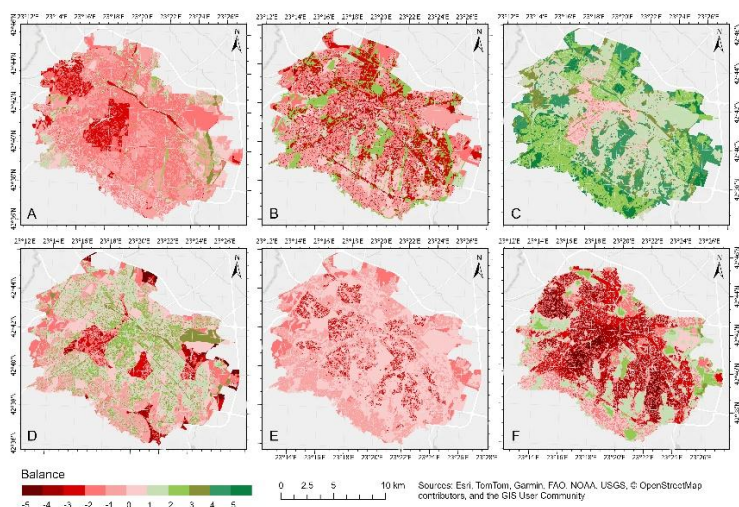
Фигура 7.3. Нужда от (търсене на) екосистемни услуги. **А** пречистване на замърсявания **В** ограничаване на шума **С** защита от наводнения **Д** опрашване **Е** контрол на вредители **Ф** регулиране на локалния климат.

Пространствени връзки между ЕУ (Фиг. 7.5.) се установяват чрез концентриране им в „горещи точки“. Такива клъстери от положителен баланс включват класове зелена инфраструктура – крайречна растителност, гробищни паркове и т.н. Клъстерирането или групирането на класове със сходни стойности се установява и за класове с отрицателни стойности на общия баланс на ЕУ. Тези територии включват части от районите Люлин, Възраждане, Красно село, Триадица, Младост и Дружба.

Дискусия

Предложеният подход за оценка на регулиращи екосистемни услуги се отличава с някои ограничения. Те са свързани с пространствената основа, която се използва за основа на оценките за ЕУ; приложението на матричния подход за оценка на ЕУ и използването експертна оценка. Чрез подхода

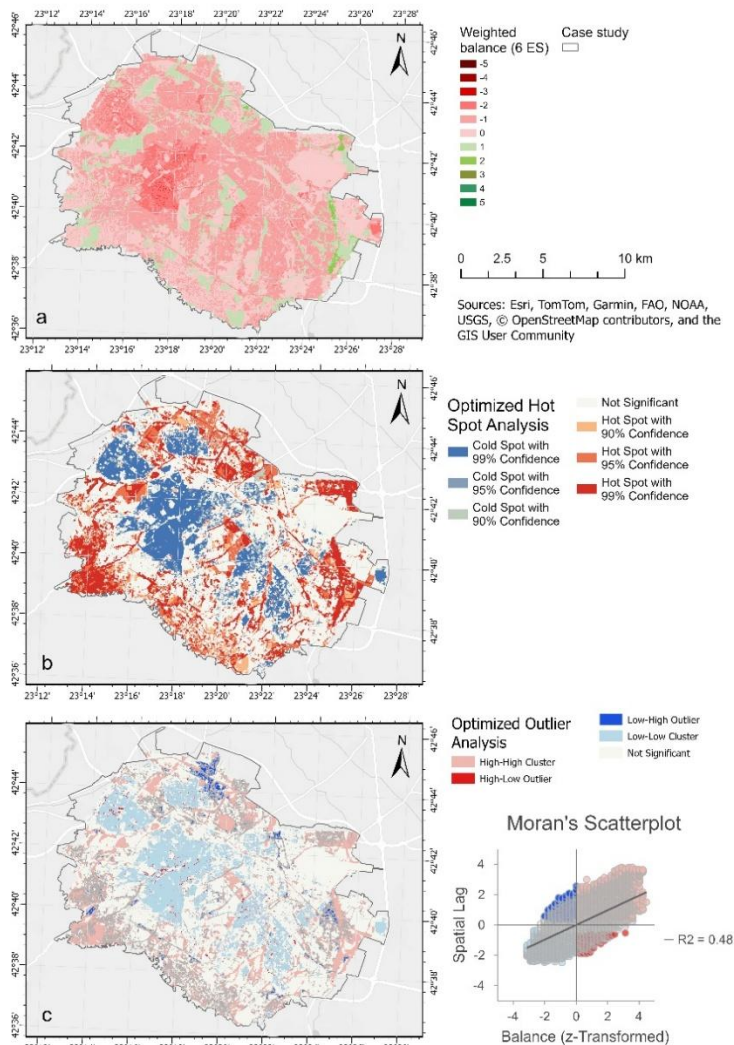
се идентифицират уязвимите територии за осигуряване, нужда, баланс на ЕУ, както техните взаимовръзки – синергии и компромиси. Териториите с висок дял на запечатаните повърхности се отличават с по-ограничено осигуряване на някои от услугите, като регулиране на локалния климат и пречистване на замърсяванията.



Фигура 7.4. Баланс на екосистемни услуги. **А** пречистване на замърсявания **В** ограничаване на шума **С** защита от наводнения **Д** опрашване **Е** контрол на вредители **Ф** регулиране на локалния климат.

Заклучение

Изследването предлага многостепенен подход за интегрирана оценка на РЕУ в урбанизирани територии при ограничения на данните. Оценени са шест ЕУ – пречистване на замърсявания, ограничаване на шума, защита от наводнения, опрашване, контрол на вредители и регулиране на локалния климат и са идентифицирани уязвимите територии по отношение на баланса на осигуряване и предоставяне на тези услуги.



Фигура 7.5. Пространствени анализи. **А** Средна претеглена стойност за сумарния баланс на ЕУ **В** Optimized Hot Spot Analysis на средната претеглена стойност на сумарния баланс **С** Optimized Outlier Analysis на средната претеглена стойност на сумарния баланс.

Глава 8: Синтез

8.1. Основни резултати и отговори на целта и поставените задачи

В отговор на основната цел и изследователски въпрос – как да се разработи подход за интегрирана оценка на регулиращите екосистемни услуги в урбанизирани територии, настоящата дисертация представя разработването на такъв подход, чрез който приоритетни РЕУ за района на изследване са оценени. Чрез литературния преглед (глава 3) и анализ на нуждите на изследвания район, се идентифицират РЕУ, които са оценени в глави 4 – 7. Резултатите в глава 5 демонстрират различията в използваните модели и влиянието, което данните оказват върху крайните резултати от моделирането. Подходът за интегрирана оценка на РЕУ е тестван за две услуги – регулиране на охлаждането и филтриране на ФПЧ₁₀ (глава 6), и надграден с интегрирането на подход за оценка на търсенето на тези РЕУ. Впоследствие, подходът е приложен за оценка на шест приоритетни РЕУ за района на изследване.

8.1.1. Литературен преглед

Регулиращите ЕУ са идентифицирани като най-значимите в урбанизираните екосистеми, въз основа на което, техният основен източник (зелената и синята градска инфраструктура) следва да бъде проучен. В резултат е проведен литературен преглед за идентифициране на РЕУ. Резултатите от литературния преглед определят най-широко изследваните РЕУ, които съответстват на идентифицираните от IPBES преки фактори, определящи промените в биоразнообразието и ЕУ, които се проявяват в урбанизирани условия като екстремни явления на топлинни вълни, наводнения, замърсяване, инвазивни чужди видове и промени в земеползването. Идентифицираните пропуски по отношение

на търсенето на ЕУ, компромисите и синергиите са интегрирани в съставения подход за оценка.

8.1.2. Анализ и оценка на приложимостта на моделите и базите данни

Втората задача включва анализ, оценка и селекция на модели и данни за оценка на осигуряването, търсенето и баланса на ЕУ. Наличните геопространствени бази данни (екосистемни типове и Urban Atlas) са анализирани, актуализирани и интегрирани в обща база данни. Допълнителните промени по базата данни (глава 5) включват интегрирането на класовете зелена инфраструктура (глави 4 – 7). За целите на дисертацията и конкретните задачи са избрани двата модела InVEST и EnhancES. Използвани са техните модули, в съответствие с всяка РЕУ, като за оценката на шестте РЕУ (глава 7) е използван EnhancES.

8.1.3. Разработване на подход за индивидуална оценка на осигуряване, нужда и баланс на ЕУ

Резултатите от литературния преглед идентифицираха методите за оценка на ЕУ. Те включват непреки и преки методи за оценка, моделиране, комбинирано използване на данни от дистанционни източници и статистически данни. Въз основа на този резултат, са избрани InVEST и EnhancES (глави 5 – 7) за оценка на предоставянето, а за оценката на търсенето и липсата на единен подход, са адаптирани съществуващите такива за изследваните РЕУ и района на изследване (включване на индикатори за уязвимост, експозиция и опасност) (глави 6, 7). Чрез този подход, оценката на търсенето на ЕУ интегрира биофизичния и социално-икономическия характер на търсенето на услугите. За пространствените анализи са използвани Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*) и Optimized Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I).

8.1.4. Разработване на интегриран подход

Цялостната интеграция на литературния преглед, прегледа на моделите и данните, тяхното прилагане за оценка и формиране на подхода за оценка на осигуряване – търсене – баланс е приложен в дисертацията чрез използването на многостепенния подход за оценка на РЕУ в урбанизирани територии (глава 7). Въз основа на прегледа на моделите и данните, бе установено, че не всички приоритетни РЕУ могат да бъдат оценени на ниво 3 (моделиране) поради редица ограничения (липса на модели за оценка на осигуряването, липса на модели за оценка на търсенето, липса на данни и др.). В резултат, осигуряване на пречистването на въздуха, регулирането на наводнения и регулиране на охлаждането са оценени на ниво 3 (моделиране), докато търсенето на тези услуги е извършено на ниво 3, но чрез пространствен заместител (spatial proxy) (глава 7).

Другите три РЕУ – ограничаване на шума, опрашване и контрол на вредителите са оценени чрез многостепенния подход. За всяка ЕУ е направен преглед на наличните данни и е селектирано нивото за оценка (tier). Поради особеностите на ЕУ контрол на вредителите, осигуряването и търсенето на услугата са оценени експертно (ниво 1). За услугата ограничаване на шума и опрашване, са комбинирани нива 1 и 2 за оценка на осигуряване и търсене. За осигуряването на ЕУ ограничаване на шума е приложена експертна оценка (ниво 1), а за търсенето е използвано ниво 2 – данни от мониторинговите станции на шума. Осигуряването на ЕУ опрашване е извършено чрез използване на пространствен заместител, но поради повисокото ниво на несигурност на данните, те са отнесени към ниво 2 (Nedkov et al. 2022; Walther et al. 2025). Търсенето на услугата е оценено чрез експертна оценка (ниво 1).

8.2. Ограничения и несигурност на използваните методи

Ограниченията и несигурността на използваните методи са свързани с осигуреността с данни, качеството на данните, процесите на моделиране, геопространствената база данни и експертната оценка. В дисертацията е идентифицирана несигурността, произлизаща от моделирането. Тъй като моделите представляват опростена представа на действителността (Wübbelmann et al. 2022), моделите, които оценяват ЕУ не се различават в това отношение. Въпреки че са използвани данни с достоверен източник, в процеса на обработването им бяха открити пропуски, като пропуски в редиците от данни, липса на покритие за определени територии и т.н. Въпреки това, бяха проведени допълнителни действия за ограничаване на несигурността, чрез данни от гражданската наука.

8.3. Възможности за развитие на изследването

Предложенията подход за оценка на ЕУ може да бъде развит в следните направления: използване на сценарии, особено за приложение на природно базирани решения (Chen et al. 2025) в уязвимите територии с отрицателен баланс; надграждане чрез интегриране на друг модел за оценка на ЕУ; допълнителни проучвания на т.нар. „зелени клинове“ (Stoycheva 2017); включване на екосистемните вреди (ecosystem disservices) и др.

8.4. Приноси на дисертационния труд

1. В резултат от проведения комплексен литературен преглед са определени приоритетните регулиращи екосистемни услуги. Методите за тяхната оценка, както и специфичните особености по тяхното прилагане са систематично анализирани.

2. Разработени са подходи за пространствен анализ за оценка на осигуряването (предоставянето) и търсенето

(нуждата) за три приоритетни регулиращи екосистемни услуги. За оценката на осигуряването са използвани специализирани модели за оценка на екосистемни услуги (InVEST и EnhancES), които са допълнително адаптирани за България. За оценка на търсенето на екосистемни услуги е разработен подход, въз основа на съществуващите подходи за оценка, като той е адаптиран за изследваните екосистемни услуги, чрез интегрирането на композитен индекс, съдържащ индикатори за уязвимост, експозиция и опасност.

3. Разработен е многостепенен подход за интегрирана оценка на екосистемни услуги в урбанизирани екосистеми, въз основа на методичната рамка за картиране и оценка на екосистемите и услугите, които те предоставят MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services). Аprobацията на предложениия подход е демонстрирана чрез оценка на шест приоритетни регулиращи екосистемни услуги за София.

4. Предложен е подход за идентифициране на компромиси и синергии между екосистемните услуги чрез ГИС-базираните анализи Hot Spot и Outlier analysis.

5. Разработена е пространствена база данни за района на изследване чрез интегриране на различни източници. Конструирването му се основава на съпоставянето на различните класификации на земното покритие, включително националната база за екосистемните типове, класовете от Urban Atlas и земното покритие CORINE Land Cover.

Приноси 1, 2 и 3 имат преобладаващо научен характер, а приноси 4 и 5 – практически.

8.5. Заключение

Екосистемните изследвания в България са обект на изследвания повече от 20 години (Nedkov et al. 2024), въпреки това, регулиращите екосистемни услуги имат ограничено представяне. Настоящата дисертация разширява изследванията върху РЕУ, в частност тези в урбанизирани

територии като предлага многостепенен подход за интегрирана оценка.

Резултати от прегледана на литературата, определиха най-използваните методи и подходи за оценка на РЕУ в урбанизираните територии, въз основа на което са използвани моделите InVEST и EnhancES (IMECOGIP toolbox) (глави 5 – 7).

Настоящата дисертация предлага подход за идентифицираните пропуски в ограниченото изследвания на оценката на осигуряване и търсене на ЕУ. Подходът, адресиращ търсенето на ЕУ, обхваща биофизичния (опасност) и социално-икономически (уязвимост и експозиция) компонент на услугата. Уязвимостта обхваща индикатори, отразяващи демографските характеристики на населението, а експозицията – неговот пространственото разпределение. Индикаторът за опасност се определя в зависимост от регулиращата екосистемна услуга (глава 6).

Резултатите от оценките на РЕУ демонстрират различното проявление на услугите в отделните типове земно покритие, както и при различаващи се условия (глави 6 – 7). Интегрирането на данните се осъществява в три нива, съобразно приложимостта и надеждността им. Предложеният многостепенен подход за интегрирана оценка на регулиращите екосистемни услуги е приложим при наличие на хетерогенни източници на данни и ограничава несигурността при оценка на екосистемните услуги.

Списък на публикациите по темата на дисертацията

- Stoycheva V, Geneletti D (2023) A review of regulating ecosystem services in the context of urban planning. Journal of the Bulgarian Geographical Society 48: 27-42. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e93499>
- Petkova G, Prodanova H, Stoycheva V (2022) Analysis of the national ecosystem database of Bulgaria: (Mis)matches with the MAES framework. Journal of the Bulgarian Geographical Society 47: 73-82. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e99268>
- Stoycheva V, Nedkov S (2024) The performance of two urban flood regulation models using different input data. One Ecosystem 9: e134022. <https://doi.org/10.3897/oneeco.9.e134022>
- Stoycheva V, Nedkov S (2026) Cooling regulation and PM₁₀ filtration: An approach for integrated supply-demand-balance assessment. Urban Climate (Под рецензия).
- Stoycheva V, Nedkov S (2026) A multi-tiered approach for integrated assessment of regulating ecosystem services: A case study of Sofia, Bulgaria. Acta geographica Slovenica (Подадена).

Благодарности

Бих искал да изкажа искрената си благодарност на научния ми ръководител, проф. Стоян Недков, за подкрепата, отделеното време и конструктивните насоки по време обучението. Също така благодаря на научния ми консултант, проф. Давиде Дженелети, за подкрепата и ползотворното сътрудничество.

Специални благодарности на всички колеги от секция „Приложна геоинформатика“ и Департамент „География“ в НИГГГ-БАН за подкрепата, както и на д-р Христина Проданова за ценните препоръки за настоящия труд.

Бих искала също така да благодаря на всичките си учители по география, някои от които днес не са тук, за това, че ми вдъхнаха смелост да изследвам функционирането на околната среда.

Бих искала да изкажа благодарността си към всички членове на работната група PLANES за подкрепата, която ми оказаха по време на посещението ми в Тренто! Искрени благодарности и към всички колеги и приятели, с които се запознах по време на работата ми по национални и международни проекти – INES, SELINA, TransWILD и Green Talent.

Тази дисертация нямаше да се осъществи без подкрепата на моето семейство и приятелите ми. Искрено благодаря на родители ми Тодорка и Емил, на брат ми Любомир и на приятелката ми Джансу за непрестанната им подкрепа. Вие сте моето най-голямо вдъхновение. Благодаря ви, че ме научихте да работя упорито, за да постигна целите си, че винаги вярвахте в мен и подкрепяхте мечтата ми да бъда географ!

Литература

- Amini Parsa V, Salehi E, Yavari AR, Van Bodegom PM (2019) An improved method for assessing mismatches between supply and demand in urban regulating ecosystem services: A case study in Tabriz, Iran. Kharrazi A (Ed.). PLOS ONE 14: e0220750. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220750>
- ArcGIS Pro (2025a) Optimized Outlier Analysis (Spatial Statistics) <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/optimizedoutlieranalysis.htm#L> [Accessed on 04.08.2025]
- ArcGIS Pro (2025b) Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*) (Spatial Statistics) <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.4/tool-reference/spatial-statistics/hot-spot-analysis.htm> [Accessed on 05.08.2025]
- Baró F, Haase D, Gómez-Baggethun E, Frantzeskaki N (2015) Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. *Ecological Indicators* 55: 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.013>
- Bratanova-Doncheva S, Chipev N, Gocheva K, Vergiev S, Fikova R (2017) Methodological framework for assessment and mapping of ecosystem condition and ecosystem services in Bulgaria. Conceptual basis and principles of application. Clorind, Sofia, 48 pp. [ISBN 978-619-7379-21-1]
- Burkhard B, Kroll F, Nedkov S, Müller F (2012) Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators* 21: 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>
- Cortinovis C, Olsson P, Boke-Olén N, Hedlund K (2022) Scaling up nature-based solutions for climate-change adaptation: Potential and benefits in three European cities. *Urban Forestry & Urban Greening* 67: 127450. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127450>
- Castillo-Eguskitza N, Schmitz MF, Onaindia M, Rescia AJ (2019) Linking Biophysical and Economic Assessments of Ecosystem Services for a Social–Ecological Approach to Conservation Planning: Application in a Biosphere Reserve (Biscay, Spain). *Sustainability* 11(11): 3092. <https://doi.org/10.3390/su11113092>
- Chen B, Cortinovis C, Hashimoto S, Zheng X (2025) From urban scale priorities to local actions: an approach to develop brownfield greening strategies, based on ecosystem services supply and demand. *One Ecosystem* 10: e175875. <https://doi.org/10.3897/oneeco.10.e175875>
- Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, Van Den Belt M (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- CMRB [Council of Ministers of the Republic of Bulgaria] (2022) National Disaster Risk Profile in Bulgaria.
- Daily G, Postel S, Bawa K, Kaufman L (1997) *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC. 392 pp.
- De Groot RS, Wilson MA, Boumans RMJ (2002) A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- European Commission (2015) Commission Directive (EU) 2015/1480 of 28 August 2015 amending several annexes to Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council laying down the rules concerning reference methods, data validation and location of sampling points for the assessment of ambient air quality (Text

- with EEA relevance). <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/1480/oj> [Accessed on 10.04.2025]
- EEA (European Environment Agency) (2020) Mapping Guide for a European Urban Atlas v6.2. https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/urban_atlas_2012_2018_mapping_guide [Accessed on 10.02.2022]
- Geneletti D, Adem Esmail B, Cortinovis C et al. (2020) Ecosystem services mapping and assessment for policy- and decision-making: Lessons learned from a comparative analysis of European case studies. *One Ecosystem* 5: e53111. <https://doi.org/10.3897/oneeco.5.e53111>
- Haines-Young R, Potschin M (2018) Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. www.cices.eu
- IMECOGIP (2024) Ruhr University Bochum, Geogr. Institute, sponsored from the Federal Ministry of Education and Research (FKZ: 01LE1805). <https://www.geographie.ruhr-uni-bochum.de/physik/imecogip.html>
- IPCC (2023) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 1–34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Isola F, Lai S, Leccis F, Leone F (2025) Identifying regional green infrastructure hotspots. A comparison between the Basilicata and Campania regions, Italy. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment* 2:151–166. <https://doi.org/10.6093/1970-9870/11997>
- Keith DA, Ferrer-Paris JR, Nicholson E, Kingsford RT (Eds) (2020) IUCN Global Ecosystem Typology 2.0: descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups. IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.13.en>
- Kowalska A, Affek AN, Wolski J, Regulska E (2024) Ranking Warsaw green spaces by cooling efficiency and particulate matter deposition potential for spatial planning. *Sustainable Cities and Society* 118: 106064. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.106064>
- Kwon R, Ryu Y, Yang T, Zhong Z, Im J (2023) Merging multiple sensing platforms and deep learning empowers individual tree mapping and species detection at the city scale. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 206: 201–221. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.11.011>
- Li W, Sun R (2023) A supply-demand model of vegetation cooling for urban heatwave mitigation. *Urban Climate* 52: 101699. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101699>
- Maes J, Teller A, Erhard M (Eds) (2013) Mapping and assessment of ecosystems and their services: an analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020: discussion paper – final, April 2013. Publications Office, LU. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/12398>
- Maes J, Zulian G, Thijssen M et al. (2016) Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: Urban ecosystems 4th Report, Final. Publication Office of the European Union, JRC101639. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/625242>
- Marando F, Salvatori E, Sebastiani A, Fusaro L, Manes F (2019) Regulating Ecosystem Services and Green Infrastructure: assessment of Urban Heat Island effect mitigation in the municipality of Rome, Italy. *Ecological Modelling* 392: 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.011>

- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005) Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis. Millennium Ecosystem Assessment, World Resources Institute. Washington, DC (USA).
- Morabito M, Crisci A, Gioli B, Gualtieri G, Toscano P, Di Stefano V, Orlandini S, Gensini GF (2015) Urban-Hazard Risk Analysis: Mapping of Heat-Related Risks in the Elderly in Major Italian Cities. Dalal K (Ed.). PLOS ONE 10: e0127277. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127277>
- National Institute of Meteorology and Hydrology of Bulgaria (NIMH) (2020) Monthly hydrometeorological bulletin, July 2020. National Institute of Meteorology and Hydrology of Bulgaria. ISSN 1314-894X. https://bulletins.cfd.meteo.bg/bull/Buletin_NIMH_202007.pdf
- National Institute of Meteorology and Hydrology of Bulgaria (2023) Monthly hydrometeorological bulletin, June 2023. National Institute of Meteorology and Hydrology of Bulgaria (NIMH). ISSN 1314-894X (print) ISSN 2815-2743 (online). <http://bulletins.cfd.meteo.bg/>
- Natural Capital Project (2011) InVEST: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs 2.0 Beta (2011-02-14). <https://invest.readthedocs.io/en/latest/changelog.html#beta-2011-02-14>
- Natural Capital Project (2020) InVEST: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs 3.8.0 (2020-02-07). <https://invest.readthedocs.io/en/latest/changelog.html#id68>
- Natural Capital Project (2023) InVEST 3.13.0. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal Swedish Academy of Sciences. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>
- Nedkov S, Burkhard B (2012) Flood regulating ecosystem services—Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. Ecological Indicators 21: 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.022>
- Nedkov S, Campagne S, Borisova B, Krpec P, Prodanova H, Kokkoris IP, Hristova D, Le Clec'h S, Santos-Martin F, Burkhard B, Bekri ES, Stoycheva V, Bruzón AG, Dimopoulos P (2022) Modeling water regulation ecosystem services: A review in the context of ecosystem accounting. Ecosystem Services 56: 101458. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101458>
- Nedkov S, Nikolova M, Prodanova H, Stoycheva V, Hristova D, Sarafova E (2022) A multi-tiered approach to map and assess the natural heritage potential to provide ecosystem services at a national level. One Ecosystem 7: e91580. <https://doi.org/10.3897/oneeco.7.e91580>
- Nedkov S, Stoycheva V, Prodanova H, Ananiev I, Yordanov Y (2024) Twenty years of ecosystem services research in Bulgaria: lessons learned and future directions from a geographical perspective. BioRisk 22: 33–52. <https://doi.org/10.3897/biorisk.22.125194>
- NSI [National Statistical Institute] (2023) Population in the Sofia (capital) region as of September 7, 2021. Final data from the 2021 Census. https://www.nsi.bg/sites/default/files/files/pressreleases/Census2021_Population_SOF.pdf [Accessed on 16.08.2024]
- Patro SGK, Sahu KK (2015) Normalization: A Preprocessing Stage. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.1503.06462>
- Petkova G, Prodanova H, Stoycheva V (2022) Analysis of the national ecosystem database of Bulgaria: (Mis)matches with the MAES framework. Journal of the Bulgarian Geographical Society 47: 73-82. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e99268>

- Pereira P, Kalinauskas M, Pinto LV, Barcelo D, Zhao W, Inacio M (2024) A simple method for mapping winter recreational fishing ecosystem services supply in lakes. A contribution to mapping freshwater ecosystem services. *MethodsX* 12: 102764. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102764>
- Popov A, Dimitrov S, Borissova B, Iliev M (2019) Study of best practices for urban heat islands in the capital municipality / research and mapping of the urban heat island effect in Sofia and study of best practices for mitigating its impact. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15518.48969>
- Regulation 2024/1991 (2024) Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869. <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj>
- Rounsevell MDA, Arneth A, Brown C, Cheung WWL, Gimenez O, Holman I, Leadley P, Luján C, Mahevas S, Maréchaux I, Péliissier R, Verburg PH, Vieilledent G, Wintle BA, Shin Y-J (2021) Identifying uncertainties in scenarios and models of socio-ecological systems in support of decision-making. *One Earth* 4(7): 967–985. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.06.003>
- Ruhr-Universität Bochum, Geogr. Institut (2021) IMECOGIP. Alpha release. <https://www.geographie.ruhr-uni-bochum.de/forschung/angewandte-physische-geographie/forschung/imecogip/projektbeschreibung>
- Sofiaplan (2017) Average monthly income of individuals as percentage as percentage above/below the Sofia municipality's average <https://api.sofiaplan.bg/datasets/635> [Accessed on 20.08.2024]
- Sofiaplan (2020a) Methodology for mapping and biophysical assessment of the state of ecosystems and the services they provide for application in territorial and spatial planning in Sofia Municipality (in Bulgarian) <https://sofiaplan.bg/en/portfolio/ecosystem-services/>
- Sofiaplan (2020b) Green areas. Version 18.05.2020. Sofiaplan Open source data portal. 2020. <https://api.sofiaplan.bg/datasets/410> [Accessed on 25.01.2023]
- Sofiaplan (2020c) The extent of vulnerability of the population to the intensity of UHI (urban heat island). Version 22.10.2020. Sofiaplan Open source data portal. <https://api.sofiaplan.bg/datasets/408> [Accessed on 25.05.2022]
- Stoycheva Z (2017) Gradskoto planirane na Sofiya prez prehoda (1990 – 2010) [Urban planning in Sofia during the transition period (1990–2010)]. Stefan Dobrev Publishing House, 407 pp.
- Stoycheva V, Geneletti D (2023) A review of regulating ecosystem services in the context of urban planning. *Journal of the Bulgarian Geographical Society* 48: 27–42. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e93499>
- Stoycheva V, Nedkov S (2024) The performance of two urban flood regulation models using different input data. *One Ecosystem* 9: e134022. <https://doi.org/10.3897/oneeco.9.e134022>
- Stoycheva V, Nedkov S (2026a) Cooling regulation and PM10 filtration: An approach for integrated supply-demand-balance assessment. *Urban Climate* (Under review).
- Stoycheva V, Nedkov S (2026b) A multi-tiered approach for integrated assessment of regulating ecosystem services: A case study of Sofia, Bulgaria. *Acta geographica Slovenica* (Submitted).
- Tate C, Wang R, Akaraci S, Burns C, Garcia L, Clarke M, Hunter R (2024) The contribution of urban green and blue spaces to the United Nation's Sustainable Development Goals: An evidence gap map. *Cities* 145: 104706. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104706>

- UfS [United for Sofia] (2023). Sofia regions <https://obedinenizasofia.bg/raioni/> [Accessed on 16.12.2024]
- UN DESA (2022) The Sustainable Development Goals Report 2022 - July 2022. UN DESA, New York, USA. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022>
- United Nations (2015) Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2024) World Population Prospects 2024: Summary of Results. UN DESA/POP/2024
- Vallecillo S, Kakoulaki G, La Notte A, Feyen L, Dottori F, Maes J (2020) Accounting for changes in flood control delivered by ecosystems at the EU level. *Ecosystem Services* 44: 101142. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101142>
- Vallecillo S, Maes J, Teller A et al. (2022) EU-wide methodology to map and assess ecosystem condition: Towards a common approach consistent with a global statistical standard. Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2760/13048>
- Wahba Tadros SN, Wellenstein A, Das MB, Palmarini N, D'Aoust OS, Singh G, Restrepo Cadavid P, Goga S, Terraza HC, Lakovits C, Baeumler AEN, Gapihan AT (2021) Demographic Trends and Urbanization (English). Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/260581617988607640>
- Walther F, Barton DN, Schwaab J, Kato-Huerta J, Immerzeel B, Adamescu M, Andersen E, Arámbula Coyote MV, Arany I, Balzan M, Bruggeman A, Carvalho-Santos C, Cazacu C, Geneletti D, Giuca R, Inácio M, Lagabrielle E, Lange S, Clec'h SL, Vanessa Lim ZY, Mörtberg U, Nedkov S, Portela AP, Porucznik A, Racoviceanu T, Rondón P, Ribeiro D, Seguin J, Hribar MŠ, Stoycheva V, Vejre H, Zoumides C, Grêt-Regamey A (2025) Uncertainties in ecosystem services assessments and their implications for decision support – A semi-systematic literature review. *Ecosystem Services* 73: 101714. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101714>
- Wickenberg B, McCormick K, Olsson JA (2021) Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: A review of frameworks. *Environmental Science & Policy* 125: 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.016>
- Wübbelmann T, Bouwer L, Förster K, Bender S, Burkhard B (2022) Urban ecosystems and heavy rainfall – A Flood Regulating Ecosystem Service modelling approach for extreme events on the local scale. *One Ecosystem* 7: e87458. <https://doi.org/10.3897/oneeco.7.e87458>
- Yao J, Liu M, Chen N, Wang X, He X, Hu Y, Wang X, Chen W (2021) Quantitative assessment of demand and supply of urban ecosystem services in different seasons: a case study on air purification in a temperate city. *Landscape Ecology* 36: 1971–1986. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01112-7>
- Yu L, Ma Q (2025) Synergies between bird habitat and recreational ecosystem service for urban development and biodiversity conservation in a coastal metropolitan region. *Ecological Indicators* 181: 114408. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114408>
- Zepp H, Gessner M, Gruenhagen L, Bührs M (2023) Modeling the cooling effect of urban green spaces: The neglected control variables of 'soil moisture' and 'biotope types.' *Urban Forestry & Urban Greening* 90: 128137. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128137>
- Zepp H, Inostroza L, Bührs M, Gruenhagen L, Busch C, Dong N (2025) EnhancES – An open source GIS-based toolbox for assessing, mapping and enhancing ecosystem services. *Ecosystem Services* 74: 101744. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101744>
- Zhiyanski M, Nedkov S, Mondeshka M, Yarlovskva N, Vassilev V, Borisova B, Bratanova-Doncheva S, Gocheva K, Chipev N (2017) Methodology for assessment and mapping of urban ecosystems condition and their services in Bulgaria. Cloprint, Sofia pp 82. ISBN 978-619-7379-03-7.