



# Преглед на съществуващото състояние за моделиране на регулационната услуга защита от наводнения и публикация за екосистемни сметки

Доклад за междинен резултат Д2.1.1

10 август 2022 г.

Автори:

Десислава Христова, Ваня Стойчева, Стоян Недков

- INES -

Интегрирана оценка и картиране на свързани с водите  
екосистемни услуги подпомагащи природно-базирани решения  
в управлението на речните басейни

**Разработен по проект финансиран от Фонд за научни изследвания–МОН**  
Договор № КП-06-Н-54/4  
*Конкурс за финансиране на фундаментални научни изследвания – 2021*

Проект: **Интегрирана оценка и картиране на свързани с водите екосистемни услуги подпомагащи природно-базирани решения в управлението на речните басейни (INES)**

Начало: 16 ноември 2021 г.

Продължителност: 36 месеца

Ръководител: Проф. д-р Стоян Недков

Уебсайт: <https://inesproject.com/bg/>

Заглавие на доклада: **Преглед на съществуващото състояние за моделиране на регулационната услуга защита от наводнения и публикация за екосистемни сметки**

Индекс на доклада: D2.1.1

Вид на доклада: Доклад

Ниво на Обществен достъп

разпространение:

Отговорен РП: РП2

Цитиране Бълг.: Христова Д, Стойчева В, Недков Ст (2022) Преглед на съществуващото състояние за моделиране на регулационната услуга защита от наводнения и публикация за екосистемни сметки. Доклад D2.1.1. Проект INES, 16 с.

Цитиране Англ.: Hristova D, Stoycheva V, Nedkov S (2022) Review on the state of the art of the modeling of flood regulation ecosystem service and publication on ecosystem accounting. Deliverable D2.1.1. INES project, 16 p.

Срок за предаване: Месец 6

Предаден: Месец 8

Състояние на доклада:

Версия	Състояние	Дата	Автор(и)
1.0	Чернова	15 май 2022	Недков Ст
2.0	Белова	16 юли 2022	Недков Ст, Христова Д
2.1	Публикуван	10 август 2022	Христова Д, Стойчева В, Недков Ст

## Съдържание

1. Въведение .....	4
2. Преглед на научни публикации за моделиране и регулация на наводнения... 4	
2.1. Методика за систематичен преглед.....	4
2.2. Систематизация на информацията за моделите .....	5
3. Преглед на състоянието по темата за екосистемните сметки и регулацията на наводнения.....	8
3.1. Основни елементи на методиката за екосистемните сметки.....	8
3.2. Подходи за оценка на регулацията на наводнения .....	9
4. Резюме на научната публикация.....	10
4.1. Въведение .....	10
4.2. Материали и методи .....	11
4.3. Резултати .....	12
4.4. Изводи .....	13
5. Пълен текст на научната публикация.....	14
Литература .....	14

## 1. Въведение

Оценката и картирането на екосистемните услуги са заложили като важен елемент в Европейската стратегия за биоразнообразие и се координират от създадената за нейното изпълнение работна група MAES към Европейската комисия. Създадената от групата методическа рамка е развита за България под формата на девет методики, покриващи деветте основни екосистемни типа. Чрез проект INES се развива тематиката за свързаните с водите екосистемни услуги, която досега не е разработвана в цялост за България. Основната цел на проекта е разработване на методическа рамка за картиране, моделиране и оценка на свързаните с водите екосистемни услуги (СВЕУ) с оглед прилагането на природно-базирани решения в дейностите свързани с управлението на водите. С реализирането на този проект, посредством интегриране на елементи от методиките за картиране и оценка на деветте отделни екосистемни типа и доразвиването им в частите, свързани с регулацията на хидроложки рискове и качество на водите, ще се разработи гъвкава методика, базирана на приложение на съвременни подходи за пространствени анализи и моделиране. Тази методика ще даде възможност да се оцени количествено прилагането на природно-базирани решения (NBS) за дейности като управлението на риска от наводнения, ерозия, смекчаване на последствията от климатичните промени и адаптиране към тях, смекчаване на влиянието на горещите вълни и на „островите на топлина“ в градската среда, и др.

В настоящият доклад се представя част от работата и междинните резултати по специфична цел 3. Развитие и адаптиране на подходите за картиране и оценка за нуждите на екосистемните сметки (ecosystem accounting). В глава 2 е представена работа по прегледа на научните публикации по темата за моделиране на екосистемната услуга регулация на наводнения и получените резултати за използваните модели в досегашните изследвания по темата в световен мащаб. В глава 3 е направен преглед на състоянието по темата за интегриране на екосистемната услуга в дейностите за екосистемните сметки. Разгледани са основните елементи на методиката за екосистемните сметки подходите за оценка на услугата регулация на наводнения. Основният резултат представен под формата на научна публикация която е публикувана на английски език в списание *Journal of the Bulgarian Geographical Society* (вж. гл. 5). Резюме на статията е представено в гл. 4 на настоящия доклад.

## 2. Преглед на научни публикации за моделиране и регулация на наводнения

### 2.1. Методика за систематичен преглед

Всяко научно изследване започва с преглед на наличните публикации по темата. Чрез систематичен преглед ние се стремим да намерим цялата налична публикувана работа, която отговаря на целите на изследването, посредством термини за търсене (ключови думи). Прегледът на литературата беше извършен в две стъпки: в първата стъпка бяха използвани термини, свързани с моделирането на наводнения и ЕУ контрол на наводненията, за търсене в записите на базите данни на Web of Science и Scopus от 1990 г. до 2019 г. Търсенето доведе до 40 материала, като за целите на систематизирането на съдържанието на прегледаните статии беше създадена специална база данни със стандартна номенклатура. Втората стъпка представлява разработването на

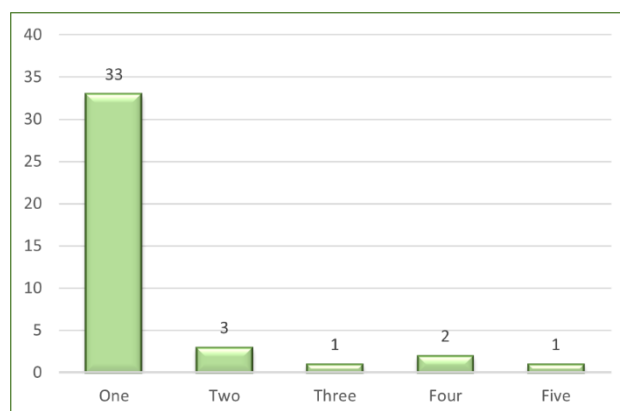


темплейт в MS Excel, който да осигури единен и съпоставим процес на преглед и разработване на базата данни. Този своеобразен каталог е създаден с цел да се определят основните характеристики на моделите във връзка с екосистемните сметки. Темплейтът може да се поделен условно на две части. Първата част включва базисната информация за статиите, а именно ID (номер, който получава статията, запазвайки я в базата данни на проекта), тип на публикацията, година на публикуване, автори, заглавие, DOI, къде е публикувана, език на писане, подходите при моделиране, кои и колко са приложените модели във всяка статия. Втората част съдържа специфична информация за моделите, която може да бъде полезна за нуждите на екосистемните сметки. Тъй като някои материали включват множество модели, всеки ред съответства на един модел, идентифициран в статията. Тази част за моделирането беше разделена на три подраздела: 1) *справочна и класификационна информация*; 2) *конкретна информация за моделите*; 3) *изисквания към модела*. Попълването на темплейта се осъществи както следва: където е възможно, променливите в таблицата са въведени чрез двоичната бройна система, в противен случай въвеждането е извършено под формата на текст. Двоичната система е най-подходяща в този случай, тъй като позволява лесно изчисление и правилен анализ на данните.

Предстои допълване на каталога с нови статии, излезли от печат в периода между 2020 и 2022 г.

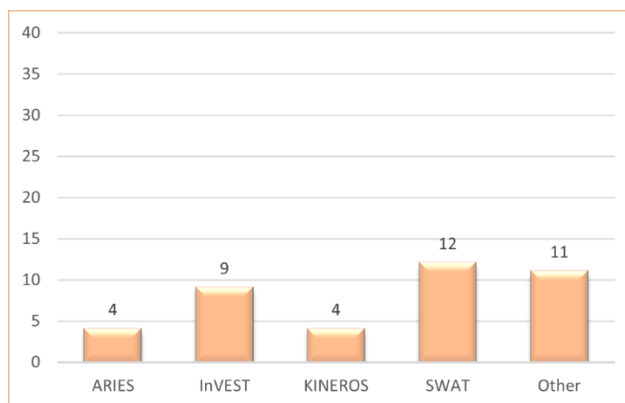
## 2.2. Систематизация на информацията за моделите

За да систематизираме информацията за моделите, използвахме основна статистика в MS Excel, като по този начин определихме (1) *броят използвани модели във всяка статия* (Фиг. 1), (2) *броят статии, в които е използван всеки от моделите* (Фиг. 2), (3) *броят статии, в които даден модел е използван като основен* (Фиг. 3), и (4) *броят статии, в които основните модели са единствен използван модел* (Фиг. 4). Използваните четири анализа са важни за нашето изследване, тъй като благодарение на тях се извеждат най-използваните модели на разглежданите статии. За да достигнем до данните, които можем да използваме като параметри за моделиране на услугата за контрол на наводненията, трябва да проучим какви входни изисквания имат основните модели, които ще излязат от горния анализ.



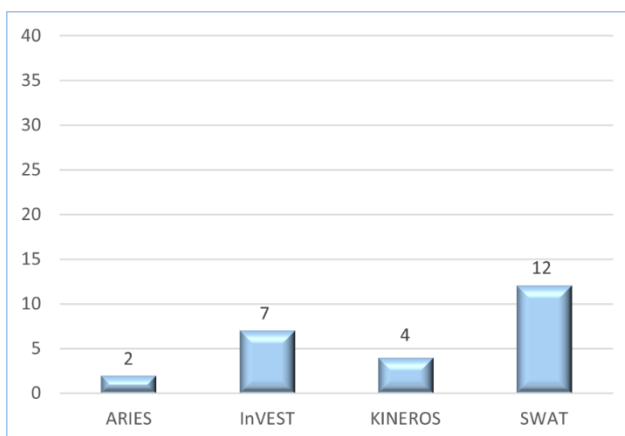
**Фигура 1.** Брой използвани модели във всяка статия.

Резултатите от първия анализ показват, че броят на моделите във всяка статия варира от 1 до 5.



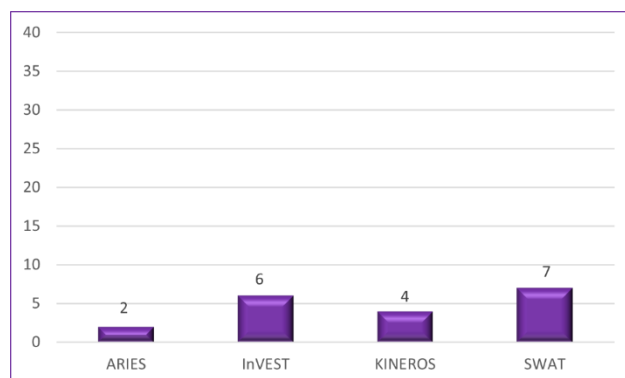
**Фигура 2.** Брой статии, в които е използван всеки от моделите.

При втория анализ са изведени четири модела, които могат да бъдат определени като най-използваните: SWAT, InVEST, KINEROS и ARIES. Всеки от тях е използван в четири или повече статии. Моделите, които присъстват само в една статия, попадат в категорията „Други“ на диаграмата.



**Фигура 3.** Брой статии, в които даден модел е използван като основен.

Третият анализ показва, че статистиката не се променя за модела SWAT и KINEROS, но при ARIES и InVEST статиите намаляват с по две за всеки от тях.



**Фигура 4.** Брой статии, в които основните модели са единствен използван модел.

Четвъртият анализ разкрива, че има значителен спад в броя статии, спрямо предходната статистика, в които SWAT е единствения приложен модел.

Идеята на тези четири анализа беше да се изберат най-подходящите модели и успяхме да подчертаем четирите най-използвани модела. Това ни дава основание да заключим, че анализът на тези модели не може да спре до тук, тъй като всеки от тях, макар и приложен в различен брой статии, има различни специфики.

Четирите модела бяха подложени на по-задълбочен анализ по отношение на четири основни критерия: (1) *пространствен мащаб на анализа*; (2) *времева скала на анализа*, (3) *описание на използваните пространствени данни и нивото на детайлност*, и (4) *изисквания към данните - ключови входни данни*. И четирите критерия са важни за нас, предвид данните, с които разполагаме и тези, които трябва да си набавим, защото: i) *търсим модел, който да приложим за територията на България (национално ниво) и/или в райони със сходни природни дадености, т.е. по-големи по площ*; ii) *трябва да знаем времевия диапазон, за да си осигурим правилните данни*; iii) *за нивото на сигурност на изследването съдим по това как са получени пространствените данни*; и iv) *данните като потенциални индикатори за моделиране на контрола на наводненията*.

В таблица 1 сме представили входните изисквания за основните модели по отношение четирите горе споменати критерия. Абсолютните съвпадения във всичките четири модела за четирите показателя са удебелени в таблицата за повече нагледност.

Въз основа предходния анализ можем да извлечем потенциалните параметри за моделиране на контрола на наводненията. За да обобщим, моделирането на контрола на наводненията в тези модели зависи от съчетанието на компонентите на природната с антропогенната дейност в по-малка степен - земно покритие, почвено покритие, наклон на склона, DEM (цифров модел на релефа), съхранение на вода, инфилтрация и климатични данни, и т.н. Моделите събират тези компоненти и дефинират хомогенни картографски единици, които се класифицират въз основа техните характеристики, за да се определи зоната за предоставяне на услуги (SPA) за контрол на наводненията. Идентифицирането на SPA е от решаващо значение за изчисляването на действителния поток и по-нататъшното развитие на екосистемните сметки за контрол на наводненията. Тези систематични анализи ще бъдат повторени веднага щом допълним базата със статиите за наводнения.

**Таблица 1. Входни изисквания за всеки от четирите модела.**

	SPATIAL SCALE OF ANALYSIS	TIME SCALE OF ANALYSIS	DESCRIPTION OF SPATIAL DATA USED AND THE LEVEL OF DETAILS	DATA REQUIREMENTS - KEY INPUT DATA (BIOPHYSICAL)
ARIES	Basin, Field scale, Grid sells	Multiannual, Annual, monthly to annual	GIS data, Remote sensing data, Statistical data, Field data	Precipitation, Mean temperature, Topography, Soil type, Snow water equivalent, Potential evapotranspiration, Topographic wetness index, Frontier forests, Hydrological soil groups, Curve Number, DEM, LULC, Corine Land-Cover
INVEST	Basin, Subbasin, Field scale, point scale, Grid sells	Multiannual, Annual, monthly to annual	GIS data, Remote sensing data, Statistical data, Field data, Expert opinion	Precipitation, Topography, Soil type, Average annual reference, Evapotranspiration (mm), Plant available water content, Irrigation, Slope, Soil depth, Soil productivity, Mix of tree species, Housing proximity to urban areas and the area's county, Existing building density, DEM, LULC
KINEROS	Basin, Subbasin, Field scale, Grid sells	Multiannual, Annual	GIS data, Remote sensing data, Statistical data, Field data, Expert opinion	Biophysical (Topography, Soil type, DEM, Corine Land-Cover, Orthophoto maps, Landsat ETM+ satellite images, AGWA database)
SWAT	Basin, Subbasin, Field scale, Point scale	Multiannual, Annual, monthly to annual, Daily, Hourly to daily	GIS data, Remote sensing data, Statistical data, Field data, Expert opinion, Metric	Topography, Daily Temperature and Precipitation, Solar radiation, Relative humidity, Wind speed, Daily River discharge, Total suspended solids, Nitrates, Soil type, Vegetation cover, DEM, Corine Land-Cover

## 3. Преглед на състоянието по темата за екосистемните сметки и регулацията на наводнения

### 3.1. Основни елементи на методиката за екосистемните сметки

Документът System of Environmental-Economic Accounting - Ecosystem Accounting (SEEA - EA) представлява пространствено базирана интегрирана статистическа рамка за организиране на биофизична информация за екосистемите, измерване на ЕУ, проследяване на промените в степента и състоянието на екосистемите, оценяване на ЕУ и активи, както и свързване на тази информация за измерване на икономическата и човешката дейност. SEEA - EA е разработена, за да отговори на редица политически изисквания и предизвикателства с фокус върху извеждането на видимост за приноса на природата към икономиката и хората, и върху по-добро осъзнаване на въздействието на икономическата и друга човешка дейност върху околната среда. В тази рамка основните счетоводни принципи се прилагат към организирането на данни във физическо и парично изражение, за да се осигури интегриран, съгласуван и последователен набор от данни. SEEA - EA отразява интегрирането на най-новите знания, методи и техники в измерването на екосистемите. Оценката на важността на екосистемите изисква разглеждане на по-широк набор от информация извън данните за паричната стойност на екосистемите и техните услуги. Това включва данни за биофизичните характеристики на екосистемите и данни за характеристиките на хората, предприятията и общностите, които зависят от тях.

Същността на отчитането на екосистемите се състои в представянето на биофизичната среда по отношение на отделни пространствени зони, всяка от които представлява специфичен тип екосистема. Всяка пространствена зона от конкретен тип екосистема за нуждите на екосистемните сметки се третира като екосистемен актив.





SEEA - EA осигурява основата за съставянето на различни сметки за екосистемите. Описани са пет екосистемни сметки: i) *сметка за обхвата на екосистемата* - размерът на даден екосистемен актив; ii) *сметка за състоянието на екосистемата* - качеството на една екосистема, измерено по отношение на нейните абиотични и биотични характеристики; iii) *сметка за потоците от ЕУ във физическо изражение* - физическото количествено определяне се фокусира върху измерването на екосистемните структури, процеси и функции във физически единици като кубични метри и тонове; iv) *сметка за потоците от ЕУ в монетарно изражение* - паричната стойност на потоците от ЕУ въз основа техните обменни стойности, а данните от тази сметка могат да се използват за разбиране на относителното икономическо значение на различните ЕУ (в рамките на националните сметки); и (v) *монетарна сметка на екосистемните активи* - записва промените в паричната стойност на екосистемните активи за отчетен период, включително промени, дължащи се на деградация на екосистемата, подобряване на екосистемата, преобразуване на екосистема и преоценки. Съществува и набор от свързани сметки, включително тематични сметки и индикатори.

SEEA - EA е предназначен основно за подпомагане на вземането на политически решения на национално ниво с фокус върху свързването на информация за множество типове екосистеми и множество ЕУ с икономическа информация на макро ниво (напр. мерки за национален доход, производство, добавена стойност, потребление и богатство). В същото време теорията и практиката на отчитането на екосистемите е приложима в по-едър мащаб, като екосистемните сметки могат да се използват за подпомагане вземането на решения за отделни административни области като области и общини, както и за екологично дефинирани зони като водосбори, защитени зони, приоритетни зони за биоразнообразие и крайбрежни зони.

### 3.2. Подходи за оценка на регулацията на наводнения

Екосистемните сметки, касаещи контрола на наводненията, се основават на предположението, че специфични екосистеми могат да намалят степента и интензитета на наводненията, като по този начин намаляват риска от увреждане на изградената инфраструктура (UN et al., 2014). В случай на речни наводнения, регулиращата функция може да бъде предотвратяваща или смекчаваща. Предотвратяващата функция възниква, когато екосистемите (т.е. горите) пренасочват или абсорбират части от идващата от валежите вода, като по този начин намаляват повърхностния отток и следователно количеството на реките. Функцията за смекчаване на наводненията влиза в сила, когато наводнението е вече факт и екосистемите (т.е. заливните и влажните зони) осигуряват пространство за задържане на излишъка вода, като по този начин намаляват разрушителната сила на наводнението. И в двата случая екосистемите, които предоставят услугата, са разположени на определено разстояние от зоните на търсене. Пространствената връзка между тях може да бъде представена от така наречените зони за предоставяне на услуги (SPA) и зони, търсещи услуги (SDA) според Syrbe et al., 2017. За целите на екосистемните сметки SPA съответстват на предоставянето на услугата, докато SDA – на използването на услугата. В много проучвания предоставянето на екосистемни услуги (ЕУ) се разделя на потенциален и действителен поток, като по този начин се взема предвид разликата между цялото количество на предоставената услуга и нейното действително използване. Sturck и др. (2014) заявяват, че ползите от предлагането на екосистемни услуги за контрол на наводненията могат да бъдат

оценени само когато се вземат предвид търсенето и предлагането, както и техните пространствени взаимодействия. Това пространствено взаимодействие може да бъде представено чрез действителния поток от контрола на наводненията. За нуждите на екосистемните сметки на контрола на наводненията, Vallecillo et al. (2019) определят действителния поток като „разширяване на търсенето със защита нагоре по течението от екосистемите нагоре по течението с висок потенциал за задържане на оттока“. В INES ние се фокусираме върху три модула на екосистемните сметки за контрол на наводненията, т.е. потенциал на ЕУ, търсене на ЕУ и действителен поток на ЕУ. Действителният поток от регулирането на наводненията се изчислява като съотношение между търсенето на ЕУ и потенциала на ЕУ, представляващо площта на SPA, която съответства на търсенето за контрол на наводненията, представено от SDA.

## 4. Резюме на научната публикация

### 4.1. Въведение

Отчитането на природния капитал (NCA) се разви бързо през последните години чрез значителни усилия както на международни организации, така и на научната общност (Turner et al. 2019; Vačkář & Grammatikopoulou, 2019; Obst, 2015). NCA се счита за начин за интегриране на биофизичната и икономическата информация за промените в запасите от природен капитал и стойността на ЕУ, за да се предоставя редовна информация на вземащите решения (Vardon et al. 2019). Експерименталното отчитане на екосистемите (EEA) в рамките на SEEA е методологичната платформа за внедряване на този подход в практиката. SEEA EEA беше одобрена от Статистическата комисия на ООН през март 2013 г. (UN et al., 2014) с последователни ревизии, водещи до SEEA EA (UN et al., 2021).

Въпреки че има известен напредък в отчитането на свързаните с водата регулиращи ЕУ и по-специално контрола на наводненията, е необходимо по-нататъшно развитие в тази област (Vardon 2014; Vardon et al. 2019). Характеризирането и оценката на контрола на наводненията е предизвикателна задача, тъй като както оценката, така и отчитането на ЕУ се нуждаят от различни данни, които обикновено не са достъпни чрез преки или косвени измервания, поради което подходите за моделиране на разглежданата услуга са изключително необходими (Crossman et al. 2019).

Моделирането на водния поток и регулирането на наводненията често е свързано с интензивно използване на данни и обикновено изисква използването на хидроложки модели (UN et al., 2017). Популярно решение е използването на специализирани хидроложки модели като KINEROS (KINematic Runoff и EROSION model), SWAT (Soil and Water Assessment Tool), STREAM и хидравлични модели като HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center) в комбинация с ГИС базирани интерфейси като AGWA (Automated Geospatial Watershed Assessment) и ArcSWAT (Nikolov and Nedkov 2020). Приложението на модела изисква голямо количество данни и сравнително дълго време за настройка, калибриране и валидиране. Те обаче биха могли да генерират надеждни стойности на параметри за показатели като инфилтрация на почвата, повърхностен отток или воден добив, които биха могли да се използват като индикатори за количествено определяне на услугата (Nedkov and Burkhard 2012) и по-нататък за нуждите на екосистемните сметки.

Хидроложкият модел SWAT е най-често използваният инструмент за оценка на свързаните с водата ЕУ (Jujnovsky et al. 2012; Francesconi et al. 2016;

Xu et al. 2017; Cheng et al. 2017; Lee et al. 2018; Netzer et al. 2019; Carvalho-Santos et al. 2019; Izydorczyk et al. 2019).

## 4.2. Материали и методи

Моделният район обхваща горната част на басейна на река Огоста, нагоре по течението на язовир Огоста.

За нуждите на екосистемните сметки е необходимо да се определят количествено три различни компонента, които са от съществено значение за разбирането и правилната оценка на количеството използвана услуга и следователно генерираната полза, а именно: 1) потенциал на ЕУ, който е количеството ЕУ, което може да бъде доставено устойчиво; 2) търсене на ЕУ, което е необходимостта от конкретна ЕУ за обществото; и 3) използване на ЕУ или действителен поток, което е количеството услуга, която е мобилизирана (използвана) на определено място и време (Vallecillo et al. 2020). Потенциалът на ЕУ обикновено се картографира въз основа на способността на екосистемата да задържа вода. Картографирането на търсенето на ЕУ се основава на оценката на риска от наводнения и очертаванията на застрашените райони. Действителният поток може да се изчисли като съотношение между търсенето на ЕУ и нейния потенциал. Пространствената връзка между предлагането и търсенето на ЕУ може да бъде представена от така наречените зони за предоставяне на услуги (SPA) и зони, изискващи услуги (SDA) (Syrbe et al. 2017).

За това изследване адаптирахме подхода, предложен от Hristova et al. (2021), който се основава на резултатите от оценката на ЕУ за контрол на наводненията. Основната разлика е използването на инструмента ArcSWAT за количествено определяне на индикаторите за ЕУ и очертаване на SPA. ArcSWAT е разработен за прогнозиране на въздействието от практиките за управление на земята върху водата, седимента или земеделските добиви в големи сложни водосбори с различни почви, земя и условия на управление през дълъг период. Моделът изисква специфична информация за топографията, практиките за управление на земята, растителността, свойствата на почвата и климатичните характеристики във водосбора. Необходимите пространствени данни за ArcSWAT включват цифров модел на релефа (DEM) и данни за почвата и земното покритие.

За количественото определяне по отношение предоставянето на ЕУ за контрол на наводненията, избрахме три показателя: действително изпарение, повърхностен отток и водоотдаване.

Оценката на предоставянето на ЕУ за контрол на наводненията се основава на относителна скала от 0 до 5, където: 0 е липса на капацитет; 1 означава нисък капацитет, 2 релевантен капацитет, 3 е среден капацитет, 4 за висок капацитет и 5 за много висок капацитет.

Очертаването на SPA трябва да се основава на изчисление на потенциалното задържане на оттока, осигурено от пространствените данни, за да се идентифицират ключови зони за контрол на наводненията (Vallecillo et al. 2020). В нашия случай резултатите от оценката на ЕУ за контрол на наводненията осигуряват диференциация на басейна на зони с различен капацитет, т.е. потенциално задържане на оттока. Зоните с нисък или никакъв капацитет (категории 0 до 2) имат ограничен потенциал за задържане и следователно са изключени от зоните за предоставяне на услуги. Следователно очертаването на SPA се извършва чрез интегриране на зоните с по-висок капацитет за регулиране на наводненията, т.е. категории от 3 до 5.



SDA е функция на икономическите активи в заливните равнини и се използва за изчисляване на търсенето на ЕУ за контрол на наводненията (Vallecillo et al. 2020). Очертаването на SDA се основава на предположението, че най-уязвимите райони ще имат най-голямо търсене на регулиране на наводненията (Nedkov and Burkhard 2012).

За оценката на действителния поток от контрол на наводненията от екосистемите, Vallecillo et al. (2020) предлагат интегриране на пространственото измерение между потенциала и търсенето на ЕУ, представено от SPA и SDA. Така картата на действителния поток на ЕУ за контрол на наводненията се изразява като броя хектари на търсене (SDA), защитени от екосистеми нагоре по течението (SPA) през дадена година (Vallecillo et al. 2020).

Таблиците на екосистемните сметки са структурирани така, че да записват потока от стоки и услуги между икономическите единици, между икономическите единици и околната среда и сред активите на екосистемите (UN et al. 2021). Те представляват предимно предлагането и използването на екосистемни услуги. В случая с контрола на наводненията, ядрото на екосистемните сметки е фокусирано върху количеството на използваните ЕУ (действителния поток), което се отнася до транзакцията между екосистемите и социално-икономическите системи (Vallecillo et al. 2020). За това проучване изчислихме потенциала на ЕУ (на базата на SPA), търсенето на ЕУ (на базата на SDA) и действителен поток на ЕУ.

### 4.3. Резултати

Хидроложкият модел ArcSWAT генерира HRU шейп файл с 25 суббасейна и 3007 уникални HRU (hydrologic response units). Суббасейните имат приблизителна надморска височина между 352 и 1260 m.

Моделът е пуснат за симулиране на елементите на водния баланс за периода 2000 – 2005 г. Калибрирането на симулираните резултати е извършено с помощта на месечни данни за оттока от хидрометрична станция Гаврил Геново, която се намира на изхода на басейна. Статистическите параметри, изчислени за валидиране на резултатите, са коефициент на детерминация и ефективност на Nash-Sitcliffe. Коефициентът на определяне е 0,61, което е задоволително, тъй като препоръчителните стойности за успешно калибриране са между 0,5 и 1.

Периодът между 07.08.2005 г. и 09.08.2005 г. е избран за количествено определяне на ЕУ за контрол на наводненията чрез показателите за евапотранспирация, повърхностен отток и водоотдаване. Стойностите на избраните индикатори за този период са извлечени от симулираните резултати с помощта на инструмента, който извлича данни за посочените индикатори от резултатите на ArcSWAT за предпочитана от потребителя дата. Стойностите на показателите за избрания период са нормализирани по схемата за оценка от 0 до 5.

Очертаването на SPA е направено с помощта на резултатите от оценката на ЕУ за контрол на наводненията. Като основа за очертаването е използвана диференциацията на басейна на зони с различен капацитет. Полученият ГИС слой с общ капацитет беше рекласифициран в два класа. Първият обхваща зоните с нисък или липса на капацитет (категории от 0 до 2), които имат ограничен потенциал за задържане и не са част от зоната за предоставяне на услуга. Вторият обхваща зоните с по-голям капацитет за контрол на наводненията (категории 3 до 5) и заедно представляват SPA в басейна на река Огоста. Очертаването на SDA е направено с помощта на резултатите от

анализите на риска от наводнения. Те покриват зоните с високо и много високо търсене на ЕУ за контрол на наводнения (стойности 4 и 5).

SPA обхващат 420,1 km<sup>2</sup>, което е около 80% от разглеждания басейн. Те са разположени равномерно в целия басейн и образуват непрекъсната зона от юг на север в по-високата част на котловината. По-разнородно е разпространението им в долните части на басейна, особено в долното течение на реките Дългоделска Огоста и Чипровска. SPA има и в заливната зона, особено в долното течение на главната река около селата Горна Ковачица и Белимел. SDA обхващат 6,3 km<sup>2</sup>, което е 1,2% от целия басейн. Обособени са 25 отделни района със среден размер 0,57 km<sup>2</sup>, разположени предимно в долното течение на главната река и притока на Дългоделска Огоста.

Отчитането на обхвата на зоните се извършва с помощта на GRID-мрежа (1x1 km). Мрежата се пресича с полигоните SPA и SDA и към всяка клетка от грида е присвоена определена категория. След това мрежата се пресича и с данните от Corine Land Cover (CLC) (налични за 2000, 2006, 2012 и 2018 г.), а резултатите се разпределят в подтипове екосистеми, следвайки типологията MAES и нейното прилагане при картографирането на екосистемите в България. Действителният поток от регулиране на наводненията се изчислява като съотношение между търсенето на ЕУ и потенциала на ЕУ, и представлява площта на SPA, която съответства на търсенето за контрол на наводненията, представено от SDA.

Таблицата на екосистемните сметки съдържа потенциала на ЕУ (изчислен чрез SPA), търсенето на ЕУ (изчислено като SDA) и действителния поток на ЕУ за четири периода, съответстващи на времевата поредица от CLC данни. Преобладаващата част от потенциала на ЕУ (76%) се осигурява от горските екосистеми. Пасищата (13%) и обработваемите площи (8%) имат малък принос, докато градските и площите с рядка растителност нямат почти никакъв принос към потенциала на ЕУ за контрол на наводненията.

#### 4.4. Изводи

Предложеният подход за екосистемни сметки използва комбинация от хидроложко моделиране, ГИС базирани техники и оценка на ЕУ, за да се създаде отчитане на контрола на наводненията. Моделът в ГИС среда ArcSWAT, осигурява автоматизирано и прецизно очертаване на SPA. Анализите на търсенето на ЕУ за контрол на наводненията, базирани на данни за оценка на риска от наводнения, осигуряват подходяща информация за очертаването на SDA. Изчисляването на действителния поток и разработването на таблици на екосистемните сметки се основава на концепцията, предоставена от Vallecillo et al. (2020), адаптирана към спецификата на изследването в местен мащаб. Критичната точка на подхода е идентифицирането на SPA въз основа резултатите от хидроложкото моделиране (Hristova et al. 2021).

Отчитането на контрола на наводненията силно зависи от картографирането на обхвата на екосистемата. CLC предоставя най-подходящите свободни данни за картографиране на обхвата на екосистемата в по-древни мащаби. Съотношението между CLC и MAES екосистемните подтипове на национално ниво в България (Hristova and Stoycheva 2021) дава подходяща основа за разработването на по-прецизни таблици на екосистемните сметки. Основното предизвикателство в близко бъдеще е разработването на подхода за прилагане и ефективна интеграция в националните отчетни системи.



## 5. Пълен текст на научната публикация

Пълния текст на научната публикация е наличен на адрес:  
<https://jbgs.arphahub.com/article/86288/>

### Литература

- Carvalho-Santos C, Nunes JP, Monteiro, AT, Hein L, Honrado, JP (2015) Assessing the effects of land cover and future climate conditions on the provision of hydrological services in a medium-sized watershed of Portugal. *Hydrological Processes* 30 (5): 720-738. <https://doi.org/10.1002/hyp.10621>.
- Cheng C, Yang Y, Ryan R, Yu Q, Brabec E (2017) Assessing climate change-induced flooding mitigation for adaptation in Boston's Charles River watershed, USA. *Landscape and Urban Planning* 167: 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.019>.
- Crossman ND, Nedkov S, Brander L (2019) Discussion paper 7: Water flow regulation for mitigating river and coastal flooding. Paper submitted to the Expert Meeting on Advancing the Measurement of Ecosystem Services for Ecosystem Accounting, New York, 22-24 January 2019 and subsequently revised. Version of 1 April 2019. Available at: <https://seea.un.org/events/expert-meeting-advancing-measurement-ecosystem-services-ecosystem-accounting>.
- Erhard M, Teller A, Maes J, Meiner A, Berry P, Smith A, Eales R, Papadopoulou L, Bastrup-Birk A, Ivits E, Gelabert E. R, Dige G, Petersen J-E, Reker J, Cugny-Seguín M, Kristensen P, Uhel R, Estreguil C, Fritz M, Murphy P, Banfield N, Ostermann O, Malak D. A, Marín A, Schröder C, Conde S, Garcia-Feced C, Evans D, Delbaere B, Naumann S, Davis M, Gerdes H, Graf A, Boon A, Stoker B, Mizgajski A, Santos F, Martin F, Jol A, Lükewille A, Werner B, Romão C, Desauty D, Wugt Larsen F, Louwagie G, Zal N, Gawronska S, Christiansen T (2016) Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Mapping and assessing the condition of Europe's ecosystems: Progress and challenges. Publications office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2779/351581>.
- Francesconi W, Srinivasan R, Pérez-Miñana E, Willcock S, Quintero M (2016) Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to model Ecosystem Services: A Systematic Review. *Journal of Hydrology* 535: 625-636. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.034>.
- Hristova D, Nedkov S, Katsarski N (2021) Modelling flood regulation ecosystem services in support of ecosystem accounting in Bulgaria. In: La Notte A, Grammatikopoulou I, Grunewald K, Barton DN, Ekinci B (Eds) *Ecosystem and ecosystem services accounts: time for applications*. EUR 30588 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021. ISBN 978-92-76-30142-4, <https://doi.org/10.2760/01033>, [JRC123667](https://doi.org/10.2760/01033).
- Hristova D, Stoycheva V (2021) Mapping of ecosystems in Bulgaria for the needs of natural heritage assessment. *Journal of the Bulgarian Geographical Society* 45: 89-98. <https://doi.org/10.3897/jbgs.e76457>.
- Izydorczyk K, Piniewski M, Krauze K, Courseau L, Czyż P, Giełczewski M, Kardel I, Marcinkowski P, Szuwart M, Zalewski M, Frątczak W (2019) The ecohydrological approach, SWAT modelling, and multi-stakeholder engagement - A system solution to diffuse pollution in the Pilica basin,

- Poland. *Journal of Environmental Management*, 248: 109329. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109329>.
- Jujnovsky J, Martínez T, Cantoral-Uriza E, Almeida-Lenero L (2012) Assessment of Water Supply as an Ecosystem Service in a Rural-Urban Watershed in Southwestern Mexico City. *Environmental management* 49: 690-702. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9804-3>.
- Lee S, Yeo I-Y, Lang MW, Sadeghi AM, McCarty GW, Moglen GE, Evenson GR (2018) Assessing the cumulative impacts of geographically isolated wetlands on watershed hydrology using the SWAT model coupled with improved wetland modules. *Journal of Environmental Management* 223: 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.006>.
- Nedkov S, Burkhard B (2012) Flood regulating ecosystem services – Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*, 21, 67–97.
- Netzer MS, Sidman G, Pearson TR, Walker SM, Srinivasan R (2019) Combining Global Remote Sensing Products with Hydrological Modeling to Measure the Impact of Tropical Forest Loss on Water-Based Ecosystem Services. *Forests* 10 (5): 413. <https://doi.org/10.3390/f10050413>.
- Nikolov P, Nedkov S (2020) Flood Regulating Ecosystem Services – Mapping and Assessment Tool Based on ArcSWAT Output Data. In: Nedkov S et al. (Eds) *Smart Geography. Key Challenges in Geography*. Springer, Cham, 391-404. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-28191-5\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-28191-5_29).
- Obst KG (2015) Reflections on Natural Capital Accounting at the National Level: Advances in the System of Environmental-Economic Accounting. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal* 6 (3), 315–339. [doi:10.1108/SAMPJ-04-2014-0020](https://doi.org/10.1108/SAMPJ-04-2014-0020).
- Syrbe RU, Schröter M, Grunewald K, Walz U, Burkhard B (2017) What to map? In: Burkhard B and Maes J (Eds.), *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers.
- Stürck J, Poortinga A, Verburg PH (2014) Mapping ecosystem services: The supply and demand of flood regulation services in Europe. *Ecological Indicators*, 38, 198-211.
- Turner K, Badura T, Ferrini S (2019) Natural capital accounting perspectives: a pragmatic way forward, *Ecosystem Health and Sustainability*, 5:1, 237-241, <https://doi.org/10.1080/20964129.2019.1682470>.
- UN (2014) *System of Environmental-Economic Accounting 2012 – Experimental Ecosystem Accounting*. United Nations, European Commission, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Organisation for Economic Co-operation and Development. United Nations, New York: World Bank.
- UN (2017) *Technical Recommendations in Support of the System of Environmental – Economic Accounting 2012 – Experimental Ecosystem Accounting*, 193. United Nations: White cover publication.
- UN (2021) *System of Environmental-Economic Accounting – Ecosystem Accounting: Final draft*. United Nations, European Commission, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Organisation for Economic Co-operation and Development. United Nations, New York: World Bank.
- Vačkářů D, Grammatikopoulou I (2019) Toward development of ecosystem asset accounts at the national level, *Ecosystem Health and Sustainability*, 5:1, 36-46. <https://doi.org/10.1080/20964129.2018.1560233>.

- Valecillo S, La Notte A, Ferrini S, Maes J (2019) How ecosystem services are changing: an accounting application at the EU level. *Ecosystem Services*, 35, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101044>.
- Vardon M (2014) Water and ecosystem accounting, Supporting document to the Advancing the SEEA Experimental Ecosystem Accounting project, United Nations.
- Vardon M, Keith H, Lindenmayer D (2019) Accounting and valuing the ecosystem services related to water supply in the Central Highlands of Victoria, Australia. *Ecosystem Services*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101004>.
- Xu X, Wang Y, Kalcic M, Logsdon Muenich R, Yang Y, Scavia D (2017) Evaluating the impact of climate change on fluvial flood risk in a mixed-used watershed. *Environmental Modelling & Software*, 122, 104031.