



ГИС приложения и модели за оценка и картографиране на екосистемни услуги GIS tools and models for mapping and assessment of ecosystem services

Стоян Недков

Департамент География на НИГГГ-БАН

Stoyan Nedkov

Department of Geography, National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – BAS

Acad. G. Bonchev Blvd., bl. 3, 1113 Sofia, Bulgaria

E-mail: snedkov@abv.bg

ABSTRACT

Key words:

Ecosystem services, GIS based models, InVEST, AGWA

Mapping and assessment of ecosystem services (ES) is a complex activity which includes spatial data acquisition, its organization into databases and generation of maps for the areas of ES supply and demand. GIS is an integral part of these activities and plays key role for the mapping and assessment of ES. There is a significant advance in the development of various tool and models for mapping and assessment during the last decade. The use of GIS in ecosystem services mapping can take three general approaches, analysis tools built into GIS software packages, disciplinary biophysical models applied for ecosystem service assessment and modeling tools designed specifically for ecosystem service assessment. This paper presents the main advantages of the GIS application in these three approaches through analysis of the available tools, models and techniques. The applications are illustrated by examples of mapping works in different areas in Bulgaria.

1. Въведение

Концепцията за екосистемните услуги възниква през 90 те години на миналия век като резултат от разработките на de Groot (1992, 1994) за функциите на природата и развитието на екологичното направление в икономиката свързано с устойчивостяването на ползите, които хората получават от природата (Costanza and Daly, 1992; Perrings et al. 1995; Daily, 1997; Costanza et al., 1997). Оригиналната формулировка на понятието е „екосистемни стоки и услуги“, но обикновено термина стоки се пропуска за по-кратко като неговото присъствие в смислово отношение се подразбира. Екосистемните услуги се дефинират като „условията и процесите, чрез които природните екосистеми поддържат и осигуряват човешкия живот“ (Daily, 1997), „ползите, преки и косвени, които хората извличат от функционирането на екосистемите“ (Costanza et al., 1997), „ползите които хората извличат от екосистемите“ (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Всяка екосистемна услуга се базира на конкретна функционална характеристика на природните елементи, като в определени случаи една функция може да осигурява няколко услуги, а съответно една услуга да бъде резултат от няколко функции.

Концепцията в най-общ смисъл има за цел да разкрие цялото разнообразие от ползи, които хората получават от природата, да оцени как те се използват и какъв ще бъде ефекта от това използване върху биоразнообразието в бъдеще. Дейностите за опазване на биоразнообразието имат потенциал да донесат сериозни ползи за хората под формата на екосис-

темни услуги, но районите на тяхното генериране и потребление не могат да бъдат идентифицирани, ако екосистемните услуги не бъдат оценени и устойчивостени и местата, където те се генерират не бъдат картографирани (Naidoo et al., 2008). Нуждата от такава дейност е осъзната и заложена в Европейската стратегия за биоразнообразието като една от основните ѝ цели е насочена към „запазване и възстановяване на екосистемите и ползите, които те предоставят“. В дейност 5 към тази цел е поставено изискването към страните-членки на ЕС да „картират и оценят състоянието на екосистемите на своята територия и съответните ползи от тях“. Картирането на екосистемните услуги се определя като комплексна дейност по набиране на пространствена информация за екосистемните услуги, организирането ѝ в бази данни и генерирането на карти (картографиране) за районите на тяхното осигуряване и нуждата от тях (Maes et al., 2013). Използването на Географски информационни системи е неотменима част от тази дейност и има ключово значение за реализацията на поставените цели по картиране на екосистемните услуги. През последните години беше осъществен значителен напредък в областта на картирането на екосистемните услуги (Martinez-Harms and Balvanera 2012), разработени бяха редица приложения и модели за оценка и картографиране (Bagstad et al. 2013). Използването на ГИС в при реализирането на тези дейности може да се обобщи в три основни направления: 1) използване на аналитичните функции на стандартните ГИС програми; 2) използване на специализирани ГИС приложения и модели предназначени за отделни компоненти на ландшафта (хидроложки, геоморфо-

ложки, ландшафтно-екологични и др.); 3) използване на ГИС приложения разработени специално за оценка и картографиране на екосистемни услуги. Основната цел на настоящата работа е да представи възможностите на ГИС в посочените три основни направления, посредством преглед на наличните подходи, модели и инструменти, както и примери за тяхното приложение.

2. Използване на аналитични функции от софтуерните пакети

Всяка ГИС програма разполага с определен набор от инструменти за извършване на аналитични операции с пространствени данни. При оценката и особено при картографирането е необходимо да се определят пространствените измерения на екосистемите и съответно на услугите, които те предоставят. Един от най-лесните и удобни подходи за оценка и картографиране на екосистемните услуги е методът на „матрицата“ при който пространствените данни за екосистемите и екосистемните услуги се оформят в табличен вид като първите се разполагат като редове, а вторите като колони в така наречената матрица (Burkhard et al., 2009; 2012). Като пространствена единица се използват данни за земното покритие по класификацията на CORINE Land Cover, а за екосистемните услуги е избрана схема, разработена от авторите на методиката включваща услугите, които според тях са значими за страните в Европа. По този начин в матрицата се получават определен брой уникални съчетания от класове земно покритие и екосистемни услуги, които се оформят като елементи на матрицата и в тях се попълват оценките за капацитета на съответните класове да осигуряват екосистемни услуги. Самата оценка се определя по шест степенна относителна скала със следните категории: 0 – липса на капацитет за осигуряване на определена екосистемна услуга; 1 – много нисък капацитет; 2 – нисък капацитет; 3 – среден капацитет; 4 – висок капацитет; 5 – много висок капацитет. Оценяването на капацитета може да се извърши на базата на експертно мнение, количествени данни за съответните услуги, измерени в полеви условия или получени от статистически материали, както и такива получени чрез моделиране на природни процеси. За създаване на карта на екосистемните услуги е необходимо да са налични данни за земното покритие за изследваната територия във векторен формат. Оценките за отделните класове земно покритие се въвеждат като нови колони (fields) в атрибутивната таблица като за целта се използва функцията за редактиране field calculator. След като в атрибутивната таблица се въведат данните с оценките по услуги може да се генерират серия от карти за всяка от услугите, както и по групи услуги. За визуализиране на капацитета за осигуряване на екосистемни услуги се използва шестстепенна цвятова гама от бледо розово към тъмно зелено (фиг.1) разработена от авторите на подхода (Burkhard et al. 2009).

На фиг. 1 е представен пример с карта на капацитета за осигуряване на екосистемната услуга регулация на климата на локално ниво като за целта е използвана информацията от CORINE Land Cover 2006 за територията на България и експертните оценки за тази услуга в матрицата на Burkhard et al. (2012). Анализът на получените резултати показва, че 41% от територията на страната притежава нисък капацитет за регулиране на климата на местно ниво, а 31% от територията притежава висок капацитет. От картата ясно се виждат районите с висок капацитет, които са разпо-

ложени предимно във планинските райони характеризирани се с висока степен на залесеност и преобладаване на естествените екосистеми, докато районите с нисък капацитет са предимно в равнинните, заети със земеделски земи територии.



Фигура 1. Карта на капацитета за осигуряване на екосистемната услуга регулация на климата на локално ниво за територията на България

Figure 1. Map of supply capacity of local climate regulation service in Bulgaria

Аналитичните функции на ГИС намират голямо приложение и когато е необходимо да се оцени в количествено измерение дадена услуга. При такива случаи като изходна информация се използват различни пространствени данни, които позволяват извличане на количествени характеристики за определени природни компоненти. Най-често използвани са цифровите модели на релефа, тъй като чрез тях може да се извършват различни аналитични операции за получаване на количествена информация като наклони на склона, експозиции, генериране топографски повърхнини свързани с движението на водните потоци и др. Важен източник на пространствена информация са сателитните изображения, които дават възможност за генериране на различни индекси за състоянието на земната повърхност като например нормализирания индекс за растителността (NDVI), цифрови карти за разпределението на различни природни елементи като валежи, температури почви и други. Приложението на различни аналитични функции като обрлейзи операции, картографска алгебра, геостатистически анализ и др. дават възможност да се генерират слоеве с пространствени данни за определени характеристики, които се явяват като индикатори за осигуряването на определени екосистемни услуги. Като пример за такова приложение може да се посочи оценката на екосистемната услуга регулация на ерозията. За целта се може да се използва универсалното уравнение за определяне на почвени загуби (Universal Soil Loss Equation – USLE). За неговото изчисляване се използват показатели представящи ерозионността на дъждовете (R-factor), податливостта на почвата към ерозия (K-factor), характерът на склоновете (LS-factor), влияние на растителната покривка (C-factor). За определяне на тяхното пространствено изражение се използват съответно наклони на склона и повърхност на акумулация генерирани от цифров модел на релефа (LS-factor), NDVI индекс генериран от сателитни изображения (C-factor),

индекс за почвена ерозия генериран на базата на цифрова карта на почвите (P-фактор) (Markov and Nedkov, 2016). За получаването на карти на регулация на ерозията получените от тях слоеве в растерен формат се интегрират чрез функцията за картографска алгебра. Получените резултати може да се прибедат към използваната по-горе скала за определяне на капацитета за осигуряване на екосистемни услуги за да може да се сравняват с резултатите получени чрез други методи.

3. ГИС приложения и модели за отделни компоненти на ландшафта

През последните години се наблюдава значително нарастване на интереса към използването на концепцията за екосистемните услуги при взимане на управленски решения. Във връзка с това нараства и търсенето на комплексни методи и инструменти за количественото им оценяване, което налага използването на по-специализирани ГИС приложения. Екосистемните услуги покриват широк спектър от дейности свързани с различни научни направления. В повечето от тях вече има разработени ГИС приложения, които биха могли да се използват ефективно при оценяването на отделни услуги. Опитът от приложението на хидроложки модели, базирани на ниво водосборен басейн, показва, че този подход дава възможност не само да се симулират количествените и качествени параметри на водните обекти, но и да се осигури информация за определени екосистемни услуги (Weber, 2005). Vigerstol and Aukema (2011) правят анализ на използването на няколко ГИС базирани модели сред които SWAT (Soil and Water Assessment Tool) и VIC (Variable Infiltration Capacity model), като правят извода, че при избора на модел за анализ на екосистемните услуги на първо място е необходимо да се вземе предвид вида на разглежданата услуга. Хидроложките модели естествено са приложими основно за свързаните с водата екосистемни услуги като осигуряването на питейна вода, регулация на наводнения, пречистване на водите, регулация на ерозията. Същността на приложението на хидроложките модели се състои във възможността да се симулират редица количествени характеристики на екосистемите, които да се използват като индикатори за оценка на екосистемните услуги и също така получаването на пространствено определени данни за тези характеристики чрез които се разработват карти на районите на тяхното осигуряване (supply) и нуждата от тях (demand).

При изследването на регулационната роля на екосистемните при случаи на наводнения се оценяват две основни функции – смекчаваща и превантивна. Първата се осъществява основно от влажните зони и естествената растителност в обхвата на заливните тераси и се изразява в способността им да „поемат“ част от високите води по време на речно прииждане причиняващо наводнения. Превантивната функция се осъществява от растителността и почвите във водосборния басейн посредством „задръжане“ на част от постъпващите води от валежите, като по този начин се намалява количеството на повърхностния отток който е основна съставка при формирането на наводнения причинени от поройни валежи. ГИС базирани хидроложки модели могат да се прилагат успешно при оценката на превантивната функция на екосистемите (Nedkov and Burkhard, 2012). Най-често използваните хидроложки модели в ГИС среда са SWAT, KINEROS (Kinematic Runoff and Erosion Model), HEC-HMS (Hydrologic Engineer Center – Hydrologic Modeling system), MIKE SHE. SWAT и KINEROS работят в ГИС среда

посредством приложението AGWA (Automated Geospatial Watershed Assessment tool) което дава възможност за използване на пространствени данни за водосборния басейн и генериране на пространствено определени резултати за елементите на водния кръговрат включително карти. Тя е разработена от американската агенция по околна среда (USEPA) и се разпространява свободно. Версия 2 на AGWA работи като самостоятелно приложение в ArcGIS. В последно време все по-голяма популярност получава модулът ArcSWAT, който е разработен от консорциум между Университета в Тексас (Texas A&M University) и Националната служба по земеделие на САЩ (USDA) в рамките на широкомащабен проект за развитие и приложение в практиката на този хидроложки модел (<http://swat.tamu.edu/>). Едно от най-важните предимства на този софтуер е възможността за диференциране на басейна на елементарни хидроложки единици (Hydrological Response Units – HRU), което позволява получаване на много детайлна пространствена информация за хидроложките характеристики в басейна. Той също се разпространява свободно и може да се инсталира като допълнително приложение към почти всички налични версии на ArcGIS. HEC-HMS е модел от разработен от Американската военно-инженерна служба (US Corps of Engineers), като за работа в ArcGIS среда е създадена специална платформа HEC-GeoHMS, чрез която се генерират пространствените компоненти на модела. Този модел също се разпространява свободно. MIKE SHE е от серията модели MIKE на компанията DHI Water & Environment. Той също работи в ArcGIS среда, но като комерсиален продукт се изисква заплащане на лиценз за използването му.

За приложението на хидроложки модели в ГИС среда обикновено е необходимо наличието на пространствени данни включващи цифров модел на релефа, земно покритие и почви, както и данни за валежите и оттока (Николова и Недков, 2012). Получените на изхода на модела характеристики са разнообразни и могат да се използват като индикатори за количествена оценка за определени екосистемни услуги. При оценка на регулацията на наводнения чрез модела KINEROS като индикатори се използват три характеристики – повърхностен отток, максимален отток и инфилтрация в почвата (Nedkov and Burkhard, 2012). Оценката на регулационната функция на базата на резултатите за повърхностния и максималния отток се основават на презумпцията, че колкото е по-ниска тяхната стойност толкова по-високо е количеството на задръжаната от ландшафта вода съответно капацитета за регулиране е по-висок. При инфилтрацията зависимостта е обратнопропорционална като високите стойности означават голямо количество задръжана вода, респективно висок капацитет. На фиг. 2 са показани резултатите от симулиране на повърхностен отток и инфилтрация за басейна на река Равна (приток на Малки Искър) и оценката на капацитета за осигуряване на регулация на наводнения получен на базата на тези стойности. От съществено значение при картографирането на капацитета за осигуряване на екосистемни услуги в случая е подборът на метод за определяне на интервалите при класифициране на стойностите за избраните индикатори. Различните методи дават различно разпределение на стойностите, което при някои полигони може да доведе до промяна на капацитета от по-нисък на по-висок или обратно. В показаният на фиг. 2 пример е използван методът на квантилите.

Ландшафтно-екологичните анализи и модели също могат да се използват ефективно в дейностите свързани с оценка и

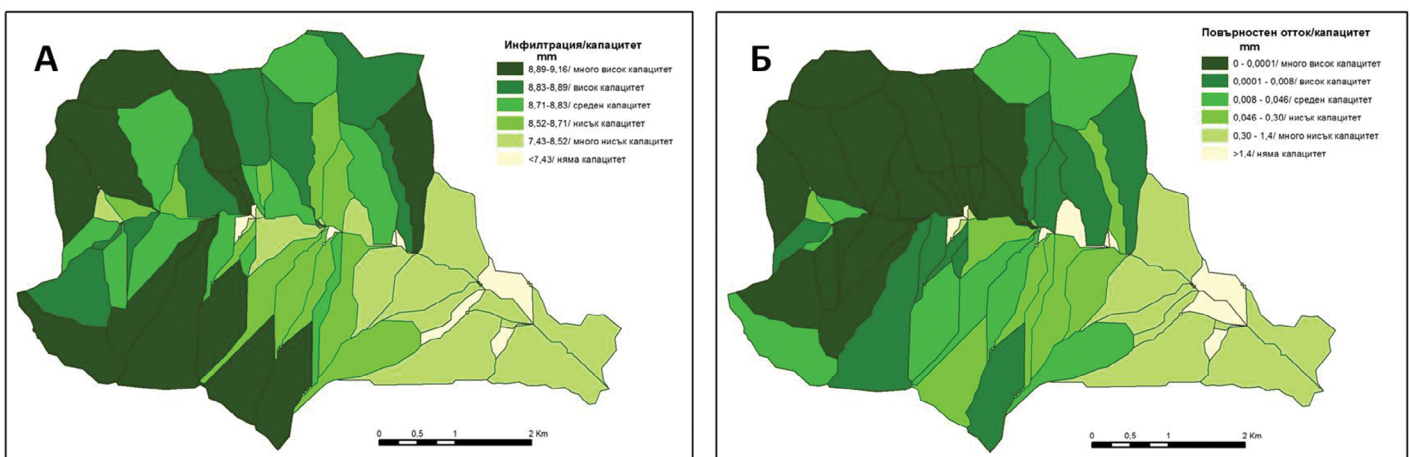
картографиране на екосистемните услуги. Ландшафтният подход при оценката на ползите от екосистемите намира широко приложение в този вид изследвания като някои автори дори предлагат използването на термина ландшафтни услуги (Termporshuizen and Odham, 2009). ГИС базираните анализи са сред основните методи използвани в ландшафтната екология като това направление разполага с богат инструментариум от средства и модели. Steiniger and Nau (2009) правят преглед на съществуващите ГИС приложения и представят 27 различни софтуерни продукта. Най-широко разпространеният модел за ландшафтно-екологични анализи в ГИС среда е FRAGSTAT (FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps). Той е разработен в лабораторията по ландшафтна екология към Масачузетския университет в Амхърст (UMass Landscape Ecology Lab) и е програмиран за генериране на широк спектър от характеристики на ландшафтната метрика. Тези характеристики намират приложения пряко или косвено при оценката на редица екосистемни услуги. Fang et al. (2014) прилагат елементи от ландшафтната метрика при оценката и картографирането на услугите поддържане на биоразнообразието, регулация на климата, осигуряване на питейна вода, регулиране на почвените процеси, регулиране на въздуха, туризъм за територията на Льосовото плато в Китай. Cordingley et al. (2015) го използват за изследване на фрагментацията на храстовите ландшафти в Дорсет във връзка с оценка на биоразнообразието и екосистемните услуги в южна Англия. Друго ГИС базирано средство с удобен и лесен за използване инструментариум е ATILA (Analytical Tool Interface for Landscape Assessment). Разработено е от департамента по ландшафтна екология на Американската агенция по околна среда (US-EPA) и също предлага инструменти за генериране на характеристики на ландшафтната метрика. В табл. 1 са представени част от ГИС базираните приложения с примери за използването им за конкретни екосистемни услуги и индикаторите за тях.

4. Специализирани ГИС приложения за екосистемни услуги

С развитието на концепцията за екосистемните услуги и все по-нарастващата нужда от пространствено модели-

ране за целите на оценката и картографирането изследователи от няколко екипа се насочват към разработването на ГИС базирани приложения проектирани конкретно за тези дейности. В тях се интегрират възможностите на ГИС технологията в областта на пространствените анализи с различни по характер модели (математически, физически, емпирични) и методи, които дават възможност за оценка или остойносттаване на определени услуги. Колкото повече услуги включва дадено приложение толкова по разнообразни са моделите и методите, които трябва да бъдат интегрирани в него. В разработката на Bagstad et al. (2013) е направен задълбочен анализ на 17 модела за оценка на екосистемни услуги. Част от тях са проектирани за работа в ГИС среда, а други не съдържат такива възможности. В доклада на IPBES (Intergovernmental Panel of Biodiversity and Ecosystem Services) за модели и сценарии (IPBES Deliverable 3c, 2016) са анализирани осем приложения по отношение на тяхната приложимост, мащаб, ниво на трудност при използване и др. В табл. 2 са представени някои от най-популярните ГИС базирани приложения за оценка и картографиране на екосистемни услуги с някои от основните им характеристики. Общото между тях е предназначението, насочено към екосистемните услуги. Различията са в подхода към оценяването, броя на включените в тях екосистемни услуги, използваните модели, както и до каква степен приложението е разработено и тествано.

InVEST е най-широко използваният и в най-голяма степен разработен и тестван модел. Той е създаден в рамките на проекта NatCap (Natural Capital Project) и цели да включи оценката на природните блага във всички важни управленски решения, засягащи околната среда и човечеството (Sharp et al, 2014). Въпреки някои несъвършенства в процеса на моделиране и калкулиране на оценки той е особено полезен за дейности насочени към подпомагане на управленските практики поради лесния и удобен за работа интерфейс и възможността да генерира достъпни за широк кръг ползватели резултати и карти. Моделът е проектиран за работа на три нива (tiers) според степента на сложност на заложените операции, детайлност на използваните данни и прецизност на получените резултати. На първото ниво (tier 1) моделът не е много възискателен към изходните данни и получените резултати



Фигура 2. Осигуряване на екосистемната услуга регулация на наводнения в басейна на река Равна на базата на индикаторите инфилтрация (А) и повърностен отток (Б)

Figure 2. Flood regulation ecosystem service supply in the Ravna river basin according to the indicators infiltration (A) and surface runoff (B)

Модел/ приложение	ГИС платформа	Екосистемни услуги	Индикатори
KINEROS	AGWA/ArcGIS	Регулация на наводнения	Повърхностен отток (mm)
			Максимален отток (m ³ /sec)
			Инфилтрация (mm)
SWAT	ArcSWAT/ ArcGIS	Пречистване на водите	Сумарен отток (m ³ /ha)
			Перколяция (m ³ /ha)
			Почвен отток (m ³ /ha)
		Осигуряване на питейна вода	Евапотранспирация (mm)
			Сумарен отток (m ³ /ha)
Регулация на ерозията	Сумарен твърд отток (t/ha) Баланс на твърдия отток (t)		
ATtILA	ArcGIS	Поддържане на хабитати и популации	Ландшафтна метрика
			Фрагментация
Fragstat	Самостоятелна/ ArcGIS	Поддържане на хабитати и популации	Ландшафтна метрика
		Поддържане на биоразнообразието	Ландшафтна метрика

Таблица 1. Модели и приложения работещи в ГИС среда и тяхното използване за оценка на определени екосистемни услуги и примерни индикатори за количествено им представяне

Table 1. GIS based tools and models and their application in ecosystem services assessment with examples of indicators

Приложение	Софтуер	Мащаб	Брой услуги	Източници
Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST)	ArcGIS/самостоятелно	Ландшафт/ водосборен басейн	20	Tallis et al. 2013 http://www.naturalcapitalproject.org/invest/
Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES)	GUI/Web-базиран	Ландшафт/ водосборен басейн	8	Bagstad et al. 2011 http://aries.integratedmodelling.org/
Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services (MIMES)	Simile	Глобален до локален	12	http://www.affordablefutures.com/orientation-to-what-we-do/services/mimes
Social Values for Ecosystem Services (Solves)	ArcGIS	Ландшафт/ водосборен басейн	2	Sherrouse et al. 2011 http://solves.cr.usgs.gov/
Land Utilization Capability Indicator (LUCI)	ArcGIS	Ландшафт/водос-борен басейн/място	9	Jackson et al. 2013 http://www.lucitools.org/
Integrated Model to Assess the Global Environment (IMAGE)	Set of models	Глобален	7	http://themasites.pbl.nl/models/image/index.php/Welcome_to_IMAGE_3.0_Documentation
Co\$ting Nature	Web/ Google Earth	Ландшафт	4	http://www.policysupport.org/costingnature
Ecosystem Valuation Toolkit	Web-базиран	Ландшафт/ водосборен басейн	15	http://esvaluation.org/
ESM-App	Smartphone app	Ландшафт	21	http://www.ufz.de/index.php?en=33303

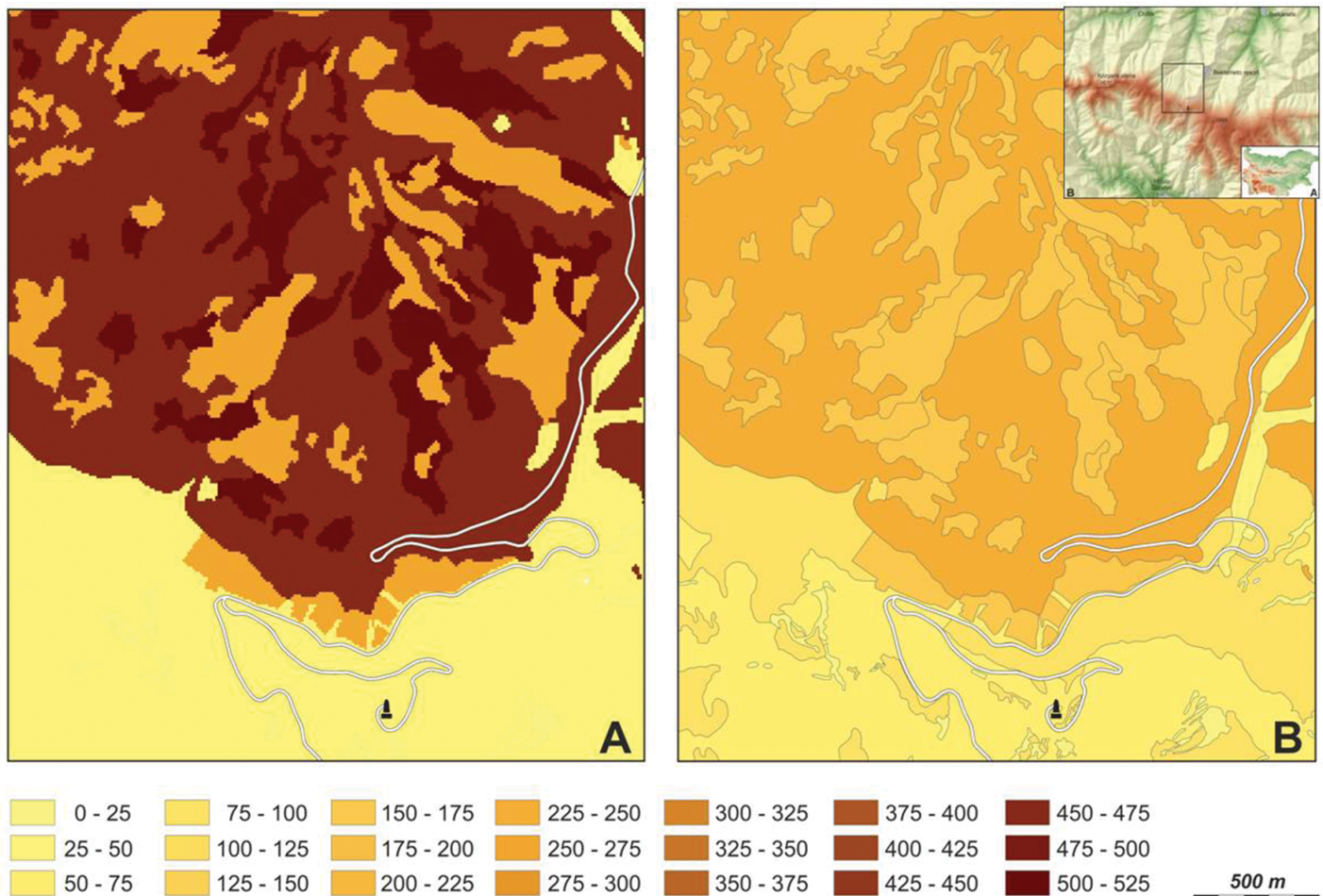
Таблица 2. Специализирани ГИС приложения за оценка и картографиране на екосистемни услуги

Table 2. Specialized GIS tools for mapping and assessment of ecosystem services

са с относително ниска прецизност. Подходящ е в случаи, когато не са налични детайлни данни за изследваните услуги и се извършва проучване с цел получаване на първоначална представа за изследваната територия. На следващите нива изискванията към качеството на данните се увеличават и нараства прецизността на получените резултати. Един от най-често използваните модули е оценката на функцията „съхранение и улавяне на въглерод“, която се използва като основен индикатор за оценката на услугата регулиране на климата на глобално ниво (оценява се регулирането на концентрацията на парникови газове с оглед смекчаването на ефекта от глобалното затопляне). Като основа моделът използва карта на земното покритие, а данните за съхранения въглерод се задават в табличен вид (look-up-tables) по класове земно покритие. За всеки клас в таблицата са зададени количествата на въглерода разделени в четири компонента (carbon pools) – наземна биомаса, подземна биомаса, почва, мъртва биомаса. Моделът дава възможност за изчис-

ляване на количеството на съхранения въглерод, както и за нетния приход или разход за определен период от време ако са налични данни за земното покритие за различни периоди. На фиг. 3 е показан пример за карти на съхранение и улавяне на въглерод за района на Беклемето получени чрез моделиране с InVEST и по данни от теренни измервания.

ARIES е Уеб-базиран инструмент, който позволява на потребителите да оценят съотношението между екосистемните услуги и да идентифицират възможни заинтересовани страни, които могат да имат ползи от изследването. Базира се на анализ на вероятностни взаимоотношения, по информация от други подобни обекти по света, но за случаи, в които е налична достатъчно информация, могат да се използват биофизични връзки. Като резултат се получава информация с екосистемните активи на района, оценка на тяхната действителна и потенциална стойност и анализ на връзките между екологичните и икономическите компоненти на системата (Bagstad et al., 2011).



Фигура 3. Съхранение и улавяне на въглерод (в t/ha) в екосистемите в района на Беклемето, Средна Стара Планина, получени чрез моделиране с InVEST (A) и по данни от измервания на терена (B) (по Zhiyanski et al. 2016)

Figure 3. Carbon storage (t/ha) of the ecosystems in Beklemeto area, Sredna Stara Planina, derived by InVEST model (A) and direct measurements (B) (Zhiyanski et al. 2016)

5. Заключение

Географските информационни системи са неотменима част от дейностите свързани с оценката и картографирането на екосистемните услуги. Използването на ГИС програмите за събиране и обработка на пространствена информация, приложението на аналитични функции и пространствени анализи, въвеждането на специализирани приложения за различни компоненти на екосистемите, разработването на приложения за екосистемни услуги, навлизането на веб-базираните средства и платформи позволиха да се разшири значително обхвата на дейностите в това направление. Напредъкът, който беше отбелязан през последните години в тези области позволи да се натрупа съществен материал за пространственото изражение на екосистемите и услугите, които те предоставят, и в същото време да става достояние на все по-голям кръг ползватели. В интернет вече са налични няколко бази данни с информация за екосистемни услуги, разработват се и платформи за обмяна на информация за съществуващи разработки в областта на картографирането на екосистемните услуги (Dracou et al. 2015).

Използването на аналитичните функции на ГИС пакетите може да се определи като най-удобният и бърз подход тъй като не се изисква допълнителен капацитет за изучаване на специализирани приложения или програми. Получените резултати под формата на пространствени данни може да бъдат използвани от широк кръг ползватели за по-нататъшни анализи и последващи разработки. Методът на матрицата дава възможност чрез използване на широко достъпни изходни данни да се генерират карти за широк набор от екосистемни услуги. Ограниченията на този подход се проявяват, когато е необходимо да се извърши по-задълбочено изследване на определени аспекти на конкретни услуги с по-висока степен на прецизност. Подходът с използването на специализирани ГИС приложения за отделни компоненти на ландшафта е подходящ за точно такива случаи тъй като при тях са налични инструменти, проектирани за генериране на специфични параметри или симулиране на разнообразни характеристики, които не е възможно да бъдат анализирани с „конвенционалните“ програми. Ограничението при тях е в лимитирания брой на услугите, които могат да бъдат оценени тъй като те са специализирани в една определена област. Специализираните приложения за оценка на екосистемни услуги съчетават в себе си някои от предимствата на предходните два подхода. Чрез тях може да се оценят по-широк набор от услуги с относително голяма степен на прецизност. Ограниченията в тяхното използване са свързани с факта, че това са сравнително нови продукти, повечето от които са в начален стадий на разработка и имат все още ограничени функционалности. В заключение може да се направи извода, че всеки от разглежданите в настоящата работа три подхода има своите предимства и недостатъци и използването им следва да се избира в зависимост от конкретните цели на изследването.

Литература

- Николова, М., Негков, С., 2012. Рискът от наводнения. ГИС моделиране на промените в околната среда за оценка на риска от наводнения. София, изд. ТерАРТ.
- Bagstad, K.J., Villa, F., Johnson, G., Voigt, B., 2011. ARIES—Artificial Intelligence for Ecosystem Services: A Guide to Models and Data, Version 1.0 Beta. The ARIES Consortium, Bilbao, Spain.
- Bagstad, K. J., Semmens, D. J., Waage, S., & Winthrop, R. 2013. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services*, 5, 27-39.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., Windhors, W., 2009. Landscapes capacities to provide ecosystem services – a concept for land-cover based assessments. *Landscape Online* 15, 1-22.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S. and F. Müller 2012. Mapping supply, demand and budgets of ecosystem services. *Ecological Indicators* 21: 17-29.
- Cordingley, J.E., Newton, A.C., Rose, R.J., Clarke, R.T., Bullock, J. M. 2015. Habitat Fragmentation Intensifies Trade-Offs between Biodiversity and Ecosystem Services in a Heathland Ecosystem in Southern England. *PLoS ONE* 10(6).
- Costanza, R., Daly, H., 1992. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology* 6, 37–46.
- Costanza, R., R. d'Arge, R de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. O'Neill, J. Paruelo, R. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt, 1997. The value of world ecosystem services and natural capital. *Nature*, vol., 387, Macmillan Publishers Ltd.
- Daily, G. C. 1997. *Nature's Services Societal Dependence On Natural Ecosystems*. Island Press, Washington D C.
- De Groot, R.S. 1992. *Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision Making*. Wolters-Noordhoff BV, Groningen.
- De Groot, R. 1994. Environmental functions and the Economic value of Natural Ecosystems. In: Janson et al. (eds), "Investing in natural capital: the ecological economics approach to sustainability", Island press, International Society of Ecological economics.
- Drakou, E. G., Crossman, N. D., Willems, L., Burkhard, B., Palomo, I., Maes, J., & Peedell, S. 2015. A visualization and data-sharing tool for ecosystem service maps: Lessons learnt, challenges and the way forward. *Ecosystem Services*, 13, 134-140.
- Eade, J. D., & Moran, D. 1996. Spatial economic valuation: benefits transfer using geographical information systems. *Journal of Environmental management*, 48(2), 97-110.
- Fang, X., Tang, G., Li, B., Han, R., 2014. Spatial and temporal variations of ecosystem service values in relation to land use pattern in the loess plateau of china at town scale. *PLoS ONE* 9 (10): article number e110745.
- IPBES Deliverable 3c, 2016. Methodological assessment of scenarios and models of biodiversity and ecosystem services.
- Jackson, B., Pagella, T., Sinclair, F., Orellana, B., Henshaw, A., Reynolds, B., McIntyre, N., Wheeler, H., Eycott, A., 2013. Polyscape: a GIS mapping toolbox providing efficient and spatially explicit landscape-scale valuation of multiple ecosystem services. *Landscape Urban Plan* 112, 74–88.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Maes J, Teller A, Erhard M, Liqueste C, Braat L, Berry P, et al. 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. Publications office of the European Union, Luxembourg.
- Markov, B., Nedkov, S. 2016. Mapping of erosion regulation ecosystem services. In: Bandrova, T., Konechni, M. (Eds) *Proceedings, 6th International*

Conference on Cartography and GIS, 13-17 June 2016, Albena, Bulgaria, 97-109.

• Martinez-Harms, M.J., Balvanera, P., 2012. Methods for mapping ecosystem service supply: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services, and Management* 8 (1–2), 17–25.

• Naidoo, R., Balmford, A., Costanza, R., Fisher, B., Green, R.E., Lehner, B., Malcolm, T.R., and Ricketts T.H. 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(28), 9495–9500.

• Nedkov, S. and Burkhard, B. 2012. Flood regulating ecosystem services - Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators* 21: 67-79. 130.

• Perrings, C.A., Mäler, K.-G., Folke, C., Holling, C.S., Jansson, B.-O. (Eds.), 1995. *Biodiversity Loss: Ecological and Economic Issues*. Cambridge University Press, Cambridge.

• Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T. et al. 2014. *InVEST 3.0.1 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford.

• Sherrouse, B.C., Clement, J.M., Semmens, D.J., 2011. A GIS application for assessing, mapping, and quantifying the social values of ecosystem services. *Applied Geography* 31, 748–760.

• Steininger, S., and Hay, G. 2009. Free and open source geographic information tools for landscape ecology. *Ecological Informatics*, 4, 183-195.

• Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, et al. 2013. *InVEST 2.5.3 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford, CA.

• Termorshuizen, J.W., Opdam, P., 2009. Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development. *Landscape Ecology* 24, 1037–1052.

• Vigerstol, K.L., and Aukema, J.E. 2011. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of Environmental Management* 92, 2403-2409.

• Weber, T., 2005. Using a Catchment Water Quality Model to Quantify the Value of Ecosystem Services. In: Zenger, A&Argend, R. (eds.) *MODSIM 2005 International Congress on Modeling and Simulation*. Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005.

• Zhiyanski, M., Gikov, A., Nedkov, S., Dimitrov, P., Naydenova, L. 2016. Mapping Carbon Storage Using Land Cover/Land Use Data in the Area of Beklemeto, Central Balkan. In: Koulov, B., Zhelezov, G. (Eds.) *Sustainable Mountain Regions: Challenges and Perspectives in Southeastern Europe*, Springer, 53-65.