

ГИС-БАЗИРАНИ МОДЕЛИ ЗА ПРОСТРАНСТВЕН АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА ХАБИТАТНИТЕ ФУНКЦИИ НА ЛАНДШАФТИТЕ

Йордан Йорданов¹, Стоян Недков¹

DOI: 10.7546/PG.3-4.2024.06

В статията се прави преглед на съществуващите ГИС-базирани приложения и модели за изследване на пространствените аспекти на взаимодействието между хората и дивите животни. Направена е систематизация на идентифицираните 101 модела и е извършена оценка на тяхната пригодност за посочените цели. Резултатите от оценката на пригодността извеждат два модела (InVEST и FRAGSTAT) като най-подходящи за посочените цели и други 15 модела с относително висока степен на пригодност. Тестването на модула на InVEST за оценка на качеството на хабитатите показва добри резултати за района на биосферен парк „Централен Балкан“.

Ключови думи: ГИС, екосистемни услуги, ландшафтно-екологични модели, качество на хабитатите.

GIS-BASED MODELS FOR SPATIAL ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE HABITAT FUNCTION AT A LANDSCAPE LEVEL

Yordan Yordanov, Stoyan Nedkov

Abstract: Human-wildlife interactions in the form of a shared habitat are the basis of the leading paradigm in the European concept of biodiversity protection and conservation management. Landscape-ecological analyses and the assessment and mapping of ecosystem services provide important tools for studies of these interactions.

¹ Секция ГИС на департамент География към Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките, yordan.a.yordanov@gmail.com; snedkov@abv.bg

The paper presents a review of existing GIS-based applications and models for studying the spatial aspects of human-wildlife interactions. The main objective of the study is to review existing GIS-based applications and models for studying the spatial aspects of human-wildlife interactions. It was achieved by executing four main tasks: 1) review of GIS-based applications and models for landscape-ecological analyzes and mapping of ecosystem services; 2) selection of appropriate applications and models to study the spatial aspects of human-wildlife interactions; 3) assessment of the suitability of the selected applications and models; 4) testing the best-fitting model in a pre-selected study area. The fourth task was implemented in a case study area of the “Central Balkan” Biosphere Park”. The methodology of the study is based on review and analyses of the available tools and models as well as suitability assessment of the selected models for the needs of the studies on the spatial aspects of the human-wildlife interactions.

The identified 101 models were systematized and their suitability for the study’s objectives was assessed. Most of are GIS-based and have the potential to be used in studies on the spatial aspects of human-wildlife interactions. The models are classified into seven groups on the base of collected information about their functionality and purpose. The largest and with the best developed tools for GIS analysis is the group of landscape-ecological models. Next is the group of models for ecosystem service assessment. The results of the suitability assessment show the two models (InVEST and FRAGSTAT) as the most suitable for the stated purposes. Another 15 models are assessed with relatively high suitability. Testing of InVEST’s habitat quality assessment module shows good results for the Central Balkan Biosphere Park area which is an appropriate basis for further works.

Keywords: GIS, ecosystem services, landscape ecology models, habitat quality.

УВОД

Взаимодействието между човека и природната среда е сред основните проблеми, изследвани в географията. То се проявява в различни аспекти, които се изучават от отделните географски дисциплини. Един от важните аспекти на това взаимодействие са отношенията между хората и дивите животни, които са в основата на водещата парадигма в Европейската концепция за опазване на биоразнообразието и управлението на конзервационните дейности (König et al., 2020). Съжителството между хората и дивите животни продължава да бъде сериозно предизвикателство (Smith et al., 2017), което налага търсене на устойчиви подходи за споделяне на пространството. Ландшафтната екология като интердисциплинарно научно направление със силен географски (респективно пространствен) елемент притежава необходимия инструментариум за изследване на различните аспекти на взаимодействията между хората и дивите животни, с който да допринесе за разработването на такива устойчиви подходи.

Определянето на пространствените единици, в рамките на които да се изследват взаимодействията между хората и дивите животни, е сред ос-

новните въпроси за решаване пред изследователите на тези проблеми. При по-специфични ландшафтно-екологични изследвания пространственото изражение на екосистемите се определя на базата на хабитатите на определени растителни или животински видове (Delangre et al., 2018). Поддържането на хабитати е една от важните регулиращи екосистемни услуги (ЕУ) и чрез нейното изследване може да се получат много полезни резултати за изясняване на различните аспекти на взаимодействието между хората и дивите животни с оглед постигането на посочените по-горе устойчиви подходи за споделено пространство.

Използването на Географски информационни системи (ГИС) е от ключово значение за картирането и картографирането на ЕУ (Недков, 2018). Развитието на различни методи и подходи за картиране и картографиране позволява да се определят районите на осигуряване на услугите и местата с нужда от тяхното потребление (Martinez-Harms, Balvanera 2012). Важна роля в тези изследвания играят приложенията за моделиране на екосистемните услуги, чрез които се осигурява надеждна методическа база за по-дълбочени пространствени анализи и създаване на по-прецизни карти (Bagstad et al., 2013). Използването на ГИС за картиране и картографиране на екосистемни услуги 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, геоморфоложки, ландшафтно-екологични и др.); 3) използване на ГИС приложения, разработени специално за оценка и картографиране на екосистемни услуги (Palomo et al., 2017; Недков, 2018).

Една от първите разработки, отнасящи се до прегледа и анализа на ГИС-базираните средства в ландшафтната екология, е публикувана от Klug и Zeil (2004), които представят тринадесет различни програми за калкулиране на определени параметри на ландшафта (landscape metrics). Пет от тях (Fragstat Arc, Patch Analyst, ATtILA, Landscape Analyst и IMT) представляват приложения към една от най-широко използваните по това време ГИС програми – ArcView. Повечето от тях се разпространяват свободно и използват Windows графичен интерфейс, което ги прави достъпни за широк кръг потребители. ГИС приложенията със свободен достъп са обект и в работата на Steiniger and Nau (2009), които анализират 23 различни софтуерни продукта. Едно от най-широко разпространените приложения за ландшафтно-екологични анализи в ГИС среда е FRAGSTAT (FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps). То е проектирано за генериране на широк спектър от характеристики на ландшафтната метрика, които могат да се използват за разнообразни цели (Uuemaa et al., 2009). Друго често използвано ГИС-базирано приложение е ATtILA (Analytical Tool Interface for Landscape Assessment). То също предлага широк набор

от инструменти за генериране на характеристики на ландшафтната метрика и намира широко приложение в различни консервационни дейности (Ebert et al., 2002). Dutta et al. (2022) правят задълбочен преглед на различни ГИС-базирани приложения в ландшафтната екология, които имат отношение към анализите на свързаност в екосистемите. От направения преглед се вижда, че съществуват много и различни методи, инструменти и приложения за ландшафтно-екологични анализи в ГИС среда, както и литература, засягаща тяхната приложимост. Липсват обаче разработки, насочени пряко към приложението на ГИС-базираните средства по отношение на изследването на пространствените аспекти на взаимодействието между хората и дивите животни.

Екосистемната услуга *поддържане на хабитати* присъства в повечето класификации на ЕУ. В класификацията на Екосистемната оценка на хилядолетието (МА, 2005) тя е разглеждана като част от групата на поддържащите ЕУ. С развитието на концепцията за ЕУ групата на поддържащите услуги постепенно отпада като самостоятелен елемент на класификациите, а повечето услуги са трансформирани като функционални процеси, поддържащи осигуряването на ЕУ. Поддържането на хабитати първоначално в класификацията на ТЕЕВ (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) е изведена в отделна група, а в класификацията CICES (Common International Classification of Ecosystem Services) е добавена към групата на регулиращите ЕУ (Haines-Young, Potschin, 2018).

С развитието на концепцията за ЕУ и все по-нарастващата нужда от пространствено моделиране започва разработването на ГИС-базирани приложения, проектирани конкретно за картиране и картографиране на ЕУ. Bagstad et al. (2013) правят задълбочен анализ на 17 модела, като част от тях са проектирани за работа в ГИС среда, а други не съдържат такива възможности. Palomo et al. (2017) разглеждат девет от най-популярните ГИС-базирани приложения за оценка и картографиране на ЕУ с някои от основните им характеристики. Най-широко използваното и най-добре развитото приложение е InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs). То се състои от отделни модули за различните ЕУ и цели да включи оценката на ЕУ във всички важни управленски решения, засягащи околната среда (Sharp et al., 2014). Модулът за качество на хабитатите е един от сравнително новите в портфолиото на InVEST, но вече има широко разпространение, което е документирано в няколко научни публикации (Akbari et al., 2021; Nematollahi et al., 2020; Zhu et al., 2022; Admasu et al., 2023). Направеният преглед показва, че услугата поддържане на хабитати като част от регулиращите ЕУ е сравнително добре изучена и за нейното изследване има разработени модели, включително ГИС-базирани. От друга страна, информация за прилагане на такива модели за изследване на пространствените аспекти на взаимодействието между хората и дивите животни липсва в научната литература.

Основната цел на представеното в настоящата статия изследване е да се направи преглед на съществуващите ГИС-базирани приложения и модели за изследване на пространствените аспекти на взаимодействието между хората и дивите животни. За реализирането на тази цел са поставени следните изследователски задачи: 1) преглед на ГИС-базираните приложения и модели за ландшафтно-екологични анализи и картиране на екосистемни услуги; 2) подбор на подходящите приложения и модели за изследване на пространствените аспекти на взаимодействието между хората и дивите животни; 3) оценка на пригодността на избраните приложения и модели; 4) тестване на най-подходящия модел в предварително избран район на изследване.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

ТЕСТОВ РАЙОН

Във връзка с реализирането на четвъртата изследователска задача е избран тестов район, който като пространствен обхват се покрива в значителна степен с територията на биосферен парк „Централен Балкан“. Основният мотив за избора на този район е, че биосферният парк по дефиниция представлява територия, символизираща хармоничното съжителство между човека и природата. Това е в унисон с основната цел на изследването, която е свързана с пространствените аспекти на взаимодействието между хората и животните. „Централен Балкан“ е най-големият от четирите биосферни парка в страната и предлага съчетание от различни по категория защитени територии и земи с относително висока степен на стопанско усвояване (фиг. 1 – приложение). Като допълнителен, но не по-малко важен мотив, е включването му като район на изследване в международния проект по програма Biodiversa+ TransWILD. Основната цел на този проект е да разработи устойчиви модели за взаимодействието между хората и дивите животни, съобразен както с консервационните практики, така и с икономическото развитие на районите, в които те се прилагат.

Биосферният парк „Централен Балкан“ е обявен на 29-та сесия на Междуправителствения координационен съвет по Програмата „Човекът и биосферата“ на ЮНЕСКО през 2017 г., заедно с още три други защитени територии в страната. Той се състои от три зони: 1) сърцевинна, включваща деветте резервата на територията на Националния парк (НП) „Централен Балкан“ („Боатин“, „Царичина“, „Козя стена“, „Стенето“, „Северен Джендем“, „Пеещи скали“, „Соколна“, „Джендема“ и „Стара река“); 2) буферна зона, включваща останалата територия на НП „Централен Балкан“; 3) преходна зона, включваща прилежащите територии на общините,

граничеши с НП (Троян, Севлиево, Павел баня, Карлово и Антон). Паркът съдържа елементите, необходими за един биосферен парк от нов тип, като зониране, съчетаващо строго защитени територии с такива, в които се допускат дейности по ползване на ресурси. Ландшафтите в района се отличават с мултифункционалност, осигуряваща съчетание на дейности по консервация и развитие. В същото време има интегритет между културното наследство и биологичното разнообразие, което може да служи като място за образование и за развитие на модели за устойчиво регионално развитие (Томова, Борисова, 2018).

ПРЕГЛЕД НА ГИС-БАЗИРАНИТЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ЗА ЛАНДШАФТНИ И ЕКОСИСТЕМНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Във връзка с постигането на поставените цели е извършен преглед на няколко групи източници: 1) предходни изследвания в секция ГИС на НИГГГ – БАН; 2) научни публикации, съдържащи обзор на приложения, модели за ландшафтно-екологични и екосистемни анализи; 3) доклади и материали от проекти, свързани с екосистемните услуги; 4) интернет сайтове. В секция ГИС на НИГГГ – БАН се работи активно с модели, които намират приложение в различни аспекти на оценката на околната среда. Информацията за тях е събрана след преглед на наличните архивни материали от проекти, публикации и работни документи. Прегледът на научни публикации е извършен чрез търсене в базите данни на Scopus и Web of Science с използване на ключови думи, оформени в следния алгоритъм: Landscape AND Ecology AND Ecosystem AND Services AND Model AND Tool AND Review. В резултат на търсенето са установени 74 публикации, които отговарят на зададените параметри, след преглед в абстрактите и съдържанието са селектирани 14 публикации, съдържащи литературни обзори. В докладите от проекти, свързани с екосистемните услуги, също се съдържа ценна информация за модели и приложения, особено в случаите когато в рамките на даден проект е направен анализ на тяхната приложимост. Ценна информация за модели и приложения се съдържа в интернет материали от проекти като Openness (<https://oppla.eu/groups/openness/openness-project>), OPERA (<https://operas-eu.org/>), ESMERALDA (<http://www.esmeralda-project.eu/>), MAIA (<https://maiaportal.eu/>). Търсенето в интернет се явява като допълнителен елемент на прегледа, чрез който може да се установяват модели и приложения, които по някаква причина са пропуснати в предходните търсения.

За систематизиране на информацията от намерените източници е разработен темплейт за преглед, какъвто се препоръчва при извършването на систематични прегледи на публикации (Ochoa and Urbina-Cardoba;

Perevochtchikova et al., 2019; Nedkov et al., 2022). Той е оформен в MS Excel и съдържа три основни компонента:

1) Обща информация за модела – всеки модел се въвежда с уникален номер за по-удобна идентификация, дава се информация за наименованието, разработчика, типа на модела (ландшафтно-екологичен, за пространствени анализи, за екосистемни услуги и т.н.), основно предназначение, литературни и интернет източници за модела;

2) ГИС параметри на модела – съдържа полета, в които се въвежда информация от прегледа по отношение на ГИС параметрите. Тъй като при първоначалния преглед в списъка попадат най-различни модели и приложения, като не за всички от тях е ясно дали имат ГИС функционалност, първият параметър в този компонент се отнася до възможността на модела да работи в ГИС среда. Сред моделите съществува относително голямо разнообразие в подходите на моделиране и в начина, по който ГИС технологията се използва при ландшафтно-екологичните и екосистемните изследвания. При първоначалния преглед се оказва, че при някои дори липсва ГИС компонент, а при други това не е ясно указано. Затова за този параметър работата на модела се определя в четири категории: 1 – моделът работи изцяло в ГИС среда; 2 – моделът използва ГИС за визуализация на пространствени резултати; 3 – моделът не използва ГИС; 4 – използването на ГИС не е ясно указано. Следващият параметър е за определяне на ГИС платформата, която използва моделът. Освен най-разпространените ГИС софтуери ArcGIS и QGIS все по-голяма популярност придобиват самостоятелните приложения (stand-alone program). Третата група параметри от този компонент обхваща мащабните диапазони на модела и възможностите за генерализация.

3) Ландшафтно-екологични и екосистемни параметри на модела – съдържа характеристики, свързани с приложението на моделите за оценка и картиране на екосистемните услуги.

ОЦЕНКА НА ПРИГОДНОСТТА НА ГИС-БАЗИРАНИТЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Търсенето по посочените по-горе подходи доведе до натрупването на относително голям брой модели и приложения за ландшафтно-екологични и екосистемни анализи. Разглеждането на всеки от тях в детайли би отнело твърде много време. От друга страна, част фокуса на настоящото изследване са ГИС-базираните модели, а не всички идентифицирани по време на търсенето в пълна степен са такива. Затова за оценката на пригодността на идентифицираните модели и приложения е избран двустепенен подход (оценка на две нива). На първото ниво са определени три сравнително общи критерия, чрез които да се селектират моделите и приложенията с

ясно изразена ГИС функционалност и потенциална възможност да се прилагат за оценка и картиране на хабитатната екосистемна услуга. На второто ниво селектираните модели и приложения са разгледани по-подробно чрез използване на по-широк набор от критерии, базирани на параметрите от темплейта.

На първото ниво за оценка на моделите са определени следните критерии: 1) ГИС функционалност; 2) възможност за оценка на хабитатната екосистемна услуга; 3) ниво на развитие. По първия критерий се използват основно данните от параметъра възможност на модела да работи в ГИС среда. След селектирането на всички модели в категории 1 (моделът работи изцяло в ГИС среда) и 2 (моделът използва ГИС за визуализация на пространствени резултати) те са прегледани повторно (на второ ниво) и от тях са отделени тези, за които има налична информация по поне три от останалите параметри от компонент 2 на темплейта. Селектираните по този начин модели са оценени по втория критерий, за който е използван параметърът от компонент три относно възможността за оценка на хабитатната екосистемна услуга. Освен моделите, за които има сигурна информация, че включват във функционалностите си оценка на екосистемни услуги, като потенциално възможни са определени и ландшафтно-екологични модели, които генерират метрика, свързана с пространствените аспекти на хабитатите. Третият критерий – ниво на развитие, е с най-голяма степен на условност, но от друга страна, има много важно значение, защото от нивото на развитие на модела зависи неговата приложимост. Най-надеждна информация за този параметър може да се получи от обзорните публикации за модели (Steininger and Nau, 2009; Uuemaa et al., 2009; Bagstad et al., 2013). Броят на оценените в тях модели не е голям и затова за останалите се наложи допълнително прочуване. Като критерии за определяне на нивото на развитие са взети предвид публикации с изследвания, използващи съответните модели, наличието на добре оформен и функционален уебсайт на модела и на добре оформени инструкции за работа (user manual).

Селектираните на първото ниво модели са подложени на по-задълбочен преглед и за тях са попълнени всички възможни параметри в темплейта. За тяхното оценяване всеки от трите критерия на първо ниво е доразвит чрез включване на повече параметри, за които има достатъчно събрани данни. По критерия за ГИС функционалностите акцентът е върху параметъра за изискванията на модела към квалификацията на потребителя. Това е много важен показател при подбора на модел за всяко едно проучване, защото то трябва да се съобразява с възможностите на изследователите да работят със съответния модел. Пряко свързано с този параметър е и времето, необходимо за работа с модела, което зависи, от една страна, от сложността му и необходимостта от време за обучение и от друга, от времетраенето на операциите. Тук също най-надеждната информация е от обзор-

ните публикации (Steininger, Nau, 2009; Uuema et al., 2009; Bagstad et al., 2013), които за съжаление покриват относително малък брой модели. По тази причина при селекцията по тези два критерия определящ фактор е наличието на надеждна информация. Вторият водещ критерий – възможност за оценка на хабитатната екосистемна услуга, е доразвит с параметрите за наличие функционалности за оценка на екосистемни услуги и специфични метрики за качество на хабитатите. Третият показател – ниво на развитие, е доразработен чрез събиране на допълнителна информация за моделите с висока оценка при първата селекция с фокус върху наличието на научни публикации и добре оформен уебсайт. Оценка на пригодността на модела е извършена по тристепенна скала (1 – ниска; 2 – средна; 3 – висока). Всеки от моделите е оценен по седем параметъра, три по първия критерий, два по втория и два по третия.

ТЕСТВАНЕ НА МОДЕЛ ЗА ОЦЕНКА

InVEST е най-развитият и най-широко използван модел за оценка, картиране и картографиране на екосистемни услуги. Той е създаден в рамките на Natural Capital Project (NatCap) на университета в Станфорд (САЩ) 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 (Недков, 2018). InVEST е структуриран в модули, като повечето от тях са насочени към моделирането на определена екосистемна услуга или екосистемна функция. Понастоящем има разработени 25 модула, като два от тях (Delineate и RouteDEM) са предназначени за генериране на пространствени деривати от цифрови модели на релефа, използвани в другите модули, а останалите 23 са насочени към анализи на различни услуги и екосистеми. Екосистемната услуга поддържане на хабитати е застъпена в два от модулите – качество на хабитатите (habitat quality) и оценка на риска за хабитатите (habitat risk assessment). При сравнението между двата първият е избран като по-подходящ за тестване на пригодността му за целите на изследването.

Тестването на модула за качество на хабитатите е извършено за района на биосферен парк „Централен Балкан“. За осигуряване на входни данни е обработена информация от CORINE Land Cover чрез екстрахиране от базата данни за страната, конвертиране и рекласифициране на класовете съгласно използваната от модела класификационна схема. Данните за запла-

хите са оформени по примера на референтните таблици от ръководството за приложение на модела (Natural Capital Project, 2024).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ НА ГИС-БАЗИРАНИТЕ МОДЕЛИ

В резултат на извършения преглед са идентифицирани 101 модела, които имат функционалности, свързани с ландшафтно-екологичните и екосистемните анализи. Съставеният списък не претендира за изчерпателност, но може да се твърди че съдържа най-разпространените в научните среди модели. По отношение на моделите за оценка на екосистемните услуги може да се твърди, че в списъка са попаднали повечето от познатите в научната литература. Въпреки бързото им развитие през последните години те са по-малко, защото моделирането на екосистемните услуги е относително ново направление. При моделите за ландшафтно-екологични анализи за пълнотата на списъка може да се твърди с по-голяма степен на несигурност. В това направление, освен някои по-популярни като Fragstat и V-LATE, съществува много голямо разнообразие от модели със специфична приложимост и сравнително ограничено разпространение. По тази причина в изследване като настоящото практически е невъзможно да се покрие целият набор от модели.

По отношение на възможността за работа в ГИС среда малко повече от половината модели (54%) имат пълна ГИС функционалност (фиг. 2А). При 21 от идентифицираните приложения моделирането се извършва чрез софтуер, който няма ГИС функционалност, но за визуализация на резултатите се използват стандартни ГИС софтуери. Типичен пример е моделът InVEST, който работи като самостоятелно приложение, но няма функционалност за визуализация. Получените резултати от моделирането може да се визуализират и обработват допълнително чрез използване на стандартен ГИС софтуер като ArcGIS или QGIS. Девет от моделите нямат ГИС функционалност и пространствена компонента. Това са предимно приложения за оценка на екосистемни услуги като TESA, InForest и ESValue, които работят предимно със социологически или икономически методи и нямат пространствен елемент. За останалите 17 модела не се откри сигурна информация за ГИС функционалност и затова те са отделени в самостоятелна категория, която ще бъде обект на по-нататъшно проучване.

На базата на събраната информация моделите са класифицирани в седем групи (фиг. 2Б). Най-голям брой попадат в група *ландшафтно-екологични модели* (33% от всички модели). На второ място се нареждат моделите за оценка, картиране и картографиране с екосистемни услуги с 24%

от общия брой. Моделите, които не попадат в някоя от тези две основни групи, са категоризирани според наличните функционалности и водещото им предназначение. Статистико-екологичните, моделите за пространствени анализи и чисто статистическите модели имат относително еднакъв дял – по 8–10%. Една съществена група от 14 модела е дефинирана като категория „други“. Наличната информация за тях не позволява категорично да бъдат отнесени към някоя от предходните групи. Тази класификация на моделите следва да се счита за работна, тъй като за част от тях все още не е събран пълен набор от информация. По-нататъшната работа по събиране и систематизиране на такава информация, в съчетание с тестването в различни условия, ще даде възможност тази класификация да се развие и прецизира.

При сравнението между типовете модели и възможностите им за работа в ГИС среда се оказва че, ландшафтно-екологичните модели имат най-добре застъпена ГИС функционалност. Както се вижда от таблица 1, 85% от тези модели работят в ГИС среда и само 6% не използват ГИС. При моделите за екосистемни услуги процентът на работещите в ГИС среда е значително по-нисък и е равен на тези, които не използват ГИС. Това може да се обясни със спецификите на ландшафтно-екологичната концепция и тази за екосистемните услуги. Докато първата има ясен фокус, насочен към изясняване на пространствените отношения между екосистемите и ландшафтите в различни мащабни диапазони, втората има много по-широк обхват, в който картирането и картографирането са само част от многото ѝ аспекти.

Таблица 1.

Разпределение на моделите, типа и възможностите за работа в ГИС среда

Типове модели	Работи в ГИС среда		ГИС за визуализация		Не използва ГИС		Не е ясно указано	
	бр.	%	бр.	%	бр.	%	бр.	%
Ландшафтно-екологични	29	85	3	9	2	6	0	0
Екосистемни услуги	8	33	2	8	8	33	6	25
Статистически	2	22	5	56	2	22	0	0
За пространствени анализи	2	25	6	75	0	0	0	0
Поддържащи	2	100	0	0	0	0	0	0
Статистико-екологични	0	0	3	30	5	50	2	20
Други	12	86	2	14	0	0	0	0

ОЦЕНКА НА ПРИГОДНОСТТА НА МОДЕЛИТЕ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ
НА ПРОСТРАНСТВЕНИТЕ АСПЕКТИ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕТО
МЕЖДУ ХОРАТА И ДИВИТЕ ЖИВОТНИ

На базата на извършената първоначална оценка по трите водещи критерия са селектирани 29 модела. Те се разпределят между отделните типове, както е показано в таблица 2. Най-голям брой модели (12) са от типа на ландшафтно-екологичните, което представлява 35% от всички модели от този тип. Моделите от категория „други“ са на второ място (6 бр.), като при тях процентът на селектираните спрямо общия брой е най-голям (43%). Също с шест броя са представени моделите за оценка на ЕУ, но при тях това е доста по-малък дял от общия брой (25%). Тези резултати трябва да се разглеждат като начална селекция, извършена по налични данни за моделите в обзорни публикации и преглед на документацията на официалните им уебстраници. Като се има предвид голямото разнообразие от модели и динамиката при тяхното развитие и създаване на нови, може да се предположи, че при по-задълбочен преглед могат да бъдат селектирани и други модели, респективно някои от настоящите да отпаднат.

Резултатите от оценката на пригодността на селектираните модели, извършена по разгледаните по-горе критерии, варира в доста широки граници (табл. 3). На базата на получените оценки селектираните модели може да се разделят на четири групи. В първата група попадат два модела (InVEST и FRAGSTAD) с оценки над 2.5, което отговаря на висока степен на пригодност. Тези два модела може да се определят като най-пригодни за изследване на пространствените аспекти на взаимодействието между хората и дивите животни. Във втората група попадат 15 модела с оценка между 2.00 и 2.50. Те може да се определят със средна към висока степен на пригодност. В третата група попадат девет модела с оценка от 1.50 до

Таблица 2.

Разпределение на селектираните модели по типове

Тип модел	Брой селектирани	% от броя на съответния тип модел
Ландшафтно-екологични	12	35%
За оценка на ЕУ	6	25%
Статистически	1	11%
За пространствени анализи	3	38%
Поддържащи модели	0	0%
Статистико-екологични	1	10%
Други	6	43%

2.00, които може да се определят със средна към ниска степен на пригодност. Четвъртата група включва три модела с оценка по-ниска от 1.5, които може да се определят с ниска степен на пригодност.

Таблица 3.

Оценка на пригодността на моделите според тяхното качество (K1, K2, K3)

Модел	Оценка K1	Оценка K2	Оценка K3	Обща оценка
<i>InVEST</i>	2.33	3.00	3.00	2.71
<i>FRAGSTAT</i>	2.67	2.50	2.50	2.57
<i>Maxent</i>	2.33	2.50	2.50	2.43
<i>EnviroAtlas</i>	2.00	3.00	2.50	2.43
<i>Zonation</i>	2.00	2.50	2.50	2.29
<i>ARIES</i>	1.33	3.00	3.00	2.29
<i>ESTIMAP</i>	2.00	3.00	2.00	2.29
<i>EEMS</i>	2.00	2.50	2.50	2.29
<i>Guidos Toolbox</i>	2.00	2.50	2.50	2.29
<i>Landscape Corridors</i>	2.00	2.00	2.50	2.14
<i>Co\$ting Nature</i>	2.00	2.50	2.00	2.14
<i>LUCI</i>	2.00	2.50	2.00	2.14
<i>Circuitscape</i>	2.00	2.00	2.50	2.14
<i>PathMatrix 1.1</i>	2.00	2.00	2.00	2.00
<i>SDM Toolbox</i>	2.00	2.00	2.00	2.00
<i>UNICOR</i>	2.33	1.50	2.00	2.00
<i>V-LATE 1.1</i>	1.67	2.00	2.50	2.00
<i>HexSim</i>	1.67	1.50	2.50	1.86
<i>CMAP CASE</i>	2.00	1.50	2.00	1.86
<i>EcoAim</i>	2.00	1.50	2.00	1.86
<i>BioDispersal</i>	1.67	1.50	2.00	1.71
<i>Circuitscape</i>	1.67	1.50	2.00	1.71
<i>RangeShiftr</i>	2.00	1.50	1.50	1.71
<i>Conefor</i>	1.67	1.50	1.50	1.57
<i>Grainscape</i>	1.67	1.50	1.50	1.57
<i>Gflow</i>	1.67	1.50	1.50	1.57
<i>Makurhini</i>	1.33	1.50	1.50	1.43
<i>Samc</i>	1.33	1.50	1.50	1.43
<i>Movecost</i>	1.33	1.50	1.50	1.43

ТЕСТВАНЕ НА МОДУЛА НА INVEST ЗА КАЧЕСТВО НА ХАБИТАТИТЕ

Модулът за качество на хабитатите на InVEST има два основни типа входни данни. В първия са пространствените данни, които включват един основен ГИС слой за земно покритие/земеползване и няколко спомагателни, отговарящи на избраните заплахи за хабитатите (пътна мрежа, земеделски площи, урбанизирани територии и др.). За тестването на модела са използвани данни от CORINE Land Cover, които са рекласифицирани съгласно използваната от него класификационна система. Спомагателните слоеве за земеделски площи и урбанизирани територии също са генерирани от тази база данни чрез рекласифициране, при което резултатният слой се оформя в два класа: първият отговаря на избраната заплаха (земеделие или урбанизирани територии), а във втория попадат всички останали класове земно покритие. Чрез тези „опростени“ слоеве в програмата се калкулират потенциалните въздействия върху хабитатите. Към втория тип входни данни се отнасят референтни таблици, в които са зададени параметрите, необходими за калкулиране на потенциалните въздействия. Създават се две основни таблици – за въздействията върху хабитатите и за чувствителност на хабитатите. Моделът дава възможност на потребителя да въвежда различни по характер и степен на проявление заплахи. При настоящото тестване са избрани две заплахи за дивите животни – от земеделските площи и от урбанизираните територии. За параметрите в референтните таблици са използвани примерните стойности, дадени в документацията на модела.

Резултатът от тестването на модула за качество на хабитатите е показан на фиг. 3 (приложение). Той е представен под формата на качествена оценка по скала от 0 до 1. Получените резултати за тестовия район съдържат стойности, вариращи от 0 до 0,95, което показва голямо разнообразие по отношение на потенциала на тази територия да осигурява хабитати за дивите животни. Най-високи стойности се наблюдават в планинските части с висока степен на залесеност, а най-ниски – в равнинните райони с висока степен на урбанизация. Тези резултати следва да се разглеждат само като тест за функционалностите на модела. За получаване на по-достоверни резултати предстои да се извършат редица изследователски дейности по идентифициране на специфичните животински видове, характера и интензитета на заплахите спрямо тях, разработване на по-подробни и прецизни ГИС слоеве за земно покритие/екосистеми и проявлението на заплахите спрямо съответните животински видове.

ИЗВОДИ

В резултат от извършения преглед е създадена база данни, съдържаща систематизирана информация за 101 приложения и модели за ландшафтно екологични анализи и оценка на екосистемни услуги. Повечето от тях (75%) доказано работят изцяло или частично в ГИС среда и имат потенциал да се използват за изследване на пространствените аспекти на взаимодействията между хората и дивите животни. На базата на събраната информация за функционалностите и предназначението им, моделите са класифицирани в седем групи. Най-голяма и с най-добре развити средства за ГИС анализи е групата на ландшафтно-екологичните модели. Това се дължи преди всичко на по-продължителното време за развитие на този вид средства и на пространствения фокус на ландшафтно-екологичната концепция. Втора по брой е групата на моделите за оценка на екосистемни услуги. При нея ГИС-базираните средства не са толкова силно застъпени, което е обусловено от по-широкия обхват на тематиките в концепцията за екосистемни услуги. Това следва да се разглежда като първа версия на класификацията, която предстои да се развива чрез прекатегоризиране на моделите от седмата група и добавяне на други модели.

Разработен е двустепенен подход за оценка на пригодността на моделите за изследване на пространствените аспекти на взаимодействието между хората и дивите животни. На първия етап от оценката са селектирани 29 модела, които показват потенциал за приложение за тези цели. На втория етап селектираните модели са оценени по степен на пригодност и диференцирани в четири групи според получените оценки. С най-висока оценка се отличават два модела – InVEST и FRAGSTAT. Първият модел е от категорията за оценка на екосистемните услуги и е проектиран като мултифункционално средство с модули за различни видове услуги. Един от тези модули е насочен към оценка на качеството на хабитатите и може да се прилага за различни растителни и животински видове. FRAGSTAT е модел за генериране на широка гама от ландшафтни метрики, част от които могат успешно да се използват при пространствените анализи на хабитатите на дивите животни. От прегледа на функционалностите и възможните резултати може да се направи изводът, че двата модела взаимно се допълват и комбинираното им приложение има по-голям потенциал при изследването на пространствените аспекти на взаимодействието между хората и дивите животни. Тестването на модула на InVEST за качеството на хабитатите в района на биосферен парк „Централен Балкан“ показва обнадеждаващи резултати по отношение на потенциала на територията да осигурява хабитати за дивите животни, които са добра основа за по-нататъшното изследване на пространствените аспекти на взаимодействията между хората и дивите животни.

Получените резултати за тестовия район съдържат стойности, вариращи от 0 до 0,95, което показва голямо разнообразие по отношение на потенциала на тази територия да осигурява хабитати за дивите животни. Най-високи стойности се наблюдават в планинските части с висока степен на залесеност, а най-ниски – в равнинните райони с висока степен на урбанизация.

Благодарности

Това изследване е извършено в рамките на проект по програма Biodiversa+, the European Biodiversity Partnership under the 2021-2022 BiodivProtect joint call for research proposals, co-funded by the European Commission (GA N°101052342) посредством финансиране от фонд Научни Изследвания договор КР-06-D002/6 12.12.2022

Acknowledgements

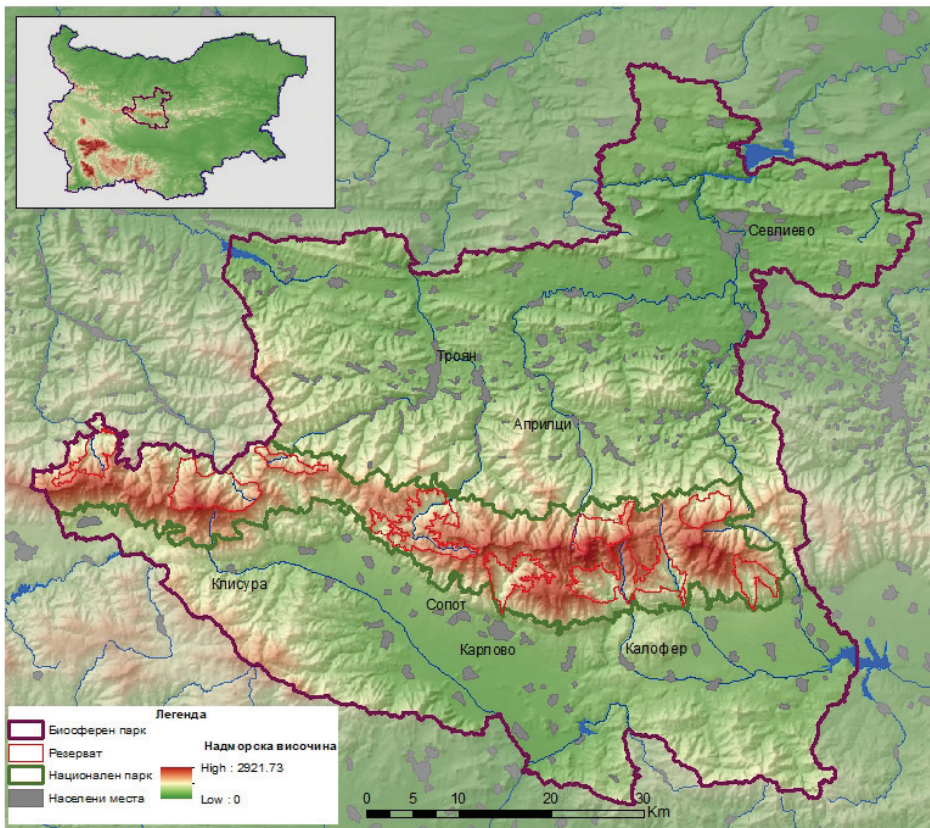
This research was funded by Biodiversa+, the European Biodiversity Partnership under the 2021-2022 BiodivProtect joint call for research proposals, co-funded by the European Commission (GA N°101052342) and with the funding of Bulgarian Ministry of Education and Science, under Grant No КР-06-D002/6 12.12.2022.

ЛИТЕРАТУРА

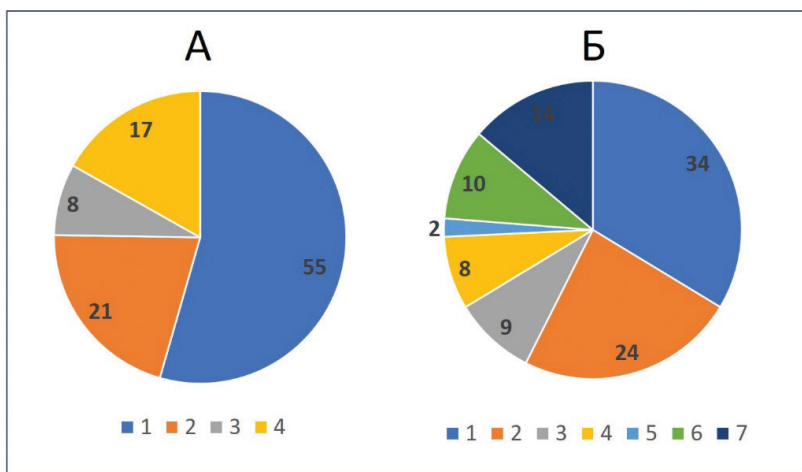
- Недков, С.** 2018. ГИС приложения и модели за оценка и картографиране на екосистемни услуги. Известия на БГД, 39, 17-24./Nedkov. S. GIS applications and models for assessing and mapping ecosystem services. Izvestia na BGD, 39, 17-24. (Bg)
- Томова, К. Борисова, Б.** 2018. Биосферните паркове по програмата „Човекът и биосферата“ на ЮНЕСКО като инструмент за регионално развитие и осъзнаване на пълния набор от екосистемни услуги (на примера на Централен Балкан). – Годишник на СУ, ГГФ, кн. 2 География, том 110./ Tomova, K., Borisova, B. 2018. Biosphere reserves under the UNESCO program „Man and Biosphere” as a tools for regional development and understanding of the whole bundle of ecosystem services (a case study of Central Balkan). Annual of Sofia University, FGG, book 2, Geography, vol. 110.
- Akbari, A., Pittman, J., Feick, R.** 2021. Mapping the Relative Habitat Quality Values for the Burrowing Owls (*Athene cunicularia*) of the Canadian Prairies Using an Innovative Parameterization Approach in the InVEST HQ Module. *Environ Manage. Sep;68(3):310-328*. doi: 10.1007/s00267-021-01502-w. Epub 2021 Jul 13. PMID: 34255139.

- Admasu, S., Yeshitela, K., Argaw, M.** 2023. Assessing Habitat Quality Using the InVEST Model in the Dire and Legedadi Watersheds, Central Highland of Ethiopia: Implication for Watershed Management. *Sustain. Environ*, 2242137.
- 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.
- Delangre, J., Radoux, J., & Dufrêne, M.** 2018. Landscape delineation strategy and size of mapping units impact the performance of habitat suitability models. *Ecological Informatics*, 47, 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.08.005>
- Dutta, T., Sharma, S., Meyer, N. F. V., Larroque, J., & Balkenhol, N.** 2022. An overview of computational tools for preparing, constructing and using resistance surfaces in connectivity research. *Landscape Ecology*, 37(9), 2195–2224. <https://doi.org/10.1007/s10980-022-01469-x>
- Ebert, D., Wade, T., Harrison, J., Yankee, D.** 2002. Analytical Tools Interface for Landscape assessment (ATtILA). U.S.E.P.A. Office of Research and Development, National Exposure Research Laboratory, Environmental Sciences Division, Landscape Ecology Branch, Las Vegas, NV
- Haines-Young, R., Potschin, M. B.** 2018. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Available from www.cices.eu.
- Klug, H. and P. Zeil.** 2004. The choice and use of landscape metrics for catchment characterization. In: Proceedings of the Eco-Geowater conference “GI for International River Basin Management”, Budapest, June 3-5, 73-82.
- König, H.J., Kiffner, C., Kramer-Schadt, S., Fürst, C., Keuling, O., Ford, A.T.,** 2020. Human–wildlife coexistence in a changing world. *Conservation Biology* 34, 786-794.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment)** 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
- 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.
- Natural Capital Project**, 2024. InVEST 3.14.1. 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.
- Nematollahi, S., Fakheran, S., Kienast, F. et al.** 2020. Application of InVEST habitat quality module in spatially vulnerability assessment of natural habitats (case study: Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran). *Environ Monit Assess* 192, 487 (<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08460-6>)
- Ochoa, V., Urbina-Cardona, N.** 2017. Tools for spatially modeling ecosystem services: Publication trends, conceptual reflections and future challenges. *Ecosystem Services*, 26, 155–169.
- Palomo, I., Bagstad, K., Nedkov, S., Klug, H., Adamescu, M., Cazacu, K.** 2017. Tools for mapping ecosystem services. In: Burkhard B. and Maes J. (eds.) *Mapping Ecosystem Services*, Pensoft, 70-75. ISBN: 9789546428523

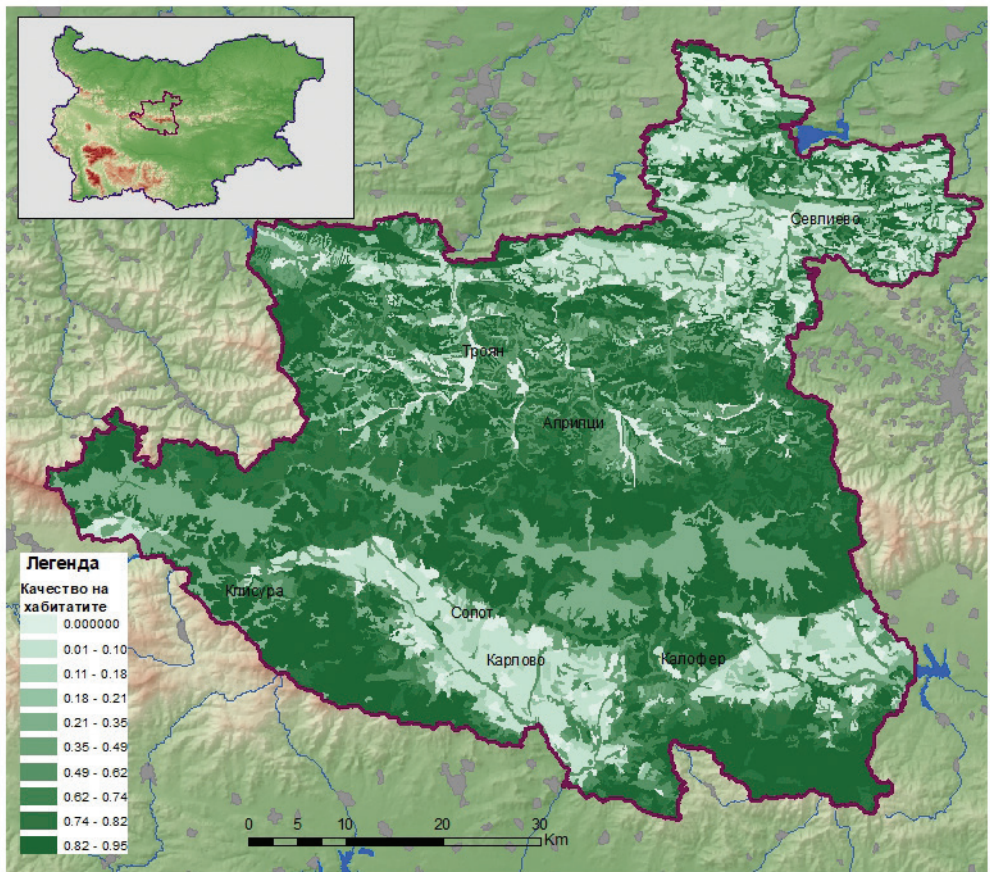
- Perevochtchikova, M., De la Mora-De la Mora, G., Flores, J. A., Marín, W., Flores, A. L., Bueno, A. R., Negrete, I. A. R.** 2019. Systematic review of integrated studies on functional and thematic ecosystem services in Latin America, 1992–2017. *Ecosystem Services*, 36, 100900.
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T. et al.** 2014. InVEST 3.0.1 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford.
- Smith, J.A., Suraci, J.P., Clinchy, M., Crawford, A., Roberts, D., Zanette, L.Y., Wilmers, C.C.,** 2017. Fear of the human 'super predator' reduces feeding time in large carnivores. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 284, 20170433.
- Steininger, S., and Hay, G.** 2009. Free and open source geographic information tools for landscape ecology. *Ecological Informatics*, 4, 183-195.
- Uuemaa, E., Antrop, M., Roosaare, J., Marja, R., Mander, U.** 2009. Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research *Living Rev. Landsc. Res.*, 3, pp. 1-28
- Zhu, Shuxian, Li Li, Gongsheng Wu, Jialan Liu, Timothy J. Slate, Hongyan Guo, and Dayong Li.** 2022. Assessing the Impact of Village Development on the Habitat Quality of Yunnan Snub-Nosed Monkeys Using the INVEST Model. *Biology* 11, no. 10: 1487. <https://doi.org/10.3390/biology11101487>
- <https://www.fragstats.org/>
- <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>
- <https://www.epa.gov/enviroatlas/attila-toolbox>



Фиг. 1. Тестов район Биосферен парк „Централен Балкан“



Фиг. 2. Разпределение на моделите според възможността им да работят в ГИС среда (А): 1 – работи изцяло в ГИС среда; 2 – използва ГИС за визуализация на пространствени резултати; 3 – не използва ГИС; 4 – използването на ГИС не е ясно указано. Тип модел (Б): 1 – ландшафтно-екологични; 2 – за оценка на екосистемни услуги; 3 – статистически; 4 – за пространствени анализи; 5 – поддържащи модели; 6 – статистико-екологични; 7 – други



Фиг. 3. Оценка на качеството на хабитатите в района на биосферен парк „Централен Балкан“