



# Пространствен анализ и оценка на екосистемна услуга съхранение и улавяне на въглерод чрез ГИС базиран модел на *InVEST* за територията на Голема планина

Петър Николов

Софийски университет "Св. Климент Охридски"

Email: [petar.nik91@gmail.com](mailto:petar.nik91@gmail.com)

**Абстракт:** Регулиращите екосистемни услуги представляват ползите, които хората получават от регулацията на екосистемните процеси. Именно към тях се включва съхранението и улавянето на въглерод. Съхранявайки въглерод в биомасата, екосистемите задържат въглеродния диоксид, като по този начин, той не навлиза в атмосферата. От друга страна системите периодично отделят въглероден диоксид. Този естествен процес може бъде повлиян много лесно от антропогенната дейност и да бъде нарушена естествената регулация. Екосистемите на сушата са важни за влиянието върху въглеродния диоксид, а от това и върху климатичните промени. Моделът *InVEST* за съхранение и улавяне на въглерод използва данни за земното покритие и земеползване (Land Use and Land Cover – LULC), степента на промяна на залесените/горските територии, степен на деградация и количеството въглерод, съдържащо се в четири въглеродни басейна ('carbon pools') – надземни, подземни, почвени и басейн на мъртвата органична материя. Чрез тази информация се изчислява моментното количество въглерод в дадена територия и динамиката на промяната на стойностите през годините, което дава възможност и за прогнозиране.

**Ключови думи:** *въглерод, InVEST, Голема, екосистемни услуги, ГИС.*

## 1. Въведение

В това изследване е представено приложението на ГИС базирания модел *InVEST* за оценка и картографиране на екосистемни услуги върху територията на Голема планина, Западна Стара планина. Използван е разработения ГИС модел на *InVEST* за екосистемни „стоки“ и услуги „Съхранение и улавяне на въглерод“. Отделянето и съхранението на въглерод е сложен процес, свързан с борбата срещу увеличаването на концентрацията на парникови газове в атмосферата и предизвиканите от това климатични промени. Той описва кръговрат, включващ създаването на въглерода и въглеродни емисии от промишлени източници, неговото транспортиране и съхранение в изолация от атмосферата на Земята. Тези складове за въглерод и въглеродни емисии трябва да отговарят на определени изисквания като дълбочина, отдалеченост от вода и др. Всичко това е трудно постижимо и скъпо за изпълнение и поддръжка. Тук се явява и екосистемата като един естествен резервоар за въглерод, който по естествен път го изолира от атмосферата и съответно възпрепятства нейното замърсяване.

Моделите на *InVEST* целят да картографират определена екосистемна услуга, като се използват въведени от потребителя данни. По този начин е възможно извършването на анализ на конкретна екосистемна услуга, като има възможност да се генерира и монетарната стойност на услугата или „стоката“. Това е главният аспект, с който моделът се отличава от останалите методи за екосистемни „стоки“ и услуги – моделът създава конкретни данни, с които могат да се извършат изчисления с цел по-подробен, практически и достоверен анализ. Затова и моделът изисква множество данни, някои от които са по-труднодостъпни и изискват теренни изследвания и съответно нужните уреди, инструменти и лаборатории. Всичко това показва, че моделът използва подхода за качествена и количествена оценка на екосистемните „стоки“ и услуги, използвайки ГИС.

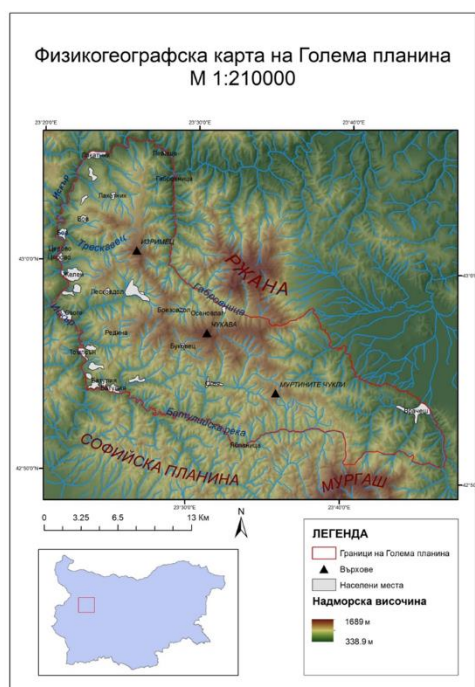
Обект на изследване е Голема планина, Западна Стара планина. Предмет на изследване е екосистемната услуга „Съхранение и улавяне на въглерод“. Основната цел на изследването е да се оцени и картографира екосистемната услуга „Съхранение и улавяне на въглерод“ чрез приложение на ГИС базираният модел *InVEST* за територията на Голема планина.

За постигане на така поставената цел са формулирани и решени редица задачи като проучване на обекта и предмета на изследване – проучване на физикогеографските особености на Голема планина, на моделите на *InVEST*, на методиките за оценка и картографиране на екосистемните „стоки“ и услуги. Представяне на оценка на модела, като се посочват неговите предимства и недостатъци, според автора.

## 2. Материали и методи

### 2.1 Изследвана територия

Изследваната територия обхваща изцяло планината Голема. Площта ѝ е 413km<sup>2</sup> като се разполага в северната част на Софийска област, източно от р. Искър (между гара Реброво на юг и гара Лакатник на север), северно от р. Батулия (десен приток на Искър), западно от р. Габровница и южно от Врачанска планина. Река Искър я отделя от планините Мала и Понор (западно от Голема), Козница и Врачанска (северно от Голема). Река Габровница я отделя от Ржана планина на североизток, а долината на Батулийска река — от Софийска планина на юг. На североизток склоновете ѝ плавно се понижават към Ботевградската котловина, а на югоизток, чрез седловина висока около 1030 м се свързва с планината Мургаш (фиг. 1.1).



Фигура 1.1. Физикогеографска карта на Голема планина

### 2.2 Методика

Много от човешките блага съществуват благодарение на екосистемите. Тези блага могат да бъдат чистия въздух, питейната вода, плодородието на почвата, благоприятния климат. Тези блага биват наречени „екосистемни услуги“. Стандарт за изпълнение (СИ) на Международната финансова корпорация (МФК) определя екосистемните услуги като „ползите, които хората, включително и бизнеса, извличат от екосистемите“, което съвпада с определението, дадено в „Екосистемната оценка на хилядолетието“ (Millennium Ecosystem Assessment или EOX, което се изразява във формирането на глобална оценка на антропогенното въздействие върху околната среда) – "the benefits people obtain from ecosystems".

Въпреки че няма единна система за категоризация на екосистемните услуги, рамката на Millennium Ecosystem Assessment е общоприета и представлява полезна отправна точка. Millennium Ecosystem Assessment посочва четири основни категории екосистемни услуги. Техните

типове са комплексни и взаимно свързани (фиг. 2.1):



Фиг 2.1. Типология на екосистемните услуги (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

Материални услуги – продуктите, които хората получават от екосистемите. Те включват земеделска продукция, добитък, морски дарове и дивеч, диворастящи храни и растения; вода за пиене, напояване и промишлени цели; растителни площи, които са в основата на много биофармацевтични и строителни материали, както и на биомасата за енергия от възобновяеми източници. Продуктите могат да бъдат предоставяни от стопанисвани екосистеми, като например селскостопански и аквакултурни системи и горски насаждения, или от естествени или полуестествени такива, например чрез риболов и добив на други диворастящи храни;

Регулиращи услуги – ползите, които хора получават от регулацията на екосистемните процеси. Наред с другите ползи те включват регулиране на местния климат и съхранение и улавяне на въглерод; смекчаване на природните рискове; пречистване на водата и въздуха; контрол на вредителите и болестите; опрашване;

Културни услуги – културните, образователните и духовните ползи, които хората получават от екосистемите. Наред с другите ползи те включват културно, духовно или религиозно обогатяване от обектите на културното, духовното

или религиозното наследство; възможности за отдих, като например спорт, лов, риболов, екотуризъм, и възможности за научни проучвания, изграждане на знания и образование;

Поддържащи услуги – естествените процеси, които поддържат другите екосистемни услуги, като например почвообразуване, кръговрат на хранителните вещества и водата, или първичната продукция. Поддържащите услуги се различават от материалните, регулиращите и културните услуги по това, че за разлика от другите видове услуги, от които хората могат да се възползват пряко, въздействието им върху човешкото благосъстояние е косвено и обикновено са с дългосрочен характер. Почвообразуването например трае десетилетия или столетия. Всички останали екосистемни услуги – регулиращи, материални и културни – зависят основно от тях. Поддържащите услуги са силно взаимосвързани помежду си и се обуславят от широк спектър от физични, химични и биологични взаимодействия. Поддържащите услуги са свързани с конкретни биофизични структури или процеси на една екосистема, като например начина, по който съхранението на вода е свързано с почвите, дърветата, растенията и са в основата на предоставянето на услугите, които са от пряко значение за хората, като намален отток на повърхностните води, пречистване на въздуха и водите, осигуряване на дървесина и на хранителни ресурси от дивата природа. Тези крайни екосистемни услуги осигуряват, като намаляване на щетите от наводненията, които се оценяват от съответните ползватели (МА, 2005; De Groot, 2002):

InVEST, съкратено от „Integrated Valuation of Ecosystem Services & Tradeoffs“ е свободен „open source“ софтуерен продукт, разработен по проекта “NatCap” (“Natural Capital Project” или „Природен капитал“). NatCap цели да включи природните богатства във всички големи решения, засягащи околната среда и човечеството. Крайната идея е да бъде подобро състоянието на биоразнообразието и човешкото общество, като се мотивират по-ефективни, добре преценени и чести инвестиции в тях.

InVEST е най-добре развитият инструмент за оценяване на екосистемни услуги. Разполага със широк набор от модели, сред които е и *Carbon Storage and Sequestration*. Той позволява да се извършват анализи на всяка една територия на земното кълбо, тъй като няма териториални ограничения, а според разработчиците му той се нуждае само от лесно достъпни данни, което осигурява широк набор от заинтересовани лица, потребители и инвестиции. В началните си версии, той работи като допълнителен инструмент за ArcGIS, като генерираните резултати могат да се използват със всеки ГИС продукт.

Моделът InVEST използва карти на земното покритие и земеползване (Land Use and Land Cover – LULC), степента на промяна на залесените/горските територии, степен на деградация и количеството въглерод, съдържащо се в четири въглеродни басейна (‘carbon pools’) – надземни, подземни, почвени и басейн на мъртвата органична материя. Чрез тази информация се изчислява моментното количество въглерод в дадена територия и динамиката на промяната на стойностите през годините, което дава възможност и за прогнозиране. Допълнителната информация за пазарната стойност на въглерода и нейната промяна през годините, позволява да се изчисли стойността на екосистемната услуга за обществото. Ограниченията на модела са породени от нуждата за опростяване на въглеродния цикъл, поради което е възможно да се създадат само приблизителни резултати или близо до реалните такива. За целта на изследването се използват данни за земното покритие от проект CORINE Land Cover на Европейската агенция по околна среда за 2000 и 2012г. Следователно е нужно класификацията на CORINE да бъде корелирана с класификацията на земното покритие използвана в InVEST (табл. 2.1). (Tallis et al, 2015).

Моделът работи като използва GRID клетките на растерен файл на земното покритие. Всяка клетка приема и предава информация, свързана със земното покритие и въглеродът, който на теория тя трябва да съхранява и (потенциално) улавя. След използването на модела резултатите могат да бъдат преизчислени по полигон, по определено земно покритие, по определена територия, по частен имот, по растерна клетка.

За всеки тип земно покритие моделът изисква приблизителна оценка на количеството въглерод в поне един от описаните по-горе въглеродни басейни. Ако потребителят на инструмента има информация за повече от един басейн, резултатите ще бъдат по-достоверни. По този начин моделът просто преписва тези атрибути на слоя земно покритие, за да създаде карта на съхранения въглерод за всички басейни. Накрая съединява стойностите от въглеродните басейни, показвайки целия съхранен въглерод за клетка за изследваната територия (Tallis et al, 2015).

Получените стойности са в тонове въглерод на растерна клетка или монетарната стойност на уловения въглерод за растерна клетка. Като изходни данни за модела са използвани рекласифицираните растерни слоеве на земното покритие, описани по-горе. За да се разбере какво е количеството уловен въглерод между 2000 и 2012г., като „настоящо земно покритие“ се посочва растерния слой от 2000г., а като „бъдещ/прогнозиран“ – този за 2012г. Информацията за количеството въглерод в четирите въглеродни басейна, се взема от примерни изходни файлове на модела. Определя се и монетарната стойност на въглерода за тон – 40\$ и ценова отстъпка – 7% .

Таблица 2.1. Рекласификация на земното покритие за територията на Голема планина

Номер	CLC код	CLC Клас	LULC Код	LULC Клас
1	112	Населени места със свободно застрояване	3	Residential 9-16 DU/ac Населени места с между 9 и 16 постройки на акър
2	121	Индустриални или търговски обекти	7	Индустриални или търговски обекти
3	131	Кариери	11	Urban non-vegetated unknown Неопределени урбанизиран обекти
4	311	Широколистни гори	51	Upland Forest open Широколистни гори
5	313	Смесени гори	54	Forest Closed mixed Смесени гори
6	312	Иглолистни гори	57	Forest closed conifer 21-40 yrs Иглолистни гори с възраст между 21 и 40 г.
7	242, 243	Комплекси от раздробени земеделски земи Земи със значително участъци естествена растителност	68	Irrigated annual rotation Земеделски земи
8	211	Ненапоивана обработваема земя	71	Grains Зърнени култури
9	333	Площи с рядка растителност	24	Rural non-vegetated unknown Провинциални неопределени територии
10	231	Пасища	85	Пасища
11	321	Естествени ливади	86	Естествени ливади
12	324	Преходна дървесно-храстова растителност	87	Natural shrub Храстова растителност
13	332	Голи скали	88	Голи скали

Като резултат моделът генерира файловете *tot\_C\_cur*, *tot\_C\_fut*, *sequest* и *value\_seq*. Първият файл (*tot\_C\_cur*) показва количеството съхранен въглерод за всяка клетка в тонове (Mg) за „настоящия“ период. Това е сумата, включваща всички въглеродни басейни. Най-ниската стойност може да бъде 0 (например павирани, асфалтирани улици). Вторият файл (*tot\_C\_fut*) показва количеството съхранен въглерод за всяка клетка в тонове (Mg) за „бъдещия/прогнозиран“ период. Отново, това е сумата от всички въглеродни басейни, а най-ниската стойност е 0. Третият файл (*sequest*) показва разликата в количеството съхранен въглерод на GRID клетка в тонове (Mg) между „настоящия“ и „бъдещия/прогнозиран“ сценарий и я картира. В тази карта резултатите могат да имат негативни и позитивни стойности. Позитивните показват количеството уловен въглерод, а негативните – количеството изгубен въглерод. Териториите с големи негативни и позитивни стойности показват значителни промени в земното покритие, причинени от промени в климата или повишен дърводобив. Това, което трябва да се отбележи е, че въглеродните емисии, причинени от превозни средства не са включени в модела. Последният четвърти файл (*value\_seq*) показва икономическата стойност уловения въглерод на GRID клетка в щатски долари. Следователно, както при горния файл, тук също са налични положителни и негативни стойности.

### 3. Резултати

На базата на получените резултати се прави анализ на всеки клас земно покритие, съхраненият въглерод на растерна клетка, общия съхранен въглерод за всеки клас за дадена година, уловеният въглерод от всеки клас в периода 2000-1012г. и средното количество съхранен въглерод за хектар (ha) (табл. 3.1 и 3.2).

*Residential*, *Населени места* – заема територията на клас 112 по CORINE „Населени места със свободно застрояване“. Номер 11 по класификацията на LULC с LUCODE 3 по методологията (табл. 2.1). Заема всички урбанизиран територии или жилищни зони с между 9 и 116 постройки на акър. Има територия от 6.66км<sup>2</sup>. или 666 хектара през 2000г.,

а през 2012 –  $6.38\text{km}^2$  или 638 хектара. Т.е. намаляла е с  $280\text{m}^2$  или 28 хектара. Тези територии не задържат и съответно не улавят въглерод (С) според използваната в модела методика. Съответно през изследвания период имат  $0\text{Mg C}/\text{km}^2$ ,  $0\text{t C}/\text{ha}$ ,  $0\text{Mg C}$  за цялата територия и  $0\text{t}$  уловен въглерод според резултатите от модела.

*Comm/Industrial, Индустриални или търговски единици* – заема територията на клас 121 по Корин „Индустриални или търговски единици“. Номер 12 и 13 по класификацията на LULC с Lucode 7 по методологията (табл. 2.1). Има територия от  $0.12\text{km}^2$  или 12 ha през 2000г.,  $0.03\%$  от общата площ на изследвания район, като стойностите се запазват и през 2012г. Тези територии не задържат и съответно не улавят въглерод (С). Съответно през изследвания период имат  $0\text{Mg C}/\text{km}^2$ ,  $0\text{Mg C}/\text{ha}$ ,  $0\text{Mg C}$  за цялата територия и  $0\text{t}$  уловен въглерод.

*Urban non-vegetated unknown, Неопределени урбанизирани обекти* – заема територията на клас 131 по Корин „Кариери“. Номер 17 по класификацията на LULC с Lucode 11 по методологията (табл. 2.1). Заема  $0.25\text{km}^2$  или 25ha през 2000г.,  $0.06\%$  от общата площ на изследвания район, като стойностите се запазват и през 2012г. Тези територии не задържат и съответно не улавят въглерод (С). Съответно през изследвания период имат  $0\text{Mg C}/\text{km}^2$ ,  $0\text{Mg C}/\text{ha}$ ,  $0\text{Mg C}$  за цялата територия и  $0\text{Mg}$  уловен въглерод.

*Upland Forest open, Широколистни гори* - заема територията на клас 311 по Корин „Широколистни гори“. Номер 41 „Deciduous Forest Land“ по класификацията на LULC с Lucode 51 „Upland Forest open“ по методологията (табл. 2.1). Има територия от  $216.71\text{km}^2$  или 21671ha през 2000г., или  $52.5\%$  от изследваната територия през 2000г. През 2012 г. намалява на  $191.34\text{km}^2$  или 19134ha, или  $46.35\%$  от изследваната територия. Т.е. територията е намалила площта си с  $2537\text{ha}$  или с  $6.15\%$ . Съхраненият въглерод през 2000г. е  $4876443\text{Mg}$ , а през 2012г. –  $4305996\text{Mg}$ . Това показва, че през изследвания период има нетна загуба от  $570447\text{Mg C}$ . Средното количество въглерод е  $225\text{Mg}/\text{ha}$ .

*Forest Closed mixed, Смесени гори* – заема територията на клас 313 по Корин „Смесени гори“. Номер 42 „Evergreen Forest Land“ по класификацията на LULC с Lucode 54 „Forest Closed mixed“ по методологията (табл. 2.1). През 2000г. заема  $31.06\text{km}^2$  или 3106ha, или  $7.52\%$  от изследваната територия, а съхраненият въглерод е  $1631427\text{Mg}$ . През 2012г. заема  $53.71\text{km}^2$  или 5371ha, или  $13.01\%$  от изследваната територия и е съхранен въглерод със стойност  $2819418\text{Mg}$ . Т.е. тя се е увеличила с  $2265\text{ha}$  или с  $5.49\%$ . През изследвания период е уловен въглерод със стойност  $1187991\text{Mg}$ . Средното количество съхранен въглерод е  $525\text{Mg C}/\text{ha}$ .

*Forest closed conifer, Иглолистни гори* – заема територията на клас 312 по Корин „Иглолистни гори“. Номер 42, „Evergreen Forest Land“ по класификацията на LULC, Lucode 57 „Forest closed conifer 21-40 yrs“ по методологията (табл. 2.1). Заема територия от  $11.45\text{km}^2$  или 1145 ha, или  $2.77\%$  от изследваната територия през 2000г. и съхранява  $312081.92\text{Mg}$  въглерод (С). Въпреки малката си територия, иглолистните гори са най-богати на въглерод в сравнение с останалите класове земни покрития в Голема планина и имат най-високи стойности в рамките на изследването. През 2012г. площта ѝ се увеличава на  $12.5\text{km}^2$  или 1250ha, или  $3.02\%$  от изследваната територия и съхранява  $340402.56\text{Mg}$  въглерод (С). Съответно в периода се улавят  $2832.64\text{Mg}$ . Средното количество съхранен въглерод е  $272\text{Mg C}/\text{ha}$ .

*Irrigated annual rotation, Земделски земи* – заема територията на класовете 242 и 243 по Корин. Влиза в обхвата на номер 2 от първо ниво „Agricultural Land“ и комбинирани класове от второ и трето ниво (21, „Cropland and Pasture“ 22, „Orchards, Groves, Vineyards, Nurseries, and Ornamental Horticultural Areas“, 23, „Confined Feeding Operations“, 24, „Other Agricultural Land“) по класификацията на LULC с Lucode 68 по методологията (табл. 2.1). Заема територия от  $59.07\text{km}^2$  или 5907ha, или  $14.31\%$  от изследваната територия през 2000г. и съхранява  $76791\text{Mg C}$ . През 2012г. площта се увеличава на  $66.28\text{km}^2$  или 6628ha, заема  $16.05\%$  от територията и съхранява  $86153.6\text{Mg C}$ . Съответно е уловен  $9362.6\text{Mg}$  въглерод (С) за периода 2000 – 2012г. Средното количество съхранен въглерод е  $13\text{Mg C}/\text{ha}$ .

*Grains, Зърнени култури* – заема територията на клас 211, „Ненапомяната обработваема земя“ по Корин „Ненапомяната обработваема земя“. Номер 21, „Cropland and Pasture“ по класификацията на LULC с Lucode 71 по методологията (табл. 2.1). Заема територия от  $2.21\text{km}^2$  или 221ha, или  $0.53\%$  от изследваната територия през 2000г. и съхранява  $3322.2\text{Mg}$  въглерод. През 2012г. площта на ареалите е  $2.19\text{km}^2$  или 219ha, или  $0.53\%$  от територията и е съхранен  $3289.8\text{Mg}$  въглерод (С). Това означава в периода 2000 – 2012г., а е изгубен  $32.4\text{Mg}$  въглерод. Средното количество съхраняван въглерод е  $15\text{Mg C}/\text{ha}$ .

*Rural non-vegetated unknown, Провинциални неопределени територии* – заема територията на клас 333, „Площи с рядка растителност“ по Корин. Номер 76, „Transitional Areas“ по класификацията на LULC с Lucode 24 по методологията (табл. 2.1). Заема територия от  $2.31\text{km}^2$  или 231ha, или  $0.54\%$  от изследваната територия през 2000г. и съхранява  $2777.28\text{Mg}$  въглерод. През 2012г. площта намалява на  $2.09\text{km}^2$  или 209ha, или  $0.52\%$  от изследваната територия и съхранява  $2511.36\text{Mg}$  въглерод. Това означава че в периода 2000 – 2012г. е изгубен  $265.92\text{Mg}$ . Средното количество съхраняван въглерод е  $12\text{Mg C}/\text{ha}$ .

*Пасища* - заема територията на клас 231, „Пасища“ по Корин. Номер 21, „Cropland and Pasture“ по класификацията на LULC с Lucode 85 по методологията (табл. 2.1). Заема територия от  $3.12\text{Mg}$  или 212ha, или  $0.75\%$  от изследваната територия през 2000г. и съхранява  $10943.8\text{Mg}$  въглерод (С). През 2012г. заема територия от  $2.81\text{km}^2$  или 281ha, или  $0.68\%$  от изследваната територия през 2000г. и съхранява  $9867.2\text{Mg}$  въглерод (С). Съответно в периода 2000 – 2012г. пасищата намаляват площта си с  $0.31\text{km}^2$  или с 310ha и губят  $1076.6\text{Mg}$  въглерод. Средното количество съхраняван въглерод е  $35\text{Mg C}/\text{ha}$ .

*Естествени ливади* - заема територията на клас 321, „Естествени ливади“ по Корин. Номер 31, „Herbaceous Rangeland“ по класификацията на LULC с Lucode 86, „Естествени ливади“ по методологията (табл. 2.1). Заема територия

от 29.5км<sup>2</sup> или 2950ha, или 7.14% от изследваната територия през 2000г. и съхраняват 100361.2Mg въглерод. През 2012г. ареалите имат обща площ от 29.11км<sup>2</sup> или 2911ha, или заемат 7.05% от изследваната територия. Съответно в периода 2000 – 2012г. се губят 1496Mg въглерод, отговарящи на 0.39км<sup>2</sup> или 390ha.

*Natural shrub, Храстова растителност* – заема територията на клас 324, „Преходна дървесто-храстова растителност“ по Корин. Номер 32, “*Shrub and Brush Rangeland*” по класификацията на LULC с Lucode 87 по методологията (табл. 2.1). Заема територия от 50.25км<sup>2</sup> или 5025ha, или 12.17% от изследваната територия през 2000г. и съхранява 221105.28Mg въглерод. През 2012г. площта на ареалите е 45.62 км<sup>2</sup> или 4562ha, или 11.05%, като е намалела с 4.63км<sup>2</sup>. или 463ha. и съхранява 200786.08Mg въглерод. Съответно за периода 2000 – 2012г. са изгубени 20319.2Mg C.

*Голи скали* - Номер 74, “*Bare Exposed Rock*” по класификацията на LULC с Lucode 88 по методологията (табл. 2.1). Заема територия от 0.37км<sup>2</sup> или 370ha, или 0.08% от изследваната територия и съхранява 452.16Mg въглерод през 2012г. Средното количество съхраняван въглерод е 12Mg C/ha.

Таблица 3.1. Съхраняван въглерод в Голема планина през 2000г.

LULC Код	Площ (км <sup>2</sup> )	Площ (ha)	Процент от общата площ	Средно количество въглерод за клетка по LULC	Количество въглерод за територия по LULC - тонове (Mg)	C/ha
3	6.66	666	1.61	0	0	0
7	0.12	12	0.03	0	0	0
11	0.25	25	0.06	0	0	0
51	216.71	21671	52.5	9	4876443	225
54	31.06	3106	7.52	21	1631427	525
57	11.45	1145	2.77	10.88	312081.92	272
68	59.07	5907	14.31	0.52	76791	13
71	2.21	221	0.53	0.6	3322.2	15
24	2.31	231	0.52	0.48	2777.28	12
85	3.12	312	0.75	1.4	10943.8	35
86	29.5	2950	7.14	1.36	100361.2	34
87	50.25	5025	12.17	1.76	221105.28	44

Таблица 3.2. Съхраняван въглерод в Голема планина през 2012г.

LULC Код	Площ (км <sup>2</sup> )	Хектара (ha)	Процент от общата площ	Средно количество въглерод за клетка по LULC	Количество въглерод за територия по LULC - тонове (Mg)	C/ha
3	6.38	638	1.54	0	0	0
7	0.12	12	0.03	0	0	0
11	0.25	25	0.06	0	0	0
51	191.34	19134	46.35	9	4305996	225
54	53.71	5371	13.01	21	2819418	525
57	12.5	1250	3.02	10.88	340402.56	272
68	66.28	6628	16.05	0.52	86153.6	13
71	2.19	219	0.53	0.6	3289.8	15
24	2.09	209	0.5	0.48	2511.36	12
85	2.81	281	0.68	1.4	9867.2	35
86	29.11	2911	7.05	1.36	98865.2	34
87	45.62	4562	11.05	1.76	200786.08	44
88	0.37	37	0.08	0.48	452.16	12

Инструментът разделя класифицираните ареали на няколко територии в зависимост от стойността съхранен въглерод на гريد-клетка (20м\*20м). Тези стойности не се променят през годините, тъй като зависят от вида земно покритие, а не от тяхната площ, от което зависи крайното количество съхранен въглерод и съответно количеството уловен или изгубен въглерод.

С най-голяма площ са териториите, съхраняващи девет тона въглерод на растерна клетка с обща площ 216.7 км<sup>2</sup>. или 21674ha, или 52.51% от изследваната територия през 2000г. и 191.34 кв.км или 19134ha, или 46.35% от изследваната територия през 2012г. Тук се включва клас Широколистни гори. С най-голяма стойност на съхраняван въглерод на растерна клетка (21Mg) са Смесените гори. Те успяват да уловят 1187991Mg въглерод в периода 2000-2012г.

С най-ниска стойност на съхраняван въглерод на растерна клетка (0Mg) са урбанизираните територии („Населени места със свободно застрояване“, „Индустриални или търговски единици“, „Карieri“). Те покриват приблизително 17% от изследваната територия, като имат незначително изменение в периода 2000 – 2012г. (0.2км<sup>2</sup>). Дори и да има големи изменения, те нямат никаква тежест върху изследването, тъй като от значение е способността да бъде съхраняван въглерод, а когато такава липса, резултатите винаги ще бъдат едни и същи.

С ниска стойност на съхраняван въглерод на растерна клетка (1Mg) са *Земеделски земи, Зърнени култури, Провинциални неопределени територии, Пасища, Естествени ливади и Храстова растителност*. Тези територии заемат приблизително 21% от изследваната територия и не успяват да уловят никакъв въглерод в периода 2000-2012г. с изключение на *Земеделски земи*, които единствени са си увеличили площта. Поради това са изгубени 13795.12Mg въглерод.

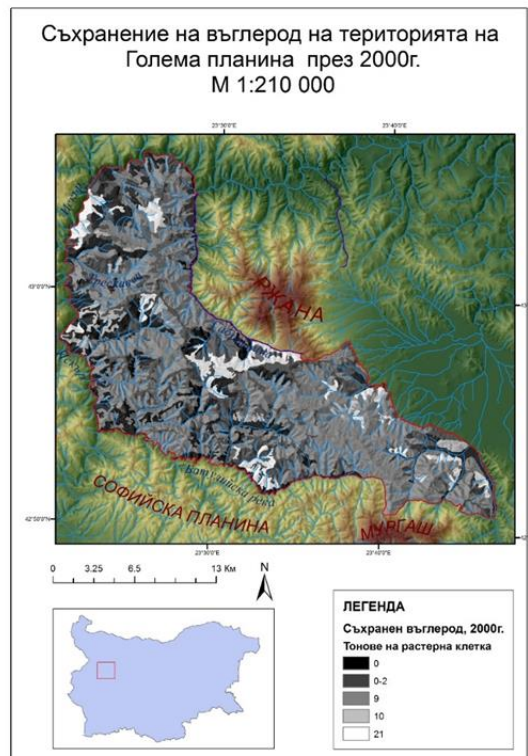
Чрез получените файлове е възможно да се изчисли и покаже какво е отношението на съхранявания въглерод спрямо площта на територията (Табл. 3.3 и 3.4).

Таблица 3.3. Площ на растерни клетки с определено количество съхранен въглерод за 2000г.

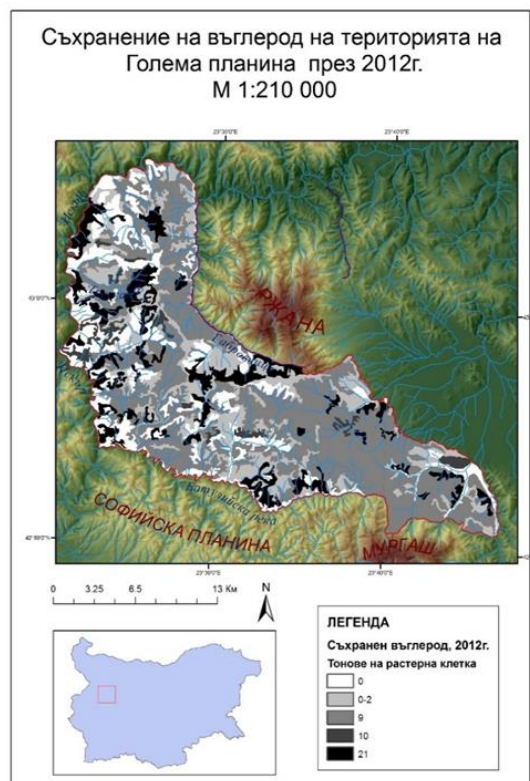
Номер	Съхраняван въглерод за растерна клетка	Площ км <sup>2</sup>	Процент от общата площ	Хектара (ha)
1	0	70.62	17.11	7062
2	0.1-2	82.86	20.07	8286
3	9	216.74	52.51	21674
4	10	11.47	2.77	1147
5	21	31.07	7.52	3107

Таблица 3.4. Площ на растерни клетки с определено количество съхранен въглерод за 2012г.

Номер	Съхраняван въглерод за растерна клетка	Площ км <sup>2</sup>	Процент от общата площ	Хектара (ha)
1	0	77.8	18.8	7780
2	0-2	77.53	18.7	7753
3	9	191.37	46.36	19137
4	10	12.51	3	1251
5	21	53.7	13	5370



Фигура 3.1. Съхранение на въглерод на територията на Голема планина за 2000г.



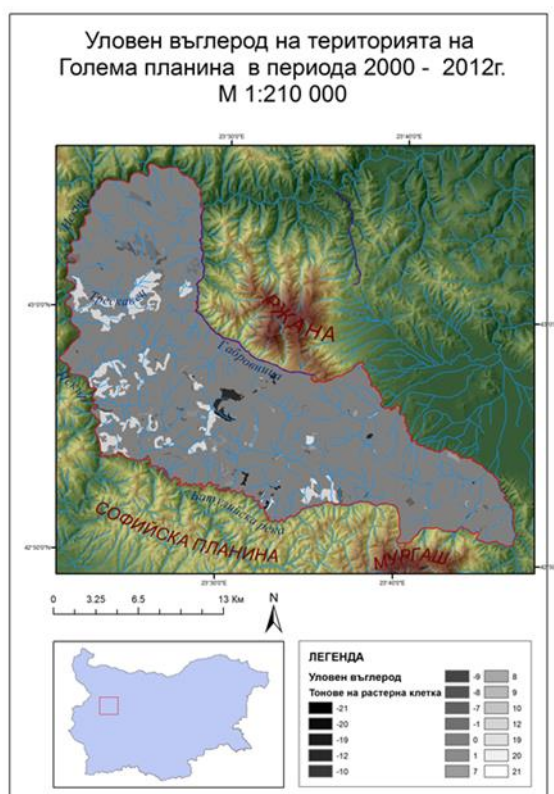
Фигура 3.2. Съхранение на въглерод на територията на Голема планина за 2012г.

Териториите се разделят на пет части в зависимост от промяната на земното покритие (Фиг. 3.1). Растерните клетки със стойност 9Mg съхраняван въглерод заемат 52.5% от изследваната територия за 2000г., което ги поставя на първо място по заета площ. Растерните клетки със стойност от 0.1 до 2Mg съхраняван въглерод заемат 20% от изследваната територия през 2000г., което ги поставя на второ място по заета площ. Растерните клетки със стойност 0Mg съхраняван въглерод заемат 17.11% от изследваната територия през 2000г., което ги поставя на трето място по заета площ.

На четвърто място по заета площ са растерните клетки със стойност 21Mg съхраняван въглерод, които заемат 7.52% от изследваната територия през 2000г. На пето място са растерните клетки със стойност 10Mg съхраняван въглерод и заемат 2.77% от изследваната територия през 2000г.

Резултатите показват, че през 2012г. също има пет части в зависимост от промяната на земното покритие с малки до средни разлики с резултатите от 2000г. (Фиг. 3.2). Растерните клетки със стойност 9Mg съхраняван въглерод заемат 46.3% от изследваната територия за 2012г., което ги поставя на първо място по заета площ. След това са растерните клетки със стойност 0Mg съхраняван въглерод и заемат 18.8% от изследваната територия през 2012г. На трето място са растерните клетки със стойност от 0.1 до 2Mg съхраняван въглерод и заемат 18.7% от изследваната територия през 2012г. На четвърто място са растерните клетки със стойност 21Mg съхраняван въглерод и заемат 13% от изследваната територия през 2012г. На последно място са растерните клетки със стойност 10Mg съхраняван въглерод и заемат 3% от изследваната територия през 2012г.

След разглеждане на данните за съхранения въглерод може да се заключи, че териториите с нулев нетен резултат на въглерод преобладават. Те заемат над 90.1% от изследваната територия. Съответно обхваща почти всички LULC или CLC ареали. Т.е. уловеният въглерод (почти 633 хил. тона) се дължи само на 7% от територията (Табл. 3.5, Фиг. 3.3)



Фигура 3.3. – Уловен въглерод на територията на Голема планина в периода 2000 - 2012г

Таблица 3.5. Уловен въглерод в периода 2000 - 2012г.

Стойности	Площ км <sup>2</sup>	Процент от общата площ	Хектара (ha)
Положителни	29	7	2900
Отрицателни	11.5	2.8	1150
Нулеви	372	90	37250

Тук резултатите се дължат на смяната на земното покритие през периода 2000 – 2012г. Ако един участък от смесена гора (която е най-богата на въглерод) се промени в следствие на антропогенно въздействие и/или естествени процеси в иглолистна или широколистна гора, той вече ще има приход от 9 – 10Mg на клетка или 0.225 – 0.272Mg/ha, което ще предизвика загуба на въглерод, какъвто случай е наличен и тук.

Основният приход се е получил от широколистни гори, които са трансформирани в смесени, а териториите с отрицателни стойности са различни ареали от широколистни гори, които през 2000г. са били смесени гори.

На картата изглежда, че смесените гори мигрират на юг. Това се случва в самия център на планината - около с.Буковец. Това може да се дължи на антропогенното въздействие. В района на планината има две Държавни горски

стопанства (ДГС) – Своге и Ботевград, които оказват влияние от запад и изток. Те имат право да сечат избирателно на територията на цялата планина, стига да не е в обхвата на защитена територия. По този начин се създава мислена линия по билото на Голема планина с посока север/северозапад - юг/югоизток. Северно от нея се получават загуби на въглерод, а на юг - приход, от който се получава положителната разлика при улавянето. При с.Буковец се наблюдават най-големи промени в ландшафта и разлики в стойностите през изследвания период.

Другите променени ареали са от 87 по LULC *Хрстова растителност* в 68 - *Естествени ливади*, които обхващат северната част на планината.

Останалите променени територии са малки и разпокъсани. Преобладават в южната част на изследваната територия в близост до с.Батулия и с.Ябланица.

Уловеният въглерод за цялата територия може да се изчисли като се намери разликата между съхраненото количество въглерод през 2000г. ( 7 235 258Mg) и през 2012г. (7 867 742Mg). Моделът на *InVEST* показва, че в периода 2000 – 2012г. са количеството на уловения въглерод е нараснало с 632 491Mg , които изразени в парична стойност са приблизително 18 млн.\$.(табл. 3.7) или 434\$/ha (15.3Mg/ha) за периода 2000 – 2012г., съответно по 36.16 \$/ha на година (табл. 3.6).

Таблица 3.6. Резултати от модела

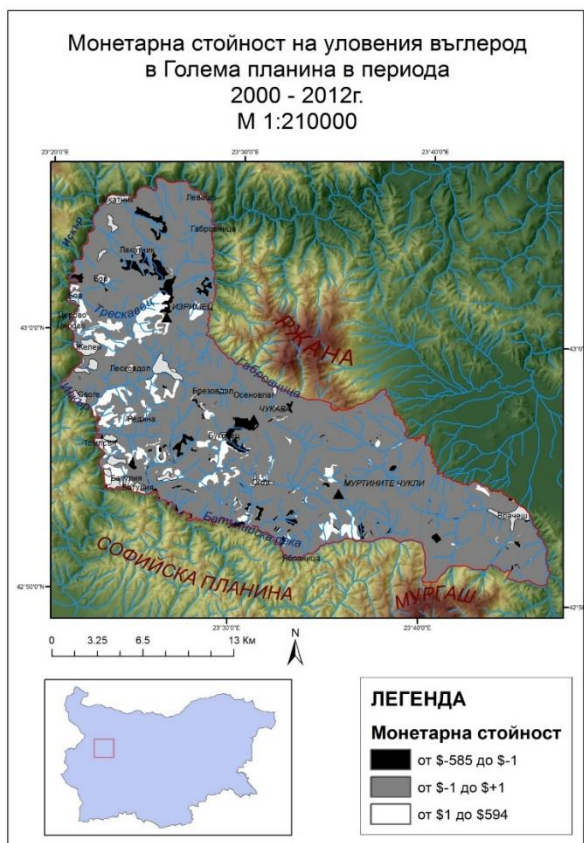
Година	Съхранен въглерод в тонове (Mg)	Уловен въглерод в тонове (Mg)
2000	7,235,257.97	
2012	7,867,741.96	632,491.24

Последната стъпка на анализа е да се определи монетарната стойност на уловения въглерод и отново резултатът се класифицира на три типа (табл. 3.7 и 3.8, фиг. 3.4). Площта се смята като се умножи броя на растерните клетки, отчитайки отрицателна монетарна стойност, по 0.4км<sup>2</sup>. А самата монетарна стойност – като се умножи броя на растерните клетки по индивидуалната им монетарна стойност, която се генерира в зависимост от променената земна повърхност и цената един тон (1Mg) въглерод.

Таблица 3.7. Монетарна стойност на уловения въглерод

Година	Уловен въглерод в тонове (Mg)	Монетарна стойност в щатски долари (\$)
2012	632,491.24	17,917,789.56

*Изгубеният въглерод* е общото количество въглерод, получено при отрицателни стойности на растерната клетка. Той заема площ от 14.1 и 3.4% от изследваната територия. Между 2000 и 2012г. е изгубен въглерод на стойност \$6,032,755. Съхраненият въглерод е общото количество въглерод, който не претърпява промени. Т.е. територията, която го съхранява е запазила земното си покритие, от което и не принадлежат промени в стойностите. Съответно стойността на уловения/изгубения въглерод е \$0. Това е и най-големият район – почти 90%. Уловен въглерод – това е общото количество въглерод, получено при положителни стойности на растерната клетка. Той се генерира при площ от 29.8км<sup>2</sup> или 7.2% от изследвания район. Тук успява да се улови въглерод на стойност \$23,903,835. Веднага може да се забележи разминаване с резултатите, дадени директно от модела на *InVEST* от Таблица 3.7. Разликата в стойностите се дължи на това, че моделът изчислява и 7% отстъпка за всяка клетка и от операциите, извършени с цел представянето на подробен анализ – закръгляване на стойностите на растерния файл, за да се осъществи достъп до атрибутивната таблица.



Фигура 3.4. Монетарна стойност на уловения въглерод на територията на Голема планина в периода 2000 – 2012г

Таблица 3.8. Монетарна стойност на изгубения и уловения въглерод в периода 2000 - 2012г.

Въглерод	Площ км <sup>2</sup>	Процент от общата площ	Монетарна стойност в щатски долари
Изгубен	14.1	3.4	6032755
Съхранен	368.9	89.36	0
Уловен	29.8	7.2	23903835

#### 4. Заключение

Базирайки се на метода за количествена и качествена оценка на екосистемните „стоки“ и услуги, инструментът *InVEST* предлага широк набор от ГИС базирани модели. Той дава ясни и конкретни данни, от които лесно може да се направи коректен и сравнително точен териториален анализ, а картите, които той генерира в някои от моделите безспорно улесняват работата. За разлика от останалите методи за картиране и оценка на екосистемните „стоки“ и услуги, авторите на моделите на *InVEST* са се стремили да прекратят все още теоретичните рамки на анализирането им. Той предлага чисто статистически подход, който показва нагледно и сравнително точно какви и колко блага от екосистемите могат да бъдат използвани от човечеството, като по този начин се поставят и основи за планиране на устойчивото развитие в избрана територия.

Моделът на *InVEST* „Съхранение и улавяне на въглерод“ е опростен. Самото съхранение на въглерод се основава на общото количество биомаса в четите въглеродни басейна: надземен, подземен, почвен и басейн на мъртвата биомаса. Всеки въглероден басейн има различна стойност в зависимост от вида земно покритие. Улавянето на въглерод е налично само когато се проявява разлика в земното покритие на района. Това означава, че ако земното покритие на изследваната територия през 2000 и 2012г. няма промени, нямаше да може да бъде изчислено улавянето и щеше да бъде представена единствено карта на съхранения въглерод. Уловеният въглерод е този, който екосистемата е успяла да складира допълнително за определен период от време. Дали поради човешка намеса или естествени процеси, само при промяна от около 10% от територията на изследвания район е уловено огромно количество въглерод (почти 633 000 тона). Сам по

себе си този резултат е доказателство за значимостта и високото качество на екосистемна услуга, която успява да регулира процеса на замърсяване на атмосферата на локално ниво и спомага за регулирането на климата.

Данните, изисквани от моделите на *InVEST* са описани като „прости и леснодостъпни, за да улесни използването на инструментите“ (Tallis et al, 2015). Въпреки това информацията според мнението на автора може да бъде труднодостъпна за България. Специално за „Съхранение и улавяне на въглерод“ се изискват четири проби за въглеродните басейни от всеки един вид земно покритие и тяхното анализиране. Това начинание изисква време, средства, инструменти и оборудване, заради което бе ползвана среднестатистическа информация, предоставена от авторите на модела. Проблемът е, че дори и с конкретни данни, резултатите ще бъдат по-скоро ориентировъчни и приблизителни, отколкото съвършено точни, поради комплексността на природните процеси и все още развиващите се изследвания за екосистемните „стоки“ и услуги. Всичко това затруднява и проверката на надежността на модела, което налага резултатите да бъдат приемани за коректни от страна на потребителя.

От една страна моделът дава възможност да се осъществи качествена и количествена оценка на екосистемната услуга „Съхранение и улавяне на въглерод“; използвайки среднестатистически данни и показва конкретни резултати, което позволява да се направи ясен анализ. От друга страна обаче моделът има повече негативи, отколкото позитиви. Той все още представя теоретични и труднодоказуеми резултати, като се основава напълно на промяната на земното покритие. Той не поддържа работа с CORINE, а работи само с класификацията на земното покритие LULC, което налага рекласификация, което води до усложняване на анализа и повишаване на шанса за допускане на грешки в изследването. Резултатните карти са само в растерен формат, което изисква допълнителна манипулация на данните от потребителя, за да извлече максимална информация. Това също предизвиква множество проблеми, отнема много време и се откриват неточности.

#### Използвана литература:

- Зервудакис, М., Рашев, Б., Гермер, К. 2007. Преглед на екосистемните услуги и ползите, които те предоставят. Проект Родопи. Основна информация за проект „Корине земно покритие“ (Corine Land Cover), <http://eea.government.bg/bg/projects/korine-14/osn-inform>
- Adamowicz, WL. et al. "Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services". Oxford University Press, New York
- De Groot, R., M Wilson, J. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological economics.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005. Ecosystems and Human Well-being. Millennium Ecosystem Assessment (MA). Island Press. Washington D C
- Tallis et al, 2015, *InVEST* 2.0 Beta User's Guide: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs