



**Софийски университет “Св. Климент Охридски”
Геолого-географски факултет
Катедра “Картография и Географски информационни системи”**

Иван Радев Иванов

**МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ НА ГОРСКАТА
РАСТИТЕЛНОСТ ЧРЕЗ ДИСТАНЦИОННИ
ИЗСЛЕДВАНИЯ И ГИС**

АВТОРЕФЕРАТ

на

**дисертация за присъждане на образователна и научна степен
"ДОКТОР"**

**Научна специалност 4.4 - Науки за Земята (Картография вкл.
Тематично географско картографиране – Дистанционни изследвания)**

Научен ръководител: Доц. Д-р Антон Филипов

Рецензенти:

- 1.**
- 2.**

София, 2015

1. Въведение и актуалност на темата

Горите са неразделна част от глобалната екосистема на сушата на Земята и имат ключови функции, включващи доставка на горски продукти, облекчаване на климатичните промени, запазване на биоразнообразието и опазване на водните ресурси и почвите. Съвременният технологичен растеж, нарастването на населението, нарастващите стандарти на живот налагат увеличаване на консумацията на горските ресурси, което увеличава натиска върху горите. От друга страна все по-честите природни нарушения в горските територии с абиотичен, биотичен и антропогенен характер също са причина за унищожаването на значителни количества горски запаси. Нарастващите процеси на обезлесяване водят до увеличаване на промяна в климата. Ето защо е необходимо устойчиво управление на горите, което е критично за развитието на регионалните стопанства, социалното и екологично равновесие. Това изисква от управляващите органи прилагането на адекватни средства за мониторинг на променящите се условия в горите, контролирането на тези процеси и съставянето на правилни планове и политики в областта на околната среда. Тези средства налагат използването на актуална географска информация за различни количествени и качествени характеристики на горите като обхват, тип, оценка на щети и т.н.

Едно от условията за подобряването на горепосочените изисквания е набавянето на качествена и количествена информация за горите, която да бъде географски привързана, да покрива големи територии и да се набавя в кратки срокове. Именно данните придобити от Дистанционни изследвания (ДИ) от сензори за улавяне на електромагнитната енергия, разположени на наземни, въздушни и сателитни платформи, притежават тези характеристики – висока геопространствена точност, широк пространствен обхват и малък период на повторно придобиване на данни над една и съща територия. Данните от ДИ заедно с методите за интерпретиране на тези данни и възможността лесно да се интегрират в Географски информационни системи (ГИС) и да се анализират заедно с информация от други източници позволява изготвянето на ефективни приложения за горите.

В последните десетилетия програмите за мониторинг на околната среда, базирани на ДИ на Земята от Космоса, се прилагат за вземане на решения и се налага да бъдат управлявани от общността на потребителите, които до сега не са били включени в този процес. Това е от особено значение в някои области на околната среда като горите, където досега традиционните полеви измервания и данни за много лесовъди и горски работници все още са основен източник на валидна информация. Поради увеличаване на натиска едновременно към обществения и частния горски сектор се поставят въпроси за практики за устойчиво горско управление и навременни, по-точни данни за състоянието на горите, което е в отговор на изискванията приети в рамките на Конференцията на министрите на европейските горски ведомства (MCPFE) и Рамковата конвенция на Обединените нации по изменение на Климата (UNFCCC).

В тази връзка през последните десетилетия стартират редица програми за мониторинг на околната среда, базирани на ДИ на Земята от Космоса, предоставяйки разработването на информационни продукти и услуги на регионално и национално ниво, свързани със състоянието на горското покритие.

От друга страна, в България тези дейности се извършват на регионално и локално ниво от отделните горски стопанства, използвайки традиционни методи за наблюдение и придобиване на данни за инвентаризацията на горите. Те обаче остават сравнително скъпи, времеемки и с дълъг период на повтаряемост. Съществуват няколко основни проблема с наличните данни за горите в България свързани с тяхното обновяване и актуалност, недобрата точност на картографските материали, липсата на

информация в цифров вид. Като цяло може да се обобщи, че в страната ни все още липсват програми за цялостно наблюдение и ефективно управление на горската растителност и използването на съвременни информационни технологии (мобилни комуникации, дистанционно наблюдение, математическо моделиране).

Актуалността и значимостта на темата на дисертационния труд по отношение на мониторинга и управлението на горската растителност в България се определя от:

- Наличието на затруднения при прилагането на общоевропейските критерии и индикатори за устойчиво управление на горите у нас;
- Необходимост от качествена и навременно придобита геопространствена информация за горското покритие от съвременни системи за наблюдение;
- Необходимост от прилагане на автоматизирани процеси на ДИ и ГИС за повишаване на ефективността на оперативния мониторинг и управление на горите у нас.

2. Предмет, обект, цел, задачи на дисертационния труд

Предмет на изследването е технологичният подход на Дистанционните изследвания и Географските информационни системи като средство за подпомагане на управлението на горите, отнасящо се до приложения свързани с мониторинг, картографиране и управление на горите. Технологичният подход на ДИ осигурява информация на горските управляващи служби с набавянето на необходимите пространствени и времеви спътникови данни и методите за обработка на тези данни. ДИ позволяват превръщането на данните в информация, а ГИС и компютърните модели на симулация осигуряват пълно функционално подпомагане при управлението на горите и горските територии.

Обект Обект на изследване в дисертацията е горската растителност. За тестване на предвидените подходи са избрани няколко представителни територии:

- границите на Държавно горско стопанство (ДГС) “Трън”
- ключови горски участъци, които са повлияни от неблагоприятни природни явления:
 - › ДГС “Средец” (снеголом/снеговал – 16-17 октомври 2011г.);
 - › Землището на село Гостун, община Банско (горски пожар – 09 април 2011г.);
 - › границите на биосферен резерват „Бистришко Бранище” (смерч – 22 май 2001г., нападение на корояд – 2004г.-2012г., горски пожар – 03 юли 2012г.)
- Ключов участък по поречието на р. Искър за тестване на хардуер и софтуер за генериране на 3-D данни за дървесната растителност

Наличието на няколко тестови участъка се налага поради възможността за изследването на различни горски приложения. От една страна, горските територии в границите на ДГС “Трън” са предвидени за изследване на показатели на горите свързани с многоцелевото тематично картографиране в подкрепа на горската инвентаризация. От друга страна, нерегламентираният характер на появата на природни нарушения налага разглеждането на тестови райони, в които са проявени подобни явления, за изготвянето на бързи и детайлни картографски продукти за управленски цели. От трета страна, е подбран съвсем независим тестови район, който да демонстрира качествата на система за генериране на 3-D данни, която да бъде приложима във всяка една горска територия.

Целта на изследването е да се разработят и използват приложения и продукти за мониторинг и управление на горската растителност чрез използването на Дистанционни изследвания и Географски информационни системи. Тази цел обхваща три елемента:

1. Многоцелево тематично картографиране
2. Генериране на 3-D данни
3. Управление на нарушения в горските територии

За постигане на поставените цели са формулирани следните **задачи**:

(1) Теоретико-методологични задачи

- да се изясни терминологичния апарат
- да се проучат методите за обработка и извличане на информация и да се осигурят необходимите пространствени и атрибутивни данни

(2) Практико-приложни задачи

- да се изготвят приложения и картографски продукти в подкрепа на горския мониторинг и управление:
 1. Многоцелево тематично картографиране
 - 1.1. Обхват на горската покривка
 - 1.2. Типове гори
 - 1.3. Подтипове гори
 - 1.4. Гъстота на короните на дърветата
 - 1.5. Отчитане на промени в горските територии
 2. Генериране на 3-D данни
 - 2.1. Да се проучат възможностите за генериране на 3-D данни подходящи за мониторинг на горските екосистеми и екологични изследвания и изграждане на ниско бюджетна преносима система за 3-D сканиране, основана на достъпен хардуер и софтуер
 - 2.2. Да се изготвят височинни модели на горите
 3. Управление на нарушения в горските територии, включващо изготвянето на бързи и детайлни карти в засегнатите райони
 - 3.1. Горски пожари
 - 3.2. Ветровали и снеголоми в горите
 - 3.3. Нападения от насекоми в горите
- да се обобщят предимствата на предложените приложения за нуждите на горското управление

Първата група задачи се отнася до теоретико-методологичния и методичен апарат на изследването. Нейното решаване произлиза от необходимостта за изясняване на многобройните функции, които изпълняват горите и тяхното обобщаване в регионални общоевропейски критерии и индикатори за устойчиво управление на горите. От друга страна се изясняват въпроси свързани с горското управление и проучването на възможности за прилагане на съвременни методи в лицето на ДИ. Технологиите на ДИ, предоставяща данни и методи за обработка, включва няколко тематични области и групи задачи в полза на горското управление свързани с многоцелево тематично картографиране и горска инвентаризация, контрол на състоянието на горите, растеж на гората, горска екология. Настоящото изследване има отношение към първите две тематични области.

Многоцелевото тематично картографиране в подкрепа на горската инвентаризация се отнася до решаването на задачи свързани с определяне на обхвата на гората, класифициране на типа горската растителност, гъстота на короните на дърветата, промяна в горската територия. Към тази категория се отнасят и задачите свързани с определянето на структурни параметри на горите с участието на 3-D данни (измерване на височини и обеми).

Контролът на състоянието на горите и свързаните с него дейности по откриване на природни нарушения и оценка на щетите се подпомагат изключително от ДИ. Широкият пространствен и времеви обхват на цифровите изображения дава възможност за наблюдения на неблагоприятни явления като горски пожари, снежни бури и ветровали, нападения от насекоми. Решаването на задачи свързани с бързото картографиране на обхвата и степента на развитие на дадено неблагоприятно явление, както и оценката на щетите в горските територии, могат да се подпомогнат от интерпретирането и анализирането на навременно придобити ДИ данни.

На трето място са разгледани възможностите за набавяне на подходящи геопропространствени данни и методите за тяхната обработка и извличане на информация. В тази връзка се изгражда база данни за горската растителност в определените тестови райони, което включва три нива на информираност – наземно (теренни измервания, лесоустройствени проекти и програми), въздушно (данни от Безпилотна летателна система (БЛС)) и космическо (сателитни изображения).

Втората група задачи е насочена към изготвянето на приложения и картографски информационни продукти в подкрепа на горския мониторинг и управление в разгледаните тематични области на ДИ. Това се постига чрез обработка, анализ и обобщение на изходната информация за отделните тестови райони. Тук от значение е тестването и правилното прилагане на подобрите алгоритми, както и подходящото представяне на получените резултати.

Към тази група задачи се отнася още обобщаването на предимствата на предложените информационни приложения, изводи и препоръки за нуждите на горското управление.

3. Методи на изследване

За изследване на горската растителност в поставените тематични направления и изследвани райони са използвани редица общи и частни географски методи като: метод на ДИ свързан, от една страна, с методи за придобиването на геопропространствени данни и от друга, с подходи и алгоритми за цифровата обработката на тези данни, метод на ГИС свързан със съхраняване, анализиране и визуализиране на пространствената информация и картографски метод за представяне на резултатите.

5. Структура на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем на 189 стандартни страници и съдържа 5 глави и списък на използваната литература от 103 заглавия, от които 19 на кирилица и 84 на латиница и 16 интернет-адреса цитирани и използвани в разработката. В текста са включени 68 фигури и 25 таблици, както и 30 приложения

Б. Съдържание на дисертационния труд

Глава 1: ВЪВЕДЕНИЕ

В тази въстъпителна част са изложени аргументи свързани със същността на разглеждания проблем и актуалността на разработката, определена е предметната област и обекта на изследването и са поставени целите и задачите.

Глава 2: ТЕОРЕТИЧНИ ОСНОВИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

В глава 2 е разгледана и изяснена *теоретико-методологичната постановка* на въпросите свързани с горското управление, разгледани са критериите и индикаторите и са представени предимствата на ДИ в управлението на горите. В отделна подточка – „Методи на изследване” е направен преглед в хронологичен ред на главните методи за изследване и управление на горската растителност. Методите за набавяне на информация за физическите параметри и състоянието на горите са разделени условно на традиционни (конвенционални) и съвременни. Конвенционалните методи включват дълго използваните теренни измервания на горски параметри при изследване на горската инвентаризация, както и методите на теренните пробни площадки. Съвременните методи за наблюдение и изучаване на многофункционалните аспекти на горската растителност включват новопоявилите се системи за дистанционно наблюдение, географски информационни системи за съхранение, обмен и анализ на информацията и методите за съставяне на модели и сценарии на бъдещо развитие. Внимание е обърнато на метода на дистанционните изследвания по отношение на различните видове платформи (космически, въздушни) и сензори (активни и пасивни), имащи роля при формирането и набавянето на цифрови изображения. Направен е разбор на основните видове характеристики на изображенията по отношение избора на конкретни параметри на цифровите изображения за различни специфични нужди свързани с горското картографиране.

В същата глава е направен *преглед на научните изследвания по темата*. Изследването на горската растителност изисква набавянето на количествена и качествена информация за горите, което подпомага формирането на горското планиране и горските политики. Ранните концепции за горското управление са свързани с измерване на горските параметри (горската инвентаризация) и са фокусирани върху производителните качества на горите и добива на дървен материал (Hartig, 1795; Cotta 1804). Съвременните концепции предоставят холистичен поглед върху горските екосистеми, отнасящ се не само до производството на дървесина, но и до многобройните функции на горите, както и до необходимостта от разбирането на функционалните механизми на горските екосистеми (von Gadow et al., 2002; Corona et al. 2003). Философията на устойчивото управление на гори е разработена в условия, където горите се разглеждат основно като източник на дървесина. Идеята за устойчивостта за първи път е спомената в горската регулация на Саксония през 16-ти век (Richter – 1963). Устойчивостта е ключов принцип за възстановяването на унищожените и силно експлоатирани гори в Централна Европа, както и срещу липсата на дървен материал. Фокусирането върху устойчивостта при доставката на дървен материал довежда до разработването и въвеждането на горски системи с периодичен период на повтаряне и до хомогенизиране на горските отдели.

В днешно време многофункционалната роля на горите и особено рекреационните и защитните им свойства са високо ценени и стават значителна цел пред горското управление и планиране. Идеята за многофункционалната устойчивост

на горите рефлектира в програмите на международни форуми като: Конференцията на Обединените нации за околна среда и развитие (United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)) през 1992 г. в Рио-де-Жанейро, където е приет принцип за международен консенсус в управлението, опазването и устойчивото развитие на всички видове гори, наречен още Горски принцип; Международната тропическа организация за дърводобив (ITTO) през 1992; Министерска среща за защита на горите в Европа (MCPFE 2000), където се определя списък с критерии и индикатори за устойчиво горско управление и сертифициране.

Преглед в международен план. Технологията на дистанционните изследвания в науката произхожда от въздушното фото-дешифриране (Silva, 1978). Дешифрирането на въздушната фотография се използва широко в горското управление през по-голямата част на XX век. Неговото използване навлиза след Първата световна война и набира масово използване след трайното установяване на границите на горските територии в повечето държави след Втората световна война (Graham и Read, 1986). Въздушното фото-дешифриране навлиза в много научни направления, но започва да губи позиции след появата на нови изображения и сензорни технологии, базирани на компютърни технологии и инженерни науки за изграждане на сензори (Gregory, 1971).

В развитието на дистанционните и космическите технологии могат да се отбележат няколко ключови момента като разработването на радара през 40-те години, термалните изображения през 50-те години, редовната достъпност на метеорологичните сателитни данни през 60-те години, изстрелването на „ERTS (Earth Resources Technology Satellite)” и сателитите Landsat през 70-те, развитието на глобални изследвания и мониторинг в среден и едър мащаб през 80-те години, появата на сателити с висока пространствена разделителна способност в края на 90-те години, бързото усъвършенстване и широкото приложение на LiDAR, както и появата на множество оперативни програми за мониторинг на глобално и регионално ниво в началото на новото хилядолетие. След изстрелването на Landsat в световен план се дава тласък на цифровите картографски системи, цифровите модели на релефа (DEM), проучвания на нови спектрални данни и автоматизиране на прости задачи за обработка на изображения като успоредно се разширява развитието и на въздушната фотография, намаляване на PPC и увеличаване на PPC и CPC на фотограметричните приложения.

През новия век като основен акцент в развитието на дистанционните изследвания може да се посочи експлоатацията на търговски спътници, осигуряващи свръхвисока пространствена разделителна способност - *Ikonos*, *Quickbird*, *GeoEye*, *WorldView-2* ($1 - 0.5$ m), покриващи огромни територии, също така подобряване на мултиспектралните и хиперспектралните характеристики на придобиваните данни както от космоса, така и от нисколетящи платформи, интегриране на двуизмерни и триизмерни данни и решаване на сложни пространствено-времени анализи.

Научните изследвания на гората чрез ДИ могат да се категоризират според вида на използваните сателити и сензори и тяхната PPC. В литературата са описани изследвания базирани на данни с ниска, средна, висока и свръхвисока PPC, отговарящи съответно на горски изследвания на глобално, национално, регионално и локално ниво. Едни от най-използваните сателитни програми за горски цели са тези със средна и висока PPC като сред тях могат да се споменат сателитните програми на Landsat, SPOT, IRS, ASTER, RapidEye. Спътникът RapidEye предоставя цифрови изображения от 2008г., покриващи територия от над 4 мил. км² дневно с възможност за доставяне на информация за всяка точка на Земята. Това са многоканални изображения с висока пространствена разделителна способност (5м пиксел) и с пет спектрални канала: син, зелен, червен, Red-Edge и близък инфрачервен. Предлаганата от RapidEye PPC е

подходяща за изготвянето на карти в мащаб 1:10 000 - 1:25 000, даващи информация за регионалния обхват на горите, както и настъпващите промени в тях.

С технологичното усъвършенстване се появяват спътници с много добра разделителна способност, предоставяйки висока степен на детайлност на провежданите изследвания. В тази връзка започват да се разработват т.н. "Small Satellites" за национални и регионални цели. Сред ДИ, осигуряващи подходящи данни за горското управление, могат да се отделят сензорите монтирани на въздушни платформи, които предоставят свръхпрецизни измервания на горските параметри. В нашето съвремие може да се отчете напредъкът на развитието и миниатюризирането на технологичните системи на безпилотните въздушни системи и тяхното широко приложение за локални цели.

Преглед в национален план. Изследването и устройството на българската гора е свързано преди всичко с лесоустройствените дейности, които се провеждат на територията на страната ни. Първоначалните въпроси вълнуващи лесоустройствителите след Освобождението на България са свързани със собствеността на горската земя и определянето на границите на сечищата. В началото на 20 век се поставя и началото на лесоустройството в страната ни въз основа на руската лесоустройствена наука като постепенно започва благоустрояване в отделни горски стопанства, а през 20-те години се приемат закони за стопанисването и съставянето на планове и програми на всички обществени гори. След национализацията на горите през 1947 г. обемът на лесоустройствените работи рязко се увеличава като се обръща значително внимание на противоерозионните дейности във връзка с изграждането на големи хидропроекти и язовири. Междувременно започват работа дирекция „Лесоустройство” и ведомствена проектантска организация „Агролеспроект”, които устрояват горския фонд в страната. През 1960 г. в лесоустройството се внедрява използването на аерокосмически снимки и фотограметрични методи. Годините от 1960 до 1980 са обвързани с научни постижения в лесоустройството в страната и чужбина и приложения намират математико-статистически методи при определянето на дървесните запаси. Увеличава се обемът на противоерозионното, хидротехническото, ландшафтното и пътното проектиране. През 80-те години се правят първи опити за цифровизация на графичната информация. След 1989 г. започва внедряването на еколого-икономическия ефект от лесоустройственото проектиране, както и идеята за изработването на комплексен лесоустройствен проект, включващ лесоустройство, ловоустройство и проучване на здравословното състояние на горите (Ангелов, И. 2011). През този период се отчита и появата на първите частни фирми с проектантска насоченост в горското устройство („Пролес Инжинеринг”).

През новото хилядолетие започва използването на нови технологии в горската инвентаризация като при картирането на горите се използва предоставяната от Министерството на земеделието и храните цифрова ортофото карта. По отношение на научното изследване на горите с право могат да се посочат Института по гора към БАН и Лесотехническият университет, като провежданите изследвания и научни направления увеличават своя брой, но може да се обобщи, че тяхното оперативно приложение в горското управление все още е на начално ниво.

ГЛАВА 3. МЕТОДОЛОГИЧНА И ИНФОРМАЦИОННА БАЗА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

В глава 3 подробно са разгледани подбраните и използвани методи в разработката.

Специфичното приложение на метода на ДИ в разработката е свързано с използването на данни придобити от пасивните сензори (оптични ДИ), регистриращи електромагнитната радиация във видимия и инфрачервен диапазон на ЕМС и автоматизираната обработка на тези данни. За цялостното изясняване на комплексността при съставянето на приложения за горската растителност е съставена схема на технологичната инфраструктура на ДИ (фиг.1). В нея са обособени четири категории от дейности: придобиване на цифрови дистанционни данни, предварителна обработка и калибриране на данните, обработка и извличане на информация от данните и интегриране на получените резултати в ГИС и изготвяне на крайни картографски приложения за горите. Всяка една отделна подкатегория от тези дейности е детайлно разгледана в разработката.

Фигура 1. Технологична инфраструктура на ДИ при изготвянето на приложения за целите на горското управление.



Дейностите по извличане на информация от цифровите изображения, имащи отношение към изследването, включват три групи:

1. Информация за класифицирането на горската растителност (**обхват на горското покритие, горски типове и видове**)
2. Информация за променливи величини на гората (индекс на листната повърхност – LAI, **височина**, възраст, диаметър, обем, биомаса, **гъстота на короните на дърветата** и т.н.)

3. Информация за промяна в горската покривка (*сечища, нови пътища, нарушения*)

С удебелен шрифт са посочени информационните приложения, които са засегнати в разработката, като за всяко едно от тях е направен преглед на най-значимите методи за тяхното определяне чрез ДИ.

В първата група попадат методи и алгоритми за автоматизирана класификация, включващи класификации с обучаеми множества и без обучаеми множества, както и методи за оценката на тези класификации.

Във втората група по отношение на определяне на гъстотата на короните на дърветата са използвани модели на гъстотата на горската покривка с участието на няколко индекса (вегетационен, индекс на оголени почви, индекс на засенченост).

По отношение на измерването на височини на дървесната растителност са изучени методите за съставяне на височинни модели и 3-D измервания, като се предлага алтернативен подход на скъпоструващата система за лазерно сканиране – LiDAR с участието на Безпилотна летателна система (БЛС), снабдена със навигационна и сканираща фото система. Този подход изисква набавянето на цифрови изображения от определена височина над горската растителност, заснети от различни ъгли и с определена степен на припокриване. Това е основното изискване за използването на т.н. софтуер за “Computer vision”, който извършва предметно разпознаване и компютърно триизмерно моделиране от двуизмерни изображения и генериране на тези обекти, разчитайки на сложни хипотези за дадена сцена, която е заснета и отразена върху цифровите изображения.

В третата група за откриване на промените чрез ДИ са разработени няколко различни метода, които могат да бъдат обобщени в: методи на директното сравнение, методи базирани на трансформации, методи базирани на класификации.

По отношение на настъпване на промяна свързана с обезлистване и обезлисяване на територии породени от нарушения свързани с горски пожари, бури в горските райони и нападения от насекоми е направен преглед на гореспоменатите методи за откриване на промени, определяне на обхват на поражението и оценка на нанесените щети. В тази връзка подходящи за откриване на настъпващи промени в горските територии са вегетационните индекси (ВИ) придобивани от сателитните данни. Главните индикации за влошаване на състоянието на листната маса се отразяват в понижените стойности на хлорофила и повишения пик в близката инфрачервена област в отражателните характеристики, което се регистрира в понижени стойности в индекса на NDVI (Normalize Difference Vegetation Index).

Специфичното приложение на метода на ГИС в разработката. ГИС позволяват събирането и управлението на геопространствена база данни (включващо събирането на данни, разработването на база данни и архивиране) във всички необходими мащаби и анализирането на тези данни (включващо моделиране и извличане на информация) с цел да предоставят отговори за състоянието на гората. ГИС са основно средство за изготвяне на крайните продукти от дистанционните изследвания в лицето на карти и анализи, предоставящи информация за моментното състояние и промяната във времето на горската растителност. развитието на цифровата картография позволява нови методи за пространствени анализи и отразяването на комплексността на горските ландшафти. Това изисква висока степен на интеграция и оперативна съвместимост, както между ГИС и системите за цифрова обработка на дистанционните данни, така и между допълнителните данни от теренни измервания.

Могат да се отбележат следните добри практики на ГИС в горското управление и горското планиране (Frankin, 2001):

1. Интегриране на много източници на данни, включително данни ДИ
2. Осигуряване на данни за моделите и подходяща среда за тяхното стартиране, валидиране и генериране на резултати
3. Картографиране и разработване на бази данни

Основни етапи по отношение на ГИС модела могат да се сведат до: изграждане на база данни и модели за представяне на векторни и растерни данни, както и изграждане на топологични взаимовръзки; извършване на пространствени анализи; визуализация и изготвяне на картографски продукти.

Картографски метод. Съвременните ГИС програми предоставят подходящи средства за визуализация, представяне и оформяне на крайните резултати от проведените анализи под формата на статистическа информация, картодиаграми и схеми, доклади и картографски продукти. ГИС програмите съдържат богат асортимент от менюта и под-менюта, които позволяват включването на всички необходими картографски елементи при крайното оформяне на картите.

Картографирането на показателите на горската растителност се отнася до съставянето на тематични карти изискващи характерни способности за изобразяване на специфичното съдържание. В този смисъл при изобразяване на границите на горската растителност много подходящ е способът с ареали, разкриващ нейното пространствено разположение. Разпространението на горските територии и типове може да бъде представено чрез контур, шриховка или цвят. Цветовото предаване е подходящо при представяне на различни типове земни повърхности.

За отразяване на качествени характеристики на явленията, които имат непрекъснат характер, е подходящ способът с качествен фон. Той може да се използва за картографиране на горски територии заети от различни типове и подтипове дървета.

За картографиране на средната интензивност на дадено явление се прилага способа с картограма. При него се използва цветова скала (аритметична, геометрична), която показва интензивна на разглежданото явление. Този способ е подходящ за представяне на гъстотата на короните на дърветата в проценти или за окачествяване на степента на поражение в дадена горска територия. Способът на картограмата може да се използва в комбинация със способите на ареалите и на качествения фон, за да се разкрият повече от една характеристика в горската територия (пр. степени на снеголом при различни типове гори или низов и върхов пожар според типа на гората).

Всички картографски приложения са изготвени в ArcGIS среда в проекция UTM, зона 35, елипсоид – WGS 1984. ГИС технологиите позволяват картографските приложения да бъдат представени като съвкупност от слоеве, съдържащи различни компоненти: тематични слоеве (резултати от анализите), спомагателни слоеве (сенко-релеф, хидрография, административни граници), както и задължителните елементи на картата.

Към глава 3 се отнасят също така информационната основа и районите на изследването.

Район на изследване. В настоящата работа са избрани няколко тестови района на изследване (фиг. 2), чиято обща площ възлиза на 172159 ха. За целите на многоцелевото тематично картографиране и горската инвентаризация е подбран един основен район на изследване – територията на ДГС “Трън”.

За целите на управлението на природни нарушения са подбрани няколко горски района, в които са протекли различни по вид неблагоприятни явления. Това са територии от горския фонд в землището на с. Гостун и с. Осеново (горски пожар), голяма част от горската територия на ДГС „Средец“ (ветровал и снеголом) и територията на Биосферен резерват „Бистришко бранище“ (нападение от насекоми). Изборът на тези територии е обусловен от стохастичния характер на природните нарушения и възможността за тяхната проява извън рамките на основния район на изследване (територията на ДГС „Трън“). Именно по време на три годишния дисертационен период се проявяват няколко неблагоприятни природни явления в гореспоменатите горски територии.

В проведеното изследване на горската растителност може да се отдели и една трета група от тестови райони свързани с изследване на триизмерната структура на дървесната растителност. Тук са включени части от територията на град София и град Варна.

Фигура 2. Тестови райони на изследване. 1. ДГС „Трън“, 2. ДГС „Средец“, 3. с. Гостун, 4. Биосферен резерват „Бистришко бранище“, 5. гр. София, 6. гр. Варна



Информационна основа. За осъществяване на поставените цели и задачи в настоящата работа е необходимо набавянето на географски данни. Безспорно използването на спътникови данни в тази връзка е от първостепенно значение, но в състава на информационните източници влизат още използването на съпътстваща, допълнителна информация. Правилното описване на използваните данни изисква те да бъдат обособени в следните категории:

Сателитни изображения. За основен източник на сателитни данни при съставянето на тематичните карти в ДГС „Трън“ е избран сателита RapidEye. Високата ПРС и широкият пространствен обхват на сцените позволяват да се обхванат значителни горски територии с подходяща големина на пиксела, които да осигурят информация за горското покритие. За изследването на природните нарушения (снеголом в ДГС „Средец“, горски пожар в с. Гостун) също са използвани изображения от RapidEye, което е свързано с подходящи налични сцени за съответните времеви моменти отнасящи се до съответните горски нарушения. В тази връзка е използването

на останалите спътници, които предоставят още по-детайлна информация за природните нарушения – Formosat-2 и WorldView-2 (пожар с. Гостун), Ikonos, GeoEye, WorldView-2 (нападение от корояд, Биосферен резерват „Бистришко бранище“). За оценка на обхвата на поражението от смерч във Витоша се налага използването на данни от Landsat 7, което е продиктувано от нуждата от архивна информация за засегнатия район. За това изследване са използвани още изображения от далечната 1970г. от сателита Corona, както и изображение от 2005г. от сателита Ikonos.

Допълнителни растерни данни. Тематичните растерни данни представляват допълнителни пространствени данни, които участват и подпомагат дейностите по извличане на информация от спътникови изображения, определяне на точността и валидация и оформяне на крайните резултати. Тематичните растерни файлове включват цифров модел на релефа (DEM), топографски карти, аеро-фото изображения и базови картографски продукти.

Векторни данни. Векторната база данни включва референтна информация за: административни граници и населени места; хидрография; транспорт; Система за идентификация на земеделските парцели (СИЗП); Лесоустройствени проекти (ЛУП). Последните са необходими за сравнителни анализи.

Данни от БЛС. За целите на 3-D измерването на параметрите на горите се налага използването на данни придобити от БЛС. Данните представляват фотографии, придобити от дигитален фотоапарат, монтиран на борда на безпилотна летателна система.

Теренни измервания. Теренните измервания са проведени за набавяне на информация при изготвянето и оценката на точността на крайните резултати. Те включват проверка на предварително набелязани полигони. За целите на многоцелевото тематично картографиране е събрана информация за разпределението на доминантни дървесни видове и е съпоставена с това от получените софтуерни класификации. Събрани са GPS координатни данни и фотографии. Тези данни подпомагат оценката на точността на крайните продукти. За валидиране на резултатите при изследването на нарушенията в горските райони са проведени теренни наблюдения в предварително подбрани участъци в засегнатите територии.

Голяма част от данните са предоставени от Център за приложение на спътникови изображения – ПЕСАК, България. Основната част от спътниковите изображения са закупени по проект EUFODOS (насочени услуги за управление на гори), финансиран по седма рамкова програма за научни изследвания и технологично развитие (7РП) на ЕК. Данните от БЛС са придобити с подкрепата на Университетски център за въздушно наблюдение, Софийски университет „Св. Климент Охридски“ след приемането и финансирането на проектно предложение свързано с темата на дисертацията.

ГЛАВА 3: РЕЗУЛТАТИ

В тази глава са обобщени резултатите от проведените изследвания свързани с многоцелево тематично картографиране, генериране на 3-D данни за горската растителност и управление на нарушения в горските територии. Резултатите от последните изследвания обхващат горски пожари, ветровали и снеголоми в горите и нападения от насекоми в горите. За всяко едно от изследванията е съставена база данни (БД), която преминава през предварителна обработка, обработка за извличане на информация, анализ и оформяне на крайните резултати.

Многоцелево тематично картографиране – ДГС „Трън“. За поставените цели свързани с многоцелевото тематично картографиране е необходимо набавянето на сателитна информация (изображения от сателита RapidEye, 2009, 2012), както и събирането на допълнителна информация за горската покривка в границите на ДГС „Трън“ – лесоустройствени планове (ЛУП), административни граници, хидрография, транспортни връзки и т.н. В базата данни се включват още наземни данни от проведени теренни измервания във връзка с оценката на получените информационни слоеве от автоматизираните класификации.

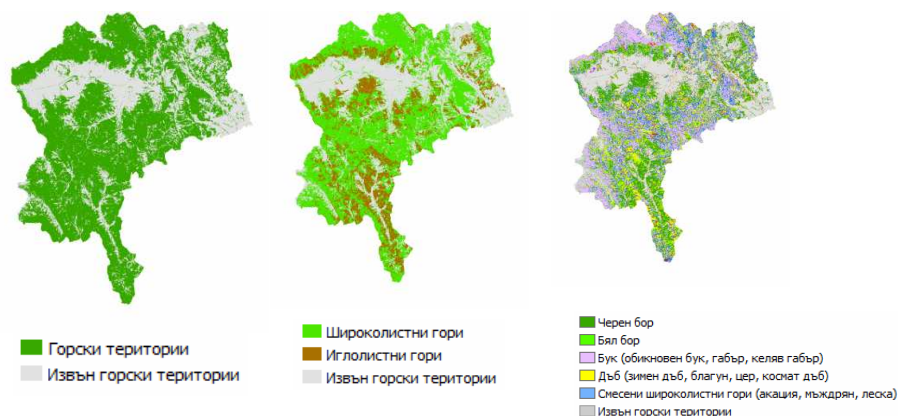
След извършване на серия от предварителни дейности по обработката на базата данни (геометрични и радиометрични корекции, мозайкиране, трансформации и подобряване на спектралните качества на изображенията) се преминава към същността по обработката и извличането на необходимата информация от БД за решаването на поставените задачи.

Първата задача свързана с определянето и класификацирането на обхвата, типове и подтиповете на горите изисква разработването на класификационна схема от 3 нива. През този етап се разработва цялостната схема на класифициране на изображенията, която включва избора на класификационни методи. Тук са определени типовете земно покритие, които попадат в границите на горските и извън горските територии. Това са всички територии с дървесно покритие с повече от 5м височина, които покриват площи с гъстота на короните от 10% до 100%. В извън горските територии остават всички останали типове земно покритие (храсти, треви, земеделски земи, застроени площи, водни обекти). Избрана е минималната картографирана единица (Minimum Mapping Unit - MMU), възлизаща на 0,1 ha.

Извършени са три последователни класификации. За определяне на обхвата и типовете гори е избран метод на класификация без обучаеми множества (Unsupervised classification), а за класификацията на отделните подтипове са тествани методи с обучаеми и без обучаеми множества. Всяка следваща класификация е базирана на резултати от предходната класификация.

В резултат са оформени три информационни слоя: обхват, типове и подтипове на горската растителност за границите на ДГС „Трън“ (фиг. 3).

Фигура 3. Обхват, типове, подтипове на горската растителност

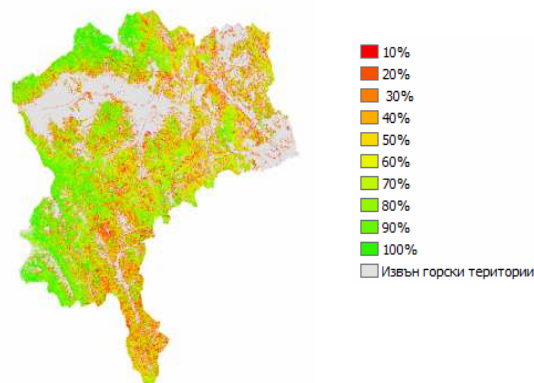


След проведените работи по оценка на точността, получените слоеве показват много висока точност при слоевете за обхват (96%) и типове (95%) горска растителност. Информационният слой за подтиповете горска растителност показва пониски резултати поради сходните спектрални отразителни характеристики на отделните подтипове в иглолистните и широколистните гори. При разграничаването на

буковите (обикновен бук, габър, келяв габър) и дъбовите гори (зимен дъб, благун, цер, космат дъб) съществува известно разминаване в спектралните криви и това дава по-добър резултат, който очертава по-ясно буковите от дъбовите горски повърхности. Спектралните характеристики на белите и черни борови горски повърхности са много близки една до друга, което се отразява в получените крайни класове. Това затруднява автоматизираните процеси на правилно групиране на пикселите в сателитните изображения.

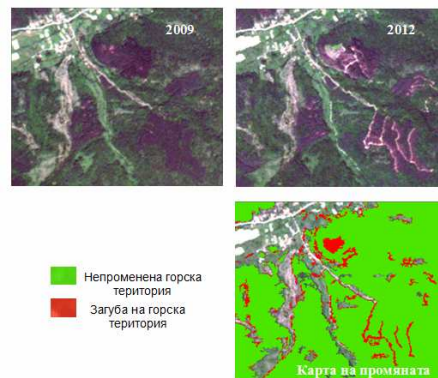
След като е определен обхвата и типа на горската територия се пристъпва към втората задача – определяне на стойности за степента на гъстота на короните на дърветата в тези територии. Направен е опит да се адаптира модела за определяне на гъстотата на короните на дърветата предложен от Rikimaru (1996) за изображения от RapidEye. Този метод изисква изчисляването на няколко индекса с участието на зелен (B2), червен (B3) и инфрачервен (B4) спектрален канал: индекс на растителността (AVI), индекс на оголените почви (BI), индекс на сенчестост (SI). Тези индекси участват в интегриран модел за изготвянето на карта на гъстотата на горската покривка в проценти за определена картографирана единица, която отговаря на пространствената разделителна способност на спътниковото изображение (фиг. 4). Оценката на точността възлиза на 81.67%, което се обяснява с известни колебания и разминавания. Необходимо е да се усъвършенства избрания модел за изображения от RapidEye.

Фигура 4. Гъстотата на дървесните корони (ДГС „Трън”)



За осъществяване на третата задача свързана с разкриване на промени в горската територия са извършени пространствено-времени анализи на сателитните изображения от 2009 до 2012г. като се обособява три годишен период. Това е сравнително кратък период от време предвид бавните периоди на естествено развитие на горите като се цели разкриването и проследяването на промяната по отношение на новопоявили се сечища и нови пътища в горските райони. Полученият информационен слой показва грешки в някои от териториите с промяна, което е обусловено от климатичните разминавания за разглежданите години и оказва влияние върху отражателните способности на горската растителност. Въпреки това след направения визуален преглед на резултатите ясно са очертани районите със загуба на горски площи, които в повечето случаи включват прокарването на нови пътища и сечища в иглолистните горски насаждения (Фигура 5).

Фигура 5. Разкриване на промяна в горската растителност



Получените високи оценки на точността на информационните слоеве за обхвата и типовете гори след класификацията на сателитните изображения гарантират тяхната информационна достоверност и са сравнени с ЛУП. Това очертава границите на горските територии, които остават извън границите на ЛУП (3269 ха). Ясно се отчитат териториалните различия на иглолистните и широколистните гори от софтуерните класификации спрямо данните от ЛУП. Възможно е точно определяне на площите на иглолистните гори попадащи в отдели определени като широколистни гори според ЛУП и обратното.

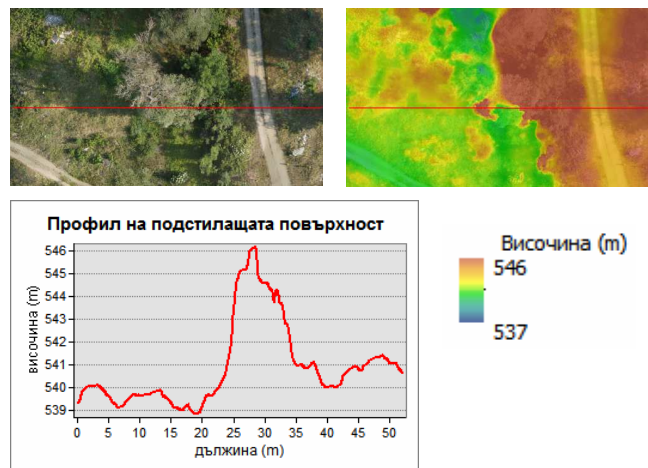
Получените информационни слоеве за обхвата, типа и гъстотата на короните на дърветата са оформени като тематични карти и са приложени в дисертацията.

Генериране на 3-D данни. Генерирането на 3-D данни за горската растителност е съпроводено от използване на система включваща летателен апарат (хектокоптер с 6 безчеткови електромотора по 150 W и пропелери с големина 10 x 4.7 инча), автопилот (DJI WooKong – M, Data link – 900 MHz, батерия – 3S 5000 mAh), сканираща система (Sony NEX-5R (16mm)) за събиране на изходни, цифрови фото изображения. Първоначално е избрана малка тестова територия с големина от 1 ха в района на гара Искър (гр. София) в близост до река Искър, върху която има разположени няколко групи дървета. Събирането на данните включва няколко дейности по планиране на полета, подготовка на БЛС и цифровата камера и осъществяване на мисията. Важно условие при заснемане на фото изображенията е тяхното припокриване, което е основа при генериране на триизмерен модел от двуизмерни изходни данни. Друго важно условие за получаването на коректни резултати е поставянето на маркери (с измерени GPS координати), които да са видими от височината на полета. След осъществяването на мисията са заснети 9 цифрови изображения от 58 m височина с резолюция от 3264 x 4912 пиксела и плътно покритие на всяко изображения от 4 декара.

За генериране на триизмерни модели на горската растителност е необходимо данните да преминат през серия от софтуерни операции: зареждане на данните, добавяне на координатна система, подравняване на изображенията, изграждане на опростен геометричен модел, въвеждане на контролни точки, изграждане на сложен геометричен модел, изграждане на текстура, запазване на получените модели. След направените процедури е генериран цифров модел на подстилащата повърхност (DSM) и цифрово аеро-фото изображение с големина на клетката от 5 cm (с възможност за подобряване до 2 cm) и с общо отклонение по X и Y равняващо се на по-малко от един пиксел. Генерираните информационни слоеве са заредени в ГИС среда, за да се насложат един върху друг и да се направи оценка на достоверността. От гледна точка на отразяване на височинните стойности на дърветата съществуват определени

неточности в периферията на разглежданата област поради липса на снимки с по-голяма степен на припокриване, но като цяло може да се обобщи положителният резултат на направеният тест (фиг. 6).

Фигура 6. Профил на подстилящата повърхност в избран участък



За утвърждаване на постигнатите резултати всички горепосочени процедури са тествани за по-обширна територия в района на Морската градина във Варна (“Втора буна”). Избраната територия е част от проект за генериране на цифров модел на повърхността на град Варна, който е утвърден след демонстриране на възможностите на софтуера за “Computer Vision” на Втората Европейска SCGIS конференция „Опазване на природното и културно наследство за устойчиво развитие: ГИС-базиран подход”, 2013г, София. В резултат на проведените изследвания може да се отбележи съставянето на триизмерна аеро-фото карта със свръхвисока ПРС (5 cm) и висока точност.

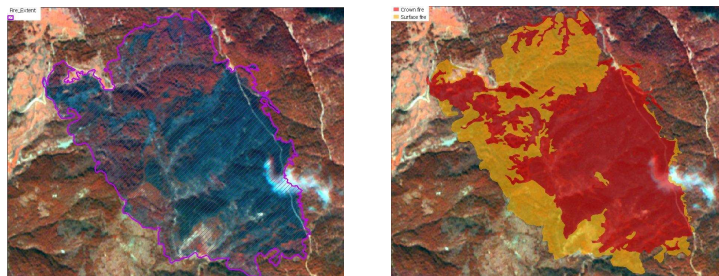
Фигура 7. 3-D представяне на Морската градина – Варна (“Втора буна”)



Управление на нарушения в горските райони - Горски пожари. След възникването на пожара в с. Гостун от първостепенно значение е бързото набавяне на качествена спътникова информация и събирането на допълнителна информация на засегнатия район. Високата времева разделителна способност на спътника RapidEye (5m) позволява бърз и лесен достъп до избора на подходящо изображение, заснето непосредствено след горския пожар. Сателитът Formosat-2 (2m) също е заснел опожарената територия и предоставя информация с по-добра разделителна способност. В допълнение е подбрано и референтно изображение от архива на WorldView-2 (0.5m) един месец преди настъпването на пожара, което да даде информация за състоянието на горското покритие и да подпомогне оценката на горските щети. Допълнителна информация за състоянието на горската покривка в засегнатия участък предоставят аеро-фото снимки от 2006 г., ЛУП (ДГС “Места” 2007), СИЗП (2009). За интерпретирането на спътниковите изображения при определяне на обхвата на пожара и при разграничаването на характера на пожара в отделните му части (низов, върхов), както и за сверяване на получените резултати са използвани теренни измервания. За целта няколко дни след горския пожар е направен обходен маршрут на опожарения участък съвместно със служители от ДГС “Места”.

След орторектификацията на сателитните изображения и тяхната предварителна подготовка по пресмятане на вегетационни индекси (NDVI) се пристъпва към тяхната цифрова обработка. Първоначално е извършена класификация без обучаеми множества на изображението от WorldView-2 с цел да се отделят горските и извън горски територии. През този етап се извършва актуализация на границите на ЛУП (2007) според информацията от спътниковото изображение от WorldView-2 (2011). Следва автоматично фиксиране на опожарената горска територия посредством определяне на разликите в индексите на NDVI в изображенията преди и след пожара. Този слой заедно с теренните измервания са наложени върху сателитните изображения в ГИС среда и ръчно е векторизиран обхвата на горския пожар. Следват работи по определяне на характера на горския пожар. В оградената територия остават горски територии с различна степен на опожареност. За това свидетелстват и индексите NDVI, които в някои части имат положителни стойности. В тези територии пожарът е бил низов и е засегнал само повърхностната растителност и част от стъблата на дърветата, след което е отминал като е оставил по-голямата част от дърветата все още здрави и с възможност да се възстановят след време. Получените автоматични резултати за степента на унищожаване на растителността са подкрепени от ръчна интерпретация за определяне на районите с низов пожар. Така са оформени два слоя: обхват на горския пожар и тип на горския пожар (низов и върхов), чиято точност възлиза на повече от 90% (фиг. 8).

Фигура 8. Обхват на пожара (лилав цвят); характера на пожара (червен цвят – низов пожар, жълт цвят -върхов пожар)



След определяне на обхвата на опожарената територия и характера на пожара, както и определянето на обхвата на горската територия по спътникови изображения и ЛУП се пристъпва към интегриране на данните и извършване на пространствени

анализи. Това служи за определяне на точното количество на засегната от пожара горска територия според спътниковите данни, както и според ЛУП, и допринася за лесната и бърза оценка на нанесените щети и позволява обновяване на ЛУП. Резултатите за засегнатите горски територии са обобщени в таблица, от която проличават разликите според различните източници (Таблица 1).

Таблица 1. Засегнати горски площи от пожар с. Гостун по данни от различни източници

Засегнати площи от горския пожар в хектари (Сателитно изображение 2011)			
Тип на пожара	Горска растителност	Площ	Общо
Низов	Иглолистни и широколистни гори	83.15	185.73
Върхов	Иглолистни и широколистни гори	102.58	
Засегнати площи от горския пожар в хектари (Лесоустройствен план 2007)			
Тип на пожара	Горска растителност	Площ	Общо
Низов	Иглолистни и широколистни гори	91.72	224.2
Върхов	Иглолистни и широколистни гори	132.49	
Засегнати площи от горския пожар в хектари (подновен лесоустройствен план 2011)			
Тип на пожара	Горска растителност	Площ	Общо
Низов	Иглолистни и широколистни гори	85.07	181.42
Върхов	Иглолистни и широколистни гори	96.35	
Засегнати площи от горския пожар в хектари (Изпълнителна агенция по горите)			
Тип на пожара	Горска растителност	Площ*	Общо
Низов	Иглолистни и широколистни гори	101.4	216.3
Върхов	Иглолистни и широколистни гори	129.2	

* 14.3 ха от не-горските територии са включени в това число

Получената информация за наличие на горски пожар, както и неговия тип (според сателитните изображения) е пространствено привързана към ЛУП, позволявайки актуализиране на информацията в горските отдели и подотдели.

Като приложения са оформени карти за горския пожар, върховете и низовите пожари, засегнати горски територии според ЛУП 2007 и 2011, типове земна повърхност засегната от пожара, видове гори и тяхната възраст и гъстота, като в допълнение към тях е извадена статистическа информация.

Управление на нарушения в горските райони - Ветровали и снеголоми в горите. Това изследване подкрепя приложението на ДИ и ГИС при нарушения в горските райони, възникнали вследствие на горски бури, ранен снеговалеж и силен вятър, което се наблюдава на територията на ДГС “Средец” в началото на есента на 2011 г. За разкриване на промяната в горската растителност са избрани изображения от сателита RapidEye (2010, 2012) от преди и след датата на природното нарушение. Допълнителна информация за горската покривка предоставят аеро-фото снимки от 2006 и 2011 и ЛУП. За сверяване на получените резултати от интерпретацията и анализа на спътниковите изображения е направена теренна проверка. Съвместно с представители от дирекцията на ДГС “Средец” и ИАГ е подготвен маршрут за обхождане и са набелязани ключови участъци за наблюдение. Събрана е информация на място за обхвата и степента на повредите от снеголома и снеговала, отчетена в проценти. Също така е събрана информация за типовете гори (иглолистни и широколистни), измерени са GPS точки и са направени фотографски снимки.

Обработката на подготвената база данни е свързана с цифрова обработка на спътниковите изображения за определяне на границите на горската растителност и тяхните типове, както и анализиране на индексите NDVI за определяне на понижени стойности и разкриване на повалената горска растителност. Извършени са две класификация без обучаеми множества по вече познатата схема за определяне на обхвата и типовия състав (иглолистни и широколистни) на горите и е направена оценка на точността (95%).

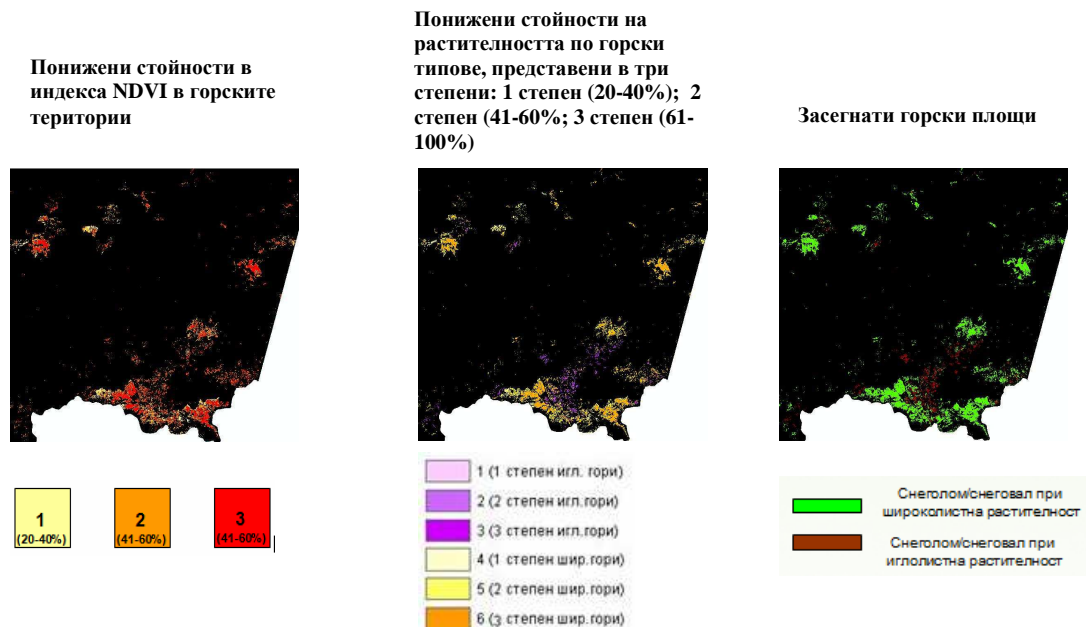
За определяне на горските територии с настъпили нарушения са пресметнати разликите между индексите на NDVI за двете изображения, които допълнително са пресечени с границите на вече определените горски територии. В новополучения слой

са отразени понижените стойности в индекса на NDVI, които кореспондират с горските територии, засегнати от снеголом и снеговал. Направената оценка на точността възлиза на 91.5%.

След определяне на обхвата на горското поражение се пристъпва към изчисляване на процентното степенуване на повалена гора. Понижените стойности в индекса NDVI са щателно проверени спрямо спътниковото изображение, което позволява тяхното процентно определяне. Получените резултати са подкрепени и сравнени с проведените теренни измервания като точността на получения резултат възлиза на повече от 90%. Степента на поражение е обобщена в три степени на поражение: 1 степен – 20-40%; 2 степен – 41-60%, 3 степен – 61-100%.

Допълнителен пространствен анализ в ГИС среда е извършен за определяне на площта на повалената гора според нейният тип (иглолистни и широколисти). За целта е използвано уравнение, в което участват информационния слой за типовете гори и слоя на понижените стойности на индекса NDVI в горските райони. В резултат са получени два нови информационни слоя: засегнатата горска площ (при иглолистна и широколистна растителност) от снеголома и снеговала и степента на поражение в тях (фиг. 9).

Фигура 9.



Получените резултати са съпоставени с информацията от ЛУП за всички засегнати горски подотдели. В ГИС среда е съставена атрибутивна таблица даваща информация за всички засегнати подотдели като към тях е привързана информация за характера на типа горска растителност и степента на поражение в нея по данни от спътниковите изображения.

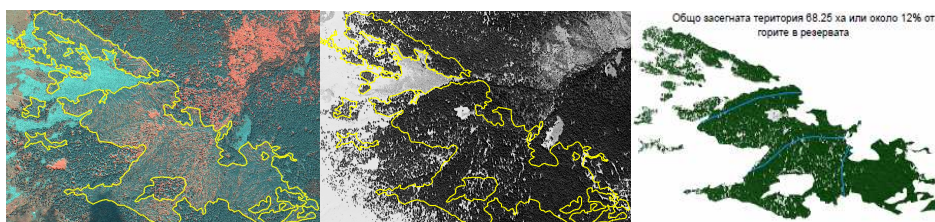
Готовите информационни слоеве служат за изготвянето на тематични карти, представящи обхвата на понижените стойности в индекса на растителна покривка NDVI предизвикани от снеголом или снеговал, степен на понижените стойности в проценти от 20 до 100% категоризирани в три степени, карта на засегнатите от снеголома/снеговала иглолистни и широколистни гори и степени на поражение в проценти от 20 до 100% в иглолистните и широколистните гори. Картите са подкрепени от статистическа информация.

Управление на нарушения в горските райони – Нападение от насекоми в горите. В това изследване е наблегнато на оценката на щети при нападение от насекоми. В избрания район на изследване появата на насекомите е обусловена от разразяването на силна буря – смерч през 2001 г., която поваля значителни територии смърчови гори. Това събитие, заедно с липсата на разчистващи дейности от страна на управляващите органи поради статута на резерват на засегнатата област, води до появата на нашествие от насекоми (нападение на корояд). Това е причина в изследването да се включи и оценката на обхвата на повалената гора. Горският пожар, разризал се през 2012 г., се оказва в центъра на засегнатата вече от смерча и корояда територия и също влиза в състава на задачите, които се разглеждат за този тестови участък.

При изграждането на базата данни за изходна дата е избрана датата на разразяване на смерча от 22 май 2001 година. Това определя необходимостта от поне две сателитни изображения преди и след проявата на смерча за определяне на неговия обхват и площта на повалената гора. Подбрани са подходящи изображения от 28 юни 2000 г. и 02 август 2001 г. от сателита Landsat 7 (30m). Като допълнителна информация за състоянието на горското покритие с висока разделителна способност (0.5 m) е набавено изображение от сателита Corona KX-9 Hexagon от 70-те години на XX век. За по-прецизно очертаване на границите на поражението от смерча служи изображение от сателита Ikonos (1 m) от 2005 година. На него все още личи много добре повалената гора. Това изображение служи също така и за оценка на развитието на нападението от корояд. Това е и изходното изображение при изследването на нападението на корояд. За проследяване на развитието на нападението и неговото въздействие върху горското покритие е избрано изображение от сателита GeoEye (0.5 m) от 2010 г., както и изображение от сателита WorldView-2 (0.5 m) от 2012г. Последното изображение служи още за анализ на оценката от разризилия се горски пожар на 03 юни 2012 г.

След преминаване на стандартните предварителни дейности по обработката на сателитните изображения се преминава към очертаване на границите на потенциално застрашените от корояд горски територии. За тази цел е направена „маска“, която изключва облачната покривка, попадаща в изображенията. Направена е софтуерна класификация на земната повърхност като са очертани горските територии и са изключени вички извън горски територии (морени, тревни площи, скали и т.н.). Към границите на „маската“ е изключена територията на повалената гора от разризилият се смерч. Разликата в класификацията на земната повърхност от двете изображения на Landsat очертава ясно повалената гора. Резултата е корогиран чрез полуавтоматични процеси на интерпретиране спрямо спътниковото изображение от сателита Ikonos. Следва пространствен анализ, спрямо данните за горското покритие от сателита Corona (1970), който определя площта на повалената гора – 68,25 ха (фиг. 10).

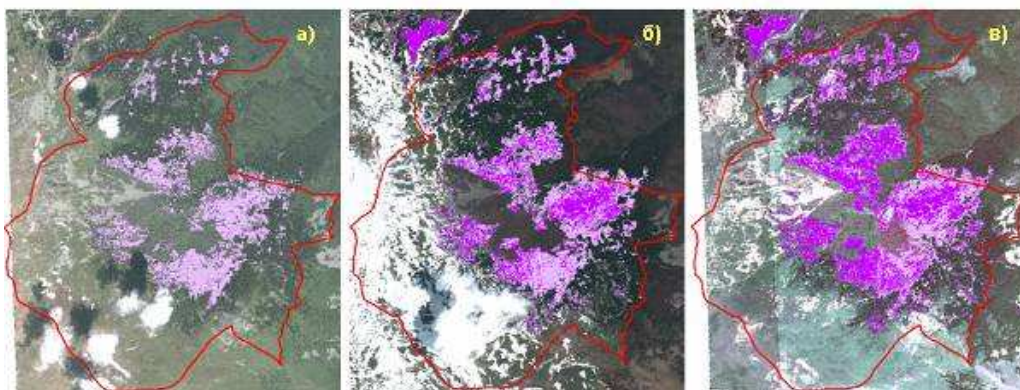
*Фигура 10. Повалена гора от смерч в БР „Бистришко бранище”
Ikonos / Corona / Повалена гора (68.25ха)*



След очертаването на границите на потенциално застрашената от нападение на корояд гора се преминава към изследване на индекса на NDVI. Индексът NDVI е

изчислен за три от спътниковите изображения (Ikonos, GeoEye, WorldView-2), на които се забелязва присъствие на съхнене и повале на дървета вследствие на корояд. Впоследствие са определени границите на териториите засегнати от корояда като горските масиви попадащи в тях са категоризирани в две степени: 1 степен – напълно унищожена, повалена гора и 2 степен – изсъхнала гора. За целта е направена връзка между стойностите от индекса и настъпилите нарушения в горите заснети върху изображенията. Установени са стойностите в индекса, отговарящи на горските територии, които са в процес на съхнене и гниене, както и горските територии с повалени дървета. Тази интерпретация е извършена в ГИС среда, където индексите са рекласифицирани в много тесни диапазони, за които е извършено сравнение спрямо съответното цифрово изображение. Получените резултати са обособени в информационни слоеве, чиято точност е оценена на повече от 90% след направените проверки (фиг. 11).

Фигура 11. Горски площи засегнати от корояд в резерват „Бистришко Бранище” въз основа на индекс NDVI. Със светло лилав цвят са отбелязани горите, които са изсъхнали, а с тъмно лилав – горите които са повалени. С червен цвят е обозначена границата на резервата, а) Ikonos, 15 юни 2005 (1m), б) GeoEye, 01 май 2010 (0.5m), WorldView-2, 12 Август 2012 (0.5m).



След наслагването на получените резултати върху спътниковите изображения ясно проличава широкият обхват на засегнатите гори около повалената гора от смерча от където тръгва епидемията. На изображението от Ikonos 2005г. лесно могат да се идентифицират в северната част отделни инкубационни огнища от дървета, които започват да разширяват обхвата на нашествието и в следващите години нарастват и обхващат значителни територии от резервата, а дори и извън него. През 2005 година все още липсват повалени дървета вследствие на загиване и общото количество на засегнатата гора възлиза на 144 ха. След 5 години общата засегната територия възлиза на 214 ха, като от тях 71 ха от горите вече са мъртви. След само още две години нашествието на корояд вече засяга 230 ха, от които 131 ха мъртва гора.

Определянето на площта на горския пожар разrazil се на 12 август 2012 г. е осъществено по-подобен начин на определянето на горския пожар в с. Гостун с участието на спътниковите изображения от WorldView-2 (заснето след горския пожар) и GeoEye (заснето преди горския пожар). Определен е обхватът на опожарена територия – 69.55 ха като от нея е засегната едва 1 ха здрава гора, а по-голямата част от гората вече е увредена в резултат на смерча и нападението от корояд.

Крайните резултати от получените информационни слоеве след обработката и анализа на БД са оформени в тематични карти, онагледяващи териториалния обхват на разпространение на трите неблагоприятни природни явления и е обобщен анализът на засегнатите горски територии. Изведена е статистическа информация оформена в таблици и картосхеми.

ГЛАВА 4: ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ИЗВОДИ

В заключение може да се обобщи, че проведената работа обхваща един важен проблем в мониторинга и управлението на горските територии у нас, а именно използването на системи за наблюдение на Земята в лицето на Дистанционните изследвания (космически и въздушни) и използването на ГИС за анализиране, моделиране и обобщаване за целите на многоцелево тематично картографиране и управление на природни и антропогенни нарушения в горите, които могат да намерят място в регионалните и национални планове за горско развитие.

Могат да се изведат следните **изводи**:

1. Проведени са изследвания по отношение на многоцелевото тематично картографиране на горските показатели, включващи обхват, типове и подтипове гори, гъстота и промяна на горските територии, базирани на данни от сателитни изображения, предоставяйки средство за обективен и независим мониторинг и източник на информация. Получените резултати дават обективна информация за моментното състояние на горската растителност над сравнително обширни територии (ниво ДГС) и могат да имат **практическа насоченост** в тяхното управление:

- Високата точност на получените резултати за обхвата на горската територия осигурява разграничаването и очертаването на горските и извън горските територии и предоставя сигурен източник на информация за правилно очертаване на горската територия и коригиране на съществуващите ЛУП.
- Високата точност на информационните слоеве за горската територия според нейния тип (иглолистни или широколистни гори) позволява прецизно очертаване, коригиране и актуализиране на информацията в горските отдели на ЛУП.
- Информацията за промяната в горската територия от автоматизираните пространствено-времеви анализи позволява ежегодно проследяване, обновяване и контролиране на настъпващите промени в горските територии. Тази информация може да се ползва като референтна база данни за навременна намеса при оценката на евентуални неблагоприятни явления.
- Информационните слоеве за гъстотата на короните на дърветата заедно с типа на горското покритие предоставят нови показатели за съставянето на индекса на листната повърхност и въглеродните модели.

2. Направените изследвания за триизмерно заснемане на горска растителност посредством БЛС и софтуер за генериране на 3-D модели предоставят:

- Алтернативен подход на LiDAR лазерни сензори за сканиране;
- Цифрови орто-фото изображения със свръх висока ПРС;
- Генериране на 3-D данни, подходящи за мониторинг на горските екосистеми и екологични изследвания и отчитане на структурата на дърветата (височинни модели и обеми);

- Ниско бюджетна преносима система за 3-D сканиране на горските екосистеми, основана на достъпен хардуер и софтуер, която може да се интегрира и използва за регионални нужди от всяко едно ДГС;

3. Проведените изследвания по отношение на природни нарушения (пожари, бури, нападения от насекоми) в горските територии и тестваните работни процеси на цифрова обработка на сателитните данни и ГИС операции предоставят възможност за изготвяне на информационни картографски продукти в подходящи срокове свързани с тяхното управление. При наличие на референтни бази данни и навременно придобити ДИ това включва:

- Изготвяне на бързи карти (до един ден след настъпване на бедствието), предоставящи референтна информация за горската територия и допълнителна информация за достъп до пътища, водни обекти, населени места и топография;
- Изготвяне на карти на обхвата на поражението (до един ден след придобиване на ДИ-изображения). Генериране на бърза информация за обхвата и мащаба на горското поражение, която да подпомогне горските служби за борба с природното бедствие;
- Детайлни карти на поражението (до две седмици след поражението), даващи информация за типа на засегнатата горска територия, степента на щетите и допълнителни пространствени анализи и статистическа информация. Извлечените информационни слоеве позволяват интеграция и актуализация на ЛУП;
- Получените информационни слоеве са в подкрепа на изискванията от МСРФЕ.

Научни и приложни приноси

1. Постигнат е резултат върху изучаването на горската растителност по отношение на съставяне на картографски продукти и бази данни в полза на многоцелевото тематично картографиране и инвентаризацията на горите (карти на горския фонд – горско покритие, горски типове и подтипове, гъстота и мониторинг на промяната в горската територия) и контролирането на състоянието на горите (дейности по опазването на горите от природни нарушения – оценка на щети при горски пожари, бури и нападения от насекоми).
2. Интегрирани са три взаимосвързани типа данни – наземни, въздушни и космически. Тествани са алгоритми и работни процеси за: придобиване на геопространствени данни (теренни измервания – работа с GPS и фото камера, въздушни измервания – работа с БЛС, набавяне на сателитни данни – работа с уеб платформи за достъп и заявки за подходящи сателитни изображения); обработка на придобитите данни (предварителна и цифрова обработка и анализ на данните за извличане на информация); съставяне на съответните информационни продукти (картографски способности и извеждане на статистическа информация и анализ). Установените алгоритми и работни процеси ще намалят технологичното време за съставянето на даден информационен продукт и могат да се прилагат за решаването на подобни задачи свързани с горската инвентаризация и контролирането на състоянието на горите.
3. Изградена е ниско бюджетна преносима система за генериране на 3-D данни, която може да се прилага не само за горско-стопански и изследователски цели, но и в много други области.

Публикации във връзка с темата на дисертационния труд

- Иванов, И. (2014) Съвременни тенденции и методи за наблюдение и управление на горската растителност. Год. СУ., ГГФ., 106, № 2, 2014
- Филипов, А., Иванов, И. Филипов, В., (2013) Дистанционни изследвания на горската растителност чрез използването на 3-D модели получени от безпилотна летателна система и софтуер за “Computer vision”. Втора Европейска SCGIS конференция „Опазване на природното и културно наследство за устойчиво развитие: ГИС-базиран подход” 24-25 септември 2013, София
- Ivanov, I., Chausheva, R., Vassilev, V., (2011), ReSAC Forest cover monitoring and forest damage assessment in the frame of GMES projects – case study from Bulgaria. EARSeL, Stresa, Italy, 2011
- Ivanov, I., Vassilev, V., Vassileva, A. (2013), Forest Downstream Service Development in the frame of EUFODOS FP7 Project in Bulgaria. International Symposium on modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields, Sofia, 2013
- Filipov, A., Kotsec, A., Ivanov, I., Gerdjeva. Antonia, G., (2013) Application of GIS and remote sensing techniques for active fire detection and mapping in smolyan district to support forest decision makers, EARSeL, University of Leicester, UK

Благодарности

Във връзка с осъществяването на дисертационият труд бих искал да изкажа благодарности на екипа на Център за приложение на спътникови изображения – РЕСАК за предоставената материална и техническа база и за многобройните работни срещи и консултации.

Благодаря на своя научен ръководител Доц. Д-р А. Филипов за оказаните насоки, корекции, конструктивна критика и цялостната подкрепа при изготвянето на работата. Също така изказвам своите благодарности на всички преподаватели от Катедра “Картография и ГИС” от СУ, както и на преподавателите от катедра „Лесоустройство“, факултет „Горско Стопанство“ в ЛТУ за тяхната методическа и практическа помощ.

Не на последно място благодаря на семейството си и на Вили за оказаната подкрепа и търпение.