ПРИЛОЖЕНИЕ НА ГИС ЗА КОМПЮТЪРНО ПОДПОМОГНАТО ДЕШИФРИРАНЕ НА ГОРСКИ НАСАЖДЕНИЯ

Мария Асенова
Лесотехнически университет, София

Резюме

В статията се изследват възможностите за определяне на таксационни показатели на горски насаждения чрез дешифриране на орторектифицирани изображения в среда на ГИС. Въведени са графични векторни и растерни данни за избрана горска територия в релационна база данни на ГИС, разширена с атрибутните данни от горскостопанския план на обекта. Направен е пространствен анализ на данните чрез средствата на ГИС за установяване на видовото разнообразие, възрастовата структура и други параметри на дървостоите в изследвания обект. Създадена е класификационна схема за дешифриране на насажденията по дървесен вид, произход, бонитет и възраст. Извършено е аналитично и измерително таксационно дешифриране на цветно орторектифицирано изображение на обекта, привързано към векторните данни на обекта, визуализирано в среда на ГИС. Диаметрите на короните, разстоянията между тях, склопеността и гъстотата на насажденията са непосредствено измерени чрез инструментите на софтуера за ГИС върху цифровото изображение. Като краен резултат е разработен дешифровъчен определител с комплект потребителски еталони за дешифриране на насажденията по състав, дървесен вид, произход и възрастова група. Предложеният метод показва потребителската значимост на ГИС за горското дешифриране и увеличава потенциала за подобряване на горската инвентаризация.

Ключови думи: ГИС, горско дешифриране, дешифровъчен определител, таксационни показатели.

Key words: Key words: GIS, forest interpretation, interpretation key guide, taxation indicators.

JEL: C88; L73; L86; Q23.

Увод

В последните години при инвентаризацията на горите у нас масово се използват цветни орторектифицирани изображения, приведени в проекцията и мащаба на горскостопанската карта. Технологиите за управление на пространствени данни също широко навлизат в практиката и допринасят за обосновка на управленските решения в горския сектор. Необходимо е да се проучат възможностите и практическото приложение на географските информационни системи (ГИС) за компютърно дешифриране на орторектифицирани изображения за целите на горското стопанство

1. Дешифриране на горски насаждения по въздушни фотоснимки

Принципите на лесотаксационното дешифриране на въздушни нетрансформирани фотоснимки са в основата на дешифрирането на ортофотоснимките. За целта се използват дефинираните във фотограметрията демаскиращи и дешифровъчни показатели за дешифриране на горските насаждения. Външните (демаскиращите) признаци характеризират структурата на склопа на насажденията в конкретните условия на месторастене. Дешифровъчните признаци на насажденията характеризират пряко формата на короните (хоризонтална и вертикална проекция), размерите, цветът и сянката на дървесните корони, разположението им в границите на дадена площ, текстурата и общата картина на изображението. Към косвените признаци на насажденията се отнасят различни закономерности и взаимни връзки между характеристиките на насажденията и елементите на ландшафта като релеф, почва, хидрография и др. (Желязков, Тепелиев, 1992).

Дешифрирането по еталони е метод, който често се използва за разпознаване на различните дървесни видове върху въздушни фотоснимки, ортофотоснимки или върху аналогичните им цифрови изображения за целите на тематичното картографиране на горите. Еднородните насаждения се дешифрират чрез сравняването им с еталонно насаждение и установяването на съответната прилика между еталона и дешифрирания участък. Интерпретационния ключ за класифициране на горите на дадена територия по дървесни видове чрез въздушни фотоснимки трябва да съдържа комплект от еталони. Всеки еталон съдържа част от фотоснимката с означен прозорец за еталонно насаждение, което ще вижда и сравнява интерпретаторът; перспективни фотоилюстрации от терена, разкриващи основните морфологични характеристики на насаждението; словесно описание на дешифровъчните му признаци и данни за дървесния вид, произход, възраст и други показатели.

В процеса на дешифриране последователно се разкриват различни характеристики на насажденията като състав, дървесен вид, възраст, пълнота, бонитетен клас и възрастова група. Чистите насаждения се откриват и разпознават почти безпогрешно за разлика от смесените. Младите, средновъзрастните и дозряващите насаждения от даден дървесен вид се дешифрират и оконтуряват по-трудно от зрелите и

презрели насаждения от същия вид. При смесени и сложни по строеж насаждения дешифрирането по дървесен вид и възрастова група е значително по-затруднено.

Въз основа на дешифрирането на въздушни фотоснимки, ортофотоснимки и на техните цифрови изображения в среда на ГИС могат да се картират границите на насажденията и да се определят стойности на някои от таксационните им показатели.

2. Компютърно подпомогнато дешифриране на горски насаждения чрез ГИС

ГИС е средство за съвместяване и обработка на данни за горите с различен произход, вид, точност и формат. В тази работна среда се съчетават пространственото местоположение на обектите и описателната (атрибутната) информация за тях. За изграждане на графичната част от базата данни (БД) на ГИС е необходимо въвеждане на съществуващите векторни и растерни данни; създаване на нови векторни модели по данни от теренни геодезически измервания; преобразуване на растерните данни във векторни или обратното.

Наличието на разнородни данни за горите налага преобразуването на векторните, растерните и атрибурните данни в подходящи формати за работа със софтуера за ГИС. Чрез модулите на ГИС се извършва привързването на специализираната информация за горскостопанските обекти на различни нива (подотдел, отдел, горско стопанство) и геореферирането на всички данни в единна проекция и координатна система.

Компютърно подпомогнатото дешифриране изисква организация на данните за работа в среда на ГИС в няколко етапа – проектиране и създаване на БД на ГИС на изследвания обект; конвертиране и трансформиране на наличните графични данни и геокодиране на атрибутните данни към тях; съвместяване и обработка на слоеве за горски, земеделски и други територии в обекта; въвеждане на модела на действащия горскостопански план (ГСП) и границите на защитени зони по НАТУРА 2000; създаване на структура от тематични слоеве за потребителски заявки и приложения; надграждане на графичния интерфейс за решаване на специфични задачи и получаване на крайни продукти.

Подотделите са първичните площни обекти във графичната част на БД на ГИС. Резултатите от инвентаризацията на насажденията и планираните мероприятия се записват в определена таблична форма (таксационно описание), което е основа за създаване на атрибутната част от БД, която е геокодирана към векторните данни. Важно е да се осигури ключово поле в таблицата за подотделите, което да служи за връзка с други външни таблици.

При дешифрирането на горски територии в среда на ГИС съществува предимството, че растерните данни (цифровите изображения) могат да бъдат трансформирани в проекцията и координатната система на векторните данни (цифрова горскостопанска карта, топографска или кадастрална карта). Така векторните и растерните данни могат да бъдат привързани, визуализирани и анализирани съвместно и да дават многократно по-добри възможности за интерпретиране на изображенията на горските насаждения.

Наличието на геокодирани атрибутни данни дава друга ценна възможност от гледна точка на потребителя. Чрез извършване на пространствен анализ и компютърно подпомогнато горско дешифриране в среда на ГИС данните за насажденията могат да бъдат допълвани, коригирани и актуализирани.

Едно от най-съществените предимства на ГИС технологиите е възможността за съвместяване на разнородните данни за горските територии и тяхното целенасочено използване за определен тип дейност. В настоящата разработка тази специална дейност е таксационното дешифриране на дървостоите чрез цифрови орторектифицирани изображения. Тук е предложено ново решение на конвенционалната фотограметрична технология за таксационно дешифриране на въздушни фотоснимки.

3. Приложение на ГИС при картиране и инвентаризация на горските територии

Лесотаксационното дешифриране е извършено в среда на ГИС чрез визуализация, анализ и директни измервания на цифрово цветно орторектифицирано изображение на насажденията от изследвания обект посредством инструментите и модулите на избран софтуер за ГИС. Чрез контурно дешифриране са определени границите на горските насаждения, а чрез таксационното дешифриране – някои техни таксационни показатели.

В разработката е използвана е комбинация от визуално дешифриране на орторектифицирани изображения и дешифриране по еталони, съчетани с лабораторна и теренна проверка. Компютърно подпомогнатото дешифриране и картиране на дървесните видове е проведено в следния ред:

- откриване на различните типове обекти (горска територия);
- разпознаване на отделен обект (насаждение);
- анализ, синтез, идентификация на основни характеристики на обекта (състав, тип гора, вид на подотдела и др.);
- класификация на насажденията (с използване на преките и косвените признаци, еталоните за разпознаване на дървесния вид, произхода, възрастовата група и други показатели);
- идеализация (дешифриране на граници);

- векторизация (дигитализация на границите насажденията по цифровото изображение, визуализирано в среда на ГИС).

3.1. Определяне на състав, дървесен вид, произход, възраст и възрастова група

При детайлното визуално дешифриране на орторектифицираното изображение на горските насаждения се използва принципът на няколкократно увеличение на мащаба на оригинала. В процеса на дешифриране са използвани различни модули на ГИС – инструменти за визуализация на растерни и векторни данни; за промяна на мащаба на визуализацията; модул за работа с растерни данни (подобряване на изображенията и регистрация на изображенията); инструменти за пространствен анализ. За подбора на площи за дешифриране и на еталонни насаждения е направен анализ на съществуващите за обекта атрибутни данни. Създадена е класификационна схема на дешифрираните насаждения по дървесен вид, произход, възраст, бонитетен клас, възрастова група. За проверка на работата е извършен лабораторен и теренен контрол. Оценката на точността е осигурена чрез измервания в избрани на случаен принцип контролни пунктове.

3.2. Картиране на границите на горски насаждения чрез средствата на ГИС

За осъществяване на процеса на картиране и измерително дешифриране е необходимо цифровото ортоизображение да бъде трансформирано към избрана проекция и координатна система. В общия случай това е проекцията и координатната система на избраната базова карта на обекта (цифровата горскостопанска карта в М 1:10 000). Софтуерът за ГИС съдържа специален модул за привързване (регистрация) на цифровото изображение въз основа на известни опорни геодезически точки. Осигурена е оценка на точността на регистрацията на изображението (в пиксели), както и оценка на точността по положение (в метри). Това гарантира точността на картирането и измерванията в среда на ГИС на цифровото орторектифицирано изображение.

Според технологията на компютърно подпомогнатото дешифриране първоначално се дешифрират еднородни части от горските масиви, определя се състава и дървесния вид, след което се пристъпва към картиране на границите на подотделите. Процесът на векторизация на растерното изображение в среда на ГИС се извършва от интерпретатора чрез директна дигитализация от екрана. Създават се векторни данни с граници на насажденията в координатната система на базовата карта във вид на полилинии. Около 70% от границите могат да се дешифрират и картират в среда на ГИС, а останалите се допълват чрез теренно обхождане и GPS измервания.

3.3. Пряко определяне на таксационни показатели в среда на ГИС

Едно от предимствата на орторектифицираните изображения е, че те дават възможност за пряко измерване на размера на обектите. Те са приведени в координатна система и ортогонална проекция, тъй като са отстранени линейните измествания заради релефа, наклона на снимките и други параметри. Измерването на избраните таксационни характеристики в среда на ГИС се извършва непосредствено върху изображението. За прякото определяне на таксационни показатели като диаметър на проекциите на короните (D_k), разстояния между дърветата (l), хоризонтална склопеност (P) и гъстота на дървостоя (N) е избран измерителният метод на случайни пробни площадки. В основата на метода стои измерителното таксационно дешифриране и използването на графични приспособления (измерителни линии, шаблони, палетки) при конвенционалното дешифриране на въздушни фотоснимки.

Определянето на таксационните показатели на насажденията в среда на ГИС става чрез съществуващи модули и инструменти в софтуера; чрез създаване на специални цифрови палетки и помощни графични обекти или чрез надграждане на графичния потребителски интерфейс.

Общо за всички пряко определени таксационни показатели важи правилото, че са направени многократни измервания в представителни части от насажденията (по дървесни видове от състава). Крайният резултат се получава като средноаритметична стойност от измерванията в териториалната единица.

Определянето на средния диаметър на стъблото на гръдна височина ($d_{1,3}$) и запаса (V) на насажденията може да бъде извършено непряко, на базата на измерените таксационни показатели и изведени в научните изследвания корелационни зависимости. При избора на всяка конкретна формула за съответно насаждение трябва да се съблюдават таксационните характеристики дървесен вид, възраст, бонитет, пълнота. Корелационните зависимости между таксационните и пряко дешифрираните показатели се групират според броя и степента на аргументите – за диаметъра $d_{1,3}$=f (D_k), $d_{1,3}$=f (h) и $d_{1,3}$=f (h, D_k) и за запаса V=f (h), V=f (h, $d_{1,3}$), V= f (h, $d_{1,3}$, l), V=f (h, P) и V=f (h, P, l) (Асенова, Велинова, 2006). Част от формулите за определяне на $d_{1,3}$ и V по данни от дешифрирането тук не могат да бъдат приложени поради липса на данни за средната височина на дървостоя (h). Този таксационен показател не може да бъде пряко определен върху орторектифицираното изображение. За извеждане на надеждни корелационни зависимости между таксационните показатели за различните

дървесни видове в даден обект и осигуряване на точността следва да бъдат таксирани достатъчно на брой пробни площи и на терена.

4. Експериментиране

За целите на изследването са осигурени цветни орторектифицирани изображения от 2006 г. и 2011 г. на УОГС „Г. Аврамов“, Юндола. Те са с много добра разделителна способност (0.5 m) и са подходящи за компютърно подпомогнато дешифриране, тъй като обхващат насаждения с разнообразен състав, произход и възраст.

Създадена е БД на ГИС с векторни и растерни данни за избраната горска територия. Атрибутните данни са разширени с таксационните данни от ГСП от 2008 г. За базова карта е избран цифровият модел на действащия ГСП на стопанството. Цветното орторектифицирано изображение обхваща трите землища от територията на УОГС „Г. Аврамов“ и е комбинация от няколко квадратни сцени. Използваното в разработката изображение е заснето и обработено през 2006 г. (1 година преди теренните работи по съставяне на ГСП). Това е една от основните причини то да бъде предпочетено при анализа и дешифрирането на насажденията, а второто е използвано за разновременен анализ и контрол.

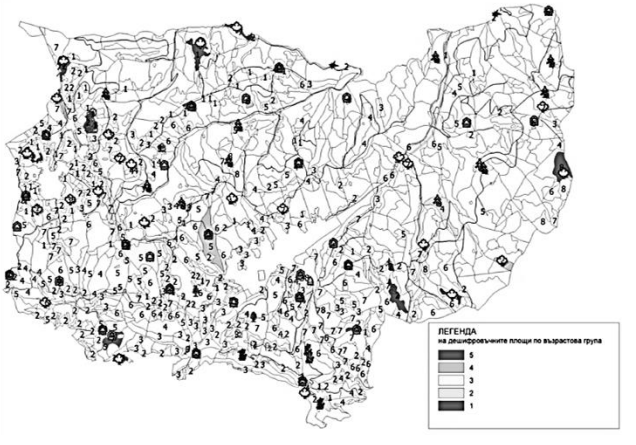
В базовата горска карта е избрано работно поле с формата на правоъгълник с размери 6.5x10 km, обхващащо територията на стопанството. В него са зададени необходимите за привързване на растерното изображение опорни ситуационни точки по метода за директната трансформация. Общо за обекта са използвани 37 опорни точки (по периферията и една в средата) и 45 контролни точки (фиг. 1). Получена е средната квадратна грешка по положение в контролните точки, която е в допустимите граници за ортофотоплановете съгласно съществуващата нормативна уредба.

Фиг. 1. Разположение на ситуационни опорни и контролни точки

Направен е пространствен анализ на данните от ГСП чрез средствата на ГИС за установяване на видовото разнообразие, възрастовата структура и други параметри на дървостоите в избрания обект. В резултат на анализа е установено, че най–разпространените дървесни видове за чистите насаждения от иглолистните са бял бор, смърч, ела, бяла мура, зелена дугласка, алпийски кедров бор, лиственица, а от широколистните – бук, зимен дъб, планинска елша, бреза, със семенен естествен, изкуствен или издънков произход (фиг. 2). За всеки дървесен вид и произход е определен турнусът на сечта, класът на възраст и възрастова група (Наредба №18, 2015). В случая са спазени турнусите, предвидени в ГСП на УОГС „Г. Аврамов“ (ЛУП, 2008).

В таблицата с данни за чистите насаждения е въведено ново поле с кодове за класовете на възраст. Това става чрез заявки към БД за всеки съответен клас и попълване на полето с възприети кодове от 1 до 8. Установеният турнус за всеки дървесен вид, произход и бонитет е използван за определяне на възрастовите групи. Създадено е ново поле за възрастовата група, където чрез съответни заявки са попълнени стойности с кодове от 1 до 5 (за млади, средновъзрастни, дозряващи, зрели и презрели).

В резултат на анализа на данните за чистите насаждения в обекта са подбрани дешифровъчни площи. Те са групирани по дървесен вид, произход, възраст (клас на възраст), бонитет и възрастова група, За всяка обособена група броят на дешифровъчните площи е 10% от общия брой насажения в големите групи или включва всички насаждения от по-малките групи. Резултатите от избора на дешифровъчни площи са представени на фиг. 2.

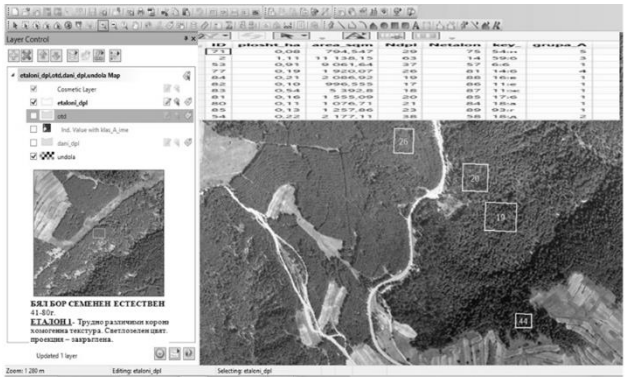


Фиг. 2. Разпределение на дешифровъчните площи по възрастови групи

За уточняване на актуалното състояние на площите, подлежащи на дешифриране, е извършена теренна и документална проверка в управлението на стопанството за периода 2008–2015 г. Част от избраните насаждения отпадат поради настъпили промени и нарушения в структурата от антропогенен и естествен произход – проведена сеч, повреди от ветровали и снеговали. В процеса на визуализация, опознаване и анализ на дешифровъчните площи допълни-

телно са подбрани смесени насаждения със специфична текстура и структура на изображението, които представляват интерес при дешифрирането. В изследвания обект преобладават елово-смърчови и елово-буково-смърчови съобщества и смесени съобщества с участие на бял бор, смърч, обикновена ела и обикновен бук.

Създадена е класификационна схема на чистите насаждения по дървесен вид, произход, бонитет, клас на възраст и възрастова група. При избора на 74 дешифровъчни площи и 99 еталонни насаждения, визуализирани в среда на ГИС, допълнително са взети под внимание изложението, надморската височина и други фактори. При подбора и дешифрирането на насажденията са използвани преките и косвени дешифровъчни признаци [3]. Уточнени са дешифровъчните показатели на основните дървесни видове в изследвания обект, предназначени за създаването на еталони за чисти насаждения от бял бор, смърч, ела, бук, бяла мура, зелена дугласка, лиственица, съобразно произхода и възрастовата им група. Като подходящи за дешифриране са счетени насаждения с добри визуални качества върху орторектифицираното изображение, с добра конфигурация на границите и достатъчно голяма площ на подотдела. Еталоните са подредени и номерирани, съгласно предварително изработената класификационна схема.



Фиг. 3. Създаване на еталони

Като краен резултат от разработката е получен дешифровъчен определител за територията на УОГС „Г. Аврамов“, който включва комплект от 99 потребителски еталони за дешифриране на насажденията по състав, дървесен вид, произход и възрастова група.

След съставяне на еталоните е направена лабораторна проверка на дешифрирането. С помощта на дешифровъчния определител е извършено еталонно дешифриране в среда на ГИС на 30 контролни площи, равномерно разположени в цялата територия на обекта.

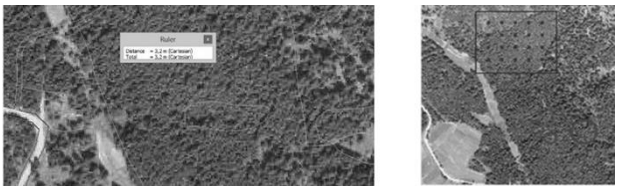
За измерване на диаметрите на короните и разстоянията между дърветата е използван инструментът на ГИС за определяне на разстояния (*Ruler*). Така диаметърът на всяка избрана корона е определен в метри с точност до дециметрите директно в две перпендикулярни направления (И-З и С-Ю) при оптимален мащаб на визуализация 1:2 000.

№	Състав	Дървесен вид	Възрастова група	Години	Заб.	Резултат за ДВ	Резултат за възраст	Общ резултат
1	смесено	бб	81-100 г.		бб 6 см 2 ела 1	да	да	да
2	смесено	ела	> 120 г.		ела 6 см 3 бк 1	да	да	да
23	смесено	см	101-120	110	см 8 ела 2	да	да	да
24	смесено	бб	101-120 г.	110	бб 7 см 3	да	да	да
25	чисто	ела	101-120 г.	100	бб 8 см 2	да	да	да
26	чисто	бб	81-100 г.	90	бб 9 см 1	да	да	да
27	чисто	см	>120 г.	130	см 8 ела 2	да	не	не
28	чисто	бб	101-120 г.	120	бб 9 бк 1	да	да	да
29	чисто	бб	81-100 г.	100	бб 10	да	да	да
30	чисто	бб	101-120	140	бб 9 см 1	да	не	не

Фиг. 4. Оценка на точността на дешифрирането

При измерване на разстоянията между дърветата е използван линейният метод, който е осъществен чрез построяване на помощни графични обекти (линии) и мерене с инструмента *Ruler* (фиг. 5). За определяне на хоризонталната склопеност на насажденията е приложен методът на цифровите точкови палетки (с 20 и 10 точки). Те са разработени в среда на ГИС по няколко начина – като графичен обект (мрежа от регулярни точки), създаден от потребителя; като условен знак, който е разработен и е допълнен в библиотеката с условни знаци на софтуера за ГИС; като специален модул, който разширява графичния интерфейс на софтуера за ГИС с нов инструмент (цифрова палетка). Аналогично при определяне на гъстотата (в абсолютни или относителни единици) са използвани цифрови кръгови палетки, разработени чрез средствата на ГИС като графични обекти, като условен знак или модул за палетка. При проектирането на цифровата палетка са предвидени малки по площ кръгове (1/10 и 1/20 ha), които ще обхващат при броенето по-малък брой дървета, което силно улеснява измерванията (фиг. 5).

При непосредственото измерване на таксационни показатели една част от грешките се дължат на остатъчните грешки при обработката на изображенията. Отклоненията в диаметрите на короните са в посока на увеличение, поради измерване на повече припокрити корони като една. Занижаване на диаметрите се получава в случаи на лошо очертани граници на короната, когато част от короната е закрита от по-висока корона или е в сянка. При определяне на гъстотата грешките са най-често към завишаване в следствие на грешно отчитане на едроразмерен подраст.



Фиг. 5. Измерване на таксационни показатели

4. Изводи и препоръки

Приложеният компютърен метод за дешифриране в среда на ГИС на цифрови цветни орторектифицирани изображения осигурява бързо, точно и евтино данни за границите на насажденията и някои техни таксационни характеристики в сравнение с традиционното инструменталновизуалното дешифриране на фотоснимки.

Дешифрирането на границите на подотдели в среда на ГИС осигурява възможност за дигитализацията им от екрана и подпомагане на процеса на създаване на цифровия модел на ГСП. Получената точност по положение е съизмерима с точността, изисквана за целите на инвентаризацията и планирането в горски територии.

Създаденият дешифровъчен определител за територията на УОГС „Г. Аврамов“ със специализирани систематични еталони позволява надеждно да бъдат разпознати чисти насаждения от 7 дървесни вида с 3 типа произход в 5 възрастови групи. Той съдържа еталони и за характерни за обекта смесени типове насаждения, с което обхваща почти цялото видово разнообразие в изследваното горско стопанство.

Дешифрирането на горски насаждения в среда на ГИС по цифрови орторектифицирани изображения е целесъобразно да се прилага при кратки срокове, големи по площ горски стопанства и труднодостъпни терени.

Предложеният компютърен метод за дешифриране на дървостоите доказава високата потребителска значимост на ГИС при използване на орторектифицирани изображения за тематично картиране и горска инвентаризация.

Литература

1. Асенова, М., М. Велинова. (2006). *Използване на корелационни зависимости при определяне на основни таксационни показатели по данни от теренни и фотограметрични измервания*. Сп. „Лесовъдска мисъл”, No 1-2/2006, стр. 28–42 (in Bulgarian).
2. Желязков, Й., Ю. Тепелиев. (1992). *Фотограметрия и дистанционни методи*. Мартилен, София, стр. 170–178; стр. 188–215 (in Bulgarian).
3. Самойлович, Г. (1964). *Применение аэрофотосьемки и авиации в лесном хозяйстве*. Лесная промишленость, Москва, 1964, стр. 190–203 (in Russian).
4. *Наредба № 18 за инвентаризация и планиране в горските територии*. Обн. ДВ бр.82/2015 (in Bulgarian).
5. *Лесоустройствен проект на УОГС „Г. Аврамов“, Том 1, Обяснителна записка*. 2008, София (in Bulgarian).
6. Watts, S., L. Tolland. (2013). *Forestry Handbook for British Columbia – Fifth Edition*. PDF Part 2 http://www.forestry.ubc.ca/files/2012/06/Forestry-Handbook-BC-2013-Part-2.pdf (in English).

GIS APPLICATION FOR COMPUTER-ASSISTED INTERPRETATION OF FOREST STANDS

Maria Asenova
University of Forestry, Sofia, Bulgaria

Abstract

The article explores the possibilities for determining taxation indicators of forest stands by interpreting digital orthoimages (orthorectified aerial photographs) in a GIS environment. A graphical vector and raster data for selected forest territory were collected in a relational GIS database, supplemented by an attribute data of the FMP (forest management plan). The attribute data was analyzed by GIS software tools for establishing species diversity, age structure and other parameters of forest stands in the study area. Forests stands were grouped via a new classification scheme by tree species, origin, site class, and age. Measuring and analytical forest interpretation was based on digital color orthoimage of the forest territory. The image was attached to vector data of the study area and was displayed in the GIS environment. The crown diameters, the distances between the trees, canopy, and tree density was directly measured by GIS software tools. The final result is the development of an interpretation key guide with a set of specialized interpretation samples, organized by tree species, origin and age group. The proposed method of computer-assisted interpretation of forest stands in GIS environmental offers potential to improve forest inventory.