

Aspecte privind senzorii satelitari optici folosiți în silvicultură și studiul pădurii

Aspects of optical sensors satellitare used in forestry and forest research

Iosif Vorovencii

Universitatea Transilvania din Brașov
Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere
Strada Beethoven nr. 1, Brașov, Romania
E-mail: iosif.vorovencii@unitbv.ro

Rezumat: Teledetecția satelitară este o tehnică relativ nouă ce permite, prin mijloacele sale, achiziționarea de imagini satelitare pe suprafețe mari de teren. Realizările acesteia sunt evidente atât în planul senzorilor amplasați pe platformele satelitare cât și în ceea ce privește metodele folosite la prelucrarea înregistrărilor în vederea obținerii produselor finale. Printre sectoarele în care datele de teledetecție au aplicabilitate imediată se numără și cel forestier. Faptul că imaginile satelitare preluate au diferite caracteristici tehnice, printre care cea mai importantă fiind rezoluția spațială, determină ca realizările teledetecției satelitare în acest sector să fie diferențiate la nivel de studiu și analiză generală a pădurii, dar și la nivel de arboret. În acest articol sunt prezentate aspecte privind principalii senzori satelitari curenți aflați pe orbite care achiziționează imagini satelitare ce pot fi utilizate și în sectorul forestier.

Cuvinte cheie: teledetecție satelitară, silvicultură

Abstract: Satellite remote sensing is a relatively new technique that allows, by own means, the acquisition of satellite images on large areas. Accomplishments are evident both in terms of sensors placed on satellite platforms and the processing methods used to obtain the final products. Among the sectors which have immediate application of remote sensing data is included and the forestry. The fact that satellite images acquired with different technical characteristics, among which the most important being the spatial resolution, satellite remote sensing makes the achievements in this sector to be differentiated from the general study and analysis of the forest to the stand level. This article presents the main aspects of current satellite sensors which acquire satellite images that can be used in forestry.

Key words: remote sensing satellite, forestry

1. Introducere

Teledetecția satelitară constituie unica tehnică de evaluare și monitorizare pe suprafețe întinse a fondului forestier și a multor activități ce se desfășoară în acest sector. Tehnologiile de teledetecție permit preluarea de imagini digitale multiscări și multirezoluții, pixelul având diferite mărimi în funcție de tipul senzorului,

dimensiunile acestuia fiind de ordinul kilometrilor și până la cel al zecilor de centimetri. Faptul că datele de teledetecție sunt achiziționate în mod repetat (zilnic, la câteva zile, lunar) ajută la monitorizarea resurselor forestiere în mod regulat. Aceste înregistrări pot fi folosite chiar în timp real fiind foarte utile pentru monitorizarea diferitelor aspecte și evenimente din fondul forestier cum ar fi incendiile de pădure. Nu trebuie scăpat din vedere că datele satelitare au o acoperire sinoptică iar informația poate fi achiziționată din zone cu accesibilitate scăzută sau inaccesibile omului. De asemenea, teledetecția folosește lungimi de undă care nu pot fi înregistrate de ochiul omenesc. Fără a înlocui ridicările terestre, clasice, datele de teledetecție aduc informație suplimentară care ajută în mare măsură la gospodărirea durabilă a pădurilor.

Realizările teledetecției satelitare sunt reliefate prin studiile efectuate la diferite niveluri (globale, zonale, locale) pentru evaluarea resurselor pădurii, analizele bazându-se pe semnaturile spectrale sau pe simplii indici calculați folosind reflectanța spectrală. În general, dat fiind specificul tehnologiilor de teledetecție, realizările acestea în domeniul silviculturii pot fi privite din punctul de vedere al *descrierii și analizei pădurii și arboretelor*, cel al *determinării parametrilor biofizici* ai pădurii și cel al *întocmirii de produse cartografice* altele decât cele tematice.

Din prima categorie fac parte aplicațiile calitative care au ca produs final obținerea de hărți tematice și cele cantitative privind determinările asupra arboretelor. Astfel, aplicațiile calitative constau în carografierea tipurilor de păduri, identificarea individuală a speciilor, detectarea incendiilor de pădure, cartografierea riscului la incendiile de pădure, stabilirea stării de sănătate a pădurilor (vigoarea, stresul hidric, atacurile de insecte, poluarea aerului, apei și solului pădurii), evaluarea pagubelor produse de doborâturile de vânt și de alți factori climatici extremi, monitorizarea activităților de exploatare, reîmpădurire și despădurire, managementul ariilor protejate, proiectarea drumurilor forestiere, evaluarea eroziunii solului, evaluarea și conducerea pădurilor de recreere, evaluarea și conducerea habitatului sălbatic etc. Aplicațiile cantitative sunt cele care privesc determinarea suprafeței fondului forestier, estimarea procentului de acoperire a solului de coronamentul arboretului, estimarea înălțimii arboretelor, a diametrului de bază, a vârstei, a suprafeței de bază și a volumului.

Din cea de-a doua categorie fac parte determinarea indicelui suprafeței foliare LAI (Leaf Area Index), productivitatea netă primară NPP (net primary productivity) și biomasa. În ceea ce privește întocmirea de produse cartografice, realizările teledetecției satelitare sunt materializate în obținerea de hărți la diferite scări, în funcție de tipul imaginilor satelitare folosite, și obținerea modelului digital al terenului pe baza imaginilor satelitare stereoscopice.

2. Cartografierea covorului vegetal folosind imagini satelitare

Teledetecția oferă mijloacele practice și economice pentru studierea covorului vegetal și a schimbărilor care au loc, în special pe suprafețe întinse (Langley et al., 2001, Nordberg și Everston, 2003). Datorită potențialului ridicat pentru realizarea de observații sistematice la diferite scări, tehnologiile de teledetecție asigură posibilitatea creării arhivelor de date din momentul lansării sateliților și până în prezent. Din acest

motiv cercetătorii și specialiștii practicieni au făcut eforturi considerabile pentru a contura covorul vegetal la niveluri diferite (local, zonal, global) prin intermediul imaginilor de teledetecție.

Pe plan internațional, programul Geosfera-Biosfera (Geosphere-Biosphere Program) inițiat la nivel mondial în anul 1992, a fost primul în cartografierea globală a covorului vegetal (Global Land Cover Characterization - GLCC Database) care s-a bazat pe date NOAA - AVHRR cu rezoluția spațială de 1 km. În anul 1999, Institutul Comun de Cercetări (Joint Research Institute) din Italia în colaborare cu peste 30 de echipe de cercetători din întreaga lume au implementat un proiect similar numit Acoperirea Globală a Terenului GLC2000 (Global Land Cover 2000) în vederea cartografierii globale a acoperirii terenului și realizarea unei baze de date VEGA2000 folosind date preluate de senzorul Spot 4-Vegetation cu rezoluția spațială de 1 km. Doi ani mai târziu, NASA a realizat o bază de date privind acoperirea terenului folosind imagini MODIS preluate în fiecare lună cu satelitul Terra MODIS, în intervalul ianuarie – decembrie 2001, date cu nivelurile de prelucrare 2 și 3. În anul 1996 s-a realizat proiectul pan-european de monitorizare a acoperirii terenului (Pan-European Land Cover Monitoring) care a avut ca obiectiv realizarea unei baze de date folosind imagini cu rezoluția spațială de 1 km NOAA-AVHRR, bază care a acoperit întregul continent european și a datelor vechi (Rounsevell et al., 2006). Pe lângă aceste baze de date realizate la scară globală și continentală s-au depus eforturi pentru extinderea acestora și la nivel regional sau național. Un exemplu îl constituie programul de cartografiere a vegetației USGS-NPS Vegetation Mapping realizat de U.S. Geological Survey și National Park Service început în anul 1994. Acesta a avut ca scop obținerea hărților detaliate ale vegetației realizate în format digital pentru 250 de parcuri naționale din Statele Unite ale Americii.

Monitorizarea stării de sănătate a pădurilor la nivel european a fost realizată prin programul UN-ECE/ICP-Forests începând din anul 1986 cu evaluarea anuală a sănătății pentru 320000 de arbori (Anon, 2002a).

Programul CLC (Corine Land Cover) al comunității europene, a avut ca obiectiv furnizarea de informații uniforme și comparabile referitoare la covorul vegetal din cadrul suprafețelor din țările membre pentru aplicații referitoare la mediul înconjurător. Achiziția datelor s-a făcut la scara 1 : 100000 bazată pe evaluarea imaginilor satelitare Landsat 5 TM, diferențiind 44 de clase ale covorului vegetal. Unitatea minimă de cartare a fost 25 ha iar pentru detaliile liniare lățimea minimă luată în considerare a fost 100 m.

În primul inventar CLC desfășurat între anii 1985-1995 în cadrul țărilor din Uniunea Europeană și a celor ce beneficiază de programul Phare, interpretarea vizuală a fost făcută pe baza imaginilor satelitare. Începând cu anul 2000 seturile de date Corine sunt aduse la zi. Operația se realizează direct, prin digitizarea pe ecran a imaginilor, ceea ce sporește substanțial acuratețea și reduce costurile. Diferențele între cele două clasificări sunt evidente în ceea ce privește durata înregistrărilor, rezoluția spațială a imaginilor, precizia geometrică, costul etc. Sursa principală pentru introducerea datelor în vederea actualizării bazei de date o constituie mozaicul realizat la nivel european din imagini satelitare ortorectificate (Landsat 7 ETM+) date 2000 (IMAGE 2000) cu o abatere maximă permisă de 1 an (1999 – 2001). Operațiunea, denumită „Snapshot of Europe for

year 2000” a permis ca pe baza acestor date să se întocmească o nouă hartă a covorului vegetal (CLC 2000) finalizată la sfârșitul anului 2003.

În țara noastră realizările pe acest plan sunt destul de modeste, preocuparea mai mare având-o Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice din București care a întocmit o hartă a ecosistemelor forestiere din România folosind imagini satelitare de rezoluție spațială medie.

3. Senzorii optici folosiți în silvicultură și studiul pădurii

Senzorii satelitari folosiți la realizarea de înregistrări au avut o evoluție spectaculoasă, în special, în ultimul deceniu când au fost lansați sateliții dotați cu senzori care achiziționează imagini cu rezoluții spațiale metrice și submetrice (fig. 1). Realizările teledetecției satelitare sunt strâns legate de cele ale senzorilor satelitari care au rolul principal în preluarea înregistrărilor. Așadar, realizările teledetecției satelitare, prin senzorii satelitari lansați, sunt benefice pentru toate sectoarele economiei naționale care gestionează resurse naturale printre care și sectorul forestier. Acestea sunt cu atât mai valoroase cu cât unele tehnici de teledetecție permit preluarea de înregistrări în modul stereoscopic. În acest sens, analizele pot fi realizate atât pe imagini satelitare singulare cât și pe imagini stereoscopice în cazul senzorilor satelitari care au această capacitate (ASTER, Spot, Ikonos-2).

Imaginile preluate cu sateliți optici pot fi înregistrate în modul pancromatic (bandă spectrală largă cu rezoluție spațială ridicată) și în modul multispectral (câteva benzi spectrale cu lățime mică și cu rezoluție spațială scăzută). Deoarece, din motive tehnice este dificil să se realizeze senzori foarte sensibili cu benzi spectrale înguste, senzorii cu rezoluție spațială fină (sub un metru) operează în domeniul vizibil, în modul pancromatic lărgit (aproximativ 400 nm). Aceste imagini permit evidențierea limitelor dintre tipurile de pădure, a celor dintre arborete, a tăierilor rase, a drumurilor de exploatare, textura coronamentului etc. Modul multispectral este mult mai adaptat pentru caracterizarea vegetației și permite determinarea densității coronamentului, urmărirea activității fotosintezei, a stresului hidric, a incendiilor de pădure etc. Lățimea benzilor senzorilor satelitari este în general în jurul a 100 nm dar o parte din senzorii cu rezoluție spațială mică cum ar fi MODIS (500 și 1000 m) prezintă benzi înguste (10 la 30 nm) mult mai adaptate pentru evidențierea unor trăsături biofizice. Așadar, benzile spectrale din vizibil, infraroșu apropiat și infraroșu scurt sunt folosite pentru monitorizarea vegetației. Domeniul infraroșului termal este folosit pentru studierea fluxurilor apei dintre vegetație și atmosferă, estimarea evaporației coronamentului vegetației, detectarea stresului hidric.

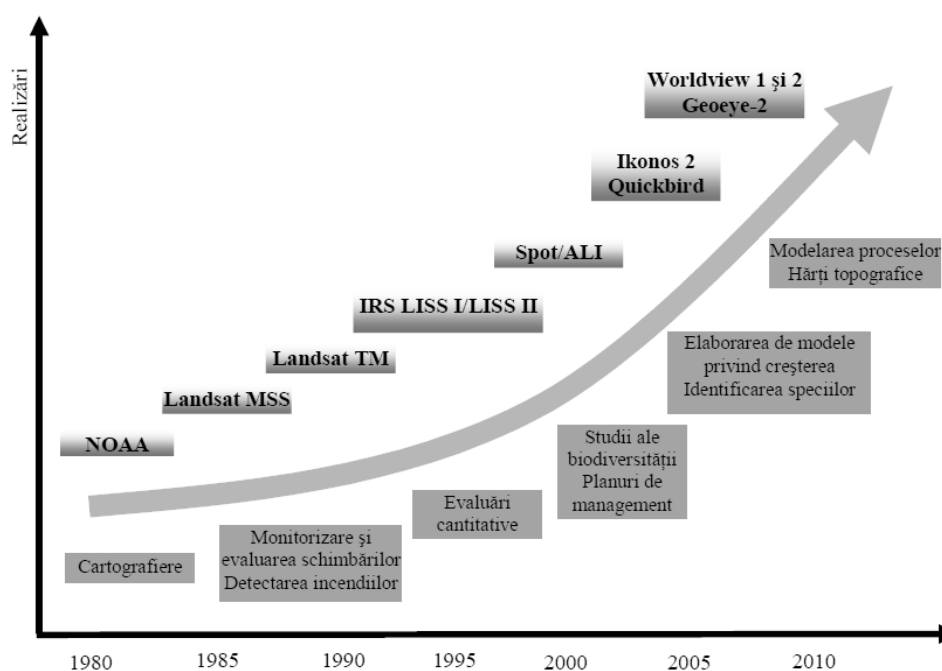


Fig. 1. Reprezentarea schematică a evoluției senzorilor satelitari și a realizărilor în silvicultură și studiul pădurii

Pentru luarea unor decizii corecte în sectorul forestier pe baza datelor de teledetecție satelitară este necesară cunoașterea senzorilor satelitari și a capacităților acestora. Paleta senzorilor este largă iar, pe măsura trecerii timpului, aceasta se diversifică, astfel că cei mai reprezentativi senzori satelitari care preiau înregistrări utilizate și în sectorul forestier, în ordinea creșterii rezoluției spațiale, sunt: AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), ASTER /Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer), MODIS, ALI (Advanced Land Imager), Landsat 5 TM (Thematic Mapper), Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), Spot 4 și 5, Ikonos-2, Quickbird-2, Worldview-2 și Geoeye-2. Fiecare sensor prezintă atât avantaje cât și dezavantaje în ceea ce privește rezoluția spațială, spectrală, radiometrică și temporală, costul și timpul achiziționării. Datele preluate de senzori sunt disponibile atât ca date brute cât și prelucrate, fiind corectate de efectele atmosferei și alte efecte care produc distorsiuni pe imagini.

Senzorii AVHRR-NOAA au fost lansați începând cu 11 iunie 1978 (NOAA-1) și permit preluarea de date pe suprafețe foarte întinse. Înregistrările au o rezoluție temporală de o zi, rezoluția spectrală de 4-5 benzi iar rezoluția spațială de 1,1 km (Local Area Coverage), respectiv de 4 km (Global Area Coverage). Senzorii preiau imagini care sunt folosite la evidențierea limitelor dintre uscat și apă, pentru investigarea norilor, măsurarea grosimii zăpezii și a gheții, înregistrarea începutului topirii gheții sau zăpezii, distribuția nocturnă și diurnă a norilor, distribuția temperaturii de suprafață a detaliilor terestre și a apelor. Alte aplicații includ evaluarea terenurilor agricole, realizarea de hărți tematice ale vegetației pe suprafețe mari,

cartografierea incendiilor și a suprafețelor arse. Imaginile preluate cu senzorii AVHRR includ și banda termală din infraroșu dar nu dispune de date privind temperatura care pot fi folosite la estimarea evapotranspirației pe baza balansului energetic. Datorită arhivei cu înregistrări care are o lungă istorie, imaginile sunt foarte utile la studierea pe termen lung a schimbărilor vegetației. Datele sunt furnizate în seturi limitate și au un cost de 190\$/scenă georeferențiată. Dezavantajul utilizării acestor date în sectorul forestier îl constituie rezoluția spațială slabă.

Senzorii MODIS sunt amplasați pe satelitul Terra care poartă, de asemenea, senzorul ASTER și pe satelitul Aqua. Sateliții Terra MODIS și ASTER au fost lansați de NASA în anul 1999. Deși senzorii Terra ASTER și MODIS sunt pe același satelit, rezoluția temporală a imaginilor MODIS este mult mai bună decât a imaginilor ASTER (o zi versus 16 zile) deoarece câmpul de vedere al senzorului MODIS este mai mare decât cel al senzorului ASTER (2300 km² versus 60 km²). Imaginile MODIS au o rezoluție spațială slabă (250 m), o rezoluție spectrală în 36 de benzi și sunt gratuite. Deoarece primele șapte benzi ale senzorului MODIS au fost destinate pentru simularea înregistrărilor Landsat, exceptând rezoluția spațială, utilizatorii pot vizualiza imaginile MODIS în același mod ca și imaginile Landsat.

Înregistrările MODIS sunt folosite la clasificarea vegetației la scară globală, estimarea biomasei, evaluarea degradării solului, în monitorizarea incendiilor de pădure și cartografierea suprafețelor după incendii. MODIS furnizează, de asemenea, produse privind temperatura suprafețelor și reflectanța acestora ceea ce permite modelarea energiei pe baza balansului energetic. Dezavantajul acestor înregistrări îl constituie rezoluția spațială slabă chiar și pentru analizele privind incendiile.

Senzorii Landsat au fost lansați la bordul platformelor satelitare începând cu anul 1972 apoi în 1975, 1978, 1982, fiecare făcând parte dintr-o anumită generație (Landsat 1 – 4). Landsat 4 TM are aceleași benzi ca și Landsat 5 TM iar datele sunt astăzi gratuite prin centrul USGS EROS (Earth Resources Observation and Science). Senzorii Landsat 5 TM și 7 ETM+ au o rezoluție spațială ridicată în benzile vizibil, infraroșu apropiat și scurt iar Landsat 7 ETM+ are benzile termale cu cea mai mare rezoluție dintre toți senzorii satelitari curenți. Deoarece senzorul Landsat 7 ETM+ are problemele cu scannerul începând din 2003, în mod curent numai cei 20 de km din mijlocul imaginii pot fi folosiți. Landsat nu permite obținerea de produse de înalt nivel cum ar fi cele care înregistrează temperatura suprafeței și reflectanța vegetației care sunt variabile importante pentru modelarea stresului hidric pe baza bilanțului energetic.

Produsele Landsat sunt folosite în cartografierea vegetației, în principal, la nivel regional. Faptul că Landsat are o lungă istorie a datelor, aceasta constituie un avantaj pentru întocmirea hărților tematice privind vegetația pe timp îndelungat și studierea schimbărilor spațio-temporale ale vegetației. Rezoluția temporală de 16 zile ridică probleme în utilizarea acestora pentru situațiile de urgență cum ar fi incendiile de pădure.

Senzorul ASTER a fost lansat în anul 1999 ca și Landsat 7 ETM+ având un pachet de instrumente la bord schimbat pentru a permite realizarea de înregistrări în mai multe lungimi de undă. Acesta include și un telescop folosit pentru a prelua imagini privind înapoi, în infraroșu apropiat (banda 3B), permițând astfel vederea

stereoscopică. După imaginile Landsat 7 ETM+, datele ASTER au banda termală cu cea mai mare rezoluție dintre toți senzorii satelitari curenți iar rezoluția în benzile vizibil și infraroșu apropiat este mare. Deoarece datele ASTER au aceleași benzi și rezoluții ca și senzorul Landsat, acestea pot fi folosite în aplicații similare. Înainte de martie 2006 toate datele ASTER au fost gratuite iar acum fiecare scenă, indiferent de nivelul de prelucrare, costă aproximativ 80\$.

Produsele ASTER cu un nivel ridicat de prelucrare furnizează date privind temperatura și reflectanța vegetației care sunt folosite ca intrări în modelele bazate pe balansul energiei pentru estimarea evapotranspirației. Ca și în cazul senzorilor Landsat, rezoluția temporală este de 16 zile ceea ce ridică probleme în aplicațiile privind starea de sănătate a pădurilor. Datele ASTER sunt folosite la obținerea hărților tematice ale categoriilor de folosibă a terenului, a reflectanței și întocmire modelului digital al terenului.

Senzorul Spot 4 a fost lansat în anul 1998 iar **Spot 5** în 2002, sateliții fiind deținuți de compania privată Space Imaging din Franța. Pachetul instrumental de la bord al celor doi sateliți este diferit de ASTER și Landsat. Rezoluția spectrală și lățimea benzilor spectrale ale celor doi senzori sunt limitate comparativ cu Landsat și ASTER, dar rezoluția spațială este mult mai mare. Astfel, senzorul Spot 4 preia înregistrări cu o rezoluție spațială de 10 m în pancromatic și de 20 m în multispectral iar Spot 5 achiziționează imagini cu 5 m rezoluție spațială în pancromatic și 10 m în multispectral. Sateliții Spot 4 și 5 au la bord și senzorul Spot Vegetation care achiziționează imagini cu o rezoluție spațială de 1 km. Senzorii Spot nu au benzi termale în infraroșu și nu pot furniza produse privind temperatura suprafeței dar au capacitatea de a prelua imagini stereoscopice.

Dezavantajul principal în folosirea imaginilor Spot este prețul ridicat al datelor livrate. Astfel, o scenă Spot 4 costă între 1200\$ - 1900\$ la care se adaugă taxe suplimentare pentru livrarea rapidă în situații de urgență (incendii de pădure). O scenă Spot 5 costă 3300\$ la care se adaugă, la fel ca și în cazul imaginilor Spot 4, taxe suplimentare pentru livrarea urgentă. Pentru asigurarea livrării prompte a imaginilor pentru situații de urgență, cercetătorii pot comanda imagini Spot fără nicio corecție referitoare la teren.

Datele Spot sunt folosite pentru întocmirea hărților tematice ale vegetației, monitorizarea incendiilor de pădure, cartografierea severității incendiilor, detectarea vegetației invazive etc. iar imaginile stereoscopice permit obținerea modelului digital al terenului. În literatura de specialitate (Huang and Siegert, 2006) arată că imaginile Spot VGT sunt foarte utile pentru detectarea la scară largă a dinamicii schimbărilor din mediul înconjurător datorită benzii late pe care o acoperă și sensibilității înregistrărilor la creșterea vegetației. Mai mult, imaginile Spot pot fi utilizate chiar pentru modelarea proceselor biochimice.

Senzorul ALI a fost lansat de NASA în noiembrie 2000 pentru a prelua imagini în completarea datelor achiziționate de senzorul Landsat. Deoarece senzorul ALI urmează traiectul aceleiași orbite ca și Landsat 7 ETM+, imaginile achiziționate de acest satelit, comparativ cu Landsat 7, au o rezoluție temporală mai bună. Senzorul ALI este unul experimental, preia imagini în benzile pancromatic și multispectral și, ca

atare, aplicațiile în care pot fi folosite sunt similare senzorilor Landsat. Benzile au fost proiectate pentru a simula înregistrările Landsat MSS având în plus trei benzi care acoperă lungimile de undă din intervalele 0,433-0,453 μm , 0,845-0,890 μm și 1,20-1,30 μm . Teoretic, acest senzor poate fi considerat înlocuitorul senzorului Landsat 7 ETM+, fără a avea însă benzi termale. Imaginile ALI arhivate și corectate radiometric costă 250\$/scenă iar cele corectate radiometric și geometric sunt 500\$/scenă. Înregistrările ALI sunt mult mai înguste decât scenele Landsat tipice, având lățimea de 37 km și lungimea de 185 km.

Senzorul Ikonos-2 a fost lansat în anul 1999 de către Space Imaging și preia înregistrări a căror rezoluție spațială este de 1 m în pancromatic și 4 m în multispectral. Costul înregistrărilor se ridică la 7\$/km² pentru datele arhivate, comanda minimă fiind de 49km² iar pentru datele curente, în funcție de nivelul de prelucrare, de la 15\$ la 22,5\$/km². Senzorul nu achiziționează date în infraroșu termal astfel că acestea nu pot fi folosite pentru estimarea temperaturii suprafeței terenului și a detaliilor, inclusiv a vegetației.

Imaginile sunt folosite pentru clasificarea vegetației și a peisajelor, estimarea volumului arboretelor, identificarea atacurilor de insecte, cartografierea și monitorizarea acestora, cartografierea suprafețelor incendiate etc. De asemenea, observațiile realizate pe imaginile Ikonos-2 pot servi ca sursă “virtuală” a măsurătorilor terestre pentru imaginile cu rezoluție spațială scăzută și pentru observațiile globale (Goward et al., 2003). Aceste imagini pot fi utilizate și pentru validarea clasificării covorului vegetal realizată pe baza altor imagini satelitare (Goward et al., 2003).

Senzorul Quickbird-2 a fost lansat de DigitalGlobe Corporate din Statele Unite ale Americii în anul 2001 și preia imagini de teledetecție în scop lucrativ. Rezoluția spațială a înregistrărilor Quickbird-2 este de 0,61 m în pancromatic și 2,65 m în multispectral iar rezoluția temporală este ridicată. Datele arhivate costă 22,5\$/km² iar comanda minimă este de 25 km².

Imaginile sunt folosite la clasificarea vegetației, detectarea, cartografierea și monitorizarea atacurilor de insecte, clasificarea peisajelor, cartografierea incendiilor de pădure, detectarea speciilor invazive, modelarea ecologică. Înregistrările Quickbird-2 sunt folosite, de obicei, la diferite studii realizate pe suprafețe mici sau la scară locală nefiind indicate pentru aplicații pe suprafețe mari datorită costului ridicat și a parametrilor tehnici rigizi. Deoarece acest senzor nu are benzi termale înregistrările nu pot fi utilizate la estimarea temperaturii suprafeței. La fel ca și în cazul imaginilor Ikonos, înregistrările Quickbird-2 pot fi utilizate la validarea clasificărilor covorului vegetal realizată pe baza altor imagini satelitare. Dat fiind costul mare al înregistrărilor, acesta limitează folosirea lor în monitorizarea stării de sănătate a pădurilor.

Senzorii Worldview-1 și 2 fac parte din noua generație de senzori lansați de DigitalGlobe Corporate care achiziționează imagini de foarte înaltă rezoluție spațială. Senzorul Worldview-1 a fost lansat în anul 2007, preia înregistrări numai în pancromatic cu o rezoluție spațială de 0,5 m și are o rezoluție temporală de 1,7 zile. Senzorul Worldview-2 a fost lansat în anul 2009 și permite preluarea de imagini cu o

rezoluție spațială de 0,46 m în pancromatic și 1,84 m în multispectral. Lucrează în 8 benzi, are o rezoluție temporală de 1,1 zile și este capabil de a achiziționa imagini de peste 975000 km² într-o zi.

Senzorul Geoeye-1 este cel mai performant senzor din sectorul civil fiind capabil să preia imagini cu rezoluția spațială de 0,41 m în pancromatic și 1,65 m în multispectral. Înregistrările se fac în 4 benzi spectrale (vizibil și infraroșu apropiat) și sunt ideale în problemele gospodăriei silvice care privesc cartografierea și monitorizarea pădurilor și realizarea de măsurători asupra arborilor și arboretelor. Satelitul are capacitatea de a înregistra imagini într-o zi care acoperă o suprafață de 700000 km².

Alături de acești senzori optici, din multitudinea de senzori, mai pot fi menționați și următorii care preiau înregistrări ce pot fi utilizate în studiul pădurii și în sectorul forestier: IRS (India), CBERS (China și Brazilia), Orbview-2 (SUA), ADEOS-II GLI (Japonia), Formosat-2 (Taiwan), ALOS Avnir-2 (Japonia), Kompsat-2 (Coreea), Cartosat 1 și 2 (India) etc.

Senzorii satelitari hiperspectrali, comparativ cu cei amplasați pe avioane, sunt mai puțini ca număr și preiau înregistrări pe un număr foarte mare de benzi spectrale înguste ceea ce îi și caracterizează.

Senzorul EO-1 Hyperion a fost lansat de Statele Unite ale Americii în anul 2000 și folosește pentru achiziționarea de date 220 de benzi spectrale în zonele vizibil și infraroșu. Rezoluția spațială a datelor este de 30 m iar rezoluția temporală de 16 zile. Este un senzor experimental iar înregistrările sunt gratuite.

Senzorul Proba CHRIS este pe orbită din anul 2001 și culege date în 63 de benzi spectrale (vizibil și infraroșu apropiat). La fel ca și EO-1 Hyperion, acesta este un senzor experimental ale cărui imagini au o rezoluție spațială de 34 m și sunt gratuite pentru cercetări.

Pe lângă cei doi senzori amintiți, în anul 2008 China a lansat senzorul hiperspectral HJ-1A/1B care lucrează în 110 benzi dar ale cărui date nu sunt disponibile pentru sectorul public. De asemenea, India a lansat tot în 2008 senzorul hiperspectral experimental IMS-1 HySI care operează numai deasupra acestei țări.

Imaginile hiperspectrale sunt adecvate analizelor detaliate astfel că pot fi separate materialele care au un comportament spectral apropiat sau similar și pot fi obținute informații la nivel de subpixel. Aplicațiile în care pot fi utilizate imaginile hiperspectrale sunt multiple datorită capacității acestora de separare a datelor înregistrate. În acest sens înregistrările hiperspectrale pot fi folosite cu succes în sectorul forestier și studiul pădurii la detectarea stresului vegetației, cartografierea extinderii diferitelor specii de arbori și arbuști, determinarea concentrației chimice din frunze etc. Comparativ cu imaginile multispectrale, care pot fi folosite la cartografierea suprafețelor acoperite cu pădure, imaginile hiperspectrale pot fi folosite la cartografierea speciilor din cadrul arboretelor.

4. Concluzii

Dat fiind caracterul înregistrărilor satelitare printre care altitudine mare de preluare, diferite rezoluții spațiale, spectrale și radiometrice, suprafața acoperită etc., fac ca aceste surse de date, cu caracteristici diferite, să poată fi utilizate și în sectorul forestier.

Realizările teledetecției satelitare în studiul și analiza pădurilor din țara noastră sunt condiționate de disponibilitatea acestor înregistrări și de existența programelor de prelucrare a imaginilor satelitare. La noi în țară folosirea înregistrărilor satelitare digitale pe o scară mai mare a avut loc odată cu crearea parcurilor naturale și a celor naționale, aceasta deschizând drumul achiziționării de date satelitare. Trebuie remarcat faptul că datorită condițiilor economice sectorul forestier (de stat și particular) nu a fost interesat în achiziționarea de înregistrări satelitare, în special a celor de rezoluție foarte înaltă, dat fiind și costul foarte ridicat al acestora.

Bibliografie

1. Adam, E., Mutanga, O., Rugege, D., 2009 - Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review (available at http://uqu.edu.sa/files2/tiny_mce/plugins/filemanager/files/4280125/Multispectral%20and%20hyperspectral%20remote%20sensing.pdf).
2. CEOS (Committee on Earth Observation Satellites), 2009 - Committee on Earth Observation Satellites. <http://www.ceos.org/> (accesat 28 Octombrie 2010).
3. Fagan, M., De Fries, R., 2009 – Measurement and Monitoring of the World's Forests. A Review and Summary of Remote Sensing Technical Capability, 2009-2010.
4. Flores F.J., Allen, H.L., Cheshire, H.M., Davis, J.M., Fuentes, M., Kelting, D., 2006 - Using multispectral satellite imagery to estimate leaf area and response to silvicultural treatments in loblolly pine stands, Canadian Journal of Forest Research, 36 (6), 1587–1596.
5. Gibbs, H.K., Brown, S., Niles, J.O., Foley, J.A., 2007 - Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2(4): 045023.
6. Goward, S.N., Davis, P.E., Fleming, D., Miller, L., Townshend, J.R.G., 2003 - Empirical comparison of Landsat 7 and IKONOS multispectral measurements for selected Earth Observation System (EOS) validation sites. *Remote Sensing of Environment* 88:196–209.
7. Huang, S., Siegert, F., 2006 - Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT VEGETATION imagery. *J Arid Environ* 67:308–27.
8. Kellndorfer, J., Walker, W., Nepstad, D., Stickler, C., Brando, P., Lefebvre, P., Rosenqvist, A., Shimada, M., 2008 - Implementing REDD: The potential of ALOS/PALSAR for forest mapping and monitoring. Paper presented at the Second GEOSS Asia-Pacific Symposium. April 2008, Tokyo, Japan.
9. Lu, D.S., 2006 - The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing* 27(7): 1297–1328.
10. Mohd, H. I., Kamaruzaman J., 2008 - Satellite Data Classification Accuracy Assessment Based from Reference Dataset. *International Journal of Computer and Information Engineering* 2:6 2008.
11. Olander, L.P., Gibbs, H.K., Steininger, M., Swenson, J.J., Murray, B.C., 2008 - Reference scenarios for deforestation and forest degradation in support of REDD: A review of data and methods. *Environmental Research Letters* 3(2): 025011.

12. Popescu, S.C., Wynne, R.H., Scrivani, J.A. 2004 - Fusion of small-footprint lidar and multispectral data to estimate plot-level volume and biomass in deciduous and pine forests in Virginia, USA. *Forest Science* 50(4): 551–565.
13. Tuttle, E.M., Jensen, R.R., Formica, V.A., et al., 2006 - Using remote sensing image texture to study habitat use patterns: a case study using the polymorphic white-throated sparrow (*Zonotrichia albicollis*). *Glob Ecol Biogeogr* 15:349–57.
14. Vorovencii, I., 2005 – Cercetări privind posibilitățile de utilizare a imaginilor satelitare în lucrările de amenajarea pădurilor. Teză de doctorat. Universitatea Transilvania din Brașov.
15. Xie, Y., Sha, Z., Yu, M., 2008 – Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, **vol. 1**, no. 1, p. 9-23 (available on line at www.jpe.oxfordjournals.org)
16. Wang, J., Sammis, W. T., Gutschick, P.V, Gebremichael, M., Dennis, O.S., Harrison, E.R., 2010 - Review of Satellite Remote Sensing Use in Forest Health Studies, *The Open Geography Journal*, 3, 28-42.