

Universitatea “Babeş-Bolyai”, Cluj-Napoca

Facultatea de Geografie

Catedra de Geografie Fizică și Tehnică

TEZĂ DE DOCTORAT

- Rezumat -

Evaluarea procesului de despădurire, prin teledetecție. Efectul despăduririi asupra schimbărilor caracteristicilor suprafețelor subiacente din bazinele superioare ale Someșului Cald și Rece

Coordonator științific:

Prof. Univ.Dr. HAIDU Ionel

Doctorand:

COSTEA George

Cluj-Napoca

- 2012 -

Cuprins

1. Introducere	1
2. Motivația. Obiectivele cercetării. Zona de studiu	6
2.1. Motivația	6
2.2. Obiectivele cercetării.....	6
2.3. Localizarea geografică a zonei de studiu.....	7
3. Stadiul cunoașterii temei de cercetare	15
3.1. Scurt rezumat istoric asupra metodelor și tipurilor de date utilizate în evaluarea despăduririlor	15
3.2. Studii de evaluare a despăduririlor în Europa	16
3.3. Scurt istoric al managementului forestier din România	21
3.4. Studii și metode de cercetare a evoluției pădurilor românești.....	23
4. Realizarea bazei de date	24
4.1. Baza de date cartografică	25
4.2. Baza de date alfanumerică și surse de date secundare.....	27
4.3. Baza de date digitale.....	30
4.4. Rezoluția spațială și temporală. Alegerea senzorului de teledetecție	32
4.4.1. Platforme de teledetecție și tipuri de senzori	33
4.4.2. Rezoluție spațială și temporală. Date tehnice	36
5. Legătura dintre obiectele mediului înconjurător și spectrul electromagnetic	49
5.1. Spectrul electromagnetic	49
5.1.2. Radiația electromagnetică și interacțiunea sa cu atmosfera Pământului	52
5.2. Preprocesarea imaginilor satelitare.....	58
5.2.1. Operații de bază de preprocesare a imaginilor.....	58
5.2.2. Calibrarea imaginilor. Convertirea din DN în radianță.....	59
5.2.3. Calibrarea radianță – reflectanță	60
5.2.4. Corecția atmosferică	60
6. Caracteristicile semnăturilor spectrale ale diferitelor entități geografice.....	61
6.1. Interpretarea semnăturii spectrale a mineralelor și solurilor	62
6.2. Interpretarea semnăturii spectrale corespunzătoare vegetației	64
6.3. Interpretarea semnăturii spectrale corespunzătoare apei.....	69
7. Metode de analiză a imaginilor satelitare pentru evaluarea schimbărilor de la nivelul covorului vegetal.....	71
7.1. Transformarea imaginilor folosind indici spectrali	72
7.1.1. Utilizarea indicilor spectrali pentru estimarea schimbărilor de la nivelul vegetației	72
7.1.2. Utilizarea indicelui NDBI în estimarea suprafețelor minerale.....	74
7.1.3. Utilizarea indicelui NDVI în estimarea schimbărilor de la nivelul vegetației.....	83

8. Extragerea datelor tematice pentru evaluarea despăduririlor	91
8.1. Ce este o hartă tematică?	91
8.2. De ce anume avem nevoie? De tipul de acoperire a terenului sau de tipul de utilizare a terenului?... ..	92
8.3. Metode de teledetecție utilizate în extragerea datelor tematice.....	92
8.4. Clasificarea supervizată.....	93
8.4.1. Schema de clasificare	94
8.4.2. Descrierea tipurilor de acoperire a terenului considerate.....	95
8.4.3. Crearea suprafețelor de probă.....	97
8.4.4. Analiza statistică a datelor spectrale corespunzătoare eşantioanelor	100
8.4.5. Evaluarea cantitativă a separabilității claselor de acoperire a terenului.....	102
8.4.6. Construirea librăriei spectrale.....	104
8.4.7. Selectarea algoritmului de clasificare	107
8.4.8. Algoritmul Spectral Angle Mapper	108
8.4.9. Clasificarea imaginii utilizând SAM	109
8.5. Evaluarea acurateții rezultatului clasificării	112
8.6. Clasificarea multi-temporală a imaginilor.....	116
8.7. Validarea datelor tematice.....	119
8.8. Detectarea schimbărilor la nivelul acoperirii terenului	122
9. Evaluarea despăduririlor pentru perioada 1974-2010	130
9.1. Ce sunt despăduririle?	130
9.2. Evaluarea procesului de despădurire.....	130
10. Schimbarea suprafeței subiacente în perioada 1974-2010 și unele consecințe asupra câtorva indici ai scurgerii de suprafață	140
10.1. Indicatori ai schimbării caracteristicilor suprafeței subiacente	141
10.1.1. Gradul de împădurire.....	141
10.1.2. Efectele despăduririlor asupra coeficienților medii de scurgere	143
10.1.3. Efectele despăduririlor asupra valorilor indicelui Curve Number	153
11. Concluzii	166
12. Bibliografie.....	172
13. Anexe	181

Cuvinte cheie: evaluare; despădurire; Teledetecție; efect; suprafață subiacentă; bazinele superioare ale Someșului Cald și Rece.

1. Introducere

Suprafața terestră cu toate particularitățile ei (relief, vegetație, sol, hidrografie) influențate sau nu de către om, joacă un rol important în transformarea energiei solare în căldură, în umezirea aerului și în transformarea maselor de aer în mișcare. Această suprafață activă, subiacentă, de la suprafața pământului se află în interacțiune permanentă cu atmosfera.

Vegetația prin suprafață, gradul de acoperire, speciile caracteristice, densitatea acestora, înălțime etc. are o influență deosebită asupra suprafețelor subiacente din bazinele hidrografice.

Teledetecția și cartografierea terenurilor acoperite cu vegetație forestieră este o măsură critică necesară pentru a extinde nivelul de înțelegere a influenței procesului de despădurire asupra schimbării caracteristicilor suprafețelor subiacente ce au loc pe uscat la scări mai mari atât din punct de vedere spațial, cât și temporal. De asemenea, este un aspect critic pentru monitorizarea la scară regională a schimbărilor arealelor împădurite pentru cei care se ocupă de planningul teritorial.

În acest sens prezentul studiu¹ dorește să propună o metodologie completă de evaluare a despăduririlor și a efectelor pe care acestea le au asupra schimbării caracteristicilor suprafețelor subiacente utilizând ultimele metode și date utilizate în teledetecție și GIS. Metodologia se dorește a oferi, mai ales, rezultate spațiale, dar și numerice în vederea evaluărilor.

Lucrarea se structurează pe nouă capitole principale. Analizând succesiunea acestora putem desprinde următoarele etape care stau la baza elaborării acestui studiu: enunțarea motivației, fixarea obiectivelor și descrierea zonei de studiu - studiul nivelului de cunoaștere și a metodelor utilizate în ceea ce privește tema de cercetare în România, cât și în Europa - construirea bazei de date - evidențierea legăturii dintre obiectele mediului înconjurător și spectrul electromagnetic - selectarea și aplicarea metodelor de prelucrare și obținere a informațiilor tematice - clasificarea efectivă a imaginilor satelitare (construirea librăriei spectrale unice, alegerea algoritmului de clasificare supervizată, validarea datelor obținute) - evaluarea despăduririlor apărute în perioada 1974-2010 - evaluarea efectelor produse de despăduriri asupra suprafețelor subiacente.

¹ Acest studiu a fost susținut și prin sprijinul financiar oferit prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, cofinanțat prin Fondul Social European, în cadrul proiectului POSDRU/88/1.5/S/60185, cu titlul „Studii doctorale inovative într-o societate bazată pe cunoaștere”.

2. Motivația. Obiectivele cercetării. Zona de studiu

Cunoașterea motivației reale a studiului este un element esențial în înțelegerea rezultatelor care se vor obține. Având în vedere că studiul dorește să urmărească de asemenea și evoluția spațială a procesului analizat, este totodată necesar să se cunoască arealul geografic unde aceste schimbări au loc. Detalii suplimentare privind configurația zonei studiate pot fi utile în evaluarea rezultatelor și nu în ultimul rând de a da o importanță și un sens logic studiului.

2.1. Motivația

Mai întâi de toate, este bine de știut că acest studiu nu dorește să acuze sau să denigreze munca anumitor instituții care au legătură cu administrarea apelor sau pădurilor. Acest studiu dorește să fie un suport al acestora. Aceasta nu numai datorită fazei grele a existenței acestora, dar și datorită faptului că studiul dorește să sprijine acțiunile care pot opri în special despăduririle, precum și luarea măsurilor necesare de evitare a producerii evenimentelor extreme, de exemplu a viiturilor. Studiul aduce totodată un suport masiv asupra faptului că distrugerea naturii poate avea un impact atât asupra ecosistemelor cât și asupra vieții oamenilor.

Motivația reală a acestui studiu este reprezentată de faptul că despăduririle au un impact negativ asupra scurgerii și nu numai. După o ploaie torențială, sate întregi, poduri și drumuri sunt inundate (Domnița et al., 2009). Pădurile pot încetini torenții diminuând forța lor distructivă, și totodată pot juca un rol major în ciclul hidrologic. Când vine vorba despre apa provenită din precipitații, aceasta este acumulată în moduri diferite în arealele împădurite în comparație cu arealele descoperite sau uscate.

În acest fel studiul dorește să realizeze un studiu asupra evoluției recente a arealelor împădurite din trei bazine hidrografice montane utilizând date vechi și noi care au fost implementate și evaluate cu cele mai noi metode cartografice. Astfel, operația de extragere a informațiilor din bazele de date vechi și noi, precum și utilizarea lor în analizele efectuate, ne fac să spunem că acesta este un studiu cuprinzător care poate oferi un punct de vedere și o măsură foarte bună a procesului de despădurire de la nivelul bazinelor hidrografice mici precum și o evaluare substanțială a consecințelor pe care acestea le au în ceea ce privește schimbarea caracteristicilor suprafeței subiacente.

2.2. Obiectivele cercetării

Obiectivele acestui studiu sunt acelea de a utiliza cele mai recente metode de cartografiere și analiză spațială în vederea modelării evoluției arealelor împădurite din trei bazine hidrografice mici, situate în zona montană. Acestea se pot împărți într-o succesiune logică care face mult mai ușor de înțeles scopul acestei teze.

Astfel, primul obiectiv ar fi obținerea unei baze de date care să integreze datele inițiale (hărți scanate, imagini satelitare, descrieri parcelare, măsurători GPS etc.) într-un mediu GIS. Baza de date va corespunde unei perioade cuprinse între începutul anilor '70 și anul 2010. Vom considera anul 1974 ca punct de pornire datorită disponibilității hărților topografice și a imaginilor satelitare.

Identificarea unei metodologii care să răspundă și să utilizeze baza de date și care să ducă la obținerea de informații spațiale și cantitative digitale (date tematice) în vederea estimărilor. Aceasta este o operație menită să creeze noi seturi de date tematice de o valoare semnificativă. De aceea ulterior acestei operații este necesar să se proceda la o operație de validare.

Cu datele tematice obținute se poate trece la realizarea următorului obiectiv, care este și cel mai important, și-anume evaluarea procesului de despădurire. Această fază a studiului presupune utilizarea unor algoritmi de modelare GIS care să utilizeze datele tematice obținute anterior și care să redea date cantitative cu privire la evoluția procesului de despădurire pentru bazinele hidrografice considerate.

Un ultim obiectiv ar fi prezentarea și evaluarea modului în care procesul despăduririlor poate afecta schimbarea caracteristicilor suprafeței subiacente. Acest pas presupune utilizarea indicatorilor care pot furniza informații valorice care să caracterizeze bazinele din punct de vedere al suprafeței acoperite cu pădure, configurația terenului, tipul sau textura solului etc.

2.3. Localizarea geografică a zonei de studiu

Pentru realizarea scopului acestei teze, și-anume acela de a studia evoluția procesului despăduririlor cu rol în formarea scurgerii lichide au fost selectate trei bazine hidrografice mici din bazinele superioare ale Someșului Cald și Rece. În selectarea acestor bazine am ținut cont de complexitatea factorilor fizico-geografici, de existența așezărilor umane și nu în ultimul rând de disponibilitatea bazei de date.

Aceste bazine sunt: bazinul superior al Someșului Cald în amonte de Smida, bazinul superior Beliș, ambii afluenți ai Someșului Cald, respectiv bazinul Răcătău, afluentul principal Someșului Rece (Fig. 2.1, 2.2, 2.3).

În cadrul temei de cercetare, cu ocazia diferitelor publicații/manifestări științifice, au mai fost elaborate și studii asupra sub-bazinelor din arealul Parcului Natural Apuseni (Costea & Haidu 2010, 2012).

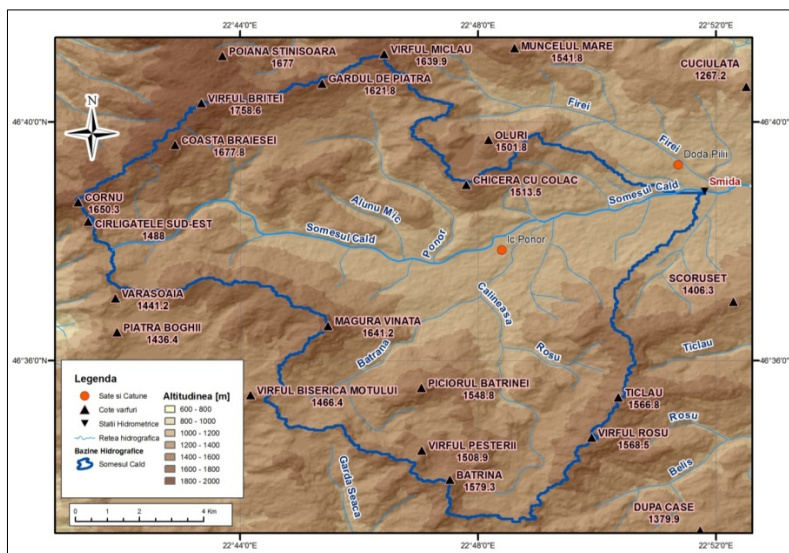


Fig. 2.1 Bazinul hidrografic Someșul Cald.

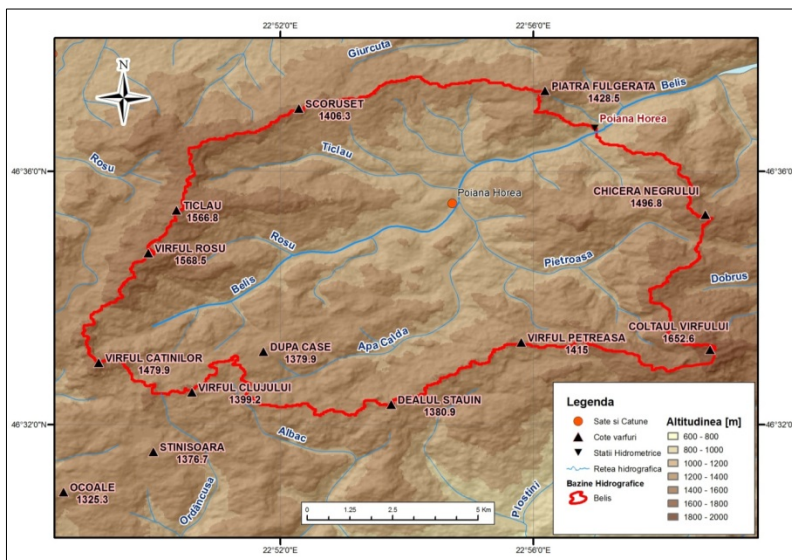


Fig. 2.2 Bazinul hidrografic Beliș.

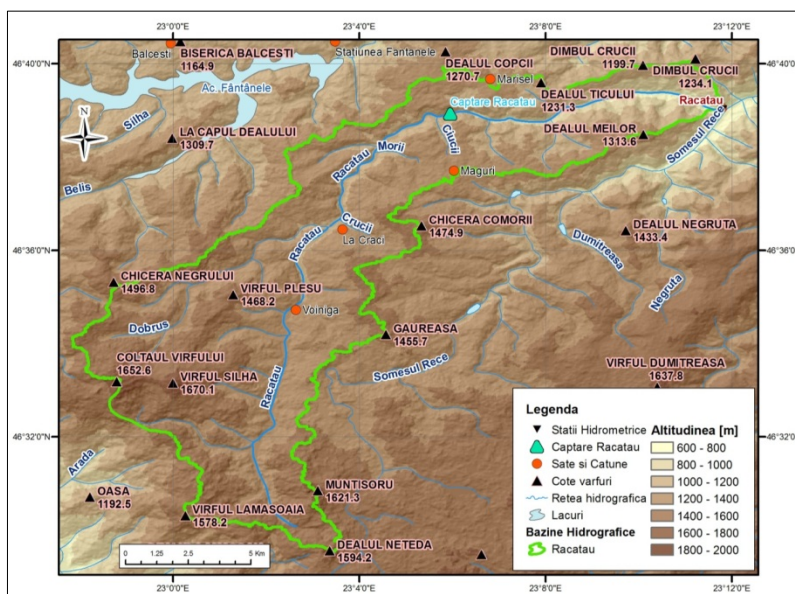


Fig. 2.3 Bazinul hidrografic Răcățoiu.

3. Stadiul cunoașterii temei de cercetare

Faptul că pădurea prin acțiunea sa, precum și prin procesele pe care le antrenează, are o influență asupra scurgerii lichide este o ipoteză de mult timp luată în seamă. Multe studii efectuate de-a lungul timpului au pus în evidență, în urma estimărilor efectuate, diverse aspecte în ceea ce privește rolul pădurii în interacțiunea cu apa. Multe dintre acestea fie oferă informații punctuale, fie nu permit spațializarea informațiilor obținute în urma bilanțului hidric sau sunt doar precizări și observații asupra unor fenomene cu caracter local.

Despăduririle, ca procese survenite la nivelul arealelor împădurite, sunt și au fost subiectul multor lucrări. Aceasta a presupus și încă presupune dezvoltarea unor metodologii necesare pentru a materializa fenomenul observat în date digitale. Aceasta poate oferi un punct de vedere cantitativ - spațial a evoluției despăduririlor la o anumită scară de timp și spațiu. În acest sens magnitudinea și impactul sunt mult mai ușor studiate. Astfel, un scurt rezumat a studiilor despre studiul despăduririlor din România și din străinătate este propice, dacă este să considerăm subiectul prezentului studiu.

3.1. Scurt rezumat istoric asupra metodelor și tipurilor de date utilizate în evaluarea despăduririlor

Există nenumărate studii cu privire la evaluarea despăduririlor. La fel se poate vorbi și despre tipurile de date, respectiv metodele utilizate. La nivel internațional au fost folosite multe tipuri de date atât de la senzori activi cât și senzori pasivi.

La începuturi evaluarea pagubelor și despăduririlor se făcea utilizând observații din teren. Doar după ceva timp au fost introduse fotografiile aeriene color și infraroșu. Astăzi tindem să utilizăm datele obținute prin teledetecție de la sateliți, scannere radar și alte surse moderne de date (imagini satelitare cu rezoluție spațială ridicată, scannere laser etc.).

Primele observații aeriene (a nu se confunda cu fotografia aeriană) au fost făcute asupra pădurilor încă din 1860 în S.U.A. În Europa primele experimente cu fotografii datează din 1858 din zona orașului Paris. Prima fotografie aeriană realizată dintr-un avion este obținută în 1909 în Franța.

Fotografiile aeriene au fost utilizate pentru cartarea vegetației încă din 1919, dar dezvoltarea acestora ca o unealtă importantă utilizată în silvicultură, corelată cu observațiile de teren, datează doar din 1940. Mai târziu sateliți ca ERTS (1972) (mai târziu denumit Landsat 1, 2, ..., 7) au fost lansați pentru a produce date obținute prin teledetecție. Alți sateliți cunoscuți sunt sateliții cu senzori optici precum: SPOT, ERS, ASTER, IRS, IKONOS, NOAA, TERRA; sateliții radar ca RADARSAT și sateliți precum JERS care oferă atât date optice cât și date radar.

În prezent se încearcă a se utiliza tehnica LIDAR, o tehnică dezvoltată în ultimii 15 ani, deoarece ea este capabilă să penetreze stratul format de coroanele arborilor, astfel putându-se obține chiar și structura verticală a pădurii (<http://www.agu.org>, www.eoearth.org).

3.2. Studii de evaluare a despăduririlor în Europa

În Europa despăduririle și în special defrișările de pădure datează dintr-o perioadă timpurie care se regăsește între antichitate și modernism. În această parte de nord a planetei a fost impus un program de dezvoltare durabilă a pădurii. Despăduririle sunt mult mai evidente în partea de sud a globului, la tropice. Aici, datorită faptului că statele situate în această zonă doresc să-și dezvolte economia, tăierile de pădure sunt foarte mari (<http://www.eco-act.typepad.com>).

Multe studii au fost făcute, în special în Europa, pentru a estima schimbările care au avut loc la nivelul acoperirii terenului și mai ales asupra dispariției terenurilor acoperite cu pădure. Dintre acestea cele mai cunoscute sunt cele efectuate în Irlanda, una din cele mai bogate țări din Europa, în ceea ce privește suprafața terenului acoperită cu pădure (Brown, 2009; Kankaanpää & Timothy, 2004); studiile făcute asupra „triunghiului negru”, suprafață care se întinde pe o parte a teritoriului a trei state: Germania, Cehia, Polonia (<http://www.fao.org>; Ardö, 1998; Schardt et al., 1993). Acestea au fost studii care au utilizat imagini satelitare, în special Landsat.

Unul din cele mai mari proiecte din Europa în ceea ce privește utilizarea terenului și detectarea schimbărilor care au loc într-o anumită perioadă de timp este proiectul „Corine Land Cover”. Acesta este un proiect care implică toate țările din Europa. Proiectul utilizează date din surse digitale precum imaginile satelitare (Landsat, SPOT HRV) și surse cartografice, precum hărți ale utilizării terenului, hărți topografice, și chiar și hărți silvice. Datele rezultate după interpretare sunt oferite la o scară de 1:100000. Cea mai mică unitatea cartată este de aproximativ 25 ha, iar schimbările care au loc în perioada studiată sunt raportate numai dacă ele au loc pe o suprafață de minimum 5 ha. Până acum în acest proiect s-au obținut date pentru perioada 1990-2000-2006 (<http://www.eea.europa.eu>).

Studii care utilizează date obținute de la radare aeroperțurate sunt cele precum cel realizat de Keil et al. (1993) în cadrul proiectului MAC Europe 1991, care utilizează date radar pentru a evalua arealele împădurite din zona Munților Harz, Germania. Datele utilizate în acest studiu sunt date de tip AIRSAR (date Polarimetrice-multifrecvență) colectate în anul 1991 de către o aeronavă a JPL¹. Aceasta a fost o misiune de evaluare a pădurilor în ceea ce privește tipul pădurilor, clasele de vârstă, densitatea coroanelor, separarea arborilor de conifere de cei foioși, precum și daunele înregistrate la nivelul covorului forestier (despăduriri, rupturi ale arborilor etc.).

¹ Jet Propulsion Laboratory, (<http://airsar.jpl.nasa.gov/>).

Tehnica LIDAR a fost utilizată de exemplu în Europa pentru a evalua structura arboretelor de pin silvestru într-un areal din Spania. Utilizând aceste date a fost posibil să se delimiteze arboretele de pin (Pascual et al., 2008).

Studii care au utilizat imagini satelitare de înaltă rezoluție sunt studiile efectuate de Comaniciu & Meer (2002) sau Chehata et al. (2011). Aceștia utilizează imagini IKONOS și Formosat-2.

3.3. Scurt istoric al managementului forestier din România

În țara noastră la începutul secolului XX pădurile ocupau aproximativ 35-40% din suprafața țării. Suprafața lor a fost gradual redusă ca rezultat al exploatării iraționale, eliminării arealelor împădurite sau despăduririlor. Suprafața pădurilor a scăzut de la 9 milioane ha la 6.3 milioane ha la sfârșitul lui 1974 (Damian, 1978).

Dacă la începutul capitalismului, economia forestieră se mai orienta după principiul raportului susținut al tăierilor, în curând acest principiu a fost abandonat sau subordonat rentabilității maxime. În consecință probleme de cultură ale pădurilor au fost lăsate pe plan secundar, făcându-se în acest domeniu cheltuieli minime pentru a obține maximum de profit din exploatare.

Intensitatea exploatărilor forestiere atinge un maxim între cele două războaie mondiale, - în 1930 depășind cu circa 60% creșterea realizată în pădurile accesibile. Acesta a fost momentul în care companiile cu capital străin au lăsat dezgolite multe bazine hidrografice (Vrancea, Arieș, Lotru, Ampoi, Sebeș etc.). Aceștia au lăsat pradă areale întregi eroziunii și au provocat dezechilibrul structurii forestiere în ceea ce privește clasele de vârstă. Operația a fost de asemenea amplă chiar și în perioada 1949-1964 (Damian, 1978).

O dată cu schimbarea regimului politic și ca urmare a despăduririlor masive din perioada menționată s-a constituit un program de conservare și dezvoltare a fondului forestier pentru perioada 1976 – 2010 care a fost adoptat prin Legea nr. 2 din 15 aprilie 1976. Prin acest program se stabilesc, pentru prima dată, măsurile pe termen lung, cu consecințe deosebit de favorabile în gospodărirea fondului forestier (Programul național pentru conservarea și dezvoltarea fondului forestier în perioada 1976-2010).

Astfel pentru cunoașterea resurselor forestiere, s-a trecut la o gospodărire pe baze științifice a fondului forestier și stabilirea posibilității pădurilor, astfel s-au elaborat amenajamentele silvice pentru toate pădurile, țara noastră fiind prima din lume cu fondul forestier amenajat în totalitate; amenajamentele se revizuiesc periodic, din 10 în 10 ani, iar pe baza lor se întocmește din 5 în 5 ani inventarul național al fondului forestier (Legea nr. 2 din 15 aprilie 1976).

3.4. Studii și metode de cercetare a evoluției pădurilor românești

În România s-a folosit inițial pentru inventarierea pădurilor planurile topografice. După ceva timp, au fost introduse și fotografiile aeriene. Primele fotografii aeriene din România au fost obținute în perioada 1910-1914, iar ultimele datează din anul 2005 (Popescu, 2009). Recent în anumite stațiuni de cercetare au fost utilizate imagini satelitare de înaltă rezoluție, Formosat-2, precum și procedee de fotogrammetrie digitală, dar numai pentru inventarierea pădurilor. La fel este și cazul datelor de tip LIDAR (<http://www.madr.ro>, proiectul PS 851).

Studii care au folosit imagini satelitare Landsat au fost cele efectuate de Olofsson et al. (2011), Kuemmerle et al. (2009), Knorn et al. (2012). Acestea au fost studii care au evidențiat modificări asupra structurii pădurii.

Alte studii de evaluare a despăduririlor au fost cele care au folosit datele furnizate de proiectul Corine Land Cover (Kozak et al., (2007); Dutcă & Abrudan, (2010)). Pentru zona de studiu aleasă în acest proiect Costea & Haidu (2010) au încercat să evalueze despăduririle din bazinele de recepție mici.

4. Realizarea bazei de date

Baza de date utilizată în acest studiu se bazează atât pe surse cartografice clasice, cât și digitale. Pentru a descrie și defini un areal geografic este nevoie de o bază de date care să conțină elemente cu coordonate x, y și z cunoscute. Combinată cu alte date, o bază de date cartografică poate fi utilizată pentru a reprezenta distribuția unei variabile în cadrul regiunii geografice studiate.

4.1. Baza de date cartografică

În ceea ce privește baza de date cartografică clasică, pe suport de hârtie, necesară studiului, s-a dispus de o bază de date formată din:

- Hărți ale cadastrului apelor, scara 1:100000, care au fost utilizate în primă fază pentru localizarea și delimitarea primară a bazinelor hidrografice.
- Hărți pedologice, la scara 1:200000 pentru obținerea informațiilor cu privire la tipul de sol și textură pentru a obține valorile diferiților coeficienți.
- Hărți topografice, scara 1:25000, care au fost utilizate pentru a obține, în format digital, toate informațiile necesare cu privire la configurația bazinelor
- Hărți silvice, scara 1:20000. Hărțile silvice, scara 1:20000, redau fondul forestier care s-a obținut prin planimetrarea unor planuri de bază la scara 1:10000 (în cazul bazinelor montane). Aerofotografierea a fost executată în 1962, reperajul și descifrarea în 1963, iar cartografierea în anii 1966-76.

4.2. Baza de date alfanumerică și surse de date secundare

Introducerea datelor alfanumerice este necesară pentru diverse etape din cadrul unui studiu. Aproape întotdeauna informația trebuie extrasă într-o sursă electronică dintr-o sursă analogică sau nu (depinde de disponibilitatea acesteia). De multe ori însă este necesară introducerea acestora manual. În acest mod putem crea date privind descrierea diverselor trupuri de pădure. Astfel, se obțin practic date atribut auxiliare care vor servi la obținerea de noi informații. Astfel am utilizat:

Pentru a centraliza datele parcelare, practic s-a construit un Sistem Informatic Forestier care stochează informații cu privire la structura arboretului, compoziția, specii etc. Un exemplu de un astfel de sistem poate fi considerat și cel realizat de către Haidu & Costea (2009) pentru U.P. I Ijar, o zonă învecinată cu zona considerată în prezentul studiu. Utilizarea unui astfel de sistem presupune existența unei baze de date spațiale care să ofere, în funcție de interogarea ei, informația dorită.

Pentru a identifica și alte tipuri de acoperire a terenului am utilizat fotografiile vechi și noi, astfel am putut realiza cu precizie ridicată suprafețe de probă în vederea calibrării și realizării librării spectrale și nu în ultimul rând în vederea validării rezultatelor obținute în urma clasificării imaginilor satelitare.

4.3. Baza de date digitale

Bazele de date digitale constituie ultimele surse de date în materie de analiză spațială și modelare GIS. Din multitudinea de date existente am utilizat, procurat și realizat următoarele tipuri: Imagini satelitare Landsat (<http://earthexplorer.usgs.gov>); măsurători GPS; Modelul Digital de Elevație ASTER v.2 (<http://asterweb.jpl.nasa.gov>).

4.4. Rezoluția spațială și temporală. Alegerea senzorului de teledetecție

Alegerea și achiziția imaginilor satelitare este una din cele mai importante faze ale unui proiect care se bazează pe teledetecției. Acest pas este cel mai important deoarece rezultatele finale sunt influențate de către calitatea datelor introduse. O imagine fără nori cu maximum de vizibilitate poate fi considerată o foarte bună sursă. În al doilea rând, este foarte important să ținem minte scopul pentru care utilizăm imaginile satelitare deoarece foarte multe tipuri de imagini și senzori au diferite caracteristici spectrale și spațiale.

4.4.1. Platforme de teledetecție și tipuri de senzori

Utilizând definiția la scară mai largă a teledetecției, putem spune că sunt nenumărate tipuri de platforme pe care se poate construi sau monta un senzor de teledetecție. Discuțiile din acest capitol se vor rezuma la platformele comerciale și senzorii cei mai cunoscuți utilizați în

cartografie și aplicații GIS disponibile publicului. Sateliții și avioanele colectează majoritatea datelor și imaginilor de bază utilizate în GIS. Sensorii dezvoltati pe aceste platforme încorporează camere cu film sau digitale, detectori de lumină, sisteme LIDAR, sisteme radar (SAR), scannere multispectrale și hiperspectrale. Multe din aceste instrumente pot fi de asemenea montate pe platforme terestre, cum ar fi camioane, tractoare, tancuri etc. Ca și platforme se mai pot folosi baloane și elicoptere.

Dintre cei mai cunoscuți senzori amintim: MSS, TM, ETM+ (Landsat), AVHRR (NOAA), SPOT (Spot Image), MODIS (Terra), ASTER (NASA, Terra), IKONOS (GeoEye), ș.a.

4.4.2. Rezoluție spațială și temporală. Date tehnice

Pentru a înțelege mai bine destinația acestei multitudini de sateliți și pentru a argumenta alegerea făcută ne-am propus să realizăm și un scurt capitol tehnic cu privire la specificațiile tehnice ale celor mai utilizați senzori în aplicațiile asupra mediului și mai ales asupra vegetației. Pentru aceasta este necesar să distingem tipurile de senzori în funcție de acțiunea lor care poate fi pasivă sau activă.

Landsat a fost luat în considerare și datorită accesibilității, costurilor, precum și perioadei luate în considerare.

Sateliții Landsat poartă în spațiu senzori pasivi care nu emit radiații către Pământ. În schimb ei captează radiația electromagnetică emisă de suprafața Pământului. Landsat-1 a fost primul satelit de observație a Pământului (EOS) și a fost lansat de către Statele Unite ale Americii în 1972. Era recunoscut pentru abilitatea sa de a observa suprafața Pământului de la mare distanță, din spațiu. Calitățile sale excelente au marcat studiile de teledetecție de-a lungul timpului. După Landsat 1 au mai fost lansate Landsat 2, 3, 4, 5 și 7. Landsat 7 este operat în prezent ca și satelit principal.

Landsat 5 a fost echipat cu un scanner multispectral (MSS) și unul „Thematic Mapper” (TM). MSS este un senzor optic proiectat să observe radiația solară, care este reflectată dinspre suprafața Pământului în patru diferite benzi spectrale, folosind combinația dintre un sistem optic și un senzor. TM este o versiune mult mai avansată a echipamentului de observație folosit pentru MSS. Acesta observă suprafața Pământului în șapte benzi spectrale care se întind de la spectrul vizibil până la zonele infraroșii ale spectrului electromagnetic (Tabelul nr. 4.1).

Tabelul nr. 4.1 Date tehnice ale senzorilor Landsat MSS, TM și ETM+

Landsat MSS	Landsat TM	Landsat ETM+
MultiSpectral Scanner	Thematic Mapper	Enhanced Thematic Mapper +

Canalul	Lungime de undă [nm]	Rezoluție spațială [m]	Canalul	Lungime de undă [nm]	Rezoluție spațială [m]	Canalul	Lungime de undă [nm]	Rezoluție spațială [m]
			Blue (1)	450-520	30	Blue	450-515	30
Green (4)	500-600	60	Green (2)	520-620	30	Green	525-615	30
Red (5)	600-700	60	Red (3)	630-690	30	Red	630-690	30
NIR (6)	700-800	60	NIR (4)	760-900	30	NIR	750-900	30
NIR (7)	800-1100	60	SWIR ₁ (5)	1550-1750	30	SWIR ₁	1550-1750	30
			TIR (6)	1040-1250	120	TIR	1040-1250	60
			SWIR ₂ (7)	2080-2350	30	SWIR ₂	2090-2350	30
						PAN	500-900	15
Altitudine	907-915 km			705 km			705 km	
Imagine	185 x 185 km			185 x 185 km			185 x 185 km	

Baza de date Landsat poate fi accesată în mod gratuit de pe internet. Există două linkuri oficiale care oferă acces gratuit la bazele de date: <http://earthexplorer.usgs.gov> și <http://glovis.usgs.gov>. aceste două linkuri permit utilizatorilor să vadă, să manipuleze și descărce scene Landsat din arhiva oferită. În baza de date Landsat au fost identificate câteva imagini pentru aria de studiu (Tabelul nr. 4.2).

Tabelul nr. 4.2 Baza de date Landsat identificată

Data captării imaginii	Tipul de senzor
20 August 1981	MSS
29 August 1988	TM
22 August 2000	ETM+
26 August 2010	TM

5. Legătura dintre obiectele mediului înconjurător și spectrul electromagnetic

Agitația particulelor încărcate magnetic, prezente în toată materia terestră, cauzează emisia, radiația, undelor electromagnetice a obiectelor de pe Pământ. Obiectele emit această energie, dar de asemenea o transmit, o absorb și o reflectă. Soarele este una din principalele surse naturale de energie electromagnetică de pe Pământ (<http://www.state.nj.us>). Astfel, din această interacțiune, este important de știut cum fiecare element influențează pe celălalt.

5.1. Spectrul electromagnetic

Spectrul magnetic este energia continuă care variază de la lungimi de undă nanometrice la cele metrice; se deplasează cu viteza luminii și se propagă printr-un vacuum așa cum este spațiul cosmic. Toată materia radiază un anumit interval de energie electromagnetică. Fig. 5.1 arată

spectrul electromagnetic, care poate fi divizat în mai multe regiuni. Spectrul variază de la lungimi de undă ultra-scurte a razelor gama (măsurate în fracțiuni de nanometrii) (gamma, raze X) până la lungimi de undă lungă a zonei radio (unde măsurate în metri) (unde lungi AM, unde scurte).

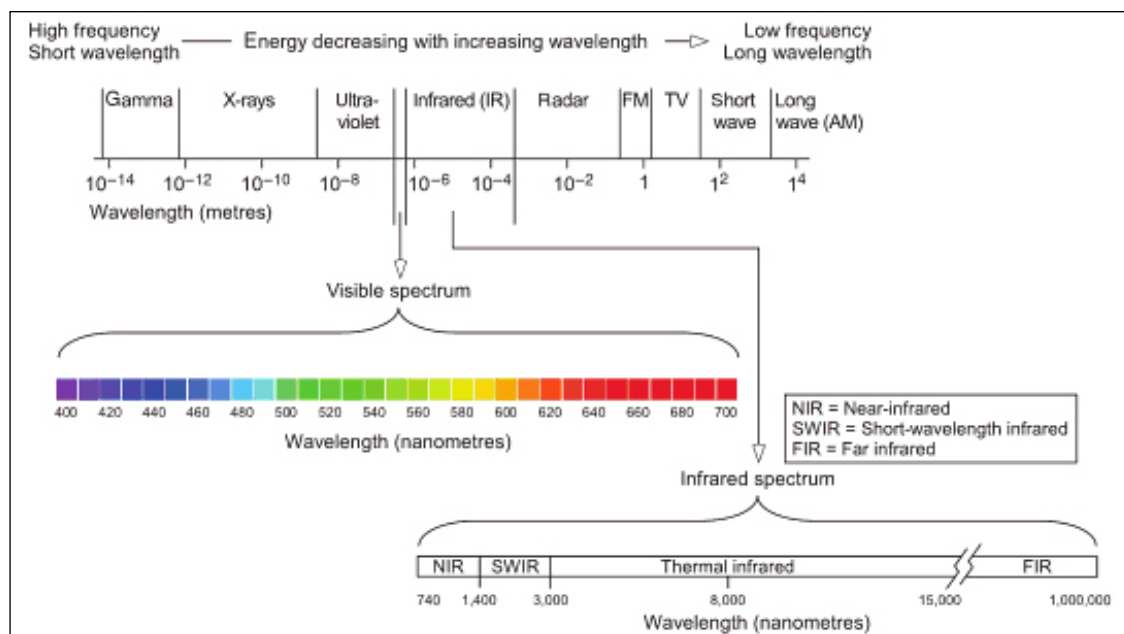


Fig. 5.1 Spectrul Electromagnetic (Purkis & Klemas, 2011).

Orice combinație a undelor spectrului magnetic care impresionează retina umană, definește o culoare care poate fi închisă sau deschisă, care depinde de intensitatea lungimilor de undă componente. Spectrul vizibil (Visible spectrum) este reprezentat de undele electromagnetice care pot fi detectate de ochiul uman. Spectrul vizibil poate fi regăsit în natură sub formă de curcubeu. Lungimea de undă mai scurtă care iese din afara spectrului vizibil este UltraViolet-ul (UV), iar lungimea de undă mai lungă este InfraRoșu-ul (IR). Deși nu sunt percepute direct de către oameni, undele ultraviolete pot face ca anumite materiale să emită lumină vizibilă și unde infraroșii care pot fi detectate de anumite echipamente (camere și senzori) și convertite în lumină vizibilă (<http://cobra.rdsor.ro>).

5.1.2. Radiația electromagnetică și interacțiunea sa cu atmosfera Pământului

Radiația electromagnetică are rolul de a transporta informația în teledetecție. Sistemele tehnice sunt bazate pe comportamentul radiației incidente pe suprafața Pământului. Majoritatea aplicațiilor utilizează radiația solară incidentă (Fig. 5.2). Iluminarea naturală este una din caracteristicile scannerelor pasive utilizate în teledetecție (Popescu, 2009). În timpul acestor interacțiuni ce au loc între materie și radiația electromagnetică sunt conservate masa și energia în acord cu principiile fizice de bază.

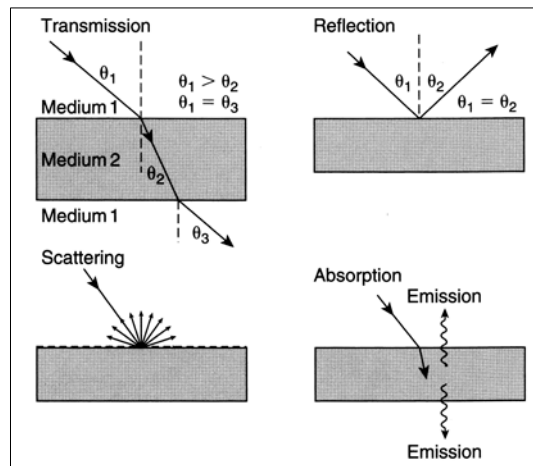


Fig. 5.2 Vedere detaliată a interacțiunii radiației electromagnetice cu materia (Avery & Berlin, 1992).

Din cauza acestor interacțiuni, radiația incidentă nu poate fi decât: transmisă, reflectată, dispersată, absorbită, emisă.

Emisia, dispersia și reflexia sunt denumite fenomene de suprafață deoarece aceste interacțiuni sunt determinate în special de proprietățile suprafeței, cum ar fi culoarea și rugozitatea. Transmisia și absorbția sunt denumite fenomene de volum deoarece sunt determinate de caracteristicile interne ale materiei, cum ar fi densitatea și conductivitatea. Energia incidentă este reprezentată de suma acestor fenomene dată de ecuația (5.1). Aceasta este o ecuație care redă inter-relația dintre interacțiunile energiei ca o funcție a lungimii de undă (λ).

$$i_{\lambda} = r_{\lambda} + \tau_{\lambda} + \alpha_{\lambda} \quad (5.1)$$

unde:

i_{λ} - energia incidentă radiantă;

r_{λ} - energia absorbită;

τ_{λ} - energia transmisă;

α_{λ} - energia reflectată.

Combinăția particulară a interacțiunilor de volum și suprafață cu orice material particular depinde atât de lungimea de undă a radiației electromagnetice, cât și de proprietățile specifice ale materialului. Aceste interacțiuni între materie și undele electromagnetice sunt înregistrate în imaginile de teledetecție, care interpretează fiecare caracteristicile materiei (Sabins, 2007).

Reflectanța spectrală este o proprietate a materialului observat și este o cantitate adimensională. Valoarea sa este între 0 și 100 dacă utilizăm expresia procentual sau între 0 și 1

dacă o utilizăm normal. Reflectanța nu este măsurată direct în teledetecție, ea trebuie determinată indirect (Peddle et al., 2001).

Obiectele iluminate de Soare răspund diferit în aceeași zonă spectrală. De exemplu, în infraroșu diferența dintre pădurea de foioase și cea de pin poate fi observată. În spectrul vizibil diferența dintre ele este făcută de coroanele izolate ale arborilor. Culoarea este un element de diferențiere numai în anumite perioade a anului. Așa cum de exemplu este cazul primăverii și toamnei în zonele temperate.

Fiecare obiect și fenomen din teren are un răspuns spectral caracteristic. Acesta definește semnătura spectrală care diferă de la un obiect la altul, chiar dacă imaginea percepută de ochiul uman are aceeași culoare. De exemplu, răspunsul spectral al coroanei merilor este identic la prima vedere cu cel al prunului, dar diferența poate fi observată mai bine în afara spectrului vizibil, în banda infraroșie.

Intensitatea unei reflectate (puterea) modificată de atmosferă între senzor și pământ se numește radianță (L_λ). Radianța este ceea ce senzorul măsoară și poate fi foarte diferită de ceea ce este reflectat de pe Pământ din cauza ceții sau altor substanțe care dispersează lumina (Lachowski et al., 1995). Radianța are unități de măsură specifice, iar de obicei se măsoară în wați/steradian/m²/nm ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$). În Fig. 5.3 se pot observa semnăturile spectrale a celor trei materiale principale de la suprafața pământului: vegetație, sol, apă.

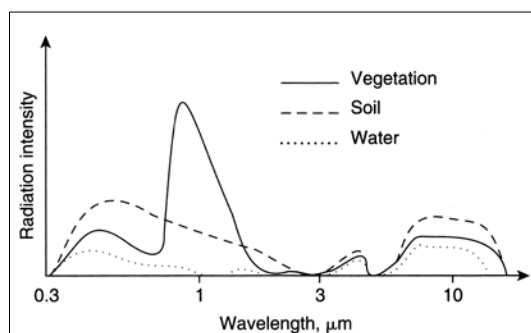


Fig. 5.3 Intensitatea unei reflectate pentru cele trei materiale principale (Avery & Berlin, 1992).

Reflectorii sunt în general suprafețele care reflectă lumina. În natură ei nu sunt omogeni, chiar dacă aparent proprietățile fizice și chimice sunt uniforme. Reflectorii perfecți nu generează distribuția luminii (model fizic). Majoritatea lor sunt difuzi și necesită corecții radiometrice (Popescu, 2009).

Radianța este specifică pentru fiecare punct de pe Pământ și crește odată cu reflectanța și iradiația Solară. Obiectele cu radianță mare apar cu nuanțe luminoase. Acestea tind să devină albe când Soarele este la amiază, dacă este vară și dacă cerul nu are nori. Este cazul nisipului care datorită rugozității sale generează radiație difuză (Popescu, 2009).

5.2. Preprocesarea imaginilor satelitare

Preprocesarea imaginilor satelitare este o operație esențială înaintea clasificării imaginilor și a detectării schimbărilor. Preprocesarea cuprinde în mod normal a serie secvențială de operații, incluzând și corecția atmosferică sau normalizarea, corecția geometrică, aplicarea unei măști (de exemplu pentru nori, apă, elemente irelevante) (Coppin & Bauer, 1996).

Deoarece acest studiu va utiliza doar imagini Landsat, vom particulariza aplicarea operațiilor anterior amintite doar pentru acest tip de imagini.

Datele Landsat sunt oferite în valori de tip DN (digital numbers) la diferite nivele de preprocesare. Multe din imagini sunt de tipul Level 1T, care înseamnă că imaginea a fost corectată radiometric, geometric și de asemenea ortorectificată. De fapt ni se oferă o imagine gata de utilizare. Este interesant de știut modul în care aceste imagini au ajuns la acest nivel și de asemenea este util a se cunoaște pașii necesari care trebuiesc urmați pentru a avea o imagine de tipul Level 1T.

5.2.1. Operații de bază de preprocesare a imaginilor

Landsat a clasificat produsele sale în funcție de nivelul de preprocesare. Level 0 este primul nivel și reprezintă datele în format brut. Pentru Landsat TM acest tip de imagini corespund nivelului Level 0, iar în cazul lui ETM+ nivelului Level 0R. Formatul brut RAW este un format caracteristic care arată că nu s-a făcut nici o modificare imaginii. Acest tip de imagine se întâlnește înainte de corecția radiometrică și cea geometrică. Imaginea conține informații nealterate, care vor fi utilizate în procesul de corecție și un fișier generat de Landsat cu parametrii de calibrare (metadata). În acest caz doar fenomenul de pixel shifting este corectat. În acest fel toți pixelii din setul de imagini sunt bine aliniați. Procesele prin care se obțin produse de tipul Level 0R sunt reversibile.

Imaginile Level 1R sunt imagini Level 0R corectate radiometric. Înainte de acest pas, sunt efectuate corecții precum banding, destriping și corecția asupra erorilor de scanare.

Imaginile de tipul Level 1G sunt imagini Level 0R corectate radiometric și geometric. Aceste imagini sunt imagini care au suferit rectificări geometrice sau schimbări ale carioajului pixelilor cu scopul de a corespunde unei proiecții cartografice sau alte imagini de referință. Acest pas a devenit important când se dorește compararea imaginilor între ele sau comparația individuală a pixelilor în aplicații precum sunt cele de detectare a schimbărilor.

Imaginile de tipul Level 0R în momentul în care sunt ortorectificate devin Level 1T. Prin această operație obiectele sunt mai bine identificate, deoarece se elimină efectul de distorsiune introdus de relief. Această operație este realizată utilizând un model digital de elevație. Precizia

geodezică a imaginilor Level 1T depinde de punctele de control de la sol (GCP) și de rezoluția DEM-ului utilizat (<http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>).

5.2.2. Calibrarea imaginilor. Convertirea din DN în radianță

În timpul procesului prin care se obțin imagini de tipul Level 1G valorile pixelilor sunt convertiți în radianță absolută. Ecuația care se utilizează pentru a converti imaginile cu pixeli în valori DN în imagini de tipul Level 1G este:

$$L_{\lambda} = G_{\text{rescale}} * Q_{\text{CAL}} + B_{\text{rescale}} \quad (5.2)$$

care poate fi de altfel exprimată și în felul următor:

$$L_{\lambda} = \left((L_{\text{MAX}_{\lambda}} - L_{\text{MIN}_{\lambda}}) / (Q_{\text{CALMAX}} - Q_{\text{CALMIN}}) \right) * (Q_{\text{CAL}} - Q_{\text{CALMIN}}) + L_{\text{MIN}_{\lambda}} \quad (5.3)$$

unde:

L_{λ} = Radianța spectrală la nivelul sensorului, în $W/(m^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu m)$;

G_{rescale} = coeficient de amplificare rescalat, în $W/(m^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu m)/DN$;

B_{rescale} = coeficient de compensare, în $W/(m^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu m)$;

Q_{CAL} = cuantificarea valorii pixelului, calibrat în valori DN¹;

$L_{\text{MIN}_{\lambda}}$ = radianță spectrală pentru DN=0 sau DN=1 în $W/(m^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu m)$;

$L_{\text{MAX}_{\lambda}}$ = radianța spectrală pentru DN=255 în $W/(m^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu m)$;

Q_{CALMIN} = valoarea minimă cuantificată a pixelului (corespunde lui $L_{\text{MIN}_{\lambda}}$), în valori DN;

= 1 pentru produsele LPGS²;

= 1 pentru produsele NLAPS³, produse/procesate după 4 Aprilie 2004;

= 0 pentru produsele NLAPS procesate înainte de 5 Aprilie 2004;

Q_{CALMAX} = valoarea maximă cuantificată a pixelului (corespunde lui $L_{\text{MAX}_{\lambda}}$),

în valori DN; $Q_{\text{CALMAX}} = 255$.

Pentru a rula ecuația (5.3) putem folosi softul ENVI care are deja încorporat acest algoritm. (<http://www.exelisvis.com>).

5.2.3. Calibrarea radianță – reflectanță

Normalizarea imaginilor satelitare ține cont de combinația care se realizează între reflectanța măsurabilă a atmosferei, dispersia și absorbția aerosolului, și suprafața pământului

¹ DN = digital numbers, este o mărime adimensională și reflectă valoarea radiației, reflectată de către suprafața Pământului, măsurată de senzor (<http://landsat.gsfc.nasa.gov>).

² LPGS = Level-1 Product Generation System;

³ NLAPS = National Landsat Archive Production System.

(Kim & Elman, 1990). Volatilitatea atmosferei poate introduce variație între valorile reflectanței sau valorile digitale (DN) ale imaginilor satelitare capturate la momente diferite. Deși efectele atmosferei asupra datelor de teledetecție nu sunt considerate erori, deoarece acestea sunt o parte din semnalul primit de dispozitivul de detectare, considerarea acestor efecte este importantă. Obiectivul convenabil ar trebui să fie acela că după preprocesare imaginii, toate imaginile ar trebui să apară ca și cum ele ar fi capturate de același senzor (<http://www.cast.uark.edu>).

Pentru imaginile Landsat relativ clare, o reducere în variabilitatea dintre imagini poate fi făcută normalizând radiația solară convertind radianța spectrală, calculată mai sus, în reflectanță planetară sau albedo. Această reflectanță obținută dintre combinația suprafața și atmosfera Pământului poate fi calculată cu următoarea formulă (Chander & Markham, 2003):

$$\rho_p = \frac{\pi * L_\lambda * d^2}{ESUN_\lambda * \cos \theta_s} \quad (5.4)$$

unde:

- ρ_p - reflectanță planetară adimensională;
- L_λ - radianța spectrală la nivelul senzorului;
- d - distanța Pământ – Soare în unități astronomice;
- $ESUN_\lambda$ - Radiația solară exoatmosferică medie;
- θ_s - Unghiul zenital al Soarelui în grade.

5.2.4. Corecția atmosferică

Obiectivul corecției atmosferice este acela de a obține reflectanța suprafeței (care caracterizează proprietățile suprafeței, proprietățile fizice ale materialelor) din imagini obținute prin teledetecție eliminând efectele atmosferice.

Pentru a compensa efectele atmosferice, proprietăți precum cantitatea vaporilor de apă, distribuția aerosolilor și vizibilitatea scenei trebuie cunoscute. Deoarece măsurătorile directe ale acestor proprietăți atmosferice sunt rar disponibile, există tehnici care însă pot deduce aceste valori din amprenta lăsată pe imaginile hiperspectrale calibrate în radianță. Aceste proprietăți sunt ulterior utilizate pentru a constrânge modelele de transfer ale radiației, extrem de precise, să producă o estimare a reflectanței adevărate a suprafeței.

6. Caracteristicile semnăturilor spectrale ale diferitelor entități geografice

Noțiunea de „semnătură spectrală”, în teledetecție, acoperă o arie în care sunt implicate fenomene foarte complexe. Toate obiectele mediului reflectă și emit flux de energie sub formă de radiație electromagnetică. Variația relativă a energiei reflectate sau emise ca o funcție a lungimii de undă reprezintă ceea ce noi numim semnătura spectrală a obiectului considerat. Astfel unui obiect dat, într-o anumite stare, trebuie să-i corespundă un spectru unic. Acest spectru poate fi utilizat pentru a identifica obiectul și starea sa. Pentru un satelit care face măsurători într-un anumit număr de benzi, semnătura spectrală a unui obiect corespunde unor niveluri radiometrice diferite, niveluri care se înregistrează în fiecare bandă (Guyot, 1989).

Semnătura spectrală variază în funcție de sezonul de vegetație (este cazul pădurilor de foioase care au frunze doar câteva luni din an), momentul capturării elementelor antropice (starea culturilor, clădirile aflate în construcție etc.), locația obiectului în teren, respectiv data și timpul la care se face captura (aspect care ne oferă azimutul și înălțimea Soarelui).

6.1. Interpretarea semnăturii spectrale a mineralelor și solurilor

Forma spectrului reflectanței mineralelor se datorează absorbției prezente în multe benzi care rezultă în urma a două procese diferite: tranzițiile electronilor și vibrațiile ionice (Guyot, 1989).

Tranzițiile electronilor de la un nivel de energie la altul este legat de anionii de metal. Aceștia produc benzi spectrale largi care apar în principial în ultraviolet. Numărul lor scade când lungimea de undă crește. Practic limita benzilor rezultată din tranziția electronilor este în jur de 1.1 μm .

6.2. Interpretarea semnăturii spectrale corespunzătoare vegetației

Toate spectrele frunzelor plantelor mici sau ale speciilor de arbori (incluzând și acele coniferelor) au aceeași formă, diferențele regăsindu-se doar în amplitudinea lor. Astfel pot fi distinse trei regiuni spectrale: Spectrul vizibil; Spectrul infraroșului apropiat; Spectrul infraroșului mijlociu.

Factori care pot influența răspunsul spectral al vegetației sunt:

- Tipul, anatomia sau faza fenologică a vegetației (înflorire, fructificare etc.);
- Vârsta vegetației;
- Starea în care se regăsește plante din punctul de vedere al conținutului de apă în momentul capturării imaginii;
- Deficitul de minerale;
- Atacurile paraziților; Reflexia din fundal a solului.

6.3. Interpretarea semnăturii spectrale corespunzătoare apei

În natură apa există în toate trei stările de agregare: lichidă, gazoasă (vapori de apă) și solidă (gheață și zăpadă). Apa curată este incoloră în straturi subțiri, dar ia nuanțe de albastru – verde în straturi mai mari de 6 cm. În circumstanțe speciale, când apa conține diverse substanțe dizolvate, culoarea se poate schimba în: galben palid, galben, maro, lăptoasă roșu și albastru. În aceste cazuri în apă pot exista oxid de fier, acizi humici, materii organice și clorofilă. Nu ar trebui să ometem nici influența artificială și poluanții. Aceasta este o realitate prezentă în multe din corpurile de apă din ariile populate cu activitate economică (<http://www.scrigroup.com>).

7. Metode de analiză a imaginilor satelitare pentru evaluarea schimbărilor de la nivelul covorului vegetal

Pentru a realiza analiza imaginilor și evaluarea schimbărilor de la nivelul acoperiri terenului, și în special a despăduririlor, a fost urmărită diagrama din Fig. 7.1. Imaginile în format digital permit utilizarea proceselor numerice, analiza și aplicarea a unor variate metode de clasificare (<http://www.geog.ubc.ca>). Clasificarea imaginilor este procesul utilizat pentru a produce hărți tematice.

Temele pot varia, de exemplu, de la categorii ca solul, vegetația, și suprafața apei la o descriere generală a unei zone rurale, diferite tipuri de soluri, vegetație, adâncimea apei sau limpezimea pentru descrieri mai detaliate. Este important ca alegerea categoriilor care urmează a fi reprezentate de către hărțile tematice să fie în concordanță cu categoriile entităților care se regăsesc în imaginile satelitare. Cum am precizat mai devreme, un număr de factori pot cauza confuzii în ceea ce privește semnătura spectrală, incluzând topografia, umbrirea reliefului, variabilitatea atmosferică, schimbările calibrării senzorului etc. Unele din aceste efecte pot fi modelate, altele nu, în acest mod ele trebuind tratate ca o simplă variabilitate statistică (Schowengerdt, 2007).

De obicei, o clasificarea tematică a unei imagini implică mai mulți pași: extragerea entităților, eșantionarea, etichetarea. Rezultatul final este o transformare a imaginii numerice în date descriptive care pun în evidență diferite categorii de materiale sau condiții. În virtutea procesului de etichetare, datele se convertesc într-o formă care are o valoare informațională (Schowengerdt, 2007).

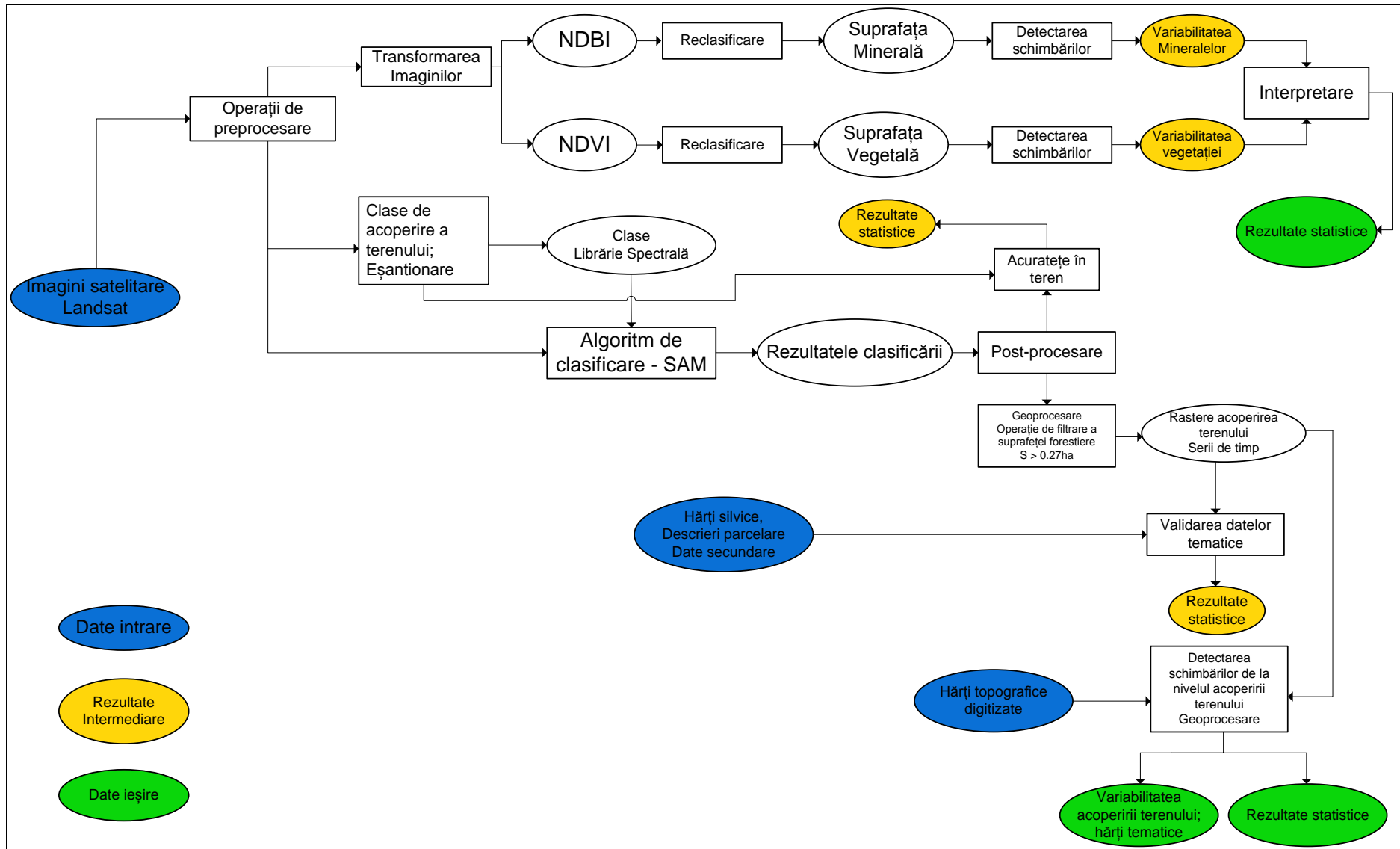


Fig. 7.1 Etape în analiza imaginilor satelitare și evaluarea schimbărilor de la nivelul acoperirii terenului – diagramă.

7.1. Transformarea imaginilor folosind indici spectrali

Transformările spectrale alterează spațiul spectral și transformările spațiale alterează spațiul imaginii. Multe din aceste spații transformate sunt foarte utile clasificării tematice, și sunt denumite colectiv spații ale entităților în acest context. Entități variate pot fi descrise dacă le putem extrage din spațiul spectral. Aceste spații derivate nu adaugă noi informații imaginii, dar redistribuie informațiile originale mult mai util (Schowengerdt, 2007). Astfel utilizând indicii spectrali putem converti reflectanța spectrală (Chander & Markham, 2003) în informație biofizică care poate fi interpretată direct de către noi, utilizatorii.

7.1.1. Utilizarea indicilor spectrali pentru estimarea schimbărilor de la nivelul vegetației

Intenția este de a utiliza în primă fază doi indici spectrali pentru a estima schimbările de la nivelul vegetației și mineralelor care au loc în cele trei bazine hidrografice în perioada analizată. Indicii sunt: NDBI (Zha et al., 2003) și NDVI (Tucker, 1979).

7.1.2. Utilizarea indicelui NDBI în estimarea suprafețelor minerale

Indicele NDBI (Normalized Difference Built-up Index) a fost proiectat să realizeze separarea între ariile urbane și obiectele minerale de restul entităților dintr-o imagine. Practic să obțină separarea diverselor tipuri de suprafețe de cele minerale. Indicele NDBI utilizează banda de infraroșu mediu, TM5 (SWIR₁), și infraroșu apropiat, TM4 (NIR). Această metodă este o metodă rapidă de cartare a mineralelor cu rezultate satisfăcătoare.

Imaginile Landsat TM și ETM+ au fost utilizate în acest caz deoarece ele au o rezoluție spectrală mai bună decât Landsat MSS. Spectrul infraroșu a lui Landsat MSS nu este identic cu cel a lui Landsat TM sau ETM+, mai ales că zona de infraroșu mediu (SWIR₁), acolo unde mineralele au o reflectanță mai puternică, lipsește. Astfel procesând imaginile din baza de date s-a obținut variabilitatea indicelui NDBI pentru perioada 1988-2010 (Fig. 7.2, 7.3). Pentru acest pas a fost utilizat softul ENVI. Având rezultatele transformărilor am utilizat softul ArcGIS pentru a realiza operația prin care am obținut variabilitatea indicelui în perioada considerată. Astfel schimbările în sens negativ le-am denumit procese de mineralizare, iar procesele de schimbare în sens pozitiv le-am atribuit schimbărilor în alte tipuri de suprafețe.

Procesul de mineralizare are ponderea cea mai mare în perioada 1988-2000 în jurul cătunului Voiniga (Fig. 7.2), situat în centrul bazinului hidrografic Răcătău, la sud de La Crăci, respectiv în apropierea satelor Mărișel și Măguri situate în nordul bazinului, mai ales pe culmile versanților. În această perioadă în bazinele Someșul Cald și Beliș procesul de mineralizare nu este la fel de prezent ca și în cazul bazinului Răcătău. În această perioadă variabilitatea indică o schimbare spre alte tipuri de suprafață, diferită de cea minerală. În bazinul Răcătău procesul de

mineralizare persistă și în perioada 2000-2010 pe suprafețe însemnate cu aproximativ aceeași rată, dar mai mult în estul și sudul cătunului Voiniga și în împrejurimile cătunului La Crăci (Fig. 7.3). Se poate de asemenea observa că zona afectată intens de mineralizare în perioada 1988-2000, din nord-estul cătunului Voiniga, migrează acum spre alte tipuri de suprafețe diferite de cele minerale, semn al prezenței unui anumit tip de acoperire a terenului care are apă în structura sa. În celelalte două bazine un proces de mineralizare ceva mai accentuat se poate observa pe versantul care separă cele două bazine, la est de Poiana Horea.

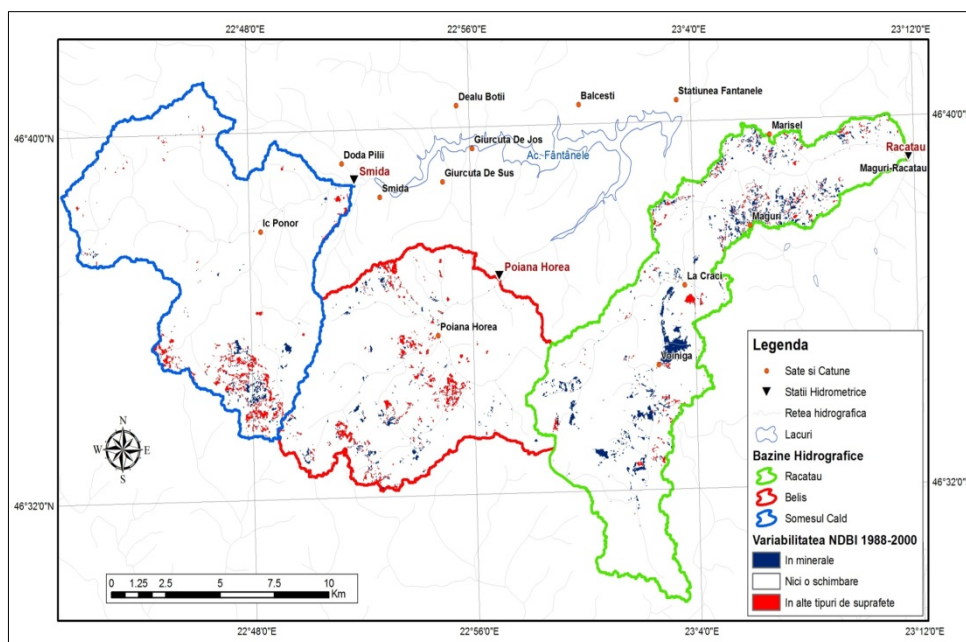


Fig. 7.2 Variabilitatea spațială a procesului de mineralizare după valorile indicelui NDBI (1988-2000).

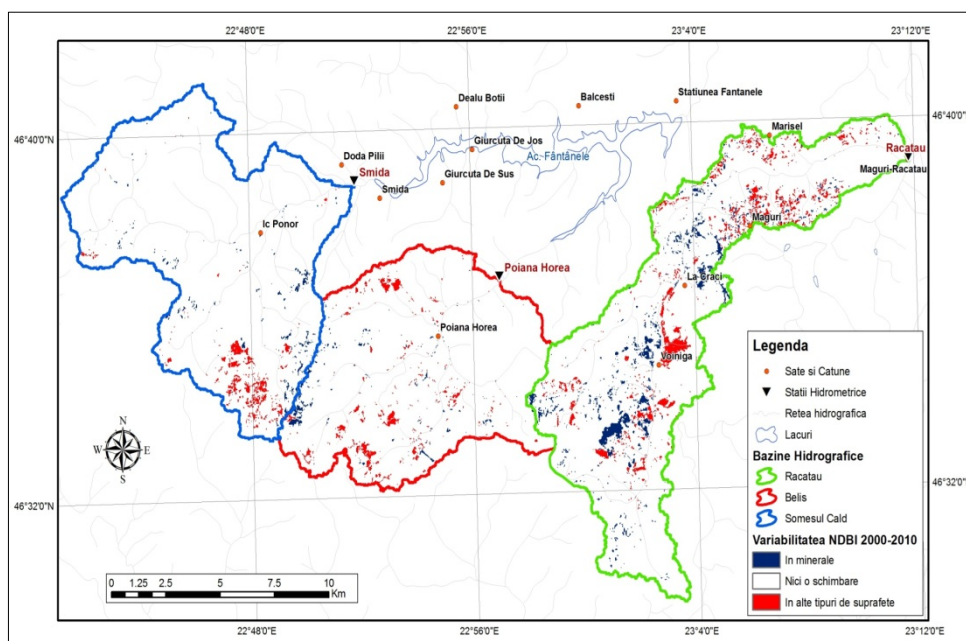


Fig. 7.3 Variabilitatea spațială a procesului de mineralizare după valorile indicelui NDBI (2000-2010).

7.1.3. Utilizarea indicelui NDVI în estimarea schimbărilor de la nivelul vegetației

Indicele NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Tucker, 1979) este unul din cei mai cunoscuți și mai utilizați indici din lume. NDVI este un indice care oferă o metodă standardizată de a compara „verdețea” vegetației între imaginile satelitare. Acesta utilizează banda de infraroșu apropiat și roșu vizibil.

Rezultatele aplicării valorilor prag asupra histogramelor NDVI au fost importate în ArcGIS și procesate pentru a obține diferențele și variabilitatea spațială a indicelui NDVI în perioada 1981-2010. În cazul imaginii capturate cu Landsat MSS (1981) înainte de aplicarea valorii prag s-a efectuat o operație de redimensionare a pixelilor imaginii. Am redimensionat astfel pixelii imaginii NDVI de la 60 la 30 m pentru a se putea potrivi în operațiile de detectare a schimbărilor cu restul rasterelor. Variabilitatea spațială a indicelui NDVI este prezentată în Fig. 7.4, 7.5 și 7.6.

Un aspect important de reținut este faptul că utilizarea indicelui NDVI nu presupune punerea în evidență a procesului de despădurire. Acesta precum și indicele NDBI pun în evidență faptul că există o variabilitate la nivelul vegetației, în general, indiferent de tipul acesteia, arborescentă sau ierboasă. Dacă este să urmărim variabilitatea atât a indicelui NDVI cât și a indicelui NDBI putem observa practic că cele două valori obținute se validează reciproc atât din punct de vedere spațial, cât și din punct de vedere al valorilor numerice. Un alt aspect foarte important este acela că pentru a determina suprafețele minerale și cele vegetale s-au folosit praguri valorice, care au permis manipularea histogramelor. Astfel putem considera că precizia ar avea de suferit, iar variabilitatea procesului la care face referire acest proiect nu pot fi estimate. Pentru aceasta este necesar a se extrage date tematice care să permită evaluarea strictă a variabilității pădurii.

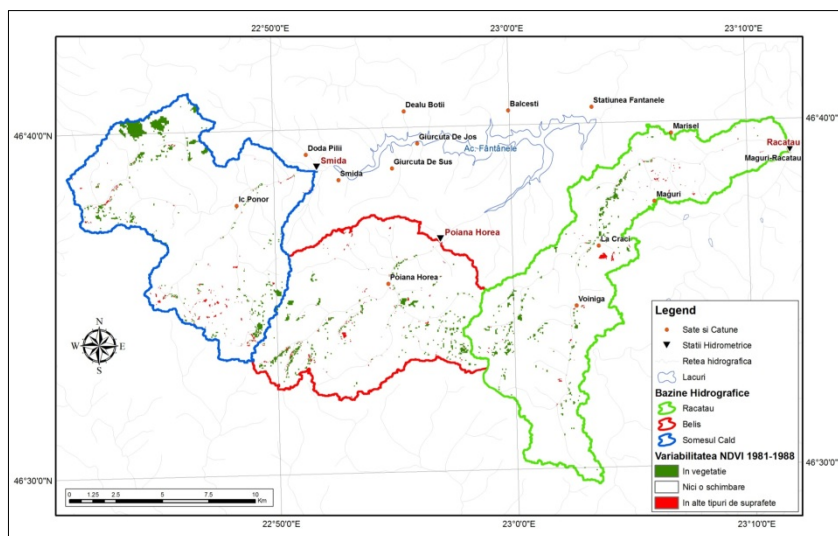


Fig. 7.4 Variabilitatea spațială a indicelui NDVI în perioada 1981-1988.

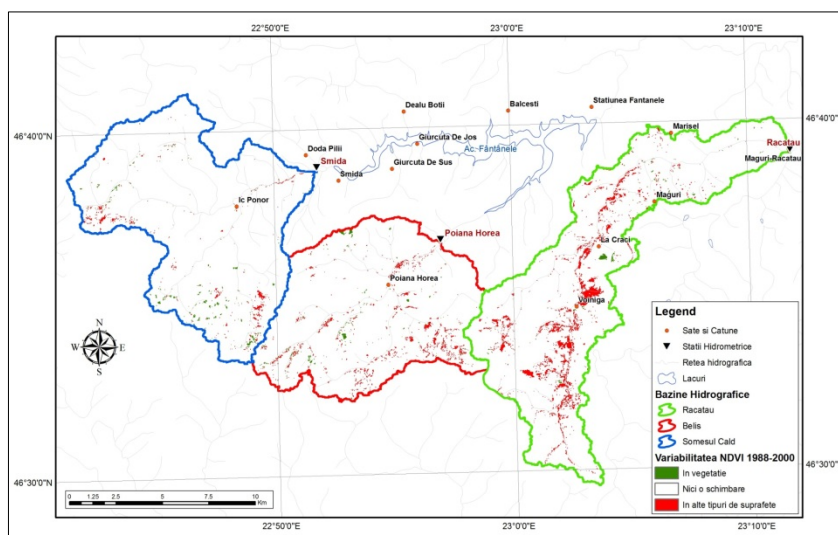


Fig. 7.5 Variabilitatea spațială a indicelui NDVI în perioada 1988-2000.

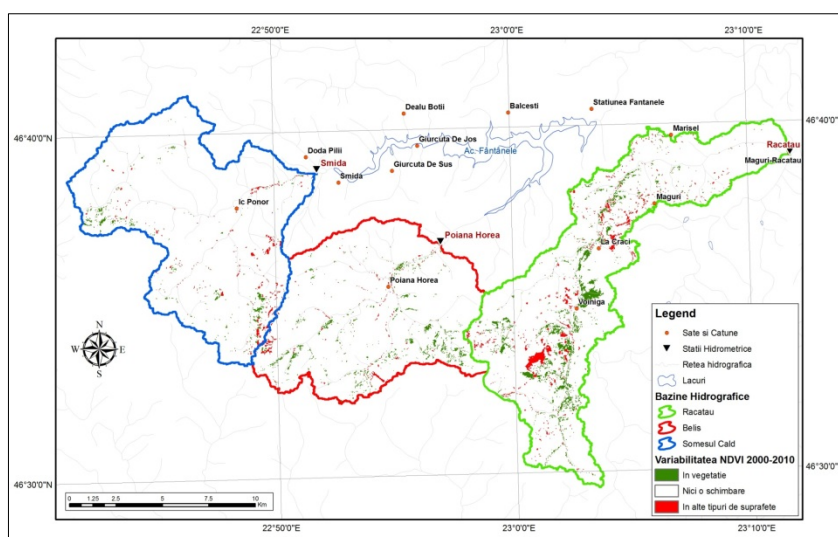


Fig. 7.6 Variabilitatea spațială a indicelui NDVI în perioada 2000-2010.

8. Extragerea datelor tematice pentru evaluarea despăduririlor

Entitățile lumii reale sunt atât de complexe încât ele ar trebui clasificate în clase de obiecte cu anumite similarități tematice, și modelate în baze de date spațiale. Obiectele dintr-o bază de date spațială sunt definite ca fiind reprezentări ale lumii reale care au asociate atribute. În general, datele geospațiale au trei componente majore: poziție, atribute și timp. Atributele sunt adesea denumite „date tematice” sau „date nespațiale”, care sunt legate cu datele spațiale sau geometrice. Un atribut are o caracteristică definită a entității în lumea reală. Atributele pot fi clasificate ca fiind normale, ordinale, numerice, condiționale sau care descriu alte caracteristici. Valorile atributelor sunt adesea listate în tabele atribut care stabilesc relația dintre atribute și datele spațiale cum sunt punctul, linia și aria, precum și între atribute (<http://stlab.iis.u-tokyo.ac.jp>).

8.1. Ce este o hartă tematică?

Acest sub-capitol este menit să clarifice ce anume reprezintă o hartă tematică, la ce anume se poate ea folosi și ce caracteristici poate o astfel de hartă reprezenta pentru a arăta o temă particulară conectată cu o zonă geografică specifică.

8.2. De ce anume avem nevoie? De tipul de acoperire a terenului sau de tipul de utilizare a terenului?

În multe din situații, termenii acoperirea terenului și utilizarea terenului tind să devină interschimbabili. Oricum există diferențe. Utilizarea terenului se referă la cum un teren este utilizat de către oameni. Cu alte cuvinte se referă la utilizarea economică a terenului. De exemplu se pune întrebarea dacă terenul este utilizat în scopuri comerciale (magazine, clădiri de birouri, apartamente etc.)? sau pentru scopuri industriale (fabrici, linii de asamblare etc.)? sau pentru scopuri recreaționale sau agricole? (<http://www.fao.org>; <http://www.cara.psu.edu>)

Considerând diferența dintre cei doi termeni și de fenomenul care urmează a fi analizat am decis că este nevoie de tipul de acoperire a terenului pentru a atinge unul din scopul acestui proiect. Astfel se va căuta să se obțină tipul de suprafață care acoperă terenul.

8.3. Metode de teledetecție utilizate în extragerea datelor tematice

Este posibil să analizăm datele obținute prin teledetecție și să extragem informații tematice utile. Trebuie ținut cont că datele sunt transformate în informații. Una dintre cele mai utilizate metode de extragere a informațiilor este clasificarea multispectrală. Această procedură presupune ca imaginile unui areal specific sunt capturate în mai multe regiunii ale spectrului electromagnetic și că imaginile sunt bine georeferențiate (Jensen, 1986). Obiectivul general a procedurii de clasificare a imaginilor este acela de a clasifica toți pixelii dintr-o imagine în clase ale acoperirii terenului sau teme.

Normal, datele multispectrale sunt utilizate pentru a realiza o clasificare. Procesul clasificării multispectrale poate fi realizat utilizând oricare din următoarele două metode: supervizat sau nesupervizat.

8.4. Clasificarea supervizată

Pentru a realiza o clasificare supervizată trebuie urmați anumiți pași cu rigurozitate (Jensen, 1986). Acești sunt: adoptarea unei scheme de clasificare; selectarea unor areale test (eșantioane) reprezentative; trebuie extrase rezultate statistice din datele spectrale ale eșantioanelor; trebuie selectat un algoritm de clasificare potrivit; trebuie evaluate statistic acuratețea clasificării; datele obținute trebuie validate cu „date din teren”.

8.4.1. Schema de clasificare

Categoriile de interes trebuie atent selectate și definite pentru a realiza cu succes clasificarea digitală a imaginii. Este important ca analistul să realizeze, oricum, că există o diferență fundamentală între ceea ce noi numim „clase de informații” și „clase spectrale” (Jensen et al., 1983; Campbell, 1983). Clasele de informații sunt acelea pe care omul le definește. În schimb, clasele spectrale sunt cele care sunt inerente în datele obținute prin teledetecție și trebuie identificate și etichetate de către analist. De exemplu, într-o imagine de teledetecție a unei arii urbane există posibilitatea să existe o singură rezidență familială. Un senzor cu rezoluția spațială de 30x30 m, cum este Thematic Mapper, este capabil să identifice doar câțiva pixeli puri care să reprezinte vegetația și câțiva pixeli puri care să reprezinte asfaltul sau acoperișul casei. Oricum, este mult probabil că în zona rezidențială valoarea luminozității pixelilor va fi o funcție a mixturii reflectanței dintre vegetație și beton. Din păcate, administratorii sau managerii teritoriului vor să vadă o hartă etichetată cu clase precum beton, vegetație, amestec de vegetație și beton. Bineînțeles că acești preferă ca analistul să redenumescă clasele de amestec ca o singură clasă, precum rezidențe familiale. Analistul trebuie să facă asta dacă există o bună asociere între clasele de amestec și rezidențele familiale (Jensen, 1986).

Considerând toate acestea și faptul că aria de studiu este una montană următoarele clase de elemente au fost alese pentru a extrage informațiile tematice de pe imaginile satelitare. Schema de clasificare aleasă este de nivel 1 și se aseamănă cu schema de clasificare NLCD 92¹ utilizată de USGS² (<http://landcover.usgs.gov>). Clasele de acoperire a terenului sunt:

- Apa;
- Terenurile acoperite cu pădure (Conifere, Foioase, Amestecuri);
- Terenuri cu ierburi înalte;
- Pajiști;
- Terenuri descoperite.

8.4.2. Descrierea tipurilor de acoperire a terenului considerate

După cum am menționat anterior, rezultatele procesului de clasificare trebuie să se potrivească cu legenda hărții topografice pentru a putea opera detectarea schimbărilor. Pe harta topografică în jurul ariei de studiu prezintă corpuri de apă, păduri, zone urbane și vegetație ierboasă care poate fi găsită sub formă de pajiști sau vegetație ierboasă înaltă. Anderson et al. (1976) și EPA (1992) definesc tipurile de acoperire a solului utilizate în sistemul de clasificare

¹ NLCD 92, National Land Cover Data 1992, (<http://eros.usgs.gov>).

² USGS, United States Geological Survey, (<http://www.usgs.gov/>).

utilizat în teledetecție. Definițiile prezintă informații foarte precise care ne-au ajutat să configurăm și să identificăm schema de clasificare și să alegem suprafețele de probă.

8.4.3. Crearea suprafețelor de probă

Procesele de clasificare actuale ale imaginilor multispectrale sunt foarte automatizate. În multe cazuri, procesul de alegere a suprafețelor de probă este unul atât științific cât și artistic. Este nevoie de interacțiunea dintre analist și datele imaginii. Este de asemenea nevoie de referințe substanțiale și o bună cunoaștere a arealului geografic căruia se aplică datele.

Cel mai important, calitatea procesului de alegere a suprafețelor de probă determină succesul clasificării, și astfel și valoarea informației generate de efortul depus pentru clasificare (Lillesand et al., 2004).

Ca parte a procesului de rafinare a eșantioanelor (suprafețelor de probă), calitatea generală a datelor conținute de fiecare eșantion construit este evaluat și separabilitatea spectrală între seturile de date este studiată.

8.4.4. Analiza statistică a datelor spectrale corespunzătoare eșantioanelor

Este necesar a se extrage valori statistice din răspunsul spectral al eșantioanelor. Valorile statistice au fost analizate pentru a selecta entitățile apropiate care vor fi utilizate în procesul de clasificare; aceasta va implica atât grafica computerizată cât și metode statistice de evaluare a gradului de separabilitate între clasele spectrale.

8.4.5. Evaluarea cantitativă a separabilității claselor de acoperire a terenului

Metodele statistice sunt utilizate pentru a cuantifica selecția eșantioanelor și pentru a avea un punct de vedere mai bun asupra separabilității statistice între oricare două clase. Problema de bază legată de recunoașterea formei răspunsului spectral este: dat fiind distribuția spectrală a n benzi ale datelor de teledetecție, să găsim o tehnică de discriminare care va permite separarea categoriilor majore de acoperire a terenului cu un minim de eroare și un număr minim de benzi.

O măsură a separabilității statistice între categorii a fost făcută pentru toate eșantioanele. În Fig. 8.1 sunt reprezentate eșantioanele rafinate. Valorile obținute în Fig. 8.1 reprezintă valoarea testului statistic Distance F (F-Test) care arată gradul de separabilitate a eșantioanelor.

Eșantioane	P. Foioase	P. Conifere	P. Amestec	Veget. Ierb. înaltă	Teren descoperit	Pajiște	Apă
P. Foioase	0.000						
P. Conifere	2.000	0.000					
P. Amestec	2.000	2.000	0.000				
Veget. Ierb. înaltă	2.000	2.000	1.968	0.000			
Teren descoperit	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000		
Pajiște	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000	
Apă	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000

Fig. 8.1 Statistica asupra eșantioanelor de probă – separabilitatea perechilor.

O notă finală care trebuie făcută este aceea că rafinarea eşantioanelor este de obicei cheia prin care îmbunătățim acuratețea procesului de clasificare. Oricum, dacă anumite tipuri de acoperire a terenului din imagine au similarități în răspunsul spectral, nu le putem nici re-eșantiona, nici rafina. În acest caz trebuiesc utilizate metode alternative pentru a face discriminarea între aceste tipuri de acoperire a terenului (Jensen, 1986; Lillesand et al., 2004).

8.4.6. Construirea librăriei spectrale

În acest studiu am ales a construi librăria spectrală din spectre culese din analiza imaginilor. Astfel utilizând eşantioanele unice obținute am construit cu ajutorul softului ENVI o librărie spectrală unică având ca imagine test, imaginea din 1988. Pentru a testa acuratețea procesului de clasificare am decis că este necesar a realiza o librărie spectrală atât pentru imaginea calibrată în reflectanță cât și în radianță.

8.4.7. Selectarea algoritmului de clasificare

Numeroase metode de clasificare pot fi utilizate pentru a atribui un pixel unei anumite clase. Alegerea unei metode de clasificare particularizate depinde de natura datelor de intrare și de datele rezultate dorite (Friedman, 1980).

Dintre cele mai utilizate algoritme de clasificare amintim: Clasificarea paralelipipedică; Tehnica distanței minime; Verosimilitate maximă; Clasificarea folosind distanța; Tehnica de clasificare folosind codificarea binară; Spectral Angle Mapper (<http://www.exelisvis.com>).

Pentru a realiza clasificarea imaginilor a fost ales algoritmul Spectral Angle Mapper. Această alegere a fost făcută deoarece am creat cu succes un set de eşantioane unice care ne-a permis să realizăm o librărie spectrală unică care poate fi utilizată pentru a clasifica toate imaginile. Nu în ultimul rând și datorită avantajelor algoritmului.

8.4.8. Algoritmul Spectral Angle Mapper

Metoda Spectral Angle Mapper (SAM) (rom. Cartarea Unghiului Spectral) este una din cele mai bune metode de clasificare. Este o metodă geometrică care utilizează un unghi n -dimensional pentru a compara pixelii cu spectrul de referință. Algoritmul determină similitudinea spectrală între două spectre calculând unghiul dintre spectre, tratând spectrele ca vectori într-un spațiu cu o dimensiune egală cu numărul de benzi. Această tehnică de clasificare dacă se aplică datelor calibrate în reflectanță sau radianță și este insensibilă la efectele iluminării și albedoului. Spectrele de referință utilizate de SAM pot proveni din fișiere ASCII, librării spectrale sau pot fi extrase direct din imagine. SAM compară unghiul dintre vectorul corespunzător spectrului de referință și vectorul fiecărui pixel într-un spațiu n -dimensional. Unghiurile mici reprezintă asemănări apropiate spectrului de referință. Pixelii aflați la un unghi

mai mare decât unghiul maxim considerat ca prag nu sunt clasificați (Kruse et al., 1993; Yuhas et al., 1992; Van der Meer et al., 1997; Rowan & Mars., 2003; De Carvalho & Meneses, 2000).

8.4.9. Clasificarea imaginii utilizând SAM

Algoritmul de clasificare a fost aplicat atât imaginii test (1988) calibrate în radianță cât și în reflectanță. Acest pas a fost necesar deoarece am dorit să vedem care din cele două variante aduce îmbunătățiri rezultatului clasificării.

Utilitatea oricărei clasificări este în cele din urmă dependentă de producerea de rezultate care oferă efectiv informația interpretată utilizatorului final. Clasificare prin metoda SAM presupune utilizarea reflectanței. Oricum, eroarea introdusă de utilizarea radianței este probabil, în multe cazuri foarte mică (<http://www.exelisvis.com>).

8.5. Evaluarea acurateții rezultatului clasificării

Din rezultatele obținute se poate observa că toți factorii statistici care au fost evaluați sunt foarte apropiați ca valoare și am putea spune că utilizând radianța putem obține o acuratețe mai bună. Însă această afirmație nu este întărită de inspecția vizuală a hărții rezultate putându-se observa la nivelul rezultatelor clasificării că existe diferențe în ceea ce privește clasificare tipului de pădure și a vegetației ierboase. Aceasta deoarece radianța este afectată de radiația solară și de către topografia terenului (Serradj, 1991). Majoritatea pădurilor situate pe pante orientate către Soare, au fost clasificate ca foioase în loc de conifere. În cazul folosirii reflectanței această deficiență a fost corectată, și a fost obținut tipul de acoperire corect. Astfel am decis că este util a considera clasificarea imaginilor calibrate în reflectanță.

8.6. Clasificarea multi-temporală a imaginilor

Clasificarea multi-temporală a imaginilor a presupus utilizarea librăriei spectrale unice create pentru imaginile calibrate în reflectanță. Astfel s-au obținut hărți cu stratul ce definește acoperirea terenului pentru anii 1988, 2000 și 2010 cu o acuratețe generală ce nu scade sub 90%. Rezultatele spațiale ale clasificării se prezintă ca în Fig. 8.2; 8.3; 8.4.

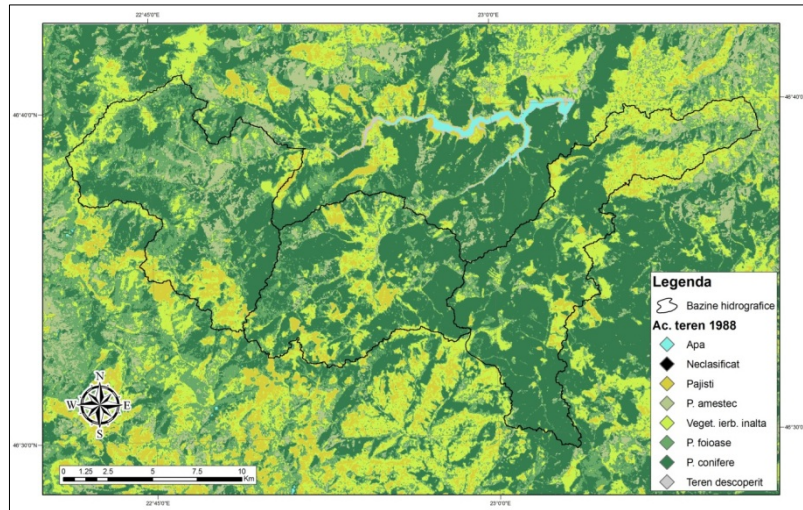


Fig. 8.2 Rezultatele procesului de clasificare pentru anul 1988.

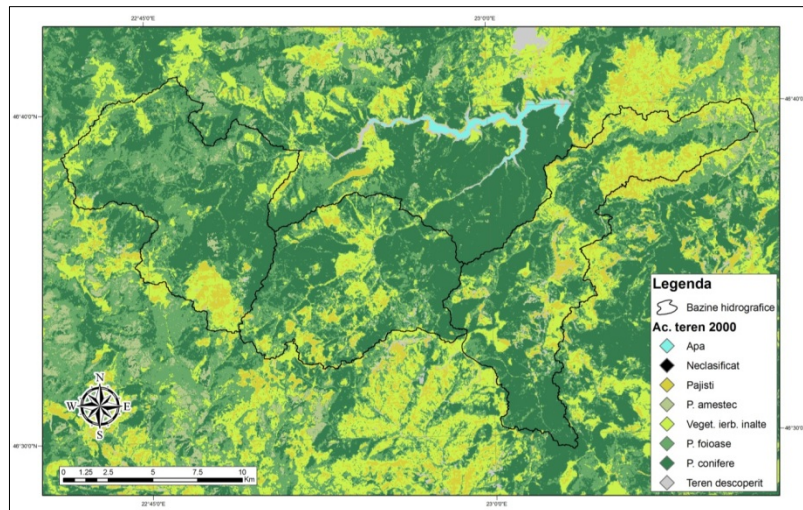


Fig. 8.3 Rezultatele clasificării pentru anul 2000.

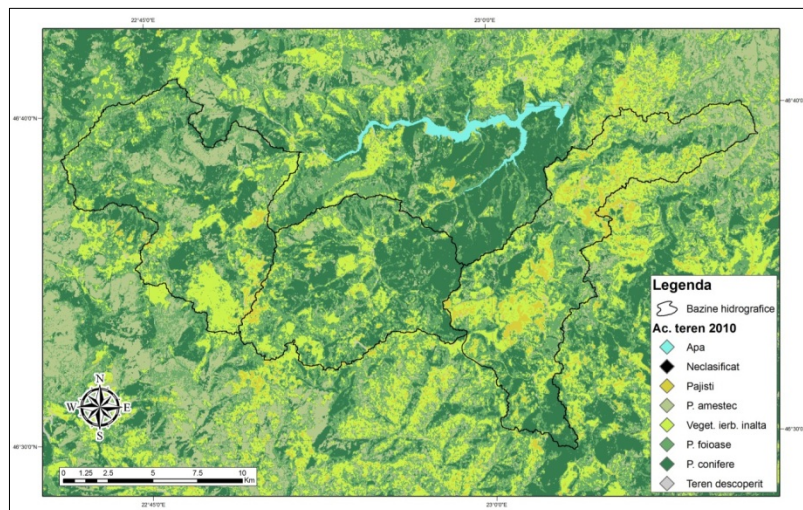


Fig. 8.4 Rezultatul clasificării pentru 2010.

8.7. Validarea datelor tematice

Validarea este un proces de estimare care se concentrează pe acuratețea produselor obținute prin teledetectie. Această evaluare se realizează de obicei nu pentru toată harta, ci pe un eșantion semnificativ din punct de vedere statistic (http://geomatrica.como.polimi.it/corsi/rs_ia).

Informațiile de teren deseori menționate ca fiind „date de referințe”, presupun colectarea de măsurători sau observații despre obiectele, ariile sau fenomenele care vor fi detectate. Aceste informații de teren pot fi utilizate de către geografi pentru a-i ajuta în interpretarea, analizarea și validarea datelor obținute prin teledetectie (<http://weather.msfc.nasa.gov>).

Prin nenumăratele surse de informații de teren se află măsurătorile spectrale de la fața locului, fotografiile aeriene, rapoarte descriptive și tabele de inventariere, precum și hărți (<http://www.fas.org>).

În acest studiu informațiile de teren au fost colectate pentru clasa corespunzătoare pădurilor de pe hărți silvice și tabele de inventariere. Au fost identificate în cele din urmă trei arborete care nu s-au schimbat cu trecerea timpului. Pentru restul entităților am utilizat date auxiliare din hărți silvice, fotografiile de teren noi și vechi, vizite pe teren (pentru pajiști, teren descoperit, vegetație ierboasă înaltă).

Rezultatele testării veridicității clasificării au arătat că metoda de clasificare aleasă este una precisă. Aceasta oferind rezultate foarte bune chiar și în condiții de secetă, cum este cazul anului 2000.

8.8. Detectarea schimbărilor la nivelul acoperirii terenului

Pentru a detecta schimbarea de la nivelul acoperirii terenului a fost realizat un model GIS. Acesta are ca date de intrare datele tematice filtrate (suprafețe de pădure ≥ 0.27 ha) obținute din imaginile satelitare și harta topografică. Acest lucru a fost posibil cu ajutorul softului ArcGIS Desktop.

Rezultatele rulării algoritmului de detectare a schimbărilor au fost reprezentate sub formă grafică și tabelară. Legat de reprezentarea spațială a schimbărilor trebuie făcute câteva precizări. În legenda hărții sunt reprezentate procesele care marchează schimbarea. Suprafețele care nu au suferit nici o schimbare în perioada analizată sunt clasificate ca „Neschimbat” și sunt reprezentate cu alb pe hartă. Schimbările de la nivelul pădurii sunt denumite „Despăduriri” pentru situația în care suprafața acoperită cu pădure s-a schimbat în alte tipuri de acoperire. În ceea ce privește creșterea pădurilor și pentru a putea raporta schimbările (sau progresul) am folosit parametrii „împădurire” și „reîmpădurire”. Acești termeni apar descriși în raportul FRA 2010 (<http://www.fao.org>).

Pe legenda hărții apare „Reîmpădurire/Împădurire” pentru situația când pădurea a fost replantată sau și-a recăpătat vigoarea de creștere și consistența, în acest fel pixelul apărând ca zonă împădurită pe imaginea satelitară. Am denumit „mineralizare” orice proces de schimbare care avea loc pentru orice tip de acoperire a terenului care se schimbă în teren descoperit. Cu privire la clasele care reprezintă vegetația ierboasă înaltă și pajiștile, precum și schimbarea în acest tip de suprafață am denumit procesul „rotația vegetației ierboase”.

Rezultatele detectării schimbării sunt considerate numai pentru aria de studiu și nu pentru întreaga imagine analizată. Valorile care evidențiază schimbările sunt prezentate în următoarele figuri.

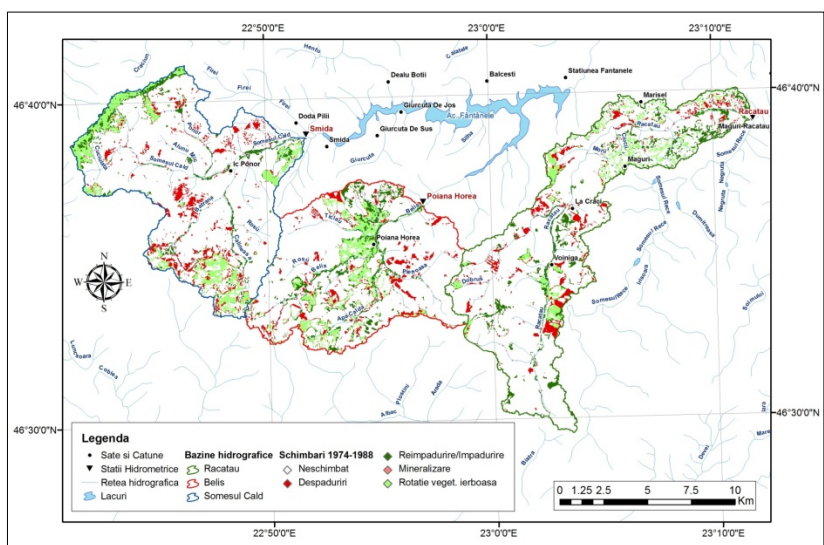


Fig. 8.5 Schimbările survenite la nivelul acoperirii terenului în perioada 1974-1988.

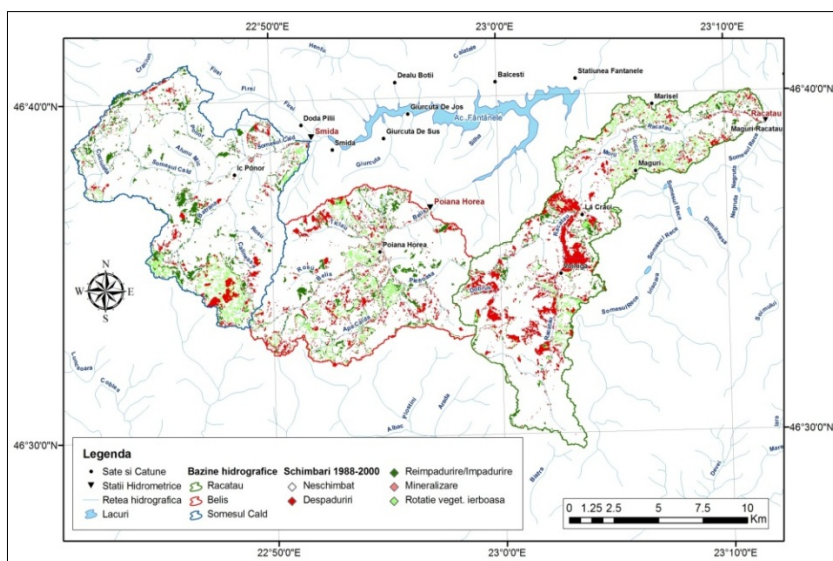


Fig. 8.6 Schimbările survenite la nivelul acoperirii terenului în perioada 1988-2000.

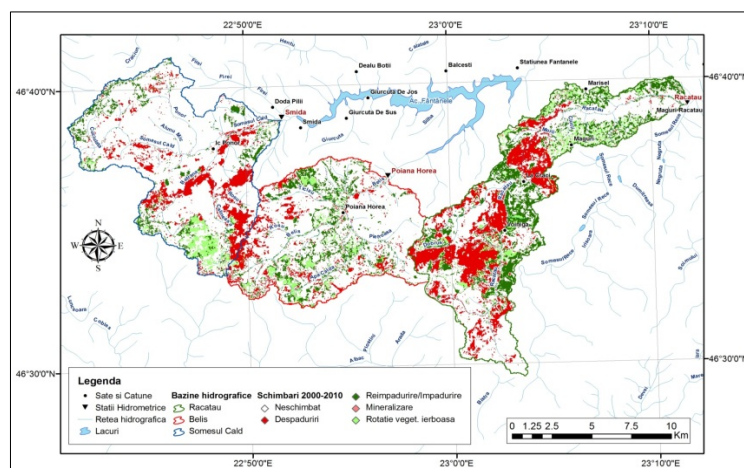


Fig. 8.7 Schimbările survenite la nivelul acoperirii terenului în perioada 2000-2010.

În Fig. 8.5, 8.6, 8.7 sunt spațializate schimbările de la nivelul acoperirii terenului, schimbări ce au avut loc în perioada 1974-2010. Se poate observa că de la începutul perioadei studiate a existat o mică variabilitate în ceea ce privește procesul de despădurire. În jurul satului Poiana Horea (în bazinul Beliș) putem vedea că în timpul primei perioade analizate a existat o refacere bună a pădurii. După 1988 lucrurile s-au schimbat pentru toate bazinele și în special pentru Răcățoiu. Din distribuția spațială a schimbărilor survenite în acoperirea terenului putem vedea că cele mai afectate suprafețe sunt situate în jurul cătunului Voiniga, în centrul bazinului Răcățoiu (Fig. 8.6). Procesul crește ca și întindere în 2000. Astfel, în bazinul Răcățoiu aceeași arie este mult mai afectată. Procesul afectează de asemenea zona din jurul cătunului La Crăci. Se poate observa că procesul este de asemenea prezent pe o mare suprafață în interiorul bazinului Someșul Cald. Cea mai afectată regiune este situată la S-SE de satul Ic Ponor (Fig. 8.7).

9. Evaluarea despăduririlor pentru perioada 1974-2010

În acest capitol s-a studiat efectiv variabilitatea fenomenului de degradare a pădurii pentru toate cele trei bazine considerate.

9.1. Ce sunt despăduririle?

Despăduririle ca și proces, dintr-un punct de vedere general, sunt toate procesele prin care pădurea sau un arboret sunt complet eliminate de la suprafața solului în acest fel schimbându-se tipul de acoperire a terenului. Acest proces poate avea loc din ambele cauze, atât naturale cât și antropogene. Exemple de despăduriri includ doborâturi de arbori produse de vânturi puternice și căderi masive de zăpadă, cutremure, avalanșe, alunecări de teren (cauze naturale), foc (care poate fi atât natural, cât și provocat), expansiune agricolă, dezvoltare urbană și nu în ultimul rând tăieri efectuate de administratorul silvic (tăieri în fond forestier), precum și tăieri ilegale și iraționale (cauze umane).

9.2. Evaluarea procesului de despădurire

Problema detectării schimbărilor de la nivelul tipului de acoperire a terenului este una esențială. Este important de știut ce schimbări au loc într-o locație anume. Exemplele includ conversia unui teren împădurit într-unul descoperit (Boriah et al., 2008). Evoluția generală a procesului de despădurire în perioada studiată este prezentată în aria de studiu din Fig. 9.1.

Pentru a îndeplini unul din obiectivele studiului, și-anume acela de a efectuat o evaluare statistică și spațială asupra procesului de despădurire trebuie să evaluăm acest proces în fiecare bazin hidrografic. Aceasta înseamnă că trebuie făcută o analiză spațială pentru fiecare bazin hidrografic în parte.

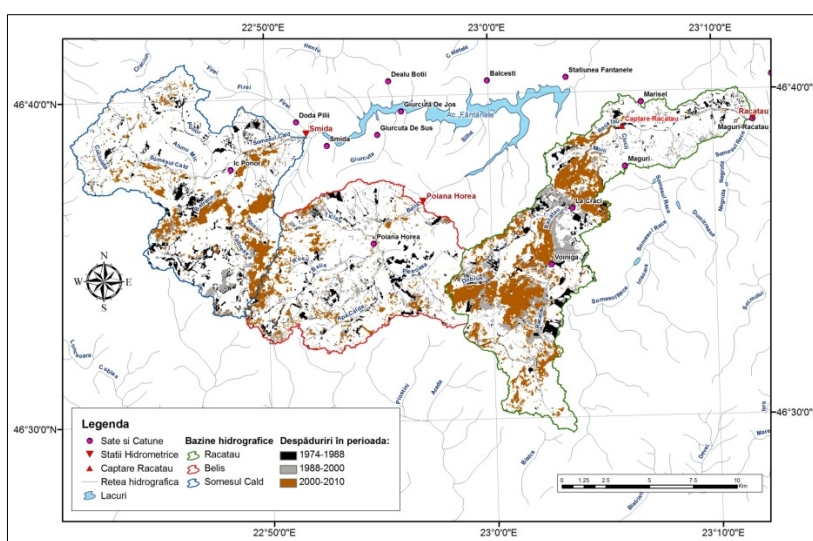


Fig. 9.1 Evoluția procesului de despădurire în perioada 1974 – 2010.

În ceea ce privește evoluția despăduririlor în bazinele studiate acestea variază conform Fig. 9.2, 9.3, 9.4.

Dacă pentru bazinul Beliș situația despăduririlor în perioada 1974-2010 este relativ constantă, pentru bazinele Racătau și Someșul Cald pădurea ajunge să aibă de suferit pe aproximativ 21% la sfârșitul anului 2010, în bazinul Racătau, respectiv 11% în perioada 2000-2010 în bazinul Someșul Cald.

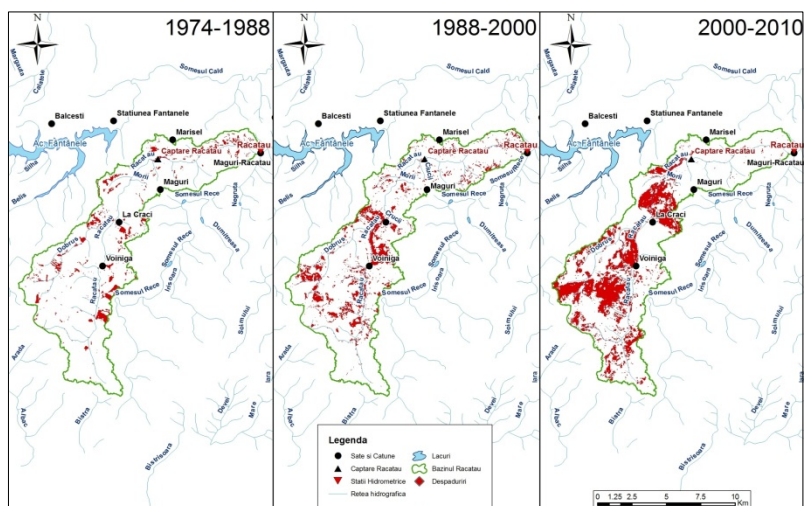


Fig. 9.2 Evoluția procesului de despădurire în bazinul hidrografic Răcățâu.

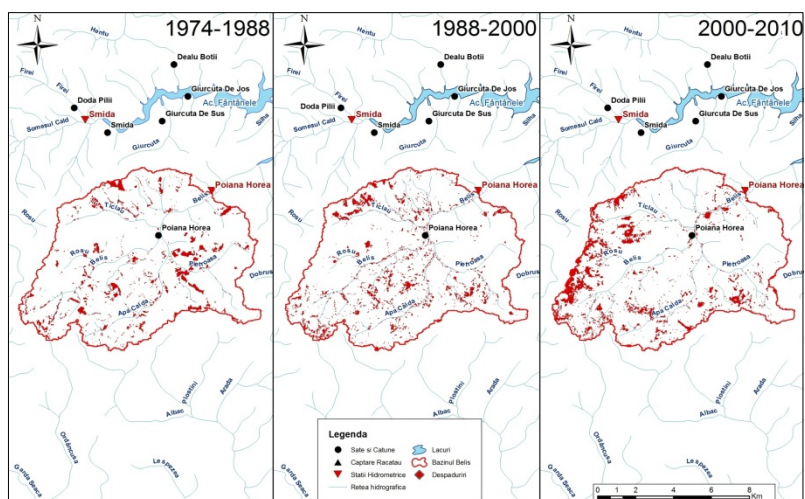


Fig. 9.3 Evoluția procesului de despădurire în bazinul hidrografic Beliș.

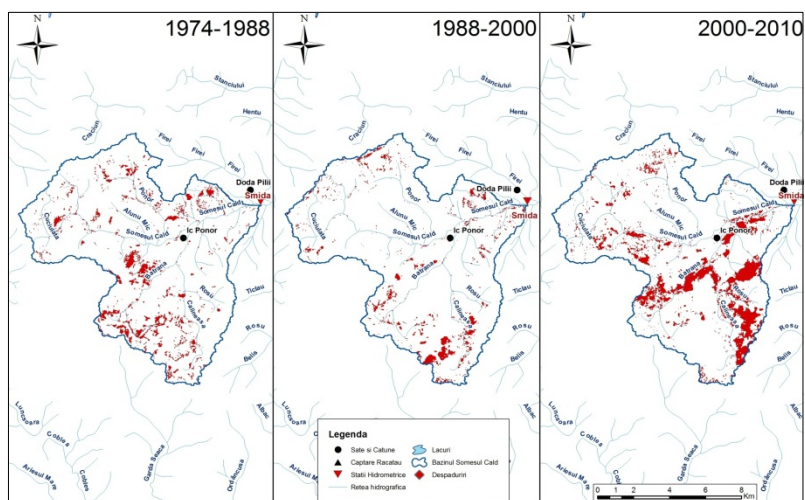


Fig. 9.4 Evoluția procesului de despădurire în bazinul hidrografic Someșul Cald.

10. Schimbarea suprafeței subiacente în perioada 1974-2010 și unele consecințe asupra câtorva indici ai scurgerii de suprafață

Acest capitol este menit să pună în evidență rolul pe care îl are procesul de despădurire în formarea caracteristicilor suprafețelor subiacente. Acest lucru s-a făcut prin utilizarea unor indicatori care utilizează pădurea, și restul tipurilor de acoperire a terenului, pentru a fi calculat.

10.1. Indicatori ai schimbării caracteristicilor suprafeței subiacente

Este imposibil să studiem sau să inventariem fiecare arboret într-un bazin hidrografic montan. De aceea se utilizează parametrii (indicatori) care pot fi utilizați pentru a estima situația unui anumit bazin hidrografic în ceea ce privește situația acoperirii cu păduri și mai ales rolul pe care acestea îl pot avea în schimbarea caracteristicilor suprafeței subiacente.

10.1.1. Gradul de împădurire

Gradul de împădurire este cel mai simplu indice care poate face referire la caracteristicile suprafețelor subiacente de la nivelul bazinelor hidrografice. El este dat de formula:

$$C_p \% = \frac{\text{suprafata împădurită}}{\text{suprafata bazinului hidrologic}} * 100 \quad (10.1)$$

Variabilitatea gradului de împădurire este prezentată în Fig. 10.1.

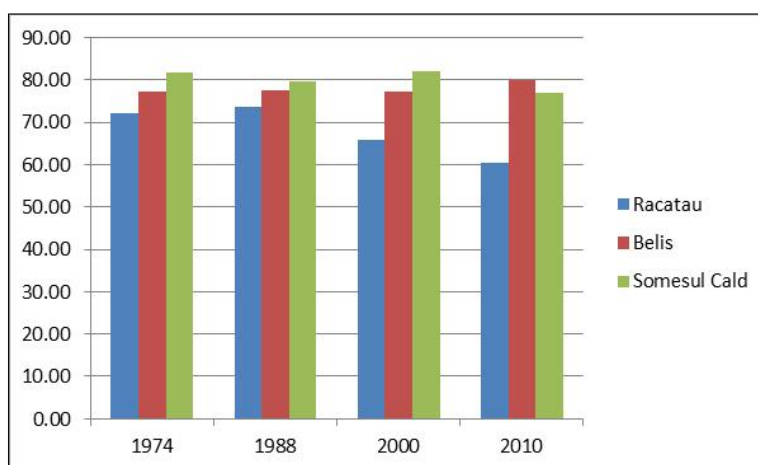


Fig. 10.1 Variabilitatea gradului de împădurire în perioada 1974-2010.

10.1.2. Efectele despăduririlor asupra coeficienților medii de scurgere

Frevert a propus identificarea coeficientului de scurgere în funcție de folosința terenului, panta și textura solului, coeficientul putând lua valori între 0,1 pentru terenuri cu pantă foarte

mică, acoperite cu vegetație arbustivă și textura solului ușoară și 1 pentru suprafețe cu scurgere de 100%.

Pentru a obține distribuția spațială și pentru a putea extrage datele necesare studierii variabilității coeficientului de scurgere a fost realizat un model GIS. Rezultatele aplicării modelului GIS este redat în Fig. 10.2 sub forma unei hărți.

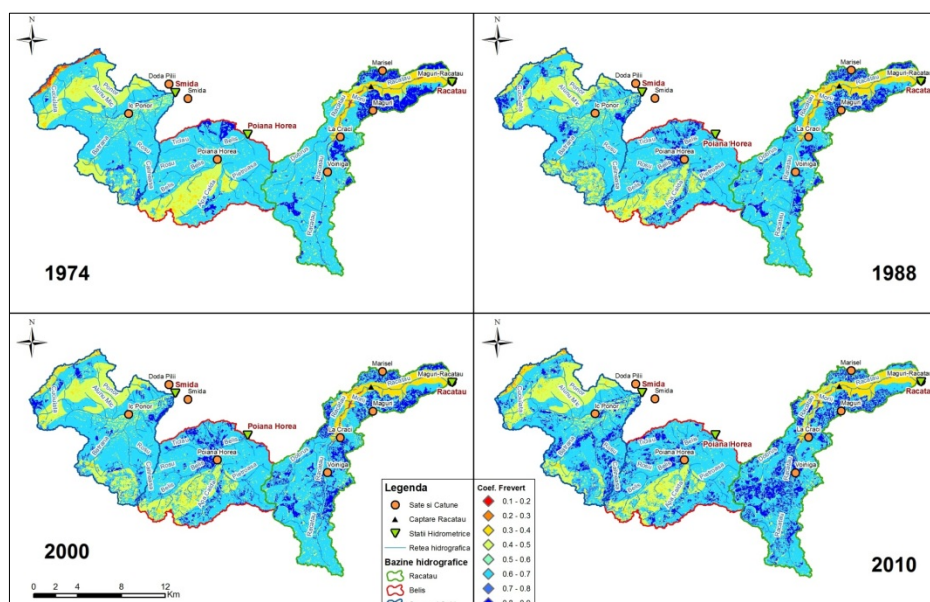


Fig. 10.2 Distribuția spațială a coeficienților Frevert.

Din punct de vedere al variabilității coeficientului de scurgere, am calculat și coeficientul de scurgere mediu ponderat a fiecărui bazin. Pentru aceasta am utilizat în ecuația coeficientul mediu de scurgere. Acesta i-a în considerare suprafața ocupată de fiecare tip de acoperire a terenului. Rezultatele au arătat că o legătură evidentă, o corelație, între variabilitatea suprafeței împădurite și coeficientul de scurgere Frevert se regăsește la nivelul bazinului Răcătău și la nivelul bazinului Someșul Cald, dar cu o valoare ceva mai scăzută (Fig. 10.3, 10.4).

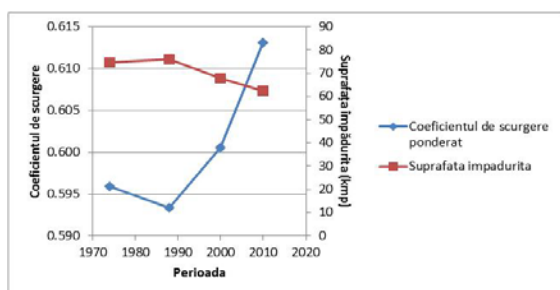


Fig. 10.3 Variabilitatea coeficient de scurgere – suprafață împădurită în bazinul Răcătău.

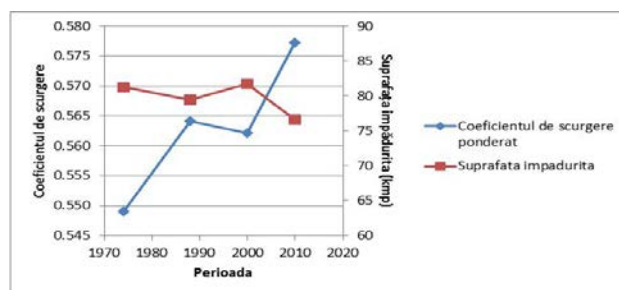


Fig. 10.4 Variabilitatea coeficientului de scurgere – suprafață împădurită în bazinul Someșul Cald.

10.1.3. Efectele despăduririlor asupra valorilor indicelui Curve Number

Curve Number este un parametru hidrologic empiric utilizat pentru a descrie potențialul unei zone de drenaj față de apa provenită din ploile torențiale. Acesta este calculat în funcție de tipul de acoperire a terenului, tipul hidrologic de sol și umezeala solului. Schimbările de la nivelul suprafeței subiacente pot fi reprezentate, evidențiate, de acest parametru (USDA-SCS, 1985). CN este un coeficient adimensional ce poate varia între 30 și 100. Determinarea în studiile hidrologice a lui Curve Number se poate face în funcție de tipul hidrologic de sol și utilizarea terenului considerând parametrul umezeală ca fiind în condiții normale (USDA-SCS, 1985). Și în acest caz a fost realizat un model GIS pentru a obține variabilitatea indicelui la nivelul celor trei bazine. Rezultatul se prezintă ca cel din Fig. 10.5.

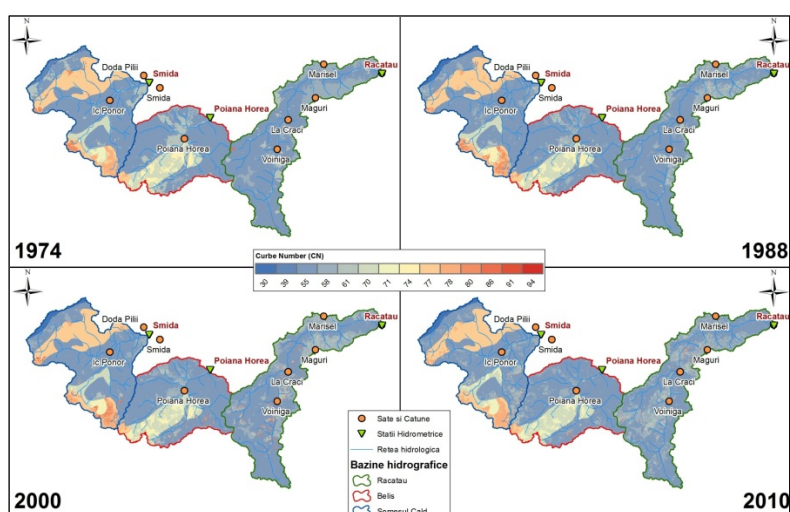


Fig. 10.5 Variabilitatea indicelui Curve Number în perioada 1974-2010.

În cazul indicelui CN s-au determinat și suprafețele sub-bazinale ale celor trei bazine, astfel s-a reușit determinarea unui indice CN mediu ponderat pentru fiecare din bazine. Fig. 10.6.

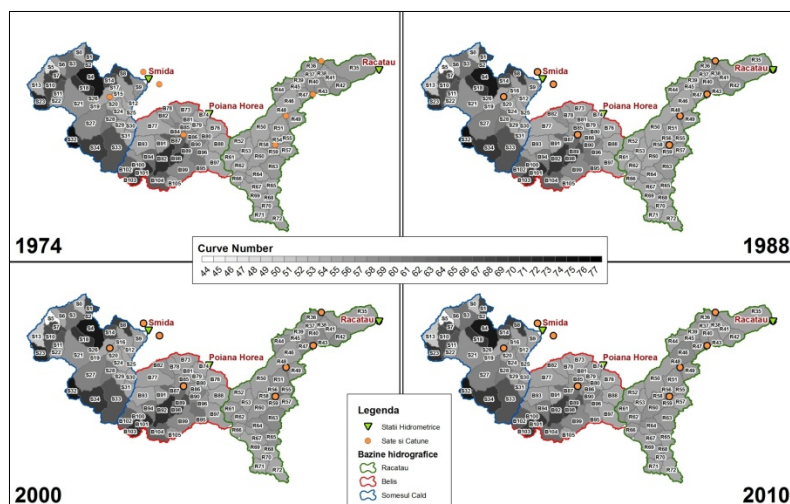


Fig. 10.6 Variabilitatea indicelui Curve Number la nivelul sub-bazinelor în perioada 1974-2010.

Este de menționat faptul că deși Curve Number este un indice calculat în funcție de tipul de acoperire a terenului, precum și de condițiile staționale, precum este solul, totuși acesta suferă la utilizarea în zonele puternic împădurite. Chiar și divizarea pe sub-bazine nu a scos în evidență din punct de vedere spațial variabilitatea evidentă a coeficientului CN, deși procesele de degradare a suprafeței subiacente au fost destul de consistente în două din bazinele considerate. În argumentarea acestei afirmații am adus în discuție și studiile și rapoartele lui Canfield et al. (2005), Tedela et al. (2012) și Steven (2003).

Pentru a concluziona și pentru a indica posibila influență a procesului despăduririi în schimbarea suprafeței subiacente am realizat o comparație între abaterea debitului mediu anual de la valoarea normală a perioadei 1981-2010 (valori măsurate la stațiile hidrometrice) și variabilitatea coeficientului de scurgere (calculat după metoda Frevert) (Fig. 10.7, 10.8).

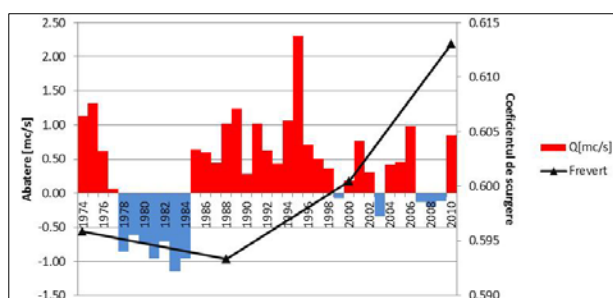


Fig. 10.7 Variabilitatea coeficientul de scurgere mediu (după Frevert) în raport cu abaterea debitelor medii anuale de la normala 1981-2010 (Răcătău).

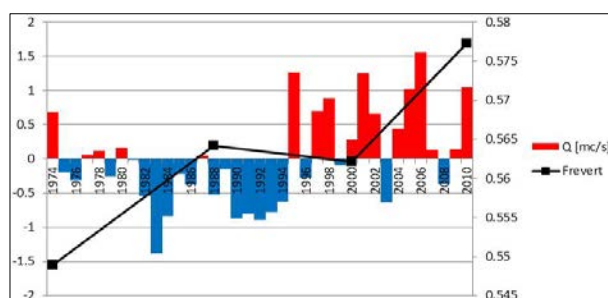


Fig. 10.8 Variabilitatea coeficientul de scurgere mediu (după Frevert) în raport cu abaterea debitelor medii anuale de la normala 1981-2010 (Someșu Cald).

Se poate observa că acolo unde despăduririle au avut loc pe suprafețe semnificative, coeficientul de scurgere urmează variabilitatea debitului, iar acolo unde despăduririle au avut loc pe suprafețe ceva mai scăzute, cum este cazul bazinului Someșul Cald, coeficientul de scurgere urmează într-o oarecare măsură variabilitatea debitului, dar se observă că lipsa numărului de valori în ceea ce privește suprafața acoperită de pădure de la începutul perioadei afectează puțin analiza variabilității.

Totuși, dacă este să ne luăm după definiția coeficientului de scurgere, dată de metoda rațională (Chow, 1962), care spune că valoarea acestuia reprezintă raportul dintre debitul măsurat și precipitația totală care cade într-un anumit areal și timp putem spune că în exemplele menționate, atât în cazul bazinului Răcătău, cât și în cazul bazinului Someșul Cald se pune destul de bine în evidență faptul că despăduririle masive, care au loc pe suprafețe întinse, au un rol semnificativ în schimbarea caracteristicilor suprafeței subiacente, care este suprafața pe care precipitațiile le întâlnesc în drumul lor spre punctul de scurgere.

11. Concluzii

Tema de cercetare prezintă aplicarea unei metodologii de cartare și analiză a evoluției stratului ce se regăsește la suprafața solului, denumită caracteristic „acoperirea terenului”. O privire specială se are asupra procesului despăduririlor și nu în ultimul rând asupra posibilului efect pe care acestea îl au în formarea condițiilor necesare scurgerii, prin influența acestora asupra caracteristicilor suprafeței subiacente.

În această lucrare am utilizat metodologii multiple pentru a evidenția variabilitatea vegetației și în special a pădurilor. Se poate observa din exprimare că metoda ce studiază variabilitatea vegetației are o ușoară tentă generalistă. Metoda utilizează indicii spectrali NDVI. Această metodă este o metodă aproximativă-generalistă deoarece consideră toate suprafețele acoperite cu vegetație indiferent de tipul ei, iar valorile reprezentate depind de un prag ales.

Clasificarea imaginilor satelitare este a doua metodă utilizată. Aceasta permite definirea diferitelor tipuri de clase corespunzătoare acoperirii terenului. Metodologia utilizată în determinarea tipurilor de acoperire a terenului nu este una simplă. Aceasta implică diferite operații de calibrare, precum și operații iterative de eșantionare, lucru extrem de delicat și minuțios. Aceste operațiuni au făcut posibilă în cele din urmă construirea unei librării spectrale unice care a fost utilizată în cadrul procesului de clasificare pentru toate imaginile satelitare din baza de date.

Evaluarea procesului de despădurire la nivelul celor trei bazine hidrografice considerate s-a realizat cu ajutorul softului ArcGIS și a câtorva programe de calcul precum sunt Microsoft Excel și SPSS. Cu ajutorul softului ArcGIS s-a putut realiza un algoritm complet automat de detectare a schimbărilor de la nivelul acoperirii terenului. Astfel s-a putut obține informații care să redea schimbarea pe o suprafață de cel puțin 900 m² (1 pixel din imaginea Landsat). Procesele care au cauzat variabilitatea au fost considerate la toate nivelele de vegetație, precum și la nivelul celorlalte tipuri de acoperire a terenului. Au fost identificate astfel procesele de despădurire, reîmpădurire/împădurire sau mineralizare.

Utilizarea indicatorilor care pot evidenția rolul pe care procesul de despădurire îl are în schimbarea caracteristicilor suprafeței subiacente este unul esențial considerăm noi, nelăsând astfel un studiu efectuat asupra despăduririlor fără semnificație. Astfel pornind de la un simplu raport cum este gradul de împădurire care descrie proporția ocupată de pădure în raport cu suprafața unui bazin hidrografic, am ajuns în cele din urmă să considerăm indici mai complecși care țin cont de configurația terenului, panta și tipul de acoperire a terenului. Acest lucru este un deziderat, mai ales că vorbim de bazine montane acolo unde pantele mari și solurile descoperite pot favoriza apariția viiturilor sau eroziunii.

12. Bibliografie (selectie)

- Anderson J.R., Hardy E.E., Roach J.T., Witmer R.E., (1976). A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. U.S. Geological Survey Professional Paper, No. 964. USGS, Washington, D.C.
- Bariou R., Lecamus D., Henaff L. F., (1985). Dossiers de télédétection. Indices de végétation. Centre Régional de Télédétection, Université de Renne 2 - Haute Bretagne.
- Bishop Y., Fienberg S., and Holland P., (1975). Discrete Multivariate Analysis--Theory and Practice, MIT Press, Cambridge, MA, 575 pp.
- Boriah S., Kumar V., Steinbach M., Potter C., Klooster S., (2008). Land cover change detection: a case study. In KDD '08: Proceeding of the 14th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, pages 857–865, New York, NY, USA, ACM.
- Brown Felicity, (2009). Total forest coverage by country. Environment Data. The Guardian.
- Campbell J. B., (1983). Mapping the Land: Aerial Imagery for Land Use Information. Washington, D.C.: Association of American Geographers.
- Carletta J., (1996). Assessing agreement on classification tasks: The kappa statistic. Computational Linguistics, 22(2). pp. 249–254.
- Carr J. R., Glass C. E., Schowengerdt R.A., (1983). Signature Extension Versus Retraining for Multispectral Classification of Surface Mines in Arid Regions, Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 49, No. 8, pp. 1193 - 1199.
- Chander G., Markham B., (2003). Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges, IEEE TGARS, VOL. 41, NO. 11.
- Chehata N., Orny C., Boukir S., Guyon D., (2011). Object-based forest change detection using high resolution satellite images. ISPRS PIA 2011 (Photogrammetric Image Analysis). 5-7 Octobre, Vol. 38 Part 3/W22, pp. 49-54, Munich, Allemagne.
- Conea I., Badea L., Stoicescu N., (1984). Plaiuri carpatice, 223p. Ed. Sport-Turism, București.
- Congalton R. G., (1991). A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, REMOTE SENS. ENVIRON. 37:35-46.
- Coppin P.R., Bauer, M.E., (1996). Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. Remote Sensing Reviews 13:207-234.
- Costea G.**, Haidu I., (2010). Detection of recent spatial changes regarding landuse in small basins from the Apuseni Natural Park, Geographia Technica, No. 2/2010, Cluj Univeristy Press.
- Costea G.**, Serradj A., Haidu I., (2012). Forest Cartography using Landsat Imagery, for Studying Deforestation over Three Catchments from Apuseni Mountains, Romania. Advances in Remote Sensing, Finite Differences & Information Security, WSEAS PRESS.

- Diaconu C., Șerban P., (1994). Sinteze și regionalizări hidrografice, Editura Tehnică, București.
- Domnița M., Craciun A. I., Haidu I., (2009). GIS in determination of the discharge hydrograph generated by surface runoff for small basins. *Geographia Technica*, No. 2, pp. 11-22.
- Dutcă, I., Abrudan, I.V., (2010). Estimation of Forest Land Cover Change in Romania between 1990 and 2006. *The Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Vol. 3 (52). Series II*, ISSN 2065-2135, pp. 33-36.
- F.A.O., (1996). Satellite imagery for forest decline assessment and monitoring. Pilot study in Poland (en., fr.). *Remote Sensing for Decision-Makers Series (F.A.O.). no. 13 / F.A.O., Rome (Italy). Sustainable Development Dept., 6 p.*
- Green A.A. , Berman M., Switzer P., Craig M.D., (1988). A Transformation for Ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 26, pp. 65-74.
- Guyot G., (1989). Signatures spectrales des surfaces naturelles. Collection «Télédétection satellitaire no 5 », Paradigme, Caen, 178 p., 82 fig., 2 tabl., 14 x 21 cm, 97 FF.
- Haidu I., Bilașco Șt., (2005). Implementarea S.I.G în calculul viiturilor de versant (Simpozionul,,Sisteme informaționale geografice, Chișinău). Ed. Univ. Al. Ioan Cuza, Iași.
- Haidu I., **Costea G.**, (2009). Applied GIS for designing the database and mapping specific to forestry, *Lucrările Simpozionului "Sisteme Informaționale Geografice"*, Nr. 14, Editura Universității "Alexandru Ioan Cuza", Iași.
- Haidu I., **Costea G.**, (2012). Remote Sensing and GIS for the forest structure assessment at the small basins level in the Apuseni Natural Park, *Studia Universitatis Babes-Bolyai Geographia*, No. 1/2012.
- Holonec L., (2007). Incendiile de pădure și efectele lor asupra ecosistemelor forestiere, *Revista Protecția Plantelor*, nr. 65, ISSN 1453-2271, pag. 17-21.
- Homrani Bakkali A., (2000). Teledéttection de la dynamique de la dégradation de la végétation steppique aride et semi-aride au Maroc : cas de la vallée de N'Zala-Zaouit Sidi Hamza (Errachidia). Mémoire de 3ème cycle Agronomie, option : Ecologie et Aménagement.IAV.HassanII, Rabat, pp : 60-69.
- Iacob Ersilia, (1971). Munții Apuseni, Studiu hidrologic, Teză de doctorat, Cluj-Napoca.
- Iacobescu O., (2000). Fotointerpretarea unor aspecte hidrologice în bazinele hidrografice mici din zona montană. *Bucovina Forestieră – serie nouă*, anul VIII, nr. 2/2000, pp. 30- 38.
- Institutul de Geologie și Geografie (Academia Republicii Populare Romîne). (1960). Monografia geografica a R.P.R., vol. I, Geografie fizică, Editura Academiei R.P.R., București.
- Jensen J. R., (1996). *Introductory Digital Image Processing*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 318 p.

- Keil M., Scales D., Winter R., (1995). Investigation of forest areas in Germany and Brazil using SAR data of the SIR-C/X-SAR and other SAR missions, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995. IGARSS '95. 'Quantitative Remote Sensing for Science and Applications', Internațional, vol. 2, pp. 997 - 999.
- Knorn, J., Kuemmerle, T., Radeloff, V.C., Szabo, A., Mîndrescu, M., Keeton, W.S., Abrudan, I., Griffiths, P., Gancz, V., Hostert, P., (2012). Forest restitution and protected area effectiveness in post-socialist Romania. *Biological Conservation*.
- Kozak, J., Estreguil, C., Vogt, P., (2007). Forest cover and pattern changes in the Carpathians over the last decades. *European Journal of Forest Research*, Springer Berlin / Heidelberg, ISSN: 1612-4669, vol. 126.
- Kruse F. A., Lefkoff A. B., Boardman J. B., Heidebreicht K. B., Shapiro A. T., Barloon P. J., Goetz A. F. H., (1993). The Spectral Image Processing System (SIPS)- interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Rem. Sen. of Env.*, 44, 145-163.
- Kuemmerle, T., Muller, M., Rusu, M., Griffiths, P., (2009). Land use change in southern Romania after the collapse of socialism. *Reg. Environ. Change* 9 1–12.
- Landis J.R., Koch G.G., (1977). The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics* 33 (1): 159–174. DOI:10.2307/2529310. JSTOR 2529310. PMID 843571.
- Lau Alvin Meng Shin, Hashim Mazlan, (2007). The design and building of spectral library of tropical rain forest in Malaysia. In: *The 28th Asian Conference on Remote Sensing 2007*, PWTC, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W., (2004). *Remote Sensing and image Interpretation*. Fifth Edition, John Wiley and Sons Inc., New York, 764p.
- Lin C., (2001). The Dependence of reflected radiance and reflectance of the forest vegetation - a case study of cyclobalanopsis glauca, the 22nd Asian conference on Remote Sensing, Vol. 1, pp. 610-615.
- Matthews E., (1983). Global vegetation and land-use: new high-resolution databases for climate studies, *Journal of Applied Meteorology*, 22:474-487.
- Mihai B., Săvulescu I., Sandric I., (2007). Change detection analysis (1986–2002) of vegetation cover in Romania: A study of alpine, subalpine, and forest landscapes in the Iezer Mountains, Southern Carpathians. *Mountain Research and Development* 27:250–258.
- Moțoc M., Trăsculescu Fl., (1959). Eroziunea solului pe terenurile agricole și combaterea ei. Editura Agrosilvică de Stat, București.
- Muehrcke P., Muehrcke Juliana O., Kimerling A. J., (2001). *Map Use: Reading, Analysis, and Interpretation*. JP Publications. ISBN 978-0-9602978-5-6.

- Murayama Y., Thapa R.B., (2011). *Spatial Analysis and Modeling in Geographical Transformation Process: GIS-based Applications*. Springer Science +Business Media B.V. GeoJournal Library Series, Vol. 100, 1st Edition, ISBN:978-94-007-0670-5.
- National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, Part I-Watershed Planning, USDA, Soil Conservation Service, Chapter 7, August, 1964, 7.3 - 7.5.
- Oliver C.D., (1980). Forest Development in North America following major disturbances. *For. Ecol. Management* 3: 153 –168.
- Olofsson P., Torchinava P., Woodcock C.E., Baccini A., Houghton R.A., Ozdogan M., Zhao F., Yang X., (2010). Implications of land use change on the national terrestrial carbon budget of Georgia, *Carbon Balance and Management*, 5:4 doi:10.1186/1750-0680-5-4.
- Olsen J. S., Watts J., Allison L., (1983). Carbon in live vegetation of major world ecosystems. U. S. Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 164 p.
- Pascual, C.A., García-Abril, A., García-Montero, L.G., Martín-Fernández Susana, Cohen, W.B., (2008). Object-based semi-automatic approach for forest structure characterization using lidar data in heterogeneous *Pinus sylvestris* stands. *For Ecol Manage* 255(11):3677–85.
- Popescu Șt.G., (2009). *Fotogrammetria pe înțelesul tuturor*, Curs în format electronic, FIFIM.
- Purkis S.J., Klemas V., (2011). *Remote Sensing and Global Environmental Change*. Wiley-Blackwell, Oxford, 368pp, ISBN 978-1-4051-8225-6.
- Richard McCuen H., (1982). *A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods* Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Richards J.A., (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.
- Rowan L.C., Mars J.C., (2003). Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 84, p. 250-266.
- Schwarz M., Steinmeier Ch., Waser L., (2001). Detection of Storm Losses in Alpine Forest Areas by Different Methodic Approaches Using High-resolution Satellite Data; - In: Bégni, G. (ed) *Observing our environment from space: New solutions for a new millenium*. Lisse, Balkema. 251-257.
- Schwengerdt R., (2007). *Remote Sensing 3rd*, Elsevier (Academic Press). 515p.
- Serradj A., (1991). Classification sur une forêt orientale des Vosges après élimination des effets de pente, *Photo interprétation*, Vol. 30 n° 3-4 (1991/1992).
- Sommer Shelly, Wade Tasha, (2006). *A to Z GIS: An Illustrated Dictionary of Geographic Information Systems*, ESRI Press.

- Steven C. McC., (2003). Hydrologic Evaluation of the Curve Number Method for Forest Management in West Virginia, Report Prepared for the Division of Forestry Charleston, West Virginia.
- Strîmbu B.M., Hickey G.M., Strîmbu V.G., (2005). Forest conditions and management under rapid legislation change in Romania. *Forestry Chronicle* 81, 350–358.
- Șerban G., Touchart L., (2007). Un nouveau parc naturel autour d'un vieux lac artificiel : les enjeux d'une Roumanie en transition dans les monts Apuseni, *Géocarrefour*, 2007, vol. 82 n. 4 : pp. 243-253.
- Tedela N., McCutcheon S., Campbell J., Swank W., Adams M., Rasmussen T., (2012). Curve Numbers for Nine Mountainous Eastern United States Watersheds: Seasonal Variation and Forest Cutting. *J. Hydrol. Eng.*, 17(11). 1199–1203.
- Townshend J. R. G., (1981). Image Analysis and Interpretation for Land Resources Survey, Chapter 4 in *Terrain Analysis and Remote Sensing*, J. R. G' Townshend, Ed. London: George Allen & Unwin Ltd', pp. 59-108.
- Tucker C.J., (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127–150.
- Tucker C.J., Miller L.D., (1977). Soil Spectra Contributions to Grass Canopy Spectral Reflectance, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43:721-726.
- USDA, Soil Conservation Service, (1972). National engineering handbook, Section 4, hydrology. Chapters 7, 8, 9, and 10. U.S. Govt. Print. Off. Washington, DC.
- Ustin Susan L., (2004). Remote sensing for natural resource management and environmental monitoring, John Wiley & Sons, 736 pages, ISBN-13: 978-0471317937.
- Van der Meer F., Vasquez-Torres M., Van Dijk P.M., (1997). Spectral Characterization of Ophiolite Lithologies in the Troodos Ophiolite Complex of Cyprus and its Potential in Prospecting for Massive Sulphide Deposits. *IJRS*, Vol. 18, No.6, p. 1245-1257.
- Yuhas R.H., Goetz A.F.H., Boardman J.W., (1992). Discrimination Among Semi-Arid Landscape Endmembers Using the Spectral Angle Mapper (SAM) Algorithm. *Summaries of the 4th JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 92-41, pp.147-149.
- Yuji Murayama, Rajesh B. Thapa, (2011). *Spatial Analysis and Modeling in Geographical Transformation Process GIS-based Applications*, Dordrecht, New York : Springer, USA.
- Zha Y., Gao Y., Ni S., (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *IJRS*, 24(3). pp. 583-594.

***Codul Silvic al României, Legea nr. 46/2008, Pub. în Monit. Of., P. I nr. 238/27 martie 2008.

***Legea nr. 2 din 15 aprilie 1976, Emitent: Marea Adunare Națională, Publicată în: Buletinul Oficial nr. 35 din 23 aprilie 1976.

***Programul național pentru conservarea și dezvoltarea fondului forestier în perioada 1976-2010. Revista Pădurilor nr. 2/1976.