



UTILIZAREA IMAGINILOR SATELITARE SENTINEL 2 ÎN IDENTIFICAREA PĂDURILOR VIRGINE DIN MUNȚII FĂGĂRAȘ

Alexandru Ciutea^a

^a Universitatea Alexandru Ioan Cuza, Iași, România

INFORMAȚII ARTICOL

Keywords:
imagini satelitare
păduri virgine

ABSTRACT

În prezent, în Carpații românești se regăsesc cele mai întinse suprafețe de pădure virgină din zona temperată a Uniunii Europene (Jan Knorn et al., 2012). Multe dintre aceste păduri sunt însă puse în pericol de către activitățile de exploatare care se desfășoară într-un ritm din ce în ce mai alert. Catalogarea unei păduri ca fiind virgină sau cvasi-virgină se realizează prin efectuarea de studii în teren, însă prin intermediul teledetectiei și a tehnicilor GIS se poate estima poziția și extinderea spațială a acestor suprafețe forestiere. Efectuarea unei astfel de estimări se poate dovedi extrem de utilă în vederea planificării viitoarelor studii de teren. Așadar, lucrarea de față propune o metodologie în vederea identificării pădurilor potențial virgine din Munții Făgăraș.

Introducere

Acest articol propune o metodologie pentru identificarea automată a pădurilor virgine și cvasi-virgine din Munții Făgăraș.

H. Leibundgut definește pădurile virgine ca fiind cele exclusiv formate sub acțiunea factorilor naturali și în care procesele biologice se produc fără nici o influență directă sau indirectă a omului. În România, pădurile virgine și cvasi-virgine sunt definite prin O.M. nr. 3397 din 10/09/2012. În acest ordin sunt enumerate o serie de criterii de identificare a pădurilor virgine și cvasi-virgine, dintre care unele vor fi luate ca reper în identificarea potențialelor păduri virgine din Munții Făgăraș.

Munții Făgăraș sunt incluși într-unul dintre cele 237 de situri de importanță comunitară (SCI) din cadrul rețelei de arii naturale protejate Natura 2000, din România. Acest sit va reprezenta arealul nostru de studiu. Suprafața acestuia este de 1986,1km², fiind al doilea ca mărime din România, după Delta Dunării (Figura 1).

Suprafețele ocupate de păduri însumează aproximativ 1420km², conform Corine Land Cover 2012, reprezentând astfel circa 71% din suprafața totală a sitului. Pădurile de conifere și de amestec au ponderi asemănătoare, cu valori de 39% și 37%. Pădurile de foioase au o extindere spațială mai redusă, din cauza altitudinilor ridicate, reprezentând aproximativ 24%. Datorită inaccesibilității, există probabilitatea ca o

parte dintre aceste păduri să fie virgine sau cvasi-virgine. În acest articol se va prezenta o metodologie pentru calcularea

acestei probabilități și identificarea potențialelor suprafețe ocupate de păduri virgine.

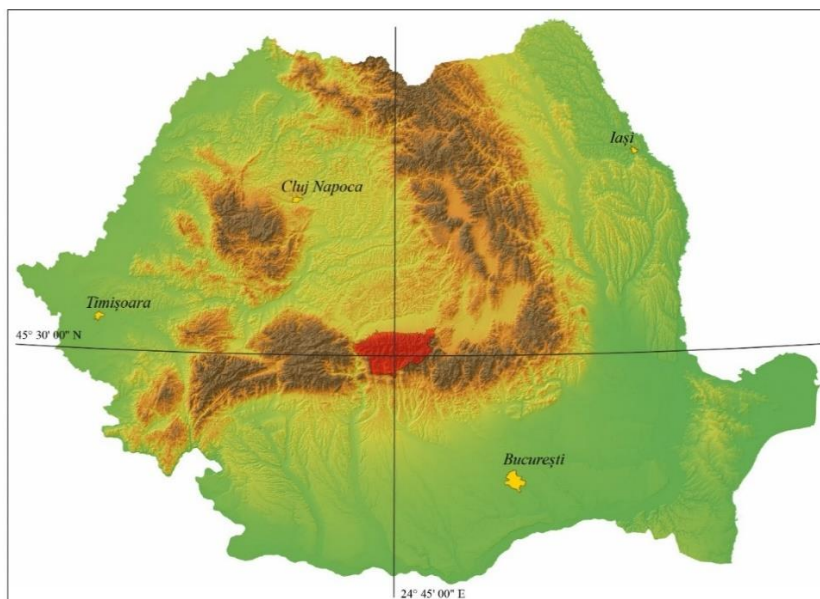


Figura 1 Poziția geografică a zonei de studiu în cadrul României

Semnătura spectrală a unei păduri depinde, în mare parte, de interacțiunea dintre radiația electromagnetică și coronament. În cazul nostru, radiația electromagnetică reflectată de către suprafețele împădurite va fi analizată prin prisma caracteristicilor tehnice ale senzorilor de la bordul satelitelui Sentinel 2. Astfel, gradul de procesare și în general, calitatea imaginilor, vor influența răspunsul spectral înregistrat al suprafețelor împădurite, acesta fiind mai mult sau mai puțin apropiat de realitate (Figura 2). De exemplu, după corecția radiometrică a imaginilor, respectiv atenuarea influenței atmosferei și efectelor de umbrire ale versanților, semnătura spectrală a pădurii va fi mai apropiată de realitate. În general, semnătura spectrală a coronamen-tului depinde de o serie de

factori, precum specia, perioada de vegetație, starea de sănătate sau vârsta arborilor. În cazul unei imagini satelitare, semnătura spectrală a unei păduri poate fi influențată de mai mulți factori, printre care umbrele cauzate de înălțimile diferite ale arborilor sau găurile din coronament. Acești factori dau un aspect texturat pădurilor dezvoltate, spre deosebire de pădurile mai tinere, care au un aspect omogen. Se va încerca cuantificarea acestor diferențe atât prin combinarea diferitelor benzi spectrale, cât și prin intermediul calculării unor indici de vegetație, precum indicele suprafeței foliare (Leaf Area Index - LAI) sau indicele normalizat de diferențiere al vegetației (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI).



Figura 2 Comparație între un compozit color Landsat 8 (a) și un compozit Sentinel 2 (b)

Materiale și metode

Identificarea pădurilor virgine din Munții Făgăraș se va realiza utilizând imaginile satelitare Sentinel 2, luând ca reper trei păduri cartate în teren (Figura 3). În decursul lunii August a anului 2016, în urma unei acțiuni Greenpeace, au fost cartate în teren trei păduri din Munții Făgăraș, respectiv pădurile Știubeaia, Obârșia Cumpănitei și Mușeteica. În urma studiilor de teren și pe baza criteriilor de identificare a pădurilor virgine și cvasivirgine din O.M. 3397/2012, aceste trei păduri au fost propuse pentru includerea în „Catalogul Național al Pădurilor Virgine și Cvasivirgine”. În pădurea Mușeteica predomină speciile de conifere, fiind situată la o altitudine mai ridicată, pe când în celelalte două păduri sunt predominante speciile de foioase.

Această metodă se bazează pe răspunsul spectral diferit al benzilor oferite de Sentinel 2. Răspunsul spectral este cuantificat în diferitele valori ale pixelilor ce alcătuiesc rastele corespunzătoare fiecărei benzi (Figura 4). Astfel, în cazul

fiecărei benzi, se vor extrage pixelii corespunzători poligoanelor de pădure virgină cartată în teren și se vor identifica valorile cele mai răspândite din arealele respective. Primul pas constă în extragerea celor mai răspândite valori ale pixelilor din pădurile luate ca etalon. Mai precis, se vor extrage valorile pixelilor cu frecvența de peste media acesteia. Următoarea etapă constă în identificarea și extragerea pixelilor cu valori similare, de pe întreaga zonă de studiu. Se va efectua această operație pentru toate benzile folosite, precum și pentru rastele reprezentând indicii LAI și NDVI, rezultând în final un set de raste ale căror valori ale pixelilor reprezintă valorile cele mai răspândite (de peste medie) din pădurile virgine cartate în teren. Fiecare raster rezultat va fi reclasificat, atribuindu-se valoarea 1 fiecărui pixel al acestora. Rastele reclasificate se vor mozaica, folosindu-se funcția „SUM”. Indicele Leaf Area Index (LAI) se află într-o corelație directă cu vârsta suprafețelor forestiere, acest lucru fiind demonstrat în unele studii (R. Pokorný, S. Stojnič, 2012) (Figura 5).

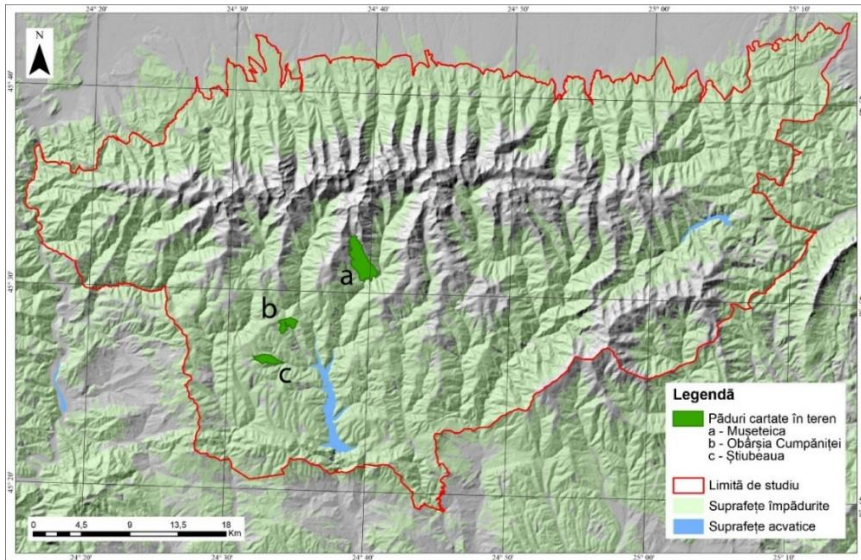


Figura 3 Poziția geografică a pădurilor cartate în teren, în cadrul Munților Făgăraș

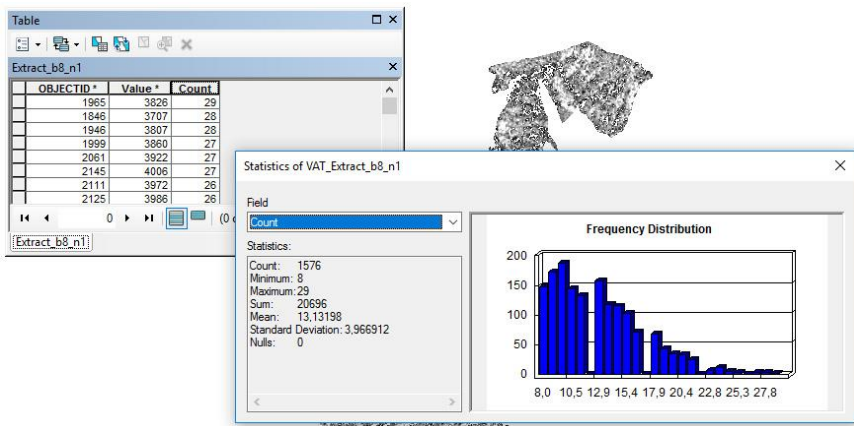


Figura 4 Vizualizarea frecvenței valorilor pixelilor unui raster și identificarea mediei acesteia

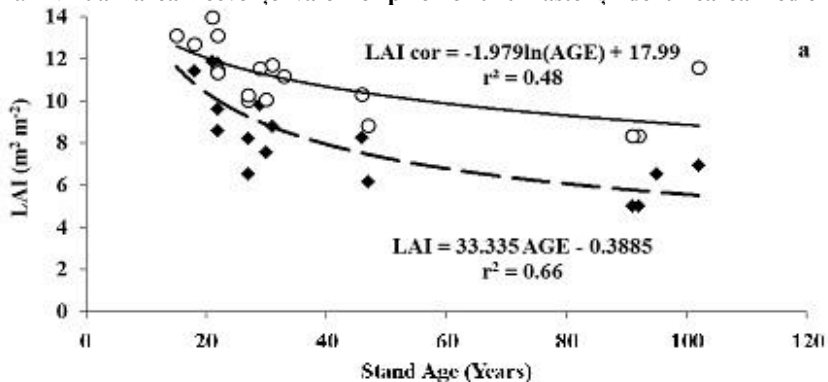


Figura 5 Corelația dintre indicele LAI și vârsta arboretului (R. Pokorný, S. Stojnič, 2012)

Din cauza că răspunsul spectral al speciilor de conifere este diferit în comparație cu cel al speciilor de foioase, a fost necesară clasificarea și analiza separată a acestora. Așadar, s-a urmărit obținerea de suprafețe de probă cât mai omogene din punct de vedere al compoziției speciilor de arbori. În final, rezultatele celor două analize se vor cumula. Pentru analiza speciilor de conifere au fost utilizate imaginile din luna Aprilie, când speciile de foioase nu își au dezvoltat aparatul foliar, iar pajiștile sunt acoperite de zăpadă. Pentru această analiză se vor folosi benzile 4, 8a, 11, 12, precum și indicii de vegetație LAI și NDVI. Banda 4 este un indicator al intensității fotosintezei, proces care se folosește de radiația din spectrul vizibil roșu. Banda 8a a fost aleasă din cauza lățimii mai mici, coniferele având o reflectanță ridicată în jurul valorii centrale ale acestui spectru, lucruri ce permit o mai bună diferențiere a pădurilor de conifere de alte zone de vegetație. Benzile de infraroșu scurt (11 și 12) sunt de asemenea foarte utile.

Pentru analiza suprafețelor ocupate de pădurile de foioase și de amestec unde predomină foioasele, au fost utilizate imaginile din luna Iulie 2016. Au fost folosite tot șase rastere, ca și în cazul pădurilor de conifere, respectiv benzile spectrale 3, 8, 11 și 12, precum și indicii de vegetație LAI și NDVI. În cazul de față, o problemă majoră o constituie similaritatea spectrală dintre unii pixeli aparținând pădurilor de amestec și pajiștile alpine. Din această cauză s-a preferat utilizarea benzii 3. Aceasta a fost preferată în detrimentul benzii 4, folosită în cazul coniferelor, deoarece diferența dintre reflectanța pajiștilor în culoarea verde a spectrului vizibil este mai semnificativă decât în cazul reflectanței în culoarea roșie, care de această dată are valori scăzute în cazul

foioaselor, datorită activității clorofiliene mult mai intense comparativ cu luna Aprilie. Benzile de infraroșu scurt, pe lângă cele de infraroșu apropiat, sunt utile pentru eliminarea speciilor de conifere, dar și a altor elemente, precum solul descoperit. În urma analizei separate a speciilor de foioase și a celor de conifere au fost obținute două rastere. Cele două rastere au fost supuse unui proces de mozaicare, folosind instrumentul „Mosaic To New Raster” din ArcMap. Rasterul a fost construit folosind funcția „Maximum”, astfel încât, în cazul suprapunerii a doi pixeli cu valori diferite, doar valoarea cea mai ridicată va fi înregistrată. Dintre cele șase valori ale pixelilor obținute, au fost extrase doar primele trei, valorile mai scăzute caracterizând în mare parte suprafețele neîmpădurite, ocupate de pajiști, sol, zăpadă sau corpuri acvatice. Acest lucru a fost realizat prin reclasificarea rasterului rezultat în urma mozaicării.

În scopul minimizării erorilor, suprafețele rezultate au fost supuse unor procese de filtrare. Ulterior transformării rasterului în vector, au fost filtrate poligoanele corespunzătoare pixelilor cu valori medii, în funcție de relația spațială cu poligoanele corespunzătoare pixelilor cu valori ridicate, fiind selectate doar cele ale căror laturi se intersectează cu acestea. Același proces de filtrare a fost aplicat și în cazul poligoanelor corespunzătoare pixelilor cu valori scăzute. În cazul acestor poligoane au fost folosite doar cele cu suprafața de 100m². Drumurile reprezintă unul dintre factorii care fragmentează pădurile virgine și cvasi-virgine. Astfel, drumurile au fost folosite pentru eliminarea suprafețelor corespunzătoare acestora și pentru fragmentarea poligoanelor cu păduri rezultate.

În final au fost selectate doar poligoanele cu o suprafață minimă de 0,5ha. Este de menționat că suprafața minimă pe care o poate avea o pădure virgină este de 6ha, conform ordinului nr. 3397 din 10/09/2012. Datorită gradului de omogenitate scăzut al poligoanelor cu păduri rezultate, filtrarea suprafețelor mai mici de 6ha ar elimina multe areale unde ar fi posibilă existența pădurilor virgine, inclusiv poligoane aparținând pădurilor virgine cartate în teren. Omogenitatea scăzută a poligoanelor rezultate se poate explica prin suprafața restrânsă de pădure luată ca etalon, precum și prin existența erorilor cauzate de calitatea imaginilor satelitare, ca de exemplu variații foarte umbriți, corecția radiometrică foarte accentuată sau existența norilor și a umbrelor acestora. A fost calculat gradul de omogenitate al fiecărui poligon prin

efectuarea raportului dintre perimetru și suprafața acestuia, valorile mai scăzute fiind specifice poligoanelor foarte fragmentate sau cu suprafețe foarte mici, fiind așadar eliminate cele cu o valoare mai mică de 10. Resturile rezultate au fost eliminate pe baza relației spațiale cu poligoanele rămase (Figura 6).

Influența antropică reprezintă factorul determinant ce trebuie luat în considerare în procesul de identificare al pădurilor virgine. În scopul unei estimări mai precise a arealelor, se vor lua în calcul o serie de parametri, precum distanța față de rețeaua de drumuri sau inaccesibilitatea terenului. Acești doi parametri se pot cuantifica prin calcularea distanței geodezice. Astfel, cu cât această distanță va fi mai ridicată, cu atât va crește șansa de a găsi păduri virgine în teren.

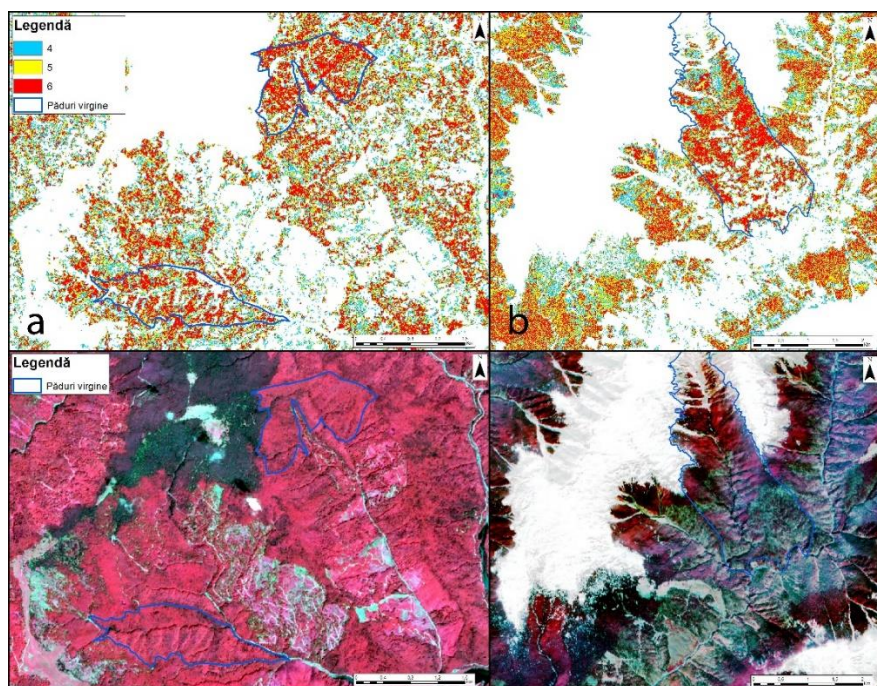


Figura 6. Rezultatul analizei pădurilor de foioase (a) și pădurilor de conifere (b) și compozit infraroșu al arealelor analizate

Rezultate și discuții

Se poate remarca faptul că șansele de a găsi păduri virgine și cvasi-virgine cresc o dată cu altitudinea, aceste tipuri de suprafețe forestiere fiind cel mai probabil întâlnite în zona etajului coniferelor, în special în cazul trupurilor de pădure de la limita superioară a acestui etaj (Figura 7). Acest lucru se explică, în primul rând, prin distanța ridicată a acestor păduri față de rețeaua de drumuri. Fiind în legătura cu densitatea rețelei de drumuri, gradul de inaccesibilitate al terenului va contribui la menținerea unor valori ridicate a distanței geodezice ridicate în cazul pădurilor amintite. Acest lucru se poate observa în

cazul pădurii Mușeteica, unde valoarea distanței geodezice este foarte ridicată, în special în partea superioară a bazinului hidrografic.

În cazul pădurilor Știubeaua și Obârșia Cumpăniței, distanța geodezică va fi mai scăzută, din cauza amplasamentului acestora într-o zonă cu o densitate mai ridicată a rețelei de drumuri. Alte păduri cu o suprafață însemnată, potențial virgine din cauza valorilor ridicate a distanței geodezice, se pot localiza în bazinele superioare ale râurilor Boia Mică, Boia Mare, Izvorul Căldărușei, Berivoi, Luțele Mici, Frăcea, Urlea, Brezicioara sau Arpășel. Aceste zone ar constitui primele opțiuni de luat în considerare, în cazul planificării unor studii de teren.

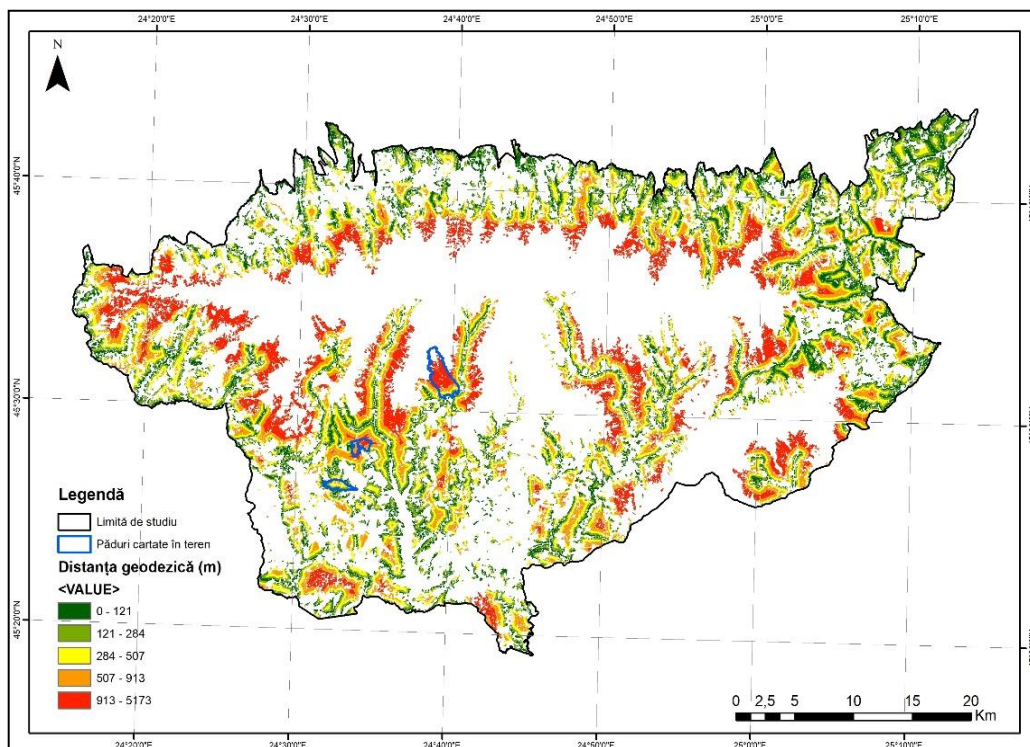


Figura 7. Pădurile virgine și cvasi-virgine rezultate și valoarea distanței geodezice în cadrul acestora

Utilizând valorile pixelilor cu frecvența de peste media acesteia, se pot elimina porțiuni importante de păduri potențial virgine. Acest lucru se poate observa mai ales în cazul pădurii Știubeaua, unde se poate remarca fragmentarea acesteia pe harta obținută. De asemenea, în cazul Pădurii Știubeaua se poate observa că valorile distanței geodezice sunt mai scăzute decât în cazul pădurii Mușeteica, pădurea Știubeaua fiind una cvasi-virgină, iar Mușeteica având caracteristicile unei păduri virgine. În acest caz am putea concluziona că distanțele ridicate ar putea

indica prezența pădurilor virgine (Figura 8).

În cadrul analizei rezultatului obținut trebuie luată în considerare și nebulozitatea, care afectează imaginile din data de 13 Iulie. Astfel, din totalul de aproximativ 1424km² de suprafețe ocupate cu păduri din arealul Natura2000 Făgăraș, circa 31km² (2,1%) sunt afectați de nebulozitate, luând în considerare și umbrele create de nori.

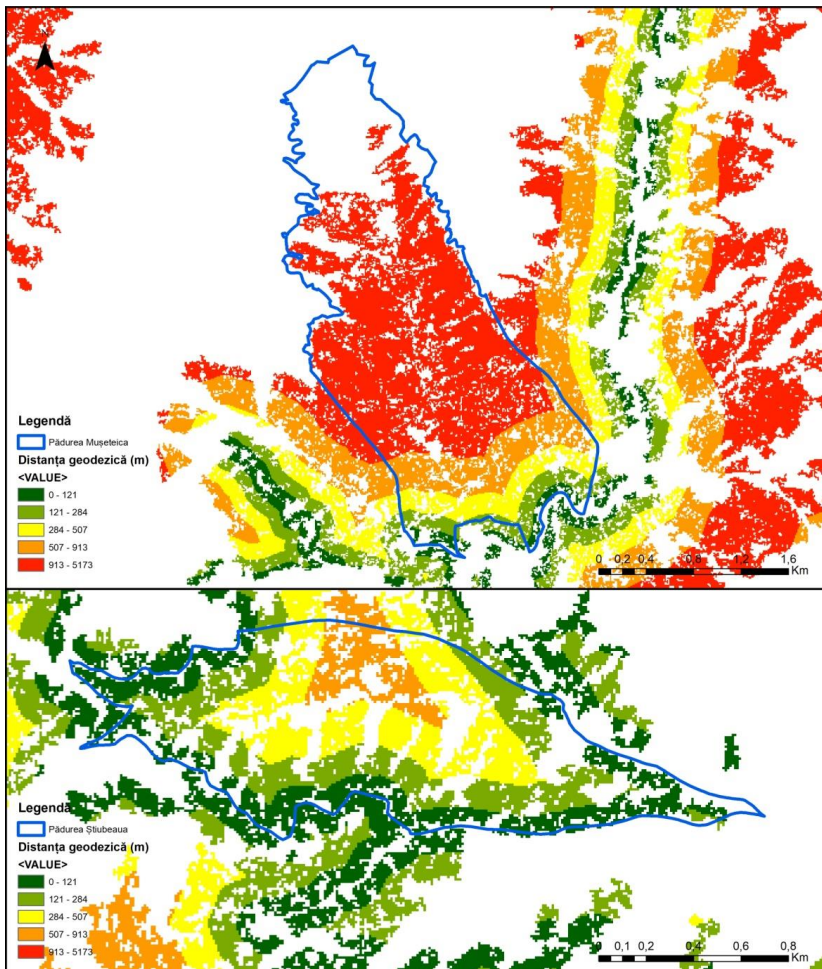


Figura 8. Rezultatele studiului, în cazul pădurii Știubeaua și Mușeteica

Concluzii

Benzile spectrale care surprind radiația electromagnetică atât din domeniul vizibil, cât și din dreptul infraroșului apropiat și scurt, precum și rezoluția spațială și temporală ridicată, fac din Sentinel 2 un instrument foarte util pentru analiza învelișului vegetal, respectiv a suprafețelor forestiere.

Această lucrare trebuie privită în primul rând ca pe un exercițiu metodologic, rezultatele fiind influențate de suprafața relativ restrânsă a pădurilor luate ca etalon, cât și de numărul scăzut al imaginilor satelitare utilizate. Astfel, utilizarea unei serii multi-temporale de imagini ar crește considerabil acuratețea rezultatului, disponibilitatea unor imagini cu un grad de

nebulozitate acceptabil constituind principala problemă.

De asemenea, utilizarea mai multor factori care pot influența extinderea spațială a pădurilor virgine ar contribui la creșterea gradului de precizie al rezultatului. Acești factori se pot referi la extinderea spațială a arealelor afectate de exploatare sau la poziția geografică a unor structuri folosite în exploatarea forestieră, precum funicularulele.

Unele informații esențiale în procesul de identificare al pădurilor virgine nu pot fi extrase folosind imaginile satelitare. Aici vorbim, spre exemplu, de prezența frecventă a lemnului mort pe picior și la sol (Figura 9). Din această cauză, o astfel de hartă ar putea servi doar ca un reper, catalogarea unei păduri ca fiind virgină urmând a se face în teren.



Figura 9. Lemn mort la sol în pădurea Mușeteica (Greenpeace, 2016)

BIBLIOGRAFIE

- Delegido J., Verrelst J., Alonso L., Moreno J. (2011). Evaluation of Sentinel-2 Red-Edge Bands for Empirical Estimation of Green LAI and Chlorophyll Content, Sensors 2011, 11, 7063-7081
- Fernandes R., Omari K., Canisius F., Lethbridge U., Rochdi N., Baret F. (2010). Robust LAI Retrieval from the Sentinel-2 Red-Edge Bands, CCRS Technical Report Series

- Frampton W., Dash J., Watmough G., Milton E. (2013). Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*
- Giurgiu V., Doniță N., Bândiu C., Radu S., Cenușă R., Dissescu R., Stoiculescu C., Biriș Iovu-Andrian (2001). Pădurile virgine din Romania, asbl Foret wallone
- Jan Knorn, Tobias Kuemmerle, Volker C. Radeloff, William S. Keeton, Vladimir Gancz, Iovu-Adrian Biris, Miroslav Svoboda, Patrick Giffiths, Adrian Hagatis, Patrick Hostert (2012). *Environmental Conservation* 40 (2): 182–193
- Motohka T., Nasahara K., Oguma H., Tsuchida S. (2010). Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology, *Remote Sensing* 2010, 2, 2369-2387
- Mueller-Wilm U. (2016). Sen2Cor Configuration and User Manual
- Norby R., Sholtis J., Gunderson C., Jawdy S. (2003). Leaf dynamics of a deciduous forest canopy: no response to elevated CO₂, *Oecologia* (2003) 136:574–584
- Richter R., Kellenberger T., Kaufmann H. (2009). Comparison of Topographic Correction Methods, *Remote Sens.* 2009, 1, 184-196
- Richter R., Louis L., Uwe Müller-Wilm (2012). Sentinel-2 MSI – Level 2A Products Algorithm Theoretical Basis Document
- Slaughter J. (2014). The Sentinel Satellites and Copernicus Contributing Missions
- Ursu A., Nicoară M., Grădinaru I. (2013). Ghidul siturilor Natura 2000, Iași, Ed. StudIS
- Wang Q., Adiku S., Tenhunen J., Granier A. (2004). On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site, *Remote Sensing of Environment* 94 (2005) 244–255
- Zheng G., Moskal M. (2009). Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors, *Sensors* 2009, 9, 2719-2745
- <http://biodiversitate.mmediu.ro>
<http://www.fagaras-natura2000.ro>
<http://www.esa.int>
<https://scihub.copernicus.eu>
<http://www.sentinel-hub.com>