



++Universitatea Alexandru Ioan Cuza din Iași

Facultatea de Geografie și Geologie

Școala Doctorală de Geoștiințe



REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Utilizarea tehnicilor de teledetecție și GIS pentru evaluarea structurii arboretelor și pentru studiul influenței climatului și a schimbărilor climatice asupra stării ecologice a acestora, pe flancul extern, estic și sud-estic al Carpaților Orientali

Coordonator:

Prof. univ. em. dr. LIVIU APOSTOL

Candidat:

Drd. ALEXANDRU CIUTEA

- Iași, 2022 -

Cuprins

| | |
|---|----|
| PROBLEME INTRODUCATIVE..... | 4 |
| Introducere..... | 4 |
| Poziția geografică, limitele și suprafața arealului studiat..... | 5 |
| 1. METODOLOGIE | 7 |
| 1.1. Imagini satelitare, imagini aeriene și produse de teledetecție | 7 |
| 1.1.1. Imagini satelitare..... | 7 |
| 1.1.2. Imagini aeriene..... | 9 |
| 1.2. Date climatice și prelucrarea acestora | 10 |
| 2. SUPRAFAȚA FORESTIERĂ ȘI COMPONENTA SPECIILOR DE ARBORI DIN AREALUL DE STUDIU | 12 |
| 2.1. Extragerea suprafețelor forestiere din arealul de studiu, utilizându-se imaginile satelitare Sentinel 2 | 12 |
| 2.2. Clasificarea speciilor de arbori din arealul studiat | 14 |
| 3. DISTRIBUȚIA SPAȚIALĂ A SPECIILOR DE ARBORI ÎN FUNCȚIE DE CARACTERISTICILE MORFOMETRICE ALE TERENULUI..... | 17 |
| 3.1. Distribuția spațială a speciilor de arbori în funcție de altitudinea reliefului..... | 17 |
| 3.2. Distribuția spațială a speciilor de arbori în funcție de orientarea versanților | 19 |
| 4. INFLUENȚA UNOR CONDIȚII CLIMATICE ASUPRA TIPURILOR DE PĂDURI STUDIAȚE | 20 |
| 4.1. Temperatura aerului și influența asupra dezvoltării pădurii..... | 20 |
| 4.2. Distribuția speciilor de arbori în funcție de temperatura aerului.... | 22 |
| 4.3. Aspecte privind evoluția temperaturii aerului și a precipitațiilor atmosferice în arealul studiat, în contextul schimbărilor climatice și influența lor asupra condițiilor ecologice | 23 |
| 5. ANALIZA INVERSIUNILOR DE VEGETAȚIE CA EFECT AL INVERSIUNILOR TERMICE UTILIZÂND TEHNICI GIS | 25 |
| 5.1. Distribuția spațială a inversiunilor de vegetație din zona de studiu și corelarea acestora cu arealele de manifestare a inversiunilor termice... | 25 |

| | |
|--|----|
| 5.1.1. Identificarea arealelor de manifestare a inversiunilor de vegetație folosind datele Corine Land Cover..... | 25 |
| 5.1.2. Identificarea arealelor de manifestare a inversiunilor de vegetație folosind informații derivate cu ajutorul imaginilor satelitare..... | 28 |
| 5.2. Orientarea versanților din zonele de manifestare a inversiunilor ... | 37 |
| 5.3. Distribuția spațială a speciilor de arbori din arealele cu inversiuni, în funcție de altitudine și de orientarea versanților..... | 39 |
| | |
| 6. STUDIU DE CAZ CU PRIVIRE LA ARBORETELE PLURIENE PRIMARE | 43 |
| 6.1. Arealul cartat | 43 |
| 6.2. Prezentare generală a echipamentului tehnic utilizat | 43 |
| 6.3. Realizarea zborurilor de cartare..... | 44 |
| 6.4. Prelucrarea imaginilor rezultate în urma procesului de cartare | 45 |
| 6.5. Clasificarea speciilor de arbori utilizând ortofotoplanul obținut prin prelucrarea imaginilor aeriene | 47 |
| 6.6. Distribuția spațială a speciilor de arbori în funcție de caracteristicile morfometrice ale terenului..... | 48 |
| | |
| CONCLUZII | 51 |
| | |
| BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ | 54 |

PROBLEME INTRODUCTIVE

Introducere

Lucrarea de față are un caracter complex, interdisciplinar, fiind abordate subiecte atât din domeniul climatologiei cât și din cel al biogeografiei. Au fost utilizate tehnici moderne de achiziție a datelor, fiind folosite imagini satelitare de înaltă rezoluție cât și imagini aeriene preluate cu ajutorul dronei, prelucrarea acestora efectuându-se cu ajutorul celor mai noi metode din domeniul teledetecției și Sistemelor Informaționale Geografice (GIS).

Clima este principalul factor care influențează extensiunea suprafețelor forestiere și structura pădurii.

Gradul ridicat de împădurire a Carpaților Orientali, precum și variabilitatea condițiilor morfoclimatice, fac din această regiune fizico-geografică un areal ideal pentru studiul distribuției spațiale a suprafețelor forestiere în funcție de caracteristicile morfometrice ale terenului și pentru analiza influenței principalelor elemente climatice, precum și a unor fenomene și procese climatice cu influență asupra dezvoltării formațiunilor forestiere pe flancul extern al Carpaților Orientali. S-a insistat asupra unor procese climatice precum inversiunile de temperatură, analizate printr-un raport invers, de la efect (inversiunile de vegetație) la cauză (inversiunile de temperatură). S-a analizat influența acestora asupra structurii învelișul forestier, prin prisma variabilității distribuției spațiale a speciilor de arbori. Este o abordare originală, avându-se în vedere că vegetația și peisajul sunt rezultante care definesc destul de corect tipul de climat. Bineînțeles că arealul de manifestare a inversiunilor de temperatură nu este limitat doar la spațiul intracarpatic. Cu toate acestea, morfometria și morfologia reliefului, în special a arealelor depresionare, reprezintă factori determinanții în apariția, intensitatea și frecvența fenomenului de inversiune termică (*Ichim, 2014*). Spre exemplu, fenomenul este vizibil preponderent în depresiunile mediane închise ale Carpaților Orientali, precum Depresiunea Ciuc (Apostol, 2004; *Sfîcă et al, 2019*;). În regiunea noastră de studiu, marile areale depresionare sunt reprezentate de Depresiunea Câmpulung Moldovenesc, Depresiunea Dornelor și Depresiunea Comănești. Este cunoscut faptul că inversiunile de temperatură au o frecvență, durată și o intensitate ridicată în arealele depresionare amintite.

Poziția geografică, limitele și suprafața arealului studiat

Arealul studiat este reprezentat de versantul extern (estic) al grupelor Nordică și Centrală, respectiv estic și sud-estic al grupeii de Curbură a Carpaților Orientali. Acest areal se suprapune peste partea de vest a bazinului hidrografic Siret, incluzând cursurile superioare ale celor mai importanți afluenți de dreapta ai acestuia, respectiv Suceava, Moldova, Bistrița, Trotuș, Putna și Buzău. Avându-se în vedere diverșii factori de mediu, din care o influență aparte o are orientarea versanților, pentru a avea o relativă omogenitate a expoziției generale a arealului studiat, limita sudică nu a fost extinsă până la Valea Prahovei pentru a cuprinde întreg flancul estic al Carpaților de Curbură. Limita sudică este trasată pe interfluviul ce desparte bazinul hidrografic al Buzăului de cel al râului Teleajen.



Figura 1. Aria studiată în contextul continentului European
(<https://www.megapixl.com/detailed-earth>)

Limita vestică a acestui teritoriu este trasată pe interfluviul care separă bazinul hidrografic al râului Siret de marile cursuri de apă ce străbat jumătatea apuseană a României, respectiv Tisa, Someș, Mureș, precum și Olt, afluentul direct al Dunării.

Limita estică a arealului de studiu este reprezentată de contactul dintre grupa Nordică a Carpaților Orientali și Podișul Sucevei, în nord, respectiv de contactul dintre grupa Centrală și de Curbură cu Subcarpații Moldovei și respectiv de Curbură, în sud. Astfel, zona studiată include doar partea montană a jumătății vestice a bazinului râului Siret, excluzând zonele subcarpatice și de podiș. În nord, limita ariei de studiu este dată de granița de stat.

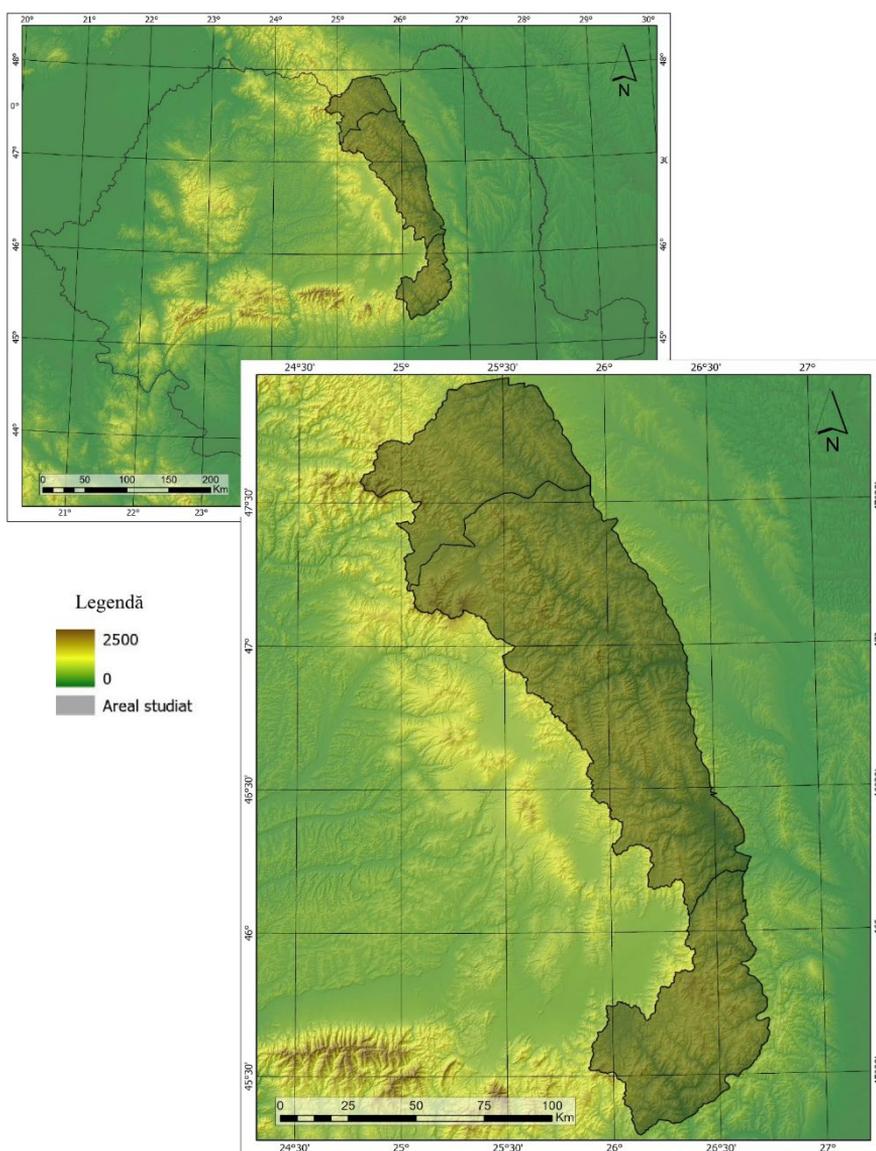


Figura 2. Poziția geografică a ariei de studiu

1. METODOLOGIE

1.1. Imagini satelitare, imagini aeriene și produse de teledetecție

1.1.1. Imagini satelitare

Imaginile satelitare Sentinel 2 sunt disponibile în mod gratuit și sunt puse la dispoziție de către ESA (Agenția Spațială Europeană) prin intermediul Copernicus Open Access Hub.

Sentinel 2 utilizează un senzor multispectral (MSI) capabil să înregistreze radiația electromagnetică din domeniul vizibil, infraroșu apropiat și infraroșu de undă scurtă.

Corectarea imaginilor descărcate a constat în transformarea produselor de tip L-1C în produse de tip L-2A. În cadrul acestui proces pot fi aplicate o serie de corecții imaginilor, în cazul de față cele mai importante fiind corecția topografică, dar și corecția atmosferică (Figura 3).



Figura 3. Comparație între imagine necorectată de tip L-1C și imagine prelucrată de tip L-2A (Kathmann, Ciutea, 2017)

Pentru acoperirea integrală a zonei studiate a fost necesară prelucrarea și mozaicarea a șapte scene satelitare Sentinel 2 (Figura 4). Acoperirea temporală a arealului este destul de omogenă, fiind folosite imagini din data de 10 Septembrie 2020 pentru partea nordică, respectiv 28 August 2020 pentru partea sudică (zona Carpaților de Curbură). Selecția imaginilor a fost condiționată în primul rând de valorile nebulozității, dar și de perioada vegetativă a speciilor de foioase.

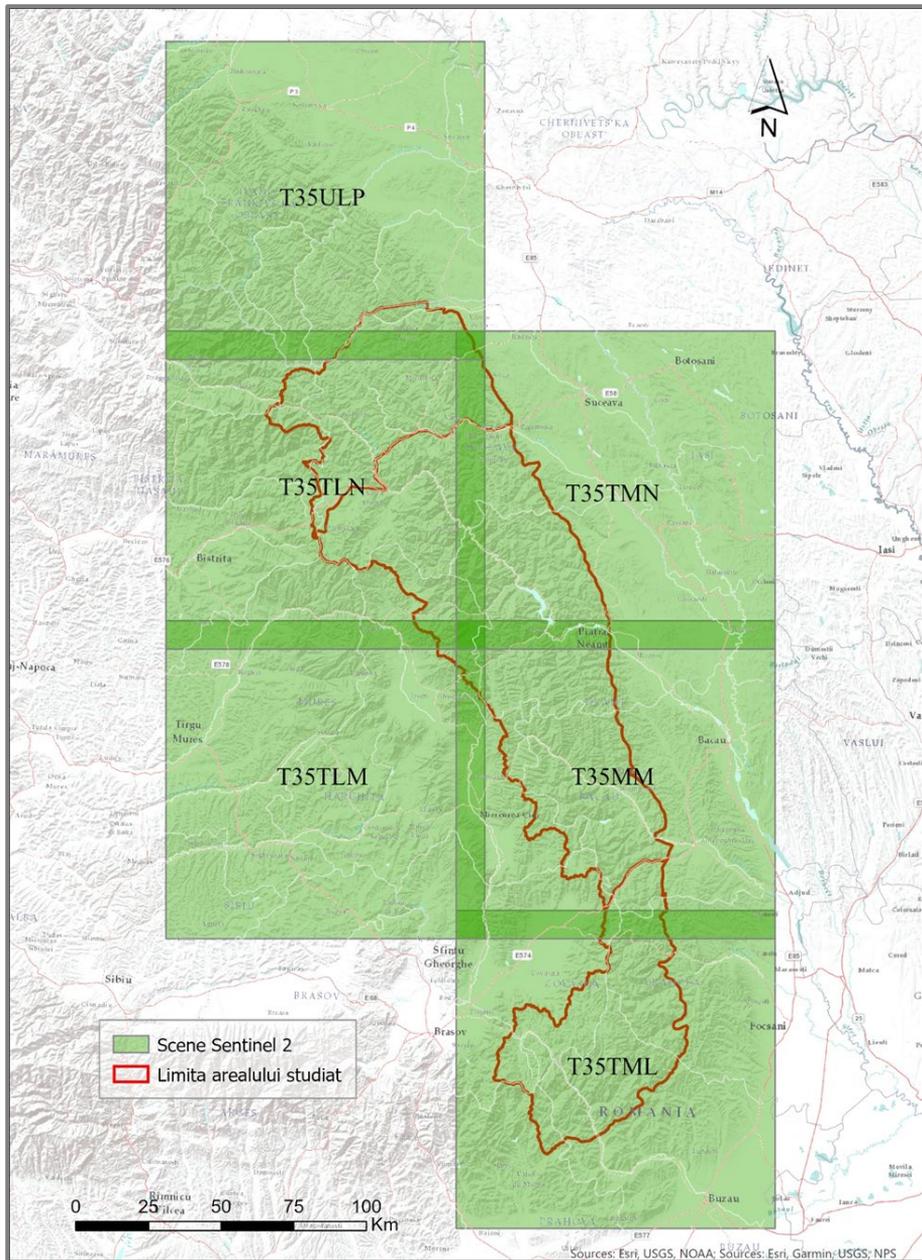


Figura 4. Scene satelitare Sentinel 2, folosite pentru realizarea mozaicului

Mozaicarea propriu-zisă a fost efectuată în programul Orfeo ToolBox, parametrii folosiți putând fi vizualizați în figura 5. Astfel, a fost obținut un raster cu o rezoluție spațială de 10m și 12 benzi spectrale. Acesta a fost importat în ArcGIS PRO, unde au fost extrași doar pixelii situați în interiorul arealului de studiu (Figura 5).

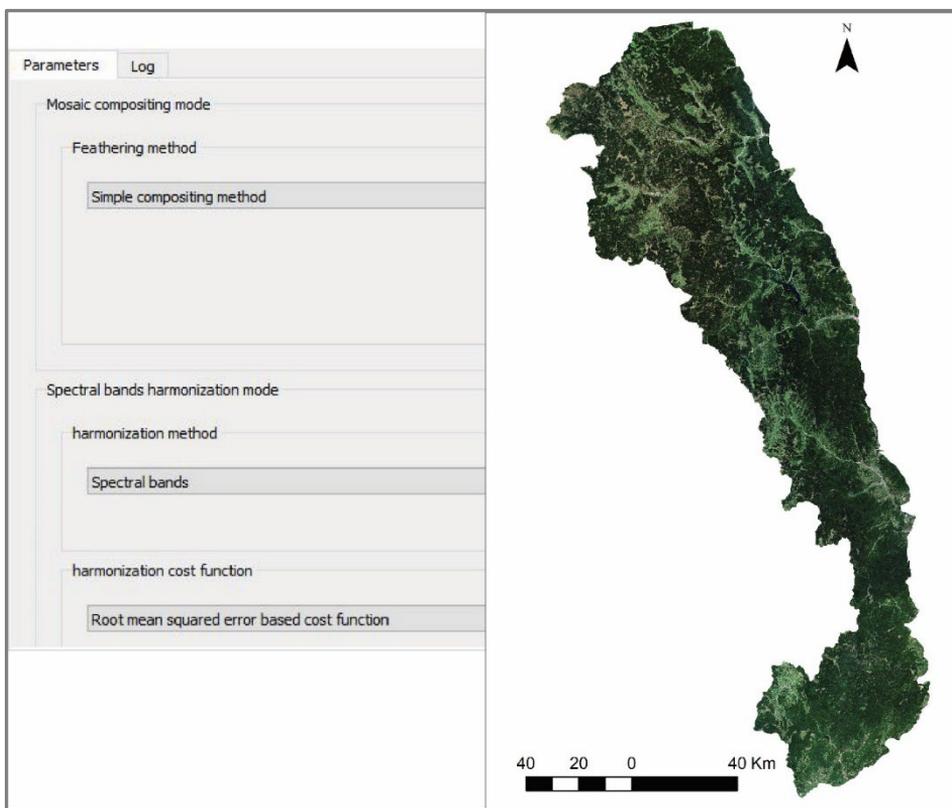


Figura 5. Parametrii folosiți pentru mozaicarea scenelor Sentinel 2 și rasterul rezultat

1.1.2. Imagini aeriene

Imaginile aeriene au fost preluate folosind o dronă de tip aripă fixă, model FAE Fixed Wing Rebel. Arealul cartat este reprezentat de trupul de pădure Slătioara, situat pe versantul sud-estic al masivului Rarău, în județul Suceava. Este un trup de pădure cu caracter primar, unde intervenția antropică este minimă, acesta fiind argumentul principal pentru selectarea acestuia pentru studiul de caz.

Ortofotoplanul obținut (Figura 6) în urma mozaicării și prelucrării ulterioare a imaginilor aeriene preluate în teren are o rezoluție spațială de 29,7cm și un număr de patru benzi spectrale, corespunzătoare lungimilor de undă de 550nm (verde), 660nm (roșu), 735nm (limita roșului) și 790nm (infraroșu apropiat).

Datorită gradului de suprapunere destul de ridicat al imaginilor preluate, a fost posibilă crearea unui model digital detaliat al suprafeței terenului. Pe baza modelului digital al suprafeței terenului, a fost posibilă determinarea altitudinii suprafeței topografice adiacente, obținându-se astfel și un model digital de elevație.

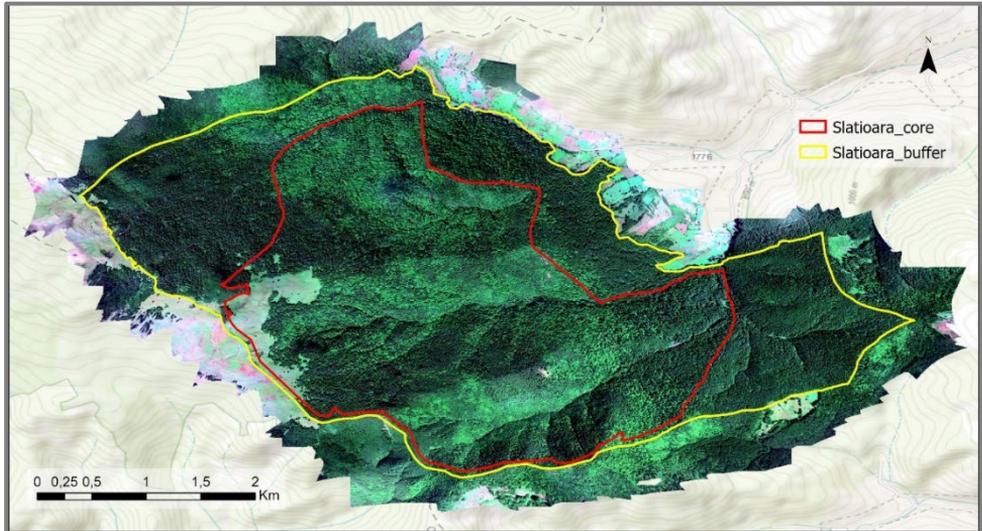


Figura 6. Ortofotoplanul obținut în urma cartării cu ajutorul dronei a trupului de pădure Slătioara

1.2. Date climatice și prelucrarea acestora

Variabilitatea condițiilor climatice locale din zona de studiu reprezintă, în primul rând, rezultatul etajării altitudinale a reliefului, dar și a extinderii în

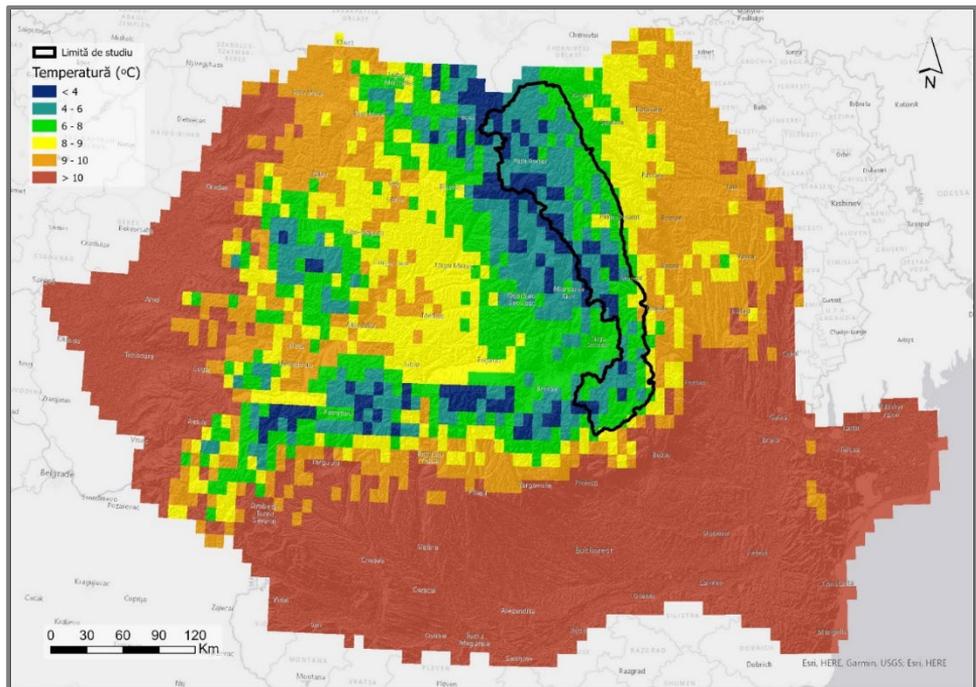


Figura 7. Reprezentare grafică a datelor ROCADA cu privire la temperaturile medii multianuale din intervalul 1961-2013, pentru teritoriul României (prelucrare după ROCADA)

latitudine arealului studiat, fapt ce implică și manifestarea unor diferite influențe climatice diverse.

Pentru estimarea valorilor de temperatură au fost folosite datele ROCADA (Dumitrescu, Bîrsan, 2015), disponibile pentru întreg teritoriul României. Au fost interogate și selectate datele cu privire la temperatura medie a aerului din perioada 1961–2013. Valorile zilnice au fost concatenate, obținându-se o bază de date cu valorile medii multianuale ale temperaturii aerului pentru întreaga perioadă precizată. Această bază de date a fost importată în ArcGIS PRO, unde a fost posibilă reprezentarea grafică a informațiilor extrase (Figura 7). Pentru o vizualizare mai facilă a valorilor de temperatură, punctele aferente pixelilor extrași din baza de date au fost interpolați utilizându-se algoritmul Kriging disponibil în ArcGIS PRO (Figura 8). Pentru a se obține un raster cu o rezoluție spațială îmbunătățită, s-a recurs la interpolarea datelor ROCADA utilizându-se o ecuație de regresie liniară derivată prin corelarea valorilor de temperatură cu valorile altitudinale extrase de pe modelul digital de elevație de tip ALOS PALSAR.

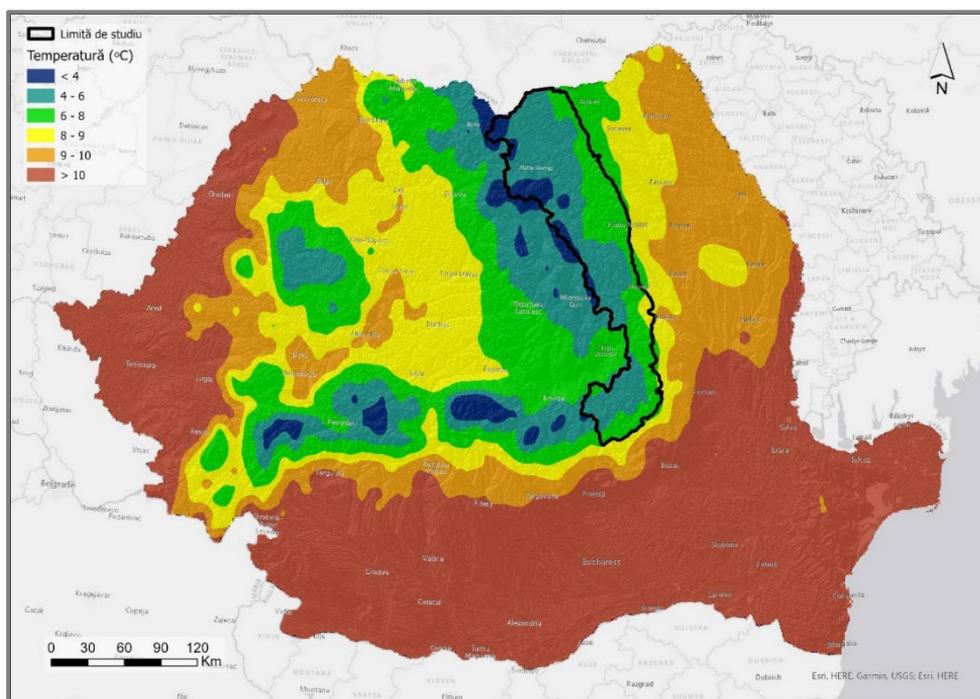


Figura 8. Distribuția spațială a valorilor temperaturii medii multianuale din intervalul 1961-2013, pentru teritoriul României (prelucrare după ROCADA)

2. SUPRAFAȚA FORESTIERĂ ȘI COMPONENTA SPECIILOR DE ARBORI DIN AREALUL DE STUDIU

2.1. Extragerea suprafețelor forestiere din arealul de studiu, utilizându-se imaginile satelitare Sentinel 2

Suprafața forestieră a fost extrasă utilizându-se o clasificare supervizată bazată pe obiect. Atât segmentarea, precum și clasificarea supervizată a suprafețelor împădurite, a fost efectuată în programul eCognition. A fost utilizat algoritmul multiresolution segmentation, cu benzile 2, 3, 4, 5, 8 și 11, corespunzătoare spectrului vizibil, NIR și SWIR. Valorile cele mai potrivite pentru parametrii scară, formă și compactitate (scale, shape, compactness) au fost găsite printr-un proces iterativ. Valorile utilizate au fost 80, 0,8 respectiv 0,4. Valoarea variabilei scale a fost selectată cu scopul de a se obține poligoane cât mai mari posibil, precum și pentru a delimita suprafețele împădurite de alte tipuri de vegetație, sau pentru a separa arboretele în funcție de compoziția speciilor.

Suprafața forestieră a fost extrasă aplicându-se un algoritm de clasificare supervizată poligoanelor rezultate în urma procesului de segmentare (Figura 10). A fost folosit algoritmul de clasificare nearest neighbour (cel mai apropiat vecin), disponibil în programul eCognition.



Figura 9. Obiectele rezultate în urma segmentării, suprapuse peste un compozit color (stânga) și rezultatul clasificării acestora (dreapta)

Benzile spectrale folosite pentru separarea claselor au fost selectate cu ajutorul instrumentului Feature Space Optimization.

Este important de menționat faptul că a fost extrasă numai suprafața acoperită de coronamentul pădurii. Alte goluri în coronament, care ar putea aparține unei păduri, au fost excluse de algoritmul de clasificare.

În urma clasificării au fost extrase suprafețe de 1.016.557ha de pădure, rezultatul acesteia fiind ilustrat în figura 10. Fiind un areal montan, se poate observa faptul că suprafața acoperită de vegetație forestieră este foarte însemnată, aceasta reprezentând 68,6%, conform rezultatelor clasificării imaginilor satelitare.

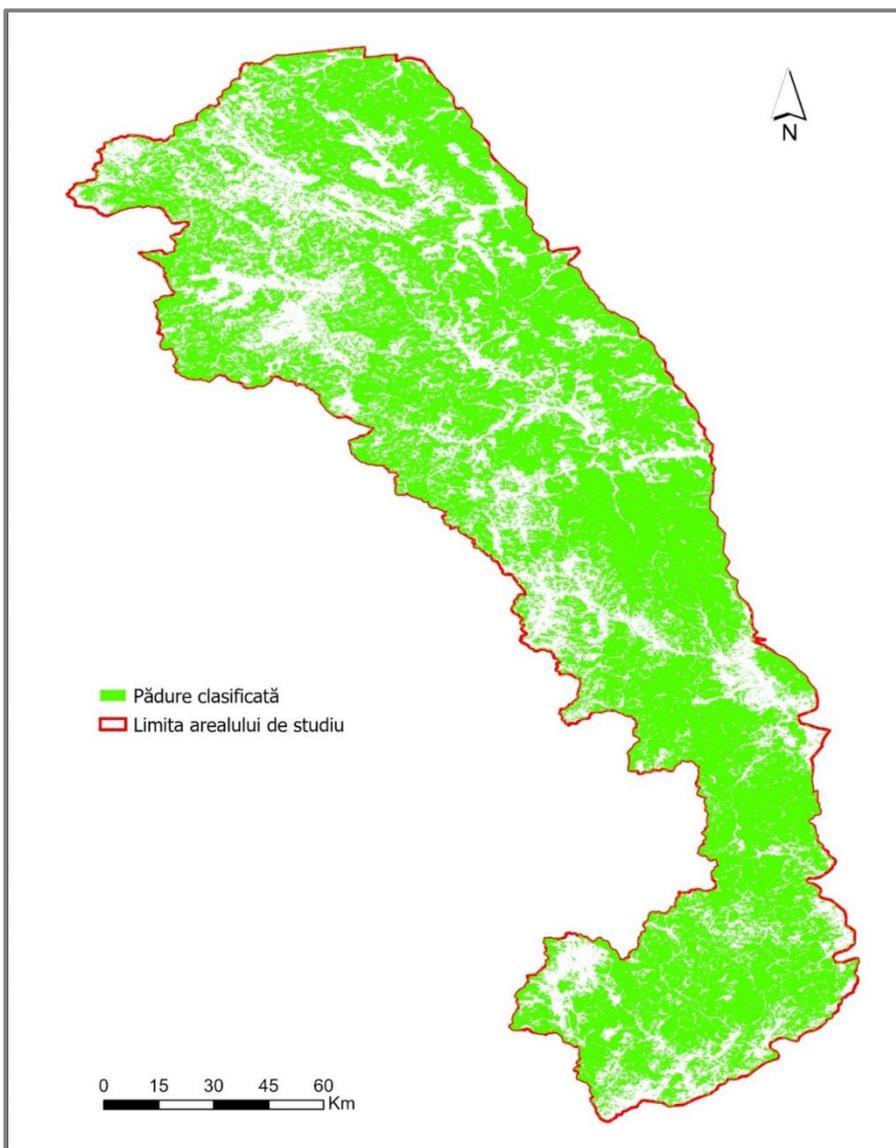


Figura 10. Rezultatul clasificării supervizate a imaginilor satelitare Sentinel 2, pentru arealul studiat

2.2. Clasificarea speciilor de arbori din arealul studiat

Stratul reprezentând suprafețele împădurite din arealul studiat, obținut folosind algoritmul prezentat anterior, va fi folosit pentru extragerea pixelilor aferenți arealelor forestiere din rastererele adiacente benzilor spectrale Sentinel 2. De data aceasta, a fost folosită o metodă de clasificare bazată pe pixel, dorindu-se a se realiza o separare cât mai precisă a arealelor ocupate de speciile de foioase și respectiv, de conifere. Pentru această clasificare a fost utilizat algoritmul Support Vector Machine, bazat pe Machine Learning și pus la dispoziție în ArcGIS PRO. Pentru o filtrare suplimentară a erorilor cauzate de existența unor pixeli reprezentând alte suprafețe decât cele forestiere, care nu au fost eliminați anterior, a fost creată o clasă suplimentară – alte suprafețe, pe lângă clasele conifere și foioase. Astfel, din totalul de 1.016.557ha de pădure extrase anterior, 29.322ha au fost clasificate ca aparținând altor suprafețe, suprafața forestieră recalculată fiind de 987.235ha.

Din totalul de 987.235ha de pădure, 733.982ha sunt ocupate de către speciile de conifere, reprezentând aproape trei sferturi (74,3%) din totalul suprafeței forestiere (Tabel 1).

Tabel 1. Suprafețele ocupate de către principalele grupe de specii de arbori din cele trei subgrupe ale Carpaților Orientali, arealele aferente zonei de studiu (date derivate utilizând imaginile satelitare Sentinel 2)

| | <i>Grupa Nordică</i> | <i>Grupa Centrală</i> | <i>Grupa Sudică</i> |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| <i>Conifere (ha)</i> | 156518 | 463544 | 113881 |
| <i>Conifere (%)</i> | 85,6 | 81,4 | 48,3 |
| <i>Foioase (ha)</i> | 26146 | 105511 | 121574 |
| <i>Foioase (%)</i> | 14,4 | 18,6 | 51,7 |
| <i>Total pădure (ha)</i> | 235456 | 569056 | 182664 |

În Grupa Nordică, pădurile de conifere sunt vizibil mai extinse, comparativ cu grupele Centrală sau de Curbură. Speciile de foioase sunt prezente la contactul cu Podișul Moldovei și Subcarpații Moldovei și au o extensie spațială mai însemnată în partea de sud, unde altitudinile sunt mai scăzute, expoziția sud-estică are pondere însemnată și este prezent fenomenul de foehn (Figura 11).

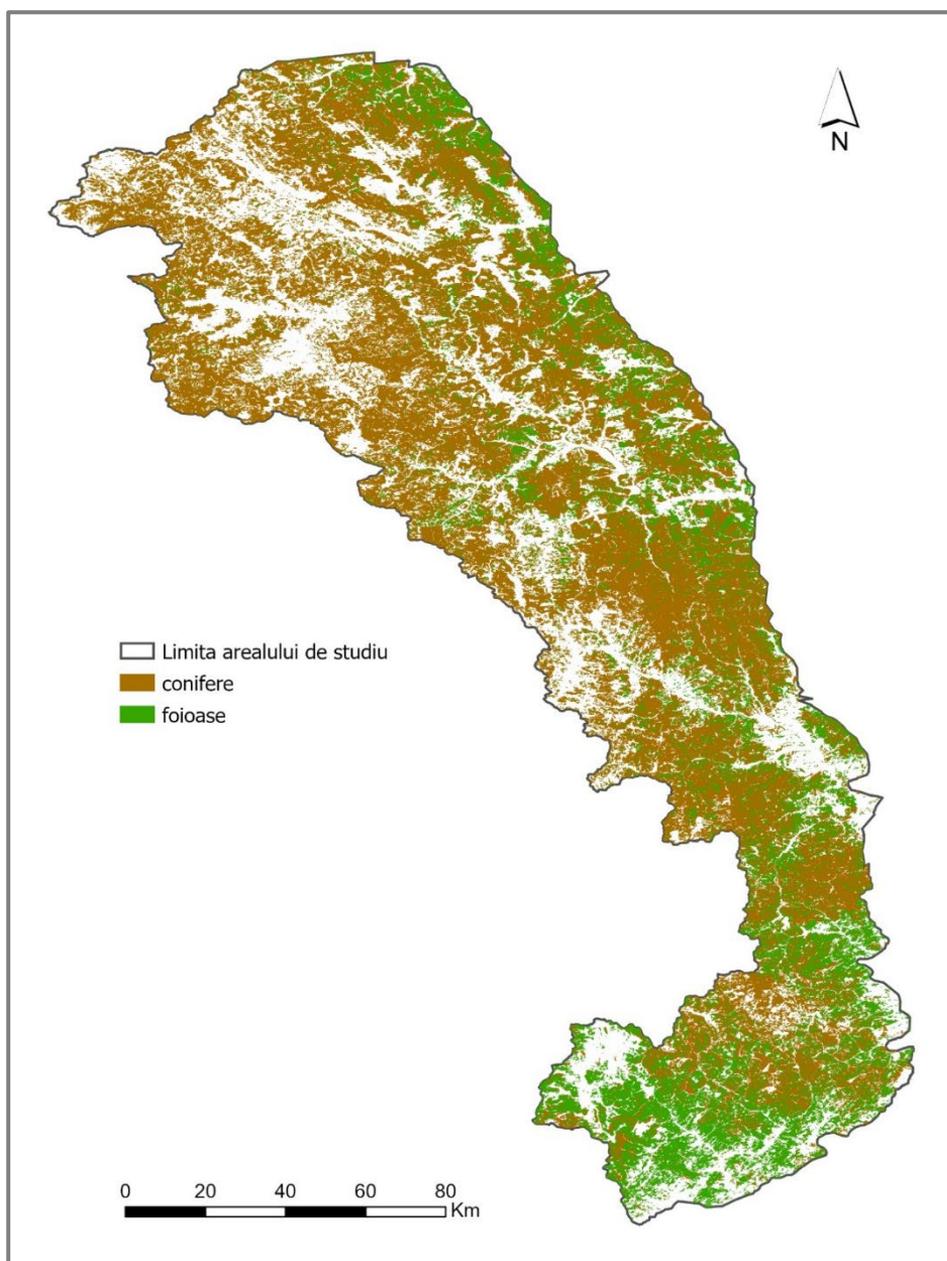


Figura 11. Rezultatul clasificării speciilor de foioase și de conifere din arealul studiat

Acuratețea clasificării a fost calculată utilizându-se informații cu privire la compoziția speciilor de arbori furnizate de către trei ocoale silvice situate în arealul studiat – Brodina și Moldovița, din Obcinile Bucovinei, respectiv Comandău din Munții Vrancei și Buzăului (Figura 12). Utilizându-se informațiile cu privire la compoziția speciilor de arbori, prezente în tabelul de atribute al poligoanelor reprezentând unitățile administrative ale ocoalelor

silvice menționate, a fost calculat procentajul deținut de fiecare grupă majoră de specii de arbori (conifere și foioase). Aceste cifre au fost mai apoi raportate la procentajele obținute pe baza clasificării imaginilor satelitare. Eroarea maximă este de 5,8% în ocolul silvic Moldovița, eroarea medie în cele trei

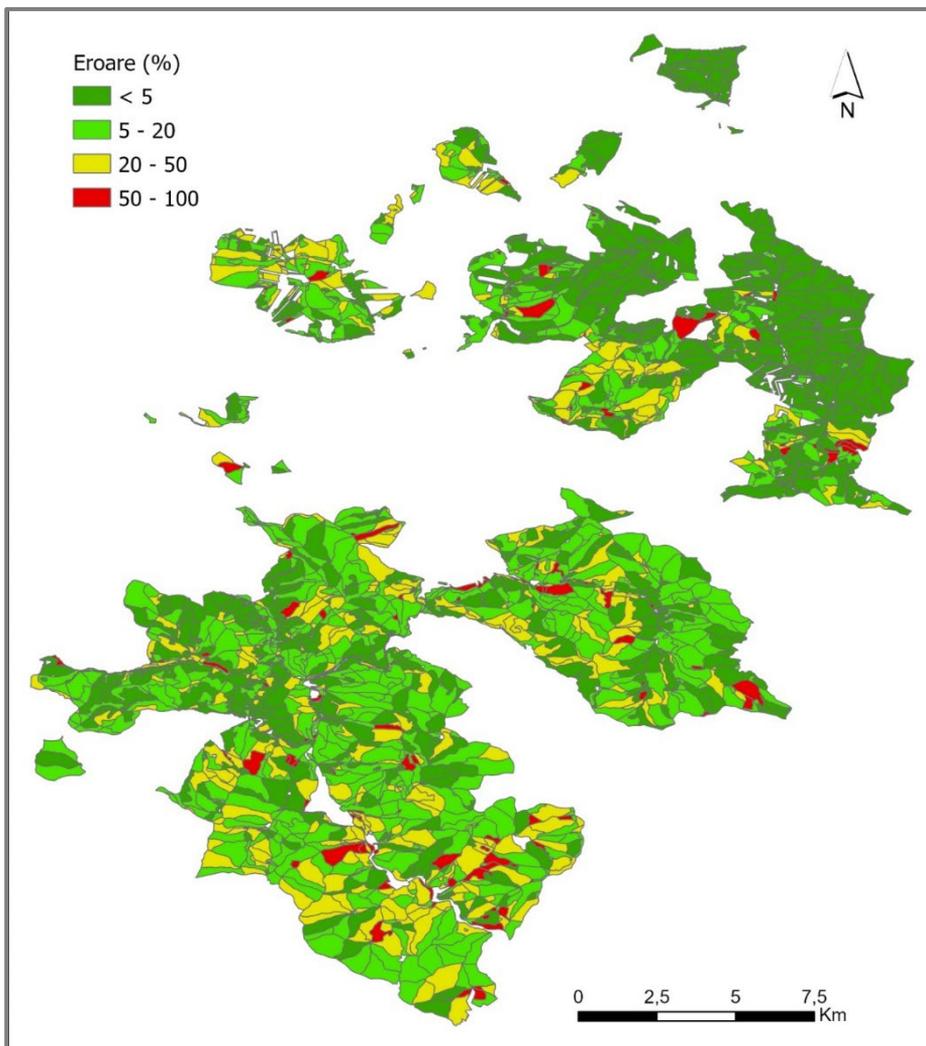


Figura 12. Diferența dintre informațiile disponibile în amenajamentul silvic și informațiile obținute prin clasificarea imaginilor satelitare cu privire la compoziția speciilor de arbori, pentru fiecare unitate amenajistică (OS Comandău)

ocoale fiind de 3,3%. Acuratețea clasificării este una acceptabilă, având în vedere faptul ca metodologia de cartare a speciilor de arbori prezentată anterior diferă în mod substanțial față de modul de inventariere a arborilor abordat de specialiștii regiei naționale a pădurilor, cartarea arborilor în teren având, evident, un grad de precizie mult mai ridicat.

3. DISTRIBUȚIA SPAȚIALĂ A SPECIILOR DE ARBORI ÎN FUNCȚIE DE CARACTERISTICILE MORFOMETRICE ALE TERENULUI

3.1. Distribuția spațială a speciilor de arbori în funcție de altitudinea reliefului

Valorile morfometrice din zona de studiu au fost derivate utilizându-se un model digital de elevație (DEM) ALOS PALSAR. Valorile medii altitudinale scad de la nord spre sud, de la 1014m în Grupa Nordică, până la 961m și 983m, în Grupa Centrală și respectiv Grupa Carpaților Curburii. Altitudinea medie a întregului areal studiat este de 977m.

Speciile de conifere au extensiunea maximă în jurul altitudinii de 1000m, iar speciile de foioase în jurul altitudinii de 850m (Figura 13). De asemenea, se poate observa faptul că suprafețele forestiere au o extensiune altitudinală de aproximativ 1400–1500m, pădurile ocupând suprafețele situate la altitudini începând cu 300–400m și urcând până la altitudini de aproximativ 1900-2000m. În cazul speciilor de foioase, se poate remarca o inflexiune în

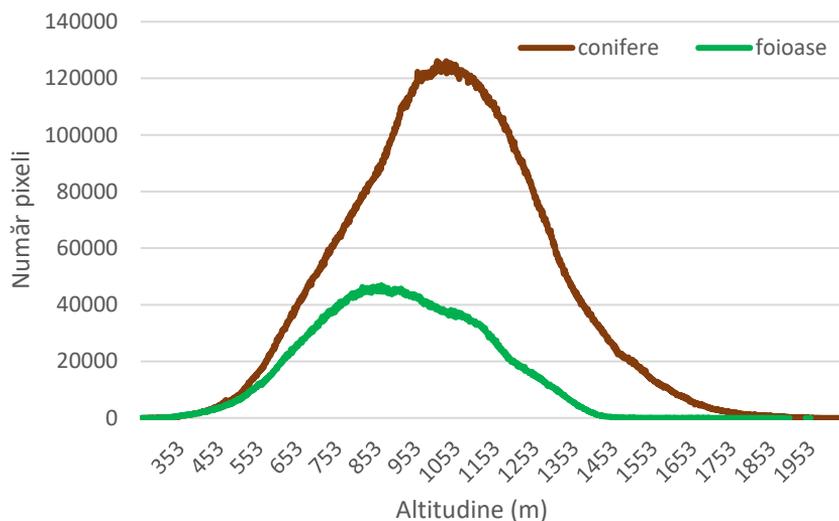


Figura 13. Distribuția speciilor de arbori în funcție de altitudinea reliefului, pentru întreaga zonă de studiu

jurul altitudinii de 1000-1200m. Aceasta ar putea fi un indicator al influenței proceselor de inversiune termică, intervalul altitudinal menționat reprezentând arealul cu frecvență poziționare a benzii calde.

Distribuția altitudinală a speciilor de foioase are o forma asemănătoare în cazul grupei de nord și Centrală (Figura 14), arborii din aceasta categorie având o pondere maximă în jurul valorilor de 700-900m. Altitudinea maximă până la care urca pădurea de foioase este mai ridicată în cazul grupei sudice, întâlnindu-se arbori din aceasta categorie până la 1450m, spre deosebire de celelalte doua unități, unde foioasele se extind până la aproximativ 1350m.

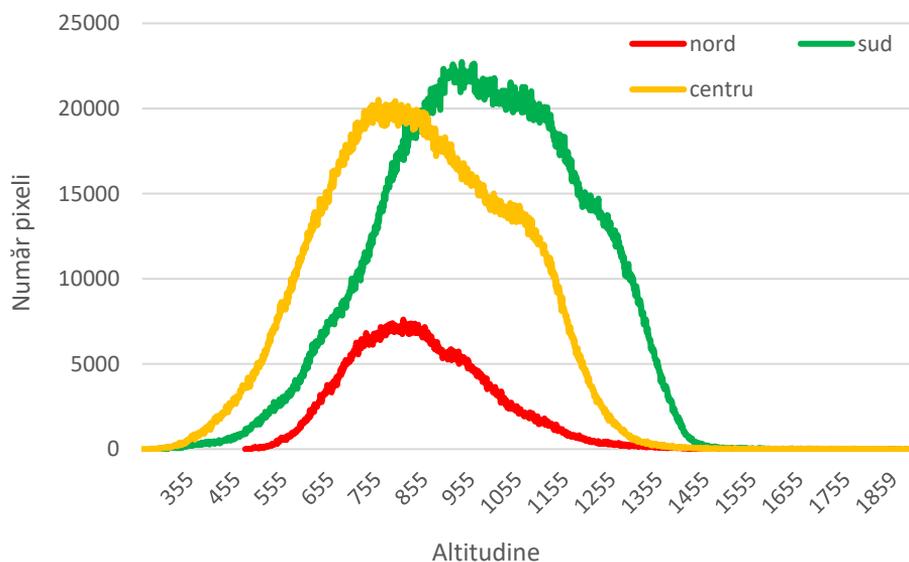


Figura 14. Distribuția speciilor de foioase, în funcție de altitudinea reliefului, pentru cele trei mari grupe ale Carpaților Orientali

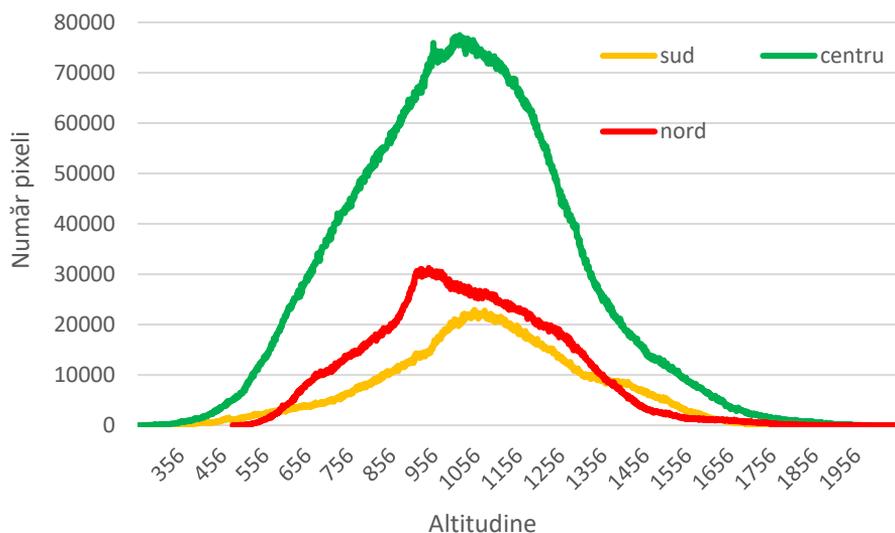


Figura 15. Distribuția speciilor de conifere, în funcție de altitudinea reliefului, pentru cele trei mari grupe ale Carpaților Orientali

În cazul speciilor de conifere (Figura 15), primul lucru care se poate remarca este forma puternic alterată a curbei ce reprezintă distribuția altitudinală a arborilor din grupa de nord. În acest caz, intervalul altitudinal de 900–1000m, ce concentrează cea mai însemnată pondere de arbori, reprezintă cel mai probabil rezultatul intervenției antropice. În cazul celorlalte două areale, ponderea maximă se înregistrează în jurul altitudinilor de 950–1110m în cazul grupei Centrale și 1000-1150m în cazul grupei de Sud. De asemenea, distribuția altitudinală a coniferelor din grupa de Nord urmează un trend descendent mai pronunțat la altitudini mari, concavitățile curbei graficului fiind mai evidente în acest caz. Acest lucru poate fi pus pe seama influențelor climatice locale.

3.2. Distribuția spațială a speciilor de arbori în funcție de orientarea versanților

În cadrul arealului de studiu, versanții umbriți sunt predominanți, astfel încât, din acest punct de vedere, am putea spune că speciile de conifere ar fi avantajate.

Distribuția speciilor de foioase este relativ uniformă, cu ponderi mai însemnate pe versanții umbriți și semi-umbriți. În figura 16 se poate remarca faptul că distribuția speciilor de conifere este dominantă pe versanții nordici și nord-vestici.

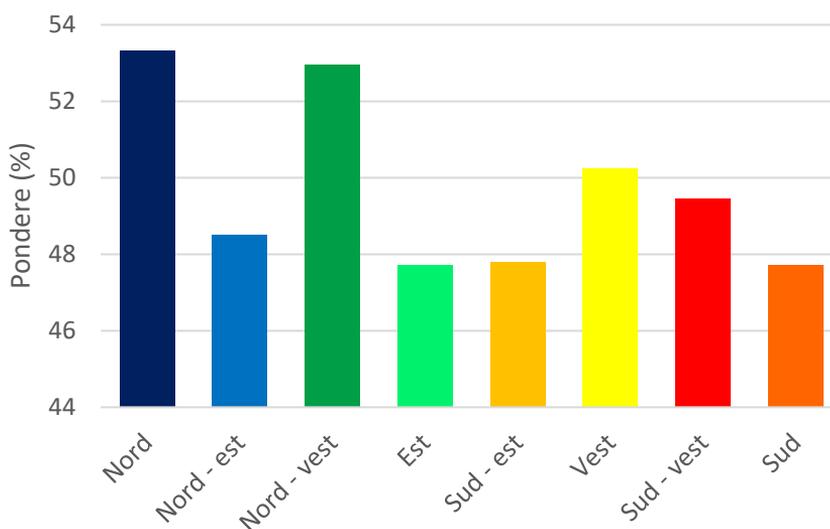


Figura 16. Ponderea suprafețelor ocupate de către speciile de conifere, în cadrul fiecărei clase de orientare a versanților din arealul studiat

4. INFLUENȚA UNOR CONDIȚII CLIMATICE ASUPRA TIPURILOR DE PĂDURI STUDIAȚE

4.1. Temperatura aerului și influența asupra dezvoltării pădurii

Temperatura aerului influențează un număr însemnat de parametri ecologici, aceasta acționând prin medii și extreme, provocând unele fenomene ce influențează într-un mod substanțial învelișul vegetal.

Valoarea medie a temperaturii din arealul studiat, calculată pe baza rasterului de regresie rezultat, este de 5,5°C. Amplitudinea valorilor temperaturii din arealul de studiu este destul de ridicată, având în vedere variația altitudinală semnificativă. Astfel, deși vorbim despre o zonă montană, temperaturile sunt destul de ridicate în zonele depresionare și în marile văi, înregistrându-se valori medii de 8-9°C la altitudini mai scăzute de 400m. Valorile medii minime sunt specifice, bineînțeles, zonelor cu altitudini foarte ridicate, atingând valori negative pe crestele Munților Rodnei, cei mai înalți din zona noastră de studiu. Conform hărții de la figura 19, valorile temperaturii aerului din arealul de studiu sunt cuprinse între -1°C și 9,3°C, cele mai ridicate valori înregistrându-se în depresiuni, pe culoarele marilor artere hidrografice reprezentate de afluenți de dreapta ai Siretului (Moldova, Suceava, Bistrița Trotuș, Buzău).

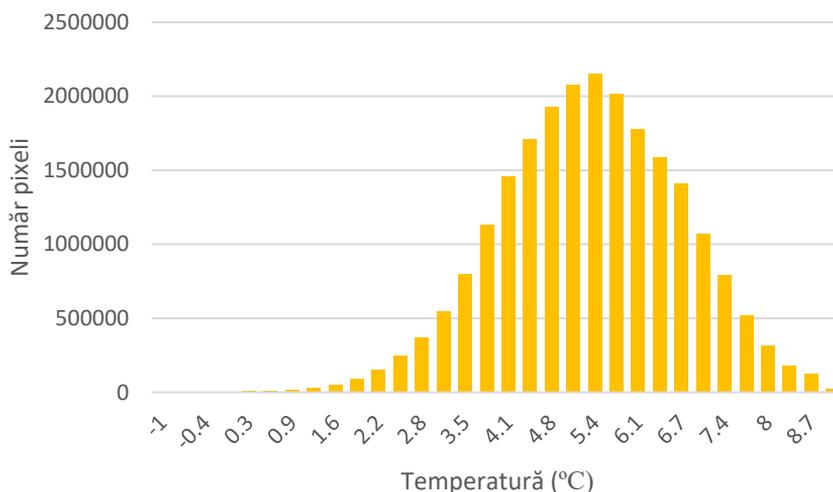


Figura 17. Histograma rasterului reprezentând temperatura medie multianuală din intervalul 1963 - 2013, în arealul studiat

Pentru cele trei mari grupe montane ale Carpaților Orientali, valorile temperaturilor medii variază într-un interval de 0,3°C. Astfel, în Grupa

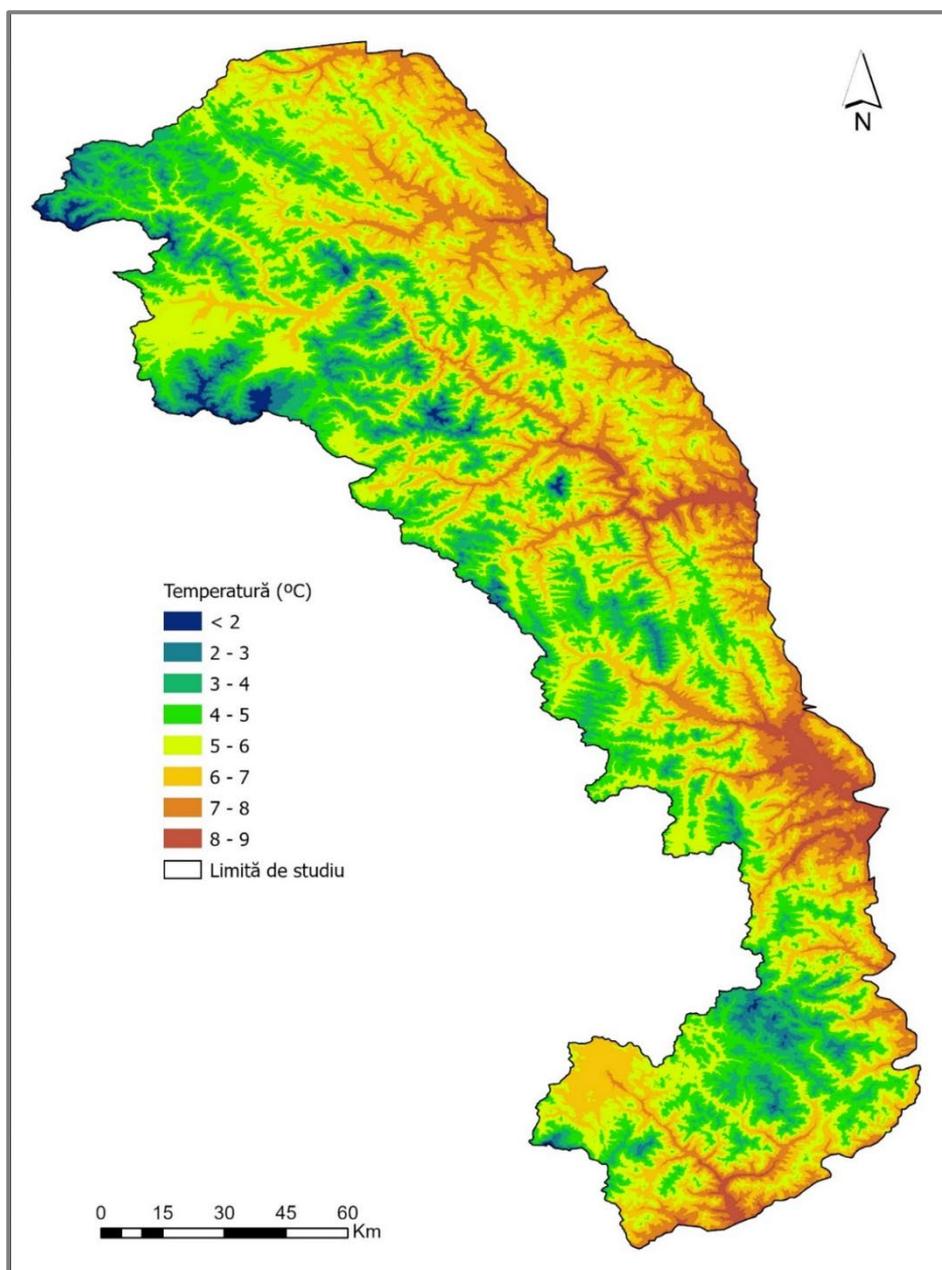


Figura 18. Harta temperaturii medii multianuale, din intervalul 1961-2013, pentru arealul studiat (sursa datelor: Dumitrescu, Bîrsan, 2015)

Nordică temperatura medie are valoarea cea mai scăzută, de 5,33°C. Valoarea acesteia crește spre sud, la 5,6 °C în grupa Centrală, respectiv 5,5°C în grupa Carpaților de Curbură. Valoarea medie a temperaturii se află în corelație cu altitudinea medie a reliefului fiecărei grupe, dar și cu latitudinea diferită.

4.2. Distribuția speciilor de arbori în funcție de temperatura aerului

Speciile de conifere au o dezvoltare maximă a numărului de indivizi în jurul temperaturii de 5°C (Figura 20). Temperatura minimă care permite dezvoltarea pădurilor de conifere este de aproximativ 0,5-1°C. Temperatura maximă de extindere a etajului coniferelor este influențată de factorul antropic prin alterarea compoziției speciilor arboretelor primare, respectiv plantarea de specii de rășinoase în locul celor de foioase la altitudini mai coborâte, sau prin defrișări, în special în zonele depresionare. De asemenea, se poate remarca o anomalie în jurul temperaturilor de 4,6-4,8°C, în sensul în care trendul ascendent al numărului de pixeli reprezentând speciile de conifere este întrerupt. Acest lucru indică faptul că numărul de arbori aparținând speciilor de conifere este mai ridicat în intervalul altitudinal de 1130-1150m, corespunzător temperaturii de 4,6°C, comparativ cu intervalul altitudinal de 1115-1135m, corespunzător temperaturii medii de 4,7°C. O astfel de situație poate indica prezența unor inversiuni de temperatură. În cazul acesta însă, explicația constă în extensia spațială mai mare a intervalului altitudinal 1130-1150m (337.890 pixeli), față de treapta 1115-1135m (331.888 pixeli).

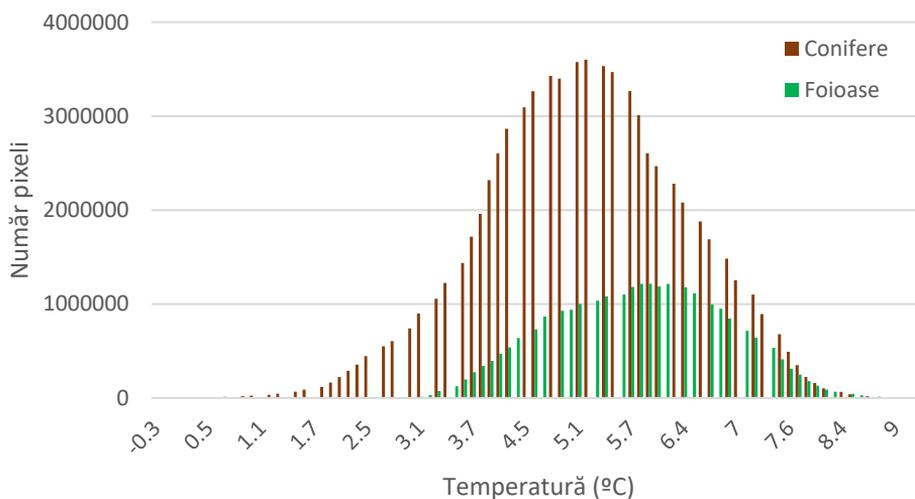


Figura 19. Ilustrare comparativă a distribuției numărului de pixeli aparținând speciilor de conifere și de foioase, în funcție de temperatura aerului

În cazul speciilor de foioase, se poate observa faptul că extinderea acestora este clar limitată de condițiile morfoclimatice locale. Astfel, arborii aparținând speciilor de conifere au o extindere însemnată doar în arealele cu temperaturi medii multianuale mai ridicate de 3°C.

4.3. Aspecte privind evoluția temperaturii aerului și a precipitațiilor atmosferice în arealul studiat, în contextul schimbărilor climatice și influența lor asupra condițiilor ecologice

Schimbările climatice afectează distribuția spațială a zonelor climatice, odată cu creșterea temperaturii medii globale (Galia et al, 2015). Din cauza că aceste schimbări se petrec într-un interval scurt de timp, multe formațiuni forestiere adaptate unui anumit etaj climatic nu vor mai beneficia de condiții optime de dezvoltare (Galia et al, 2015).

La nivelul României, se poate remarca faptul că creșterea cea mai accentuată caracterizează partea de est a țării, unde se resimt influențele continentale (Figura 21).

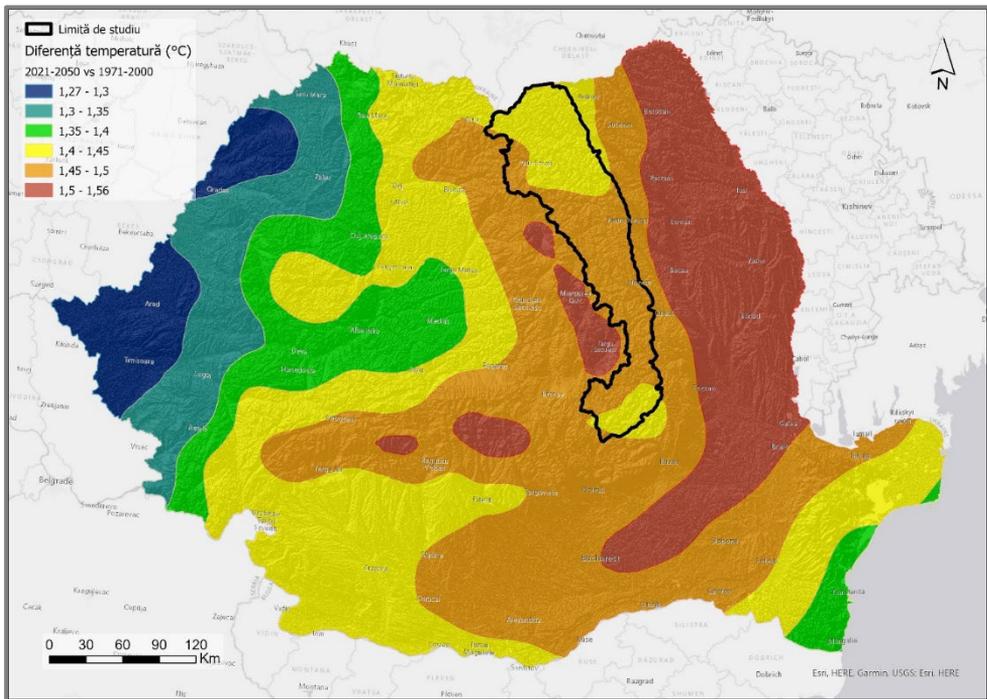


Figura 20. Diferența temperaturilor medii multianuale modelate pentru perioadele 2021-2050 și 1971-2000, în condițiile scenariului RCP 8.5 (după Bojariu et al, 2015)

În cazul arealului studiat se poate remarca faptul că pentru intervalul 1961-2016 creșterile cele mai semnificative de temperatură au fost înregistrate în Grupa Nordică, Grupa Carpaților de Curbură remarcându-se printr-o creștere mai moderată. Se poate astfel observa că amplitudinea diferenței de temperatură înregistrată în intervalul de timp menționat este foarte ridicată pentru arealul nostru de studiu, comparativ cu celelalte mari unități montane,

respectiv Carpații Meridionali și Occidentali. Acest lucru se reflectă în variabilitatea condițiilor morfoclimatice din zona studiată, concretizându-se într-un aspect eterogen al structurii învelișului forestier, comparativ cu celelalte două unități montane.

În ceea ce privește cantitatea de precipitații, la nivelul arealului studiat se poate remarca o variabilitate accentuată a valorilor prognozate, astfel încât, dacă la nivelul Grupei Nordice sunt valori pozitive, indicând o creștere a cantității de precipitații, la nivelul Grupei Sudice creșterea este estompată, având chiar valori negative la contactul cu unitățile limitrofe din sud-est (Figura 22). Creșterea variabilității cantităților de precipitații ar putea avea ca efect accentuarea diferenței în ceea ce privește distribuția altitudinală a speciilor de arbori din arealul de studiu.

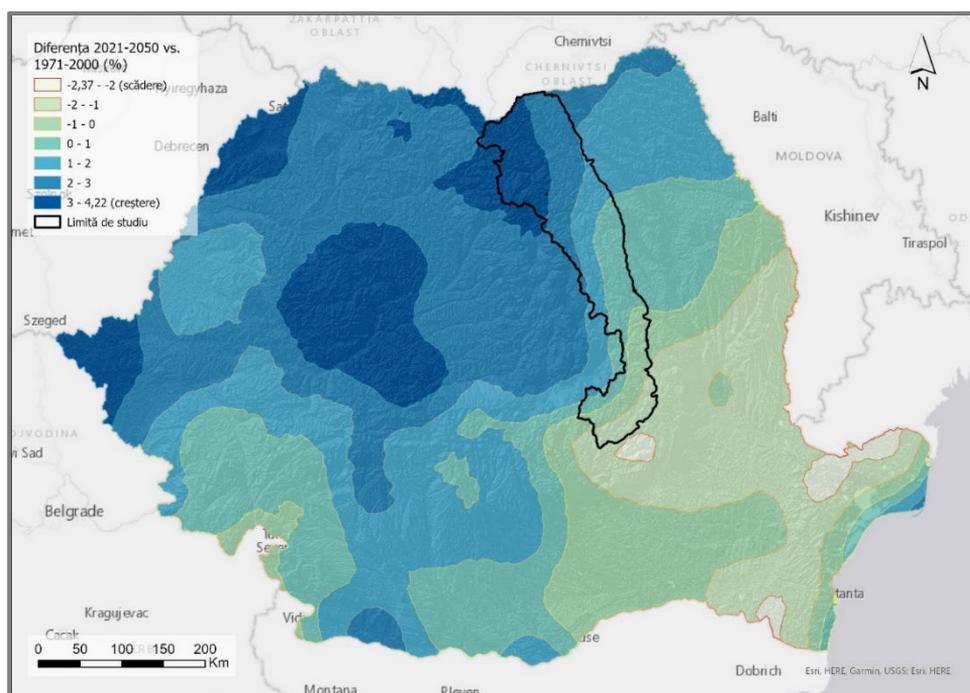


Figura 21. Diferența medie multianuală a cantităților de precipitații, calculată pentru perioadele 2021-2050 și 1971-2000 (după Bojariu et al, 2015)

Simulările prognozează o creștere a intensității precipitațiilor, în special în zona montană. Flancul estic al Carpaților Orientali este arealul montan unde se înregistrează cele mai scăzute creșteri comparativ cu unitățile montane aferente Carpaților Meridionali și Occidentali, unde valorile creșterii sunt mai însemnate și se manifestă pe un areal mai extins.

5. ANALIZA INVERSIUNILOR DE VEGETAȚIE CA EFECT AL INVERSIUNILOR TERMICE UTILIZÂND TEHNICI GIS

5.1. Distribuția spațială a inversiunilor de vegetație din zona de studiu și corelarea acestora cu arealele de manifestare a inversiunilor termice

Identificarea arealelor de manifestare a fenomenelor de inversiune termică se va realiza în mod indirect, exploatând influența vizibilă a condițiilor climatice locale asupra suprafețelor împădurite, respectiv asupra compoziției arboretelor și a distribuției spațiale a speciilor de arbori din cadrul arealului de studiu (Ciutea, Jitariu, 2020). S-a urmărit elaborarea un algoritm care să permită identificarea inversiunilor naturale de vegetație forestieră, respectiv a arealelor unde au loc frecvent inversiuni de temperatură.

Algoritmul de identificare a inversiunilor de vegetație va fi aplicat utilizându-se date de intrare multiple. Astfel, distribuția spațială a învelișului forestier și compoziția generală a speciilor vor fi reprezentate utilizându-se, pe rând, datele Corine Land Cover, precum și informațiile derivate din imaginile satelitare Sentinel 2.

Pentru a observa eficiența algoritmilor la o scară mai detaliată, se va efectua un studiu de caz pe o suprafață mai restrânsă, respectiv Codrul Secular de la Slătioara. Astfel, se va lucra cu informații despre învelișul forestier derivate utilizând un ortofotoplan cu o rezoluție spațială mult mai ridicată decât imaginile satelitare.

5.1.1. Identificarea arealelor de manifestare a inversiunilor de vegetație folosind datele Corine Land Cover

În figura 23 se pot vizualiza pașii de lucru urmați în scopul generării poligoanelor ce delimitează versanții zonei de studiu. Scopul a fost obținerea unui strat final de tip vector, cu o topologie de tip poligon, care să cuprindă versanții zonei studiate la o scară îndeajuns de detaliată pentru a putea identifica zonele predispușe la apariția de inversiuni termice. Vectorul final trebuie să cuprindă, în tabelul de atribute, pentru fiecare versant, pe lângă informații cu privire la orientarea generală a acestuia, informații despre suprafețele forestiere cu care se intersectează. Aici vorbim de informații calitative, precum specia arborilor, cât și de informații cantitative, precum suprafața ocupată de către fiecare specie, în cadrul fiecărui versant, sau

altitudinea medie a suprafețelor forestiere, pe specii, calculată iarăși pentru fiecare versant în parte.

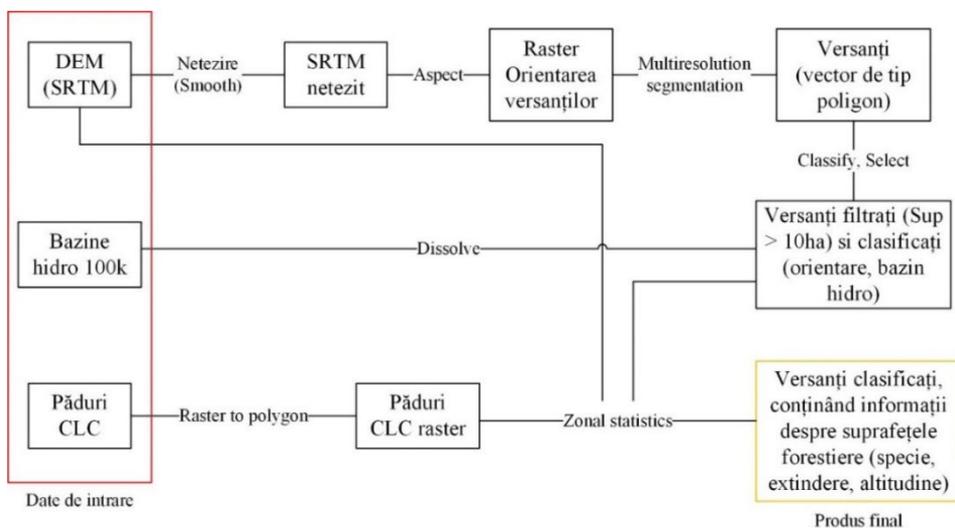


Figura 22. Pașii de lucru urmați în scopul generării poligoanelor ce delimitează versanții zonei de studiu

Au fost selectați versanții în cadrul cărora altitudinea medie ocupată de speciile de foioase este mai ridicată decât altitudinea medie ocupată de speciile de conifere sau pădurea de amestec. Un alt caz este reprezentat de versanții unde altitudinea medie a arboretelor de amestec este mai ridicată decât cea a coniferelor. Folosindu-se instrumentul Select by attributes din ArcGIS, au fost selectate, în primă fază, poligoanele unde altitudinea medie ocupată de către speciile de foioase este mai ridicată decât altitudinea medie ocupată de speciile de conifere. În urma acestui proces au fost selectate 250 de poligoane, reprezentând 10% din totalul poligoanelor luate în considerare. Același instrument a fost folosit și în al doilea caz, fiind selectate poligoanele unde altitudinea medie a clasei „Amestec” este mai ridicată decât altitudinea medie a clasei reprezentând speciile de conifere. Au fost astfel selectate 1170 de poligoane, reprezentând 50% din totalul obiectelor analizate.

Pe harta de la figura 24 se poate observa că în zona Obcinelor Bucovinei și în Munții Stănișoarei, inversiunile de vegetație sunt mai evidente decât în cazul Munților Vrancei. Astfel, se poate observa că ponderea poligoanelor roșii este mai ridicată în arealul menționat, ceea ce poate însemna că probabilitatea producerii inversiunilor termice este mai mare, sau că acestea se produc mai frecvent, având efecte foarte vizibile asupra compoziției speciilor forestiere din zonă.

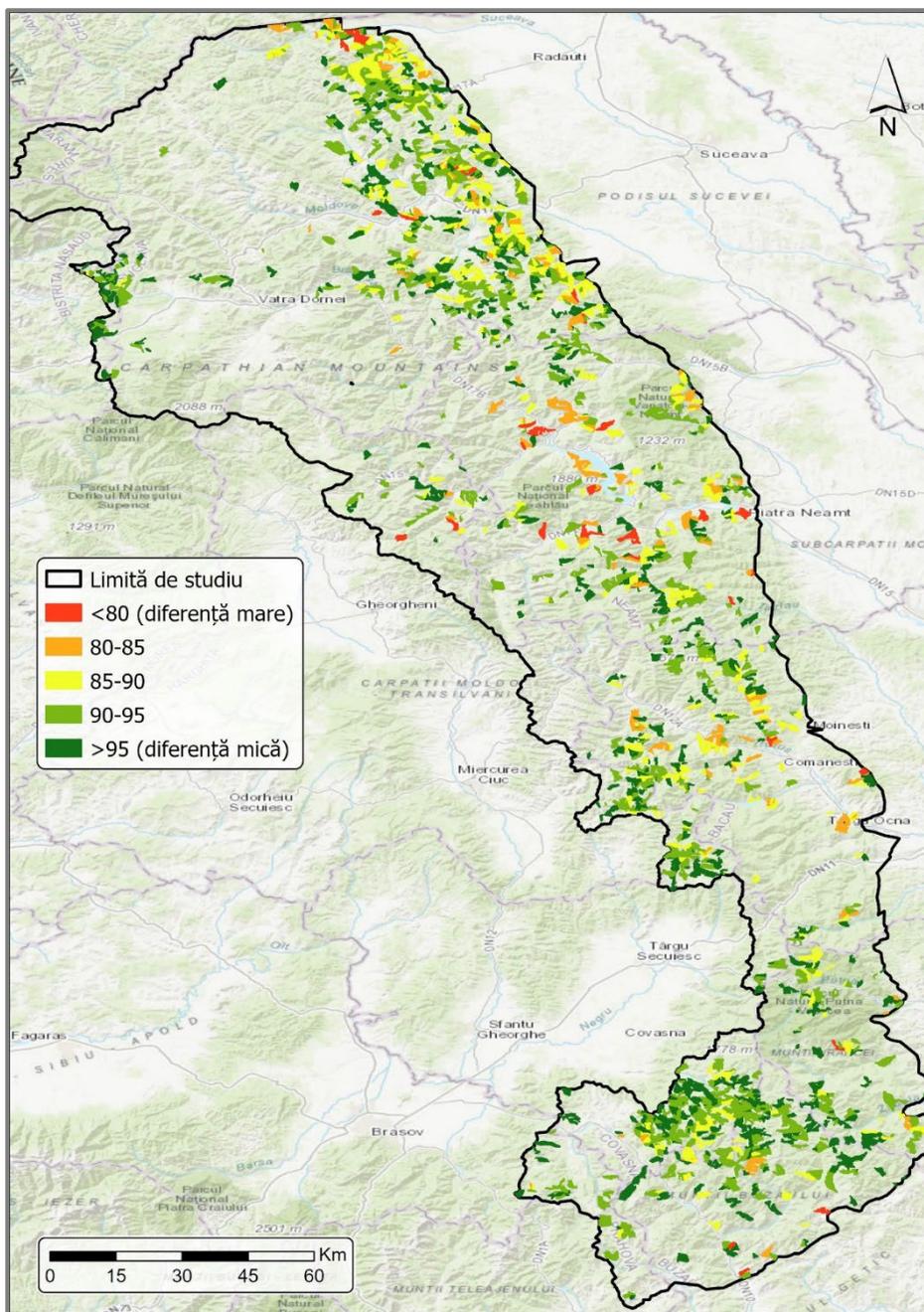


Figura 23. Rezultatul analizei tuturor claselor forestiere prezente în CLC, din arealul studiat

Acuratețea analizei ar putea fi îmbunătățită folosindu-se un set de date mai precis decât Corine Land Cover. Prin set de date mai precis se poate înțelege și rezoluție spațială mai ridicată. Clasa amestec din CLC ar putea fi astfel eliminată dacă s-ar cunoaște poziția individuală a arborilor aparținând speciilor de conifere și de foioase.

5.1.2. Identificarea arealelor de manifestare a inversiunilor de vegetație folosind informații derivate cu ajutorul imaginilor satelitare

Comparativ cu metodologia explicată în subcapitolul anterior, principala deosebire constă în faptul că informațiile cu privire la învelișul forestier au fost extrase utilizându-se imagini satelitare Sentinel 2. Așadar, ca și în cazul anterior, scopul a fost obținerea unui strat vectorial de tip poligon, reprezentând versanții zonei studiate la o scară destul de detaliată pentru a putea identifica zonele predispuse la apariția de inversiuni termice. În cazul de față însă, informațiile cantitative cu privire la suprafața ocupată de către principalele specii de arbori, precum și altitudinea medie a acestora, în cadrul fiecărui versant, au fost obținute pornind de la imaginile satelitare Sentinel 2.

Spre deosebire de datele Corine Land Cover, informațiile derivate cu ajutorul imaginilor Sentinel conțin doar două clase de specii de arbori: foioase și conifere. Clasa amestec nu mai este necesară, deoarece clasificarea imaginilor satelitare s-a făcut la nivel de pixel, iar rezoluția spațială și spectrală a imaginilor Sentinel 2 este îndeajuns de ridicată. Rezoluția spațială ridicată a permis o diferențiere îndeajuns de clară a pixelilor aparținând speciilor de conifere, respectiv de foioase.

În acest caz, condiția principală care trebuie îndeplinită este ca altitudinea medie a suprafețelor ocupate de către speciile de foioase, să fie mai ridicată decât altitudinea medie aferentă arealului ocupat de către speciile de conifere. În urma filtrării, au fost selectați un număr de 3386 de versanți, cu aproximativ 65% mai mulți decât în cazul utilizării datelor Corine Land Cover. Ca și în cazul anterior, pentru a evidenția arealele unde este posibilă manifestarea fenomenelor de inversiune termică, poligonale selectate au fost clasificate în funcție de diferența între altitudinea medie a speciilor de foioase și de altitudinea medie a speciilor de conifere. Astfel, au fost obținute valori începând de la sub un metru, valoarea cea mai ridicată având 244m (Figura 25). Valorile mai scăzute, reprezentate pe harta de la figura 25 cu culoarea verde, indică o diferență mai mică între altitudinea suprafețelor ocupate de către speciile de foioase și a arealelor aferente speciilor de conifere. Așadar, în arealele amintite probabilitatea de existență a inversiunilor de vegetație este mai mică. Aceasta probabilitate este direct proporțională cu diferența de altitudine, astfel încât zonele marcate cu culorile portocaliu și roșu vor reprezenta versanții unde existența inversiunilor de vegetație este mai evidentă.

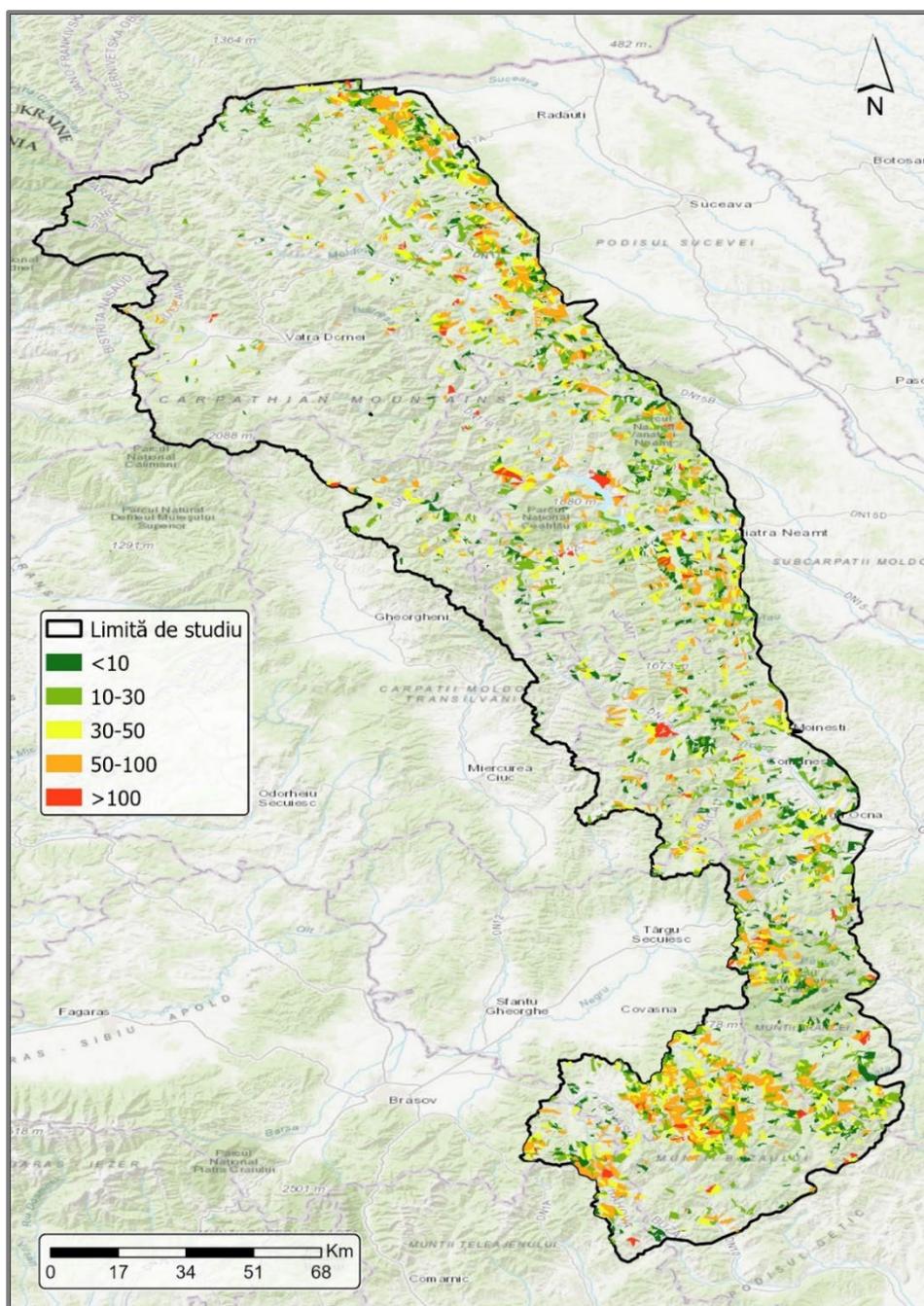


Figura 24. Versanții din zona de studiu, obținuți prin segmentare, unde media altitudinii suprafeței ocupate de către speciile de foioase este mai ridicată decât cea ocupată de către speciile de conifere

Aceeași metodologie a fost aplicată ulterior, utilizându-se metoda mediane în detrimentul mediei. Astfel, pentru fiecare versant, a fost calculată

mediana altitudinilor ocupate de către cele două categorii de specii de arbori, iar în final, ca și în cazul mediei, a fost efectuată diferența dintre suprafețele ocupate de către speciile de foioase și arealele unde sunt întâlnite speciile de

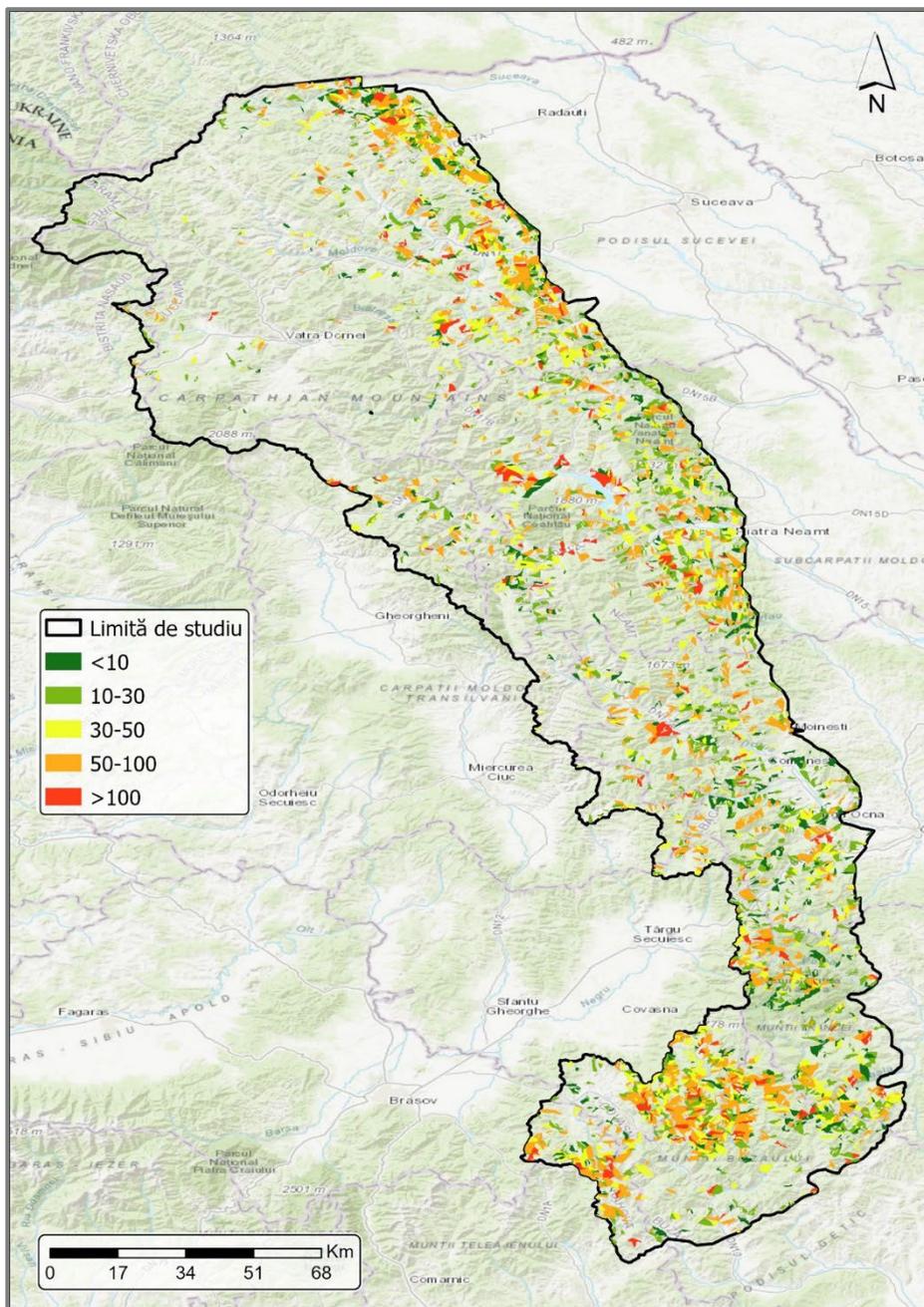


Figura 25. Versanții din zona de studiu, obținuți prin segmentare, unde mediana altitudinii suprafeței ocupate de către speciile de foioase este mai ridicată decât cea ocupată de către speciile de conifere

sunt dispuse la altitudini mai ridicate, indicând astfel existența un posibil areal unde fenomenul de inversiune termică are frecvență ridicată.

Ulterior, au fost identificate bazinele unde altitudinea medie a suprafeței ocupate de către speciile de foioase este mai ridicată decât cea ocupată de speciile de conifere (Figura 28).

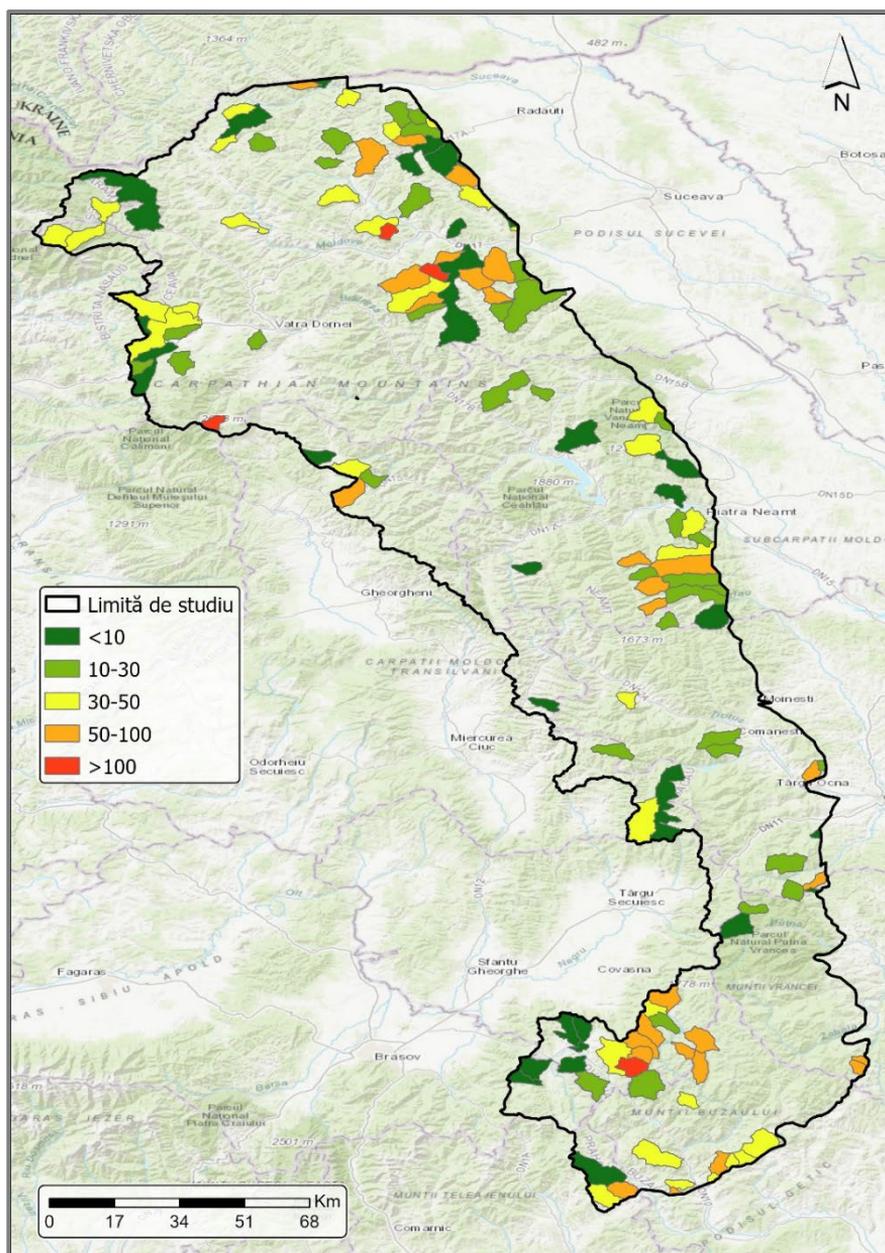


Figura 27. Bazinele hidrografice din zona de studiu, unde media altitudinii suprafeței ocupate de către speciile de foioase este mai ridicată decât cea ocupată de către speciile de conifere

Comparativ cu analiza la nivel de versant, compararea altitudinilor medii la nivel de bazin hidrografic oferă o imagine mai de ansamblu asupra răspândirii spațiale a fenomenului de inversiune termică.

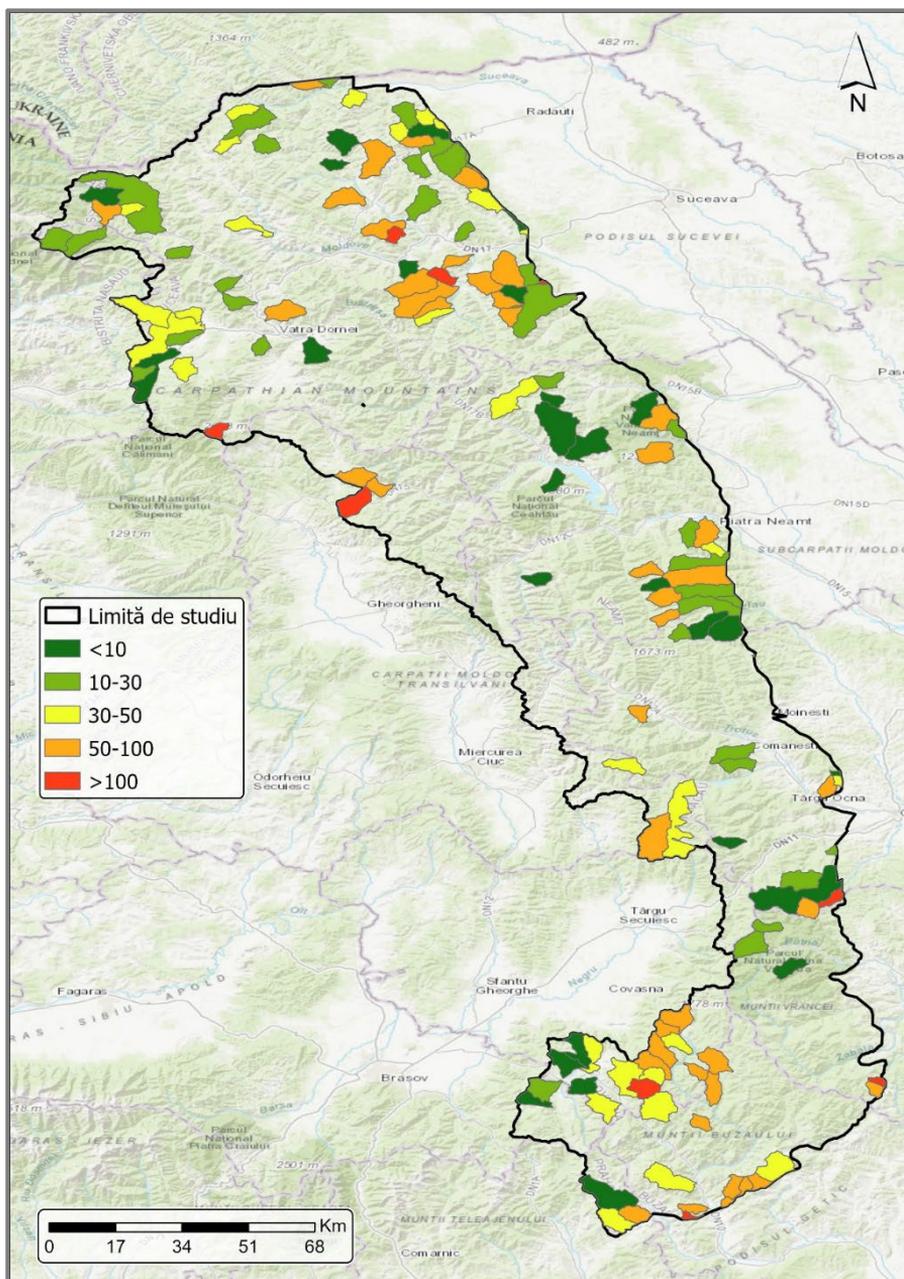


Figura 28. Bazinele hidrografice din zona de studiu, unde mediana altitudinii suprafeței ocupate de către speciile de foioase este mai ridicată decât cea ocupată de către speciile de conifere

Pentru a minimiza influența valorilor altitudinale extreme (outliers), harta de la figura 28 a fost recalculată utilizându-se mediana valorilor altitudinale ale suprafețelor ocupate de către cele două categorii de specii de arbori. Ca și în cazul mediei, mediana a fost calculată pentru fiecare bazin hidrografic în parte. Comparând harta de la figura 28 cu cea de la figura 29, se poate observa că în cazul folosirii medianei au fost identificate mai multe bazine hidrografice cu potențiale inversiuni. Așadar, în cazul utilizării mediei, au fost identificate 135 de bazine, iar în cazul medianei 148. Ceea ce este de remarcat însă, este obținerea unei diferențe altitudinale mult mai pronunțate în cazul utilizării medianei. Astfel, media diferenței, în cazul utilizării medianei este de 41,9m. În cazul utilizării mediei, aceasta valoare este mai scăzută, de doar 34,9. În cazul mediei, valorile extreme au o influență mai ridicată asupra rezultatului, conducând la o uniformizare mai accentuată a valorilor obținute. În acest fel se explică și identificarea unui număr mai ridicat de bazine, în cazul utilizării medianei. Analizând cele două hărți, se poate observa că distribuția spațială a arealelor identificate este asemănătoare. După cum am demonstrat însă, distribuția spațială a acestor areale este strâns legată de distribuția suprafețelor forestiere, în general și de distribuția celor două categorii de specii de arbori. Ideal, aceasta metodologie ar putea fi aplicată în cadrul unui areal cu o distribuție uniformă și echilibrată a celor două categorii de specii.

În cadrul unui bazin hidrografic, orientarea versanților poate avea o influență majoră în ceea ce privește distribuția spațială a speciilor de arbori. Pentru a lua în considerare și influența expunerii versanților, poligoanele aferente bazinelor hidrografice au fost împărțite în două, utilizându-se vectorii aferenți cursurilor de apă, digitizați de pe hărți topografice la scara 1:100.000. Astfel, a fost obținut un strat cu versanții zonei de studiu, poligoanele aferente având însă o extindere spațială mai însemnată decât cele obținute prin segmentare.

Comparativ cu rezultatul obținut în urma analizei la nivel de bazin hidrografic, analiza pe versanți a relevat rezultate asemănătoare, în special în zona Carpaților de Curbură. Analizând harta de la figura 30, se poate observa densitatea mai ridicată a arealelor unde este posibilă manifestarea fenomenului de inversiune termică, reflectată prin existența inversiunilor de vegetație forestieră. În zona Carpaților de Curbură, diferențele cele mai semnificative s-au remarcat în bazinul hidrografic al Buzăului, respectiv bazinul râului Bota Mare. În acest caz, diferența dintre altitudinea medie a suprafețelor ocupate de către cele două categorii de specii este de 100m pe versantul nordic și de 123m pe versantul sudic. În Grupa Centrală, areale cu

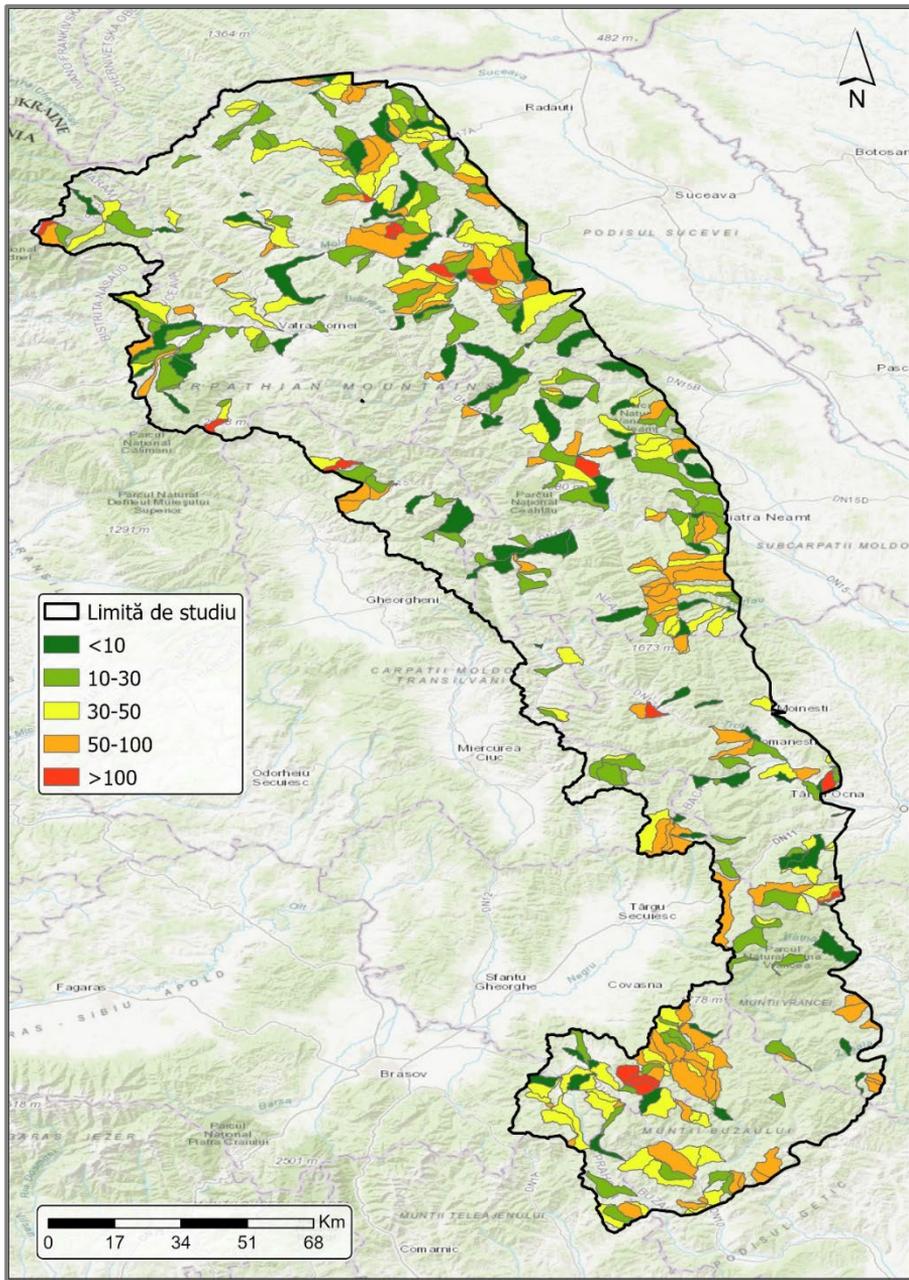


Figura 29. Versanții bazinelor hidrografice din zona de studiu, unde media altitudinii suprafeței ocupate de către speciile de foioase este mai ridicată decât cea ocupată de către speciile de conifere

diferențe majore au fost identificate în bazinul Bistriței, pe versantul estic din proximitatea lacului Izvorul Muntelui. Un lucru interesant de remarcat în acest caz este faptul că acest areal a fost remarcat și în urma analizei versanților rezultați în urma segmentării. De asemenea, este de remarcat faptul că această

zonă a fost observată doar în urma analizei la nivel de versant, rămânând neidentificată în urma analizei la nivel de bazin hidrografic.

Ca și în cazul analizei la nivel de bazin hidrografic, pentru obținerea unui rezultat mai relevant din punct de vedere statistic, s-a recurs la utilizarea

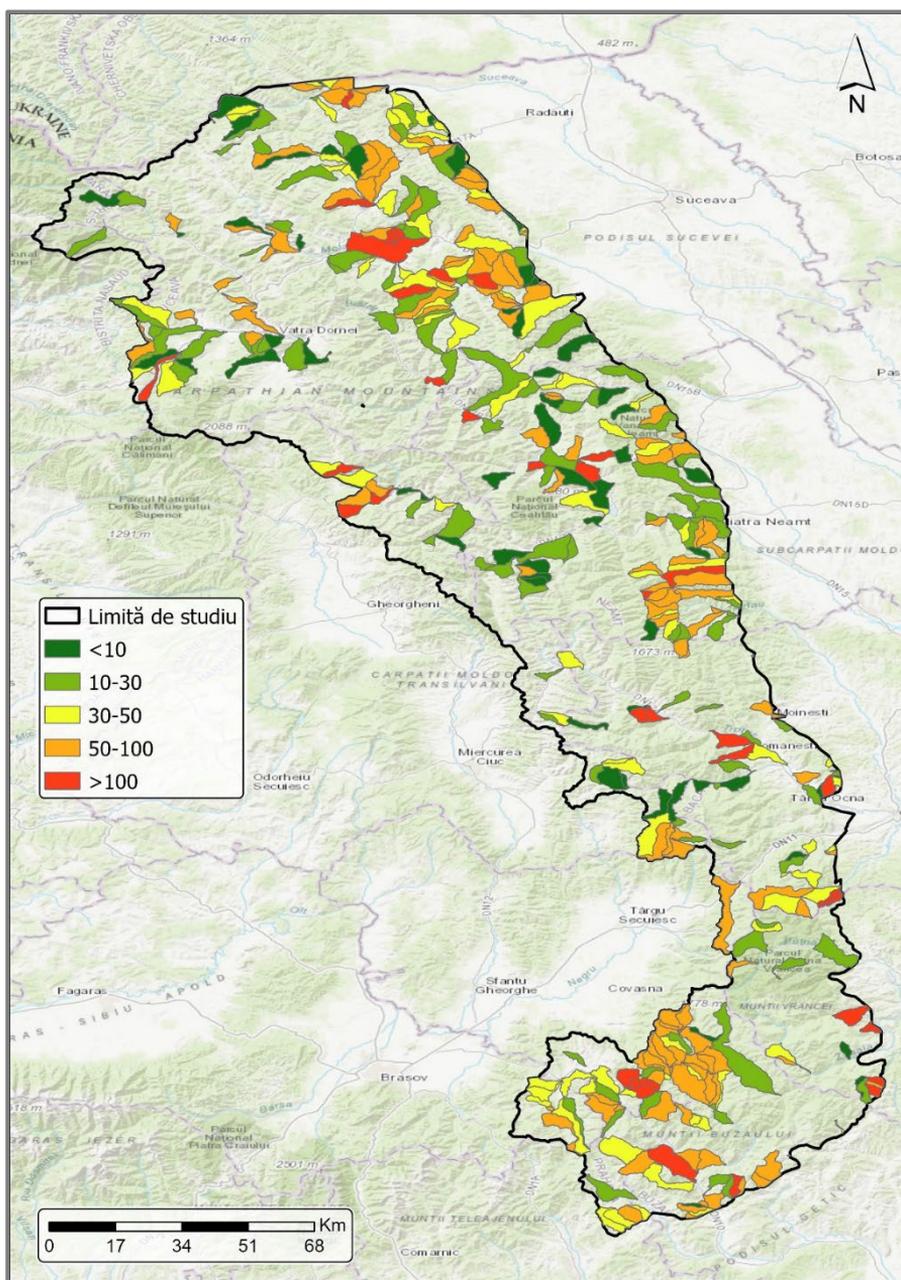


Figura 30. Versanții bazinelor hidrografice din zona de studiu, unde mediana altitudinii suprafeții ocupate de către speciile de foioase este mai ridicată decât cea ocupată de către speciile de conifere

mediane, rezultând astfel harta de la figura 31. Și în acest caz, utilizarea valorilor medianei au condus la identificarea mai multor areale cu posibile inversiuni. Așadar, dacă în cazul folosirii mediei, au fost identificați un număr de 430 de versanți, în cazul medianei au fost selectați 445. O diferență majoră se poate remarca însă dacă analizăm valorile obținute. Valoarea medie a diferenței, în cazul utilizării medianei, este de 46,6m. În cazul utilizării mediei, aceasta valoare scade până la 36,1m. Distribuția spațială a arealelor identificate, în cazul utilizării medianei, are un aspect mai uniform acoperind mai bine zona de studiu. Ca și în cazul anterior, densitățile cele mai ridicate ale arealelor identificate se pot remarca în Carpații de Curbură și în partea de est a grupelor de Nord și Centrală.

5.2. Orientarea versanților din zonele de manifestare a inversiunilor

Au fost utilizate arealele aferente versanților bazinelor hidrografice, unde valorile medianei altitudinii suprafețelor ocupate de către speciile de foioase sunt mai ridicate decât cele aferente speciilor de conifere.

Harta de la figura 33 reprezintă orientarea generală (predominantă) a versanților identificați anterior, folosindu-se metoda medianei. În acest caz, expoziția a fost obținută prin identificarea celei mai răspândite clase de orientare din interiorul fiecărui poligon aferent versanților selectați. Acest lucru a fost realizat cu ajutorul instrumentului „Zonal statistics” din ArcGIS PRO, împreună cu funcția „Majority”.

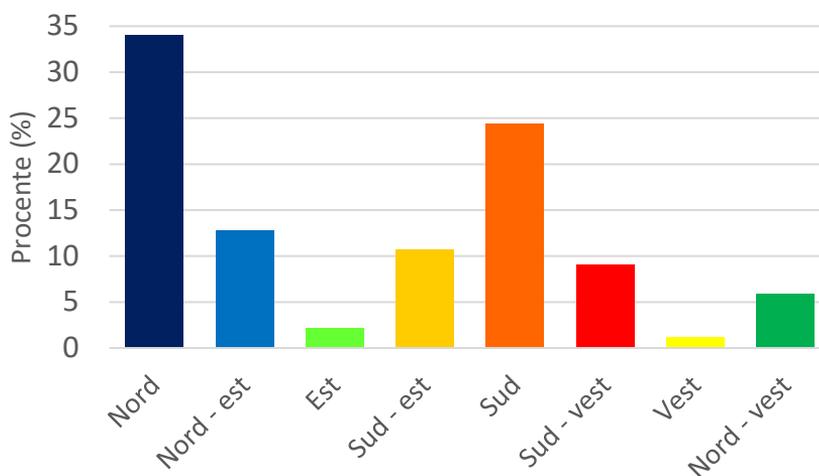


Figura 31. Pondere orientării generale a versanților aferenți arealelor unde s-au identificat inversiuni

Se poate remarca predominanța clară a versanților cu expunere nordică și sudică (Figura 32). Acesta situație se datorează orientării afluenților de dreapta ai Siretului, care își au obârșiile în zona mediană a Carpaților Orientali și curg pe direcția nord-vest – sud-est. Așadar, din cei 430 de versanți selectați, 146 au orientare nordică, iar 105 dintre ei au orientare sudică. Împreună, aceste

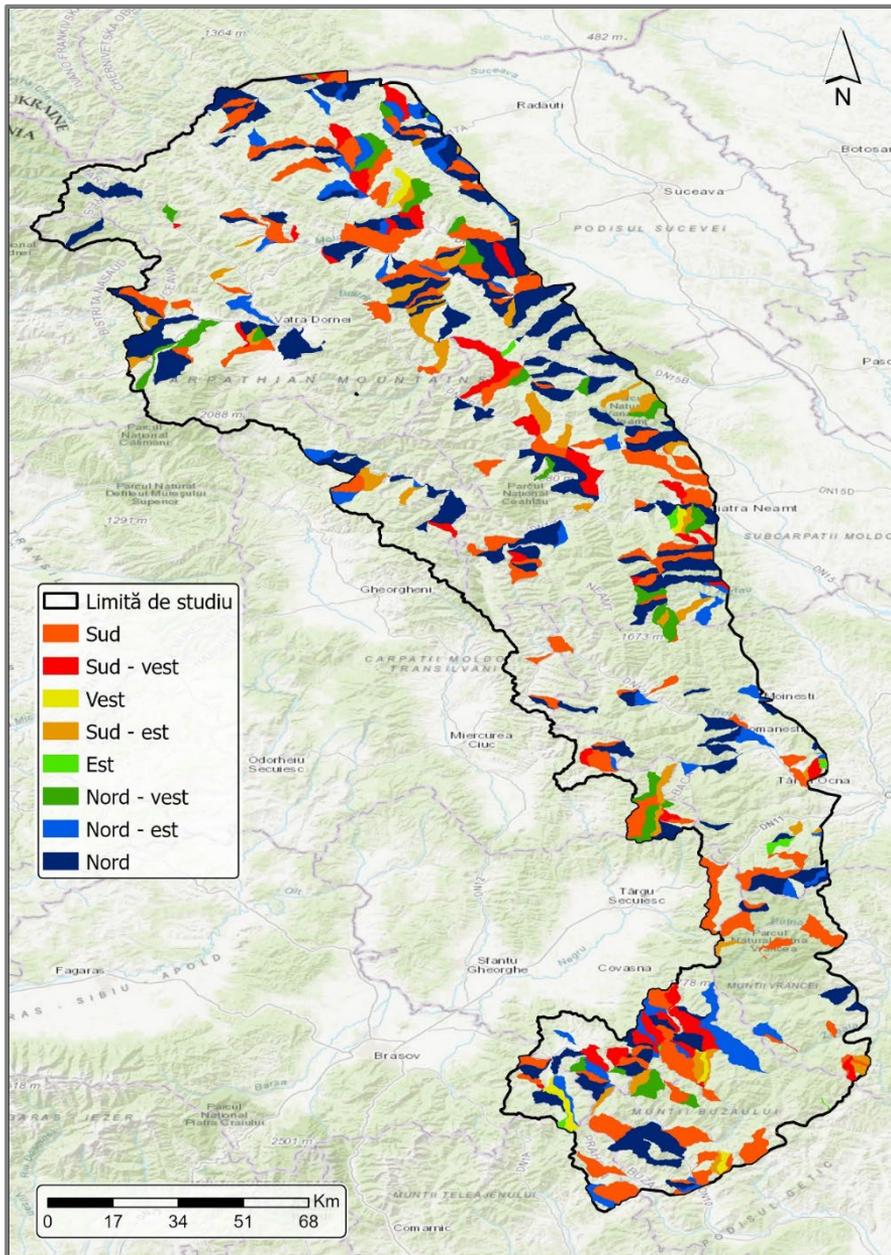


Figura 32. Orientarea generală a versanților aferenți arealelor unde s-au identificat inverșiuni

două clase de orientare reprezintă peste 50% din total. Dintre aceștia, versanții nordici sunt cei mai răspândiți, cu o pondere de 34%.

5.3. Distribuția spațială a speciilor de arbori din arealele cu inversiuni, în funcție de altitudine și de orientarea versanților

Cea mai răspândită clasă de orientare din cazul versanților unde au fost identificate inversiuni este cea cu expunere nordică. În acest caz se poate remarca distribuția neliniară pe altitudine a speciilor de conifere, linia graficului ce ilustrează speciile de foioase prezentând inflexiuni mai subtile. În figura 34 se poate observa intervalul altitudinal cuprins între 700m și 900m, unde suprafața ocupată de către speciile de conifere are valori mai ridicate decât în mod normal. Speciile de foioase prezintă un maxim de dezvoltare în jurul altitudinii de 800m. Dacă ne raportăm la întregul areal studiat, speciile de conifere au un maxim de dezvoltare situat la o altitudine cu aproximativ 100m mai scăzută. Acest lucru poate fi datorat expoziției nordice, care favorizează migrarea speciilor de conifere spre altitudini mai scăzute. Dacă luăm în considerare însă valorile neobișnuit de ridicate ale suprafețelor ocupate de către coniferele din intervalul altitudinal 700-900m, precum și distribuția relativ normală a speciilor de foioase, putem afirma că, prin prisma acestei abordări, pentru versanții cu expoziție nordică, inversiunile de vegetație cele mai frecvente se manifestă în intervalul altitudinal cuprins între 700m și 900m. O alta cauză care ar putea explica ponderea ridicată a coniferelor la altitudini scăzute, este factorul antropic.

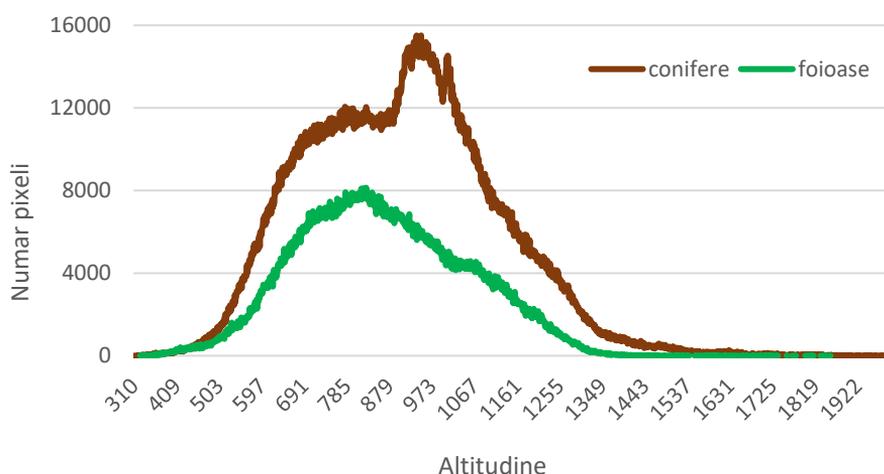


Figura 33. Distribuția speciilor de conifere și de foioase în funcție de altitudinea reliefului, pe versanții cu orientare nordică, în cadrul arealelor unde s-au identificat inversiuni de vegetație

În ceea ce privește versanții cu expoziție sudică (figura 35), se poate remarca faptul că distribuția altitudinală a speciilor de conifere prezintă două vârfuri, în jurul valorilor de 1000m și 1100m. Linia graficului are o formă

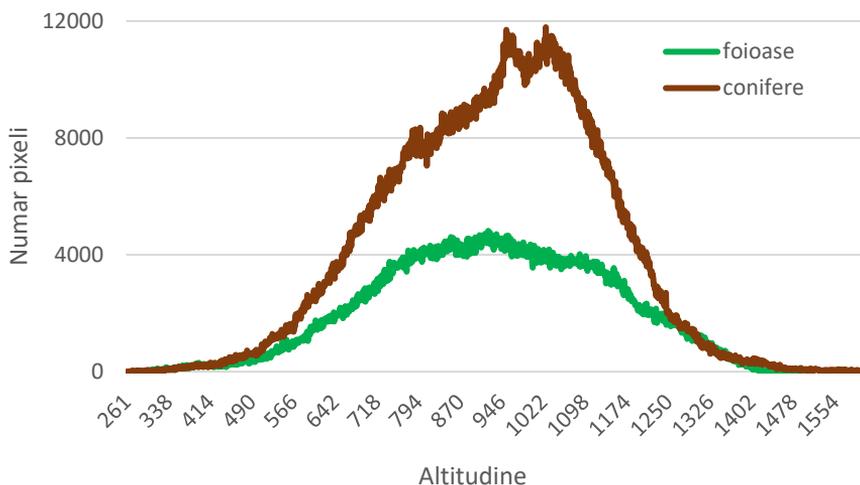


Figura 34. Distribuția speciilor de conifere și de foioase în funcție de altitudinea reliefului, pe versanții cu orientare sudică, în cadrul arealelor unde s-au identificat inversiuni de vegetație

convexă până în jurul altitudinii de 1000m. Acest lucru poate indica o frecvență mai ridicată de manifestare a inversiunilor de vegetație în jurul acestor valori altitudinale, deși mai puțin evidentă decât în cazul versanților cu expunere nordică. În schimb, este posibil ca variația accentuată a valorilor altitudinale ale coniferelor, din jurul valorilor de 1000-1100m, să fie un indicator mai clar al influenței inversiunilor termice la acele altitudini. În ceea ce privește speciile de foioase, este de remarcat faptul că acestea urcă mai mult în altitudine, spre deosebire de versanții orientați spre nord. Situația cea mai interesantă se poate însă remarca în intervalul altitudinal 1300-1400m, unde arealul ocupat de către speciile de foioase este pe alocuri mai extins decât cel aferent speciilor de conifere.

În ceea ce privește versanții nord-estici, distribuția în altitudine a celor două categorii de specii are un caracter mult mai variabil comparativ cu cazurile anterioare. În acest caz, distribuția altitudinală a speciilor de conifere prezintă un vârf proeminent în jurul altitudinii de 800m, acest lucru putând indica prezența fenomenului de inversiune la această altitudine. Cel de-al doilea vârf, de la altitudinea de 1100m, se încadrează în caracteristicile normale ale distribuției speciilor de conifere. În ceea ce privește distribuția altitudinală a speciilor de foioase, se poate observa forma extrem de neregulată. Ceea ce este de remarcat, este creșterea bruscă a ponderii suprafețelor ocupate de către foioase, începând cu altitudinea de 1200m.

Așadar, putem afirma că în intervalul altitudinal 1200-1400m banda caldă de inversiune se manifestă în mod vizibil.

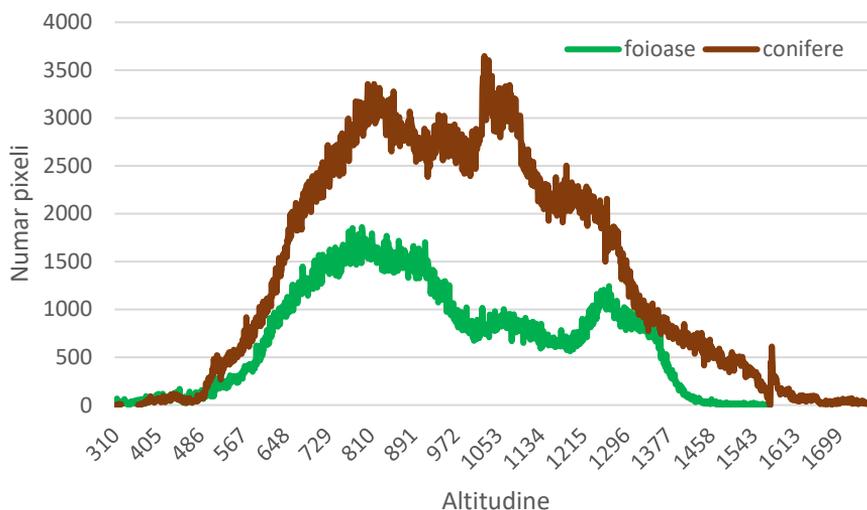


Figura 35. Distribuția speciilor de conifere și de foioase în funcție de altitudinea reliefului, pe versanții cu orientare nord-estică, în cadrul arealelor unde s-au identificat inversiuni de vegetație

În cazul versanților cu expunere nord-vestică, distribuția altitudinală a speciilor de conifere este una apropiată de normal, remarcându-se însă forma extrem de concavă a liniei graficului din intervalul 550-1000m. Și în acest caz, se poate remarca o iregularitate în jurul valorii de 800m. Foioasele sunt concentrate pe două etaje de altitudine, amplitudinea variației altitudinale fiind însă mai mică decât în cazul anterior. Putem astfel afirma că, în cazul versanților nord-vestici, banda caldă de inversiune își face simțită prezența în jurul altitudinii de 1100m, respectiv în intervalul altitudinal de 1050-1150m.

În cazul versanților sud-estici, distribuția coniferelor este mai apropiată de normal, observându-se o concavitate în intervalul 800-900m. De asemenea, intervalul altitudinal 600-800m pare să aibă o pondere mai ridicată a coniferelor, forma liniei graficului din figura 38 având o formă mai convexă comparativ cu distribuția la nivelul întregului areal studiat. Distribuția foioaselor are însă un aspect mai aplatizat, fiind asemănătoare cu cea din cazul versanților nord-vestici. Este de remarcat însă etajul 1300-1400m, unde ponderea speciilor de foioase este mai ridicată decât cea a coniferelor.

În ceea ce privește versanții cu expunere sud-vestică (Figura 39), se poate remarca distribuția uniformă a coniferelor din intervalul situat între 600m și 900m. Distribuția speciilor de foioase este una asemănătoare cu cea din cazurile anterioare. Și în acest caz se remarcă intervalul 1300-1400m, unde speciile de foioase au ponderi mai ridicate decât speciile de conifere, diferența

fiind însă mai puțin proeminentă comparativ cu suprafețele cu expoziție sud-estică.

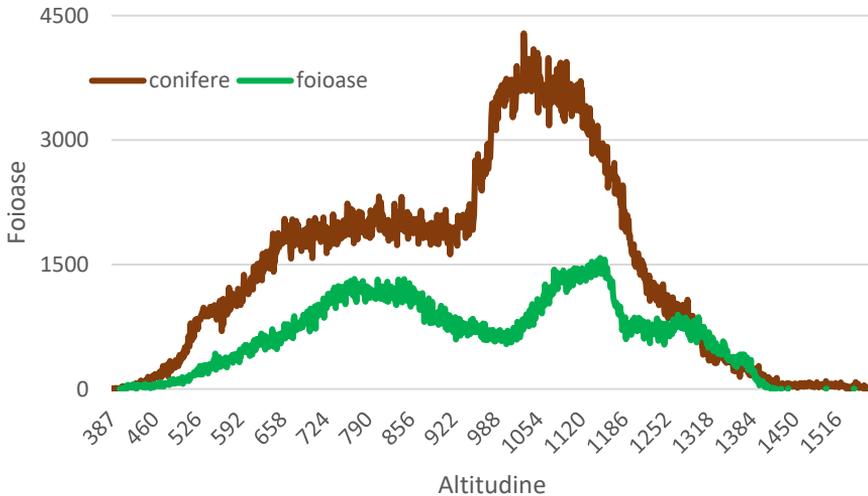


Figura 36. Distribuția speciilor de conifere și de foioase în funcție de altitudinea reliefului, pe versanții cu orientare sud-vestică, în cadrul arealelor unde s-au identificat inversiuni de vegetație

Distribuția tipică a unui areal unde se manifestă fenomenul de inversiune este ilustrată în figura 39. Se poate observa că, începând cu altitudinea cu 1050m, speciile de foioase sunt predominante. Putem astfel afirma că în cazul versanților vestic, suprafețele forestiere situate la altitudini mai ridicate de 1050m sunt aflate aproape în întregime în regim de inversiune.

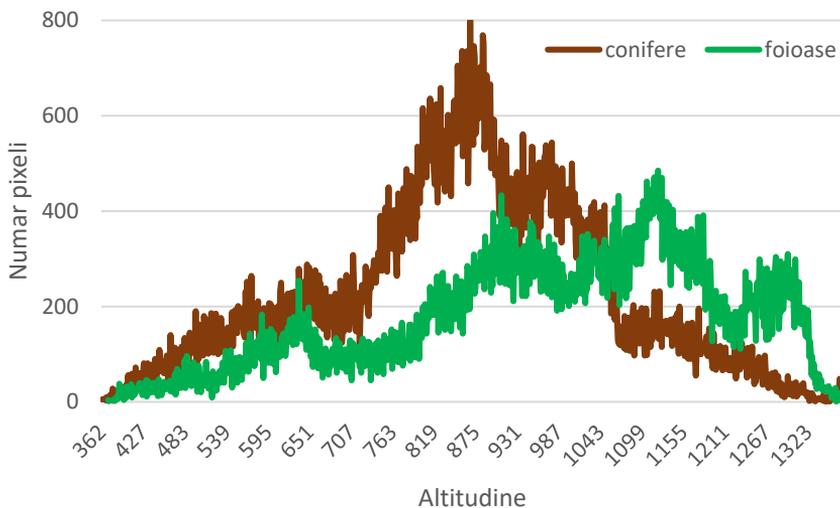


Figura 37. Distribuția speciilor de conifere și de foioase în funcție de altitudinea reliefului, pe versanții cu orientare vestică, în cadrul arealelor unde s-au identificat inversiuni de vegetație

6. STUDIU DE CAZ CU PRIVIRE LA ARBORETELE PLURIENE PRIMARE

6.1. Arealul cartat

Codrul secular Slătioara este o arie protejată de interes național ce corespunde categoriei a IV-a IUCN (rezervație naturală, tip forestier). Este un trup de pădure cu caracter primar, unde intervenția antropică este minimă. Suprafața forestieră protejată adună în total 1038ha, dintre care 609 se regăsesc în zona de protecție strictă. Restul de 429ha se regăsesc în zona de buffer (Figura 42).

În scopul realizării studiului, au fost cartate toate cele 1038 de hectare ale trupului de pădure, așadar atât zona de tampon (buffer), cât și zona de protecție strictă (core).

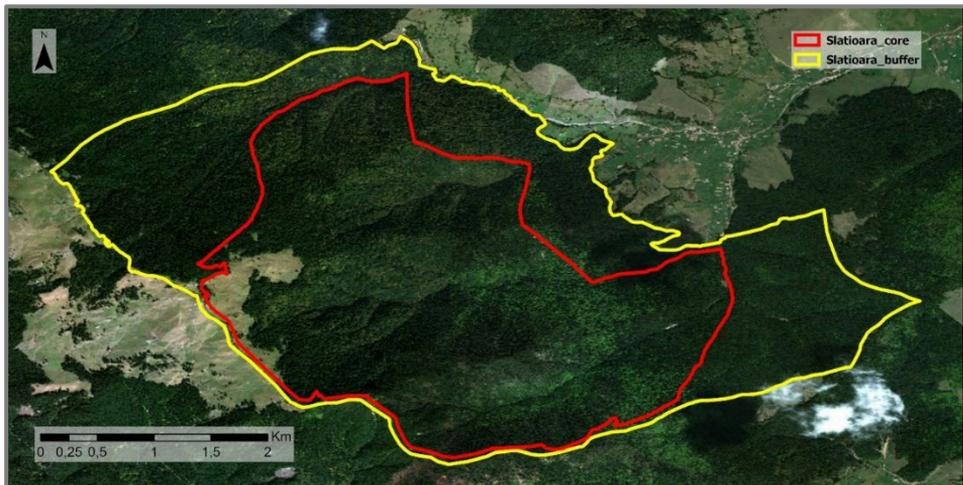


Figura 38. Trupul de pădure cartat

Trupul de pădure ales este considerat a fi unul cvasivirgin, conform legislației existente la momentul actual. Aceasta pădure este una reprezentativă din punct de vedere al structurii unui arboret primar, plurienn, din România.

6.2. Prezentare generală a echipamentului tehnic utilizat

Imaginile aeriene au fost preluate folosind o dronă de tip aripă fixă, model FAE Fixed Wing Rebel. A fost preferată o dronă de acest tip în detrimentul uneia de tip multirotor datorită autonomiei mai ridicate.

Scopul acestui studiu a impus echiparea dronei cu o cameră multispectrală, o cameră clasică având o rezoluție spectrală insuficientă. Camera folosită este de tip „Parrot Sequoia”, care are cinci senzori capabili să înregistreze radiația electromagnetică atât din spectrul vizibil, cât și din spectrul infraroșu (Figura 43). Senzorul clasic, RGB, produce imagini cu dimensiunea de 4608x3456 pixeli. Restul senzorilor lucrează în lungimile de undă specifice culorilor verde, roșu, red-edge și infraroșu apropiat. Aceștia sunt capabili de a produce imagini cu dimensiunea de 1280x960 pixeli.

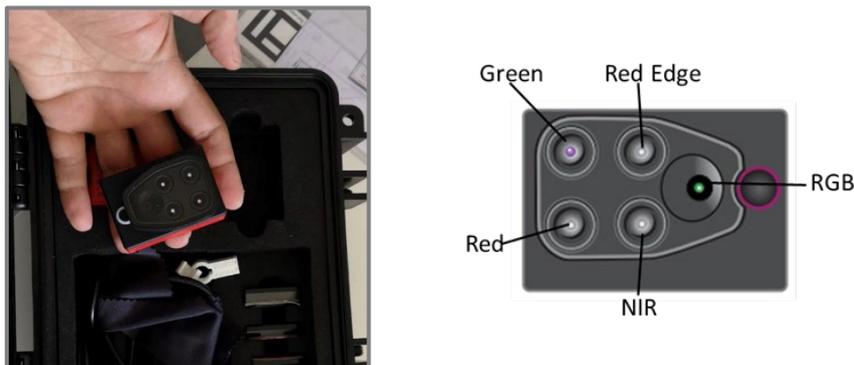


Figura 39. Camera multispectrală "Parrot Sequoia"

6.3. Realizarea zborurilor de cartare

Caracteristicile morfometrice ale arealului cartat au constituit adevărate provocări pentru drona utilizată, aceasta arătându-și limitările tehnice.

Programul Mission Planner a fost folosit pentru planificarea traseului de zbor, cât și pentru încărcarea rutelor rezultate în computerul de bord al aeronavei (Figura 44).

S-a urmărit obținerea unei rezoluții spațiale cu o valoare între 5 și 10 cm pentru senzorul RGB și între 20 și 30cm pentru senzorii de infraroșu. În cazul nostru, pentru a acoperi întreg arealul studiat la rezoluția spațială dorită și în condiții de siguranță, s-a ales o altitudine de zbor de 240m. La această altitudine, rezoluția rezultată, estimativă va avea valori de 6.5cm în spectrul vizibil și 22.6cm în cel infraroșu. Bineînțeles că aceste valori sunt aproximative, fiind imposibilă menținerea unei altitudini precise de 240m, în special datorita caracteristicilor suprafeței topografice. De asemenea, rezoluția spațială va suferi modificări și în urma procesului de ortorectificare.

De o deosebită importanță, în scopul obținerii unor imagini de calitate, a fost alegerea intervalului orar pentru efectuarea zborurilor. S-a urmărit minimizarea umbrelor cauzate de arbori precum și minimizarea umbrelor cauzate de orientarea diferită a versanților. Așadar, în cazul nostru, prima parte

a zilei a fost cea ideală pentru preluarea imaginilor, astfel încât zborurile au fost efectuate în intervalul orar 10-14.

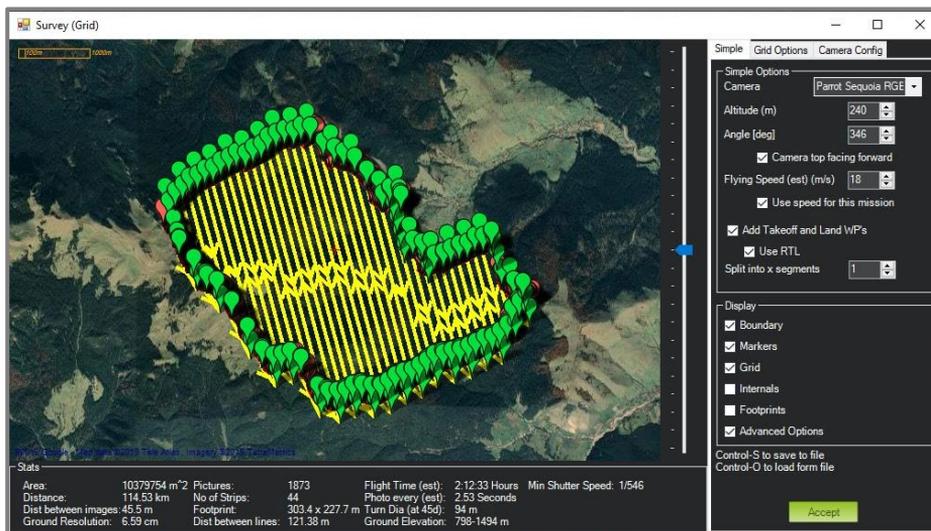


Figura 40. Generarea automată a rutei de zbor de către programul Mission Planner

6.4. Prelucrarea imaginilor rezultate în urma procesului de cartare

Prelucrarea imaginilor a urmărit obținerea unui ortofotoplan conținând benzile spectrale disponibile, precum și realizarea modelului digital al suprafeței terenului (DSM) și modelul digital de elevație (DEM). Procesarea imaginilor s-a realizat în programul Agisoft Metashape.

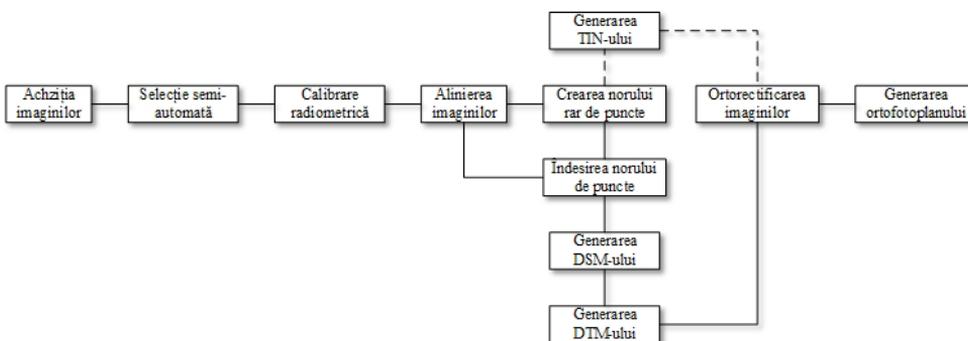


Figura 41. Pașii urmați pentru prelucrarea imaginilor

În cazul nostru, calibrarea radiometrică se poate efectua în două moduri: prin utilizarea unui panou special, a căror valori de reflectanță sunt cunoscute, sau prin folosirea unui senzor electronic automat. Au fost generate mozaicuri folosind, pe rând, ambele metode de calibrare. În urma testelor, s-a

constatat o calitate superioară a ortofotoplanului a cărei calibrare radiometrică a fost efectuată utilizând doar panourile de reflectanță.

În figura 46 se poate vizualiza rezultatul procesului de aliniere a imaginilor. În total, pentru cele trei areale cartate, au fost identificate 9.936.793 de puncte de legătură. Acestea reprezintă punctele corespunzătoare obiectelor care se regăsesc în cel puțin două imagini. Numărul punctelor a fost intenționat limitat, pentru a se accelera procesul de aliniere. Se va efectua îndesirea norului de puncte în etapa următoare.

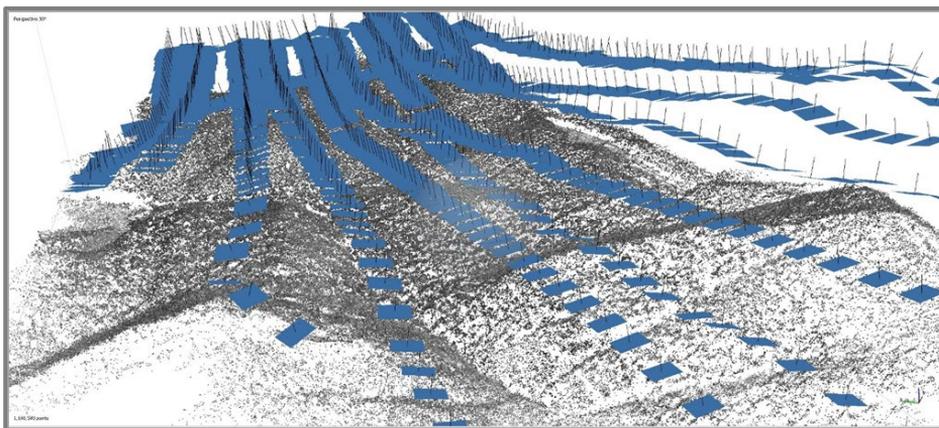


Figura 42. Vizualizarea imaginilor aliniate și a punctelor de legătură, în programul Agisoft Metashape, reprezentând partea sudică a arealului de studiu

Folosind programul Agisoft, punctele generate de procesul de aliniere, precum și cele create în urma procesului de îndesire, se pot interpola folosind tehnica triangulației sau interpolarea de tip IDW, rezultând modelul digital al suprafeței terenului (Figura 47).

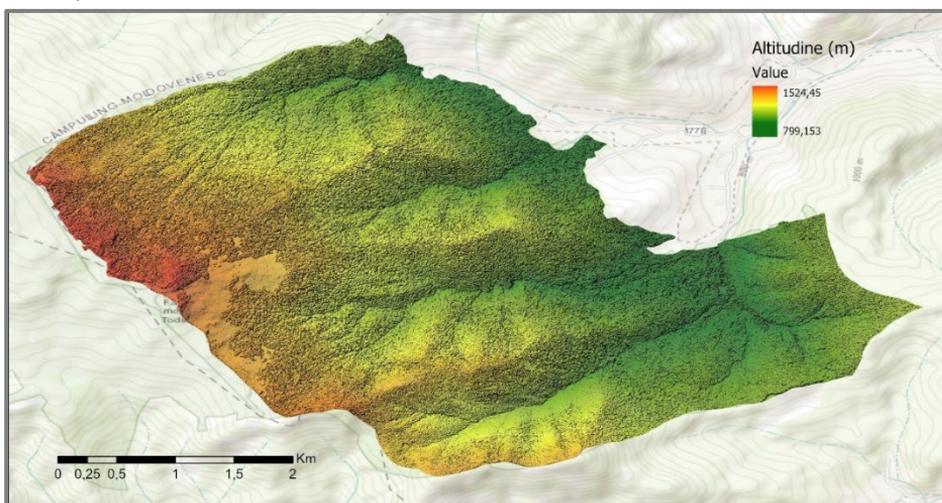


Figura 43. Modelul digital al suprafeței aparținând arealului studiat

În final, a fost obținut un ortofotoplan cu rezoluția spațială de 29,7cm. Se poate observa că această valoare este mai scăzută decât rezoluția estimată inițial (22,6cm), în etapa de planificare a zborului. Diferența se datorează altitudinii variabile de zbor, dar reprezintă și rezultatul procesului de ortorectificare. De asemenea, se poate remarca faptul că, din cauza lipsei altor imagini pentru zonele respective, nu toate erorile cauzate de umbrirea diferită a imaginilor au fost îndepărtate.

6.5. Clasificarea speciilor de arbori utilizând ortofotoplanul obținut prin prelucrarea imaginilor aeriene

Ortofotoplanul obținut a fost decupat după limita zonei de protecție, astfel încât arealul analizat să cuprindă atât zona de protecție strictă (core), cât și zone de tip tampon (buffer) (Figura 48).

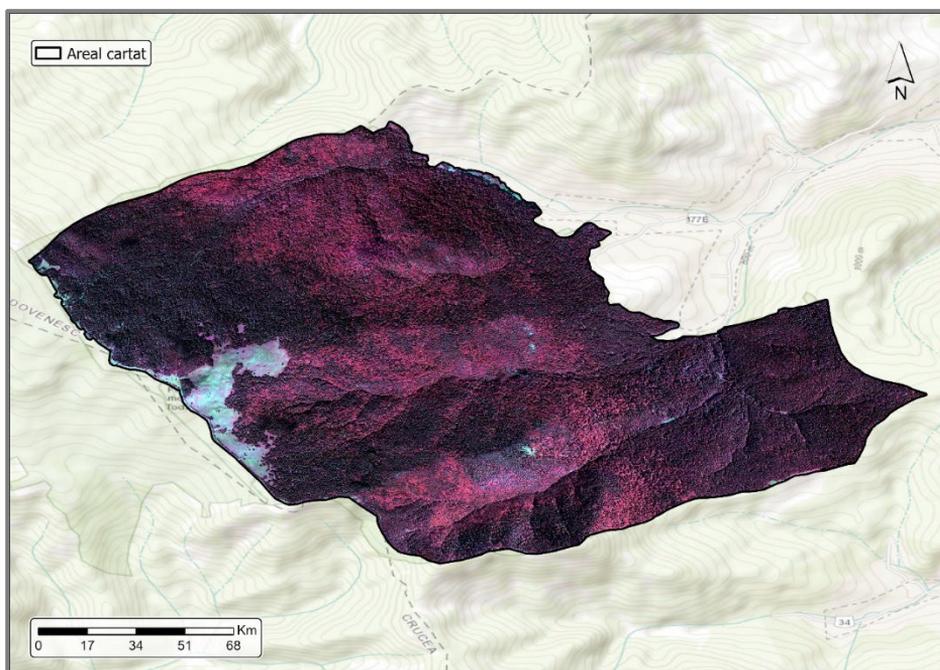


Figura 44. Compozit infrarosu, reprezentand ortofotoplanul obținut în urma prelucrării imaginilor aeriene.

Ca și în cazul clasificării imaginilor satelitare, s-a optat pentru utilizarea unei metode supervizate, bazate pe obiect. Clasificarea bazată pe obiect a fost preferată în detrimentul celei bazate pe pixel, deoarece în ultimul caz erorile cauzate de către umbrele arborilor ar fi fost mult mai semnificative.

Algoritmul care a furnizat rezultatele cele mai satisfăcătoare a fost cel de tip SVM (Support vector Machine). Dintr-un total de 1080 de hectare,

824ha au fost clasificate ca aparținând pădurilor de conifere, reprezentând 76% din totalul arealului analizat. Restul de 24% este reprezentat de pădurile de foioase, cu 202ha (18,7%), suprafețele neîmpădurite ocupând 54ha (5%) (Figura 49).

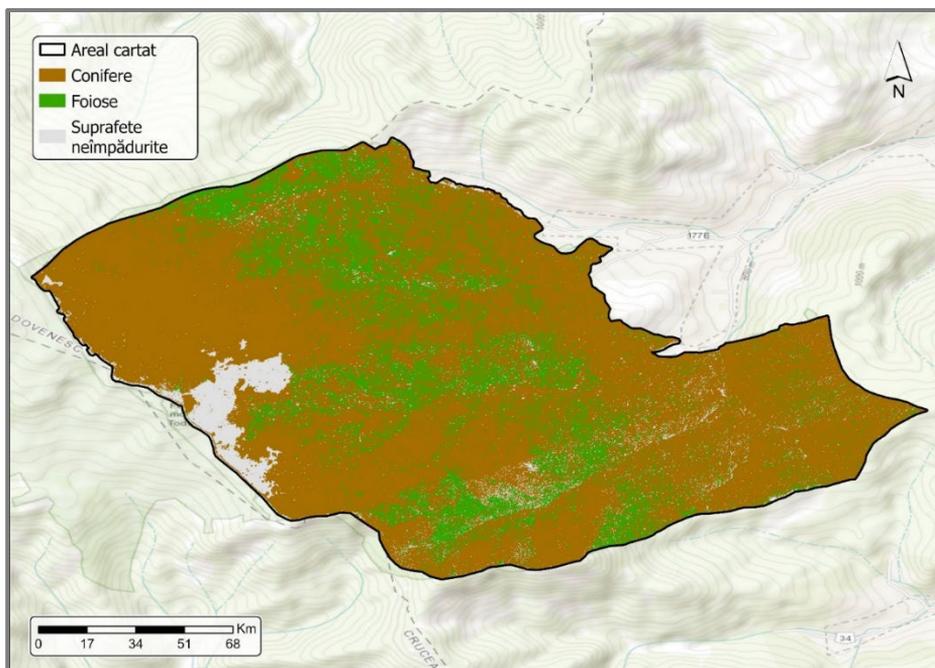


Figura 45. Rezultatul clasificării speciilor de arbori din arealul de test

Comparativ cu imaginile satelitare Sentinel 2, ortofotoplanul obținut are o revoluție spațială mult mai ridicată. În cazul imaginilor satelitare, benzile din spectrul vizibil și infraroșu apropiat, pe baza cărora a fost efectuată clasificarea supervizată a speciilor de arbori din arealul de studiu, au o rezoluție spațială de 10m. Pe de alta parte, ortofotoplanul obținut pe baza imaginilor aeriene preluate în teren, are o rezoluție spațială de 30cm. Acest lucru a permis cartarea mult mai precisă a speciilor de arbori.

6.6. Distribuția spațială a speciilor de arbori în funcție de caracteristicile morfometrice ale terenului

Caracteristicile hipsometrice asemănătoare ale arealului de test se reflectă într-o compoziție similară a speciilor învelișului forestier cu cea de la nivelul arealului de studiu.

Observațiile din zona de test corespund ce cele de la nivelul întregului areal studiat. Astfel, în cadrul arealului de studiu, extensiunea maximă a speciilor de conifere se află în jurul altitudinii de 1000m (Figura 50). Speciile

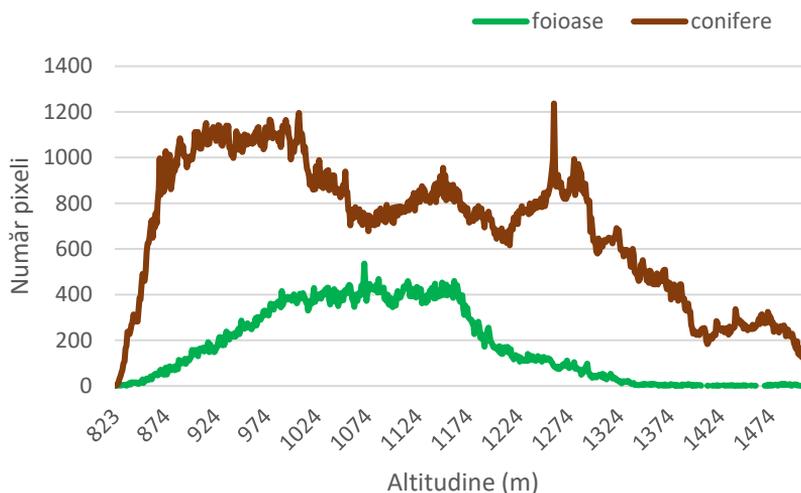


Figura 46. Distribuția speciilor de arbori în funcție de altitudinea reliefului, pentru zona de test

de foioase au extensiunea maximă în intervalul altitudinal 1000-1200m. În cazul arealului de studiu, speciile de foioase sunt cele mai răspândite între 800 și 1000m (Figura 51). Se poate astfel remarca un decalaj altitudinal de aproximativ 200m între arealul de studiu și zona de test. Prezența speciilor de foioase la altitudini mai ridicate ar putea fi un indicator al influenței fenomenului de inversiune termică manifestat pe valea Moldovei.

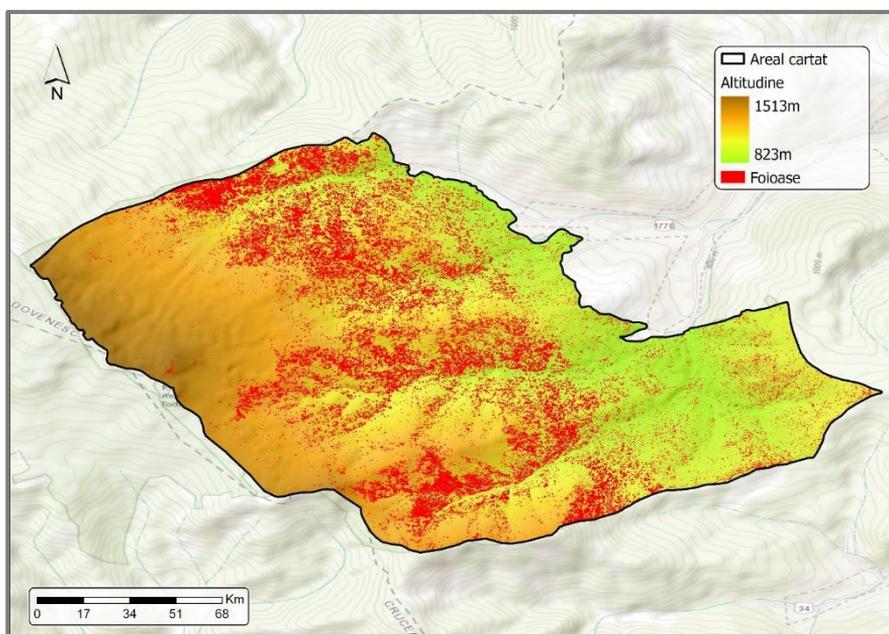


Figura 47. Distribuția spațială a speciilor de foioase, suprapusă peste harta hipsometrică a arealului de test

De asemenea, se poate observa o corelație clară între distribuția spațială a speciilor de foioase și expoziția versanților. Astfel, se remarcă ponderea foarte ridicată a foioaselor pe versanții cu expoziție sud-estică și sudică. Pe de altă parte, speciile de conifere sunt predominante pe versanții cu expunere nordică și nord-estică.

Un lucru interesant, ce poate fi remarcat, este trendul de scădere accentuată a ponderii speciilor de foioase sub altitudinea de 1000m, etajele altitudinale inferioare fiind populate de specii de conifere. Așadar, dacă ne raportăm la aspectul distribuției spațiale a speciilor de arbori de la nivelul întregului areal de studiu, speciile de conifere au o distribuție „normală”, pe când speciile de foioase prezintă un decalaj altitudinal pozitiv. Urcarea în altitudine a speciilor de foioase ar putea fi cauzată de transportul aerului mai cald dinspre talvegul văii Moldovei către interfluviul cu valea Bistriței. Condițiile altitudinale neadecvate pentru instalarea speciilor de foioase pot reprezenta cauza instalării acestora în mod predominant pe versanții însoriți. Versanții umbriți împreună cu altitudinile mai ridicate ar putea constitui un factor mult prea limitativ pentru dezvoltarea arborilor aparținând speciilor de foioase.

CONCLUZII

Acest studiu are un caracter interdisciplinar, îmbinând domenii precum biogeografia și silvicultura cu geografia fizică, cu accent pe probleme de climatologie, respectiv climatologie silvică. Problematika a fost rezolvată atât prin mijloace clasice, dar mai ales prin utilizarea tehnicilor de teledetecție și GIS, unde s-a pus un accent deosebit pe partea metodologică.

Sursa datelor de intrare utilizate este diversă, fiind folosite atât produse disponibile publicului larg, precum imaginile satelitare Sentinel 2 sau datele climatice ROCADA, cât și produse de teledetecție de proveniență proprie, precum imaginile aeriene obținute cu ajutorul dronei. Caracteristicile acestora sunt descrise pe larg în capitolul 1.

În urma clasificării imaginilor satelitare, au fost extrase suprafețe totalizând 987.235ha ocupate de pădure, arealele forestiere reprezentând astfel 68,6% din totalul suprafeței zonei de studiu. Metodologia de clasificare a imaginilor satelitare, prezentată în capitolul 2, a beneficiat de utilizarea celor mai noi algoritmi, precum Support Vector Machine (SVM). Pentru validare au fost utilizate informații de la un număr de trei ocoale silvice: Brodina și Moldovița, din Obcinile Bucovinei, respectiv Comandău din Munții Vrancei și Buzăului. În urma analizei rezultatelor clasificării imaginilor satelitare, prezentate în capitolul 2, s-a remarcat în primul rând că peisajul forestier din arealul de studiu este puternic dominat de către speciile de conifere.

În capitolul 3, produsele obținute în urma clasificării imaginilor Sentinel 2 au fost utilizate pentru analiza distribuției speciilor de conifere și de foioase în funcție de unele caracteristici morfometrice ale reliefului.. Așadar, s-a remarcat faptul că, la nivelul întregului areal de studiu, speciile de conifere sunt cele mai răspândite în jurul altitudinii de 1000m, iar speciile de foioase în jurul altitudinii de 850m. De asemenea, s-a observat că suprafețele forestiere au o extensiune altitudinală de aproximativ 1400-1500m, pădurile ocupând suprafețele situate la altitudini începând cu 300-400m și urcând până la altitudini de aproximativ 1900-2000m.

Datele ROCADA (Dumitrescu, Bîrsan, 2015) au fost folosite în scopul estimării valorilor de temperatură la nivelul României, fiind utile și pentru ilustrarea acestui parametru climatic și la nivelul arealului studiat. Pentru a se obține un raster cu o rezoluție spațială îmbunătățită, s-a recurs la interpolarea pixelilor lipsă utilizându-se o ecuație de regresie liniară derivată prin corelarea valorilor de temperatură cu valorile altitudinale extrase de pe modelul digital de elevație de tip ALOS PALSAR. Astfel, au fost obținute valorile temperaturii medii multianuale la nivelul arealului de studiu, prezentate în

capitolul 4. Acestea sunt cuprinse între -1°C și $9,3^{\circ}\text{C}$, cele mai ridicate valori înregistrându-se în depresiuni și pe culoarele marilor artere hidrografice reprezentate de către afluenții de dreapta ai Siretului (Moldova, Suceava, Bistrița Trotuș, Buzău). Pentru cele trei mari grupe montane ale Carpaților Orientali, valorile temperaturilor medii variază într-un interval de $0,3^{\circ}\text{C}$.

În capitolul 5, lucrarea de față propune o metodologie inedită pentru cartarea distribuției spațiale a inversiunilor termice pe baza inversiunilor de vegetație de la nivelul arealului de studiu, precum și pentru identificarea pragurilor altitudinale de manifestare a acestora. Algoritmul folosit pentru identificarea arealelor de manifestare a inversiunilor de vegetație forestieră și respectiv a posibilelor inversiuni termice, a presupus calcularea altitudinii medii, precum și a valorii mediane pentru suprafețele ocupate de către cele două categorii de specii de arbori. În acest scop, valorile altitudinale la nivelul întregului areal de studiu nu sunt foarte relevante, fiind vorba de un fenomen cu caracter local. Astfel, analiza a fost efectuată la nivel de versant și la nivel de bazin hidrografic. În cazul analizei bazate pe datele CLC, au fost selectați un total de 1420 de versanți, reprezentând poligoane unde valoarea altitudinii medii ocupate de către speciile de foioase sau de către clasa „amestec” este mai ridicată decât valoarea altitudinii medii ocupate de speciile de conifere. Utilizându-se aceasta metodă, au fost identificate inversiuni de vegetație numeroase în zona Obcinelor Bucovinei, iar în Munții Stânișoarei au fost identificate inversiuni mai evidente decât în cazul Munților Vrancei. Informațiile derivate din imaginile Sentinel 2 au fost folosite, pe rând, împreună cu suprafețele ce delimitează versanții derivați prin segmentare, iar ulterior cu bazinele hidrografice digitizate de pe hărți la scara 1:100.000, precum și cu versanții aferenți acestora, obținuți prin scindarea bazinelor de-a lungul talvegului. În toate cazurile, a fost aplicată atât metoda altitudinii medii, cât și valoarea medianei altitudinii, constatându-se că rezultatele sunt mai consistente în cazul utilizării medianei. În cazul utilizării medianei împreună cu versanții obținuți prin segmentare, valori mari ale diferenței altitudinale dintre suprafețele ocupate de către cele două specii de arbori s-au identificat în cadrul bazinului Buzăului și mai ales pe valea Bistriței. Comparativ cu analiza la nivel de bazin hidrografic, în urma analizei la nivel de versanți ai bazinelor hidrografice a fost remarcată densitatea mai ridicată a arealelor unde este posibilă manifestarea fenomenului de inversiune termică, reflectată prin existența inversiunilor de vegetație forestieră. În zona Carpaților de Curbură, diferențele cele mai semnificative s-au remarcat în bazinul hidrografic al Buzăului, respectiv bazinul râului Bota Mare. În grupa Centrală, areale cu diferențe altitudinale majore au fost identificate în bazinul Bistriței, pe

versantul estic din proximitatea lacului Izvorul Muntelui. La nivelul întregului areal studiat, în cazul folosirii mediei au fost identificați un număr de 430 de versanți, iar în cazul medianei au fost selectați 445. Valoarea medie a diferenței de altitudine, în cazul utilizării medianei, este de 46,6m.

În ceea ce privește orientarea versanților unde au fost identificate inversiuni de vegetație, a fost calculată expoziția celei mai răspândite clase de orientare din interiorul fiecărui poligon aferent versanților selectați. A fost observată predominanța clară a versanților cu expunere nordică și sudică. Utilizând informațiile derivate anterior, a fost calculată distribuția altitudinală a speciilor de arbori pentru fiecare clasă de orientare, în cadrul versanților unde au fost identificate inversiuni de vegetație. În urma analizei distribuției altitudinale a celor două categorii de specii, s-au remarcat câteva tendințe de manifestare a inversiunilor de vegetație, cu mici nuanțări în funcție de expoziția generală a versanților.

În capitolul 6, pentru cartarea speciilor de arbori a fost folosit un ortofotoplan obținut prin mozaicarea imaginilor aeriene preluate cu ajutorul dronei. Arealul cartat este reprezentat de trupul de pădure Slătioara, situat pe versantul sud-estic al masivului Rarău, în județul Suceava. Este un trup de pădure cu caracter primar, unde intervenția antropică a fost minimă, acesta fiind argumentul principal pentru selectarea acestuia pentru efectuarea unui studiu de caz. În ceea ce privește distribuția în altitudine a celor două categorii de specii cartate, în arealul de test, a fost observată altitudinea medie ridicată a speciilor de foioase comparativ cu media observată pe întregul areal de studiu. Așadar, comparativ cu întreaga suprafață de studiu, reprezentată de flancul estic al Carpaților Orientali, în trupul de pădure Slătioara se poate observa un decalaj altitudinal de aproximativ 200m. Prezența speciilor de foioase la altitudini mai ridicate ar putea fi un indicator al influenței fenomenului de inversiune termică ce se manifestă pe valea Moldovei.

În cuprinsul zonei noastre de studiu, arealul de manifestare al inversiunilor termice este, în mod cert, mult mai extins comparativ cu rezultatele obținute folosind metodele prezentate în această lucrare. Așadar, cartarea distribuției spațiale a inversiunilor de vegetație în scopul delimitării arealelor de manifestare a fenomenului de inversiune termică se pretează zonelor montane cu altitudini medii relativ reduse, precum Munții Vrancei. În zonele montane unde altitudinile sunt mai ridicate, prezența pajiștilor alpine sau a pădurilor exclusiv alcătuite din conifere, face imposibilă identificarea inversiunilor folosind algoritmul dat.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. **Alonzo, M., Andersen, H.E., Morton, D., Cook, B.,** *Quantifying Boreal Forest Structure and Composition Using UAV Structure from Motion*, 2018
2. **Apăvăloae, M., Apostol, L.,** *Caracteristicile inversiunilor termice din Depresiunea Dornelor*, Lucrările seminarului geografic „Dimitrie Cantemir”, nr.4, 1983, Universitatea „Al. I. Cuza”, Iași, 1983
3. **Apăvăloae, M., Apostol, L., Pîrvulescu, I.,** *Inversiunile termice din Culoarul Moldovei (sectorul Câmpulung Moldovenesc – Frasin) și influența lor asupra poluării atmosferei*, Analele Universității „Ștefan cel Mare”, Suceava, anul 5, secțiunea Geografie-Geologie, 1996
4. **Apostol, L.,** *Distribuția temperaturilor medii ale lunii ianuarie între Munții Vrancei și Balta Brăilei*, Lucr. Sem. geogr. „D. Cantemir”, nr. 6/1985, Univ. „Al. I. Cuza”, Iași, 1986
5. **Apostol, L.,** *Clima Subcarpaților Moldovei*, Editura Universității “Ștefan cel Mare” Suceava, 2004
6. **Apostol, L.,** *Inversiunile termice în Țara Dornelor*, Analele Universității „Ștefan cel Mare”, Suceava, anul 8, secțiunea Geografie-Geologie, 1999
7. **Apostol, L.,** *Meteorologie și climatologie*, Editura Universității Suceava, Suceava, 2000
8. **Apostol, L.,** *Precipitațiile atmosferice Subcarpații Moldovei*, Editura Universității “Ștefan cel Mare” Suceava, 2000
9. **Apostol, L.,** *Considerații asupra fenomenului de grindină în bazinul hidrografic Bârlad*, Suceava, Ed. Universității din Suceava, 2009
10. **Apostol, L., Pîrvulescu I.,** *Aspecte ale distribuției cantităților de precipitații pe flancul extern al Carpaților Orientali*, Lucr. sem. geogr. „D. Cantemir”, nr. 7/1986, Univ. „Al. I. Cuza”, Iași, 1987
11. **Apostol, L., Rusu C.,** *Aspecte privind temperatura aerului în Masivul Rarău*, Lucrările Seminarului Geografic „Dimitrie Cantemir”, nr. 9, 1998
12. **Apostol, L., Sfică L.,** *Influence of the Siret River Corridor on wind conditions*, Prace I Studia Geograficzne, T. 47, ss. 483 – 491, 2011
13. **Apostol, L., Sfică L.,** *Thermal differentiations induced by the Carpathian mountains on the Romanian territory*, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 8, No. 2, p. 215 – 221, 2013
14. **Apostol, L., Mihăilescu, C. M.,** *Cercetări asupra inversiunilor termice în bazinul superior al Moldovei în vederea cunoașterii unor particularități termice locale importante pentru starea ecologică a pădurilor*, Lucr. Ses. Șt. Anuală a Facultății de Geografie, 15 nov., CD ISBN 978-606-16-0548-4, București, 2014
15. **Apostol, L., Nedelcov, M., Bojariu, R.,** *Considerații asupra uscăciunii, secetelor și aridității între Carpații Orientali și Nistru*, Lucr. Conf. națională „Mediul și dezvoltarea durabilă, Ediția a IV-a, Facultatea de Geografie, Univ. din Tiraspol cu sediul în Chișinău, 2018
16. **Baker, G., Donald, E.,** *Frequency, Duration, Commencent Time and Intensity of Temperature Inversions at St. Paul – Mineapolis*, Dept. of Soil Science, University of Minnesota, St. Paul, 1969
17. **Banerjee, K., Panda S., Bandyopadhyay J., Jain M.,** *Forest Canopy Density Mapping Using Advance Geospatial Technique*, International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 1 Issue 7, 2014
18. **Barbu I., Barbu C., Curca M, Ichim V.,** *Adaptarea pădurilor României la schimbările climatice*, Ed. Silvica, 2016

19. **Bănică S., Benea I., Herișanu Gh.**, *Sisteme informaționale geografice și prelucrarea datelor geografice*, București, Ed. Fundației România de Măine, 2008
20. **Bâzâc, Gh.**, *Tipuri de inversiuni termice pe sectorul NV al masivului Țarcu în intervalul rece*, Hidrotehnica, nr. 5, 1970
21. **Bâzâc, Gh.**, *Influența reliefului asupra principalelor caracteristici ale climei*, Editura Academiei R.S.R., București, 1983
22. **Bilașco Șt., et al.**, *Flash Flood Risk Assessment and Mitigation în Digital-Era Governance Using Unmanned Aerial Vehicle and GIS Spatial Analyses Case Study: Small River Basins.*, Remote Sens, 14, 2481. <https://doi.org/10.3390/rs14102481>, 2022
23. **Bogdan, O., Niculescu, E.**, *Aspecte climatice specifice ale depresiunilor Giurgeu, Ciuc, Brașov, Factori și Procese Pedogenetice din Zona Temperată Serie nouă*, 3-115, 2004
24. **Bojariu, R., et al.**, *Schimbările climatice – de la bazele fizice la riscuri și adaptare*, Administrația Națională de Meteorologie, București, 2021
25. **Bojoi I.**, *România: geografie fizică*, Iași, Ed. Universității „Alexandru Ioan Cuza”, 2000
26. **Cenușă, R.**, *Caracteristici ale inversiunilor termice în zonele montane Călimani și Rarău*, Analele Universității „Ștefan cel Mare” Suceava – Secția Silvicultură, vol. I, 1994
27. **Cenușă, R.**, *Probleme de ecologie forestieră. Teoria fazelor de dezvoltare. Aplicații la molidișuri naturale din Bucovina*, Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava. Suceava, 1996
28. **Chianucci, F., et al.**, *Estimation of canopy attributes în beech forests using true colour digital images from a small fixed-wing UAV*, Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. , 47, 60–68, 2016
29. **Chiriță C., Vlad I., Păunescu C., Pătrășcoiu N., Roșu C., Iancu I.**, *Stațiuni forestiere, vol. II*, Edit. Academiei, București., 1977
30. **Ciutea, A.**, *Using Sentinel 2 satellite images for old-growth forest identification în the Fagaras Mountains*, Jurnalul Est European de Sisteme Informaționale Geografice și Teledetectie, 2017
31. **Ciutea, A., Jitariu, V.**, *Thermal inversions identification through the analysis of the vegetation inversions, occurred în the forest ecosystems from the eastern Carpathians*, PRESENT ENVIRONMENT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT Volume 14, Issue no.2, 2020
32. **Colomina, I.; Molina, P.**, *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review*. J. Photogramm. Remote Sens., 7, 9632–9654, 2014
33. **Czapski, P.; Kacprzak, M.; Kotlarz, J.; Mrowiec, K.; Kubiak, K.; Tkaczyk, M.** *Preliminary analysis of the forest health state based on multispectral images acquired by Unmanned Aerial Vehicle*, Folia For. Pol., 57, 138–144, 2015
34. **Dandois, J. P., and E. C. Ellis.**, *Remote Sensing of Vegetation Structure Using Computer Vision*, Remote Sensing 2 (4): 1157–1176. doi:10.3390/rs2041157, 2010
35. **Delegido J., Verrelst J., Alonso L., Moreno J.**, *Evaluation of Sentinel-2 Red-Edge Bands for Empirical Estimation of Green LAI and Chlorophyll Content*, Sensors, 11, 7063-7081, 2011
36. **Dezso, B. et al.**, *Object-based image analysis în remote sensing applications using various segmentation techniques*. Ann. Univ. Sci. Budapest. Sect. Comp., 37, 103–120, 2012
37. **Donisă I.**, *Geomorfologia Văii Bistriței*, Edit. Academiei RSR, București, 285 p, 1968
38. **Donisă I., Stănescu I., Donisă V., Apetrei M., Romanescu Gh., Kocșiș S.**, *Lucrările Simpozionului Sisteme Informaționale Geografice*, Iași, Ed. Universității Alexandru Ioan Cuza”, 1993
39. **Doniță, N. et al.**, *Zonarea și regionalizarea ecologică a pădurilor din RS România*, Seria a II-a ICAS, București, 1980
40. **Drăghici, I.**, *Dinamica atmosferei*, Editura Tehnică, București, 1988

41. **Dumitrescu A. et al**, *Recent climatic changes în România from observational data (1961–2013)*, 122:111–119, DOI 10.1007/s00704-014-1290-0, 2014
42. **Enea A., Iosub M., Stoleriu C., Ursu A.**, *The drone - a methodological tool, for generating base layers în gis*, 4th International Scientific Conference Geobalcanica, DOI:10.18509/GBP.2018.56, 2018
43. **Erhan, E.**, *Contribuții la studiul inversiunilor de temperatură din Depresiunea Câmpulung Moldovenesc*, Lucrările seminarului geografic „Dimitrie Cantemir”, nr.1, Universitatea „Al. I. Cuza”, Iași, 1980
44. **Feldmann, E.; Dröblier, L.; Hauck, M.; Kuchel, S.; Pichler, V.; Leuschner, C.**, *Canopy gap dynamics and tree understory release în a virgin beech forest, Slovakian Carpathians*, For. Ecol. Manag., 415–416, 38–46, 2018
45. **Frampton W., Dash J., Watmough G., Milton E.**, *Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables în vegetation*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2013
46. **Frimescu, M., Drobotă, M.**, *Cu privire la posibilitatea determinării inversiunilor termice și a gradelor de stratificare din observații sinoptice*, Studii și Cercetări de Meteorologie, Institutul de Meteorologie și Hidrologie, București, 1979
47. **GeoVille Environmental Services Sàrl (GeoVille, LUX)**, *Development of EO derived information services for EEA*, 2016
48. **Getzin, S.; Wiegand, K.; Schöning, I.**, *Assessing biodiversity în forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles*. Methods Ecol. Evol., 3, 397–404, 2012
49. **Giurgiu V., Doniță N., Bândiu C., Radu S., Cenușă R., Dissescu R., Stoiculescu C., Biriș I.-A.**, *Pădurile virgine din România*, asbl Foret wallone, 2001
50. **Ichim, P. Apostol L, Sfică L., Kadhim-Abid Adriana-Lucia, Istrate V.**, *Frequency of thermal inversions between Siret and Prut rivers în 2013*, Present Environment & Sustainable Development, Vol. 8, no. 2, Iași, 2014
51. **IPCC, 2013**, *The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Stocker TF et al., editors. Climate change 2013. Cambridge: Cambridge University Press, 2013
52. **Jeffrey Gillan**, *Radiometric Calibration with Parrot Sequoia multi-spectral imaging sensor*, Independent Study – Geog. 699
53. **Larion D.**, *Clima Municipiului Vaslui*, Iași, Ed. Terra Nostra, 2004
54. **Lesenciuc D.**, *Masivul Giumalău – Studiu geomorfologic*, Editura Tehnopres, 2006
55. **Lisein, J.; Michez, A.; Claessens, H.; Lejeune, P.**, *Discrimination of deciduous tree species from time series of unmanned aerial system imagery*. PLoS ONE, 2015
56. **Lyons, M.B.; Keith, D.A.; Phinn, S.R.; Mason, T.J.; Elith, J.**, *A comparison of resampling methods for remote sensing classification and accuracy assessment*, Remote Sens. Environ., 208, 145–153, 2018
57. **Martin B. et al**, *UAV Remote Sensing for Biodiversity Monitoring: Are Forest Canopy Gaps Good Covariates?*, Remote Sens. 2018, 10, 1397; doi:10.3390/rs10091397, 2018
58. **Messinger, M.; Asner, G.P.; Silman, M.**, *Rapid assessments of amazon forest structure and biomass using small unmanned aerial systems*. Remote Sens., 8, 1–15, 2016
59. **Micu D. M. et al**, *Climate of the Romanian Carpathians*, Springer International Publishing Switzerland, 2015
60. **Motohka T., Nasahara K., Oguma H., Tsuchida S.**, *Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology*, Remote Sensing, 2, 2369–2387, 2010
61. **Mueller-Wilm U.**, *Sen2Cor Configuration and User Manual*, 2016
62. **Nagendra, H.**, *Using remote sensing to assess biodiversity*. Int. J. Remote Sens. 2001, 22, 2377–2400, 2001
63. **Navulur, K.**, *Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm*, 2006

64. **Neamu, Gh., et al.**, *Unele cazuri de inversiuni termice în depresiunile intracarpătice Braşov și Câmpulung Moldovenesc*, Hidrotehnica, 1968
65. **Nichiforel, L.**, *Silvicultură pentru învățământ la distanță*, Universitatea “Ștefan cel Mare” Suceava, Facultatea de Silvicultură, 2014
66. **Norby R., Sholtis J., Gunderson C., Jawdy S.**, *Leaf dynamics of a deciduous forest canopy: no response to elevated CO₂*, *Oecologia*, 136:574–584, 2003
67. **Paraschiv, V.**, *The temperature inversions and the environmental risks resulted in the Giurgeu Depression*, Seminarul Geografic „Dimitrie Cantemir”, nr. 29, Iași, 2009
68. **Patriche, C.**, *Metode statistice aplicate în climatologie*, Editura Terra Nostra, Iași, 2009
69. **Petrila, M., Apostol B., Gancz, V., Lorent, A.**, *Aplicații ale tehnologiilor geomatice în silvicultură*, Ed. Silvică, 2010
70. **Pierre L. I., Ursu A., Ciutea A., Freya K.**, *Potential Primary Forests Map of România*, published by Greenpeace CEE România; Centre for Economics and Ecosystem Management, Eberswalde University for Sustainable Development; Geography Department, A. I. Cuza University of Iași), 2017
71. **Puliti, S.; Olerka, H.; Gobakken, T.; Næsset, E.**, *Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System*. *Remote Sens.*, 7, 9632–9654, 2015
72. **Puliti, S.; Gobakken, T.; Ørka, H.O.; Næsset, E.**, *Assessing 3D point clouds from aerial photographs for species-specific forest inventories*. *Scand. J. For. Res.*, 32, 68–79, 2017
73. **Remondino, F., Spera, M.G., Nocerino, E., Menna, F., Nex, F.**, *State of the art in high density image matching*. *Photogramm. Rec.*, 29, 144–166, 2014
74. **Richter R., Kellenberger T., Kaufmann H.**, *Comparison of Topographic Correction Methods*, *Remote Sens.*, 1, 184–196, 2009
75. **Richter R., Louis L., Uwe Müller-Wilm**, *Sentinel-2 MSI – Level 2A Products Algorithm Theoretical Basis Document*, 2012
76. **Roșu A.**, *Geografia fizică a României*, București, Ed. Practică și pedagogică, 1980
77. **Rusu E.**, *Munții Bîrgăului, studiu fizico-geografic*, Iași, Editura Universității Alexandru Ioan Cuza, 1999
78. **Rusu. E., Balteanu. D.**, *Geografia pădurilor*, Iași, Editura Universității Alexandru Ioan Cuza, 2012
79. **Sandu I. et al**, *Clima României*, Administrația Națională de Meteorologie, Editura Academiei Romane, Bucuresti, 2008
80. **Sfîca L.**, *Clima Culoarului Siretului și a regiunilor limitrofe*, Editura Universității Alexandru Ioan Cuza, 2015
81. **Sfîcă, L., Nicuriuc, I., Niță, A.**, *Boundary Layer Temperature Stratification as Result of Atmospheric Circulation Within the Western Side of Braşov Depression*. 2019 “Air and Water – Components of the Environment” Conference Proceedings, Cluj-Napoca, Romania, p. 53-64, DOI: 10.24193/AWC2019_06, 2019
82. **Shvidenko., A.**, *Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change*, MDPI, Sustainability, 9, 1152; doi:10.3390/su9071152, 2017
83. **Slaughter J.**, *The Sentinel Satellites and Copernicus Contributing Missions*, 2014
84. **Spinoni, j., et al**, *Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables*, *Int. J. Climatol.* 35: 1322–1341, 2015
85. **Torresan, C. et al**, *Forestry applications of UAVs in Europe: a review*. *Int. J. Remote Sens.*, 38, 2427–2447, 2017
86. **Turner, D., Lucieer, A., Watson, C.**, *An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery, based on Structure from Motion (SFM) point clouds*, *Remote Sens.*, 4, 1392–1410, 2012

87. **Ungureanu, I.**, *Geografia mediului*, Ministerul Educației și Cercetării, Proiectul pentru Învățământul Rural, 2005
88. **Ursu, A., Nicoară, M., Grădinaru, I.**, *Ghidul siturilor Natura 2000*, Iași, Ed. StudIS, 2013
89. **Vasenciuc F.**, *Riscuri climatice generate de precipitații in bazinul hidrografic al Siretului*, INMH București, 2003
90. **Wallace, L., Lucieer, A., Malenovsky, Z., Turner, D., Vopenka, P.**, *Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds*. *Forests*, 7, 1–16, 2016
91. **Wang, Q., Adiku, S., Tenhunen, J., Granier, A.**, *On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site*, *Remote Sensing of Environment* 94, 244–255, 2005
92. **Zahawi, R.A., Dandois, J.P., Holl, K.D., Nadwodny, D., Reid, J.L., Ellis, E.C.**, *Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery*, *Biol. Conserv.*, 186, 287–295, 2015
93. **Zhang, J., Hu, J., Lian, J., Fan, Z., Ouyang, X., Ye, W.**, *Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring*, *Biol. Conserv.*, 198, 60–69, 2016
94. **Zielewska-Büttner, K., Adler, P., Petersen, M., Braunisch, V.**, *Parameters Influencing Forest Gap Detection Using Canopy Height Models Derived from Stereo Aerial Imagery*, DGPF, 2016
95. * * * (1966), *Clima R.S. România, vol. II*, ed. a II-a, C.S.A., I.M., București.
96. * * * (1996), *Climatological normals (CLINO) for the period 1961-1990*, WMO, 847, Geneva, ISBN 10: 9263008477.
97. <http://www.esa.int> - European Space Agency
98. <https://insse.ro/> - Institutul Național de Statistică
99. <http://www.ipcc.ch/ipccreports> - Intergovernmental Panel on Climate Change
100. <https://www.meteomoldova.ro/> - Meteo Moldova