



UNIVERSITATEA „ALEXANDRU IOAN CUZA” DIN  
IAȘI

FACULTATEA DE GEOGRAFIE-GEOLOGIE

Școala Doctorală de Geoștiințe



# **Evaluarea stocului de carbon din sol în funcție de modul de utilizare a terenului în bazinul râului Neamțu**

**Conducător științific**

**PROF. UNIV. DR. RUSU EUGEN**

**Doctorand**

**BOBRIC ELENA DIANA**

**IAȘI, 2020**

UNIVERSITATEA “ALEXANDRU IOAN CUZA” din IAȘI

Facultatea de Geografie și Geologie

Departamentul de Geografie

Domnului/Doamnei.....

Vă facem cunoștință că în data de 23.12.2020, ora 11:00, drd. Elena Diana BOBRIC va susține în  
ședință publică teza de doctorat cu titlul:

**EVOLUȚIA STOCULUI DE CARBON DIN SOL ÎN FUNCȚIE DE MODUL DE  
UTILIZARE A TERENULUI ÎN BAZINUL RÂULUI NEAMȚU**

în vederea obținerii titlului științific de doctor în domeniul GEOGRAFIE

Comisia de doctorat a fost numită prin Decizia Nr. /3 .12.2020 a Rectoratului Universității  
“Alexandru Ioan Cuza” din Iași și are următoarea componență:

**Președintele:**

**Prof. univ. dr. habil. Adrian GROZAVU** – Decan al Facultății de Geografie și Geologie,  
Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași

**Conducător științific:**

Prof. univ. dr. **Eugen RUSU** - Departamentul de Geografie, Facultatea de Geografie și Geologie,  
Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași

**Referenți:**

**Prof. univ. dr. Laurențiu Călin BACIU** – Facultatea de Știința și Ingineria Mediului, Universitatea  
Babeș-Bolyai din Cluj Napoca

**Prof. univ. dr. Alexandru NEDELEA** – Facultatea de Geografie, Universitatea din București

**Conf. univ. dr. ing. habil. Iuliana Gabriela BREABĂN** – Facultatea de Geografie și Geologie,  
Universitatea “Alexandru Ioan Cuza” din Iași

Teza poate fi consultată la Biblioteca Facultății de Geografie și Geologie.

Cuprins	
Introducere .....	5
a. Contextul științific mondial al cercetărilor în domeniu .....	5
b. Motivația alegerii temei .....	6
c. Obiectivele cercetării - Obiectivele generale / specifice .....	7
d. Ipoteze de cercetare .....	7
e. Problematică .....	8
Capitolul I. Stadiul actual al cercetărilor în domeniul stocului de carbon din sol .....	9
1.1. Nivelul actual al cercetărilor pe plan internațional .....	9
1.2. Nivelul actual al cercetărilor pe plan național .....	11
Capitolul II. Bazinul râului Neamțu- elemente de identitate geografică .....	12
2.1. Localizare, aspecte hidronimice .....	12
2.2. Substratul geologic .....	13
2.2.1. Caracteristici structurale .....	13
2.2.2. Particularitățile litologice .....	13
2.3. Relieful .....	14
2.3.1 Aspecte morfografice .....	14
2.4. Cuvertura pedologică .....	14
2.5. Dinamica modului de utilizare al terenurilor .....	16
Capitolul III. Materiale și metode utilizate .....	18
3.3 Determinarea carbonului din sol .....	18
3.3.3. Utilizarea tehnologiilor imagistice .....	22
3.3.3.1 Date spectrale provenite din imagini satelitare Sentinel 2 .....	22
3.4. Metode statistice de interpretare și modelare a datelor .....	23
3.4.1. Variabile topografice și climatice .....	23
3.4.2. Modele predictive de tip Machine learning (ML) pentru determinarea carbonului organic din sol .....	24
3.4.3 Măsurile de performanță ale modelelor predictive .....	25
3.5. Metode cartografice .....	26
Capitolul IV. Rezultate și discuții .....	27
4.1 Evaluarea conținutului de MOS din bazinul Neamțu prin diferite metode .....	27
4.2. Investigarea conținutului de carbon prin spectroscopia FTIR .....	31
4.3. Rezultatele utilizării tehnologiilor imagistice în determinarea COS .....	36
Capitolul V Stocul de carbon în funcție de modul de utilizare a terenului .....	42
5.1. Influența modului de utilizare a terenului asupra carbonului organic din sol .....	42
5.2 Analiza comparativă SCOS de pădure și pășune ale bazinului râului Neamțu .....	43
5.3 Distribuția materiei organice din solurile bazinului râului Neamțu .....	44
Concluzii .....	46
Bibliografie selectiva .....	48

## Lista abrevierilor

Abreviere	Semnificație
CLC	Corine Land Cover
CO	Carbon organic
COS	Carbonul organic din sol
DC	Combustie uscată
GIS	Sisteme Informatice Geografice
IFN	Inventarul Forestier Național
LOI	Pierdere prin calcinare
WB	Walkley Black
MOS	Materia organică a solului
FTIR	Spectroscopie transformată fourier
SCOS	Stocul de carbon organic din sol
LU	Luncă
FN/PJ	Fâneată/pajiște
FG	Fag
GBM	Algoritm de creștere a gradientului
SVM	Suport vector machine
LM	Regresia liniară
PLS	Partial least square
PCA	Analiza componentelor principale
DEM	Modelul digital al terenului
RF	Random forest
OJSPANeamt	Oficiul Județean de Studii Pedologice Neamț
DSN	Direcția Silvică Neamț
IPCC	International Panel on Climate Change

## Introducere

Solul este un sistem natural complex care susține ecosistemele agricole și forestiere și are un rol important în reglarea funcționalității unor cicluri naturale, printre care și ciclul gazelor cu efect de seră și al carbonului organic terestru. Carbonul organic este înmagazinat în sol sub forma unui stoc care depinde de o serie de factori ecosistemici naturali (temperatura aerului și solului, precipitațiile atmosferice, biocenoza, proprietățile solului, calamitățile naturale), dar și de modul de utilizare a terenurilor și de activitățile umane.

Sechestrarea carbonului organic în cadrul ciclului de carbon terestru este definit ca un rezultat al bilanțului net exprimat în echivalent  $\text{CO}_2$  ale tuturor fluxurilor directe de gaze cu efect de seră (GES) la interfața sol – plantă – atmosferă, dar și ale fluxurilor indirecte (rezultate din utilizarea energiei convenționale, emisii de metan din orezării, erupții vulcanice, emisii animale), pentru un sistem dat, în comparație cu un sistem de referință, pentru o perioadă și o suprafață considerată (Bernoux et, al. 2006). Un accent destul de mare se pune pe relația dintre schimbările climatice și pădure, această idee fiind întărită de preocupările științifice din ultima perioadă, în special bazându-se pe impactul schimbărilor climatice asupra pădurii și silviculturii, apoi o altă idee ar fi adaptarea pădurilor și a silviculturii la schimbările climatice, iar o ultima idee ar fi contribuția pădurii și a silviculturii la atenuarea efectelor negative ale schimbărilor climatice.

Carbonul conținut în rezervoarele solului se datorează descompunerii materiei organice aflată în sol. Prin această transformare o parte din carbon este transferat în atmosferă. Pentru a menține stocul de carbon în proporții active în sol este necesară asigurarea unui echilibru între intrările de materie organică în sol și pierderile de carbon organic sub formă de GES.

Carbonul organic din sol este soclul viu al producției agricole și silvice, un element de patrimoniu natural, dar în același timp este considerat o resursă valoroasă, cu un rol esențial în menținerea unui echilibru vital între componentele gazoase ale atmosferei, dar limitată și dificil de regenerat la scară umană. Este necesar un interval de timp variabil, de ordinul a zeci și chiar sute de ani pentru trecerea progresivă de la rocă la un sol cu aptitudini productive.

#### a. Contextul științific mondial al cercetărilor în domeniu

Din cauza schimbărilor climatice, resursa de sol a devenit una dintre cele mai vulnerabile resurse pe plan mondial. Solurile constituie unul dintre cele mai importante rezervoare de stocare a carbonului alături de atmosferă și vegetația terestră. (Lefevre C et. al 2017).

Carbonul organic din sol este un component dinamic natural sau antropogen, iar impactul pe care îl are asupra solului îl poate transforma într-o sursă a gazelor cu efect de seră (Batjes, N. H.1996).

Au fost realizate foarte multe cercetări științifice care au stimulat înțelegerea și explicarea dinamicii COS. Cu toate acestea, protecția și monitorizarea COS la nivel național și global încă se confruntă cu provocări care împiedică elaborarea eficientă a unor politici de implementare la nivel regional și local. COS ajunge în sol sub formă de materie organică prin descompunerea plantelor și animalelor, fiind stocat în sol de la zeci de ani până chiar la milenii. Pierderea din sol a COS se realizează prin emisiile de CO<sub>2</sub> și CH<sub>4</sub> care ajung în atmosferă datorită proceselor de eroziune și absorbție prin procesele de bioconversie. Înțelegerea acestor procese de cuantificare a fluxurilor globale de carbon este importantă pentru demersurile de conservare a COS. Cel mai recent studiu complex pe această temă a fost realizat de FAO în anul 2017 la Roma în lucrarea (Lefevre et. al. 2017).

Stocarea carbonului a devenit un obiectiv important, luat în considerare în managementul pădurilor, după ce o serie de cercetări au dovedit că pădurile prezintă un rol important în ciclul carbonului (McBratney. et al. 2014).

#### b. Motivația alegerii temei

Teza de doctorat își propune să analizeze atât sechestrarea, cât și modificările stocului de carbon din sol în funcție de modul dominant de utilizare a terenului, respectiv pădure, pășune și teren arabil. Terenurile din intravilan și cele amenajate antropic din afara intravilanului (construcții diverse, căi de comunicații, amenajări hidrografice, etc) au fost exceptate de la studiu deoarece solurile au fost total sau parțial modificate.

Motivația alegerii temei și zonei de investigare a fost determinată de multiplicarea semnalelor de alarmă la nivel mondial privind pierderile de carbon din sol și din biomasa forestieră, cu urmări indezirabile asupra menținerii compoziției chimice a atmosferei și a unor climate mondiale cu derulări în parametri normali. În contextul actual al schimbărilor

globale, regionale și locale, analiza carbonului din sol devine o necesitate stringentă și de mare actualitate. Modificările importante apărute în ultimile trei decenii în structura utilizării terenurilor la nivel național și regional, impun și o analiză a evoluției stocului de carbon și o semnalare a transformărilor cantitative cu urmări importante.

Subiect de mare actualitate, stocul de carbon reprezintă un indicator deosebit de important în evaluarea tendințelor de evoluție a sistemului climatic global.

Evaluarea stocului de carbon necesită o tranziție de la o analiză individuală a factorilor de mediu, la o analiză sistemică susținută de observații directe pe teren și prelevarea de eșantioane pentru analize. Îmbunătățirea metodologiei de lucru și de analiză a datelor poate fi realizată numai prin utilizarea de practici și metode moderne (aparatură performantă, GIS, procesare statistică și analiză multivariată).

#### c. Obiectivele cercetării

##### *Obiectivele generale /specifice*

Obiectivele cercetărilor prezentei teze s-au axat pe determinarea carbonului organic sechestrat în sol din bazinul râului Neamțu, în funcție de modul de utilizare a terenului. Determinarea și evaluarea materiei organice din sol fac obiectul comparării, cu aplicabilitate și reproductibilitate pe cele trei categorii principale de utilizare a terenului: arabil, pădure, pășuni și fânețe.

- Stabilirea unor corelații între caracteristicile geografice ale teritoriului și evaluarea stocului de carbon organic;
- Determinarea cantității de carbon stocat în solurile din bazinul râului Neamțu;
- Identificarea celor mai reprezentative zone cu conținut mare de carbon organic;
- Însușirea și aplicarea unor metode moderne de analiză a stocului de carbon organic;
- Evidențierea importanței stocului de carbon organic în menținerea echilibrului în cadrul ecosistemului și în cadrul evoluției unor elemente climatologice;
- Stabilirea unor posibilități de menținere sau de creștere al stocului de carbon organic sechestrat.

Obiectivele minime au fost îndeplinite prin publicarea a două articole ISI cu factor de impact în domeniul tezei, trei articole în proceedinguri indexate ISI în domeniul tezei. Deasemenea, în aceeași perioadă sunt coautor la trei articole ISI cu factor de impact, două

articole în proceedingsuri în domenii conexe, trei participări la conferințe internaționale în domeniul tezei și treizeci naționale.

#### d. Ipoteze de cercetare

În contextul modificărilor survenite în structura utilizării terenurilor după 1989 în bazinul hidrografic Neamtu, a modificărilor legislative în privința schimbării formelor de proprietate, extinderea spațiului locuit, se desprinde o idee respectiv: *diferite tipuri de utilizare a terenurilor afectează stocul de carbon organic din sol?*

#### e. Problematică

Modificările apărute în modul de utilizare a terenurilor afectează stocul de carbon organic din sol? Demersul științific al studiului propus de această teză prezintă elemente de noutate în literatura de specialitate din România, deoarece nu există decât foarte puține studii colaterale privind metodologia, determinarea și evaluarea stocului de carbon din sol. Un articol la nivelul României a apărut în 2012, dar acest studiu se axează în special pe stocul de carbon din solurile forestiere pe o bază dată din 2000-2006 obținută de la ICPA.

Există foarte multe protocoale pentru determinarea COS practicate în diferite laboratoare (Abraham J., 2013). În funcție de ceea ce se dorește a fi determinat, sunt utilizate metode de analiză cantitativă și semicantitativă, cum sunt combustia uscată care este o metoda cantitativă și metoda semicantitativă Walkley-Black, care este utilizată în foarte multe laboratoare de specialitate, fiind una dintre cele mai cunoscute, mai rapide și mai accesibile metode, dar acest lucru nu garantează că poate fi foarte precisă (Abraham J., 2013).



## Capitolul I. Stadiul actual al cercetărilor în domeniul stocului de carbon din sol

### 1.1. Nivelul actual al cercetărilor pe plan internațional

Carbonul organic din sol (COS) are un caracter dinamic, iar impactul antropic asupra solului îl poate transforma într-o sursă directă de emisie a gazelor cu efect de seră. Numeroase cercetări științifice s-au realizat în acest domeniu, pentru a explica și înțelege mai bine dinamica carbonului organic din sol. Carbonul din sol poate fi remaniat prin procese de erodare a solului sau poate ajunge în atmosferă sub formă de emisii de  $\text{CO}_2$  și  $\text{CH}_4$ . Cea mai mare cantitate din COS poate ajunge în vegetație prin extragere din humus și din resturile organice din sol.

Strategiile de a reduce emisiile de  $\text{CO}_2$  reprezintă un subiect internațional intens dezbătut de cercetători dar și de marile corporații. Biosfera absoarbe aproximativ jumătate din emisiile antropice de  $\text{CO}_2$ , în timp ce la nivel terestru, rezerva și totodată sursa de carbon este dată de emisfera nordică, acest lucru cunoscându-se prin inventarierea periodică care se fac la nivel național (Braga C.2018). Dioxidul de carbon ( $\text{CO}_2$ ) este principalul gaz cu efect de seră rezultat din activitățile umane. La nivel global, s-a estimat că aproape 35 de miliarde de tone de  $\text{CO}_2$  au fost emise în 2013, prin arderea combustibililor fosili (petrol, gaze sau cărbuni) și producția de ciment. Ecosistemele terestre ar atenua impactul acestor emisii prin captarea a peste o treime din totalul de C emis prin fotosinteză (Kane 2015).

Un alt factor care influențează și chiar determină sechestrarea carbonului în sol îl reprezintă și modul de utilizare a terenului. Spre exemplu, dacă un tip de sol de pășune își schimbă modul de folosință în arabil, acesta pierde din primii anii după conversie aproape jumătate din cantitatea de carbon. (Johnston et al., 1973).

Astfel, în pădure se produc atât intrări cât și ieșiri de carbon. Intrările de C în ecosistemul forestier au loc prin fotosinteză, iar ieșirile se realizează prin respirație, descompunerea materiei organice, incendii și recoltarea de masă lemnoasă (Nabuurs et al., 2008). Intrările de C prin materia organică exogenă în sol sunt esențiale pentru reînnoirea sau creșterea stocurilor de C din sol (Alavoine et al., 2008). Carbonul organic din sol reprezintă componenta cheie a ecosistemelor forestiere (Batjes, 1996, Nadelhoffer, 2004). La nivel global, solurile conțin de trei ori mai mult C decât există în atmosfera și de patru ori și jumătate mai mult decât rezerva totală terestră din biosferă (Lajtha et al., 2014), având mai

mult decât atmosfera și plantele la un loc (Jobbagy et al., 2000). Solurile forestiere au un rol deosebit de important în circuitul global al C, mai ales că acestea conțin de 1,5 ori mai mult carbon decât cel existent în arbori (Baritz et al., 2010). Totodată, C din sol prezintă interes în ceea ce privește bilanțul gazelor cu efect de seră (Janssens et al, 2003, Baritz et al, 2010), ca factor de atenuare a creșterii emisiilor GHG (Jandl et al 2007).

Pentru a demonstra acest lucru, au fost investigate platformele online Scopus și Web of Science, utilizand drept cuvinte cheie “soil organic carbon” și “soil organic carbon Stock”, identificandu-se publicatiile aparute in perioada 1980 - mai 2019. Numărul de referințe publicate privind carbonul organic din sol, a crescut constant începând cu anul 2000, după cum se poate observa din figura 1, cat si pentru ” soil organic carbon Stock” din figura 2.

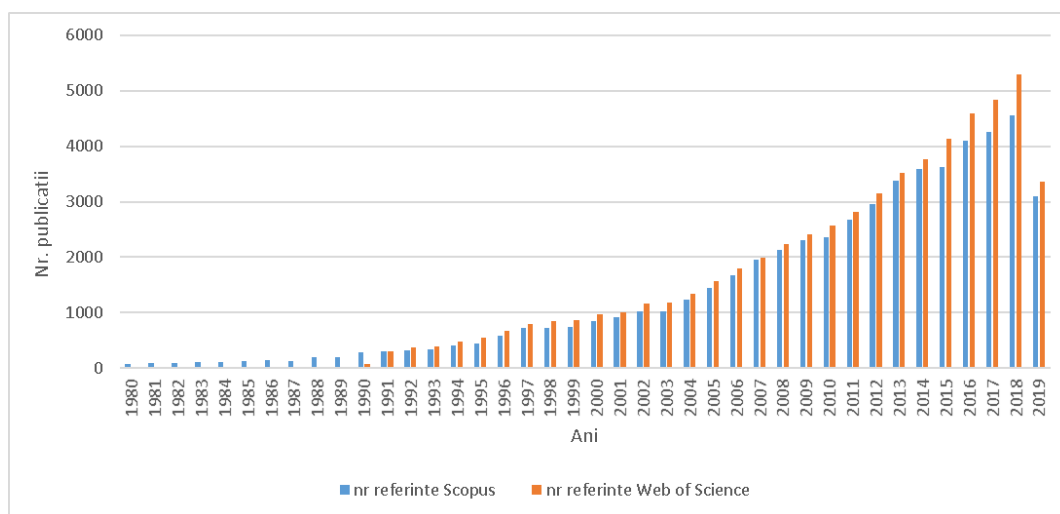


Figura 1. Numărul de referințe publicate în fiecare an după sintagma “soil organic carbon” (din 1980-2019).

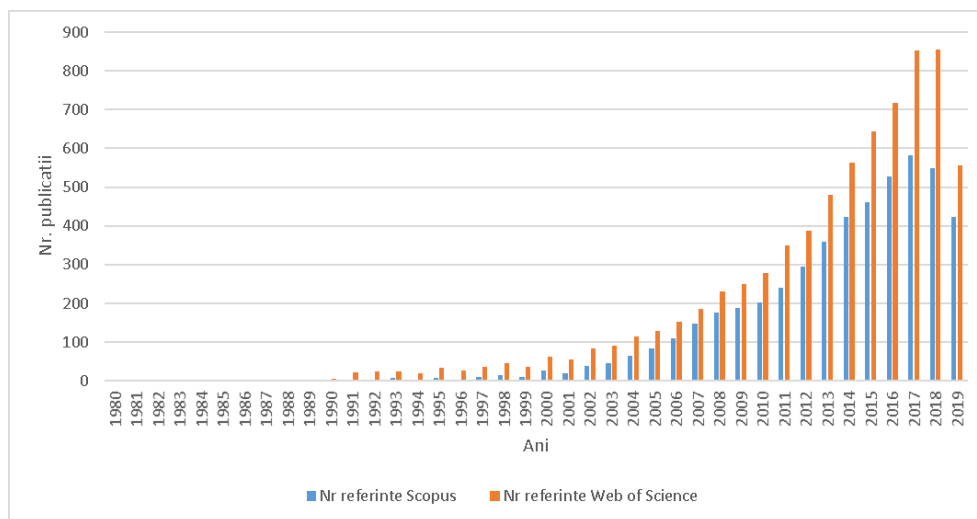


Figura 2. Numărul de referințe publicate în fiecare an după sintagma “soil organic carbon stock”, (din 1980-2019).

### 1.2. Nivelul actual al cercetărilor pe plan național

În ceea ce privesc studiile referitoare la carbonul organic din sol la nivel de România, articolele publicate pe acest subiect nu sunt foarte multe, după cum se poate observa și în figura 3.

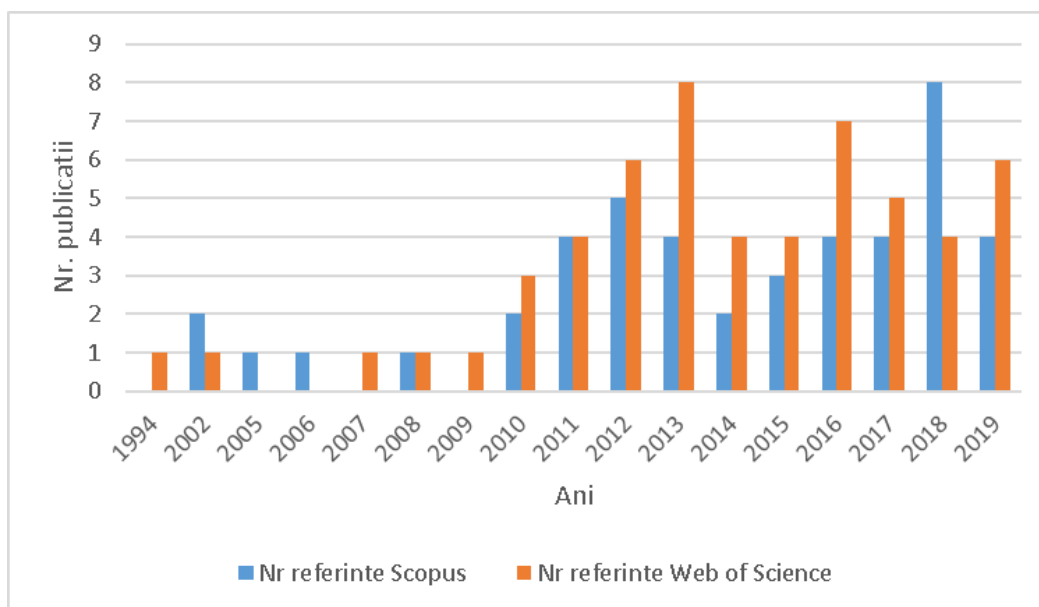


Figura 3 Numărul de referințe publicate în fiecare an după sintagma “soil organic în România”, (din 1994-2019).

Interesul pentru calcularea și determinarea stocului de carbon organic din sol, la nivelul României a fost redus, după cum se poate observa și din tabelul 1 numărul publicațiilor nu este foarte mare, conform celor două baze de date luate în analiză pentru studiu.

În urma cercetării realizate, rezultatele obținute constituie un prim pas în evaluarea și determinarea stocului de carbon din sol, în funcție de modul de utilizare a terenului și prima încercare de a compara diferențele care apar între stocurile celor trei tipuri de utilizare. Metodele de determinare a carbonului organic din sol sunt în conformitate cu metodele adoptate de FAO și completate de Laurenz and Lal, 2016; GSP Secretariat and ITPS, 2016; Pallasser, 2013; Chatterjee et al., 2009, incluzând cele două tipuri de metode, analitică și spectrofotometrică.



## 2.2. Substratul geologic

### 2.2.1. Caracteristici structurale

Printre primele lucrări asupra subcarpaților, cu referiri la sectorul aferent bazinului râului Neamțu, sunt cele prezentate de Mihai David, care a adus informații noi privind geologia zonei.

Alte informații privind geologia și geomorfologia zonei au mai fost prezentate de cercetători ca T. Joja, N. Bucur, Ioniță Ichim, fiind realizate lucrări de mare interes cum ar fi: Ichim I.- Munții Stănișoarei – studiu geomorfologic, Edit. Academiei, 1979. Alte lucrări de referință sunt tratatele de Geografia României, volumele 3, 4, Edit. Academiei, care analizează toate elementele cadrului natural de pe teritoriul Carpaților și unităților extracarpătice. Un studiu care a contribuit mult la cunoașterea substratului geologic din zona este „Harta geologica 1:200000” foaia Piatra Neamț, cu nota explicativă oferita de T. Joja, Elena Miriuță și Gr. Alexandrescu.

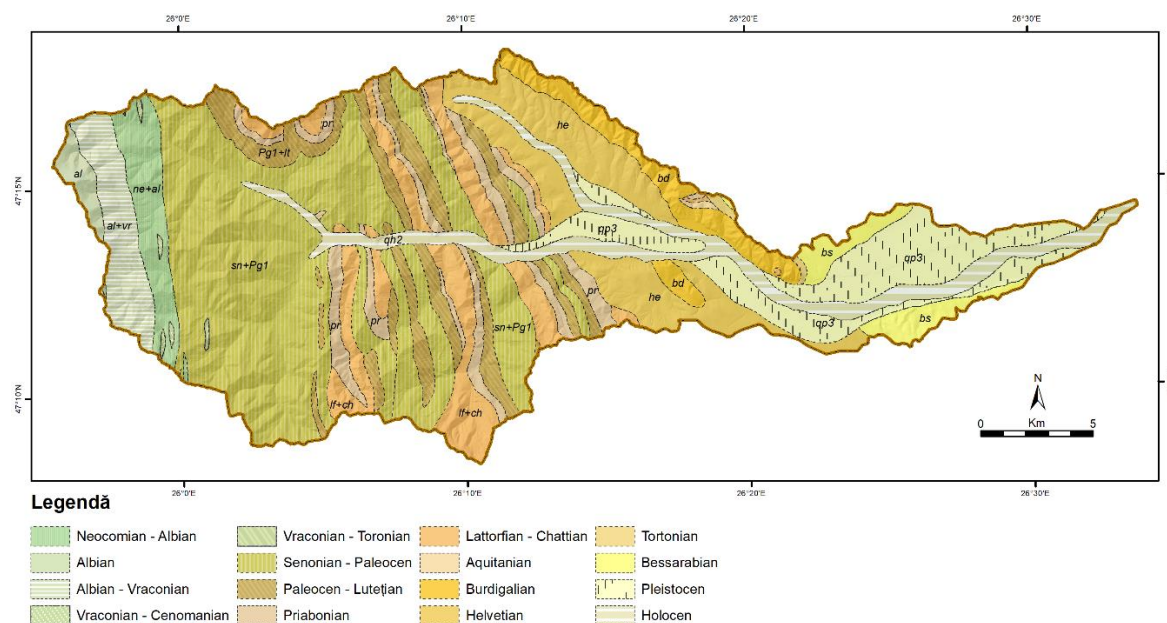


Figura 5. Harta geologică a bazinului râului Neamțu

### 2.2.2. Particularitățile litologice

Substratul geologic, al bazinului Neamțu este constituit din zona flișului, zona de molasă și zona de platformă, desfășurate în această ordine de la vest la est.

Zona flișului este caracteristică pentru zona montană și include formațiuni ale flișului extern depuse în intervalul Cretacicul Inferior-Miocen.

Altitudinal, teritoriul bazinului râului Neamțu se încadrează între 219 m la confluența Ozanei cu Moldova și 1530 m în vf. Bivolul.

Orientarea generală pe direcția vest-est a bazinului Neamțu este relativ perpendiculară pe structurile geologice, fiind evidențiată de culmile secundare ce se constituie în interfluviile care despart principalele artere hidrografice cu caracter transversal (Nemțșor, Secu, Dolia, Pluton-Dolhești, Mihăeț, Glodul Mare).

Râul Neamțu taie perpendicular formațiunile flișului curbicortical, ale pânzelor șariate de Tarcău, Vrancea și cea de molasă pericarpatică. Varietatea relativă a constituției litologice a flișului se impune, dar nu în mod decisiv, în complexitatea învelișului pedologic.

## 2.3. Relieful

### 2.3.1 Aspecte morfografice

Bazinul Neamțului ocupă sectoare importante din trei unități morfostructurale majore: Munții Stânișoarei, Dealurile subcarpatice nemțene și Depresiunea Neamțului.

#### 2.3.1.1 Munții Stânișoarei

Acești munți reprezintă o subunitate unitară din cadrul flișului carpatic extern, desfășurându-se pe aproximativ 60 km lungime între valea Moldovei în nord, valea Bistriței vest și în sud, și Subcarpații Moldovei în est.

Munții Stânișoarei se desfășoară pe o direcție generală NV-SE și au o suprafață de peste 2100 km<sup>2</sup>.

#### 2.3.1.2 Dealurile subcarpatice

Pe teritoriul Bazinului Neamțu, un aliniament de dealuri subcarpatice externe din anticlinoriul Pleșu se desfășoară pe direcția NV – SE la contactul dintre Depresiunea Neamțului și Culoarul Moldovei. Este constituit din Culmea Pleșului ca element morfologic definitoriu pe latura estică a depresiunii și o serie de dealuri mai scunde (Boiștea, Corni, Holm) care se prelungesc în aval între Valea Moldovei și cea a Bistriței.

## 2.4. Cuvertura pedologică

Diversitatea condițiilor fizico-geografice specifice ariei flișului est-carpatic și unității pericarpatic moldave impune o anumită complexitate a proceselor pedogenetice, cu reflex în ceea ce privește învelișul pedologic.

Solurile caracteristice bazinului râului Neamțu aparțin următoarelor clase: cernisoluri, luvisoluri, cambisoluri, spodisoluri, hidrisoluri și protisoluri (SRTS 2012).



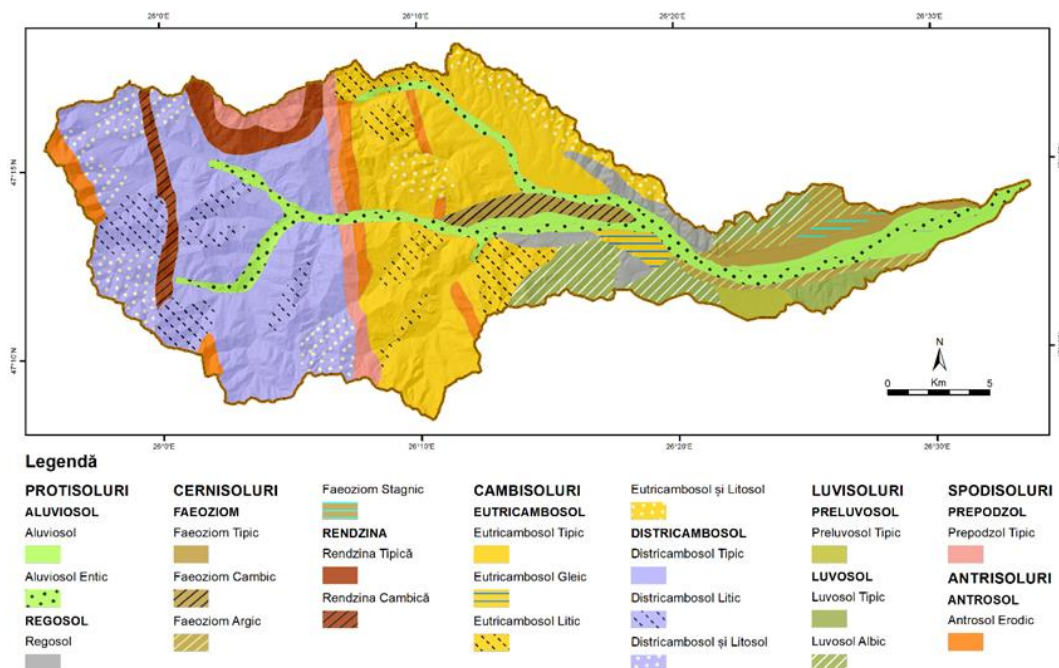


Figura 6. Harta solurilor din bazinul hidrografic Neamțu

Cambisolurile constituie fondul pedologic al bazinului, fiind reprezentate prin eutricambosoluri în etajul montan inferior și districambosoluri în cel superior. Local apar spodisolurile și hidrisolurile, învelișul de sol fiind întregit de prezența antrisolurilor (pe versanții degradați), protosoluri (în lunci, trepte de lunca și terase). Cu mici excepții (protosoluri aluviale, antrisoluri și regosoluri), unitățile tipologice de sol sunt favorabile dezvoltării vegetației forestiere, productivitatea și favorabilitatea ecologică fiind condiționate de întregul complex al factorilor fizico-geografici (litologie, relief, condiții climatice și hidrogeologice, sol), la care se adaugă factorul timp și intervențiile antropice.

Calitatea fondului funciar este afectată în principal de procesele de eroziune și alunecări, de excesul de umiditate de suprafață și reacția solurilor, ameliorarea acestor restricții fiind posibilă prin lucrări antierozionale specifice, măsuri simple de eliminare a excesului de umiditate de suprafață, afânarea adâncă.

În concluzie, învelișul pedologic al bazinului râului Neamțu este destul de variat tipologic, efect al complexității factorilor fizico-geografici care dirijează procesele pedogenetice pe direcții diferite: humificare, argilizare „in situ”, argiloiluvieri, podzolire humico-feriiluvială, hidromorfism. În teritoriu se constată o evidență tendința de etajare altitudinală, de la cernisoluri și luvisoluri, care se extinde până spre bordura externă a ariei montane, continuând prin cambisoluri, specifice teritoriului montan al parcului.

## 2.5. Dinamica modului de utilizare al terenurilor

După 1990 au existat o serie de premise favorabile modificării modului de utilizare a terenurilor:

- Colapsul regimului comunist și schimbarea formelor de proprietate funciară din sistemul colectiv în sistemul particular.
- Lipsa unei legislații ferme în domeniul modului de utilizare și exploatare a terenurilor.
- Slăbiciunea autorităților în fața ofensivei voluntarismului în deciziile de transformare a utilizării terenurilor.
- Fragmentarea fără precedent a terenurilor agricole și silvice în proprietăți și exploatați de mici dimensiuni, cu rentabilitate redusă.
- Lipsa căilor de acces spre noile proprietăți și abandonarea exploatării unor terenuri
- Amploarea procesului de defrișare ilegală a pădurilor
- Mediocritatea acțiunilor de îmbunătățiri funciare și de amenajare silvică a terenurilor defrișate .

În acest context, analizele comparative ale evoluției suprafețelor cu diferite utilizări ale terenurilor din bazinul râului Neamțu relevă o serie de situații care comportă unele discuții. Schimbările produse în structura modului de utilizare a terenurilor au fost analizate cu ajutorul Sistemelor Informaționale Geografice și a bazei de date Corine Land Cover din 1990, 2000, 2006, 2012 și 2018 identificându-se fenomenele de conversie, de înlocuire a unui tip de utilizare cu altul (Figura 7).

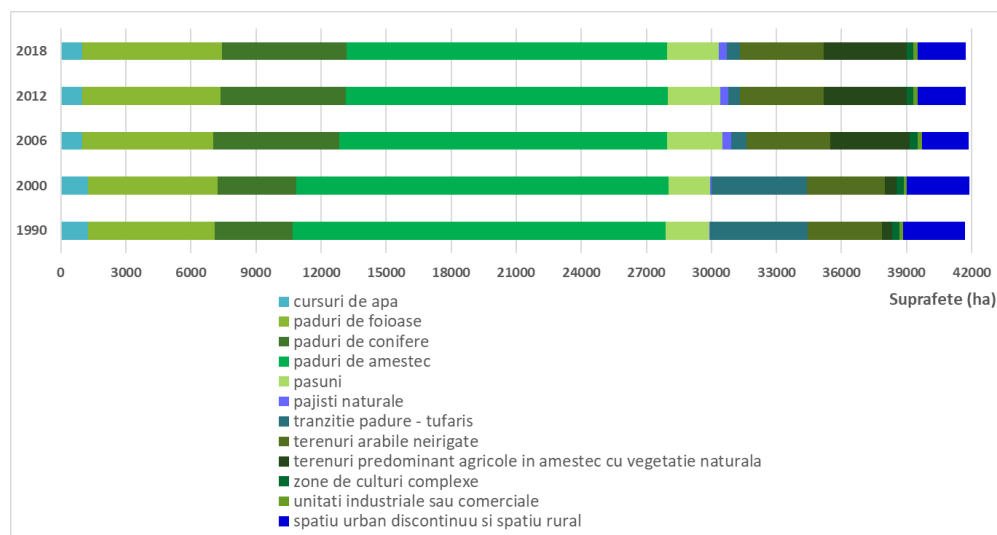


Figura 7. Dinamica utilizarii terenurilor in Bazinul raului Namtu in perioada 1990-2018



Efectele pe care le-au avut schimbările politice și socioeconomice de la începutul lui 90, s-au resimțit puternic asupra terenurilor agricole, unde s-au înregistrat schimbări în structura acestora, având efecte asupra calității și productivității solului. Cea mai mare suprafață a bazinului râului Neamțu este acoperită în proporție de 65% de pădure, pădurile de amestec ocupă cea mai mare suprafață în 2018, de 35% urmată de pădurile de foioase și conifere. Între 1990 și 2000 nu se observă foarte multe schimbări, cu excepția categoriei de pădure de tranziție/tufărișuri care ocupă 10% din suprafață și care până în 2018 dispare, crescând suprafața pădurilor de amestec, pășunilor și terenurilor agricole. Extinderea suprafeței forestiere ar putea fi explicate atât prin regenerarea naturală cât și înființarea Parcului Natural Vânători Neamț în 2000. Schimbările care au apărut au fost fie între diferite tipuri de utilizare agricolă, fie între acestea și alte tipuri de utilizare cum ar fi păduri, pășune, terenuri de tranziție. Modul de reorganizare a clasei agricole în perioada 1990-2000 pentru categoria terenuri preponderent agricole este de 1%, ocupă suprafața cea mai mică față de terenurile arabile, pășune și pădure. În perioada 1990-2000, suprafața de pădure de conifere, a înregistrat valori scăzute, acest lucru datorându-se retrocedării terenurilor conform Legii nr. 18/1991, acestea ajungând în posesie privată. Modul de trecere dintr-o categorie în alta, de exemplu din teren arabil în pășune, acest lucru s-a datorat abandonului și necultivării arealelor respective. Unele aspecte care apar în necultivarea terenurilor arabile se datorează faptului că terenul are un indice de fragmentare destul de mare, problemele financiare a producătorilor, lipsa unui sistem bine pus la punct de irigații și lipsa unei piețe de desfacere. În perioada 2006-2012 s-a observat o creștere a fenomenului de suburbanizare, unde suprafețe mari din categoria terenurilor agricole au trecut în categoria terenurilor construite.

Stocul de carbon din solurile terenurilor arabile poate crește prin ameliorarea intrărilor de materie organică, dar și prin crearea unor condiții mai bune de depozitare și stocare a carbonului. În condițiile de transformare a terenurilor silvice în terenuri arabile, diferențele dintre intrările de carbon în sol dintre cele două categorii de utilizare sunt net în favoarea solurilor forestiere. Într-un mod similar și ieșirile de carbon din solurile forestiere sunt considerabil mai reduse decât cele din solurile arabile. Prin urmare, transformarea terenurilor silvice în terenuri arabile se realizează cu anumite pierderi în stocul de carbon din sol, dar acest fapt se realizează progresiv, cu o anumită inerție, deoarece solurile forestiere păstrează un timp îndelungat amprenta consistentă și durabilă a bioacumulării forestiere.

## Capitolul III. Materiale și metode utilizate

Pentru îndeplinirea obiectivelor propuse, metodele utilizate pot fi structurate în:

- 3.1 - metode de prelevare și pregătire preliminară a probelor
- 3.2 - metode de determinare a altor proprietăți fizico-chimice ale solului
- 3.3 - metode de analiză a carbonului din sol
  - 3.3.1.- metode volumetrice
  - 3.3.2. - metode instrumentale
  - 3.3.3.- utilizarea tehnologiilor imagistice
- 3.4 - metode statistice de interpretare și modelare a datelor
- 3.5 - metode cartografice

Prelevarea probelor de sol s-a efectuat din diferite puncte localizate în cadrul bazinului hidrografic Neamțu în 4 campanii de teren, cuprinzând probe atât din profile de sol (12) cât și din orizontul de suprafață (103), totalizând 171 probe (figura 8).

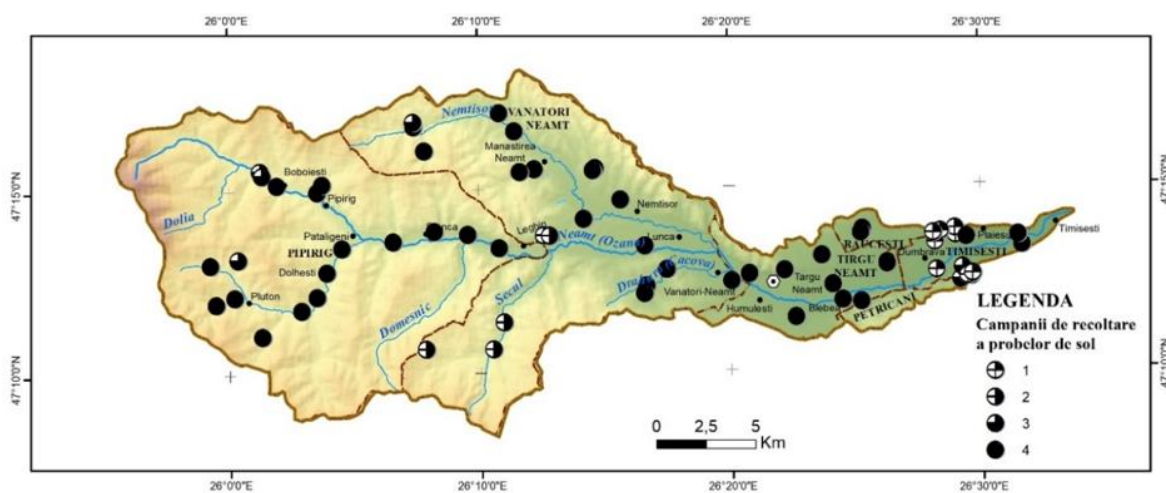


Figura 8. Localizarea punctelor de prelevare a probelor de sol

### 3.3 Determinarea carbonului din sol

Pe parcursul demersului științific pentru determinarea carbonului din sol au fost utilizate mai multe clase de metode și anume:

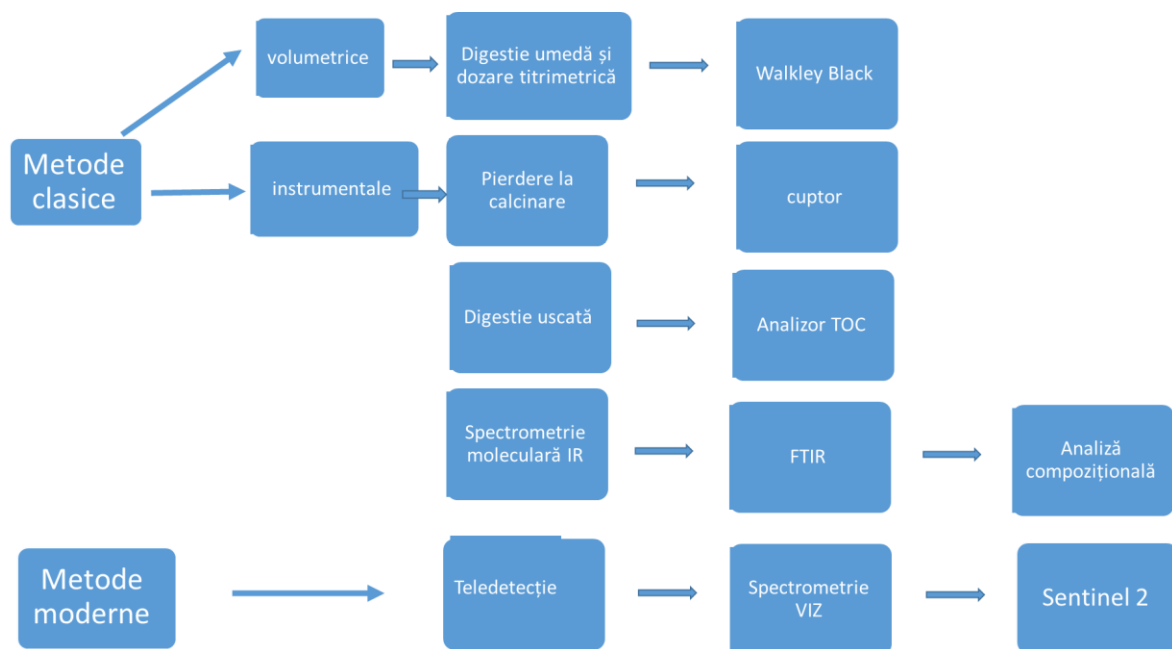


Figura 9. Schema metodelor de determinare a CO

#### 3.3.2.1 Carbonul total

Materiale necesare: analizor TOC, balanță analitică, recipiente de cântărire.

Mod de lucru: cantitatea de probă luată în lucru a fost de maxim 300 mg probă din mojarată, probele au fost cântărite în recipiente special ceramice (ceramic boat) pentru a rezista la temperaturi extrem de ridicate (1000° C). Pentru fiecare probă s-au efectuat câte cinci repetiții. Analizele s-au efectuat cu ajutorul analizorului Analytik Jena multi N/C 2100 cuplat cu modulul de solide HT 1300, iar evaluarea datelor a fost realizată folosind programul multi Win ® software (Version 4:09).

#### 3.3.2.2. Carbonul anorganic

Pentru determinarea TIC, peste cantitatea de probă cântărită, cuprinsă între 200-400 mg sol cu fracțiune foarte fină, din bărcuța ceramică s-a adăugat HCl 0,2 N, fiind ulterior transferate într-un cuptor Nabertherm la 100° C pentru evaporarea acidului, timp 1-2 ore, apoi introduse în analizorul N/C 2100 la 1000° C.

#### 3.3.2.3. Carbonul organic

Se obține din calcul pe baza relației:

$$TC = TIC + TOC \text{ de unde } TOC = TC - TIC$$

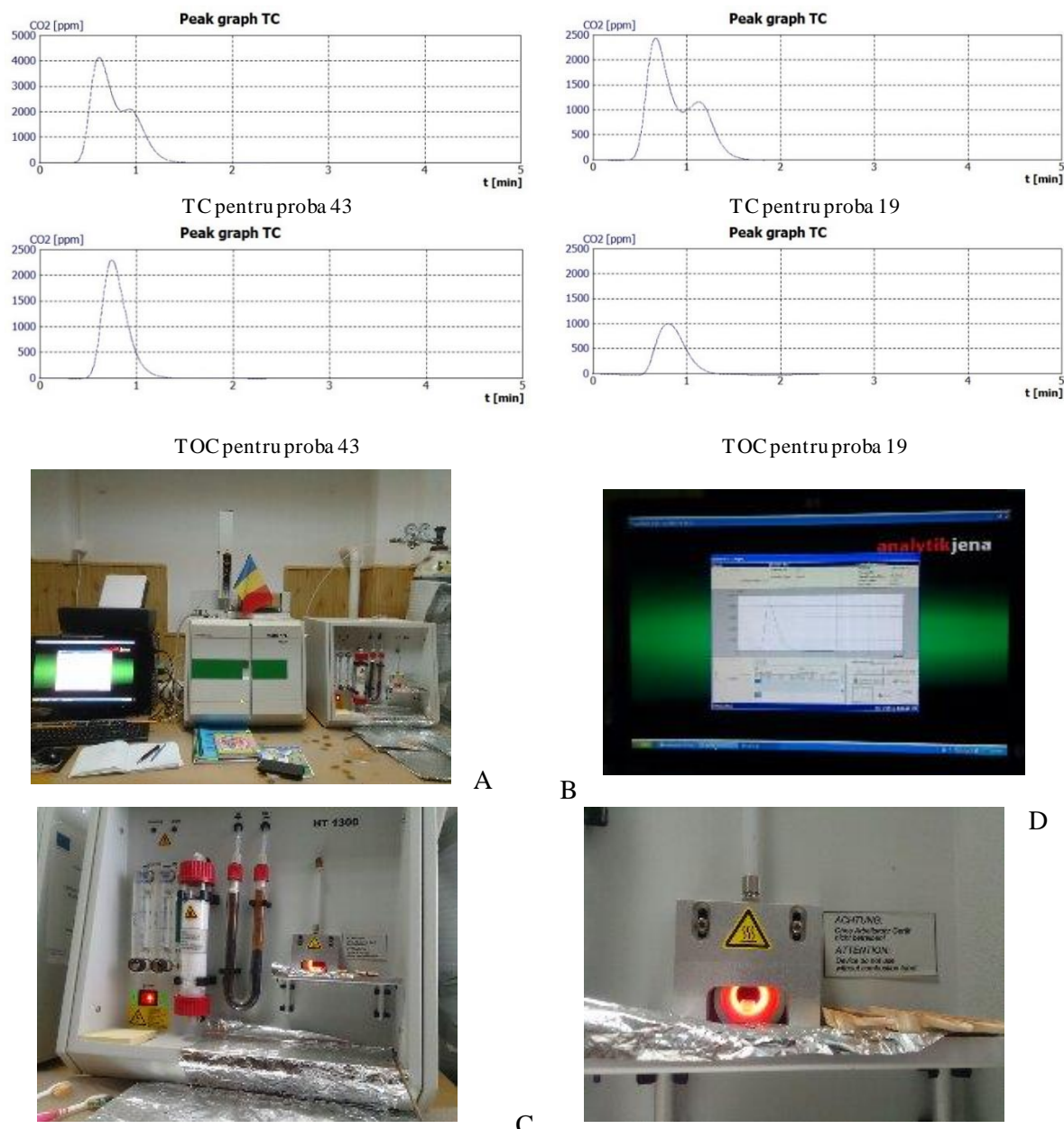


Figura 10. Analizor Analytik Jena multi N/C 2100 cu modul de solide HT 1300 (A, C, D - Analizor Analytik Jena multi N/C 2100 modulul de solide HT; B - Soft multiwin 4.09)

#### 3.3.2.4. Spectrometrie moleculară în infraroșu cu transformată Fourier - FTIR

Una dintre metodele spectrale abordate și aplicate în analiza probelor de sol și pentru determinarea conținutului de materie organică din sol a fost spectroscopia în infraroșu cu transformata Fourier (FTIR).

Spectroscopia FTIR oferă o gamă largă de oportunități analitice, de la simpla identificare a compușilor la procesare și monitorizare, FTIR acoperind o gamă largă de aplicații chimice, în special pentru compuși organici. Spectroscopia FTIR este o tehnică

bazată pe determinarea interacțiunilor dintre radiația IR și vibrațiile moleculelor, care pot fi utilizate pe o gamă mare de probe, solidă în cazul de față (sol). Prezența momentelor dipolului în grupurile funcționale organice permite utilizarea FTIR pentru identificarea probelor, cuantificarea și analiza purității pentru o multitudine de compuși organici. FTIR folosește un algoritm matematic, transformată Fourier, pentru a converti datele brute de lungime de undă colectate de un detector în spectre. Prin urmare, un spectru este produsul vibrațiilor legăturilor dintr-o moleculă care sunt produse după trecerea unui fascicul IR prin un eșantion și colectarea informațiilor despre lungimea de undă rezultate. Benzile de absorbanta observate pot fi atribuite vibrațiilor interne ale unor grupe moleculare particulare, cum ar fi carbonați, fosfați, resturi lignocelulozice, proteine, etc.

Solurile agricole prin necesitatea monitorizării evoluției fertilității lor se pretează foarte bine pentru acest tip de investigație, ce conduce la determinarea și studierea componențelor minerale și organice ale solului. (Raphael L. (2011) (Puckrin et al., 1996). (Grube et al., 2008), (Margenot 2014). Un avantaj al acestei tehnici, îl constituie posibilitatea de integrare a informațiilor rezultate din spectre în diferite analize statistice multivariate oferind concluzii deosebit de valoroase (Sarmiento, 2011).

În figura nr. 11 este prezentat un spectru cu diferite grupări funcționale.

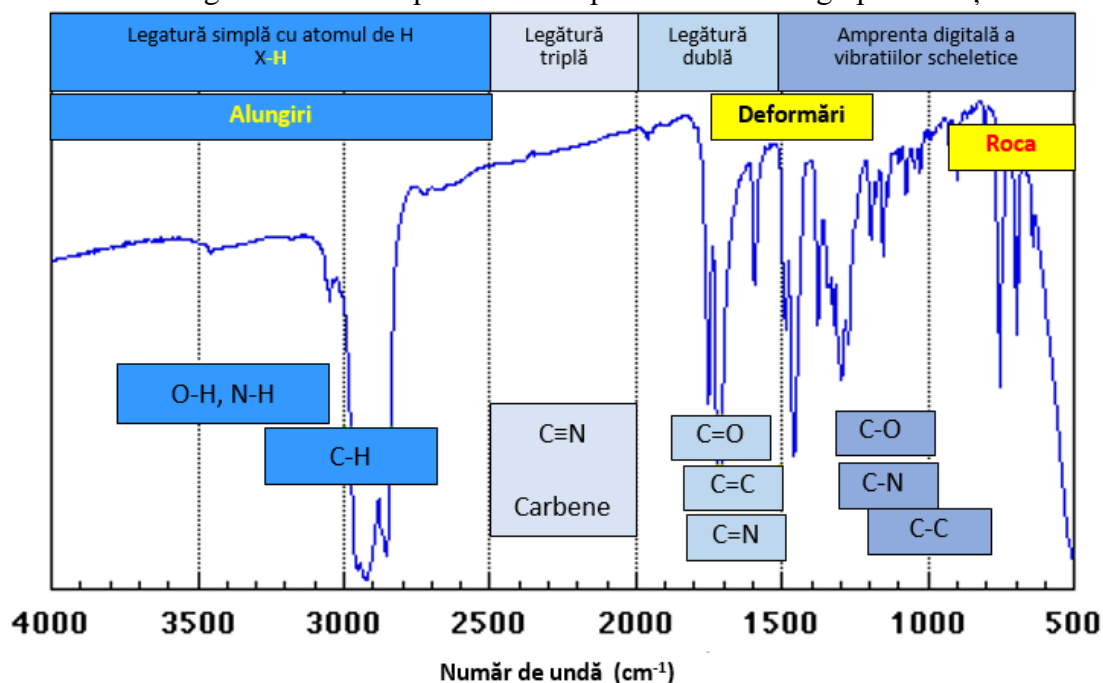


Figura 11 . Spectrul FTIR ale particulelor de sol cu principalele grupări funcționale și tipuri de vibrații (prelucrare după <https://photometrics.net/fourier-transform-infrared-ftir-spectroscopy/>)



### 3.3.3. Utilizarea tehnologiilor imagistice

#### 3.3.3.1 Date spectrale provenite din imagini satelitare Sentinel 2

Mihai B., în 2009 definește teledetecția ca fiind un domeniu tehnic care se ocupă cu detectarea, măsurarea, înregistrarea și vizualizarea sub formă de imagini, a radiațiilor electromagnetice, emise de obiecte și fenomene de pe Pământ sau din Univers, de la distanță, fără a avea vreun contact.

Așadar, teledetecția reprezintă astăzi un domeniu de interes, fiind numită una dintre cele mai "dinamice sfere geotehnologice". Toți senzorii lansați până astăzi sunt într-o continuă perfecționare, în direcția îmbunătățirii rezoluției spațiale (Mihai, 2009).

Radiația electromagnetică incidentă pe suprafața solului este reflectată la lungimi de undă specifice, obținând un spectru de radiații incidente reflectate care conține informații primare esențiale în cuantificarea proprietăților solului (Nocita, M. 2015).

O imagine Sentinel 2A (S2A) a fost achiziționată de la hubul de acces Copernicus, în condiții aproape clare la 08 aprilie 2020, acoperind bazinul hidrografic Neamțu, fiind potrivită pentru evidențierea apariției solului lipsit de vegetație - ogor negru (Figura 12). Imaginea a fost corectată atmosferic folosind procesorul ESA Sen2Cor 2.8 integrat pe platforma SNAP (Drusch, M. et al. 2012).

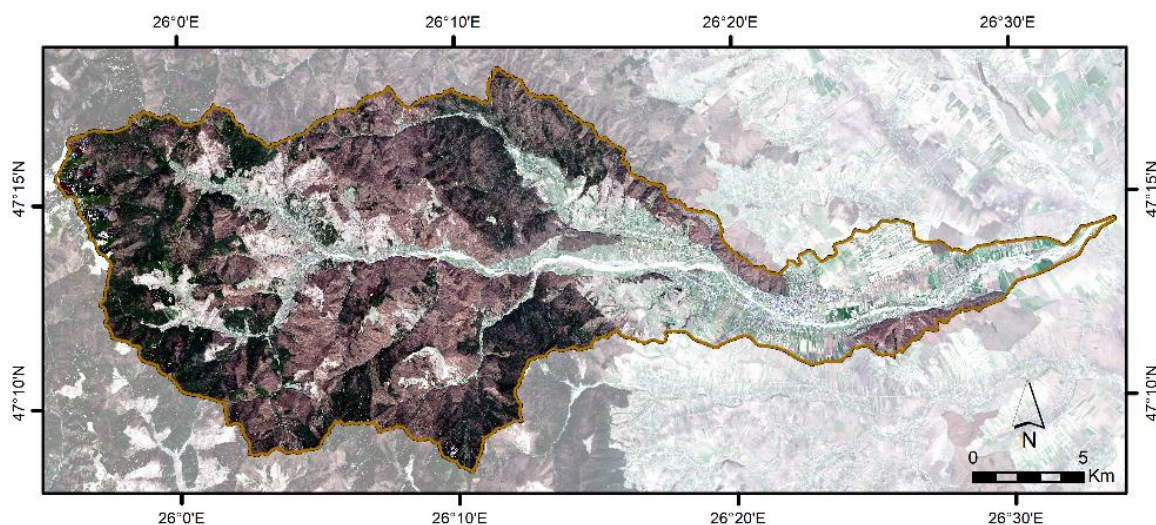


Figura 12. Bazinul hidrografic Neamțu - Imagine Sentinel 2A (S2A din )8 aprilie 2020

S-a efectuat un proces de eșantionare de la BOA original cu rezoluție spațială de 20 m până la rezoluție de 10 m specifică benzilor spectrale din domeniul vizibil și NIR al

Sentinel-2. Protocolul de lucru este prezentat în manualul de utilizare Sentinel-2 (ESA's Optical 2012, ESA 2015). Tabelul 1 detaliază principalele caracteristici ale benzilor Sentinel-2, inclusiv domeniul spectral și rezoluția spațială.

Tabelul 1. Benzile spectrale și rezoluțiile senzorului Sentinel 2 MSI

Benzi	Benzi spectrale	Lungimea de undă centrală [nm]	Lățimea benzii [nm]	Rezoluția spațială [mm]
B1	Aerosoli de coastă	442.7	21	60
B2	Albastru	492.4	66	10
B3	Verde	559.8	36	10
B4	Roșu	664.6	31	10
B5	Vegetation red edge	704.1	15	20
B6	Vegetation red edge	740.5	15	20
B7	Vegetation red edge	782.8	20	20
B8	NIR	832.8	106	10
B8a	NIR de undă scurtă	864.7	21	20
B9	Vapori de apă	945.1	20	60
B10	SWIR Cirrus	1374	31	60
B11	SWIR	1614	91	20
B12	SWIR	2202	175	20

### 3.4. Metode statistice de interpretare și modelare a datelor

#### 3.4.1. Variabile topografice și climatice

În tabelul 3 sunt prezentate datele de intrare utilizate pentru a estima distribuția carbonului organic din soluri, compuse din 24 de variabile topografice, climatice și geografice utilizate pe diferite categorii de utilizare a terenului, tipuri de sol și altitudini. Cele mai multe derivate topografice au fost calculate utilizând softw-ul SAGA GIS 2.3.2, altele fiind calculate în software-ul ArcMap 10.2.

Tabelul 3 Parametrii topografici, climatici, geografici utilizați ca derivați din DEM

Variabile topografice		Variabile topografice		Variabile topografice	
<i>Altit</i>	Elevația	<i>Fl_Dir</i>	Direcția de curgere	<i>Plan_C</i>	Curbură în plan
<i>Aspect</i>	Orientarea versanților	<i>G_C</i>	Curbura generală	<i>Prof_C</i>	Curbură în profil
<i>CA</i>	Suprafața bazinului	<i>L</i>	Clasificarea formelor de teren	<i>Slope</i>	Panta
<i>CNBL</i>	Nivelul de bază al rețelei hidrografice	<i>Long_C</i>	Curbură longitudinală	<i>T_C</i>	Curbura totală
<i>CS_C</i>	Curbura secțiunii transversale	<i>LSF</i>	Factorul lungimii pantei	<i>Tan_C</i>	Curbura tangențială

<i>CvgI</i>	Indice de convergență	<i>Max_C</i>	Curbura maximă	<i>TPI</i>	Indicele poziției topografice
<i>Fl_Acc</i>	Scurgerea acumulată	<i>Min_C</i>	Curbura minimă	<i>TWI</i>	Indicele SAGA de umiditate a terenului
<i>FL_C</i>	Curbura liniei de curgere	<i>PI</i>	Indice de protecție	<i>VD</i>	Adâncimea văii
Variabile climatice					
pp			Precipitații (media anuală) (meteoblue.com)		
Temp			Temperatura (medie anuală) (meteoblue.com)		
Variabile geografice					
Geologie			Harta Geologică a României 1:200.000		
Sol			Harta Modificată a Solului 1:200.000		
Textură			Harta Texturii - 1:200.000		
Utilizarea terenului			Utilizarea terenului/ acoperirea terenului - Corine Land Cover 2018		

### 3.4.2. Modele predictive de tip Machine learning (ML) pentru determinarea carbonului organic din sol

Învățarea automată este acum utilizată pe scară largă în cartarea solului pentru a detecta automat modele semnificative în date. În linii mari, învățarea automată este despre programarea computerelor pentru a optimiza un criteriu de performanță folosind exemple de date sau experiență anterioară (Padarian, J.2019, Alpaydin, E.2010). Principalul avantaj al utilizării algoritmilor de învățare automată este că folosește tehnici de extragere a datelor pentru a învăța și construi un model, la care se adaugă plauzibilitatea, interpretabilitatea și explicabilitatea.

În faza de instruire, un algoritm de învățare folosește datele de formare pentru a genera un model de clasificare. Apoi, în faza de testare, modelul învățat este testat, folosind setul de testare pentru a obține o anumită acuratețe a clasificării. Dacă acuratețea modelului pe datele de testare îndeplinește cerințele inițiale, atunci clasificatorul poate fi utilizat pentru a clasifica datele noi de interes, date care nu mai au clase predefinite. În caz contrar, procesul este iterativ și poate reveni la orice pas anterior, fie pentru a alege un alt algoritm de învățare, fie pentru a efectua operațiuni suplimentare asupra datelor (faza de preprocesare). În practică, procesul de învățare implică efectuarea mai multor iterații pentru a construi un clasificator satisfăcător. (Ribeiro, M. T. et al.2016).

Au fost testați șase algoritmi de învățare automată: (1) trei din categoria arborilor de decizie de clasificare random forest, algoritm de creștere a gradientului și cubist (RF, GBM, CUB), care sunt arbori de decizie construiți utilizând praguri pentru caracteristicile de intrare



la fiecare divizie; (2) Suport vector machine (SVM) un clasificator discriminator definit formal de un hiperplan separat; (3) regresie liniară (LM) (4) reducere dimensională (PCA, PLS). Fiecare algoritm de învățare automată are o serie de limitări care pot ajuta la reducerea aplicabilității cartografierii digitale a solului.

Pe suprafața bazinului râului Neamțu este identificată prezența ogorului negru, a vegetației agricole și forestiere, a apei, precum și a zonelor impermeabile. Pentru determinarea conținutului de COS, a fost menținut doar ogorul negru, terenurile acoperite de alte utilizări fiind mascate prin utilizarea a doi indici spectrali NDTI și SI. Indicii specifici sunt proiectați cu scopul principal de a diferenția ogorul negru de alte utilizări ale terenului, cum ar fi suprafețele artificiale sau vegetația.

### 3.4.3 Măsurile de performanță ale modelelor predictive

Pentru a determina performanța unui model există o serie de instrumente statistice, cum ar fi eroarea absolută medie (MAE), eroarea radacinii medii pătrate (RMSE), coeficientul de determinare ( $R^2$ ) [Wang 2020], eroarea medie absolută procentuală simetrică (sMAPE) descrise în ec. 1-4, fiecare dintre ele descrie în diferite moduri diferențele dintre valorile sau reziduurile observate și prezise. Acuratețea modelului este exprimată de MAE și RMSE, indicând gradul de corectitudine dintre valorile prezise și observate, ambele rezumând reziduurile. MAE se calculează prin media valorilor absolute ale reziduurilor (Ec. (1)) în timp ce RMSE utilizează rădăcina pătrată a sumei pătratelor reziduurilor (Ec. (2)), în software-ul R 3.6.1. Valorile calculate ale MAE și RMSE sunt întotdeauna non-negative.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (3)$$

$$sMAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{(|x_i| + |y_i|)/2} \quad (4)$$

unde  $x_i$  și  $y_i$ , reprezintă valoarea prezisă și valoarea măsurată la punctul  $i$ ;  $\bar{y}$  este media valorilor măsurate,  $n$  este numărul de puncte de eșantionare;

O valoare ridicată a  $R^2$  mare nu indică întotdeauna o predicție exactă, modelul generând în unele cazuri supraestimări sau subestimări, deplasându-se de la linia de regresie.

Pentru a evita o predicție de calitate slabă, este necesar să se evalueze modelele folosind alți indici statistici. sMAPE prin metoda sa de calcul generează o eroare în sens procentual, permițând comparații ale preciziei proprietăților solului estimate.

### 3.5. Metode cartografice

Pentru realizarea materialului cartografic au fost utilizate baze de date disponibile ce cuprind informații: geologice, hidrologice, climatice, geobotanice, pedologice, ortofotoplanuri, imagini satelitare, etc.

Baza de date geologice:

- Harta geologică a României (după comitetul de stat al geologiei, 1968, scara 1:200000).

Baza de date climatice:

- date climatice [www.meteoblue.ro](http://www.meteoblue.ro).

Baza de date pedologice:

- Studiile pedologice ale teritoriilor orașului Târgu Neamț și al comunelor Timișești, Pipirig, scara 1:10.000 executate de colectivul de pedologie din cadrul OJSPA Neamț.
- Harta solurilor pentru bazinul hidrografic Neamțu, adaptată pe baza experienței de peste 20 de ani a conducătorului științific și informațiilor rezultate din cele patru campanii de probare.

Baza de date cartografică:

- MDT obținut pe baza planurilor topografice.
- Corine Land Cover, edițiile 1990, 2000, 2006, 2012 și 2018 preluate de pe:  
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2000-vector-data>,  
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2006-vector-data>,  
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2012-vector-data>,  
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2018-vector-data>.
- Amenajamentul Silvic Neamț, beneficiar Regia Națională a Pădurilor – “ROMSILVA”, Ocolul Silvic Târgu Neamț – U.P. III Agapia, U.P. IV Cetate și U.P. V Plăieșu și Ocolul Silvic Pipirig – U.P. I Domesnic, U.P. II Mihăieți și U.P. III

Hălăuca și Parcul Vânători Neamț– executat de către Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice Câmpulung Moldovenesc – Stațiunea Roman;

Software-uri utilizate:

- Pentru cartografie- SAGA-GIS, ArcGIS
- Pentru calcule și modelare – MATHLAB, R, pachetele core, caTools, randomForest, e1071 (svm, cubist, gbm, LIME, iml.

## Capitolul IV. Rezultate și discuții

### 4.1 Evaluarea conținutului de MOS din bazinul Neamțu prin diferite metode

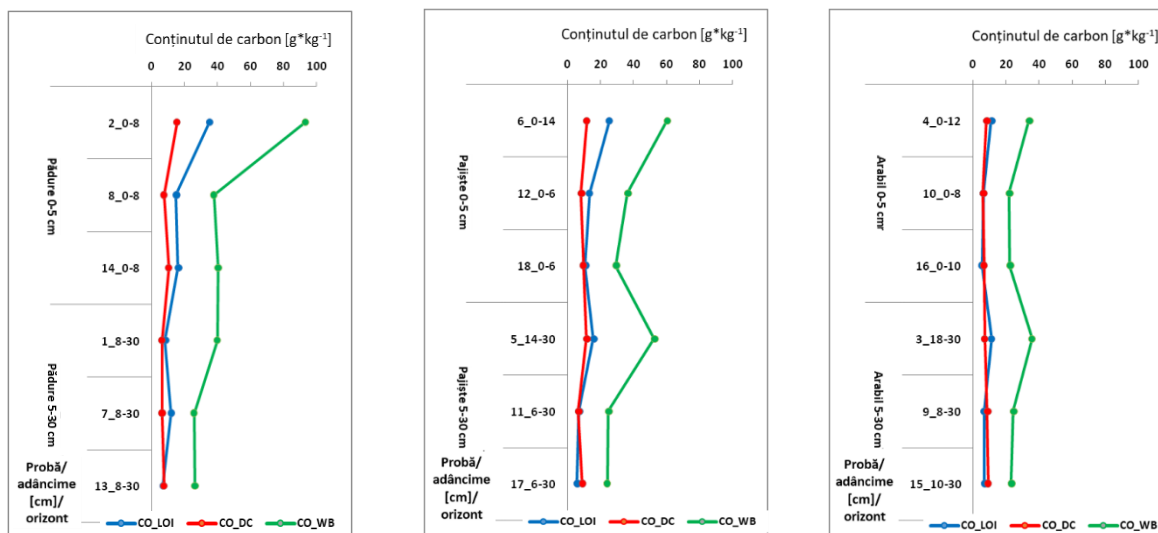
Determinarea conținutului de carbon organic din soluri utilizând diferite metode de analiză are o importanță critică pentru evaluarea diferitelor modificări care au loc în sol pe termen scurt sau lung datorită schimbării formelor de utilizare a terenului, a schimbărilor climatice, a lucrărilor agrotehnice (Breulmann, et al.2016). În practica curentă, pentru a estima conținutul de carbon organic și humus, se utilizează trei metode cu o precizie distinctă: oxidarea umedă a dicromatului - metoda Walkley Black(WB), combustia uscată (DC) și pierderea prin calcinare (LOI). Materialul organic din sol conține o varietate de compuși organici și nicio metodă analitică nu permite măsurarea foarte precisă (Bisutti, et.al.2004). Metodele de oxidare umedă a dicromatului au fost cele mai frecvente din 1934 (Edu, et al. 2013) dar au început să fie înlocuite treptat metode de combustie uscată, care sunt mai ușor de utilizat și evită utilizarea substanțelor chimice deosebit de toxice (Jankauskas B.,et al.2006). În ultimele decenii, s-au efectuat mai multe studii comparative între metodele tradiționale și cele bazate pe arderea uscată pentru a stabili metoda potrivită pentru situații particulare. În vederea determinării cât mai cu acuratețe a stocului de carbon, a fost necesară mai întâi identificarea unei metode de determinare a conținutului de carbon organic din soluri cu o precizie ridicată. Astfel, s-au testat trei metode în vederea stabilirii metodei optime din punct de vedere al gradului de precizie, și anume: oxidare umedă dicromatului - metoda Walkey Black (WB), combustie uscată automată (DC) utilizând un analizor TOC Analytik Jena multi N / C 2100 echipat cu modul de solide HT 1300 și metoda de pierdere secvențială prin calcinare (la 550C și 1000C) (LOI) folosind cuptorul Nabertherm. Materia organică este

oxidată la  $\text{CO}_2$  și cenușă la temperaturi cuprinse între 200 și 500° C. La temperaturi cuprinse între 700 și 900° C apare  $\text{CO}_2$  din formele minerale carbonatate. Pierderile în greutate asociate cu evoluția apei și a  $\text{CO}_2$  sunt măsurate prin înregistrarea greutăților eșantionului înainte și după încălzirea controlată (aprindere la 550 și 1000° C) și, la rândul lor, pot fi corelate cu conținutul de apă și conținutul de materie organică și carbonat.

Pentru acest obiectiv au fost analizate probele de sol din campaniile I și II, respectiv 46 de probe. Datorită istoricului de utilizare a terenului, profilele variază în textură, culoare, proprietăți chimice. S-a determinat conținutul de carbon organic (CO) și conținutul total de carbon (CT).

#### 4.1.1. Relația dintre conținutul de carbon organic obținută prin cele trei metode

Valorile obținute de LOI sunt direct dependente de timpul de expunere în cuptor. Se presupune că la 550° C materia organică se descompune rapid și nu mai are loc nici o pierdere în greutate. Pe baza datelor din figurile 13 și 14 se poate observa o relație foarte strânsă stabilită între conținutul de CO măsurat cu metode moderne de combustie uscată DC și metodele tradiționale de oxidare umedă WB, în timp ce pentru LOI se observă o diferență mare între cantitatea de carbon, probabil datorată procesului de deshidratare a mineralelor argiloase sau a oxizilor metalici, pierderilor de substanțe volatile sau pierderilor de carbon anorganic din minerale precum sideritul, magnezita (Sleutel, et.al. 2007).



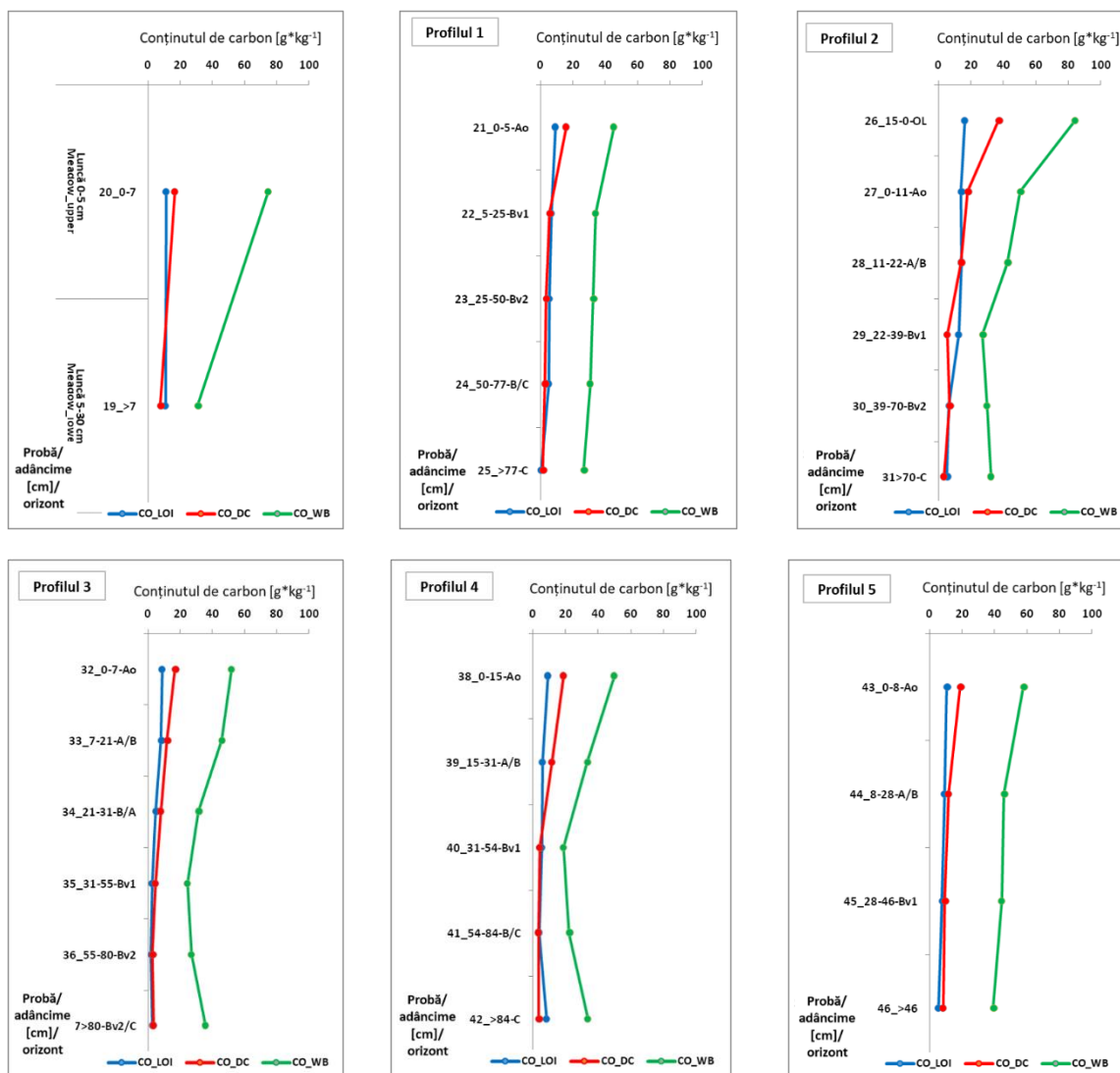


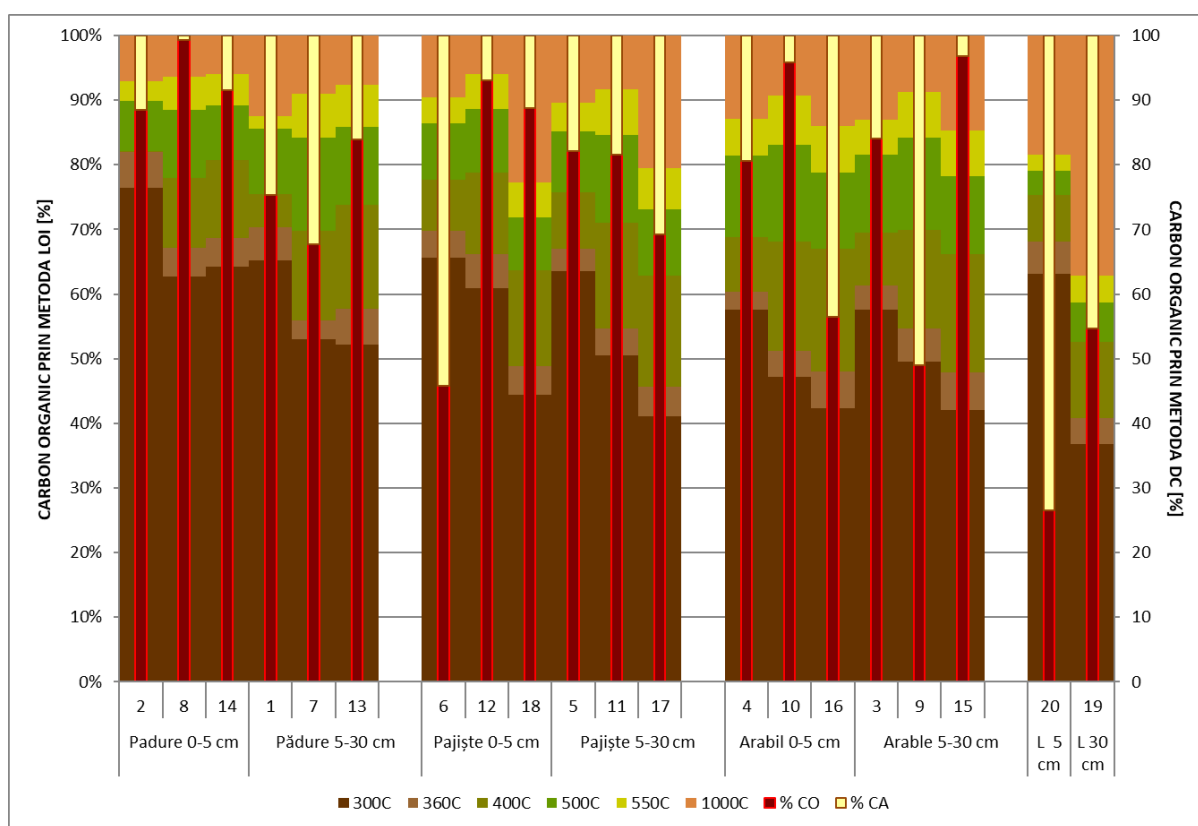
Figura 13. Distribuția pe verticală a conținutului de carbon organic în probele din campaniile I și II în funcție de modul de utilizare a terenurilor, pe adâncimea profilului

Prin metoda WB se oxidează doar 60 până la 86% din carbonul organic. Carbonul provenit din fracțiile organice protejate de fracția minerală, C refractar (de exemplu cărbunele) și C anorganic (carbonați) nu sunt complet mineralizate în timpul digestiei acide.

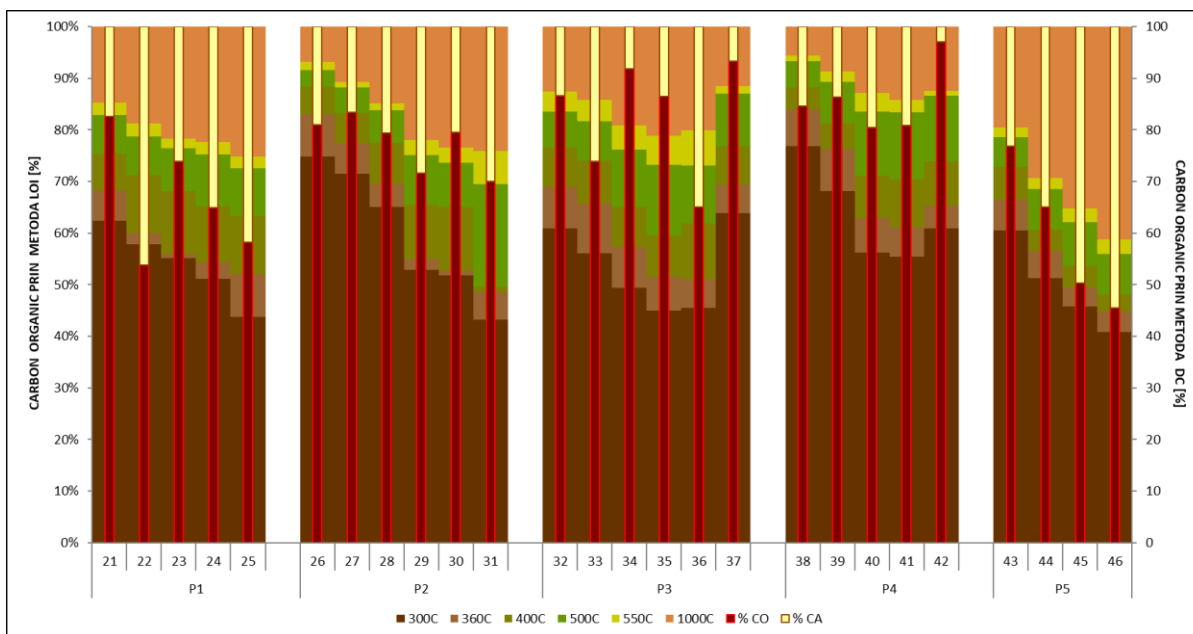
Pentru probele din solurile de pădure s-a evidențiat un grad de recuperare al CO mai redus prin metoda WB.

Conținutul de carbon organic determinat pentru diferite tipuri de utilizare a terenului determinat de combustia uscată (DC) și pierderea la calcinare (LOI) a fost mai crescut decât cele determinate de prin digestia umedă realizată prin WB, rezultate susținute și de literatura de specialitate (Fernandes R.B.et al.2015, Sato J. H. et. Al 2014).

Între particulele de praf din sol și carbonul organic s-a observat o dependență puternică. Din punct de vedere textural, cele 46 de probe de sol colectate din bazinul râului Neamțu, se încadrează predominant în clasa texturală nisipoasă, cu dimensiuni ale particulelor cuprinse între (0,2-0,02mm) prezente în proporție mai mare de 63%, ceea ce indică faptul că solul are o textură nisipoasă, cu excepția probelor 11, 12, 38 care au o textură argiloasă, conținutul de argilă fiind mai mare de 46%, dimensiunile particulelor fiind mai mici de 0,002mm), caracteristice unor probe situate pe terenuri cu folosință agricolă, mai exact arabil .



a



b

Figura 14. Conținutul de carbon anorganic (CA) și organic (CO) determinat prin LOI și DC la diferite temperaturi a) Campania I; b) Campania II

#### 4.2. Investigarea conținutului de carbon prin spectroscopia FTIR

O cunoaștere adecvată a acelor caracteristici structurale care definesc gradul de humificare a substanțelor organice prezente în soluri, apă, modificări organice este de o importanță majoră pentru o mare varietate de motive complementare. Din punct de vedere teoretic, o cunoaștere mai bună a structurii chimice a substanțelor humice este fundamentală pentru a înțelege mai bine un număr mare de procese naturale care apar în ecosistemele naturale, cum ar fi dinamica diferitelor elemente, în principal micronutrienții sau dezvoltarea plantelor și microorganismelor.

Spectroscopia în infraroșu cu transformată Fourier (FTIR) detectează legături organice active în domeniul infraroșu care constituie componenta organică a solurilor. Cu toate acestea, conținutul relativ scăzut de materie organică din soluri (de obicei <5% din masa solului) și benzile de absorbție ce se suprapun grupărilor funcționale minerale și organice din regiunea infraroșu mediu (MIR) (4.000 - 400 cm<sup>-1</sup>) generează interferențe substanțiale ale mineralelor dominante absorbante, provocând sau chiar împiedicând interpretarea spectrelor pentru caracterizarea materiei organice.

În această etapă a fost caracterizată materia organică dintr-o toposecvență de soluri de pădure și pășune. Probele selectate în campania a II-a au fost prelevate din soluri sub o

secvență de vegetație primară din zona cu utilizare silvică naturală, și una de tranziție de la pădure la pășune, diferind în principal în prezența acoperirii vegetale naturale în zona de întrepătrundere a coronamentului.

Maximul de absorbție de la aproximativ  $3625\text{ cm}^{-1}$  s-ar putea datora vibrațiilor de întindere a grupărilor hidrofile de OH și oxizilor ferici prezenți în mineralele din sol, banda largă de la aproximativ  $3380\text{ cm}^{-1}$  se datorează combinațiilor chimice dintre apă și argilele din sol pe de o parte cât și vibrației de întindere din grupările OH fenolice sau legaturii de hidrogen ce unește grupările hidroxicile. Intensitatea acestor două benzi este redusă datorită texturii predominant nisipoase din probele analizate. Maximele de absorbție cuprinse între  $1990\text{ cm}^{-1}$  și  $1790\text{ cm}^{-1}$  indică prezența cuarțului în aceste fracțiuni de sol, în timp ce cele din intervalul  $1620\text{ cm}^{-1}$  -  $1600\text{ cm}^{-1}$  indică prezența unor vibrații de întindere specifice dublelor legături dintre atomii de carbon din ciclul aromatic și / sau o vibrație de întindere asimetrică a grupărilor acide carboxilice (COO), acestea înregistrând cea mai mare intensitate, fapt evidențiat și de pH-ul slab spre moderat acid al solurilor. În mod similar, vârful la  $1350\text{ cm}^{-1}$  datorat vibrațiilor de întindere simetrică a grupărilor carboxilice din acizii organici proveniți din metabolismul substratului celulozic (COO) și / sau celor de deformare din catena alifatică) fiind următorul pe scara intensității. În funcție de tipologia materialelor vegetale supuse descompunerii, de o serie de particularități a litologiei și de potențialul redox al solurilor acest maxim poate fi translat spre  $1300\text{ cm}^{-1}$ , înregistrându-se benzi de lățimi diferite. Vârful la  $1270\text{ cm}^{-1}$  specific grupării fenolice este mai vizibil în eșantioanele cu textură argilooasă, scăzând în intensitate odată cu creșterea dimensiunilor particulelor.

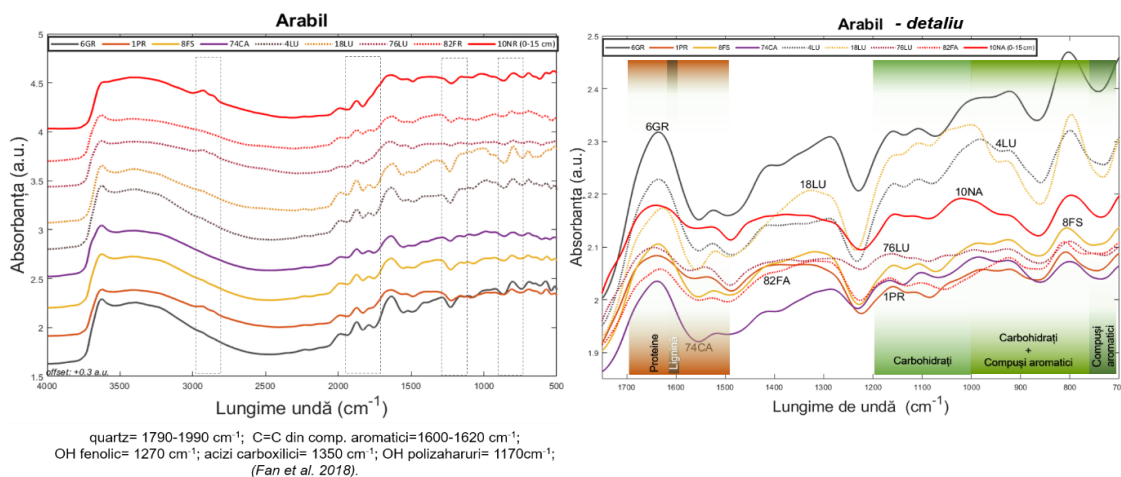


Figura 15 Spectre FTIR pentru probe din Campania a IV-a de pe terenuri cu utilizare de tip arabil (GR- grâu; PR – porumb; CA – cartof; LU- lucerna; FA –fost arabil; NA –nearat)



Vârful la  $1170\text{ cm}^{-1}$  ce caracterizează vibrații de întindere a grupărilor specifice fazelor intermediare de catabolizare a polizaharidelor sau a grupărilor hidroilice alifatice a înregistrat intensități reduse în fracția nisipoasă, și mai intense în cea argilooasă, ceea ce indică faptul că argila ar putea avea o capacitate mai mare de absorbție față de polizaharide și alte substanțe alifatice bogate în OH, în raport cu cele fracțiunile mai grosiere.

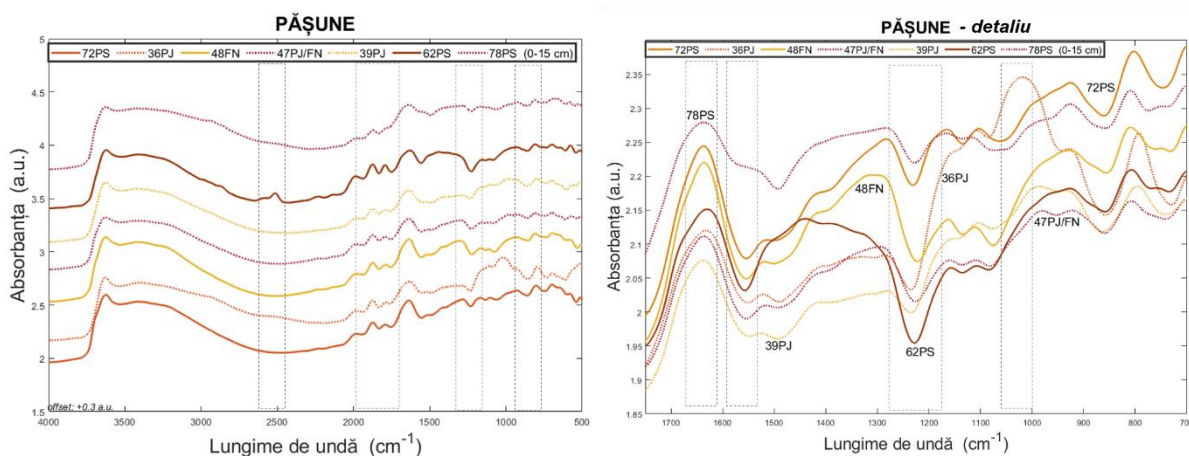


Figura 16. Spectre FTIR pentru probe din Campania a IV-a de pe terenuri cu utilizare de tip pășune (PS – pășune; PJ – pajiște; FN – fâneată; PJ/FN – pajiște/ fâneată)

De obicei absorbția compușilor în jurul valorii de  $1630\text{ cm}^{-1}$  este atribuită frecvent legăturii duble conjugate a compușilor nesaturați neconjugați, dar în cazul nostru se observă o scădere în jurul acestei valori ceea ce sugerează, că prin scăderea acestei benzi, solul a pierdut o parte din compușii nesaturați (Baes et al. 1989, Niemeyer et al. 1992, Bellamy et al. 1975, Williams et al. 1995).

În figura 17 în partea de detaliu se poate observa că cele mai mari absorbante sunt între  $1700$  și  $1600\text{ cm}^{-1}$  specifice grupărilor proteice și se observă un nou vârf la  $1200\text{ cm}^{-1}$  specific carbohidraților și grupărilor fenolice datorate texturii solului fiind mai nisipos.

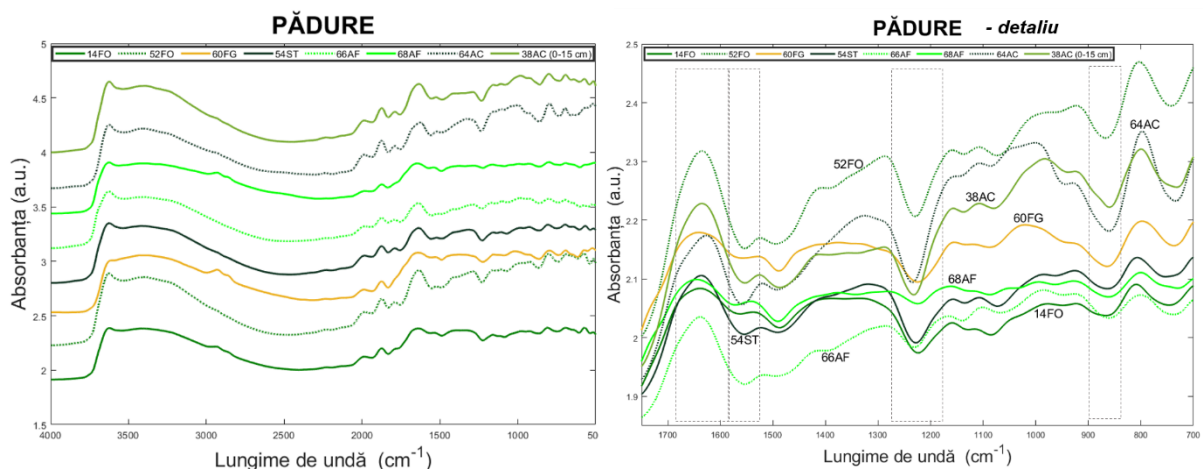
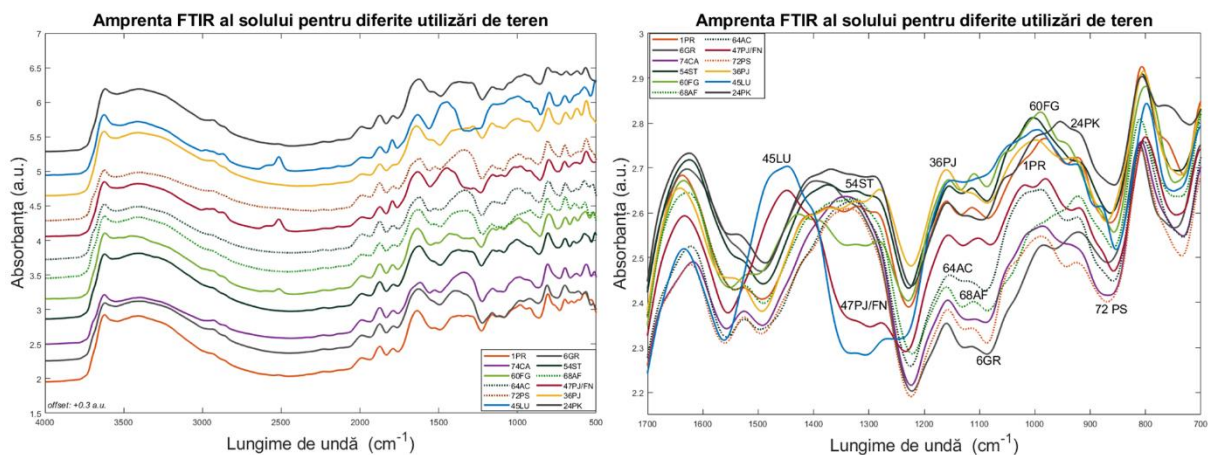


Figura 17. Spectre FTIR pentru probe din Campania a IV-a de pe terenuri cu utilizare de tip pădure (FO- foioase; FG – fag; ST – stejar; AF – Amestec foioase; AC- amestec conifer)

În spectrele de detaliu se pot observa maximele din spectrele de absorbție între lungimile de undă  $1700$  și  $1600\text{ cm}^{-1}$  specifice grupărilor funcționale proteice, se mai observa o scădere a maximelor de absorbție între  $1500$  și  $1600\text{ cm}^{-1}$  specifice grupărilor carbonilice/carboxilice. Se observă că cele mai mari absorbante le înregistrează proba 52, care este o probă de foioase. Taninurile, sunt produse în mod obișnuit de arbori, fiind compuși polifenolici polimerici care pot lega proteinele, fiind activi oxidativ având și un rol foarte important în apărarea plantelor împotriva dăunătorilor și agenților patogeni. Taninurile pot chela și metalele, în special fierul, care este un mecanism antimicrobian comun implicat în interacțiunile microbiene. O altă scădere a maximelor, se observă între intervalul  $1200$  și  $1280\text{ cm}^{-1}$ , proba 64 este o probă de amestec de conifere evidențiindu-se prezența ligninei în proporție mai ridicată decât în probele de foioase. În intervalul  $700\text{--}900\text{ cm}^{-1}$  sunt prezente grupările fosfatice ( $900\text{ cm}^{-1}$ ) iar în intervalul  $700\text{ cm}^{-1}$  sunt prezente legăturile sulfatice.

În spectrele din figura 18, maximele de la lungimi de undă între  $3000$  și  $3100\text{ cm}^{-1}$  sunt atribuite vibrațiilor de întindere C-H sau legăturilor duble olefinice, care înregistrează o scădere (Piccolo et al. 1994, Niemeyer et al.1992, Bellamy, 1975, Piccolo et al. 1992). Se observă o creștere semnificativă a benzilor alifatică specifice intervalului  $2500\text{ cm}^{-1}$  pentru probele din LU, PJ/FN, FG în care constituenții hidrofilii ai materiei organice sunt îndepărtați, dar pentru celelalte probe se observă o aplatizare în jurul acestei lungimi de undă, datorate legăturilor de hidrogen și grupărilor carboxil. Scăderea gradului de absorbție în jurul lungimii de undă  $1070\text{ cm}^{-1}$  se datorează legăturilor Si-O. Benzile de absorbție în jurul lungimii de undă  $900\text{ cm}^{-1}$  se datorează deformărilor aromatice sau olefinice C-H (Stevenson, 1994;

Rezultate asemănătoare au fost observate și de Pandey și Pitman, unde specia de fag a avut multe maxime spectrale bine definite în intervalele ( $1596, 1511, 1268, 1220 \text{ cm}^{-1}$ ) asociate cu lignina (Pandey et al.2003).



În soluri și orizonturi de sol cu textură și mineralogie diferite, sunt funcționale diferite mecanisme de stabilizare, cu importanță diferită. Majoritatea solurilor din zona temperată sunt agregate, structura solului protejând MOS de degradare, deoarece mineralizarea C este îmbunătățită atunci când agregatele solului sunt perturbate. Matricea solului este separată în diferite compartimente, astfel încât transferurile de substraturi, apă, oxigen, enzime și microorganisme pot fi limitate. Căile de intrare, precum și localizarea MOS în profilul solului, sunt decisive pentru accesibilitatea comunității de descompunători. În orizonturile de suprafață, CO este derivat în principal din reziduuri de plante care sunt amestecate în orizontul de suprafață al solurilor prin procese de prelucrare mecanică sau prin bioturbare (prelucrarea solului și a sedimentelor de către plante și animale). Din spectrele FTIR se evidențiază faptul că molecule mici care provin din descompunerea reziduurilor vegetale și microbiene formează clustere prin interacțiuni hidrofobe și legături de hidrogen, rezultând substanțe humice cu dimensiuni moleculare mai mari.

#### 4.3. Rezultatele utilizării tehnologiilor imagistice în determinarea COS

Variabilitatea solurilor și implicit a proprietăților sale este dezvăluită și în semnăturile spectrale ale solurilor analizate. Astfel, în figura 19 sunt identificate principalele semnături spectrale ale eșantioanelor de ogor negru, obținute prin medierea valorilor specifice ale reflectanței obținute de pe imaginea S2. Datorită lipsei unei tendințe clare și uniforme a răspunsurilor spectrale ale solului, au fost calculați o serie de indici spectrali specifici etapei de dezvoltare a vegetației și implicit a gradului de ocupare a terenului cu material vegetal precum și indicii spectrali care discriminează între zone cu sol de umiditate și zone cu suprafețe de apă. Analiza componentelor principale a fost aplicată variabilelor topografice în care cei 24 de indici au fost reduși la primele șase componente principale. Aceasta, împreună cu 18 variabile de teledetecție, 2 variabile climatice și 2 variabile de context geografic, reprezintă 95% din varianța cumulativă.

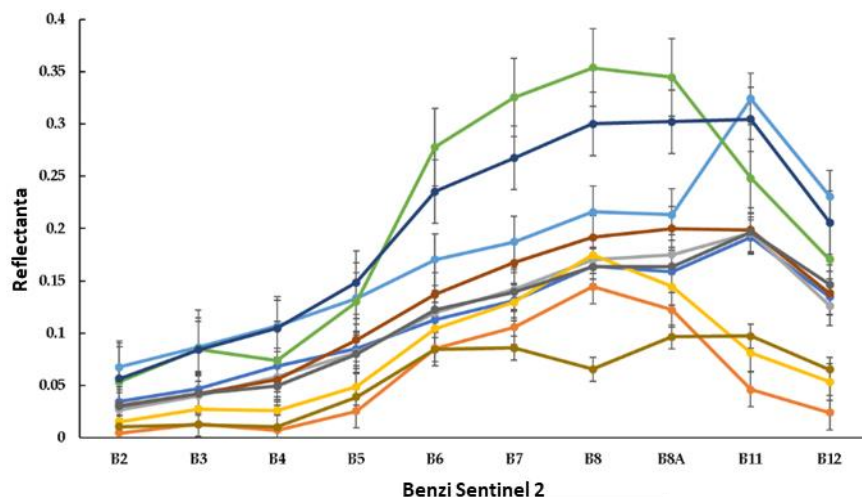


Figura 19. Spectrele medii de reflectanță și abaterile standard pentru ogorul negru rezultate din prelucrarea imaginii Sentinel-2A

Rezultatele apropiate înregistrate în acest studiu pentru algoritmi arborelui decizional împreună cu alte studii anterioare (Lin, C. et al. 2020) indică faptul că niciun algoritm ML individual nu poate prezice conținutul COS al unui sol fără a efectua inițial o calibrare a modelului de date specific local. Se poate observa o deficiență cunoscută a modelelor de regresie, toate modelele supraestimând valorile scăzute și subestimând valorile COS ridicate (Figura 20).

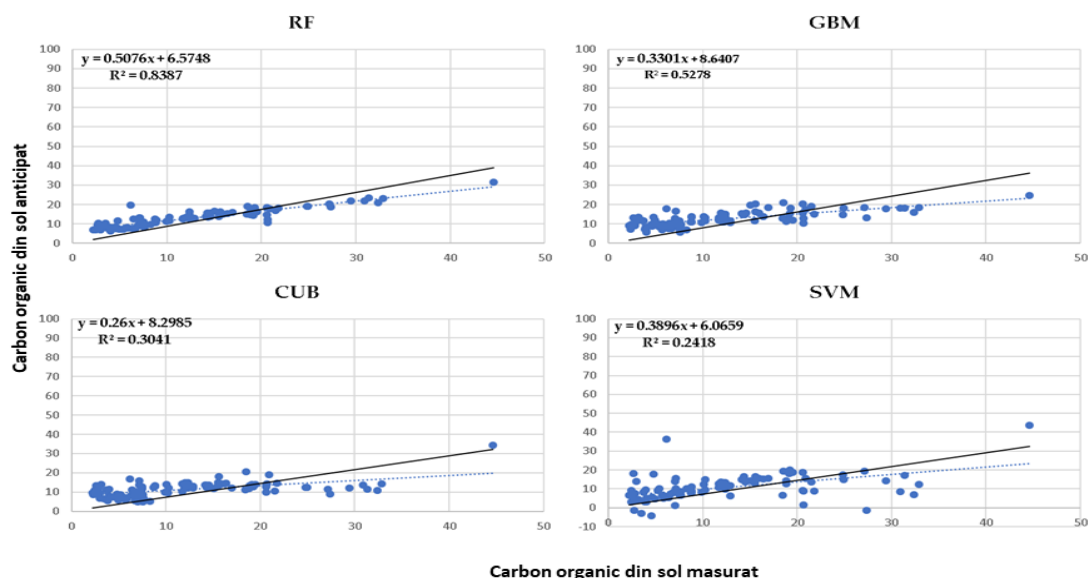
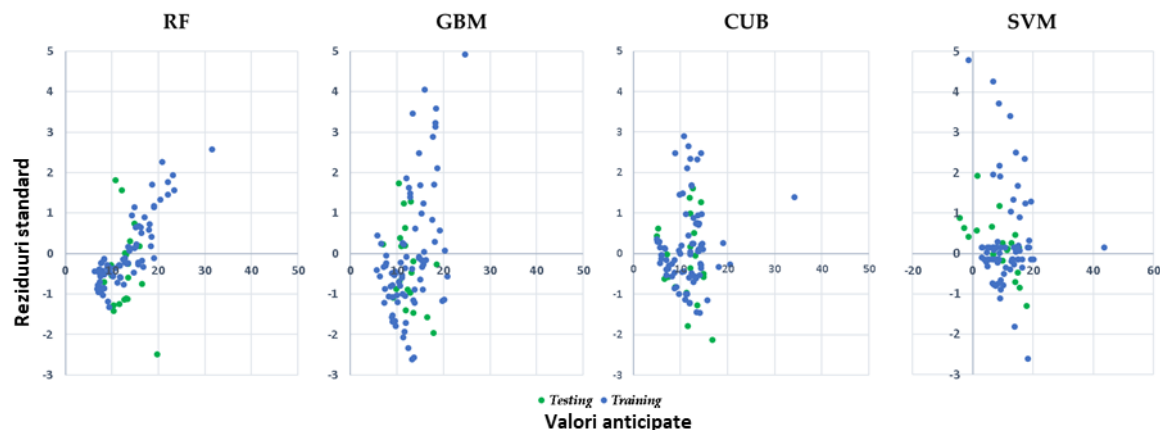


Figura 20 Gradul de împrăștiere a carbonului organic din sol estimat și măsurat, derivat din RF, GBM, CUB și SVM

Figura 21 prezintă reziduurile standardizate pentru cele mai performante patru modele: RF, GBM, CUB și SVM prin evidențierea distribuției reziduurilor și diferențierea acestora. Au fost observate reziduuri mai mari pentru modelele GBM și SVM comparativ cu RF și CUB care au avut rezultate mai bune, pentru care toate observațiile au reziduurile standardizate sub 3 unități.



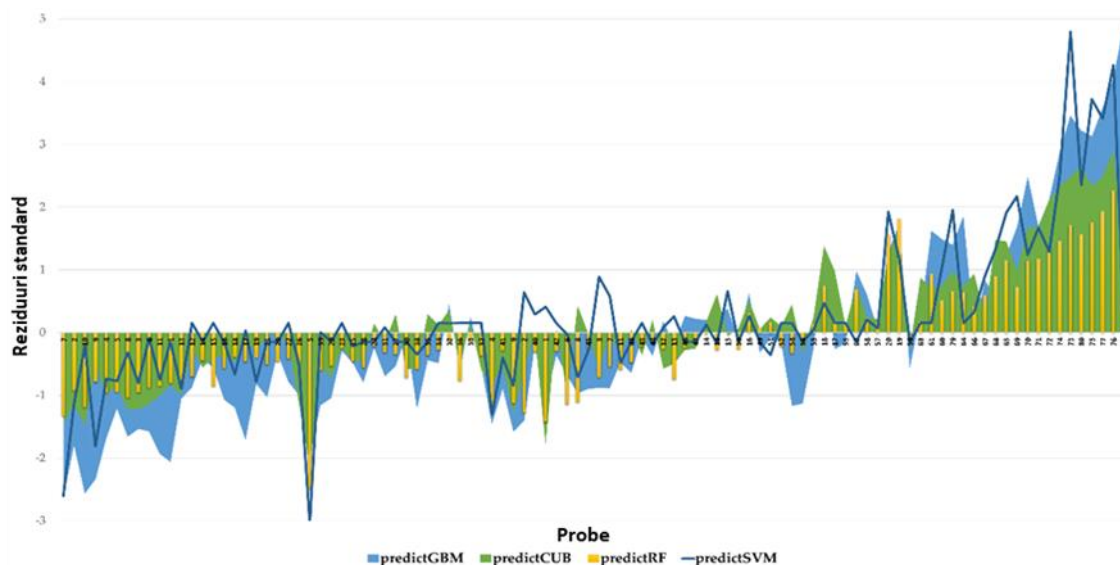


Figura 21. Tendința standardizată a reziduurilor valorilor anticipate pentru antrenament și testarea a patru modele (RF, CUB, GBM, SVM)

Distribuția observațiilor este influențată de intervalul de variabilitate al COS estimat, care are o valoare medie de  $12,77 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  pentru RF,  $11,54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  pentru CUB,  $12,76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  pentru GBM și  $11,02 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  pentru SVM. Mai mult, în ceea ce privește RMSE, amplitudinea distribuției standardizate a reziduurilor variază de la  $0,83 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (RF),  $1,01 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (CUB), la  $1,21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (SVM) și  $1,54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (GBM).

Figura 22 prezintă cartarea spațială a zece variabile spectrale care sunt importante pentru COS în ogorul negru din bazinul râului Neamțu. În conformitate cu principiul SCORPAN, complexitatea distribuției spațiale a COS poate fi variabilă în funcție de peisaj și alte factori. Variabilele pot cuantifica factorii de formare a solului, în timp ce zece variabile spectrale sunt specifice solului, vegetației și conținut de apă. MSAVI2 poate diferenția mai bine etapele de vegetație decât alți indici de vegetație precum NDVI și, ca atare, WdVI aduce informații cu privire la etapele generative ale câmpurilor agricole. mNDWI este mai sensibil la conținutul de apă din sol și zonele vegetate decât ceilalți indici specifici. Benzile RGB sunt elemente constitutive ale indicilor spectrali și pot contribui la determinarea COS din ogorul negru, dar nu singure ci alături de alți indici spectrali.



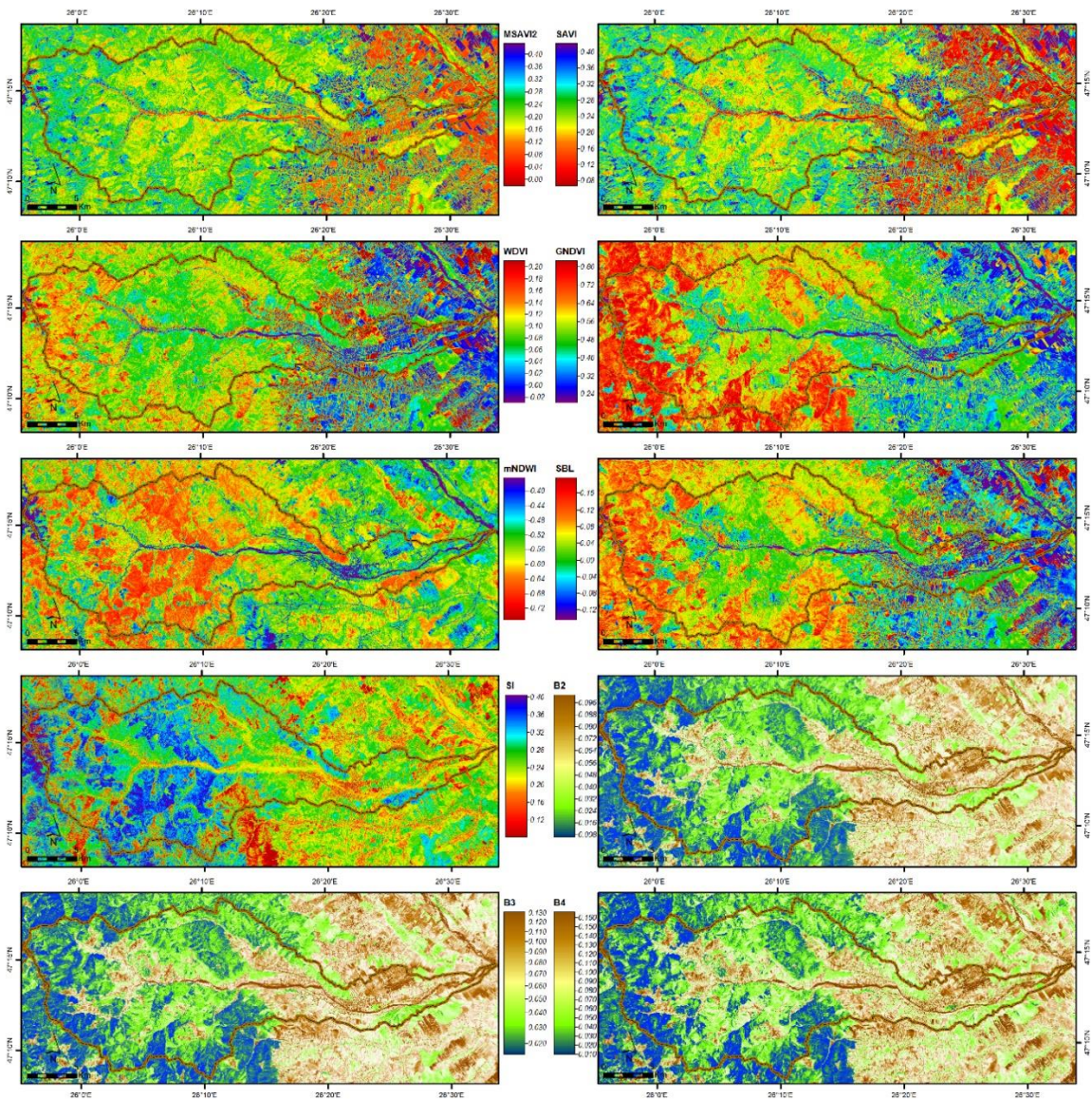


Figura 22. Hărți de distribuție ale principalilor predictorii spectrali: indici de vegetație ajustați la sol: (MSAVI2 și SAVI, SBL), indici de vegetație (WDWI și GNDVI;) conținut de apă (mNDWI), indicele de saturație (SI) și banzile spectrale principale Sentinel 2 B2, B3, B4

#### 4.3.1 Caracteristicile spațiale ale carbonului organic din sol

Hărțile de distribuție a carbonului organic prognozate corespunzătoare celor patru modele au fost realizate folosind drept metoda de interpolare kriging obișnuit, fiind prezentate în Figura 23 cele mai reprezentative dintre ele, RF și CUB.



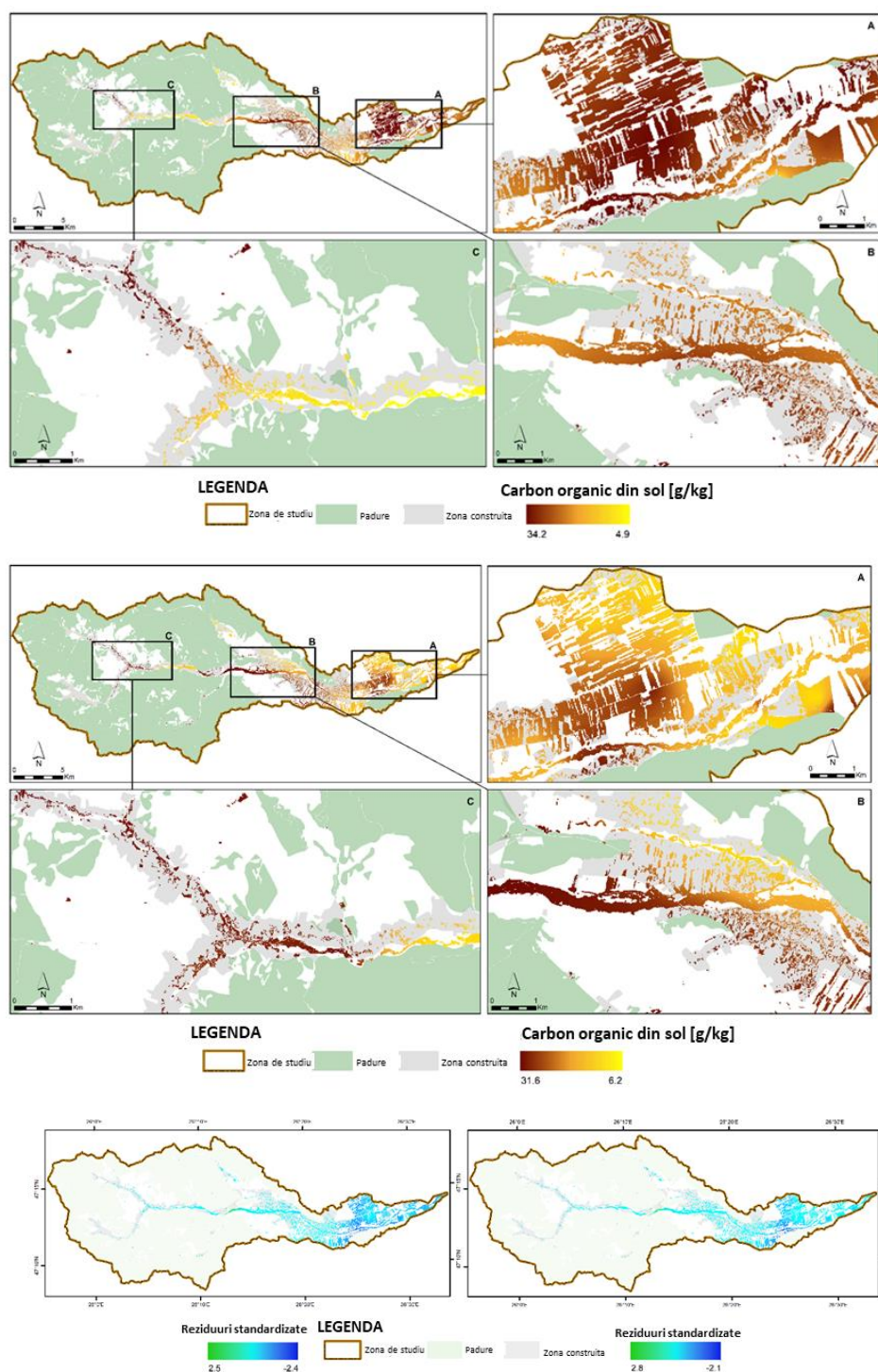


Figura 23 Distribuția spațială a COS și a reziduurilor standardizate pe ogorul negru din zona de studiu. a) RF; b) CUB c) reziduuri standardizate

Valorile medii și deviația standard a conținutului COS previzionat au fost cuprinse între 12,78 și -4,69 g \* kg<sup>-1</sup> pentru RF, 11,48 și -3,99 g \* kg<sup>-1</sup> pentru CUB, 12,68 și -3,85 g \* kg<sup>-1</sup> pentru GBM, respectiv 10,83 și -6,71 g \* kg<sup>-1</sup> pentru SVM (tabelul 4).



Tabelul 4 Statistica descriptivă a conținutului de carbon din sol măsurat și prognozat

Sursa datelor	Nr probe	Model	COS g*kg <sup>-1</sup>			
			Min	Max	Media	Dev.st.
Prognozat Sentinel2	100	RF	4.92	34.23	11.48	-3.99
		CUB	6.26	31.59	12.78	-4.69
		GBM	5.68	24.65	12.68	-3.85
		PLS	12.54	17.02	12.62	-0.50
		SVM	-4.26	43.70	10.83	-6.71
Date teren	100	-	2.22	44.60	12.22	3.47

Distribuția spațială a rezultatelor modelului pentru COS a fost generată pentru acoperirea suprafeței de ogor negru (Figura 23). Valorile COS sunt subestimate și apar în zona de terenuri cu o acoperire bună a recoltei, din partea de est a zonei de studiu. Dacă se ia în considerare contextul geografic local, se pot observa unele diferențe, neidentificându-se niciun tipar specific. Hărțile carbonului organic din sol, generate de modelele RF și CUB, sunt asemănătoare din perspectiva intervalului de variație, nivelul COS variind între 4,9 - 34,2 g · kg<sup>-1</sup> pentru RF, respectiv 6,2 - 31,6 g · kg<sup>-1</sup> pentru CUB, cu valoare ridicată în partea centrală a zona de studiu, acest comportament fiind evidențiat în unele studii (Lin, et al.2020, Long, et al. 2020). Harta modelului RF arată că valoarea COS este puternic localizată în partea de est a bazinului Neamțu, în comparație cu harta CUB care prezintă valori medii și scăzute.

## Capitolul V Stocul de carbon în funcție de modul de utilizare a terenului

### 5.1. Influența modului de utilizare a terenului asupra carbonului organic din sol

Modul de utilizare a terenului influențează proprietățile fizice și chimice ale solului, (Yimer et al. 2007). Cele mai frecvente modificări în utilizarea terenului sunt din pădure în agricol, (van der Werf et al., 2009), crescând rata defrișărilor până la 13 milioane de ha pe an conform unui raport FAO 2015.

Yimer et al. (2007), au realizat un studiu comparativ între terenurile agricole, solurile de pădure și solurile de pășune ajungând la concluzia că în solurile agricole concentrația carbonului organic este mai redusă decât în solurile de pădure (figura 24).

VARIAȚIA STOCURILOR DE CARBON ORGANIC ÎN FUNCȚIE DE UTILIZAREA TERENURILOR ÎN PRIMII 30 CM DE SOL



Figure 24 Schema variației stocului de carbon organic în funcție de modul de utilizare a terenului (prelucrată după G. Castagnon)

Referitor la probele analizate anterior, SCOS forestiere din zona de studiu sunt situate în intervalul celor din literatura de specialitate pentru solurile din zona montană (Tong T. I., et al., 2015; Djukic et al., 2010) între 15,2 și 58,8 kg m<sup>-2</sup> cu o medie pe profil între 15,2 până la 28,9 kg m<sup>-2</sup> la adâncimea solului 15-84 cm (Figura 25). Stocurile de carbon organic pentru zona pajiștilor se află în aceeași gamă cu cele din literatură (31- 43 kg m<sup>-2</sup>) cu o medie de 28,9 kg m<sup>-2</sup> la adâncimi de sol până la 46 cm.

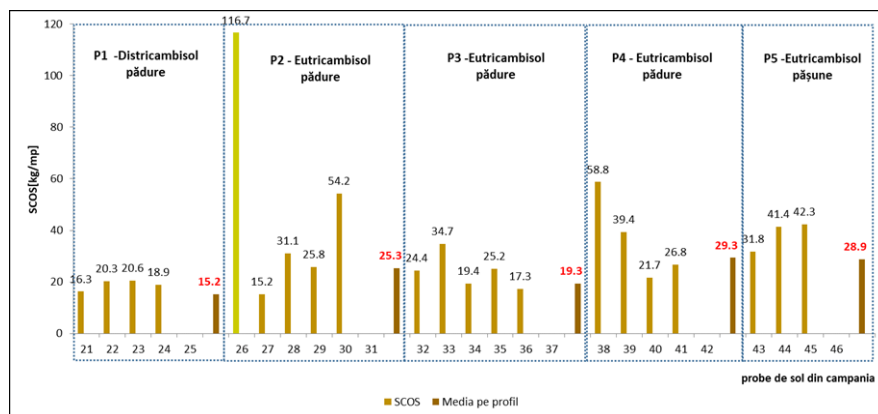


Figura 25 Stocul de carbon organic pentru fiecare orizont de sol și media pe profilul de sol analizat

## 5.2 Analiza comparativă SCOS de pădure și pășune ale bazinului râului Neamțu

Conversia pădurilor în managementul pastoral și agricol are implicații importante pentru depozitarea carbonului în soluri. Condițiile staționare ale bazinului hidrografic Neamțu se caracterizează printr-o diferență altitudinală între 270 - 1523 metri, cu o suprafață de 418 km<sup>2</sup>, cu diferențe notabile de condiții morfo-litologice, climatice, hidrologice și biogeografice reflectate atât în diversitatea solului, cât și în diferențele de conținut de carbon. Stocul de carbon al solului depinde de tipul stațiunilor forestiere, de unitățile fizio-climatice ale pădurilor, de istoria și gestionarea pădurilor. Mai mult, stocurile de carbon organic din sol (COS) au fost estimate utilizând o valoare medie de 80 t C / ha pentru pădurile temperate și ecosisteme pastorale, în timp ce pentru agricultură media atribuită a fost de 50 t C / ha. Tendința SCOS exprimată prin secvența de sol de pășune > sol de pădure > sol agricol reprezintă o posibilă cauză a scăderii cu 20% a SCOS după ce pășunile au fost transformate în pădure.

Studiind schimbările de utilizare a terenului în bazinul râului Neamțu, constatările au relevat mai multe tipare în următoarele secvențe de evoluție, cum ar fi o ușoară creștere a stocului de carbon organic atât în solurile de pădure (P1990 < P2000 < P2012 < P2006), cât și terenurile arabile (A1990 < A2000 < A2006 = A2012) în timp ce pentru solurile cu utilizare de pășune (Ps2000 < Ps2006 < Ps2012 < Ps1990), livada (L2012 = L2006 < L1990) și zonele construite (C2012 = C2006 < C1990 < C2000) comportamentul este opus. Principalele modificări ale pierderii de carbon se remarcă în cazul terenurilor arabile cu 134392,6 t / ha, urmate de solurile împădurite (77532,5 t / ha).

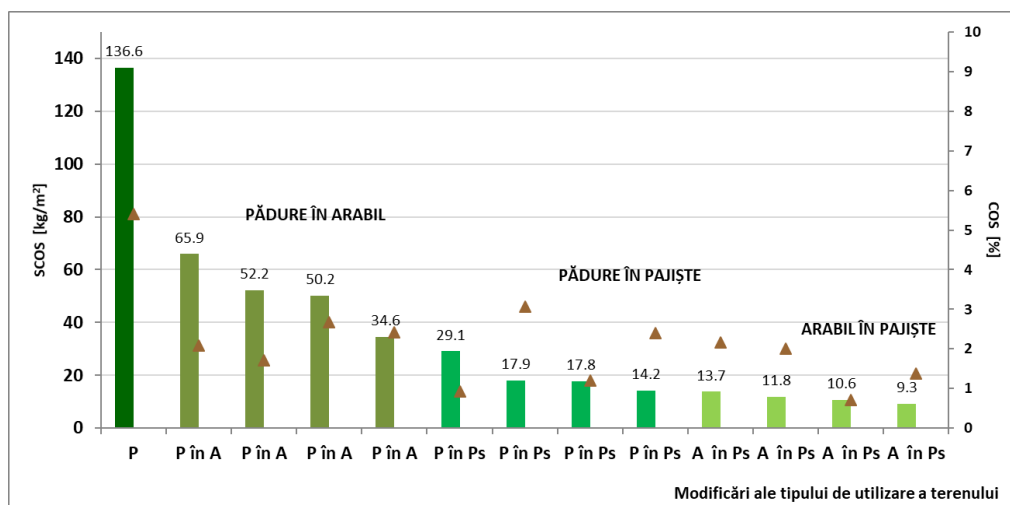


Figura 26 Reprezentarea stocurile de carbon organic din sol in functie de tipul de utilizare al terenurilor

Cea mai importantă pierdere de SOC apare ca urmare a schimbărilor în aprovizionarea cu biomasă care provenită din litieră ce afectează implicit și procesele de bioacumulare. Răririle din ecosistemele forestiere, împreună cu tranzițiile de la pădure la pajiști sau terenurile arabile cât și de la arabil la pajiști, au capacitatea de a influența în mod direct conținuturile de COS care aprovizionează orizonturile de humificare, simultan cu tranziția de la humusul de tip mull biomacrostructurat ce încorporează MOS în materia minerală spre humusul de tip moder și chiar mohr ce implică un conținut crescător de CO provenit din descompunerea resturilor vegetale din orizonturile humifere de la suprafața în urma unei activități biologice crescute.

Acest fenomen este un efect direct al activităților antropice care determină eroziunea solului vegetal. În ciuda abandonului terenurilor agricole, revenirea la evoluția sa naturală a favorizat creșterea stocului de carbon prin îmbunătățirea parametrilor fizico-chimici (Djukic 2010, Breabăn et al. 2017, Burke et al. 1989).

Cea mai importantă pierdere de SCOS apare ca urmare a schimbărilor în aprovizionarea cu biomasă care furnizează gunoi și, prin urmare, procesul de bioacumulare.

O importanță deosebită o prezintă și natura resturilor vegetale, deoarece în orizonturile aflate sub vegetația provenită din pădurile de foioase, sunt antrenate cantități duble, uneori chiar și triple de elemente nutritive comparativ cu cazul celor provenite din pădurile de conifere.

### 5.3 Distribuția materiei organice din solurile din bazinul râului Neamțu

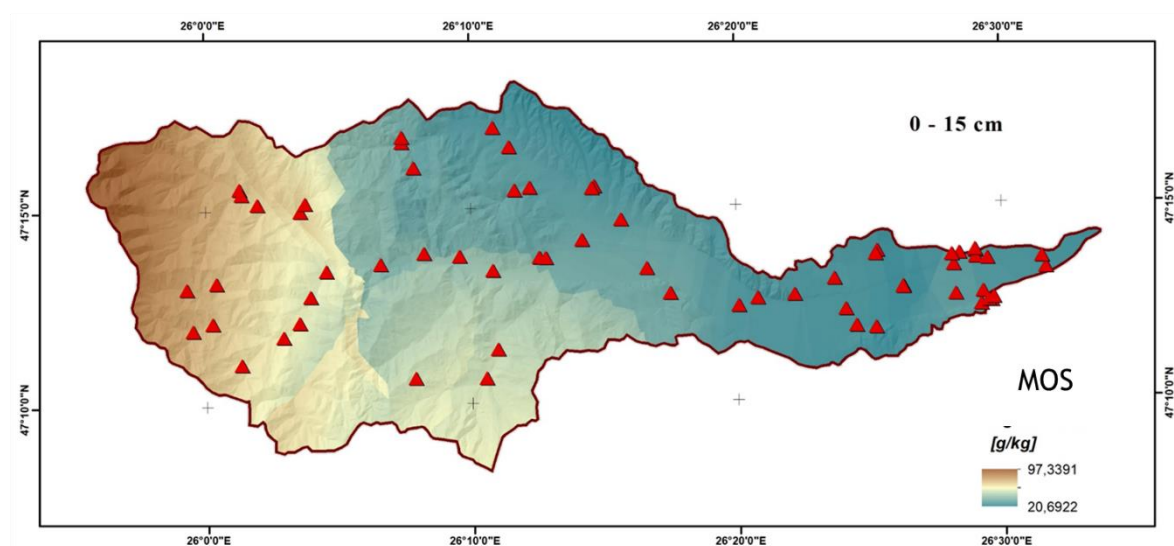


Figura 27. Distribuția materiei organice din solurile din bazinul râului Neamțu între 0-15 cm

Pădurea joacă un rol important în ciclul carbonului. La nivel global, solurile stochează aproximativ între  $1,5 - 2,0 \cdot 10^{10}$  tone de CO până la adâncimea de 1 metru (Amundson 2011). Conform studiilor, solurile stochează o treime din cantitatea de CO la nivel global, (Schlesinger et al.1991). Diverse studii demonstrează faptul că, în atmosferă se eliberează mai puțin CO<sub>2</sub> din solurile în care cantitatea de carbon este asociată cu faza minerală a solului. (Six et al. 2002). Acest lucru explicându-se prin interacțiunea care are loc între partea minerală și carbonul organic din sol prin interacțiuni hidrofobe (Vogel et al 2005, Lutzow et al 2006). Un rol important în stocarea CO în sol îl joacă și fracțiunile de argilă, praful și pH-ul solului. (Ledergard et al, Pedersen 2005, Leuschner 2013). Un impact asupra stocării CO în sol îl reprezintă activitățile antropice directe și indirecte, tipul vegetației, lucrările de îngrijire a pădurilor, tăierile pot influența dinamica și stocarea carbonului în ecosistemele forestiere.

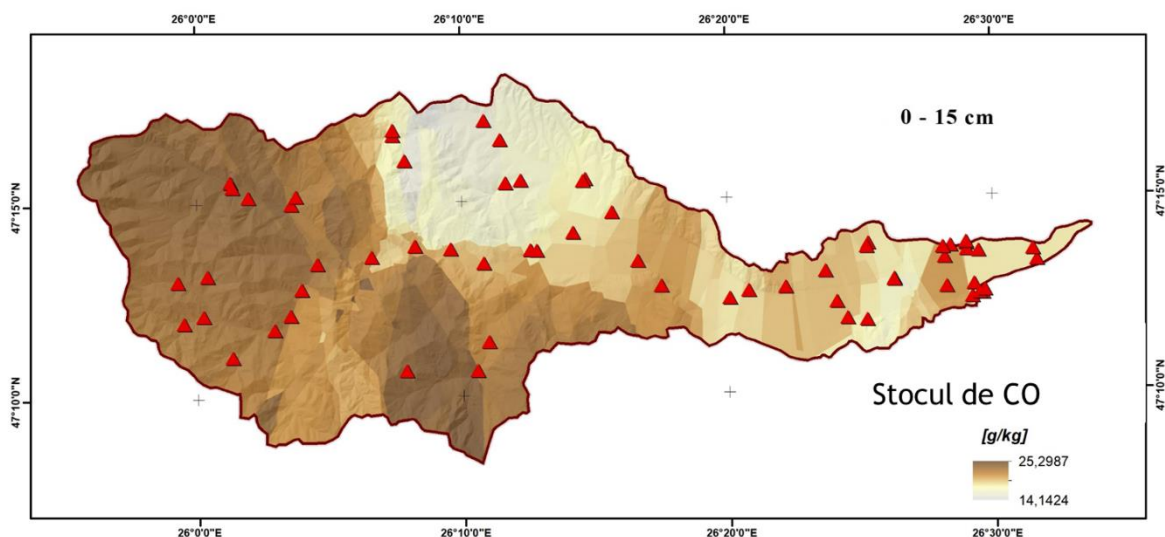


Figura 28. Distribuția stocului de carbon în solurile din bazinul râului Neamțu

Figura 66, reprezintă analiza realizată la nivelul bazinului în ceea ce privește evoluția SCOS, în orizontul de suprafață, evidențiindu-se în mod similar că cea mai mare cantitate stocată este în zona împădurită din zona Pipirigului. În zonele în care textura solurilor este majoritar nisipoasă, produși de descompunere nefiind reținuți între particolele de sol, se levinghează în orizontul următor unde împreună cu celelalte fracțiuni texturale contribuie la creșterea SCOS odată cu creșterea adâncimii.

## Concluzii

Prezenta lucrare și-a propus să analizeze sechestrarea, distribuția cât și modificările stocului de carbon din sol în funcție de modul dominant de utilizare a terenului, respectiv pădure, pășune și teren arabil din bazinul râului Neamțu. A fost realizat un studiu complex pentru caracterizarea carbonului organic din solurile bazinului râului Neamțu, rezultatele obținute conducând la o mai bună înțelegere a modului în care modificările survenite în modul de utilizare a terenurilor le exercită asupra transformărilor în compoziția materiei organice.

Acest obiectiv general de evaluarea stocului de carbon dintr-o zonă atât de complexă din punct de vedere al particularităților fizico-geografice, a impus o abordare interdisciplinară, sistemică susținută de observații directe pe teren, eșantionare a probelor în multiple campanii, utilizarea unor practici și metode moderne de spectroscopie FTIR cât și tehnici de teledetecție optică, însoțite de o componentă de analiză statistică dar și de modelare utilizând algoritmi de învățare automată.

Obiectivele tezei de doctorat au fost atinse printr-o serie de demersuri, precum:

- evaluarea dinamicii utilizării terenului s-a realizat prin determinarea fluxului între tipurile de utilizare pentru fiecare an de referință cuprins între 1990-2018, pentru perioada post comunistă identificându-se fenomene de conversie, de înlocuire a unui tip de utilizare cu altul

- selectarea unor locații reprezentative de probare la suprafață cât și în adâncime în vederea realizării unei distribuții spațiale cât mai exacte a conținutului de carbon organic, respectiv a stocului de carbon din sol;

- stabilirea și testarea unor proceduri operaționale de investigare prin utilizarea unor metode moderne cu tehnici instrumentale de determinare a COS;

- s-au testat trei metode în vederea stabilirii metodei optime din punct de vedere al gradului de precizie, și anume: oxidare umedă - metoda Walkley Black (WB), combustie uscată automată (DC) și pierdereala calcinare (LOI);

- spectroscopia FTIR -DRIFT a fost utilizată pentru extragerea informațiilor deosebit de utile pentru determinarea compoziției materiei organice a solului, iar utilizarea imaginilor satelitare oferă un grad de estimare și modelare sigur.

- Pachetele LIME și "iml" oferă tehnici de vizualizare care explică relațiile dintre variabile și predicții unice făcute de model (pachetul R-LIME), precum și influența variabilelor asupra modelului global (pachetul R-iml).

Rezultatele studiului actual sunt utile specialiștilor pentru a aprofunda înțelegerea distribuției conținutului COS într-un bazin hidrografic complex, îmbunătățind metodologia de supraveghere a solului prin combinarea datelor de teren și de teledetecție cu soluții informatice avansate. Acuratețea și performanța crescută a produselor finale oferă posibilitatea, celor responsabili de gestionarea resurselor solului, de a le integra în planurile și strategiile viitoare pentru a diminua amenințările solului.

Determinarea și caracterizarea materiei organice din sol joacă un rol important în determinarea calității globale a solurilor.

## Bibliografie selectiva

1. Albaladejo J., Ortiz R., García-Franco N., Ruiz Navarro A., Almagro M., García-Pintado J., Martínez-Mena M., Land use and climate change impacts on soil organic carbon stocks in semi-arid Spain, *J. Soils Sediments*, 13 pp. 265–277, 2013.
2. Alkama, R. & Cescatti, A. 2016. Biophysical climate impacts of recent changes in global forest cover. *Science*, 351, 600-604.
3. Alpaydin, E. Introduction to Machine Learning, 2nd ed. The MIT Press, (2010) 908.
4. Allison, G.G., Thain, S.C., Morris, P., Morris, C., Hawkins, S., Hauck, B., Barraclough, T., Yates, N., Shield, I., Bridgwater, A.V., Donnison, I.S. (2009). Quantification of hydroxycinnamic acids and lignin in perennial forage and energy grasses by Fourier-transform infrared spectroscopy and partial least squares regression. *Bioresource Technology*, 100, 1252–1261.
5. Amiali NM, Golding GR, Sedman J, Simor AE, Ismail AA (2011) Rapid identification of community-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* by Fourier transform infrared spectroscopy. *Diagn Microbiol Infect Dis* 70:157–166
6. Arrouays, D., Richer de Forges, A., Morvan, X., Saby, N.P.A., Jones, A.R. & LeBas, C. 2014, Environmental Assessment of Soil for Monitoring, Volume IIb: survey of National Networks. Ispra: JRC Scientific Reportsx.
7. Batjes, N. H., 1996 Total Carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47: 151-163
8. Baetens, L.; Desjardins, C.; Hagolle, O. Validation of Copernicus Sentinel-2 Cloud Masks Obtained from 821 MAJA, Sen2Cor, and FMask Processors Using Reference Cloud Masks Generated with a Supervised Active 822 Learning Procedure. *Remote Sens.* 2019, 11, 433. 823.
9. Bisutti, I., Hilke, I., Raessler, M. Determination of total organic carbon - an overview of current methods. *TRAC - Trends in Analytical Chemistry*, 23, (10-11), p. 716-726, 2004.
10. Bellamy LJ. The infrared spectra of complex molecules. London: Chapman & Hall; 1975. p. 1–433.
11. **Bobric ED.**, Rusu E., Melniciuc-Puica N., Breaban I.G., “ Investigation of carbon content from Neamt catchment soils using FTIR spectroscopy”, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 19(1), 288-299, 2018; FI 0,679;
12. Rusu E., Balan M.G., Profir O., **Bobric D.**, "Influence of recent land use change on total organic carbon stock in Humor river basin", (2017), *Environmental Engineering and Management Journal*, vol 16 (4), pag 905-912 , ISSN1582-9596 (FI:1,096, SRI: 0,073) <http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/issues/vol16/vol16no4.htm>
13. Breaban I.G., **Bobric ED.**, Rusu E., Secu C.V., (2017), “Soil organic matter assesment from Neamt catchment soils through various organic carbon methods”, *SGEM 2017 Conference Proceedings*, ISBN 978-619-7408-05-8 / ISSN 1314- 2704, Book 17 Issue 2, 507-514 2.
14. **Bobric ED.**, Breaban I.G., Rusu E., (2017), “A comparison of soil organic carbon stocks in pastoral cropping and forest soils”, *SGEM2017 Conference Proceedings*, ISBN 978-619-7408-05-8 / ISSN 1314-2704, Book 17 Issue 2, 703-710 .
15. **Bobric D.E.**, Rusu E., (2016), "The dynamics of the forests surfaces between 1990-2012 for the river basin Neamt)", *International Multidisciplinary Scientific Geo Conference-SGEM*, vol.II,2, pag.655-662, ISSN 1314-2704.
16. Breulmann, M., Boettger, T., Buscot, F., Gruendling, R., Schulz, E., Carbon storage potential in size–density fractions from semi-natural grassland ecosystems with different productivities over varying soil depths, *Sci. Total Environ.* 545-546, pp 30 - 39, 2016 .
17. Bernoux, M., Feller, C., Cerri, C.C., Eschenbrenner, V., Cerri, C.E.P., 2006. Soil carbon sequestration. *Adv. Soil Sci.* 13–22.
18. Drusch, M.; Del Bello, U.; Carlier, S.; Colin, O.; Fernandez, V.; Gascon, F.; Hoersch, B.; Isola, C.; Laberinti, 810 P.; Martimort, P., 2012, Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36, doi:10.1016/j.rse.2011.11.026 Sentinel-2.
19. Djukic I., Zehetner F., Tatzber M., Gerzabek M. H.: Soil Organic-matter Stocks and Characteristics along an Alpine Elevation Gradient. *J Plant Nutr Soil Sci*, 173, 30 (2010).



20. Edu E. M., Mihalache M., Ionescu M., Determination of organic carbon in forest soils by comparative analysis of methods: Walkley Black method with the Gogoasa modification versus dry combustionDumars method, Research Journal of Agricultural Science, 45 (1), 2013.
21. ESA 's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services (ESA SP-1322/2 March 2012) ESA 824 Communications [https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2\\_SP-1322\\_2.pdf](https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf) 825.
22. Fernandes R.B. A., Carvalho Junior I. A., Ribeiro Junior E. S., Mendonça E., Comparison of different methods for the determination of total organic carbon and humic substances in Brazilian soils, Rev. Ceres, Viçosa, v. 62, (5), p. 496-501, 2015.
23. Grube M, Muter O, Strikauska S, Gavare M, Limane B (2008) Application of FT-IR spectroscopy for control of the medium composition during the biodegradation of nitro aromatic compounds. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 35: 1545-1549.
24. Jobbágy, E. G. & Jackson, R. B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Applications, 10(2): 423-4.
25. Jankauskas B., Slepeliene A., Jankauskiene G., Fullen M. A., Booth C. A., A comparative study of analytical methodologies to determine the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols, Geoderma 136, p. 763–773, 2006.
26. Lefevre C., Rekik F., Alcantara V., Wiese L., Soil organic carbon hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nation, ISBN 978-92-5-109681-9, 2017;
27. Laurenz, K. & Lal, R. 2016. Soil Organic Carbon - An appropriate Indicator to Monitor Trends of Land and Soil Degradation within the SDG Framework? Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
28. Linn, D.M. & Doran, J.W. 1984. Effect of water-filled pore space carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and no tilled soils. Soil Sci. COS. Am. J., 48: 1267-1272.
29. Long, J.; Liu, Y.L.; Xing, S.H.; Zhang, L.M.; Qu, M.K.; Qiu, L.X.; Huang, Q.; Zhou, B.Q.; Shen, J.Q. Optimal 944 interpolation methods for farmland soil organic matter in various landforms of a complex topography. 945 Ecological Indicators 2020, 110, doi:10.1016/j.ecolind.2019.105926.
30. Margenot, J. B. 2014. Understanding Juan Benet: New Perspectives. Bulletin of Spanish Studies, 91, 1292-1293.
31. Mihai, B. (2009) Teledetectie. Notiuni si principii fundamentale, Editura Universitatii din Bucuresti, 190 p.
32. Niemeyer J, Chen T, Bollag JM. Characterization of humic acids, composts, and peat by diffuse reflectance Fourier-Transform infrared spectroscopy. Soil Sci Soc Am J. 1992;56:135–40
33. Nocita, M.; Stevens, A.; van Wesemael, B.; Aitkenhead, M.; Bachmann, M.; Barthès, B.; Dor, E.B.; Brown, 703 D.J.; Clairrotte, M.; Csorba, A.; et al. Soil Spectroscopy: An Alternative to Wet Chemistry for Soil Monitoring. In 704 Advances in Agronomy; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2015; Volume 132, pp. 139–159. ISBN 705 9780128021354.
34. Pallasser, R., Minasny, B. & Mcbratney, A. B. 2013. Soil carbon determination by thermogravimetrics. Peerj, 1.
35. Puckrin E, Evans WFJ, Adams on TAB (1996) Measurement of tropospheric ozone by thermal emission spectroscopy. Atmospheric Environment 30(4): 563-568.
36. Padarian, J.; Minasny, B.; McBratney, A. B. Machine learning and soil sciences: a review aided by machine 739 learning tools, Soil, 2019, 6, 35–52, <https://doi.org/10.5194/soil-6-35-2020>, 2020.
37. Raphael L (2011). Application of FTIR Spectroscopy to Agricultural Soils Analysis, Fourier Transforms - New Analytical Approaches and FTIR Strategies, Prof. Goran Nikolic (Ed.), ISBN: 978-953-307-232-6, InTech.
38. Ribeiro, M. T.; Singh, S.; Guestrin, C. “Why Should I Trust You?: Explaining the Predictions of Any 927 Classifier.” In Proceedings of the 22nd Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery and Data 928 Mining, 2016. 1135–44. ACM.

39. Rusu E. Geografia pădurilor, Ed. Univ. "Al.I.Cuza" Iași, 2012
40. Rusu E., 2010 – La forêt – espace multiprotecteur, Lucrările. Seminarului D. Cantemir, SII, Iași
41. Rusu E., 2011 – Current trends of development of forest areas to protect soil and water at global and regional level, Lucrările. Seminarului D. Cantemir, SII, Iași
42. Rusu E., 2011 – Current trends of forest areas designed to protect biodiversity at global and regional, PESD, Iași
43. Rusu E., 2012 – Influența vegetației asupra modificărilor unor tipuri de humus forestier din zona temperată, Studii și cercetări în geostiințe, vol. I, Iași.
44. Sarmiento, A., Perez-Alonso, M., Olivares, M., Castro, K., Martinez-Arkarazo, I., Fernandez, L. A. & Madariaga, J. M. 2011. Classification and identification of organic binding media in artworks by means of Fourier transform infrared spectroscopy and principal component analysis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 399, 3601-3611.
45. Schulte, E. E., and Hopkins, B. G., 1996. Estimation of soil organic matter by weight loss-on-ignition. In: *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*. SSSA Special Publication no. 46, pp. 21–31. Magdoff, F. R. Ed., Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI.
46. Sato J. H., Figueiredo C. C., Marchão R. L., Madari B. E., Benedito L. E. C., Busato J. G., Souza D. M., Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. *Methods of soil organic carbon determination, Scientia Agricola*. 71, n.4, p.302-308, 2014.
47. Sleutel S., De Neve S., Singier B., Hofman G., Quantification of organic carbon in soils: A comparison of methodologies and assessment of the carbon content of organic matter. *Comm. in Soil Science and Plant Analysis* 38, p. 2647–2657, 2007.
48. Stevenson, F.J. 1994. *Humus chemistry. genesis, composition, reactions*. 2nd edition. New York, USA, Wiley Interscience. 512 pp.
49. Tong T. Felix I., N. L. L., Mohd S., Sulaeman A.: Characterization of Soil Organic Matter in Peat Soil with Different Humification Levels Using FTIR. In: *Proc. of Soft Soil Engineering International Conference (SEIC2015)*, 2015.
50. Wang, L.Y.; Wang, H.Z.; Pan, F.J.; Zhou, Y.; Ha, J.; Li, R.D. Soil organic matter variation of topsoil under 671 intensive tillage: the case of Sanhu farm, Hubei province, China. *Applied Ecology and Environmental Research* 672 2019, 17, 10743-10757, doi:10.15666/aeer/1705\_1074310757.
51. Were, K.; Bui, D.T.; Dick, O.B.; Singh, B.R. A comparative assessment of support vector regression, artificial neural networks, and random forests for predicting and mapping soil organic carbon stocks across an Afrotropical montane landscape. *Ecological Indicators* 2015, 52, 394-403, doi:10.1016/j.ecolind.2014.12.028.
52. Williams DJ-I, Fleming I. *Spectroscopic methods in organic chemistry*. London: McGraw-Hill; 1995. p. 28–62
53. Sistemului Român de Clasificare a Solurilor, 2012.