

ANALIZA SPAȚIALĂ A ÎNVELIȘULUI DE SOL ȘI A RAPORTURILOR PEDO-GEOMORFOLOGICE FOLOSIND TEHNICILE SIG ȘI METODE STATISTICE

C. V. Patriche*

Regiunea de studiu este situată în partea mediană a unității fizico - geografice a Podișului Central Moldovenesc, fiind delimitată, la vest și sud-vest, de râurile Stavnic și colectorul său, Bârladul, la est de râul Vasluiet, limita nordică fiind trasată în lungul cumpenei de ape ce separă bazinele hidrografice ale Bahluiului și Bârladului. În cadrul regiunii, se individualizează trei microzone pedoclimatice (ICPA, 1987):

- *Microzona pedoclimatică a luvisolurilor*, din nordul regiunii, caracterizată prin climat răcoros - umed și relief moderat accidentat;

- *Microzona pedoclimatică a cernoziomurilor cambice*, cea mai extinsă, care cuprinde partea centrală și sudică a regiunii, caracterizată printr-un climat moderat călduros - semiumed și relief slab accidentat;

- *Microzona pedoclimatică a aluviosolurilor*, dezvoltată cu precădere pe marginile vestice, sud-vestice, sudice și estice ale regiunii (albiile majore ale râurilor Stavnic, Bârlad, Vaslui), cu un climat moderat călduros - semiumed.

Analiza spațială învelișului de sol a pornit de la harta solurilor elaborată de ICPA (1986) la scara 1:200.000, care a fost, într-o primă etapă, scanată, georeferențiată și vectorizată, folosind programul MapMakerpro, versiunea 2.4. După obținerea reprezentării vectoriale a învelișului de sol, s-a trecut la identificarea și corectarea erorilor introduse în procesul digitizării, respectiv la eliminarea poligoanelor false, parazite, rezultate din nesuprapunerea perfectă a limitelor dintre poligoanele reale. Softul permite eliminarea acestora, operatorul putând specifica lățimea maximă a poligoanelor ce urmează a fi eliminate. În cadrul următoarei etape, a fost generată automat o bază de date care a inclus: denumirea unităților de sol, coordonatele centrelor de greutate, pentru aprecierea poziției relative în cadrul hărții a arealelor, suprafețele și perimetrele arealelor. Ulterior, aceste date au fost exportate în Excel 97 și Statistica for Windows 4.5 pentru prelucrare.

În limitele regiunii de studiu (suprafață totală 843km²), au fost identificate 31 de unități taxonomice de soluri, denumite conform *Sistemului Român de Taxonomie a Solurilor* (2000), dintre care 22 de unități monotaxonomice, la care se adaugă variante erodate și asociații de soluri neerodate și erodate. Se constată predominarea netă a cernisolurilor, care dețin mai mult de jumătate din suprafața regiunii (53,3%), urmate de luvisoluri (22,9%) și aluviosoluri (17,8%). Erodosolurile dețin doar 6% din suprafața regiunii, însă arealul însumat al erodosolurilor, solurilor puternic-moderat

* Colectivul de Geografie al Academiei Române, Filiala Iași

erodate și asociațiilor de soluri neerodate și erodate se ridică la 240km², reprezentând 28,5% din suprafața regiunii.

Tabelul 1. Caracteristici spațiale ale învelișului de sol

	nr areale	Stot (km ²)	Sm (km ²)	Smax (km ²)	Smin (km ²)	STD (km ²)	Cs	Cp	frag	fragm relativă %	eterog	eterog relativă %
CZka/k1	5	13.97	2.79	4.2	1.73	0.87	1.45	1	3.80	16.37	3.80	6.47
CZka/k2	22	63.93	2.91	12.2	0.55	2.94	1.77	2	15.11	65.00	30.22	51.39
CZti	1	2.71	2.71	2.71	2.71	0	1.73	1	0.00	0.00	0.00	0.00
CZti/e11	2	9.62	4.81	5.63	3.99	0.82	1.33	2	1.92	8.24	3.83	6.51
CZti/e13	23	77.05	3.35	8.23	0.99	2.04	1.69	3	8.69	37.39	26.07	44.34
CZeb	27	105.19	3.9	30.13	0.55	5.93	1.81	0	23.24	100.00	0.00	0.00
CZeb, CZeb/e12, Ereb	5	21.59	4.32	7.66	2.34	2.11	1.71	3	7.02	30.22	21.07	35.84
CZar	15	28.2	1.88	6.1	0.52	1.6	1.45	1	10.39	44.71	10.39	17.67
CZgr	5	13.76	2.75	4.48	1.56	0.97	1.82	1	5.41	23.26	5.41	9.19
CZgr-cb	21	77.82	4.34	25.59	0.66	5.48	1.51	1	18.81	80.92	18.81	31.99
CZgr-cb/e13	7	26.26	3.75	6.03	0.85	1.77	1.84	3	7.31	31.46	21.94	37.30
RZeb	2	1.19	0.6	0.69	0.5	0.1	1.19	1	1.69	7.28	1.69	2.88
FZgr-st	2	6.35	3.18	4.34	2	1.17	1.63	1	5.07	21.80	5.07	8.62
FZka	2	1.66	0.83	0.99	0.67	0.16	1.23	2	2.00	8.59	3.99	6.79
ELti	4	11.3	2.83	3.6	1.12	1	2.09	1	6.23	26.80	6.23	10.60
ELst	2	5.73	2.86	4.08	1.65	1.21	1.93	3	6.88	29.60	20.64	35.10
LVti	11	23.43	2.13	5.31	0.78	1.48	2.07	2	12.14	52.23	24.28	41.29
LVst	6	14.41	2.4	3.48	1.49	0.8	1.45	3	4.06	17.48	12.19	20.73
LVst, Lvab	9	45.39	5.04	13.95	0.004	4.37	1.42	3	10.33	44.45	31.00	52.71
LVti, LVab	8	16.47	2.06	4.01	1.02	0.9	1.42	2	5.24	22.52	10.47	17.81
LVab	2	2.72	1.36	1.42	1.3	0.05	1.16	2	0.36	1.55	0.72	1.23
LVab-st	8	18.57	2.32	6.63	0.32	1.97	1.44	3	10.30	44.31	30.90	52.55
LVti, LVti/e12(13)	15	37.24	2.48	7.61	0.93	2.44	1.97	2	16.32	70.19	32.63	55.49
LVti/e13, ELti/e12(13), ERar	2	17.44	8.72	10.66	6.79	1.94	2.41	3	4.51	19.42	13.54	23.03
ASen	13	43.24	3.33	12.64	1.25	2.96	2.37	2	17.80	76.58	35.60	60.54
ASka	5	50.86	10.17	17.39	5.1	4.17	2.97	1	10.25	44.12	10.25	17.44
ASka-gc	1	10.64	10.64	10.64	10.64	0	1.87	1	0.00	0.00	0.00	0.00
ASen, ASka, ASka-gc	5	45.05	9.01	13.87	2.22	4.36	3.54	1	14.45	62.14	14.45	24.56
ERka	8	18.46	2.3	7.99	0.74	2.35	1.71	4	14.70	63.25	58.81	100.00
ERob	11	26.05	2.37	9.13	0.48	2.64	1.56	4	14.66	63.05	58.63	99.69
ERar	4	6.45	1.61	1.87	0.94	0.39	1.44	4	2.93	12.61	11.72	19.94
ansamblu regiune	253	842.75	3.33	30.13	0.004	4.04	1.79*	1.83**	18.36*	78.99*	33.59*	57.12*
									55.47**		34.05**	

* total regiune; ** medie ponderată

Au fost identificate 253 de areale de soluri*, numărul maxim aparținând clasei Cernisolurilor: cernoziomuri cambice (27), cernoziomuri tipice puternic erodate (23), cernoziomuri epicalcarice (22), cernoziomuri greice-cambice (21).

Suprafața totală (Stot) maximă revine cernoziomurilor cambice (105km²), urmate de solurile cenușii (97 km²), care conform srts 2000 se regăsesc la nivelul a 3 subtipuri: cernoziomurile greice, greice-cambice și faeoziomurile greice-stagnice. Cele mai reduse suprafețe revin rendzinelor cambice și faeoziomurilor calcarice** (1,2 – 1,7 km²), cu apariții insulare pe platourile calcaroase din vestul regiunii.

Suprafața medie (Sm) a arealelor de soluri este, pe ansamblul regiunii, de 3,33 km², suprafața medie maximă aparținând aluviosolurilor (9-10 km²), iar cea medie minimă rendzinelor cambice și faeoziomurilor calcarice (0,6-0,8 km²). Cele mai mari areale individuale sunt caracteristice cernoziomurilor cambice și greice cambice. Reamintim precizarea anterioară, respectiv dependența parametrilor spațiali de scara de lucru, pentru că, în mod sigur, un areal monotaxonomic important ca dimensiune, la scara 1/200000, va căpăta caracter politaxonomic la o scară mai mare, iar solul unic va deveni sol dominant în cadrul noului nivel de detaliere.

Deviația standard a suprafețelor arealelor (STD) este un indicator al variației mărimii suprafețelor ocupate de diferite soluri pe ansamblul regiunii, deviația standard este de 4km², ceea ce semnifică faptul că, față de media de 3,33km², suprafețele arealelor se abat, în medie, cu 4km². Cele mai mari variații de suprafață sunt, în general, caracteristice solurilor cu răspândirea cea mai mare și care dețin numeroase areale. astfel, valorile maxime sunt remarcate în cazul cernoziomurilor cambice și greice-cambice.

Sinuozitatea arealelor (Cs) a fost cuantificată folosind o relație de calcul propusă de Florea N. (2001), care presupune împărțirea perimetrului arealului de sol la perimetrul unui cerc cu aceeași suprafață. valorile coeficientului de sinuozitate de 1-1,3 indică areale nesinuoase, iar cele mai mari de 5,5 areale puternic sinuoase. Pe ansamblul regiunii, coeficientul de sinuozitate are valori de 1,79 (slab sinuos). Cum era de așteptat, valorile maxime caracterizează aluviosolurile (2,4-3,5 – moderat sinuoase), dezvoltate în lungul traseelor sinuoase ale arterelor hidrografice, iar rendzinele cambice și faeoziomurile calcarice, cu apariții insulare, cvasi-circulare, prezintă valori minime (1,2 – nesinuoase).

Contrastul pedologic (Cp) a fost determinat conform criteriilor specificate de Florea N. (2001), având în vedere 8 factori: diferențierea morfogenetică a profilului de sol; textura în orizontul superior, volumul edafic, drenajul global, aciditatea, pericolul eroziunii în suprafață; panta; neregularitatea terenului. fiecare factor a fost gradat pe o scară de la 1 la 6. Pentru un anumit sol, diferența maximă a unei proprietăți față de cea a solului de referință reprezintă valoarea de contrast pedologic, care poate oscila între 0 și 5. Solul de referință s-a considerat cernoziomul cambic, fiind cel mai răspândit.

* trebuie precizat faptul că parametrii spațiali ai învelișului de sol sunt strâns dependenți de scara hărții, în acest caz 1/200.000

Pe ansamblul regiunii, contrastul pedologic mediu este de 1,8 (moderat), fapt ce semnalează o variație semnificativă în teritoriu a însușirilor solului și condițiilor edafice. Cele mai contrastante soluri, în raport cu cernoziomul cambic, sunt erodosolurile (4), puternic transformate prin impactul eroziunii accelerate. Cu valori ridicate (3) se înscriu și celelalte soluri erodate, la care se adaugă subtipurile stagnice ale luvisolurilor.

Fragmentarea învelișului de sol (frag) poate fi estimată conform relației de mai jos, care presupune că acest atribut este direct proporțional cu deviația standard a suprafețelor (STD), coeficientul de sinuozitate (Cs) și invers proporțional cu suprafața medie a arealelor (Sm):

$$\text{Frag} = \text{STD} \cdot \text{Cs} \cdot (\text{nr. areale/Stot}) = \text{STD} \cdot \text{Cs} \cdot (1/\text{Sm})$$

Valorile fragmentării pot fi standardizate, astfel încât să varieze între limite bine precizate (0-100%), prin împărțirea lor la valoarea maximă întâlnită și exprimarea procentuală a rezultatului (fragmentarea relativă). Pe ansamblul regiunii, învelișul de sol este moderat fragmentat (55,5%). Cele mai fragmentate unități taxonomice sunt cernoziomurile cambice (100%) și greice-cambice (80,9%), care dețin numeroase areale, foarte variabile ca dimensiuni, la care se adaugă aluviosolurile entice (76,6%) datorită, în principal, sinuozității moderate.

Eterogenitatea învelișului de sol (eterog) se determină prin înmulțirea fragmentării areale cu valoarea de contrast pedologic (Florea N., 2001), putându-se calcula, ca și în cazul precedent, eterogenitatea relativă prin raportare la valoarea maximă. Pe ansamblul regiunii, eterogenitatea relativă a învelișului de sol se situează la un nivel moderat la redus (34%). Cele mai eterogene unități taxonomice sunt erodosolurile calcarice și cambice, datorită atât fragmentării areale mari, cât mai ales contrastului pedologic maxim în raport cu cernoziomul cambic.

Analiza statistică a proprietăților învelișului de sol s-a bazat pe datele extrase din 22 de profile de sol executate în zona Codăești (sud-estul regiunii de studiu) de către un colectiv coordonat de prof. dr. Lupașcu Gh. și prof. dr. Barbu N. Au fost utilizate valorile medii ale proprietăților, ponderate în funcție de grosimea orizonturilor pedogenetice în care apar.

O primă problemă care ne-a acaparat atenția a fost cea a *grupării tipurilor de sol și a variantelor erodate în funcție de asemănarea profilelor pedologice sub raportul însușirilor considerate*. Statistica pune la dispoziția cercetătorului o serie de metode de clasificare automată a datelor. Spre deosebire de clasificările clasice, care au un scop bine stabilit și criterii clare de grupare, clasificările automate au drept unic criteriu similitudinea dintre indivizii ce urmează a fi grupați. Există o varietate de metode ce pot fi utilizate pentru măsurarea similitudinii, cea mai folosită fiind distanța euclidiană, reprezentând, în fapt, aplicarea teoremei lui Pitagora la un spațiu bi-dimensional sau multi-dimensional. De asemenea, clasificările automate pot fi realizate fără a avea în vedere un scop bine stabilit. Practic, o clasificare automată realizează o grupare optimă de indivizi sub raportul similitudinii dintre ei. Numărul de

grupe (clase) poate fi prestabilit (metoda norilor dinamici) sau poate fi ales dintr-o succesiune de grupări cu caracter ierarhic (metoda ierarhizării ascendente).

În lucrarea de față, am optat pentru aplicarea metodei norilor dinamici (*k-means classification*), cu măsurarea similitudinii dintre indivizi (tipurile de sol și variantele erodate) prin calcularea distanțelor euclidiene. Pentru a elimina efectul unităților de măsură diferite ale proprietăților considerate, a fost necesară standardizarea prealabilă a acestora prin calcularea scorurilor z . De asemenea, s-a convenit realizarea a trei grupe de soluri, în ideea obținerii a două grupe extreme și a uneia cu caracter intermediar.

Procedura de clasificare se derulează după cum urmează: se pleacă de la un aranjament arbitrar al indivizilor într-un număr prestabilit de grupe, după care indivizii sunt mutați dintr-o grupă în alta în vederea minimizării varianței din interiorul grupelor și deci maximizării varianței dintre grupe. Numărul de mutări poate fi, de asemenea, specificat de cercetător.

Tabelul 2. Componenta grupelor și valorile medii ale proprietăților de sol generate prin clasificarea automată a datelor folosind metoda norilor dinamici.

Proprietăți	Grupe		
	A	B	C
CZti		CZka/k ₂	CZka/k ₁
CZcb		CZti/e ₁₃	CZgr-cb/e ₁₃
CZcb/e ₁₂		ERcb	RZcb
CZar		CZgr-cb/e ₁₁	FZka
CZgr		ERar	ASka-gc/G ₃
ELti		ASen	
LVst		ASen	
ASka/G ₂		GSmo	
Nisip grosier	3,34	8,91	1,69
Nisip fin	39,29	57,57	34,13
Praf	24,17	14,08	23,08
Argilă	32,60	19,51	41,34
Carbonați	3,63	5,59	7,09
pH	7,36	8,33	8,35
Humus	2,12	1,34	2,95
Azot total	0,155	0,079	0,196
Fosfor mobil	15,73	12,79	22,83
Potasiu mobil	203,22	137,0	332,17

Rezultatele aplicării clasificării prin metoda norilor dinamici sunt redată în tabelul 2. Contribuția proprietăților de sol la discriminarea grupelor este inegală. Contribuții statistic semnificative se constată la 7 din cele 10 proprietăți (conținutul în nisip fin, praf, argilă, reacția soluției solului, conținutul în humus, azot total și potasiu

mobil), marcate cu bold în cadrul tabelului. Inspectând valorile medii ale proprietăților solurilor din cadrul celor 3 grupe, constatăm următoarele:

- Grupa B cuprinde soluri cu textură mai grosieră (lut nisipos), deci proprietăți fizice mai favorabile pentru cultura plantelor, însă mai deficitare sub aspect chimic (pH mai ridicat, humus, azot total și potasiu mobil în cantități mai reduse). Din punct de vedere genetic, constatăm faptul că solurile din această grupă sunt, în general, neevolute sau slab evolute, fie datorită timpului scurt de manifestare a proceselor de solificare (cazul aluviosolurilor entice), fie datorită eroziunii accelerate (cazul erodosolurilor).

- Grupa C cuprinde soluri cu textură mai grea (lut argilos), deci cu proprietăți fizice mai puțin favorabile pentru cultura plantelor, în comparație cu solurile grupei B, însă cu proprietăți chimice mai bune (cantități mai mari de humus, azot total și potasiu mobil). Sub raportul reacției soluției solului, ele sunt slab discriminate de solurile grupei B. Ca și acestea din urmă, solurile grupei C au apariții, în general, cu caracter azonal sau intrazonal, apariții condiționate de factorii ce concură la crearea unei texturi mai argiloase (materialul parental în cazul faeoziomurilor calcarice, aluviosolurilor calcarice-gleice și cernoziomurilor epicalcarice; îmbogățirea relativă în argilă prin îndepărtarea, pe calea eroziunii, a orizonturilor superioare mai grosiere, în cazul cernoziomurilor greice-cambice puternic erodate), sau care favorizează procesele de humificare (cazul rendzinelor).

- Grupa A are caracter intermediar, valorile medii ale proprietăților situându-se între cele proprii grupelor B și C. Din punct de vedere genetic, predomină solurile automorfe (cu caracter zonal), teoretic mai evolute decât solurile celorlalte grupe.

Prin urmare, din punct de vedere genetic, clasificarea automată discriminează destul de clar solurile automorfe, cu caracter zonal, de celelalte soluri, cu pedogeneză incipientă, frânată sau regresivă, datorită restricțiilor impuse de factorul timp, factorii geomorfologici și litologici.

Interesantă este constatarea că soluri automorfe, deși situate în clase genetic-morfologice diferite, sunt mai asemănătoare între ele decât în raport cu variantele erodate. Spre exemplu, cernoziomul cambic este mai apropiat de luvosolul stagic decât de cernoziomul cambic puternic erodat. De asemenea, se constată și faptul că apartenența la o grupă sau alta a solurilor neevolute sau slab evolute nu este întotdeauna clară. Este cazul aluviosolurilor și cernoziomurilor tipice și calcarice. Aceste constatări ar putea fi explicate dacă acceptăm ca reale următoarele două aspecte legate de evoluția solurilor:

- Proprietățile solurilor sunt mai variabile în stadiul inițial al pedogenezei, în comparație cu un stadiu mai avansat. Cu alte cuvinte, pe măsură ce evoluează, personalitatea solului se conturează tot mai clar, astfel încât soluri inițial destul de deosebite, dacă urmează aceeași cale pedogenetică, pot converge spre entități asemănătoare. Variabilitatea mare a proprietăților solurilor în fazele inițiale de evoluție se poate explica prin condiționarea acestora de către factorul litologic. Pe măsura

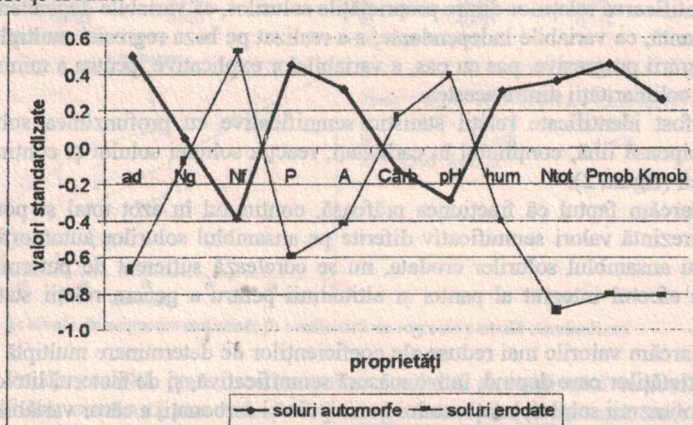
evoluției, roca parentală suferă profunde transformări pedogenetice, influența ei asupra proprietăților solului estompându-se mult în favoarea factorilor bioclimatici. Astfel s-ar putea explica apartenența la grupe diferite a unor soluri asemănătoare genetic.

- Rata pedogenezei este mai accentuată în stadiul inițial al pedogenezei și se atenuază progresiv pe măsură ce solul tinde spre stadiul de climax. Astfel s-ar putea explica asemănarea unor soluri automorfe situate în clase genetic-morfologice diferite.

Ne concentrăm atenția, în cele urmează, asupra diferențelor dintre proprietățile solurilor automorfe și proprietățile solurilor derivate din acestea prin impactul eroziunii accelerate. Clasificarea automată, realizată prin metoda norilor dinamici, ne indică o separare destul de clară între solurile automorfe și cele erodate, însă discriminarea include și efectul unor tipuri de soluri ce nu au variante erodate. Astfel, aluviosolurile și gleiosolurile nu pot avea variante erodate, iar rendzinele și faeozimurile calcarice nu prezintă variante erodate, cel puțin în cadrul eşantionului considerat. Aceste soluri au fost eliminate din analiza ce urmează.

Deoarece sunt comparate eşantioane mici (8 soluri automorfe și 6 soluri erodate), s-a optat pentru utilizarea testului neparametric *U* (Mann-Whitney), care nu face presupuneri referitoare la distribuțiile populațiilor de proveniență ale eşantioanelor și este bine adaptat eşantioanelor de dimensiuni reduse (Hammond R., McCullagh P., 1978).

Figura 1. Diferențe între mediile valorilor standardizate ale proprietăților solurilor automorfe și erodate



Din cele 11 proprietăți considerate, 6 s-au dovedit a fi statistic diferite la nivelul celor două grupe: adâncimea solului, conținutul în nisip, fin, praf, azot total, fosfor și potasiu mobil (figura 1).

Textura mai grosieră a solurilor erodate se poate explica prin dominarea procesului argiloiluvierii laterale, în lungul pantei, în detrimentul argiloiluvierii pe verticală, ceea ce conduce la o îmbogățire relativă (reziduală) a solurilor erodate în fracțiuni grosiere.

Conținutul în macroelemente nutritive este sensibil mai redus în cadrul solurilor erodate, în raport cu cele automorfe, fapt ce explică, în parte, productivitatea mai redusă a acestor soluri. Pierderile de macroelemente nutritive se realizează atât pe calea eroziunii, cât și prin levigare laterală.

Ne punem, în cele ce urmează, problema *posibilităților de cuantificare statistică a relațiilor dintre proprietățile solurilor și factorii pedogenetici*, precum și cea a *identificării unor relații statistic semnificative pe baza cărora o serie de proprietăți să poate fi estimate în funcție de altele*.

Panta sintetizează efectul factorului geomorfologic asupra eroziunii, iar altitudinea înglobează, cel puțin parțial, efectul factorilor bioclimatici și al factorului timp. Astfel, solurile automorfe ce ocupă pozițiile mai înalte ale reliefului (interfluvii sculpturale, structurale) sunt și cele mai vechi, aceste forme fiind primele detașate în cadrul complexului geomorfologic actual și nu au fost semnificativ afectate de eroziune sau depuneri de material. Pe de cealaltă parte, solurile din zonele de luncă, care ocupă deci pozițiile altitudinale joase, sunt cele mai tinere datorită atât timpului mai scurt de manifestare a pedogenezei, cât și reîntinerii lor periodice prin acreția materialului aluvial. De asemenea, altitudinea determină etajarea condițiilor bioclimatice și prin urmare, determină diferențierea pe verticală a intensității și naturii pedogenezei automorfe.

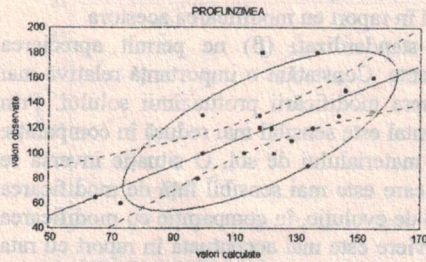
Cuantificarea relațiilor dintre proprietățile solurilor, ca variabile dependente și altitudine – pantă, ca variabile independente, s-a realizat pe baza regresiei multiple, în varianta integrării progresive, pas cu pas, a variabilelor explicative, pentru a minimiza astfel efectul coliniarității dintre acestea.

Au fost identificate relații statistic semnificative cu profunzimea solului, fracțiunea nisipoasă fină, conținutul în carbonați, reacția soluției solului și conținutul în fosfor mobil (figura 2).

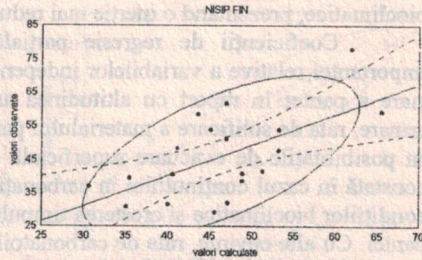
Remarcăm faptul că fracțiunea prăfoasă, conținutul în azot total și potasiu mobil, deși prezintă valori semnificativ diferite pe ansamblul solurilor automorfe, în comparație cu ansamblul solurilor erodate, nu se corelează suficient de puternic cu panta sau cu efectul integrat al pantei și altitudinii pentru a genera relații statistic semnificative.

Remarcăm valorile mai reduse ale coeficienților de determinare multiplă (R^2) în cazul proprietăților care depind, într-o măsură semnificativă, și de factorul litologic. Este cazul profunzimii solului, conținutului în nisip fin și carbonați, a căror variabilitate spațială este explicată în proporție de 35-39% de efectul integrat al factorilor bioclimatici, geomorfologici și al factorului timp.

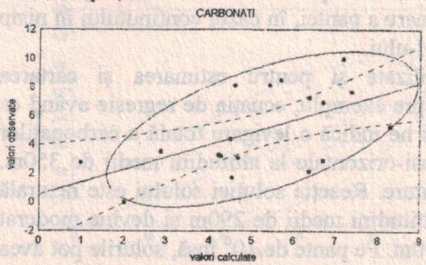
Figura 2. Dependența statistică a unor proprietăți de sol de altitudine – pantă



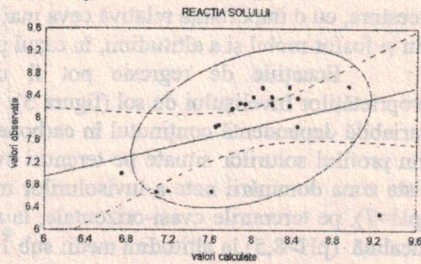
AD = 77,35 - 2,856 PANTA + 0,269 ALTIT ± 26,627
 p 0,017 0,008 0,058
 B -0,713 0,483
 R² = 0,388 p < 0,025



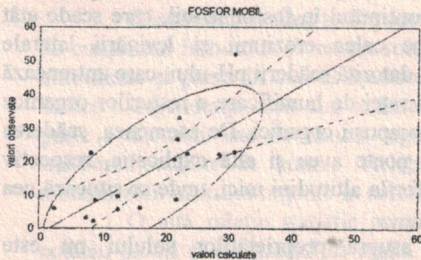
Nf = 67,25 + 1,013 PANTA - 0,123 ALTIT ± 10,906
 p 0,00.. 0,019 0,038
 B 0,637 -0,554
 R² = 0,35 p < 0,04



CARB = 12,967 - 0,037 ALTIT + 0,142 PANTA ± 2,441
 p 0,00.. 0,007 0,122
 B -0,729 0,385
 R² = 0,391 p < 0,024



pH = 9,896 - 0,01 ALTIT + 0,064 PANTA ± 0,427
 p 0,00.. 0,00.. 0,00..
 B -0,865 0,756
 R² = 0,648 p < 0,00..



Pmob = 45,61 - 0,734 PANTA - 0,099 ALTIT ± 9,376
 p 0,00.. 0,043 0,048
 B -0,438 -0,426
 R² = 0,566 p < 0,00..

p: nivele de asigurare statistică; β: coeficienți de regresie parțială standardizați

Pe de cealaltă parte, reacția soluției solului și conținutul în fosfor mobil, depinzând într-o măsură mai redusă de litologia materialului parental, sunt mai bine corelate cu altitudinea și panta, gradul de explicare al variabilității lor spațiale crescând la 57-65%. Pe lângă interferența inegală a factorului litologic, aceste diferențe pot fi explicate și prin inerția proprietăților de sol. În general, proprietățile fizice, precum profunzimea și caracteristicile texturale, prezintă o inerție mai mare față de modificarea factorilor bioclimatici, în special, având adesea caracter poligenetic sau

chiar relict, în timp ce proprietățile chimice sunt, în general, în echilibru cu condițiile bioclimatice, prezentând o inerție mai redusă în raport cu modificarea acestora.

Coeficienții de regresie parțială standardizați (β) ne permit aprecierea importanței relative a variabilelor independente. Constatăm o importanță relativă mai mare a pantei în raport cu altitudinea asupra modificării profunzimii solului. Prin urmare, rata de solificare a materialului parental este sensibil mai redusă în comparație cu posibilitățile de evacuare superficială a materialului de sol. O situație inversă se constată în cazul conținutului în carbonați, care este mai sensibil față de modificarea condițiilor bioclimatice și creșterea timpului de evoluție, în comparație cu modificarea pantei. Cu alte cuvinte, rata de carbonatoluviere este mai accentuată în raport cu rata de regradare reziduală a carbonaților pe terenurile în pantă.

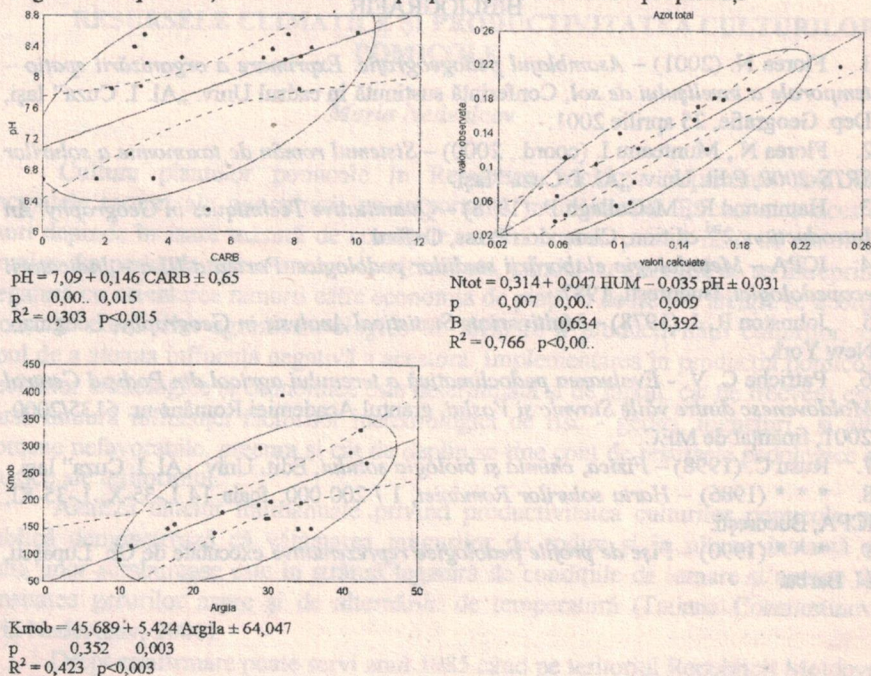
În cazul celorlalte proprietăți de sol, se constată un aport mai echilibrat al celor două categorii de factori pedogenetici la explicarea variabilității spațiale a acestora, cu o importanță relativă ceva mai mare a pantei, în cazul conținutului în nisip fin și fosfor mobil și a altitudinii, în cazul pH-ului.

Ecuatiile de regresie pot fi utilizate și pentru estimarea și cartarea proprietăților învelișului de sol (figura 3). Spre exemplu, ecuația de regresie având ca variabilă dependentă conținutul în carbonați ne indică o levigare totală a carbonaților din profilul solurilor situate pe terenuri cvasi-orizontale la altitudini medii de 350m. Este zona dominării nete a luvisolurilor mature. Reacția soluției solului este neutră (pH=7), pe terenurile cvasi-orizontale, la altitudini medii de 290m și devine moderat alcalină (pH>8,5) la altitudini medii sub 140m. Pe pante de 10° însă, solurile pot avea reacție neutră – slab alcalină până la altitudini de cca 350m, deoarece procesul de eroziune aduce la suprafață materialul mai slab debazificat din profunzimea solului.

Remarcăm că, în general, altitudinea și panta exercită efecte antagonice asupra proprietăților solului. Excepție face conținutul în fosfor mobil, care scade atât cu creșterea pantei, datorită pierderilor pe calea eroziunii și levigării laterale subsuperficiale, cât și cu creșterea altitudinii, datorită scăderii pH-ului, care antrenează accentuarea imobilizării fosforului, reducerii ratei de humificare a resturilor organice și deci a ratei de eliberare a fosforului din compușii organici. De asemenea, scăderea conținutului în fosfor mobil cu altitudinea poate avea și altă explicație, respectiv aportul mai însemnat de îngrășăminte cu fosfor la altitudini mici, unde se situează cea mai mare parte a terenurilor agricole.

Influența factorilor pedogenetici asupra proprietăților solului nu este întotdeauna directă, ci mediată de alte proprietăți. Astfel, reacția soluției solului poate fi apreciată în funcție de conținutul în carbonați care, la rândul său, depinde de influența altitudinii și pantei. Însă gradul de explicare asociat acestei relații ($R^2=0,303$) este mai redus decât gradul de explicare al relației dintre pH și factorii pedogenetici ($R^2=0,648$), deoarece pH-ul depinde și de alți factori, spre exemplu de natura humusului (raportul AH/AF), care la rândul lor sunt explicate, cel puțin parțial, de altitudine și pantă.

Figura 3. Dependența statistică a unor proprietăți de sol de alte proprietăți



Conținutul în azot total poate fi estimat destul de bine ($R^2=0,766$) în funcție de conținutul în humus și reacția soluției solului, dar nu se corelează semnificativ cu altitudinea și panta în cadrul eșantionului considerat. Inspectarea coeficienților β ne indică o dependență mult mai strânsă de conținutul în humus, deoarece cea mai mare parte a azotului este de natură organică și se găsește în lanțurile alifactice atașate macromoleculilor de humus. Relația inversă cu pH-ul se explică prin scăderea mineralizării azotului organic în solurile acide.

O altă relație statistic semnificativă a fost identificată între conținutul în potasiu mobil și conținutul în argilă. Dependența este firească dacă avem în vedere faptul că principala sursă de potasiu mobil din sol o constituie argilele, în special de tipul illitului.

Încheiem acest studiu concluzionând că analiza statistică poate fi deosebit de utilă cercetării învelișului de sol, permițând efectuarea de grupări ale unităților taxonomice în funcție de similitudinea proprietăților lor, stabilirea riguroasă a gradului de diferențiere a acestora sau a altor grupări presupuse a fi diferite (testarea unor ipoteze), estimarea proprietăților de sol în funcție de factorii pedogenetici sau în funcție de alte proprietăți.

BIBLIOGRAFIE

1. Florea N. (2001) – *Asamblajul pedogeografic. Exprimare a organizării spațio – temporale a învelișului de sol*, Conferință susținută în cadrul Univ. „Al. I. Cuza” Iași, Dep. Geografie, 25 aprilie 2001.
2. Florea N., Munteanu I. (coord., 2000) – *Sistemul român de taxonomie a solurilor SRTS-2000*, Edit. Univ. „Al. I. Cuza” Iași.
3. Hammond R., McCullagh P. (1978) – *Quantitative Techniques in Geography. An Introduction*, 2nd edition, Clarendon Press, Oxford.
4. ICPA – *Metodologia elaborării studiilor pedologice. Partea a III-a – Indicatorii ecopedologici*, București, 1987.
5. Johnston R. J. (1978) – *Multivariate Statistical Analysis in Geography*, Longman, New York.
6. Patriche C. V. - *Evaluarea pedoclimatică a terenului agricol din Podișul Central Moldovenesc dintre văile Stavnic și Vashui*, grantul Academiei Române nr. 6135/2000-2001, finanțat de MEC.
7. Rusu C. (1998) – *Fizica, chimia și biologia solului*, Edit. Univ. „Al. I. Cuza” Iași.
8. * * * (1986) – *Harta solurilor României*, 1 / 200 000, foaia 14 L-35-X, L-35-XI, ICPA, București.
9. * * * (1990) – *Fișe de profile pedologice reprezentative executate de Gh. Lupașcu, N. Barbu.*