

Adrian-Cristian Ardelean

**CUANTIFICAREA BUGETULUI DE SEDIMENTE
ȘI DETERMINAREA RATELOR DE DENUDAȚIE
ÎN VALEA DOAMNEI, MUNTII FĂGĂRAȘULUI**



**Editura Universității de Vest
Timișoara, 2019**

CUPRINS

Prefață	7
I. Introducere	11
1.1. NOTIUNI GENERALE.....	11
1.2. OBIECTIVE	14
II. Arealul de studiu	17
2.1. CONSIDERAȚII GENERALE.....	17
2.2. GEOLOGIA.....	18
2.3. MORFOLOGIA AREALULUI	19
2.4. FORMELE DE ACUMULARE SPECIFICE AREALULUI INVESTIGAT.....	22
2.4.1. Conurile, trenule și versanții de grohotiș	23
2.4.2. Ghețarii de pietre.....	24
2.4.3. Depozitele morenaice	26
2.4.4. Depozitele fluvio-torențiale	27
2.5. CLIMA ȘI VEGETAȚIA.....	28
2.6. ISTORICUL CERCETĂRIILOR ÎN MUNȚII FĂGĂRAȘULUI	30
III. Cadrul științific.....	33
3.1. SISTEMUL GEOMORFOLOGIC ALPIN	33
3.2. EVOLUȚIA PARAGLACIARĂ A RELIEFULUI	36
3.3. DEPLASĂRILE GRAVITAȚIONALE INDIVIDUALE ȘI ÎN MASĂ	40
3.3.1. Procesele lente.....	41
3.3.2. Procesele bruște.....	43
3.4. ANALIZA BUGETULUI DE SEDIMENTE	45
3.4.1. Cuantificarea depozitelor sedimentare	48
3.4.2. Determinarea ratelor de denudație	50
IV. Metode utilizate în analiza depozitelor sedimentare	53
4.1. DELIMITAREA FORMELOR DE ACUMULARE A SEDIMENTELOR.....	53
4.2. METODE UTILIZATE ÎN CUANTIFICAREA BUGETULUI DE SEDIMENTE.....	55
4.2.1. Investigațiile geofizice	56
4.2.2. Cuantificarea bugetului de sedimente	84
4.2.3. Determinarea ratelor de denudație și a fluxului de sedimente	89

V. Rezultate	91
5.1. CARACTERISTICILE ȘI DISTRIBUȚIA SPAȚIALĂ A FORMELOR DE ACUMULARE.....	91
5.2. INVESTIGAȚII GEOFIZICE	99
5.2.1 <i>Metoda GPR</i>	99
5.2.2 <i>Metoda ERT</i>	114
5.2.3 <i>Analiza comparativă a celor două metode geofizice utilizate</i>	124
5.2.4 <i>Tipurile genetice de depozite de versant din cadrul Văii Doamnei</i>	129
5.3. CUANTIFICAREA VOLUMULUI DE SEDIMENTE	133
5.3.1 <i>Interpolarea grosimii stratului de sedimente</i>	133
5.3.2 <i>Determinarea volumului de sedimente din cadrul subsistemelor analizate</i>	135
5.4. DETERMINAREA FLUXULUI DE SEDIMENTE ȘI A RATELOR MEDII DE DENUDAȚIE	141
VI. Discuții	147
VII. Concluzii	151
Bibliografie.....	155

I. INTRODUCERE

1.1. Noțiuni generale

În contextul unui echilibru climatic precar, sistemele alpine înalte sunt extrem de sensibile la variațiile climatice globale, reacționând rapid și ireversibil la fluctuațiile de temperatură ale aerului (Kääb *et al.*, 2005, Beniston și Stoffel, 2014).

Etajul înalt sau periglaciari al Carpaților românești se caracterizează prin prezența proceselor geomorfologice complexe care guvernează atât transportul de sedimente, cât și evoluția propriu-zisă a formelor de relief ce îl definesc. Dat fiind faptul că aceste forme de relief prezintă o susceptibilitate sporită la variațiile induse de modificările climatice actuale, numeroase studii (Haerberli și Gruber, 2009, Beylich *et al.*, 2011, Schrott *et al.*, 2012, Gobiet *et al.*, 2014, Stoffel *et al.*, 2014) avertizează că tendința curentă de creștere a temperaturii medii globale va avea un impact puternic asupra evoluției reliefului din cadrul mediilor situate la altitudini și latitudini mari.

De-a lungul timpului, interacțiunea complexă a factorilor climatici și geomorfologici a contribuit decisiv la geneza, evoluția și distribuția spațială a formelor de acumulare a sedimentelor (ex: ghetarii de pietre, conurile și versanții de grohotiș) care descriu actuala configurație a reliefului din mediul alpin înalt. Pentru o viziune cuprinzătoare și edificatoare asupra modului de evoluție postglaciară a acestor areale este absolut necesară îmbogățirea cunoștințelor referitoare la impactul proceselor de versant asupra generării, redistribuirii și implicit, acumulării de sedimente (Schrott *et al.*, 2003). Astfel, studiile ce abordează problematica proceselor de intrare, transport, stocare și deseori, evacuare a sedimentelor dintr-un sistem geomorfologic dat, reprezintă o etapă esențială pentru definirea contextului general de evoluție a mediilor alpine înalte. Această activitate este primordială și cu atât mai importantă în cadrul arealelor montane dens populate care prezintă un risc major la producerea unor potențiale hazarde naturale (Taylor și Steven Kite, 2006).

Termenul de evoluție paraglaciară a reliefului, introdus de Church și Ryder (1972), reprezintă un prim pas în încercarea de a descrie influența proceselor postglaciare asupra evoluției mediilor alpine. Ulterior, datorită complexității și

variabilității, atât temporale cât și spațiale, a proceselor ce guvernează evoluția postglaciară a arealelor montane, numeroși autori au abordat această tematică, elaborând diferite modele de evoluție a reliefului (Church și Slaymaker, 1989, Harbor și Warburton, 1993, Ballantyne, 2003, Dadson și Church, 2005).

Problematica cuantificării bugetului de sediment vizează identificarea și documentarea ariilor sursă, a proceselor de transport, respectiv a zonelor de acumulare a sedimentelor, dintr-un areal predefinit, în vederea creionării unui model cantitativ de evoluție postglaciară a zonei țintă (Slaymaker, 2003). Primele studii care au abordat subiectul documentării proceselor de intrare și de transport a sedimentelor, din cadrul bazinelor hidrografice alpine de mici dimensiuni, au fost întreprinse la sfârșitul anilor 50' (Jäckli, 1957, Rapp, 1960). Lucrarea lui Leopold *et al.* (1966) aduce, de asemenea, contribuții însemnate în acest domeniu. Câțiva ani mai târziu, investigațiile demarate de Caine (1974, 1976) oferă perspectiva existenței unui sistem de transport în cascadă, autorul făcând astfel referire la trecerea sedimentelor din cadrul ariei sursă (ex: versanți de rocă) înspre formele de acumulare a sedimentelor (ex: conuri de grohotiș, ghețari de pietre, morene etc.). Contribuții importante în înțelegerea acestei problematice sunt aduse și de către Meade și Trimble (Meade și Trimble, 1974, Meade, 1982, Trimble, 1983), a căror abordare a vizat determinarea rolului depozitelor aluvionare în cadrul bazinelor sedimentare fluviale, din estul și centrul Statelor Unite ale Americii. Ulterior, studiul întreprins de Swanson *et al.* (1982) a fost primul care a oferit o explicație exhaustivă în ceea ce privește metodologia de întocmire a unui studiu axat pe cuantificarea bugetului de sedimente. Dunne (1994) aduce o altă contribuție importantă în această sferă de activitate, acesta considerând acest tip de abordare drept, coloana vertebrală a unui nou domeniu și anume, hidrogeomorfologia. Autorul semnalează, totodată, printr-o lucrare ulterioară (Reid și Dunne, 1996), rolul cheie pe care îl poate juca cuantificarea bugetului de sedimente în managementul cu succes al problemelor de tip „environmental”.

Cu toate acestea, elementul cheie în cuantificarea bugetului de sedimente postglaciar îl reprezintă determinarea volumului de sedimente (Ballantyne, 2003). În perioada recentă, abordările de acest gen au fost aplicate, pe larg, pentru modelarea grosimii depozitelor sedimentare în diferite areale alpine. Din punct de vedere metodologic, studiile ce vizează cuantificarea sedimentelor sunt diverse, începând de la abordări descriptive bazate pe observații vizuale efectuate in situ, până la abordări de ordin cantitativ ce au la bază investigații directe cum sunt excavațiile, forajele, datările și investigații geofizice de detaliu (Warburton, 1990, Kuhlemann *et al.*, 2001, Schrott și Adams, 2002, Schrott *et al.*, 2003, Otto *et al.*, 2009, Tunnicliffe și Church, 2011, Götz *et al.*, 2013, Müller *et al.*, 2014).

Cuantificarea volumului total de sedimente, dintr-un areal țintă, permite determinarea valorilor medii anuale ale ratei de denudație (proces complex de nivelare a scoarței terestre sub acțiunea factorilor externi, determinând dezagregarea materialelor rezultate și ulterior, transportul și acumularea acestora pe direcția amonte – aval). Cuantificarea volumului de sedimente reprezintă o metodă aplicată pe larg în cuantificarea ratelor de denudație postglaciară. Aceasta oferă, totodată, posibilitatea de a stabili un raport clar între cantitatea de sedimente înmagazinată în cadrul formelor de acumulare și a zonelor depresionare sau a microdepresiunilor, aria sursă a acestora și fereastra temporală de manifestare a proceselor. Astfel, există numeroase abordări axate pe cuantificarea bugetului de sedimente, în cadrul arealelor alpine, pentru determinarea ratelor de denudație și a celor de retragere a versanților (Andre, 1997, Hinderer, 2001, Hoffmann și Schrott, 2002) (Curry și Morris, 2004, Cossart și Fort, 2008b, Delmas *et al.*, 2009).

În ciuda numărului important de lucrări științifice care abordează problematica determinării ratelor medii anuale de denudație pe baza cuantificării bugetului de sedimente, doar o mică parte din acestea se concentrează pe investigarea structurii interne a formelor de acumulare a sedimentelor prin intermediul metodelor geofizice noninvazive și a tehnicilor de modelare SIG (Sisteme Informatice Geografice) (Hoffmann și Schrott, 2002, Schrott *et al.*, 2002, Schrott *et al.*, 2003, Otto *et al.*, 2009).

Problematica cuantificării bugetului de sedimente, prin prisma studierii bazinelor sedimentare alpine de mici dimensiuni, este strâns legată de particularitățile topografiei locale. Aceasta fiind, în general, supusă eroziunii glaciare, este, de regulă, caracterizată de prezența microdepresiunilor glaciare cu rol deosebit de important în reținerea și implicit, înmagazinarea sedimentelor în perioada postglaciară (Götz *et al.*, 2013). Bazinele sedimentare alpine de mici dimensiuni sunt mult mai puțin susceptibile erorilor cauzate de ignorarea cantității de sedimente evacuate în perioada postglaciară, întrucât cantitatea acestora este neglijabilă în raport cu cea înmagazinată în perioada curentă. Astfel, se poate spune că, studiile ce vizează cuantificarea bugetului de sedimente, în cadrul bazinelor alpine de mici dimensiuni, oferă o mai bună înțelegere a evoluției postglaciare în mediile înalte.

Prin urmare, având în vedere următoarele două aspecte: (i) existența unor forme de acumulare emblematice, pentru zona alpină a Carpaților românești, care indică prezența reliefului glaciare, periglaciare și fluvial în zonă, respectiv (ii) existența unor similitudini de ordin litologic, tectonic, climatic, hidrologic și ecologic cu celelalte văi alpine din cadrul masivului Făgăraș, Valea Doamnei fiind astfel considerată mediul ideal pentru elaborarea unui prim studiu ce

are în vedere cuantificarea bugetului de sediment în cadrul unui areal alpin de mici dimensiuni. De asemenea, existența datelor absolute, referitoare la vârsta anumitor morene din cadrul acestui areal (Kuhlemann *et al.*, 2013), au facilitat reproducerea cu exactitate a perioadei postglaciare, permițând astfel determinarea ratelor medii anuale ale denudației cu un grad de acuratețe temporală ridicat.

Lucrarea de față prezintă o cartare detaliată și comprehensivă a formelor de acumulare și implicit, a grosimii depozitelor sedimentare din cadrul sectorului alpin al Văii Doamnei. Derivarea datelor referitoare la grosimea depozitelor sedimentare a avut la bază utilizarea investigațiilor geofizice noninvazive. În cadrul studiului curent au fost realizate un număr de 64 de profile utilizând metoda radarului de penetrație electromagnetică (GPR), respectiv 9 profile de tomografie electrică (ERT). Estimarea volumului total de sedimente s-a bazat pe determinarea locală a cantității de sedimente înmagazinată în cadrul formelor individuale de acumulare a sedimentelor (ex: depozite morenaice, depozite de versant etc.). Acest tip de abordare este unul complex, întrucât urmărește cartarea geomorfologică de mare acuratețe, prin prisma investigațiilor geofizice noninvazive și a tehnicilor de modelare SIG.

1.2. Obiective

Studiul de față își propune analiza distribuției spațiale a formelor de acumulare, respectiv cuantificarea volumului de sedimente, a ratelor de denudație și a fluxului de sedimente din cadrul sectorului alpin al Văii Doamnei. Sistemul fluxului sedimentar este de regulă compus din procesele de transport și depunere sau acumulare, atât a depozitelor grosiere, cât și a celor fine și dizolvate. În acest context, este important de menționat, faptul că în cadrul studiului de față vor fi analizate doar sedimentele aflate în stare solidă. În vederea stabilirii obiectivelor s-a încercat a se căuta răspuns la următoarele întrebări:

1. Care este distribuția formelor de acumulare din cadrul arealului țintă?
2. Care este cantitatea de depozite înmagazinate în cadrul sectorului analizat?
3. Ce tip de forme de acumulare ocupă cea mai mare pondere din volumul total al sedimentelor?
4. Care este metodologia adecvată cuantificării volumului de sedimente din cadrul sectorului superior al Văii Doamnei?
5. Ce concluzii se pot trage pe baza structurii interne a formelor de acumulare?

6. Ce concluzii se pot trage pe baza distribuției formelor de relief cu rol în depozitarea sedimentelor?

Astfel, pentru a răspunde la aceste întrebări, au fost elaborate următoarele obiective:

O₁, Examinarea distribuției spațiale a formelor de acumulare din cadrul arealului investigat;

O₂, Determinarea grosimii și a volumului total de sedimente înmagazinat în sectorul alpin al Văii Doamnei;

O₃, Caracterizarea evoluției postglaciare a Văii Doamnei prin determinarea datelor de denudație și a transportului de sedimente, aplicând metoda cuantificării bugetului de sedimente.

II. AREALUL DE STUDIU

2.1. Considerații generale

Munții Făgărașului reprezintă cel mai impozant sector montan al Carpaților Meridionali, constituind astfel un areal de referință la nivelul Carpaților românești (Voiculescu, 2002b). Aceștia se află situați în jumătatea estică a Carpaților Meridionali, la intersecția paralelei de $45^{\circ}30'$ Lat. N și a meridianului de $24^{\circ}30'$ Long. E. Culmea principală prezintă o desfășurare preponderentă pe direcția E - V, având o lungime cuprinsă între 70 – 80 km și fiind caracterizați de o asimetrie accentuată între versantul nordic și cel sudic.

Munții Făgărașului se individualizează atât prin masivitatea reliefului caracteristic, ocupând o suprafață de aproximativ 1500 km², cât și prin cea mai ridicată concentrare de vârfuri de peste 2500 m din Carpații românești (8 vârfuri), printre care și primele patru vârfuri ca altitudine din țara noastră: Vf. Moldoveanu 2544 m, Vf. Negoiu 2535 m, Vf. Viștea Mare 2527 m și Vf. Lespezi 2522 m.

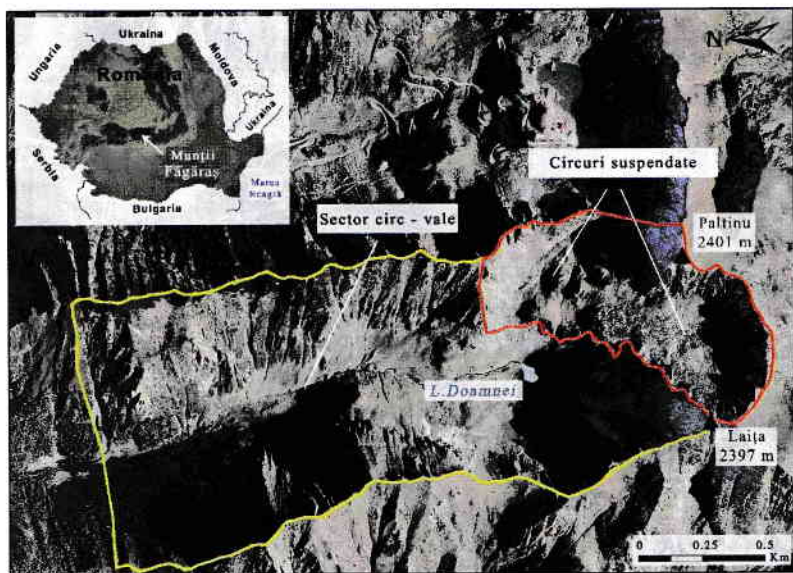


Fig. 2.1. Localizarea arealului de studiu (sursa: Ardelean *et al.*, 2017).

Valea glaciară a Doamnei este situată în partea central-vestică a Munților Făgărașului, cu extensiune pe versantul nordic (fig. 2.1.). Sectorul investigat este flancat în partea superioară de două vârfuri impozante a căror altitudini depășesc 2300 m (Vf. Laița 2397 și Vârful Paltinu 2399). La altitudini de peste 2000 m, în extremitatea sud-estică a arealului, se regăsesc două circuri glaciare suspendate, a căror specificitate este dată de însăși denumirea lor: Căldarea Pietroasă și Căldărușa cu Iarbă. Sectorul investigat se desfășoară pe un interval altitudinal cuprins între 1500 – 2400 m, prezentând o desfășurare sinuoasă, fără a se remarca o concentrare a suprafețelor pe anumite intervale altitudinale (fig. 2.2.).

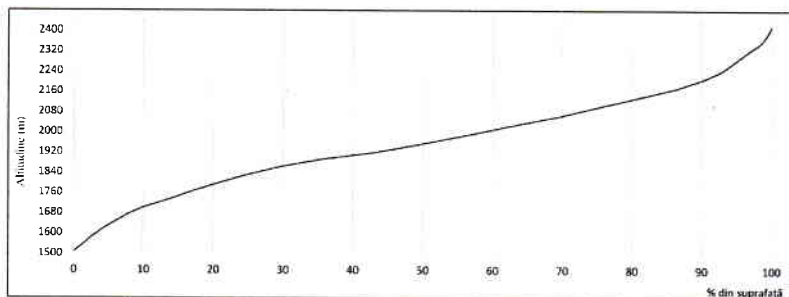


Fig. 2.2. Desfășurarea altitudinală a sectorului investigat.

2.2. Geologia

Într-un cadru extins Munții Făgărașului se aliniază, din punct de vedere geologic, Domeniului Supragetic, cu o predominanță a șisturilor cristaline



Foto 2.1. Igheabul Văros, versantul cu expoziție estică al Văii Doamnei.

aparținând seriilor de Cumpăna și Făgăraș, fiind totodată caracterizați de numeroase variații petrografice induse de intercalațiile de calcare, dolomite și amfibolite (Dimitrescu, 1963). În ceea ce privește alcătuirea geologică a sectorului investigat, acesta se individualizează prin structuri litologice specifice care includ micașisturi, paragneise și șisturi sericito-cloritoase, precum și corpuri izolate de calcare și dolomite cristaline (Pană, 1990), reprezentate în cadrul arealului analizat prin formațiunea denumită Jgheabul Văros (foto 2.1).

2.3. Morfologia arealului

Prezența ghețarilor pleistoceni, a căror ocurență a fost semnalată pentru întâia oară cu peste 130 de ani în urmă, de către Lehmann (1881, 1885), au înregistrat extensiunea maximă în cadrul fazei Lolaia, perioadă în care limita altitudinală a ghețarului care ocupa complexul glaciuar din Valea Doamnei cobora aproximativ până la altitudinea de 1220 m (Urdea, 2004). Acțiunea erozională a ghețarului a lăsat în urmă o serie de elemente definitorii ale reliefului glaciuar: circuri și văi glaciare, umeri și praguri glaciare, creste înguste de tip „arête”, șei de transfluență glaciară (Șaua Bâlei), berbeci glaciari, suprafețe șlefuite, striuri glaciare și implicit, la altitudini de peste 1600 m, probabil cel mai elocvent complex morenaic din Munții Făgărașului,

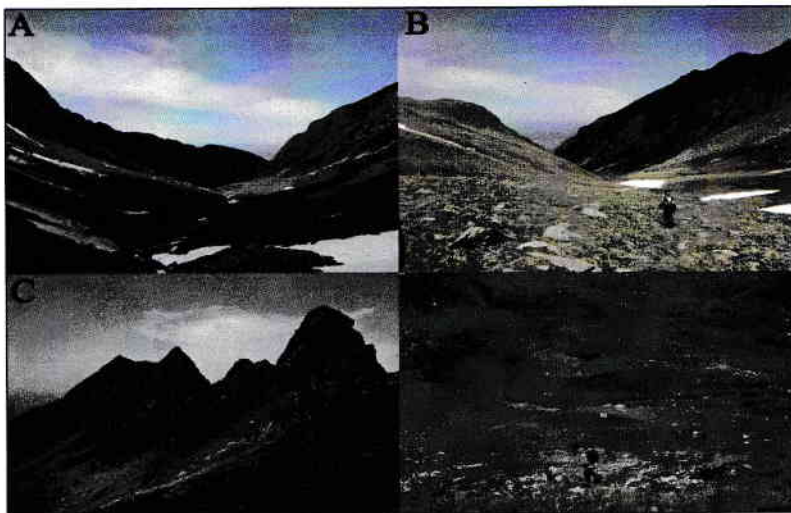


Foto 2.2. Elementele specifice reliefului glaciuar din cadrul Văii Doamnei;
A – valea glaciară, B – umăr glaciuar, C – creastă de tip custură/arête,
D – Lacul Doamnei și relieful morenaic limitrof.

care sugerează la rândul său o modelare policiclică a reliefului (Urdea *et al.*, 2007) (foto 2.2). Astfel, în partea superioară a arealului investigat, începând de la altitudinea de 1850 m, se găsește cercul de tip complex sau *outer* Doamna Mare, cu o lungime maximă de peste 1400 m, respectiv o lățime maximă de peste 1200 m (tabelul 2.1), în cadrul acestuia individualizându-se două circuri suspendate de tip circ-în-circ sau *inner cirque* și anume Căldărușa cu Iarbă (Doamna Mică 1), respectiv Căldarea Pietroasă (Doamna Mică 2) (Mîndrescu, 2006).

Tabelul 2.1. Principalii parametri morfometrici ai circurilor din cadrul arealului investigat (după Mîndrescu, 2006).

Denumire	AminP	AmaxP	L	l	Exp	Pmin	Pmax
Doamna Mare	1850	1950	1407	1292	347	0	63,5
Căldărușa cu Iarbă	1950	2150	310	950	273	7	52,2
Căldarea Pietroasă	2050	2150	707	680	354	3,4	60,8

* *AminP* – altitudine minimă podea (m), *AmaxP* – altitudine maximă podea (m), *L* – lungime (m), *l* – lățime (m), *Exp* – expoziție (grade), *Pmin* – panta minimă (grade), *Pmax* – panta maximă (grade).

Condițiile climatice din Pleistocen au favorizat, de asemenea, apariția și dezvoltarea proceselor periglaciare, prezente în arealul de studiu prin prisma numeroaselor curgeri de sfărâmături, căderi de pietre, lobi de solifluxiune, blocuri reptante și bineînțeles, ghețari de pietre care sunt cele mai reprezentative și impozante forme ale acțiunii de modelare a suprafeței topografice prin acțiunea de creep a permafrostului. Aceștia din urmă sunt reprezentați pe suprafața arealului investigat, de ghețarul de pietre Pietroasa, situat în căldarea suspendată omonimă. Prezența permafrostului în cadrul arealului investigat a fost dezbătută, în ultimii ani, în cadrul a numeroase studii de specialitate (Urdea, 1993, Urdea, 1997, Urdea, 1998, Onaca *et al.*, 2013b).

Morfologia actuală a arealului de studiu este dominată de manifestarea proceselor periglaciare tipice (Urdea, 2004) care în combinație cu litologia specifică arealului investigat prezintă o sensibilitate ridicată la procesul de îngheț-dezgheț (foto 2.3), contribuind astfel, prin procesul de gelifracție,

la formarea blocurilor de dimensiuni medii și mari, acumulate în depozite specifice (ghețari de pietre, conuri și versanți de grohotiș, râuri de pietre sau protalus rampart), având o frecvență ridicată în sectorul alpin, la altitudini de peste 1700 m (fig. 2.3).



Foto 2.3. Bloc afectat de acțiunea procesului de îngheț-dezgheț.

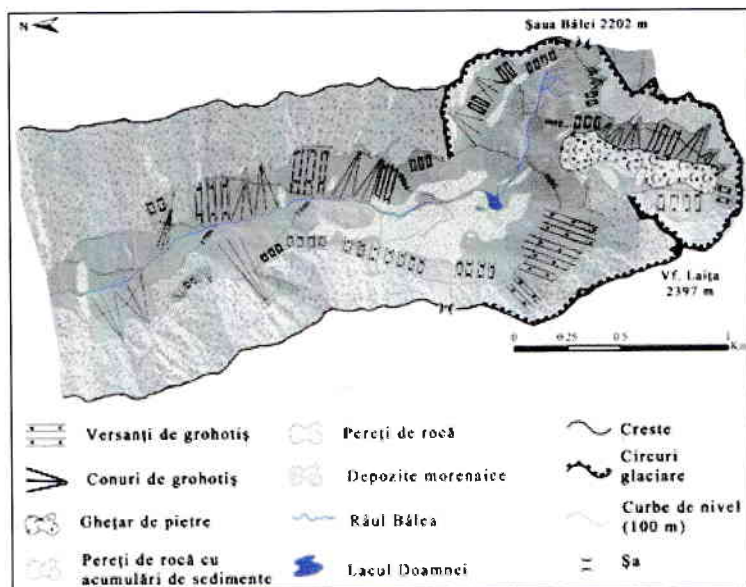


Fig. 2.3. Schița geomorfologică a arealului investigat.