

Marcel MÎNDRESCU

**GEOMORFOMETRIA CIRCURILOR GLACIARE DIN CARPAȚII
ROMÂNEȘTI**

Editura Universității “Ștefan cel Mare”



Suceava, 2016

Părinților mei, Elena și Mihai

Cuprins

Cuprins.....	1
Foreword.....	3
Cuvânt înainte.....	4
Mulțumiri.....	6
1. Introducere.....	8
2. Stadiul actual al cunoașterii circurilor glaciare din Carpații Românești.....	11
3. Aspecte teoretice privind circurile glaciare.....	21
3.1. Definiții.....	21
3.2. Elementele circurilor glaciare.....	23
3.3. Procesele specifice ghețarilor de circ.....	29
3.4. Teorii privind formarea circurilor glaciare.....	29
3.5. Clasificarea ghețarilor.....	30
3.6. Dezvoltarea circurilor.....	31
3.7. Liniile climatice specifice ghețarilor de circ.....	32
3.8. Degradarea circurilor glaciare.....	34
3.9. Expansiunea și decăderea ghețarilor de circ din Carpații Românești.....	34
4. Metodologia cercetării geomorfometrice a circurilor glaciare.....	36
4.1. Exploatarea hărților topografice în cercetarea geomorfometrică a circurilor glaciare.....	36
4.2. Identificarea circurilor.....	38
4.3. Delimitarea circurilor glaciare.....	39
4.4. Definirea și măsurarea variabilelor.....	40
4.5. Confruntarea cu terenul (etapa de teren).....	50
4.6. Geomorfometria circurilor glaciare <i>on screen</i> (etapa de laborator).....	54
5. Repartiția și gruparea circurilor glaciare.....	59
5.1. Introducere.....	59
5.2. Poziția geografică a circurilor.....	63
5.3. Nomenclatorul circurilor.....	64
5.4. Densitatea circurilor glaciare.....	64
5.5. Asimetria circurilor glaciare.....	66
5.6. Mărimea și masivitatea arilor glaciare.....	69
5.7. Coeficientul de glaciație.....	72
5.8. Gruparea circurilor glaciare.....	73
6. Altitudinea circurilor glaciare.....	77
7. Mărimea circurilor glaciare.....	90

8. Forma circurilor glaciare.....	105
8.1. Dezvoltarea alometrică a circurilor.....	116
9. Orientarea circurilor glaciare.....	118
10. Geologia circurilor glaciare.....	129
11. Clasificarea circurilor glaciare.....	140
11.1. Gradul de dezvoltare sau ordinul circurilor.....	140
11.2. Circurile complexe și interne: amalgamarea circurilor.....	147
12. Concluzii.....	159
Bibliografie.....	164

Foreword

Romania has an amazingly fortunate topography, with many mountain ranges rising to between 1800 and 2544 m so that they were high enough to nourish glaciers and small ice caps during the last glaciation and earlier. These erosive glaciers excavated hollows known as glacial cirques, which are almost the best evidence we have of the former existence of glaciers. Each range has a distinctive character, resulting from its climate, geology and tectonic history, and they show varying degrees of glacial modification. Glaciation has been investigated in Romania since the late nineteenth century; since 1950 there have been detailed regional studies of several mountain ranges. A broad, quantitative overview has been lacking, however, and this is what Dr. Marcel Mîndrescu provides in this thesis.

Marcel has walked over all these ranges and mapped cirques on a comparable basis, using also air photographs and topographic maps at 1:25,000 and 1:10,000 scale. He has digitised their outlines and used GIS and statistics to analyse their distribution, form and relation to inferred climate. This permits a nationwide interpretation of mountain climate during glacial periods, and produces a large data set for comparison with studies in other parts of the world. The standardised morphological data provide a sampling framework for more detailed studies, including work on Quaternary chronology, postglacial modification and environmental management.

Marcel's undergraduate and graduate studies were mainly at "Al. I. Cuza" Iași University. Since 1998 he has taught various branches of physical geography at Universitatea "Ștefan cel Mare", Suceava, and taken many groups of fit geography students to the mountains considered here. His interpretations are further enriched by a wide field experience in glaciated mountains outside Romania, in the Carpathians, European Alps, Britain, British Columbia and the Nepal Himalaya, both with and without present-day glaciers. On several of these I have been very happy to accompany him!

Marcel first came to Durham University as an ERASMUS MSc student in 1999 and has made numerous visits since, as well as extended visits to Universities in Manchester, Salford, Bern, Berlin, Budapest, Krakow and Ljubljana. He has edited two volumes and published numerous papers, including 15 in international journals, one book and chapters in four books. Marcel has directed research projects on the Carpathians, including lake sediments and climate change, and has presented over 40 papers at international conferences.

Publication of this "Al. I. Cuza" Iași University thesis provides a valuable service to both glacial geomorphology and quantitative geography in Romania, and provides a basis for further regional studies of Romania's mountains. After setting the work in the context of research on Romanian glaciation and cirque-forming processes, the distribution of cirques by mountain range and with altitude and aspect is analysed. Cirque dimensions and shape are assessed and related to position and geology. Finally a classification of cirques is offered.

Ian S. Evans, MS, MA, PhD, Dr HC

University of Durham, Department of Geography, United Kingdom
Honorary Member of Quaternary Research Association and Japanese Geomorphological Union;
Former Chairman of International Society for Geomorphometry and British Geomorphological
Research Group
2016

Cuvânt înainte

“For the moving of large masses of rock,
the most powerful engines without doubt
which nature employs are the glaciers, ...”
- John Playfair (1802, p. 388)

Lucrarea de față constituie o sinteză a tezei de doctorat, respectiv rezultatul studiilor și cercetărilor de teren realizate în Carpații Românești pe parcursul a 7 ani (1999 - 2006) sub îndrumarea prof. univ. dr. I. Hârjoabă de la Facultatea de Geografie a Universității “Al. I. Cuza” din Iași, de la care am primit îndrumări competente și sprijin necondiționat pe tot parcursul stagiului doctoral. Susținerea publică a tezei de doctorat a avut loc la data de 21 ianuarie 2006, într-o zi geroasă de iarnă, la Universitatea “Al. I. Cuza” din Iași.

Încă din anii studenției am fost fascinat de geomorfologie, în general, și de relieful glaciari, în particular, astfel încât la finalul studiilor geografice, pe care le-am urmat în perioada 1993 - 1997 tot la Facultatea de Geografie din Iași, am realizat primul studiu de geomorfologie montană, cu ocazia prezentării lucrării de licență cu titlul „Munții Maramureșului. Studiu geomorfologic” (coordonator științific șef lucrări Constantin Rusu). Cu această ocazie, în timpul cercetărilor din munții Maramureșului am constatat că ariile glaciare din Carpații Românești nu sunt nici pe departe cunoscute sau cercetate în detaliu.

Grație programelor educaționale europene (Erasmus) care au încurajat schimburile academice, am avut șansa de a fi masterand al Departamentului de Geografie din cadrul Universității Durham din Marea Britanie în anul 1999, unde l-am cunoscut pe profesorul Ian S. Evans, ale cărui preocupări erau (și sunt încă) orientate către studiul morfologiei reliefului glaciari și, în special, al circurilor glaciare. De aici a mai fost doar un pas până la cristalizarea ideii de a realiza acest studiu privind geomorfometria circurilor glaciare din Carpații Românești, un demers care a necesitat multă voință, muncă și pasiune.

Deși au trecut 10 ani de la finalizarea și prezentarea rezultatelor acestor cercetări, considerăm că publicarea studiului de față este deosebit de utilă pentru geomorfologia Carpaților Românești, întrucât până la această dată constituie lucrarea care abordează cea mai mare populație de circuri glaciare. De altfel, pe parcursul ultimului deceniu, teza de doctorat (în manuscris) a fost citată în diferite publicații *web of science*, iar valorificând imensa bază de date obținută cu ocazia realizării ei au fost definitivate două articole științifice de prim autor, publicate în reviste prestigioase din domeniu (*Journal of Quaternary Science* și *Geomorphology*), dar și două hărți publicate, cu text științific, cuprinzând circurile glaciare, respectiv, lacurile și turbăriile glaciare din Carpații Românești.

După finalizarea studiilor doctorale, preocupările mele au căpătat valențe diferite, prin includerea analizei sedimentelor lacustre (mai ales a celor din lacurile glaciare), însă aria de studiu a rămas aceeași, zona subalpină și alpină a Carpaților Românești. Rezultatele s-au concretizat într-o serie de studii de paleolimnologie, în care am utilizat sedimentele lacustre pentru evaluarea condițiilor climatice, a impactului antropic și chiar pentru reconstituiri climatice de pe parcursul Holocenului.

Aceste interese științifice au culminat cu organizarea a patru conferințe de anvergură internațională la Suceava și Cluj-Napoca, care au reunit oameni de știință interesați de reconstituirea climatică de la sfârșitul Pleistocenului și Holocenului din aria Carpato-Balcanică, trei dintre acestea fiind susținute financiar de prestigioasa asociație științifică Past Global Changes din Elveția (PAGES). În urma acestor conferințe am coordonat, în calitate de

editor invitat, două volume *web of science* în care au fost publicate cele mai importante contribuții ale participanților (vol. 293 / 2013 și 415 / 2016 ale *Quaternary International*).

În ceea ce privește geomorfologia reliefului glaciatic, am fost preocupat atât de relieful glaciatic din Carpații Românești, cât și din alte arii glaciare, printre care munții Himalaya, Coastele (Columbia Britanică, Canada), Alpii Europeni, Apalași, Nevada, Marea Britanie, Tatra, Pirinei sau Carpații Ucraineni, unde am realizat expediții științifice alături de specialiști consacrați.

Mulțumiri

Din păcate, coordonatorul științific al tezei de doctorat nu mai este printre noi, însă îi voi fi întotdeauna recunoscător pentru curajul de a mă fi cooptat în echipa dumnealui. Profesorul Hârjoabă, atât cât l-am cunoscut, era un om cu un caracter puternic, abil și adeseori sclipitor. Cu toate că dumnealui nu s-a numărat printre specialiștii geomorfologiei glaciare, a fost printre puținii profesori care au văzut în mine un potențial bun geomorfolog, așa încât m-a susținut necondiționat, inclusiv în fața colegilor săi, pe tot parcursul realizării tezei de doctorat. Mulțumesc domnule profesor!

Un alt profesor care mi-a marcat evoluția în domeniul geomorfologiei a fost Ioniță Ichim, deși, din păcate, timpul petrecut cu dumnealui a fost foarte scurt. Conform unei opinii larg împărtășite în mediul academic geografic, acesta s-a numărat printre cei mari mari geomorfologi pe care i-a dat România, fiind respectat atât în țară, cât și în străinătate. Nu întâmplător, profesorul Ian Evans îmi aducea aminte mereu, la finalul vizitelor în Marea Britanie, să îi transmit urările lui de bine lui Ioniță Ichim. Cei doi s-au întâlnit pentru prima dată în România în vara anului 1974, rămânând din acel moment buni prieteni și colaboratori. Cu toate că profesorul Ichim nu a fost specializat în mod deosebit în relieful glaciare, am avut norocul de a face parte din ultima generație de studenți pentru care a ținut cursul de geomorfologie generală (anul universitar 1994 - 1995), și îi sunt recunoscător pentru pasiunea care o avea pentru geomorfologie și pentru profesionalismul de care a dat dovadă.

De asemenea, profesorul și camaradul de incursiuni geografice Constantin Rusu a fost unul dintre oamenii care m-au susținut pe parcursul anilor de studenție și al pregătirii mele doctorale. A fost, de cele mai multe ori, „omul din umbră”, care a vegheat ca lucrurile să meargă într-o direcție bună cu mine, deși, din păcate, nu împreună. Însă pentru susținerea și pentru încrederea pe care mi le-a acordat, și pentru felul în care m-a recomandat în decursul timpului, țin să îi mulțumesc.

Totuși, omul care a contribuit cel mai mult la evoluția mea științifică în domeniul geomorfologiei glaciare a fost și încă este profesorul Ian Evans de la Universitatea Durham, Marea Britanie, pe care l-am întâlnit pentru prima dată în 1999, și cu care am ținut legătura aproape permanent de atunci. Valoarea studiului de față este dublată de faptul că profesorul Evans a verificat toate informațiile importante și întreaga bază de date privind geomorfometria circurilor glaciare realizată de către mine. Cu alte cuvinte, nu am plecat la drum până ce profesorul Evans nu s-a convins că am făcut totul ca la carte, conform metodologiei. Un britanic veritabil, organizat și serios, Ian Evans este recunoscut ca fiind unul dintre cei mai importanți cercetători ai circurilor glaciare la nivel mondial. Dumnealui m-a susținut la fiecare vizită pe care am realizat-o în Marea Britanie, inclusiv financiar, acoperind costurile pentru toate excursiile de studiu realizate împreună în țara sa, și mereu m-a ajutat, corectat și încurajat. Ca o curiozitate, printre vizitatorii profesorului Evans s-a numărat și profesorul Ion Sârcu, care a efectuat două vizite la Durham. Astfel, cele mai multe mulțumiri pentru realizarea acestui studiu se îndreaptă către profesorul Ian Evans, dar și către soția dumnealui, Marta. Astăzi suntem colaboratori, colegi și prieteni. Pentru contribuția sa la promovarea și progresul geomorfologiei din România (inclusiv prin faptul că a ajutat și susținut o serie întreagă de geografi români prin trimiterea de studii științifice în timpul comunismului și consiliere în domeniul geomorfometriei), profesorului Ian Evans i s-a acordat și titlul de Doctor Honoris Causa al Universității ”Ștefan cel Mare” din Suceava la data de 20 octombrie 2012. Thank you very much, professor Evans!

Cu tot sprijinul celor menționați, acest studiu nu s-ar fi putut realiza fără ajutorul familiei, prietenilor și studenților mei. Familia mi-a fost mereu aproape, deși sunt singurul plecat din locurile de baștină, Podișul Central Moldovenesc. De aceea, acest studiu este dedicat părinților mei, Elena și Mihai Mîndrescu.

Soția mea, Ionela, este cel mai bun prieten, colaborator și critic (constructiv), dar și cel mai atent cititor al lucrărilor mele. Astfel, alături de mine se află persoana care îmi oferă încredere și suport necondiționat, și împreună cu ea deschid cele mai interesante și frumoase uși, chiar și pe cele care par bine ferecate.

Nu pot să închei fără să amintesc și de prietenii care m-au ajutat să mă adaptez foarte repede în ținutului obcinelor și mănăstirilor bucovinene. Deși la sosirea mea în Bucovina în 1998 îmi propusesem să nu rămân un timp prea îndelungat la Suceava, studenții și mai apoi prietenii mei m-au convins să mă stabilesc aici, fiindu-mi companioni pe drumuri de munte, susținători la greu și camarazi de ceai în jurul focului, după zilele grele de teren. Aș fi dorit și ar fi meritat ca unii dintr-ei să se dedice geografiei, ca și mine. Nu am reușit, din varii motive, însă m-am ales cu prietenia lor sinceră: Ștefan Calistru și Eduard Vulcan. Ambii au studiat la Universitatea Durham, ca masteranzi, și m-au ajutat la măsurarea circurilor și realizarea de prezentări științifice, pentru care le sunt recunoscător. Pe lângă aceștia, au fost și sunt alături de mine, de peste 15 ani, Marius Crill, Cezar Ciobanu, Paul Antoniac, Ionuț-Alexandru Cristea, Daniel Forgaci, Cătălin Boicu și alții.

De asemenea, printre cei care au contribuit financiar pentru suținerea demersurilor mele științifice s-au numărat doi prieteni pe care i-am cunoscut de la distanță în timpul studiilor mele doctorale. De aceea, le aduc mulțumiri profesorului universitar Gary Davis din Saint John, New Brunswick (Canada) și pictoriței Claudia Zachmann din Wiesbaden, landul Hessa (Germania).

În final, doresc să le mulțumesc celor doi referenți științifici ai acestui studiu, prof. univ. dr. Dănuț Petrea, de la Universitatea "Babeș-Bolyai" din Cluj-Napoca și conf. univ. dr. Ciprian Mihai Mărgărint, de la Universitatea "Al. I. Cuza" Iași.

Mulțumesc tuturor celor care au fost alături de mine.

Vă doresc lectură frumoasă!

Dr. Marcel Mîndrescu
Departamentul de Geografie
Universitatea Suceava
2016

1. Introducere

Geometria formelor de relief este abordată pentru prima dată în literatura de specialitate străină în lucrările de geomorfologie fluvială, mai întâi la Leopold & Maddok (1953), unde se menționează geometria hidraulică, și ulterior la Langbein (1964, geometria meandrelor) și Hook & Rohrer (1979, geometria conurilor aluviale).

Termenul **geomorfometrie** a fost propus și promovat de către Evans (1972) în contextul studierii și analizei statistice și spațiale a circurilor glaciare. În raport cu cele două modalități majore de analiză geomorfometrică definite de Evans (1972) - cea specifică, care vizează elementele discrete ale suprafeței terestre (forme de relief), și cea generală, care tratează suprafața terestră ca pe un continuum -, morfometria formelor de relief, bazându-se sau nu pe date digitale, aparține geomorfologiei cantitative. Termenul ca atare, însă, datează cel puțin de la Neuenschwander (1944) și Tricart (1947), care au dorit să facă distincția între morfometria organismelor vii și cea a formelor de relief.

În prezent, geomorfometria este percepută ca știința analizei cantitative a terenurilor (Pike, 2000), constituind o abordare modernă, analitico-cartografică, de reprezentare a topografiei terestre cu ajutorul computerului. Geomorfometria este un domeniu interdisciplinar derivat din matematică, științele Pământului, și, cel mai recent, din știința calculatoarelor. Reprezentarea numerică a suprafeței topografice mai este cunoscută sub denumiri variate, printre care modelarea terenului / *terrain modelling* (Li et al., 2005), analiza terenului / *terrain analysis* (Wilson & Gallant, 2000) sau știința topografiei / *science of topography* (Mark & Smith, 2004).

O astfel de abordare de geomorfometrie specifică (sens Evans) a fost aplicat pentru întreaga populație de circuri glaciare din Carpații Românești, acestea fiind identificate, delimitate, măsurate și evaluate calitativ. Cele mai importante variabile obținute în cadrul acestui vast demers sunt prezentate grafic și tabelar în primul nomenclator al circurilor glaciare din România (Mîndrescu, 2016).

Studiul de față a fost structurat după următoarele secțiuni:

i). stadiul actual al cunoașterii circurilor glaciare din Carpații Românești, care rezumă contribuțiile aduse de geomorfologii străini și români care au studiat relieful glaciare din Carpații Românești începând din anul 1880 până în prezent. Studiile de geomorfologie glaciare pot fi grupate în: studii generale privind relieful glaciare (sinteze sau studii locale) și studii speciale privind circurile glaciare (sinteze, studii locale și teoretice);

ii). aspecte teoretice privind circurile glaciare, secțiune care pune în discuție definirea circurilor, elementele și procesele specifice acestora, formarea circurilor, clasificarea ghețarilor, liniile climatice specifice ariilor glaciare cu circuri glaciare, degradarea circurilor după deglaciație precum și expansiunea și decăderea ghețarilor de circ din Carpații Românești;

iii). metodologia cercetării geomorfometrice a circurilor glaciare, care detaliază metodologia utilizată pentru analiza morfometrică a circurilor glaciare. Metodele și tehnicile aplicate sunt compatibile cu cele folosite la nivel mondial, astfel încât baza de date obținută comportă comparații și corelații cu alte arii glaciare cu circuri glaciare;

iv). repartiția și gruparea circurilor glaciare, în care sunt prezentate concluzii generale privind repartiția circurilor în raport cu ramurile montane și masivele glaciare, poziția geografică exactă a circurilor, definirea nomenclatorului circurilor, densitatea circurilor, asimetria circurilor, mărimea și masivitatea ariilor montane glaciare din Carpații Românești, coeficientul de glaciație și, în final, gruparea circurilor;

v). altitudinea circurilor glaciare, care analizează distribuția pe verticală a circurilor glaciare, dar și variația acestora în altitudine în funcție de cei mai importanți factori de control (altitudinea maximă a masivului, expoziția versanților, latitudine, longitudine etc.);

vi). mărimea circurilor glaciare, unde este definit circuitul mediu carpatic și sunt comparate dimensiunile circurilor situate în diferite arii montane din Carpații Românești, stabilindu-se, de asemenea, și diferențele și similitudinile dimensionale între acestea și circurile specifice altor regiuni montane (ex. din Tatra și Pirinei). Au fost stabilite corelații atât între variabilele dimensionale, cât și între acestea și restul variabilelor, pe baza cărora s-au emis diferite ipoteze și concluzii;

vii). forma circurilor glaciare, care pune accentul pe forma în plan orizontal (gradul de zăvorăre orizontală) și vertical (gradul de zăvorăre verticală), precum și pe variabilitatea formei acestora în funcție de cei mai importanți factori de control (ex. geologie, altitudine, gradul de evoluție a circurilor etc.). O atenție deosebită a fost acordată problemei dezvoltării alometrice a circurilor glaciare din Carpații Românești, dar și comparației cu alte populații de circuri de pe Terra;

viii). orientarea circurilor glaciare, secțiune în care au fost puse în discuție diagramele vectorilor cumulați ai orientării circurilor glaciare, atât pentru Carpații Românești, cât și pentru ramurile CR și pentru fiecare masiv în parte. Pe baza corelațiilor realizate au putut fi identificați factorii care au influențat în cea mai consistentă măsură direcția de curgere a ghețarilor de circ, și, în consecință, orientarea circurilor glaciare actuale (ex. altitudinea, expoziția versanților, latitudinea, longitudinea etc.). Această secțiune oferă cele mai multe informații paleoclimatice determinate pe baza vectorilor de orientare ai circurilor glaciare;

ix). geologia circurilor glaciare, în care circurile sunt repartizate la 16 clase de litologie, rezultând o varietate de entități în ceea ce privește tipul de rocă pe care s-au format circurile. În cadrul acestora s-au realizat varii corelații și comparații pentru a determina gradul și modul în care litologia circurilor a influențat dezvoltarea, mărimea sau înclinarea elementelor principale ale circurilor (spătarul și podeaua), punând în evidență susceptibilitatea anumitor roci pentru subsăparea glaciară și frecvența mare a cuvetelor glaciare (azi ocupate de lacuri glaciare). În final sunt propuse două modele de evoluție a circurilor în funcție de unghiul format dintre stratele geologice și axa mediană a circurilor;

x). clasificarea circurilor glaciare rezumă unele concluzii privind variabilitatea de formă și mărime, precum și tipologia circurilor glaciare, cu accent pe specificitatea Carpaților Românești. Spații largi sunt acordate gradului de dezvoltare (ordinul circurilor), diferențierilor dintre circurile complexe și cele interne (amalgamarea circurilor), și distincției între circurile glaciare și cele nivale. O ultimă clasificare a circurilor glaciare din această secțiune ține cont de poziția circurilor față de linia zăpezilor din Pleistocen, precum și de balanța ghețarilor de circ, fiind identificate și în Carpații Românești circurile de tip fotoliu (fotolii glaciare) și cele alpine (carpatice înalte).

Pentru realizarea acestui studiu a fost analizat un set considerabil de variabile, măsurate pe hărțile topografice la scară mare, în urma analizei cantitative fiind evidențiați o serie de factori de control specifici circurilor glaciare. Setul de variabile a fost măsurat pentru întreaga populație de circuri glaciare din Carpații Românești, indiferent de gradul lor de

evoluție și dezvoltare, aceasta fiind singura modalitate de a realiza corelații intra- sau interregionale.

Studiul geomorfometriei circurilor glaciare are, de regulă, o serie de obiective care includ:

- ⇒ crearea unui suport metodologic pentru identificarea circurilor;
- ⇒ stabilirea formei și mărimii circurilor;
- ⇒ scoaterea în evidență a relațiilor dintre mărime și formă;
- ⇒ stabilirea factorilor de control pentru mărime, formă și poziție;
- ⇒ realizarea unui model al dezvoltării circurilor glaciare;
- ⇒ evaluarea condițiilor climatice din timpul fazelor glaciare;
- ⇒ încurajarea studiilor interdisciplinare care vizează ariile cele mai vulnerabile la schimbările climatice, așa cum sunt ariile subalpine și alpine din Carpații Românești.

2. Stadiul actual al cunoașterii circurilor glaciare din Carpații Românești

Metodele moderne de studiere a reliefului glaciare încep să fie utilizate abia către sfârșitul secolului al XIX-lea. Începând cu această perioadă, în funcție de modul de lucru și de rezultatele obținute de către cei care au abordat această tematică, pot fi delimitate cinci etape distincte care s-au individualizat în cercetarea reliefului glaciare din Carpații Românești:

- i. Etapa de pionerat (1881 - 1900).** A cuprins studii sporadice bazate predominant pe utilizarea metodelor din geologie.
- ii. Etapa de renaștere (1900 - 1915).** A reprezentat perioada studiilor sistematice bazate mai mult pe metode morfologice, ea fiind inaugurată de către studiile lui de Martonne.
- iii. Etapa aprofundărilor (1920 - 1942).** A fost etapa de analiză avansată a formelor de relief glaciare, care s-a concretizat și prin publicarea unor sinteze regionale. În această perioadă s-au evidențiat și primii geografi români.
- iv. Etapa studiilor moderne (1954 - 1990).** A constituit perioada studiilor sistematice coordonate de Institutul de Geografie al Academiei R.S.R. și de Universitățile din Iași și București.
- v. Etapa analizelor cantitative (1990 -).** Corespunde studiilor în care se utilizează analiza morfometrică și statistică a formelor de relief glaciare, în special, a circurilor glaciare.
- vi. Etapa determinărilor cronologice (2007 -)** asupra depozitele glaciare.

i. Etapa de pionerat (P. W. Lehmann)

Prima etapă în studiul morfologiei glaciare din Carpații Românești (CR) este marcată de cercetările realizate la sfârșitul sec. al XIX-lea, între anii 1881 și 1900. Din acest interval datează primele informații privind glaciația și relieful glaciare din CR, primul cercetător care a adus în discuție problema reliefului glaciare din România fiind **P. W. Lehmann**, care, într-o notă științifică, face referire la tectonica și urmele glaciare din munții Făgăraș (Lehmann, 1881). Este cel dintâi document în care sunt menționate și interpretate în mod corect circurile, lacurile și depozitele cu aspect morenaic din acest masiv (de Martonne, 1907). Geologul german a fost și cel care a semnalat în CO, pe valea Lala (munții Rodnei), urme ale glaciației cuaternare, rezultatele observațiilor sale asupra reliefului glaciare din partea superioară a văii Lala fiind publicate în primul articol dedicat geomorfologiei glaciare din CR (Lehmann, 1891). Mai târziu, Popovici-Hatzeg (1898) atrăgea atenția asupra circurilor glaciare din munții Bucegi iar cercetările detaliate ale lui Schafarzik (1897) în vestul Alpilor Transilvaniei (AT) au semnalat și prezența morenelor și circurilor din munții Țarcu și Godeanu, dar și din partea de vest a Retezatului.

Dintre cercetătorii români, primii care au adus contribuții la studiul reliefului glaciare au fost tot geologi. Ca o completare a cercetărilor geologice, aceștia au urmărit și problemele glaciației pe baza unor elemente morfologice, așa cum sunt striățiile, blocurile eratice, rocile

șlefuite, depozitele morenaice și fluvio- glaciare (Mrazec, 1898; Munteanu-Murgoci 1898; Athanasiu, 1899).

Cercetările de geomorfologie glaciară de la finele secolului al XIX-lea sunt considerate de pionerat pentru studiul formelor glaciare din CR, și se datorează atât contribuțiilor cercetătorilor străini, cât și ale celor autohtoni. Primii dintre aceștia au fost exponenți ai școlii de geomorfologie din Germania, și, la fel ca și cei români, au fost de formație geologi.

Această etapă a fost marcată de confuzii și dispute, mai ales între cercetătorii glacialiști, pe de o parte, în frunte cu Lehmann, care au acceptat existența glaciației din CR, și cei protecționiști, pe de alta, care au negat existența acesteia. Reacțiile cercetătorilor protecționiști (Primics, 1884; Inkey, 1884) sunt de înțeles în contextul acelei perioade, având în vedere faptul că și în restul Europei destui cercetători negau existența glaciației cuaternare (ex. Bonney, 1896).

ii. Renașterea geomorfologiei glaciare din România (Emm. de Martonne)

La sfârșitul secolului al XIX-lea a început o nouă etapă, care a marcat renașterea și regândirea cercetărilor de geomorfologie glaciară din CR. În această perioadă au fost aduse cele mai importante argumente privind existența glaciației și au avut loc descoperiri fundamentale privind relieful glaciară, prezența ghețarilor pleistoceni din CR devenind un fapt neîndoelnic. În acest interval care a marcat cercetările de geomorfologie glaciară din CR un rol important l-a avut profesorul francez Emmanuel de Martonne, care prin numeroasele cercetări întreprinse a fundamentat existența ghețarilor pleistoceni.

Lucrările lui de Martonne au avut rolul de a risipi scepticismul unor cercetători asupra prezenței ghețarilor pleistoceni în AT (Fig. 2.1) și de a consolida metoda morfologică în studiul reliefului glaciară. După apariția studiilor sale, de o valoare științifică incontestabilă confirmată chiar și la mai bine de 100 de ani de la apariția lor, problema glaciației din CR nu a mai reprezentat pentru cercetătorii români o chestiune disputată, așa cum era înainte de 1900. Având în vedere contribuția de excepție adusă de geograful francez pentru studiul morfologiei glaciare din Carpați, dar și pentru aportul său la dezvoltarea geomorfologiei românești, în general, am denumit această perioadă a marilor descoperiri de morfologie glaciară, **etapa Emm. de Martonne (1900 - 1914)**.

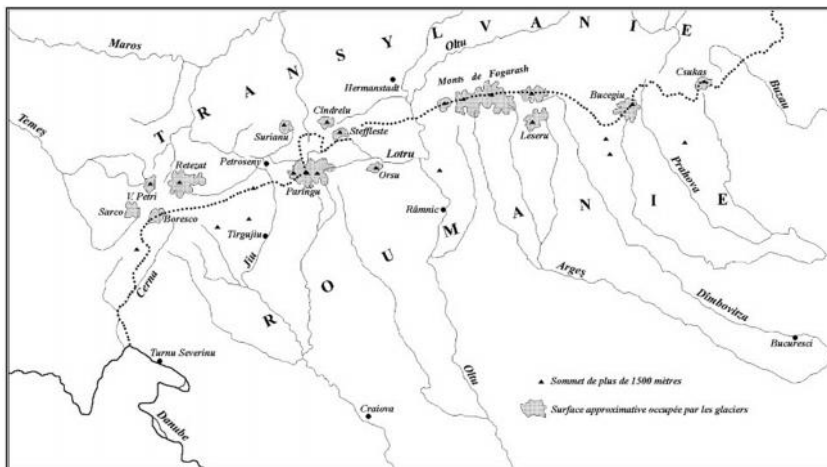


Figura 2.1. Repartiția ariilor glaciare din Alpii Transilvaniei (Emm. de Martonne, 1907). Dintre ariile cartate de Emm. de Martonne, doar cea din munții Ciucaș lipsește din lista noastră de circuri.

Succesul geografului francez s-a datorat aplicării, în premieră, a metodei morfologice în studiul reliefului glaciară. Studiile premergătoare (de Martonne, 1899, 1904, 1906)

monumentalei opere „*Recherches sur l'évolution morphologique des Alpes de Transylvanie*” au demonstrat, prin descrierile amănunțite și interpretările juste, manifestarea glaciației în Carpații Românești. Emm. de Martonne a scos în evidență, în primă instanță, elementele majore ale morfologiei glaciare, și anume circurile și văile glaciare, considerate a fi cele mai relevante indicii ale glaciației cuaternare. Ulterior, a trecut la inventarierea elementelor de rang inferior din cadrul acestora, respectiv treptele, umerii, pragurile și morenele. S-au bucurat de același interes și elementele de micromorfologie glaciară, așa cum sunt striajiile și rocile șlefuite etc., care în prima perioadă de cercetare constituiau dovezi de prim rang. Volumul mare de informații care vizează toate masivele glaciare, pornind de la care a realizat prima sinteză a glaciației cuaternare din Carpații Românești (de Martonne, 1907), s-a dovedit a fi valabil până astăzi, constituind un material de bază valoros pentru toate analizele ulterioare.

Un alt cercetător important al acestei perioade a fost geograful polonez Ludomir Sawicki, care, în urma cercetărilor sale din masivul Rodnei, a stabilit că există o puternică asimetrie glaciară cu predominarea formelor glaciare pe versantul nordic, identificând linia zăpezilor permanente pentru ambii versanți, cu precizarea că aceasta a fost considerabil mai joasă pe versantul nordic (Sawicki, 1911). Între anii 1909 și 1913, acesta a publicat cel puțin nouă articole despre glaciația montană din Masivul Central Francez, Tatra, Beskizi, Rodna, Maramureș și Biharia. Documentarea amplă și numeroasele cercetări de teren întreprinse în regiunile carpatice cu urme ale modelării glaciare i-au permis lui Sawicki să elaboreze prima sinteză „istorică și critică” asupra reliefului glaciare din Carpați (Sawicki, 1912).

După cum am văzut, după anul 1900 devin predominante lucrările științifice bazate pe argumente morfologice, în care circurile sunt utilizate ca repere pentru determinarea liniei zăpezilor din Pleistocen. Mai mult, cei doi cercetători care au contribuit în mod decisiv la cunoașterea reliefului glaciare în această perioadă au fost influențați substanțial de școala de geomorfologie a germanului A. Penck (ambii fiind elevii acestuia) și americanului W.M. Davis. De altfel, studiile clasice ale lui Penck și Brückner din perioada 1901 - 1909 au dominat geologia glaciară timp de câteva decenii, influențând astfel și cercetătorii care au lucrat în România. De asemenea, William Morris Davis a început să fie preocupat de relieful glaciare și mecanismele eroziunii glaciare, emițând deja în 1909 teoria ciclului „denudației glaciare” (Davis, 1909) cu ocazia vizitelor sale în Europa (1899 și 1909) (Evans, 2008). Davis a fost de acord cu Penck în ceea ce privește reacția de respingere a acestuia față de protecționiști, împărtășindu-și reciproc și opiniile care priveau versanții și iregularitățile din lungul patului de albie. Astfel „eficiența ghețarilor de a sculpta ariile montane glaciare este demonstrată, în mod esențial, de modul în care am demonstrat și eficiența eroziunii normale care a sculptat ariile neglaciare” (Davis, 1906). Acesta din urmă a accentuat coincidența existenței văilor suspendate, cuvetelor glaciare și a circurilor în ariile glaciare și lipsa acestora din ariile neglaciare.

Profund convingși de rolul și importanța eroziunii glaciare, Gannett, Penck și Davis au fost fondatorii școlii de geomorfologie cunoscută sub numele de „Patul Glaciare” (*Glacier Bed*), aflată în opoziție directă atât cu cea a protecționiștilor, cât și a celor care au acceptat doar un compromis în ceea ce privește eficiența eroziunii glaciare.

Printre cercetătorii care au aplicat metoda morfologiei glaciare în această perioadă amintim pe Puchleiter (1901), care admite existența a două perioade glaciare în CR, și pe Lóczy Lajos (1904), care face referiri asupra circurilor glaciare, morenelor și lacurilor glaciare, pentru care realizează primele schițe batimetrice din munții Retezat. De asemenea, în nordul CR, Bezdek (1905) menționează pentru prima dată urme glaciare de tipul circurilor în munții Maramureș, în timp ce urmele glaciare din Biharia sunt descrise de Szadeczky (1906), iar cel mai timpuriu studiu cu privire specială asupra circurilor glaciare este realizat de Szilády (1907) în aria Pietrosului Rodnei.

Primul studiu de geomorfologie glaciară realizat de un geograf autohton este cel al lui Nicolae Orghidan (1910), care, cu ocazia unor cercetări în masivul Rodnei, și-a concentrat atenția asupra văii și ciroului glaciară al Bistricioarei. Din păcate, prima conflagrație mondială a întrerupt brusc seria lucrărilor științifice din domeniul geomorfologiei glaciare, astfel încât perioada dintre 1914 - 1924 s-a caracterizat printr-un vid în ce privește acest tip de studii.

iii. Etapa aprofundării cercetărilor de geomorfologie glaciară (St. Pawłowski)

Etapa a III-a este marcată de studiile realizate de prima generație de geografi români din perioada interbelică (1927 - 1942), care au avut contribuții notabile la dezvoltarea geomorfologiei românești. Aceștia și-au îndreptat atenția și asupra estului AT și CO, masivul Bucegi, spre exemplu, bucurându-se de o atenție deosebită în această etapă.

Cel mai important studiu al acestei perioade, ce înglobează și Carpații Românești, este cel al profesorului polonez St. Pawłowski (1936), care a realizat o sinteză a reliefului glaciară cuprinzând 23 de arii montane glaciare din întregul lanț carpatic. El a constatat că ariile mai înalte au fost glaciare într-un mod mai complet, simetric, definind astfel asimetria glaciară. Pentru ultima glaciație (Würm) a stabilit linia zăpezilor între 1450 și 1600 m, atât în estul, cât și în vestul Carpaților.

Mai departe, maghiarul Varga (1927) deschide seria de studii glaciare printr-o lucrare privind relieful din partea orientală a masivului Rodnei. Cercetările asupra reliefului glaciară din Bucegi au fost reluate de Wachner (1929, 1930), care, prin analiza văilor și morenelor, atestă caracterul glaciară al sectoarelor superioare ale acestora. Kräutner (1930) încearcă o nouă sinteză asupra morfologiei glaciare din CR, dar, deși studiul său aduce o serie de lucruri noi, nu depășește nivelul ideilor și concluziilor la care ajunsese Sawicki în 1912. Orghidan (1931) admite existența sistemului de circuri din jurul vârfului Omul din masivul Bucegi. În 1935, geograful polonez J. Kondracki descrie formele glaciare din jurul vârfului Mica Mare (Nieneski) din Munții Maramureșului de Nord.

În 1932, Someșan pune problema prezenței reliefului glaciară în munții Călimani. Deși aceste abordări pro-glacialiste au fost criticate de către unii autori (Sârcu, 1964), alții le-au luat drept model în cercetările ulterioare (Naum, 1970). Orghidan (1932, 1933) revine cu două studii privind problema glaciației din munții Siriu, dând astfel naștere uneia dintre controversile care persistă până astăzi, și care au suscitât opinii pro (Macarovici, 1963) și contra (Sârcu, 1964).

Mai la sud, Szalay (1934, 1935, 1936) propune câteva abordări științifice privind geomorfologia munților Făgăraș, ocazie cu care analizează limitele fenomenelor glaciare, "zonele zăpezii eterne actuale", treptele și căldările glaciare, dar și peste 102 lacuri glaciare. Morariu (1940) reia discuțiile privind glaciația din masivul Rodnei, și deși urmează linia cercetărilor efectuate de Sawicki și Kräutner, contribuțiile sale au constituit un model pentru analizele ulterioare (ex. Sârcu, 1978).

Între anii 1942 - 1948 a avut loc o nouă o perioadă de recesiune în studiile de geomorfologie glaciară datorată celui de-al doilea război mondial. Mai mult, studiile publicate după 1940 au reprezentat cel mai adesea rezultatul unor cercetări de geomorfologie realizate înainte de război, dar rămase nepublicate. În această etapă, cercetătorii, majoritatea români, polonezi și germani, au fost atrași de relieful glaciară din CO, asupra căruia de Martonne nu a insistat prea mult. În același timp, odată cu acumularea unui volum suficient de date strâns începând cu studiul lui Lehmann, s-a trecut la realizarea unor sinteze, care însă nu au elucidat decât parțial problema reliefului glaciară din CR.

iv. Etapa studiilor moderne de geomorfologie glaciară (Sârcu-Niculescu)

Cercetarea reliefului glaciare din Carpații Românești a fost reluată, mult mai energic, după cel de-al doilea război mondial și într-un cadru mult mai organizat, astfel de studii reprezentând și fundamentul pentru realizarea *Monografiei geografice a României* (1960). Ulterior, analiza reliefului glaciare s-a realizat, în principal, în cadrul stagiilor de pregătire doctorală ale unor geografi consacrați, printre care amintim pe Silvia Iancu (munții Parâng), E. Nedelcu (munții Făgăraș - Iezer), V. Micalevich-Velcea (munții Bucegi), I. Sârcu (munții Rodnei) și Gh. Niculescu (munții Godeanu), exemplele menționate fiind sugestive pentru preocupările geografilor români din această perioadă în domeniul cercetărilor de geomorfologie glaciară din Carpații Românești.

În lucrarea sa privind realizările în studiul reliefului glaciare din CR, Silvia Iancu (1973) punctează principalele repere: *înregistrarea urmelor glaciare majore* (Valeria Micalevich-Velcea, 1961 - Bucegi; Silvia Iancu, 1970 - Parâng; I. Sârcu, 1963 și 1964 - Rodna, Maramureș; N. Macarovici, 1963 - Ceahlău), *inventarierea circurilor glaciare* (Gh. Niculescu, E. Nedelcu, Silvia Iancu, 1960; Valeria Micalevich-Velcea, 1961; E. Nedelcu, 1959, 1962; M. Bleahu în Munții Maramureșului, 1957), *precizarea limitei zăpezilor permanente* (Gh. Niculescu - Carpații Meridionali; I. Sârcu - Carpații Orientali), *identificarea factorilor care au favorizat apariția și dezvoltarea reliefului glaciare* (M. Bleahu, 1957 - vergența vestică a viscolului glaciare; Silvia Iancu, 1970 - circurile au moștenit forme crio-nivale), *analiza genezei și evoluției reliefului glaciare* (fiind scos în evidență exclusiv rolul determinant al structurii și litologiei asupra formei și poziției circurilor glaciare - Gh. Niculescu, E. Nedelcu, Silvia Iancu, Valeria Micalevich Velcea), *tipizarea formelor glaciare și semnificația genetică a acestor tipuri* (Gh. Niculescu, E. Nedelcu, Silvia Iancu, 1960 - circuri complexe, asociații de circuri, circuri glacio-nivale; Valeria Micalevich-Velcea - circuri în pantă; Gh. Niculescu, 1965 - circuri simple, alungite, conjugate), *rocile mutonate* (se constată prezența acestora atât pe podeaua circurilor, cât și pe spătarul lor), *cuvetele de subsăpare* (P. Decei, 1959; Silvia Iancu, 1961; A. Năstase, 1960 a.b., 1961; I. Pișota, 1971; V. Trușaș, 1961 a.b.), *formele de acumulare - identificarea morenelor* (I. Sârcu - Munții Maramureșului, Rodna; Gh. Niculescu - Carpații Meridionali), *procesele caracteristice sistemului glaciare* (formularea sau acceptarea unor concepte și idei noi: sistemul glaciare - Valeria Micalevich-Velcea; modelajul glaciare prin presiune - Gh. Niculescu, 1965; și prin curgere - Silvia Iancu, 1961; modelajul glaciare extrusiv, modelare prin antrenarea gelifractului, și dextrusivă sau deterție, modelare directă asupra rocii în loc; modelul dezvoltării circurilor în suprafață și adâncime - Silvia Iancu, 1962; Gh. Niculescu, 1965).

Dacă în Alpii Transilvaniei ar părea că lucrurile erau ceva mai clare pentru cercetătorii perioadei respective, relieful glaciare din Carpații Orientali a fost mai degrabă controversat. Astfel, cel mai important cercetător și cunoscător al reliefului glaciare din CO, Ion Sârcu, reduce mult, în lucrările sale (1963, 1964, 1971) spațiul considerat ca fiind modelat glaciare (Silvia Iancu, 1973). Mai mult, este negată activitatea glaciară din Țibleș, Ceahlău și Ciucaș (motivul fiind acela că linia zăpezilor depășea altitudinea acestor masive montane); din masivul Toroiaga (Munții Maramureșului); din sudul Muntelui Cișia, Izvorul Cald, nordul vârfurilor Corongiș și Pietrosu (Masivul Rodnei); nordul vârfului Negoii Unguresc, nord-vestul vârfului Bistricioru, sudul și nordul Răchitașului (Munții Călimani); aria Lacul Vulturilor (Siriu). În schimb, Martiniuc (1960) și Naum (1970) susțin cu vehemență, spre exemplu, urmele glaciare din Munții Călimani.

Cei mai reprezentativi cercetători ai acestei etape au fost Gh. Niculescu și I. Sârcu, care au lucrat, selectiv, în două arii diferite, în Alpii Transilvaniei, respectiv Carpații Orientali.

Profesorul I. Sârcu, spre deosebire de Gh. Niculescu, a avut totuși preocupări și în ceea ce privește glaciația din Alpii Transilvaniei. Prin urmare, această perioadă care a marcat impunerea studiilor moderne în geomorfologia glaciară, poate fi denumită și **etapa Sârcu – Niculescu**, ambii având contribuții extrem de importante la cunoașterea și descifrarea glaciației cuaternare din Carpații Românești.

Din păcate, în această perioadă a fost pierdută legătura cu geomorfologia mondială, în special cu cea europeană, într-un moment foarte important pentru studiile de glaciologie. Imediat după cel de-al doilea război mondial a avut loc un reviriment spectaculos al școlilor de geomorfologie glaciară din Statele Unite ale Americii și Marea Britanie, fiind puse, printre altele, bazele metodologice de stabilire a mecanismelor specifice *eroziunii glaciare* (Holmes, 1944, 1949; Lewis, 1947, 1949, 1954; Carol, 1947; Fisher 1948, 1955, 1963; Nye, 1952; Streiff-Becker, 1953; Sharp 1954; Harland, 1957; McCall, 1960; Lliboutry, 1962, 1965; Linton, 1963; Kamb & LaChapelle, 1964; Birot, 1968; Sugden, 1968; Nye & Martin, 1968; Vivian, 1971) și *ratei acesteia* (Østrem et al., 1967; Flint, 1971; Thorarinsson, 1939; Klæboe, 1951; Mathews, 1964; Lliboutry, 1965; Embleton & King, 1968).

În condițiile pierderii conexiunilor cu literatura de specialitate din vestul Europei, dar sub influența școlii estică, se aduc totuși contribuții relevante la cunoașterea reliefului glaciare din CR în această perioadă. Un reper important a fost publicarea de către Gh. Niculescu în anul 1959 a tezei de doctorat cu titlul „*Munții Godeanu. Studiu geomorfologic*”, care după părerea noastră, constituie până în prezent cel mai complet studiu geomorfologic al unei arii montane din CR.

Mai târziu, Tufescu (1974) publică lucrarea „*România, natură, om, economie*”, în care abordează și relieful glaciare din CR. Deosebit de utilă este harta repartiției ariilor glaciare din România realizată de acesta (Fig. 2.2).

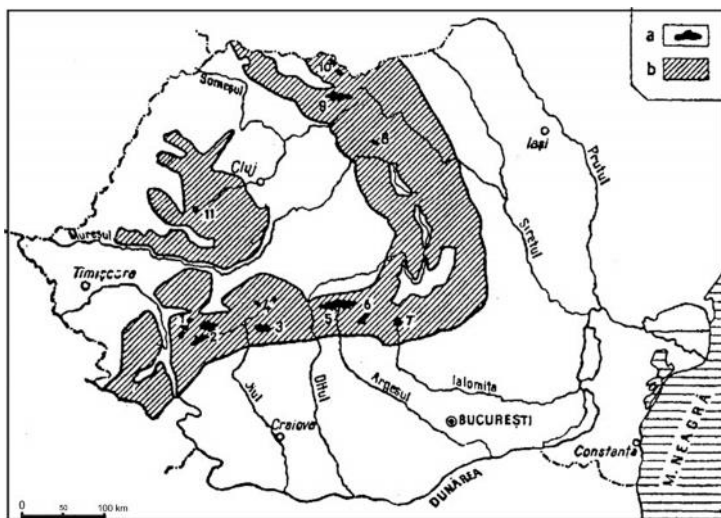


Figura 2.2. Răspândirea reliefului glaciare din Carpații Românești (a - arii glaciare; b - arii montane; 1 - Țarcu, 2 - Retezat-Godeanu, 3 - Parâng, 4 - Sebeș, 5 - Făgăraș, 6 - Iezer, 7 - Bucegi, 8 - Călimani, 9 - Rodna, 10 - Maramureș, 11 - Bihor.

În anul 1977, I.S. Evans (Universitatea Durham, Marea Britanie) publică în *Geografiska Annaler* (vol. 59) un studiu care analizează orientarea și gruparea circurilor din diverse arii glaciare de pe Terra, în care se amintește și de CR (tab. 2.1), arătând că efectul topoclimatului asupra balanței ghețarilor se traduce prin creșterea gradului de adăpost (față de vânt) și umbră, precum și prin tendința de grupare a ghețarilor pe versanții estici, indiferent de altitudine și de condițiile climatului regional.

În anul 1978, I. Sârcu (1978) publică teza de doctorat cu titlul „*Munții Rodnei. Studiu morfogeografic*”, care acordă un capitol consistent (p. 49 - 80) reliefului glaciare din masivul

Rodnei, în care stabilește manifestarea a trei faze glaciare în această arie (Mindel, Riss și Würm). Comparativ cu studiile precedente, această lucrare este considerabil mai cuprinzătoare și mai detaliată, atât sub aspectul descrierii morfologiei glaciare, cât și a interpretării acesteia.

În 1983 apare primul volum din *Geografia României* (Geografia fizică, vol. I) care cuprinde un capitol ce tratează relieful glaciare (p. 136 - 141) elaborat de cei mai importanți geomorfologi bucureșteni (Gh. Niculescu, E. Nedelcu, Silvia Iancu, 1983). Capitolul respectiv realizează o sinteză a reliefului glaciare din România în care sunt abordate geneza și dezvoltarea acestuia, morfologia sa, cu privire specială asupra clasificării circurilor, precum și problema controversată a fazelor glaciare din CR.

Table 2.1. Orientarea și concentrarea circurilor din România și Ucraina (Evans, 1977)

Latitudinea	Aria montană	Nr. circ.	Vectorul principal grade	%	Sursa datelor
48 ° N	Khrebet Svidovyets, Carpații Ucraineni	16	052±24	77	Bashenina, 1971
48 ° N	Munții Maramureșului, Carpații Orientali	14	055±21	83	Sawicki, 1911
45 ½ ° N	Munții Făgăraș, Alpii Transilvaniei	133	064±16	18	Gâștescu, 1971
45 ½ ° N	Munții Parâng, Alpii Transilvaniei	40	053±22	45	Gâștescu, 1971
45 ½ ° N	Munții Retezat, Alpii Transilvaniei	48	020±24	33	Gâștescu, 1971
45 ½ ° N	Munții Godeanu, Alpii Transilvaniei	69	106±21	24	Niculescu, 1965

Spre sfârșitul anilor '80 ai secolului trecut, studiile de geomorfologie glaciare au devenit din ce în ce mai rare, iar cercetătorii au arătat un interes tot mai redus (dacă nu chiar și mai puțin curaj) pentru cercetarea formelor glaciare din CR. Studiul acestora s-a mărginit mai degrabă la menționarea lor succintă cu ocazia unor studii care au avut în vedere relieful periglaciare, descrierea parcurilor naționale, realizarea unor schițe geomorfologice sau de evaluare a potențialului turistic etc.

v. Etapa analizei cantitative a reliefului glaciare din Carpații Românești (1990 -)

După anul 1990, odată cu schimbarea sistemului politic din România și reluarea legăturilor (inclusiv a celor pe plan științific) cu occidentul, s-a reaprins interesul tinerilor cercetători pentru studiul reliefului glaciare, mai ales în cadrul pregătirii unor teze de doctorat. Nu au lipsit, însă, și cercetările geomorfologice cu experiență, cel puțin la începutul acestei perioade, remarcându-se în acest sens continuitatea în realizarea unor astfel de studii a lui Gh. Niculescu de la Institutul de Geografie din București.

Perioada imediat următoare anului 1990 a însemnat, în Europa, o etapă în care analiza reliefului glaciare a fost marcată de abordările cantitative, fundamentate pe utilizarea tehnicilor și metodologiilor moderne de măsurare, de manipulare a informației cartografice și modelare digitală, care s-au dezvoltat substanțial în acest interval. Accesul la literatura de specialitate din occident, cât și comunicarea facilă și liberă dintre cercetătorii români și cei străini, au constituit două premise importante pentru realizările recente din domeniul

studiului reliefului glaciare din România. După 1990 a crescut atât numărul manifestărilor științifice, prilej de întâlnire a cercetătorilor cu preocupări în morfologia glaciare, cât și interesul pentru cercetarea morfologică glaciare din CR, în ansamblu. De asemenea, un factor favorizant pentru dezvoltarea acestui domeniu de studiu pe parcursul acestei etape l-a constituit accesul la hărțile topografice și aerofotograme / ortofotoplanuri, care a devenit mult mai facil după 1990, cât și la alte tipuri de informație spațială.

Primul studiu privind morfometria circurilor glaciare a fost realizat în munții Țarcu (Gruia, 1998). În 1999, cu ocazia Seminarului Geografic „Dimitrie Cantemir” din Iași, autorul acestui studiu prezintă o comunicare amplă despre geomorfometria circurilor glaciare din masivul Rodnei, aceasta fiind și prima prezentare a unei cercetări de morfometrie aplicată la întreaga populație de circuri dintr-un masiv. Mai târziu au urmat și alte studii care au abordat, în aceeași manieră metodologică, circurile glaciare din diferite masive glaciare din CR (Toma, 2001; Vuia, 2001-2002; Marinescu, 2007). În cadrul stagiilor pentru pregătirea tezelor de doctorat, o serie de cercetători tineri de la mai multe universități din țară au avut preocupări în această etapă privind cercetarea morfologiei glaciare din CR (Nedelea, 2006; Szepesi, 2007; Andra, 2008; Simoni, 2011). De asemenea, au fost aduse contribuții privind identificarea și descrierea depozitelor morenaice din arii montane în care existența glaciației Pleistocene este dubitabilă, așa cum este Cucurbăta - Piatra Grăitoare din munții Biharia (Buzilă, 2005).

Pornind de la o vastă bază de date cuprinzând toate circurile glaciare din CR, au fost aduse contribuții importante privind morfometria circurilor (variabilele de altitudine și de orientare) și reconstituirea direcției vântului dominant din timpul glaciației din CR (Mîndrescu et al., 2010). Au fost, apoi, analizate în detaliu, dimensiunile, forma, dezvoltarea alometrică și ordinele de dezvoltare ale circurilor glaciare din CR (Mîndrescu & Evans, 2014). Tot în acest studiu au fost puse în discuție și alte teme importante legate de circurile glaciare, incluzând tendința circurilor de a se grupa în ciorchine, definirea circurilor complexe (circ cu circuri) și a celor interne (circ în circ), clarificarea efectului litologie asupra formei circurilor și testarea teoriei *buzzsaw* (fierăstrăul glaciare) în CR. Ca o sinteză a preocupărilor legate de studiul geomorfologic și morfometric al circurilor glaciare, autorul acestui studiu a publicat și prima hartă a circurilor glaciare din CR (Mîndrescu, 2016), care fundamentează o mai bună înțelegere a repartiției circurilor glaciare și a factorilor de control ai acestora. Într-un volum internațional dedicat geomorfologiei din România a fost publicat o sinteză privind circurile glaciare și implicațiile morfometriei acestora pentru evaluarea condițiilor paleoclimatice de la sfârșitul Pleistocenului (Mîndrescu și Evans, 2016).

Întrucât în această etapă s-au remarcat, în mod special, cercetările realizate de tinerii cercetători de formație geografică care au aplicat în analiza reliefului glaciare din Carpații Românești tehnici și metodologii moderne utilizate în geomorfologia glaciare contemporană, am denumit această perioadă **etapa tinerilor geomorfologi**.

La nota dominantă dată de aceste cercetări axate mai mult de analiza cantitativă, se adaugă și alte studii de geomorfologie glaciare realizate de către cercetători cu experiență din țară și străinătate, chiar la începutul acestei etape, așa cum sunt lucrările publicate de Mac et al. (1990) și Niculescu (1990, 1997). Un studiu la nivel local despre modelarea reliefului și depozitele de cuvertură din masivul Farcău-Mihailecu (munții Maramureș) a adus contribuții privind morfologia glaciare, punând, spre exemplu, diferențele de formă dintre circurile principale pe seama reliefului preglaciare (Petrea & Petrea, 1991).

În 1993 sunt reluate discuțiile despre condițiile glaciației Pleistocene din ariile montane din munții Carpați (Klimaszewski, 1993), fiind aduse argumente legate de importanța condițiilor climatice (macro- și mezoclimatice) asupra desfășurării și intensității glaciației. Studiul, care include și date morfometrice privind ghețarii din masivele glaciare din AT (tab. 2.2) conchide

că forma și dimensiunile reliefului glaciare pot fi puse mai degrabă pe seama reliefului pre-existent.

Manifestarea glaciației cuaternare în munții Retezat este revizuită în lumina ultimelor descoperiri din geomorfologia glaciare din România și Europa, realizându-se și o periodizare a glaciației din masiv (Urdea, 1993). Ancuța (1995) prezintă câteva aspecte ale reliefului glaciare din munții Lotrului, studiu în care se remarcă mai ales cartarea și cartografierea circurile glaciare din acest areal montan, iar Drăguț (1996) realizează un studiu similar pentru relieful climatic din munții Șureanu.

În 2000, Petru Urdea publică teza de doctorat cu titlul „*Munții Retezat. Studiu geomorfologic*”. Munții Retezat ridică cele mai complexe probleme privind morfologia și cronologia glaciare, motiv pentru care considerăm că rezultatele obținute de autor reprezintă contribuții semnificative pentru descifrarea glaciației Pleistocene din CR. Această arie montană cuprinde o varietate de forme glaciare, de la circuri glacionivale și circuri glaciare simple, rotunde, la circuri complexe și văi glaciare de dimensiuni impresionante, această complexitate constituind rezultatul derulării mai multor faze, așa cum o dovedesc, printre altele, morenele situate la diferite altitudini pe toate văile glaciare (Urdea, 2000).

Table 2.2. Numărul și dimensiunea ghețarilor pleistoceni de pe versanții nordici și sudici ai Alpilor Transilvaniei (Klimaszewski, 1993)

Masivul glaciare	Expoziția	Numărul	Lungimea (km)	Distanța față de cumpăna de ape	
				Distanța, km	Diferența de nivel, m
Bucegi	N	2	1,4-2,2	4-20	1000
	S	1			
Făgăraș	N	22	1,5-5	15-20	500
	S	20	1,1-7,1	40	
Retezat	N	7	1,0-4,1	16-28	500
	S	5	0,8-7,0	22-35	
Godeanu	N	9	0,4-5,0	30	500
	S	13	0,6-2,7	10	
Parâng	N	5	2,0-13,0	18-33	500
	S	5	2,0-3,1	12	

În ansamblu, această etapă s-a caracterizat prin cantitativism, bazându-se în mare măsură pe investigații complexe și consumatoare de timp și resurse. Cercetările acestei perioade nu s-au mai limitat la metoda morfologică, ci au avut la bază studiul detaliat al hărților topografice la scară mare, aerofotogramelor și imaginilor satelitare, informațiile extrase de pe aceste suporturi fiind prelucrate cu ajutorul softurilor specifice dedicate analizelor statistice și spațiale.

vi. Etapa determinărilor de vârstă ale depozitelor glaciare (2007 -)

Pe parcursul ultimului deceniu, cercetătorii români, alături de cei străini, au adus contribuții deloc neglijabile în ceea ce privește vârsta depozitelor glaciare, dar și cronologia fazelor glaciare din CR. Deocamdată, aceste preocupări s-au manifestat la scară mică și au vizat doar anumite masive. O sinteză asupra contribuțiilor și rezultatelor obținute în acest sens a fost realizată de curând (Popescu et al., 2016).

Cele câteva studii care au avut la bază datarea depozitelor morenaice publicate recent au schimbat percepția tradiționalistă privind cronologia și extinderea glaciației Pleistocene din CR (Reuther et al., 2007; Urdea & Reuther, 2009; Gheorghiu, 2012; Kuhlemann et al., 2013; Gheorghiu et al., 2015; Ruszkiczay-Rüdiger et al., 2016). De asemenea, au fost aduse contribuții relevante și în ceea ce privește reconstituirile paleoclimatice și de paleomediului din perioada Pleistocenul Târziu - Holocen, prin investigarea unor arhive de mediu, așa cum sunt sedimentele lacustre (Mîndrescu et al., 2016a) sau speleotemele (Onac et al., 2002; Tamaș et al., 2005; Constantin et al., 2007; Drăgușin et al., 2014; Perșoiu, 2016).

Ca notă generală, în această ultimă etapă au fost făcute progrese majore în ceea ce privește cronologia glaciației și deglaciației din CR, în pofida lipsei laboratoarelor specializate în determinarea vârstelor absolute în România. Aceste realizări s-au datorat, în bună măsură, și posibilității de a colabora cu cercetători străini, geomorfologii români aducând contribuții importante datorită cartografierilor de detaliu ale formelor și depozitelor glaciare prin aplicarea unor metode moderne de investigație, inclusiv geofizice.

3. Aspecte teoretice privind circurile glaciare

3.1. Definiții

Circul glaciare, ca termen, a fost introdus în geomorfologie pentru prima dată de către Jean de Charpentier în 1823 (Evans, 2008) pentru a descrie forma bazinelor semicirculare din Munții Pirinei. În timp, s-a constatat că formele de relief de tipul circurilor reprezintă o caracteristică pentru masivele care au deținut ghețari în Pleistocen sau în prezent. Drept urmare, circurile au fost recunoscute ca forme distincte de relief în anul 1860 datorită lui Ramsey (1962), care a și promovat acest termen în studiile din domeniu. În literatura de specialitate din România termenul este întâlnit pentru prima dată în lucrările cercetătorului german Lehmann (1885). Însă a fost utilizat și consacrat de Emm. de Martonne cu ocazia cercetărilor și publicațiilor sale despre Carpații Românești (CR).

Geomorfologii români care s-au ocupat de cercetări geomorfologice, în general, sau de cele glaciare, în special, au dorit să ofere și câte o definiție acestor forme de relief. Astfel, în *Dicționarul geomorfologic* (Băcăuanu et al., 1974), găsim una dintre aceste definiții, care definește cercul glaciare ca pe o „*depresiune circulară formată prin eroziunea ghețarilor montani la obârșia văilor glaciare sau pe versanții acestora. Este străjuit din trei părți de pereți abrupti adesea verticali și închis parțial spre aval (în direcția evacuării gheții din cerc) de un prag relativ scund, numit zăvor*” (p. 33).

În cel mai cunoscut tratat de geomorfologie apărut înainte de 1990, *Geomorfologie generală* (Posea et al., 1970), autorii au considerat că circurile glaciare „[...] *se conturează sub forma unei excavații sau arii depresionare, având, în linii generale, un aspect semicircular, semieliptic sau semioval, încadrat de versanți abrupti, cu aspect de pereți, în interiorul căreia s-a cantonat ghețarul*” (p. 392).

În lucrarea *Geomorfosfera și geomorfosistemele* (Mac, 1996), cercul este definit ca „[...] *o formă de relief negativă, cu aspect de amfiteatru, la care se remarcă pereții abrupti și puternic denivelați (150-300 m), bazinul și pragul care închide spre aval cercul*”.

Din definițiile date de către geografii români se omite de regulă un element important al cercului, respectiv podeaua sa. În schimb, apare foarte des termenul de prag, deși, paradoxal, acesta lipsește în multe cazuri, în timp ce podeaua, omniprezentă, reprezintă un element definitoriu pentru circurile glaciare. Podeaua constituie elementul de bază al unui cerc glaciare mai ales pentru că se dezvoltă, prin excelență, ca urmare a unor procese glaciare tipice, în timp ce o parte din spătarul cercului poate evolua subaerian (Evans & Cox, 1974).

În continuare sunt redată alte definiții formulate de cercetători străini. Spre exemplu, definiția dată în *Glacial Geology* (Bennett et al., 2009), conține numeroși termeni calitativi: „*Sunt scobituri deschise spre aval și închise spre amonte de un abrupt sau versant înclinat cunoscut sub numele de spătar (headwall). Acesta din urmă este, de obicei, arcurat în plan și mult mai înclinat decât podeaua cercului (floor). Podeaua poate să conțină ca elemente componente o cuvetă glaciară (rock basin) închisă, trădând astfel existența șlefuirii glaciare, în timp ce spătarul este format mai ales prin procese de deterție și gelifracție*”.

În *Global Geomorphology*, Summerfield (1991) definește circurile glaciare într-o manieră diferită, de tranziție între originea glaciară și periglaciară, ca fiind „[...] *forme de relief majore*

dezvoltate prin combinația dintre procesele periglaciare și eroziunea glaciară la obârșia unor văi adânci. Un circ se compune dintr-un bazin arcuit care se extinde de la spătar până la buza circului. Dezvoltarea circului este dată de raportul dintre lungimea sa și înălțimea spătarului”.

Geografii ruși, conform *Dicționarului Geografic Enciclopedic Rus* (1988), aduc mai multe completări, de natură funcțională dar și de formă, prin comparație cu definițiile de mai sus, conform cărora „*circul este o adâncitură naturală sub formă de ceașcă tăiată în partea superioară a versanților montani în zonele cu glaciație contemporană sau mai veche. Acesta se caracterizează prin versanți abrupti uneori verticali, stâncoși, care se găsesc în spatele lui și fund semiconcav, iar marginea circului are, deseori, un prag nu prea înalt. Se formează în condițiile climatului nival sub influența ghețarilor medii, firnului și alterărilor criogene. În unele circuri sunt prezenți ghețari de circ permanenți sau acumulări de firn, iar în altele doar acumulări sezoniere de zăpadă. Fundul circurilor relict supraadâncite, situate mai jos de linia zăpezilor actuală, este ocupat de apă formând lacuri glaciare de circ*” (p. 120). În cazul acestei definiții se aduc mai multe completări în privința rolului funcțional sau non-funcțional al circurilor.

Una dintre cele mai complete definiții date circurilor glaciare este cea enunțată de Evans și Cox (1974) care privesc circurile ca surse de gheață formate cu precădere datorită unui surplus de zăpadă de pe pantele adăpostite: „*Cercul este o scobitură în care un surplus de zăpadă acumulată a reprezentat suportul unui ghețar de circ sau a contribuit chiar și la dezvoltarea unui ghețar de vale. Acesta este deschis spre aval dar închis spre amonte de creasta unui versant abrupt (headwall) arcuit în plan, înconjurând o podea (floor) mult mai domoală. Scobitura are geneză glaciară numai dacă podeaua a fost afectată de eroziunea glaciară în timp ce o parte a spătarului a evoluat subaerian*”.

Deoarece geomorfologii români datorează foarte mult lui de Martonne, nu trebuie să uităm că încă din 1901 autorul francez a dezbătut problema formării circurilor glaciare, ocazie cu care a dat o definiție extrem de clară a acestora (Urdea, 2005): „*Un circ glaciare, în sensul strict al cuvântului, este o depresiune formată ca o nișă pe flancul unei mase muntoase, în general în vecinătatea crestei, prezentând un fund plat sau cu o pantă scăzută, dominată din toate părțile de abrupturi ce se reduc convergent spre gura cuvetei astfel formată*” (de Martonne, 1901, p. 11).

Diversitatea termenilor folosiți în diferite țări pentru desemnarea circurilor glaciare reprezintă un argument în plus care explică varietatea acestor forme de relief. Astfel, în literatura anglo-saxonă întâlnim termenul de *cirque*, utilizat și de către geografii francezi, în timp ce în Germania și în literatura rusă se folosește termenul de *kar*. Geografii ruși mai utilizează, însă, în paralel și termenul de *țirc*. În articolele de specialitate în limba norvegiană este uzitat termenul de *botn* pentru desemnarea circurilor glaciare. Alpii Scandinavici sunt descriși de către suedezi, ca având forme de relief de tip *nisch*, adică circuri glaciare. În Spania se utilizează termenii de *hoyo* și *circo*, iar în Munții Pirinei, cel de *oule*. În Lombardia orientală apar termenii de *cadino* și *coro*, tot pentru definirea circurilor glaciare. În Arhipelagul Britanic, unde circurile glaciare reprezintă o caracteristică a peisajului, circulă mai mulți termeni folosiți îndeosebi în limbajul popular. Spre exemplu, în Snowdonia (Țara Galilor) se utilizează termenul de *cwm*, foarte greu de pronunțat chiar și pentru un englez. Dacă vizitezi Scoția, vei auzi de la localnici termenul de *corrie* (*kor'-re*, scobitură într-un deal-termen de origine celtică; conform *Nuttall'a Popular Dictionary of the English Language*, 1932) sau, mai rar, *coire*, care desemnează tot circuri glaciare (scoțiene, de această dată).

Cu siguranță, termenul de *cirque* își are originea în latinescul *circus*, deși ar putea, foarte bine, să aibă și rădăcini adânci în limba saxonă (*serk*, *seerk*). Din acest motiv a fost adoptat și utilizat cu ușurință și în limba română, unde are și alte conotații, mult mai largi, decât în

cazul altor limbi Astfel, uneori poate fi confundat cu arena de circ (*circus*), însă spre deosebire de aceasta, care este complet închisă, circurile glaciare au o latură deschisă spre aval, permițând curgerea ghețarului spre valea adiacentă. Deși s-au purtat discuții și au existat chiar tentative de schimbare a termenului de *circ* din literatura de specialitate, considerăm că este o încercare tardivă, întrucât acesta s-a întipărit foarte bine în limbajul geografilor și nu numai. Desigur, în cazul nostru ar fi fost mai potrivit termenul de *amfiteatru*, urmat de adjectivul glaciare - *amfiteatru glaciare*. Totuși, există în România o serie de termeni populari care desemnează mult mai bine forma și aspectul circurilor glaciare decât cel folosit în lucrările de specialitate. Spre exemplu, în munții Maramureșului este utilizat termenul de *groapă* sau *vârtop*. Termenul *parâng* desemnează în limba greacă un munte găunos, ceea ce se potrivește perfect cu aspectul munților Parâng, ciuruiți de circuri glaciare. Însă printre cei mai utilizați sunt termenii *căldare* și *zănoagă*, folosiți mai ales în Alpii Transilvaniei.

În conformitate cu condițiile climatice actuale tipice unei perioade interglaciare din CR, circurile glaciare carpatice sunt forme de relief de altitudine formate în Pleistocenul superior, mai ales acolo unde un surplus de zăpadă datorat deflației nivale, acumulat mai ales pe pantele adăpostite, a dus la formarea ghețarilor de circ. În prezent circurile carpatice sunt forme de relief non-funcționale, fiind supuse proceselor geomorfologice (inclusiv antropice), altele decât cele glaciare.

3.2. Elementele circurilor glaciare

Circurile glaciare prezintă două linii de demarcație importante. Prima este linia de delimitare a circurilor față de restul ariei montane, iar cea de-a doua este limita dintre spătar și podea. A doua linie de demarcație sugerează clar existența a două elemente principale ale circurilor glaciare, respectiv, spătarul (*headwall*) și podeaua (*floor*) (Fig. 3.1).

În literatura de specialitate din România nu a fost definit cu exactitate versantul de circ, fiind însă utilizați mai mulți termeni de-a lungul timpului. Unii autori folosesc termenul de „peretele din spatele circului” (c. p. P. Urdea), în timp ce Sârcu (1968) folosește, în lucrarea sa despre masivul Rodnei, termenul „*hinterwand*” preluat din literatura germană. În schimb, noi am propus termenul de *spătar*, care considerăm că reflectă cel mai bine atributele de formă ale unui versant de circ: arcuit în plan, înclinat și prezent pe trei laturi ale circului.

Din punct de vedere morfologic, un perete reprezintă un versant foarte abrupt și format în roca in situ. În schimb, spătarul unui circ are valori ale declivității care pot ajunge până la valoarea minimă de 40°. În același timp, acesta poate fi înierbat, acoperit cu vegetație subalpină (jneapăn și ienupăr) sau grohotișuri, nu exclusiv acoperit cu rocă nudă. Mai mult, peretele din spate desemnează doar o fațetă a spătarului, situată la obârșia ghețarului de circ, acolo unde s-a dezvoltat *rimaya* (*bergschrand*), însă aceasta nu este neapărat și cea mai înclinată parte a spătarului. Sunt cazuri în care acest sector de versant, din spatele circului, nu este și cel mai important. Deci, pentru a desemna cu precizie versantul de circ este necesară identificarea unui termen care să se refere la întreg spațiul din jurul podelei, cel care, practic, definește însăși forma circului. Iar termenul de *spătar* se potrivește cel mai bine acestei situații morfologice, în timp ce un perete desemnează mai degrabă un versant rectiliniu decât unul curbiliniu, așa cum este versantul de circ.

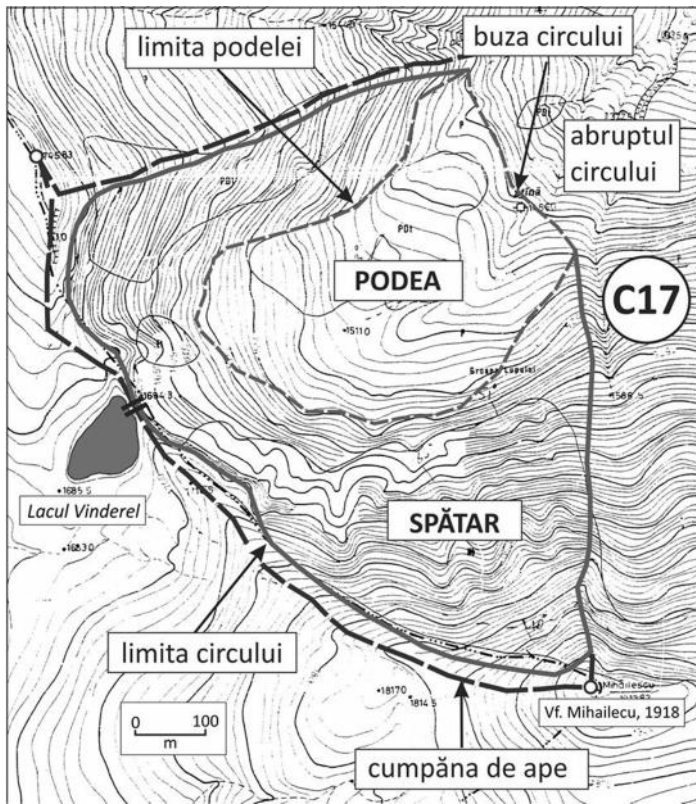


Figura 3.1. Elementele principale ale circurilor glaciare. Circul Groapa Julii din munții Maramureșului de Nord, cod-C17.

La nivelul podelei apar cele mai multe și însemnate elemente de detaliu ale unui circ glaciare. Cuveta glaciară (*rock basin*) constituie unul dintre aceste elemente și apare în special la circurile bine dezvoltate. Aceasta poate fi de subsăpare glaciară, de baraj morenaic sau mixtă, cele din ultima categorie fiind cele mai comune în cadrul CR. Existența acestora demonstrează prezența celulei rotaționale specifice ghețarilor de circ (Lewis, 1960). Odată ce ghețarul capătă această mișcare, în dezvoltarea lui crește puterea de eroziune, dar și probabilitatea de formare a unei scobituri, de tipul unei cuvete glaciare de dimensiuni medii sau mari. Odată cu evoluția ghețarului de circ se schimbă forma, mărimea și declivitatea podelei, trecând prin următoarele stadii de evoluție: *podeaua planeză* → *podeaua pervaz* → *podeaua covată* (Fig. 3.2).

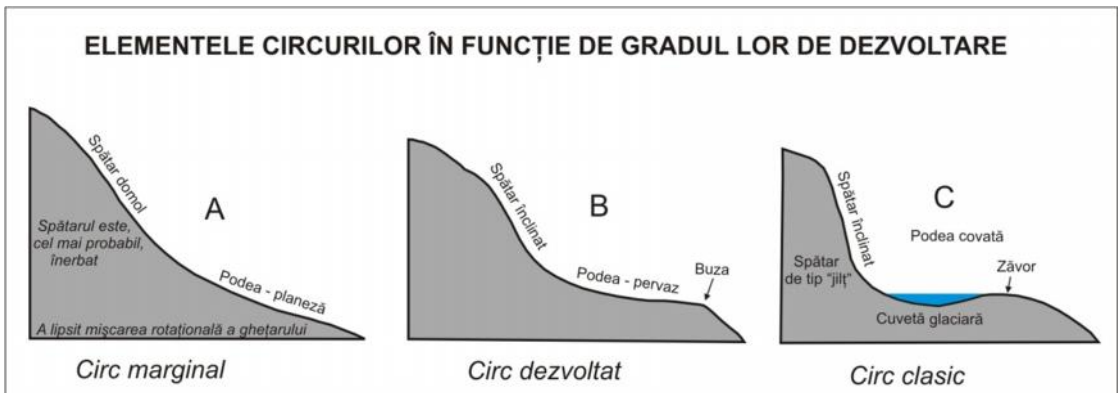


Figura 3.2. Forma și declivitatea podelei de circ în funcție de gradul de dezvoltare a circurilor.

La partea inferioară a podelei se afla un alt element important, care delimitează podeaua de restul ariei montane. Acest element de graniță poate fi de două feluri. În cazul în care apare o contrapantă care „închide” circuitul în plan vertical, este vorba de *zăvorul* circuitului. Zăvorul reprezintă un val morfologic transversal, format în roca în loc prin eroziunea de subsăpare a ghețarului. Acesta prezintă dimensiuni mari, mai ales în cazul circurilor cu cuvete glaciare de mari dimensiuni (Bucura, Zănoaga Mare - Retezat). Este foarte probabil ca astfel de zăvoare glaciare să fi fost mai pronunțate în morfologie și mai des răspândite, dar au fost „șterse” temporar din morfologie prin acumulările postglaciare din amonte. Dacă s-ar realiza hărți ale depozitelor superficiale din cadrul circurilor, am observa cu ușurință că astfel de zăvoare sunt o realitate pentru multe dintre circurile carpatice (Fig. 3.3).

În cazurile în care zăvorul lipsește, locul său este luat de buza circuitului. *Buza circuitului* reprezintă o suprafață ușor convexă, care face racordul între podeaua circuitului și abruptul din fața sa. Uneori, aceasta poate avea și un aspect de muchie, accentuând aspectul de pervaz al părții terminale a podelei. Atât zăvorul, cât și buza circuitului, sunt parte constituantă a circuitului. Există, totuși, suficiente situații în care ambele elemente pot lipsi, iar trecerea de la circ la valea glaciară sau fluvială se face treptat, fără prezența unui val în roca *in situ*, a unei muchii sau suprafețe de racord. Aceste situații sunt specifice mai ales circurilor slab dezvoltate.

În profilul longitudinal al circurilor se evidențiază, în primul rând, *treptele*, *pragurile* și *abruptul circuitului* (pragul terminal). *Treptele* și *pragurile* sunt forme de detaliu ale morfologiei circurilor și, de cele mai multe ori, prezența lor se datorează influențelor structurale și litologice. În munții Godeanu treptele și pragurile sunt în general destul de înclinate și rareori, pe mici porțiuni, există contrapante în care să se formeze lacuri glaciare (Niculescu, 1965). Pentru înlăturarea confuziilor, definim treptele și pragurile ca fiind discontinuitățile din cadrul circuitului, cel mai frecvent, de la nivelul podelei. Însă acestea pot apare și la nivelul spătarului. Considerăm că acolo unde un prag depășește elevația de 50-60 m, există o mare probabilitate ca acesta să reprezinte, în realitate, un abrupt sau, după caz, spătarul unui circ intern. Frecvent, astfel de circuri de interne, denumite *inner cirques* de către Evans și Cox (1995), au fost interpretate ca fiind trepte glaciare sau uneori denumite temător „cuiburi”, și nu, după cum ar fi fost corect, circuri glaciare.

Astfel, pragurile glaciare sunt bine marcate prin abrupturi cu elevații cuprinse între 50 și 100 m (Niculescu, 1965). Însă multe dintre acestea sunt, după cum am menționat, abrupturi sau spătare ale unor circuri interne. Totuși, treptele și pragurile sunt o realitate pentru circurile glaciare, mai ales pentru cele de mari dimensiuni (ex. circuitul Bila din Rodna, Fig. 3.3), însă nu trebuie să fie confundate cu alte generații de circuri interne (*inner cirques*).

Într-adevăr, influențele structurale și litologice sunt cel mai bine puse în evidență prin prezența acestora în morfologia de detaliu a circurilor. Nu întâmplător, cele mai multe studii despre relieful glaciare din Carpații Românești tratează influențele structurale asupra formelor de relief glaciare din această arie montană tocmai din perspectiva prezenței acestor trepte și praguri din cadrul circurilor (ex. Nedelcu, 1959).

Acest fapt se datorează rezistenței mai scăzute a rocilor specifice CR în comparație cu alte arii montane glaciare din lume, șistozității specifice șisturilor cristaline, intercalațiilor frecvente de roci dure cu unele mai puțin dure, dar și expunerii spre nord (respectiv, pe versantul cu susceptibilitate crescută pentru a fi glaciare datorită caracterului său de adăpost față de radiațiile solare), cu precădere, a capetelor de strate în cazul a numeroase masive montane (ex. Rodna, Făgăraș, Parâng etc.).



Figura 3.3. Circul glaciare Bila din munții Rodnei. Trepte și praguri glaciare interne. În centru se află vârful Înău, de la dreapta căruia începe custura (gireada) Pleșcuței.

Abruptul circurilor reprezintă, acolo unde există, versantul de racord dintre podeaua circului și restul masei montane situate în aval. Deseori acesta a fost denumit prag, însă noi dorim să facem distincția dintre pragul intern din cadrul unui circ, care apare la marginea unei trepte, și versantul înclinat din fața circului, care în unele cazuri poate avea o elevație de sute de metri. Astfel, abruptul circurilor poate înregistra uneori înălțimi de peste 500 m, măsurate între buza circului și patul văii din aval (ex. circurile Zănoaga Mare și Zănoaga Mică din grupul montan Borăscu Mare, munții Godeanu). Abrupturile sunt caracteristice mai ales circurilor înalte sau de versant, dar sunt prezente și în cazul a mai mult de jumătate dintre circurile de obârșie. În cazul circurilor complexe, denumite *outer cirques* de către Evans&Cox (1995), există, pe lângă abruptul de circ exterior, unul sau mai multe abrupturi de circ interne, corespunzătoare circurilor componente (interne) pe care le găzduiesc. Acestea prezintă înălțimi mai reduse, iar uneori chiar pot lipsi, trecerea făcându-se gradat spre podeaua circului gazdă (trecerea de tip *vad glaciare*).

Printre alte elemente secundare specifice podelelor amintim morenele de circ, rocile mutonate (*roche moutonnées*), contrapantele (*reversed slopes*) sau striatiile. Dintre acestea, morenele constituie un indiciu de necontestat pentru originea glaciară a circurilor. Din păcate, multe dintre morenele de circ au fost spălate sau erodate excesiv de eroziunea postglaciară și, astfel, s-au pierdut unele dintre cele mai importante mărturii glaciare specifice circurilor. Cu toate acestea, prin măsurători de rezistivimetrie (ERT) pot fi puse foarte bine în evidență astfel de morene de circ mai greu sesizabile în morfologie, fie datorită eroziunii postglaciare, fie datorită vegetației subalpine dense (ex. jnepenișuri) (Fig. 3.4). Totuși, prezența altor elemente, precum sunt spătarele arcuite, podelele domoale (la altitudini unde predomină în proporții de peste 90% suprafețele înclinate de tipul

versanților montani), cuvetele glaciare, zăvorul glaciare sau rocile mutonate sunt suficiente pentru a substitui lipsa altora, așa cum sunt morenele de circ.

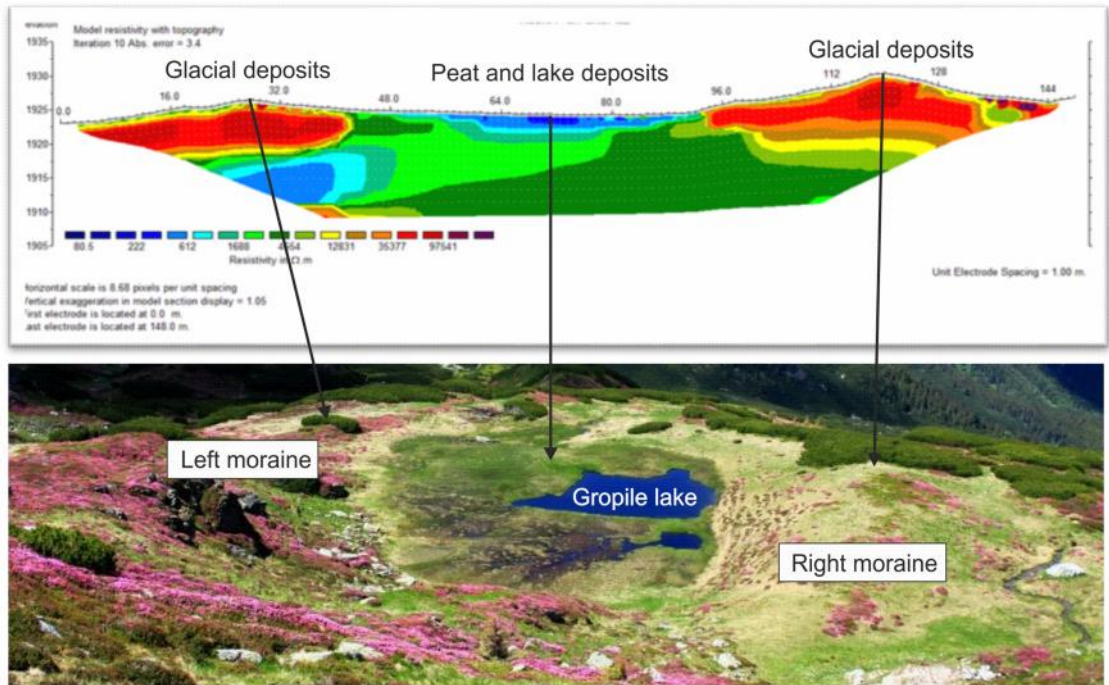


Figura 3.4. Tomografie pe baza rezistivimetriei electrice (electrical resistivity tomography, ERT) asupra depozitelor glaciare din circuitul glaciare Gropile, munții Rodnei.

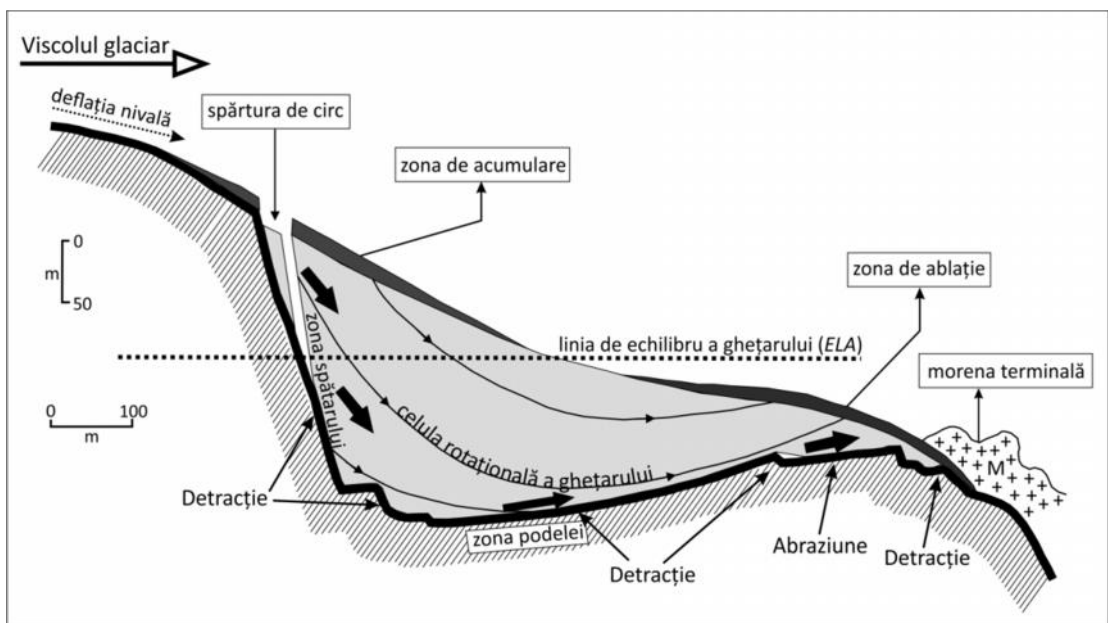


Figura 3.5. Elementele unui circ glaciare funcțional.

Limita circuitului este o ruptură de pantă (*break-in-slope*) care delimitează aria circuitului de regiunile înconjurătoare. Deși *rimaya* (*bergschrund*) nu mai reprezintă o realitate pentru

circurile din CR, propunem ca aceasta să fie denumită *spărtura cirului*, care a reprezentat crevasa principală a ghețarului de circ situată între spătar și ghețar, astfel încât partea superioară a spătarului a evoluat subaerian, fiind afectată mai ales de meteorizație.

Elementele unui circ funcțional, care este ocupat de un ghețar de circ, sunt: spărtura de circ (*rimaya*), zona de acumulare, zona spătarului, celula rotațională a ghețarului, linia de echilibru a ghețarului, zona de ablație, morena terminală. Procesele principale ale ghețarului de circ sunt detracția și abraziunea glaciară (detersia) (Fig. 3.5). În schimb, elementele unui circ non-funcțional sunt: zona supraglaciară (situată deasupra cirului), limita cirului, muchia cirului, spătarul, limita spătar-podea, podeaua cirului, cuveta glaciară, berbec glaciari, buza cirului, abruptul cirului (Fig. 3.6).

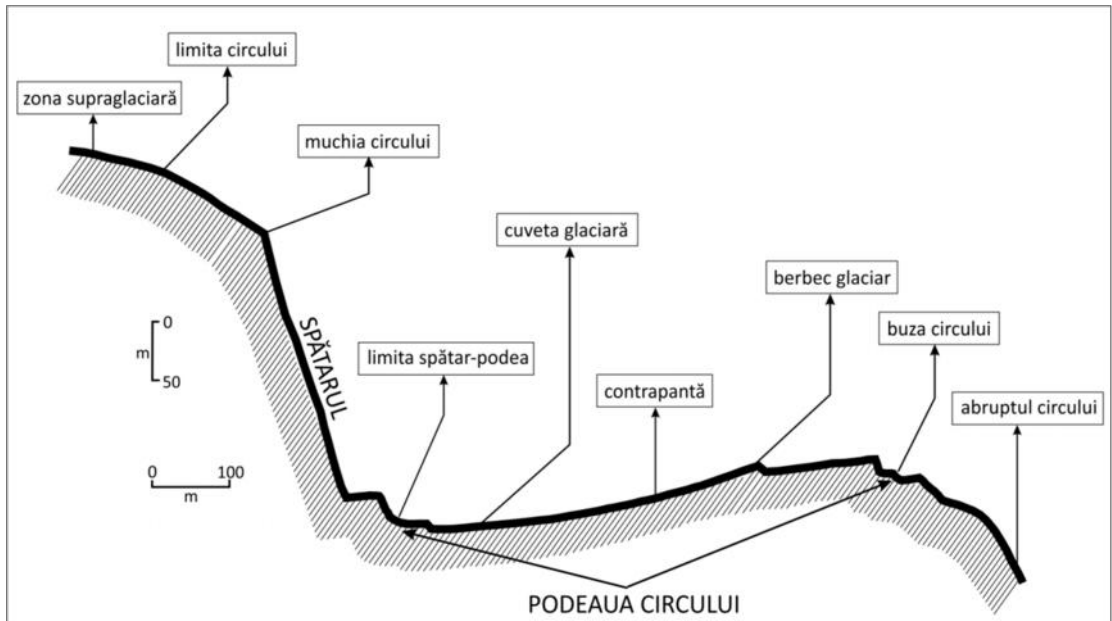


Figura 3.6. Elementele unui circ glaciari non-funcțional.

Pentru a completa peisajul glaciari specific Carpaților Românești, mai amintim hornurile și costurile glaciare. Primele sunt vârfuri piramidale cu fețe evidente care au susținut, pe flancurile lor, mai mulți ghețari de circ (ex. vârfurile Moldoveanu, Peleaga, Inău etc.). Costurile reprezintă creste înguste și zimțate aflate la intersecția cirurilor glaciare. În munții Rodnei, acestea creste ascuțite sunt denumite girezi (Fig. 3.3).

Dezvoltarea “spate în spate” a ghețarilor de circ a forțat crestele să se îngusteze foarte mult și să capete o formă zimțată cu aspect de fierăstrău. Formarea acestora a fost explicată prin eroziunea puternică exercitată de ghețarii de circ. Această teorie a fost denumită ‘*buzzsaw hypothesis*’ de către Mitchell și Montgomery (2006), care au studiat în munții Cascadelor (America de Nord). Din păcate, această teorie (‘*ipoteza fierăstrăului glaciari*’) nu se verifică și în CR decât pentru partea centrală a munților Făgăraș (Mîndrescu și Evans, 2014).

În unele situații, crestele dintre ciruri sunt “sparte” de către ghețari, rezultând *șei de transfluență glaciară* în lungul cărora are loc un schimb de gheață între cirurile vecine. Aceste înșeuări sunt adânci, largi, cu aspect de covată, trădând abraziunea glaciară.

3.3. Procesele specifice ghețarilor de circ

Eroziunea subglaciară directă asupra rocilor se realizează prin intermediul a două procese specifice: *detersia (glacial abrasion)* și *detracția (glacial quarrying)*. Detersia, sau abraziunea glaciară, reprezintă acțiunea de polizare și scrijelire a subasmentului cu ajutorul fragmentelor mici de rocă (sub 1 cm diametru) în urma căreia, în primă fază, se reduce gradul de rugozitate a patului glaciare prin înlăturarea micilor asperități. În urma procesului de scrijelire se formează striațiile glaciare (Fig. 3.7). Striațiile (*striations* sau *striae*) se formează atunci când clastele sau micile asperități smulse din patul glaciare sunt purtate și presate peste subasmentul glaciare, formând caneluri subțiri. Fără aceste mici claste încorporate în masa ghețarului, eroziunea glaciară ar fi neînsemnată. Abraziunea glaciară (*detersia*) avansată se face vinovată de reducerea elevației podelelor de circ, acestea pierzând din altitudine o dată cu intensificarea abraziunii glaciare.



Figura 3.7. Striații glaciare din ciroul Bistricioara Mare, munții Rodnei (stânga) și bloc eratic cu striații pe podeaua ciroului Bardăul Mare, munții Maramureș (dreapta).

Detracția presupune desprinderea și antrenarea fragmentelor de rocă de dimensiuni mai mari (peste 1 cm) din patul glaciare, mai ales la trecerea ghețarului peste obstacole de tipul pragurilor de circ. Presarea în mișcare a acestor fragmente rupte din roca in situ de către ghețar conduce la o eficiență mai mare a eroziunii conducând la creșterea mărimii ciroului glaciare, mai ales prin lărgirea suprafeței podelei.

3.4. Teorii privind formarea circurilor glaciare

Ca urmare a trecerii în revistă a tuturor teoriilor privind formarea circurilor glaciare, am realizat o clasificare a acestora, din punct de vedere cronologic, dar și ca importanță, după cum urmează:

Ideile vechi susțin formarea circurilor fie prin *meteorizație* la nivelul și deasupra spărturii de circ (*rimaya, bergschrund*) (Johnson, 1904), fie datorită *nivației* (rezultat al eroziunii chimice și fizice a zăpezii) la nivelul scobiturilor montane, considerate ca stadiu inițial și unic de dezvoltare a circurilor glaciare (Matthes, 1900; Hobbs, 1910, 1911).

Ideile acceptate au la bază dezvoltarea circurilor ca urmare a procesului de adâncire a podelei, fie prin *abraziune* și *detracție glaciară* (Helland, 1877), fie datorită *alunecării rotaționale* a ghețarului (Lewis, 1960; McCall, 1952, 1960; Grove, 1961). În cazul celei rotaționale, în mod obligatoriu, gheața din baza ghețarului de circ trebuie să fie mai caldă.

Ideile cele mai noi consideră că, dimpotrivă, formarea circurilor glaciare se datorează *colapsului spătarului* prin *căderi și avalanșe de roci*, acompaniate de eroziunea glaciară de la baza sa (Whalley *et al.*, 1997; Evans, 1997), sau prin *fracturarea rocilor* datorită fluctuațiilor presiunii apei în jurul punctului de îngheț la nivelul spărturii de circ și a crevaselor adânci (Hooke, 1991; Iverson, 1991), ori prin polizarea cu ajutorul clastelor de către un ghețar politermal (Bennett *et al.*, 1999).

Ghețarul trebuie să prezinte un sector cu gheață caldă în bază, cel puțin parțial (politermal), pentru a fi eficient în acțiunea de eroziune a circurilor. Fără doar și poate, dezvoltarea circurilor este datorată curgerii rotaționale a ghețarului, ducând, în primul rând, la adâncirea podelei. Acest mecanism este specific mai ales circurilor glaciare, deși eroziunea de acest tip continuă și dincolo de limitele acestora, spre aval. Gelivația de la altitudini ridicate situate deasupra ghețarilor de circ nu poate fi considerată un mecanism important pentru formarea circurilor. Creștetul spătarului ar putea să se retragă din această cauză, însă fără să aibă loc și adâncirea podelei. Abraziunea glaciară, și în mod special detracția, se dezvoltă destul de bine și în partea superioară a spătarului, dar crește în intensitate la baza spătarului, mai ales, și la nivelul podelei, datorită creșterii vitezei gheții la baza ghețarului. Eroziunea glaciară a podelei și a părții inferioare a spătarului conduce la formarea unui spătar de circ cu declivitate mare, care, mai apoi, poate evolua și prin intermediul căderilor, avalanșelor de roci și acțiunii gelivației. Acestea din urmă pot continua și după deglaciație. Toate aceste procese împreună sunt direct răspunzătoare de colapsul spătarelor de circ, respectiv de formarea circurilor glaciare.

3.5. Clasificarea ghețarilor

Clasificarea ghețarilor se poate face fie pe baze morfologice, fie după proprietățile fizice ale acestora. Forma ghețarului variază, în mod special, în funcție de condițiile climatice și topografice, rezultând o varietate de ghețari, de la micii ghețari de nișă până la marile calote glaciare. Doar calotele glaciare și ghețarii de platou nu suporta constrângeri de topografie, pe când celelalte tipuri de ghețari sunt constrânse sau controlate de aceasta. Dintre tipurile de ghețari enumerăm: câmpurile de gheață (*icefields*), ghețarii de vale, ghețarii de transecțiune, ghețarii de circ, ghețarii sau loburile piemontane, ghețarii de nișă, ghețaretele, șorturile și franjurile de gheață (mai multe detalii în Urdea, 2005).

Din toate aceste categorii, doar o parte au fost prezenți și în Carpații Românești, după cum urmează:

Ghețarii de platou au ocupat suprafețele domoale situate la partea superioară a ariilor montane, de tipul suprafețelor de denudare. Un astfel de ghețar a existat, cu siguranță, pe platoul superior al masivului Ceahlău. Însă cei mai caracteristici au fost cei din munții Godeanu, care s-au dezvoltat pe suprafața de denudare Borăscu.

Ghețarii de vale se desfășoară în totalitate în lungul unei singure văi și pot avea ca sursă un ghețar de platou sau de circ. Aceștia pot fi simpli sau dendritici, prezentând mai multe ramificații. Spre deosebire de circuri, patul văilor este mai înclinat, iar amplitudinea altimetrică este mult mai mare. Avalanșele de la nivelul versanților dețin un rol important pentru creșterea cantităților de zăpadă.

Ghețarii de transecțiune sunt de mari dimensiuni și presupun dezvoltarea unui ghețar de vale rezultat prin unirea mai multor ghețari cu direcții de curgere diferite. A fost specific marilor văi de tipul culoarelor montane, cum sunt cele de pe versantul sudic al munților Făgăraș. Cantitatea mare de gheață a dus, în unele cazuri, la debușeul acestora și dincolo de cumpăna de ape, determinând atât difluențe, cât și confluențe glaciare. Eroziunea accentuată a acestor

ghețari de mari dimensiuni, coroborată cu a ghețarilor de circ sursă, a condus la formarea creștelor de tip fierăstrău (*glacial buzzsaw*) (Mîndrescu & Evans, 2014).

Ghețarii de circ au fost cei mai comuni în Carpații Românești. Ghețarul de circ poate ocupa inițial doar spațiul circului, însă poate invada și valea din aval sub forma unei limbi de gheață (*snout glacier*), ducând la formarea unui ghețar de vale. Această creștere a ghețarului de circ are loc atunci când glaciația a fost mai intensă. Balanța ghețarului de circ este puternic influențată de deflația nivală de la nivelul platourilor montane adiacente (Fig. 3.9).

Ghețarii de tip șorț sunt acumulări superficiale de zăpadă și gheață care se găsesc, de regulă, pe versanții înclinați ai muntelui.

Ghețaretele sunt petice subțiri de gheață care ocupă microdepresiunile formate prin deflație sau prin acțiunea avalanșelor. Acestea sunt numite și *ghețari de cădere* sau *de regenerare*, când sunt situați sub linia zăpezilor și rezultă prin acțiunea avalanșelor de gheață.

Ghețarii nișă ocupă spațiul unei polițe de rocă sau nișe situate pe versanții munților glaciați. Ghețarii nișă sau șorțurile de gheață sunt diferiți față de peticele sau troienele de zăpadă, deoarece, spre deosebire de acestea, ei se pun în mișcare datorită deformărilor interne și a alunecărilor bazale.

Important de reținut este faptul că ghețarii din Carpații Românești au fost de tip continental, datorită situației lor în interiorul continentului, departe de ariile oceanice care au influențat cantitatea de precipitații din ariile glaciare.

În concluzie, în Carpații Românești au existat mai multe tipuri de ghețari, iar absența celor de circ sau de vale din anumite arii montane nu înseamnă, neapărat, și lipsa celorlalte categorii de ghețari. În toate ariile montane care au intersectat linia zăpezilor în timpul Pleistocenului au existat condiții de formare pentru cel puțin o categorie dintre tipurile enumerate de ghețarii. Prezența circurilor actuale constituie o dovadă a existenței ghețarilor de circ, însă nu și a celorlalte categorii de ghețari. Doar dacă se analizează toate aceste categorii de ghețari la un loc, se poate determina cu precizie extinderea și magnitudinea reală a glaciației din CR.

3.6. Dezvoltarea circurilor

Ghețarii de circ se formează în concavități ce sunt adâncite și lărgite treptat, simplificându-le forma, pentru ca, în cele din urmă, să fie transformate în circuri glaciare. Odată ocupată de gheață (preaplin glaciare), orice scobitură, indiferent de mărimea sa, suferă următoarele transformări:

- ⇒ podeaua este din ce în ce mai mult adâncită,
- ⇒ spătarul este forțat să se retragă, și
- ⇒ crește mărimea concavității.

Concavitățile inițiale au fost reprezentate de ravene, torenți sau confluente ale acestora, cornișe de alunecare, pervazuri structurale, obârșii de vale sau chiar cratere vulcanice. Diversitatea concavităților inițiale a dus la apariția unei game foarte largi de circuri. În faza inițială acestea sunt considerate ca fiind slab dezvoltate sau marginale, pentru că lipsesc elementele caracteristice. O dată cu intensificarea eroziunii glaciare apar alte modificări care apropie aceste concavități slab dezvoltate de circurile glaciare propriu-zise. Aceste modificări includ:

- ⇒ creșterea gradientului spătarului,
- ⇒ reducerea gradientului podelei,

- ⇒ creșterea dimensională a axelor de dezvoltare: lungimea, lățimea și amplitudinea,
- ⇒ creșterea gradului de zăvorâre orizontală a cercului, datorită eroziunii glaciare regresive a masei montane, care va duce la arcuirea în plan a spătarului, în jurul podelei,
- ⇒ creșterea gradului de zăvorâre verticală datorită apariției unui centru de greutate al ghețarului, bine definit în spațiu, a cărui masă și volum devin din ce în ce mai mari, ducând la formarea unei cuvette glaciare de dimensiuni apreciabile. Cuveta este închisă spre aval de un zăvor în roca în loc (Fig. 3.8).

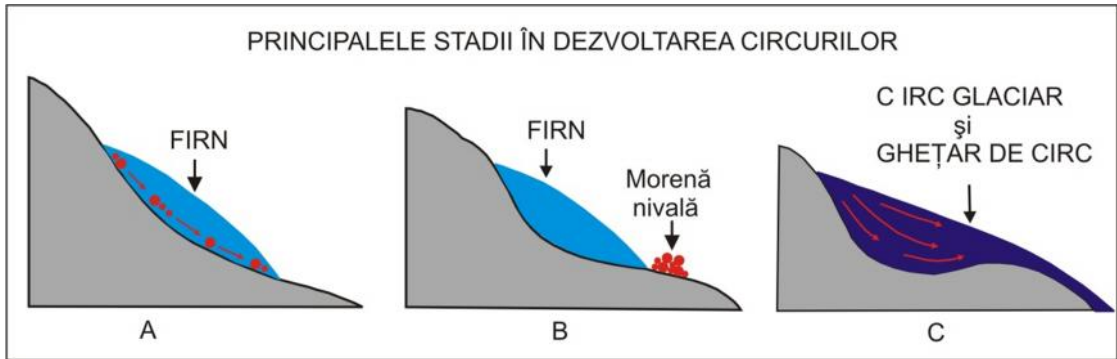


Figura 3.8. Un exemplu de model de evoluție a circurilor glaciare. A - nivația exercitată de un strat de firn; B - apariția circului nival, C - stadiul de circ glaciar (modificat după Ritter, 1978).

3.7. Liniile climatice specifice ghețarilor de circ (linia de echilibru a ghețarilor de circ, linia zăpezilor și linia firnului)

Linia de echilibru a ghețarului de circ, LEG (*equilibrium line altitude, ELA*), marchează zona ghețarului de circ unde acumularea devine egală cu ablația. Altfel spus, este limita dintre ariile cu surplus respectiv, deficit ale ghețarului la un moment dat. Deasupra liniei de echilibru, ghețarul de circ este acoperit cu firn și zăpadă, iar sub aceasta apare ghețarul „nud”, fără această epidermă formată din firn și zăpadă, motiv pentru care este și mai expus ablației (Fig. 3.9). În concluzie, linia de echilibru este linia zăpezilor la un moment dat, dar doar din interiorul cercului. Astfel, LEG (*ELA*) este sensibilă la variațiile de precipitații din timpul iernii, precum și la cele de temperatură din timpul verii, dar și la deflația nivală și ambianța topografică locală. Când balanța ghețarului este negativă, crește altitudinea liniei de echilibru, și scade, când balanța devine pozitivă (Fig. 3.9). Echilibrul dinamic al acesteia demonstrează că acumularea și ablația sunt aproximativ egale. Fluctuațiile în altitudine ale liniei de echilibru reprezintă un indicator important pentru a descrie răspunsul ghețarului la schimbările de climă. Astfel, pe baza studierii acesteia pe parcursul unui interval dat, ne putem permite reconstituiri paleoclimatice ale regiunii în care se găsește ghețarul / ghețarii (Fig. 3.10).

Linia climatică de echilibru reprezintă media unei linii de echilibru a unui ghețar pe o perioadă de 30 de ani, interval considerat ca fiind unul standard din punct de vedere climatic.

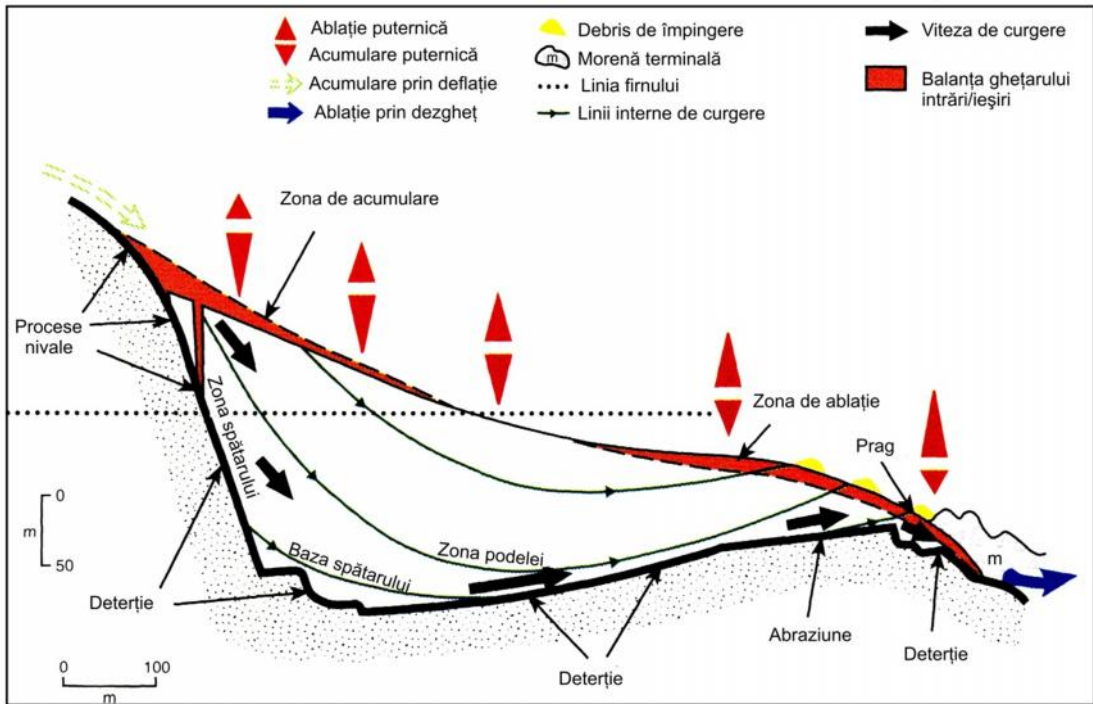


Figura 3.9. Ghețarul de circ. Balanță, curgere și procese.

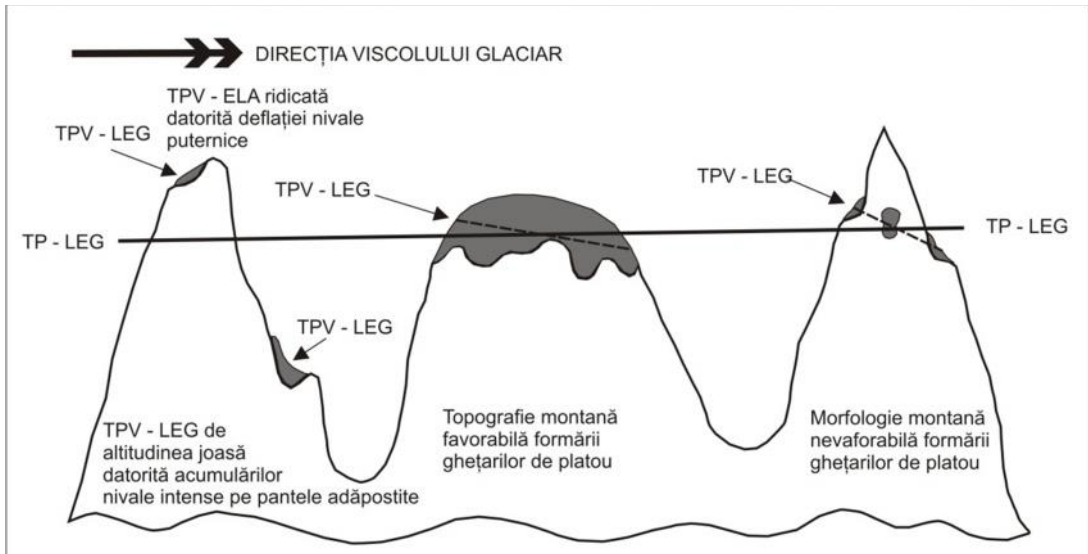


Figura 3.10. Schemă privind diferențele dintre linia de echilibru determinată de temperatură și precipitații (TP-LEG) specifică ghețarilor de platou și linia de echilibru determinată de temperatură-precipitații și viscolul glaciare (TPV-LEG) specifică ghețarilor de circ (Dahl și Nesje, 1992).

Linia climatică a zăpezilor definește altitudinea medie a liniei zăpezilor dintr-o regiune de-a lungul câtorva ani. Termenul nu se referă exclusiv la ghețari, ci desemnează altitudinea de la care zăpada persistă de la un an la altul (linia zăpezilor regionale). În literatura de specialitate rusă se folosește metoda numită sugestiv 365: "linia deasupra căreia zăpada persistă cel puțin 365 de zile devine linia zăpezilor regionale".

Linia firnului este, în practică, aproximativ identică cu linia zăpezilor, reprezentând limita dintre aria ocupată cu zăpadă și cea cu gheață. Termenul de *firn* este folosit pentru a desemna zăpadă grăunțoasă, grunjoasă și aspră.

3.8. Degradarea circurilor glaciare

Multe arii glaciare de pe Terra au fost acoperite atât de ghețari montani (locali), cât și de cei de calotă, iar circurile glaciare, care sunt rezultatul ghețarilor locali, au suferit modificări (degradare morfologică), spre exemplu, prin instalarea calotelor glaciare ulterioare (ex. Arhipelagul Britanic). În acest din urmă caz, cea mai importantă modificare a fost *bizotarea glaciară* a spătarelor de circ, care reprezintă procesul de modificare (teșire) a creștetului spătarului prin eroziunea ghețarilor de calotă.

Circurile non-funcționale, deglaciare, așa cum sunt cele din CR, sunt degradate datorită manifestării unei varietăți de procese care includ mișcările în masă, prăbușirile de roci, avalanșele de zăpadă (umede sau uscate) și de roci, torențialitatea, meteorizația și eroziunea datorată transferului de claste rezultate care conduce la formarea jgheaburilor de spătar. Aceste procese sunt în general specifice spătarelor de circ. În schimb, la nivelul podelelor predomină acumulările de grohotișuri și formarea de conuri și taluzuri, acumulările proluviale de la gura jgheaburilor de spătar și eroziunea fluvială regresivă care știrbește și sparge unitatea podelelor de circ. Printre cele mai agresive procese se numără prăbușirile de rocă de la nivelul spătarelor (*rock slope failures*) și formarea jgheaburilor care distrug unitatea spătarului și conduc la ștergerea *muchiei circului (trimline)*. Muchia circului reprezintă linia (limita) până la care a ajuns gheața ghețarului de circ. Aceasta se prezintă sub forma unei rupturi de pantă, destul de evidentă în morfologie, cu aspect de poliță sau umăr. Pe baza acesteia se poate determina grosimea ghețarului din circ. În cazul podelelor acumulările de grohotiș ca urmare a eroziunii spătarului și reactivarea eroziunii postglaciare (mai ales datorită pierderii suportului lateral al acestui prin dispariția ghețarului) au condus la parazitarea unor suprafețe importante aparținând podelelor. La partea inferioară a acestora inciziile fluviale au schimbat conformația în plan a perimetrului podelelor.

În timp, aceste procese postglaciare reduc înclinarea spătarului și parazitează cu claste podeaua, ascunzând limitele reale dintre cele două elemente principale ale circurilor. Totuși, gradul de zăvorâre orizontală a circului suferă cele mai mici modificări, aproape insesizabile. Teoretic, intersectarea circurilor determinată de retragerea spătarului pe toată suprafața sa poate conduce la apariția masivelor trunchiate, respectiv, sub formă de trunchiuri de con. Această situație s-a dovedit, însă, a fi foarte rară și pare a fi posibilă doar în ariile montane formate din roci cu rezistență scăzută la eroziune.

În ceea ce privește evoluția reliefului glaciare, a fost emisă, de foarte timpuriu, și teoria unui *ciclu al eroziunii glaciare* după modelului lui Davis, cuprinzând cele trei faze de evoluție cunoscute: tinerețe, maturitate și bătrânețe (Hobbs, 1911).

3.9. Expansiunea și decăderea ghețarilor de circ din Carpații Românești

Cele mai semnificative modificări ale sistemului geomorfologic din CR din timpul Pleistocenului au avut loc datorită schimbărilor repetate de fază ale apei într-un interval de timp relativ scurt, dacă ne raportăm la scara timpului geologic. În timpul glaciației pleistocene a avut loc trecerea de la faza predominant lichidă, specifică eroziunii fluviale

într-un climat mai cald decât cel actual, la faza predominant solidă, specifică eroziunii glaciare și transformărilor periglaciare (climatul glaciar).

Comportamentul climatic și morfologic diferit al precipitațiilor solide, precum și stocajele de apă în stare solidă nou apărute, au stat la baza transformărilor pe care le-a suferit peisajul geomorfologic carpatic din timpul glaciației. Gheața și zăpada au indus, la rândul lor, alte schimbări microclimatice derivate, mai ales de natură topoclimatică, care au nuanțat și mai mult climatul glaciar nou instalat.

Schimbările climatice care au stat la baza instalării ghețarilor din CR au fost scăderea drastică a temperaturilor și predominarea precipitațiilor sub formă solidă. Importanța precipitațiilor solide pentru morfologia glaciară rezidă în faptul că acestea se pot acumula pe pantele adăpostite de vânt și ferite de radiațiile solare, conducând la formarea ghețarilor de circ. Mai mult, ariile de formare a ghețarilor de circ au fost favorizate de un surplus de zăpadă datorită remanierii acestora după contactul cu suprafața topografică (*deflația nivală*). Posibilitatea remanierii precipitațiilor solide, fără ca acestea să se infiltreze, a constituit premisa principală de formare a stocajelor de gheață de tipul ghețarilor de circ. Nu întâmplător, repartiția acestora din urmă ține seama de direcția vântului dominant (*viscolul glaciar*) din perioadele glaciare. Astfel, prin comparație cu precipitațiile lichide, cele solide pot fi remaniate prin vânt și avalanșe după ce acestea au atins suprafața topografică, rezultând un surplus de zăpadă în anumite arii în care ulterior s-au format ghețarii de circ.

Toate aceste particularități climatice au condus la formarea ghețarilor de circ, preponderent la altitudini ridicate și în arii montane cu masivitate pronunțată. Pe lângă cele două condiții favorizante menționate, a contat foarte mult și distanța față de aria de proveniență a precipitațiilor (*eastward*), precum și poziția latitudinală.

O dată cu începutul Holocenului s-a produs o încălzire generală și treptată a climatului de pe Terra, reprezentând, probabil, începutul unei noi faze interglaciare. Astfel, ghețarii de circ din CR, au dispărut, lăsând în urma lor circuri glaciare non-funcționale de altitudine. Dispariția ghețarilor a marcat și începutul fazei de degradare a circurilor (decăderea acestora). Cele mai frecvente modificări s-au datorat pierderii suportului lateral de care spătarul circurilor profita prin prezența ghețarilor de circ. Cel mai adesea au fost șterse elementele de detaliu ale morfologiei glaciare, cum sunt striațiile sau unele valuri morenaice de mici dimensiuni (acoperite ulterior de taluzuri de grohotiș).

Din punct de vedere biogeografic, circurile glaciare au reprezentat spații de refugiu pentru unele relice glaciare (faună și floră) care au găsit aici condiții prielnice, cel puțin la începuturile deglaciației, dat fiind faptul că ambianța topoclimatică a permis acest lucru (spre exemplu, păstrarea gheții și firnului pentru o perioadă mai îndelungată comparativ cu ariile înconjurătoare expuse).

Prin urmare, circurile glaciare reprezintă o moștenire morfologică datorată unor schimbări climatice nu foarte îndepărtate de prezent. Viitorul modificărilor climatice va decide dacă aceste circuri se vor degrada până la ștergerea totală a morfologiei glaciare sau vor deveni din nou funcționale ca urmare a instalării unei noi faze glaciare. În oricare dintre cele două scenarii, circurile glaciare constituie o arhivă de mediu care reflectă schimbările climatice trecute și, prin urmare, spațiul lor trebuie strict protejat de activitățile antropice, cu atât mai mult cu cât acestea dețin și arhive sedimentare importante, așa cum sunt sedimentele lacurilor glaciare și depozitele glaciare.

4. Metodologia cercetării geomorfometrice a circurilor glaciare

4.1. Exploatarea hărților topografice în cercetarea geomorfometrică a circurilor glaciare

Privit în ansamblu, cirul glaciare tipic apare ca o nișă sau ca o carieră tăiată în flancul muntelui. Dacă el este izolat, contrastul dintre topografia sa și cea a muntelui este cu atât mai evidentă. Studiul atent al unei hărți în curbe de nivel, detaliate, pune în evidență acest dezacord și înlătură confuzia cu bazinele de recepție torențiale (de Martonne, 1907). Datorită costurilor ridicate ale aerofotogramelor sau imaginilor satelitare (la nivelul anilor 2000-2005), studiul nostru a avut la bază, aproape în exclusivitate, studiul hărților topografice la scările 1 : 25.000, 1 : 50.000 și 1 : 10.000. Însă exercițiile de geomorfometrie s-au realizat numai pe hărțile la scara 1 : 25.000, cu echidistanța de 10 m, iar în anumite arii, acolo unde prezența sau natura cirurilor este controversată, au fost folosite și hărți la scară mai mare, respectiv 1 : 10.000 pentru munții Maramureș și Călimani.

Deși nu au același nivel de acuratețe așa cum au, spre exemplu, hărțile britanice (pe care am lucrat în diferite stagii de pregătire), hărțile topografice românești sunt ușor de utilizat pentru exercițiile de geomorfometrie. Pe baza acestora au fost cartate toate cirurile din CR și, în funcție de scara acestora, s-au realizat măsurătorile de altimetrie, planimetrie și coordonatele geografice ale cirurilor. Aceste suporturi topografice au fost la fel de importante și pentru evaluările calitative ale cirurilor, deși, în acest caz, au fost utilizate și datele din teren și de pe extrase de pe ortofotoplanuri.

De regulă, materialele cartografice bine realizate pot rezolva unele controverse privind originile glaciare ale unui sit montan. Acesta se poate evidenția foarte bine pe hărțile topografice, datorită prezenței podelei și spătarului care, având declivități diferite și fiind situate adiacent, pot fi identificate pe hartă datorită contrastului morfografic și morfometric, imprimat mai ales de declivitate, dar și de formă.

Pentru a determina cu precizie elementele reliefului glaciare din bazinul Soarbele (munții Parâng), de Martonne (1907) realizează o hartă în izohipse. Vom reda, alături de această hartă realizată în 1907, și pe cea întocmită de topograful român, mult mai târziu, în anul 1984 (Fig. 4.1). Pe harta lui de Martonne au fost surprinse foarte bine atât cirul principal, cât și cel secundar (stânga-sus), de tip intern (*inner*), dar și contrastul evident între elementele cirurilor (podeaua și spătarul). În schimb, pe harta topografică din 1984 nu se poate „citi” cirul intern, iar elementele cirului principal sunt slab evidențiate.

Urmărind îndeaproape o metodologie concisă și utilizând hărțile topografice la scară mare, a fost realizată baza de date morfometrice ale tuturor cirurilor glaciare din CR. Atât cartarea, cât și măsurarea variabilelor, s-au făcut asistat de calculator. Ambele operații sunt mari consumatoare de timp și necesită foarte mari resurse logistice și cartografice. Realizarea unui număr apreciabil de astfel de hărți, la rezoluție mare a necesitat un computer cu performanțe tehnice peste medie.

Și pe plan internațional, hărțile topografice sunt preferate pentru studiul cirurilor glaciare, în detrimentul aerofotogramelor sau imaginilor satelitare. Acestea din urmă sunt utilizate

pentru regiuni vaste și izolate, precum este Antarctica. Spre exemplu, în Marea Britanie (Evans, 2006, 2009; Evans & Cox, 1995) s-a lucrat pe hărțile la scara 1 : 10.000 care au un grad mai ridicat de acuratețe comparativ cu hărțile românești. În plus, acestea includ mai multe elemente care sunt de interes pentru geografi și geomorfologi.

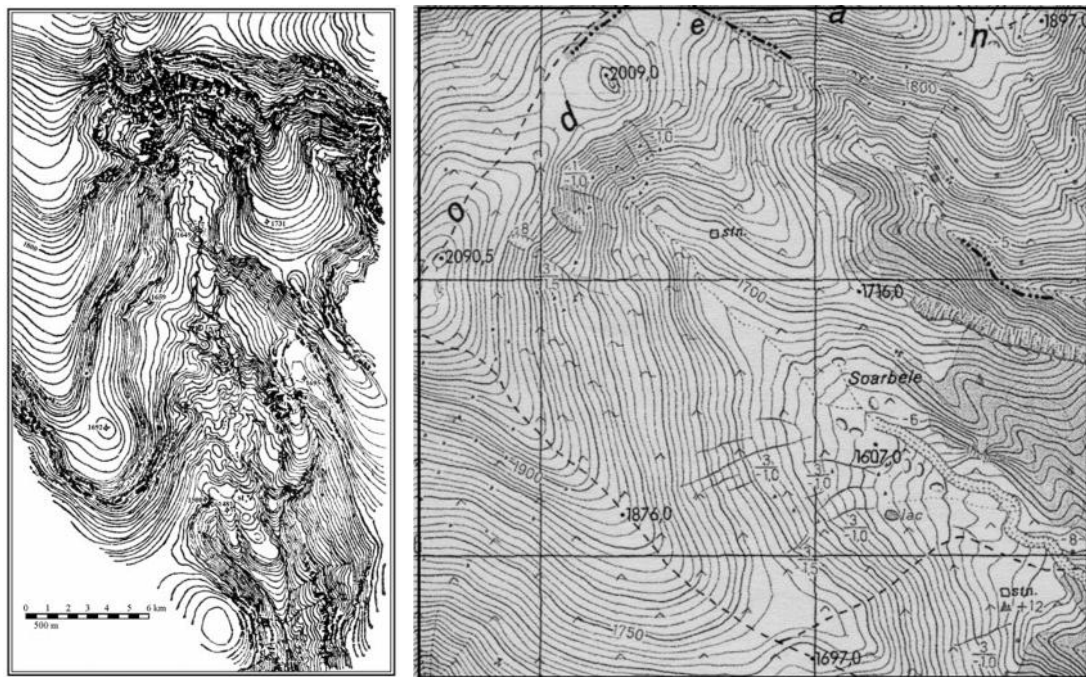


Figura 4.1. Circul și valea Soarbele din munții Godeanu reprezentate pe două hărți topografice diferite (stânga: harta lui de Martonne din 1907; dreapta: harta topografică militară din 1984).

Una dintre marile probleme pe care le-am întâmpinat a fost frecvența mare a semnelor convenționale folosite pentru abrupturile montane cu înclinări mari, așa cum sunt spătarile de circ. În unele cazuri, cum este masivul Parâng, putem spune că acestea au fost utilizate în exces. Din acest motiv am întâmpinat dificultăți în determinarea cu acuratețe a declivității spătarului de circ. Se pare că modelul acesta a fost împrumutat de la topografia ruși; cu toate acestea, harta rusească pe care am folosit-o pentru circurile din Pop Ivan este foarte bine realizată, deși predomină aceleași abrupturi. Avantajul hărții rusești a fost echidistanța de 5 m care a mărit contrastul, pe de-o parte, între circ și ariile înconjurătoare, iar pe de altă parte între spătar și podea, în ciuda faptului că întreg spătarul este desenat cu ajutorul semnelor convenționale pentru abrupturi (Fig. 4.2).

Dacă sunt studiate în amănunt, hărțile topografice oferă o varietate informații, cantitative și calitative, privind morfologia de detaliu, mai ales în cazul unor mezoforme de relief, cum sunt circurile glaciare. Din punctul nostru de vedere, hărțile în curbe de nivel reprezintă cele mai indicate instrumente pentru studiul circurilor glaciare, întrucât nici o altă reprezentare nu pune în evidență mai bine aceste forme de relief.

Ceea ce frapază mai mult, în cazul circurilor, sunt contrastele specifice acestora, puse în evidență de curbele de nivel, care scot în evidență o serie de contraste: între circ și regiunile înconjurătoare, mai ales în cazul circurilor izolate, între podea și spătar, între podea și versanții înclinați ai muntelui, între spătar și versantul de obârșie sau versanții de vale. Desigur, cunoașterea aproape deplină a morfologiilor alpine de tipul celor glaciare se poate obține doar coroborând datele astfel obținute cu cele din teren.

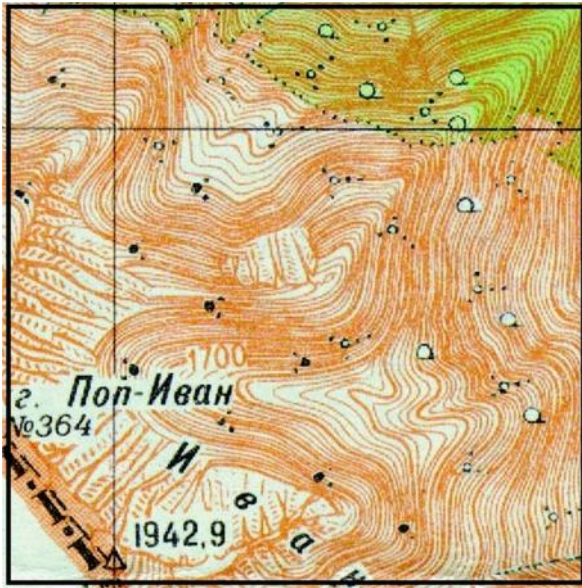


Figura 4.2. Harta rusească utilizată pentru grupul glaciare Pop Ivan cu echiștanța curbelor de 5 m.

4.2. Identificarea circurilor

Identificarea circurilor glaciare s-a bazat pe studierea literaturii de specialitate în domeniu, analiza hărților topografice la scară mare, cercetările de teren, precum și analiza aerofotogramelor sau ortofotoplanurilor.

Circurile glaciare se găsesc, în special, în ariile montane înalte care au fost afectate de glaciația cuaternară. Însă ele se pot întâlni și în ariile mai joase, cum sunt cele din arhipelagul britanic (Snowdonia, Lake District). Aici, fazele glaciare cu ghețari locali au permis formarea circurilor, deși morfologia lor a fost ulterior modificată prin bizotare glaciare în timpul fazelor glaciare de calotă, mult mai intense.

Definirea precisă a circurilor glaciare poate fi dificilă, cel puțin în unele situații. Spre exemplu, în trei studii făcute asupra circurilor scoțiene, numărul total de circuri variază de la 347 la 876 (Gordon, 1977). O parte dintre problemele de identificare apar datorită tendinței circurilor de a se dezvolta în ciorchine (grupate), iar trăsăturile individuale pot deveni amalgamate sau compozite. Spre exemplu, un circ bine dezvoltat, denumit de noi circ complex (*outer cirque*), poate fi compus din mai multe circuri mici, interne. De asemenea, circurile se pot grupa în ciorchine în jurul obârșiiilor de vale cu alimentare comună. Unele probleme de identificare și delimitare între circurile glaciare, sau între acestea și ariile non-glaciare, se datorează și faptului că multe dintre circuri reprezintă rezultatul eroziunii mai multor faze glaciare.

Această varietate de forme face ca identificarea circurilor glaciare să fie tributară unui anumit grad de subiectivitate. Amalgamarea specifică circurilor glaciare a stârnit multe controverse în cazul ariilor puternic glaciare. La fel ca în literatura de specialitate străină, și la noi există diferențe de la autor la autor privind numărul circurilor glaciare dintr-un anumit areal montan, mai ales acolo unde statutul și originea circurilor sunt dubitabile. Aceste diferențe apar și între numărul de circuri identificat de noi în cadrul acestui studiu și cel cartat de predecesori. Pentru a elimina incertitudinile privind inventarierea circurilor

glaciare, sunt necesare cercetări de teren combinate cu studiul atent al hărților topografice (Fig. 4.3), care împreună pot facilita identificarea și cartarea acestor forme de relief.

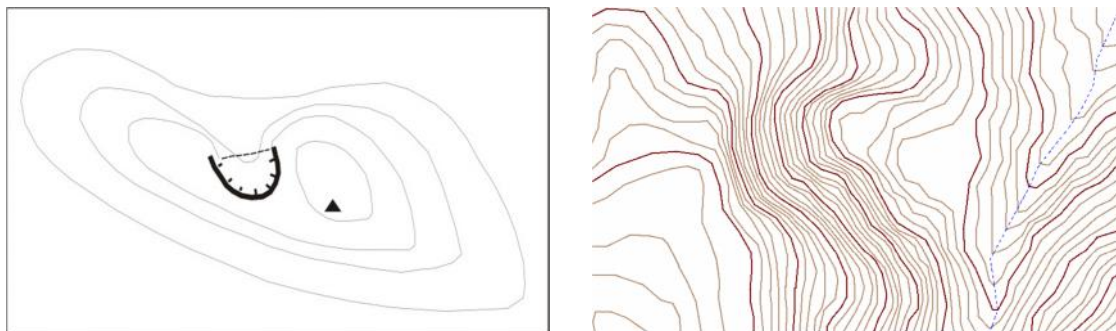


Figura 4. 3. Identificarea circurilor glaciare pe hărțile topografice cu izohipse.

4.3. Delimitarea circurilor glaciare

Delimitarea circurilor s-a bazat pe studiul și analiza hărților topografice, în principal, și a cercetărilor de teren. Rocile specifice CR, chiar și în cazul stratelor de fliș, sunt de regulă suficient de rezistente pentru formarea și menținerea unor spătare de circ mai abrupte decât unghiul de taluz specific grohotișurilor, numit și panta Richter. Astfel, toate spătările de circ depășesc valoarea critică de 40° , fiind astfel în concordanță cu definiția morfometrică dată circurilor glaciare (Evans & Cox, 1974, 1995), iar podelele nu sunt mai înclinate de 20° . În baza noastră de date au fost adăugate și câteva circuri caracterizate prin spătare cu deschidere unghiulară orizontală (gradul de zăvorăre orizontală) mai mare, deoarece fie podeaua este bine dezvoltată (chiar cu prezența unei cuvete glaciare), fie înclinarea versantului este suficient de mare pentru a fi acceptat ca fiind un spătar de circ.

Am inclus, de asemenea, și câteva circuri a căror înclinare minimă este mai mică de 40° , dar nu mai scăzută de 35° . Această decizie s-a datorat și acurateții mai scăzute a hărților topografice românești, mai ales în ceea ce privește declivitatea terenurilor. În schimb, obârșiile de vale care au întrunit majoritatea criteriilor morfometrice specifice circurilor nu au fost luate în analiză pentru că, în mod frecvent, prezentau un profil transversal sub forma literei V. Analiza noastră a inclus toate ariile montane unde s-a semnalat, în literatura de specialitate, existența circurilor sau a reliefului glaciare. De asemenea, au fost incluse arii noi identificate de noi, așa cum sunt circurile Jupania din munții Maramureșului de Sud (Mîndrescu, 2003) sau Tarnița din Ciungi din masivul Rodnei (Mîndrescu, 2008).

Fiecare circ glaciare a fost delimitat pe hărțile topografice la scara 1 : 25.000, ediția 1984, în conformitate cu o metodologie bine definită, care va fi prezentată în continuare.

Limita superioară a cirului, LSC (creasta sau creștetul spătarului) a fost prima limită trasată deoarece, în mod frecvent, este cea mai clară. Acolo unde ruptura de pantă specifică limitei superioare a cirului nu a fost evidentă (pantă convexă), limita s-a trasat în lungul liniei de pantă cu valoarea de aproximativ 28° - 30° corespunzătoare unei echidistanțe specifice hărților topografice la scara 1 : 25.000 cu echidistanța de 10 m. Pentru a crește eficiența, cele mai multe circuri au fost delimitate utilizând ruperile de pantă (*breaking slope*) existente între spătar și suprafețele situate deasupra circurilor. De altfel, aceste ruperi de pantă reprezintă o caracteristică pentru cirurile carpatice, situate în ariile glaciare de tip *rundling*, așa cum sunt cele din munții Godeanu (Niculescu, 1965). În schimb, în ariile glaciare de tip

karling, precum cele din munții Făgăraș, exercițiul de geomorfometrie a fost mult mai ușor, deoarece limita cercului coincide cu linia marilor înălțimi (cumpăna de ape).

Limita inferioară a cercului (LIC) a fost trasată în lungul buzei cercului (sau zăvorului) și reprezintă, la rândul său, tot o ruptură de pantă, în majoritatea cazurilor. Acolo unde aceasta lipsește s-a folosit valoarea unghiului de pantă pentru delimitarea cercului față de ariile din aval. Linia buzei cercului a fost, ulterior, extinsă lateral pe flancuri, perpendicular pe curbele de nivel, până la intersecția cu creștetul spătarului (LSC). În multe dintre cazuri, spre buza circurilor converg contraforturi montane laterale care au fost utilizate pentru a închide perimetrul circurilor. În cazul circurilor unde trecerea de la podea la aria montană din aval se face treptat, contraforturile laterale au hotărât, în majoritatea cazurilor, limita inferioară a circurilor. În alte cazuri s-a ținut cont și de prezența, altitudinea și conformația în plan a morenelor.

Limitele laterale inferioare ale cercului trebuie să separe două unități de versant diferite, una internă corespunzătoare spătarului de circ, și alta externă a unui versant de vale neglaciatic. Distincția dintre spătar și un versant neglaciatic este relativ ușor de sesizat. De regulă, în afara limitei cercului versantul își schimbă orientarea și, în mod frecvent, scade și declivitatea. Limita finală a cercului trebuie să cuprindă atât aria care revine spătarului, de pe care se remaniază zăpadă prin avalanșe, cât și cea corespunzătoare podelei, spre care se îndreaptă și unde se depozitează acest surplus de zăpadă. Limita cercului este bine trasată dacă toți vectorii de direcție ai mișcării zăpezii de la nivelul spătarului converg spre podeaua cercului, similar cu mișcarea apei din bazinele hidrografice.

Pentru delimitarea geomorfometrică a circurilor se recomandă ca organismele fluviale, torențiale și nivale liniare (inciziile regresive ale pâraielor, torenților, jgheburilor etc.) și detaliile structurale să fie ignorate.

Circurile identificate și delimitate astfel din Carpații Românești corespund definiției dată circurilor glaciare și, sub aspect funcțional, au constituit surse de gheață în timpul Pleistocenului. Totuși, admitem și posibilitatea existenței unor erori prin includerea unor situri non-glaciare în inventarul nostru, la fel cum altele, de origine glaciară, ar fi putut fi eludate. Cercetările viitoare, și mai ales cele care privesc cronologia depozitelor glaciare din CR, vor aduce, fără îndoială, informații suplimentare privind originea acestor situri montane incluse în baza noastră de date.

4.4. Definirea și măsurarea variabilelor

Populația de circuri carpatice astfel identificate și delimitate a fost supusă ulterior unor măsurători pentru determinarea principalelor variabile morfometrice specifice acestora, exercițiu care a necesitat un consum ridicat de timp. Menționăm faptul că au fost realizate mai multe măsurători asupra fiecărei variabile pentru a crește acuratețea datelor obținute, iar datele obținute au fost verificate pentru a asigura validarea valorilor finale.

Pentru a defini forma exactă a circurilor sunt necesare variabile care să fie relevante pentru dezvoltarea circurilor (a), să fie măsurate eficient (b) și în regiuni variate (c), astfel încât să permită comparații și corelații ulterioare. Variabilele specifice circurilor se regăsesc pe listele întocmite de Andrews & Dugdale (1971), Evans & Cox (1974, 1995), Derbyshire & Evans (1976). Însă numărul mare de variabile posibile a impus o selecție. Considerăm că cele selectate pentru acest studiu se numără printre cele mai relevante pentru circurile glaciare. Măsurătorile au fost asistate de computer, fapt care a permis realizarea unei baze de date cu posibilitatea folosirii unor operații multiple (determinarea raportului, diferenței, sumei etc.). Variabilele au fost măsurate pe hărțile topografice la scara 1 : 25.000 și sunt comparabile cu

cele determinate pe hărțile la scară mai mare, așa cum sunt cele la scara 1 : 10.000 utilizate la analiza circurilor din Marea Britanie. Tabelul nr. 4.1 cuprinde lista variabilelor cantitative și calitative analizate în cadrul acestui studiu.

Înainte de măsurarea efectivă a variabilelor, se trasează o linie de separație între spătar și podea (Fig. 4.4). Acest exercițiu de geomorfometrie demonstrează, o dată în plus, că formele de relief de tipul circurilor glaciare conțin două elemente principale cu roluri funcționale diferite și evoluție distinctă: spătarul și podeaua. Deoarece panta ideală a podelei este mai mică de 20° , iar cea a spătarului mai mare de 40° , limita dintre cele două elemente este dată de echidistanța corespunzătoare înclinării de aprox. $30^{\circ} \pm 2^{\circ}$ (valoarea unghiului de pantă critic). Această valoare este utilizată atât pentru limita inferioară, cât și pentru cea superioară a spătarului.

Buza circului (zăvorul) situată la marginea interioară a abruptului de circ este privită ca parte componentă a podelei. Zăvorul circului este considerat cel de-al treilea element important al unui circ glaciar. În lungul său se determină lungimea sa (*lungzav*), valoare care apoi este utilizată pentru calcularea gradului de cuprindere a podelei de către spătarul circului. În schimb, baza spătarului nu presupune existența unei forme anume și necesită ceva mai multă atenție, atât pe teren, cât și pe hartă. Limita spătar - podea este trasată cu o linie întreruptă simplă (Fig. 4.4), mai subțire decât cea corespunzătoare limitei circului, iar polițele (de tip treaptă, pervaz, bârână etc.) și abrupturile minore sunt, în general, ignorate.

Ocazional, podeaua poate fi divizată în două părți; în acest caz nu se admit două sau mai multe circuri subsidiare/distincte, decât în situația în care spătarul prezintă, la rândul său, amprente morfologice clare în acest sens: fiecare parte distinctă a podelei are o sursă proprie de zăpadă de la nivelul spătarului, situație care impune delimitarea a două circuri diferite.

Apoi, la mijlocul distanței buzei circului, se marchează *focusul circului* (F) care reprezintă, în același timp, și originea axei mediane. Acest punct este, în mod frecvent, dar nu în toate cazurile, și punctul cu cea mai mică altitudine (*minpod*). Cazurile în care cele două puncte coincid apar atunci când buza circului este bine exprimată în morfologie de la un capăt la altul, mai ales pe părțile laterale, lăsând loc liber unui mic „vad glaciar” la mijloc. Circurile cu dezvoltare simetrică a spătarului de o parte și alta a podelei și cu un anumit grad de maturitate se caracterizează, frecvent, prin suprapunerea celor două puncte.

Din focus se trasează *axa mediană* a circului, care împarte aria acestuia în două părți egale. Trasarea axei mediane se face vizual, prin mai multe încercări, mai ales dacă operația se face asistată de calculator, fiind astfel eliminate și eventuale erori. Pentru o mai mare exactitate se folosește hârtia de calc pliată în lungul axei mediane și cu ajutorul unei fante de lumină se găsește poziția axei mediane prin pliere succesivă către o parte sau alta. În lungul axei mediane se măsoară lungimea circului (*lungimea*) și orientarea circului (*aspaxa*), în funcție de meridianul locului, și poate avea un grad de precizie de până la 1° . Centrul axei mediane, situat la mijlocul distanței dintre buza și muchia circului, este utilizat pentru determinarea poziției circului prin măsurarea coordonatelor geografice; totodată, reprezintă și centrul cercurilor trasate pentru determinarea variabilelor ce descriu ambianța topografică a circului (*relief 1 și 2*).

Toate **variabilele altitudinale** pot fi interpolate în funcție de valoarea izohipselor și a cotelor altimetrice proximale. Punctul cu cea mai mică altitudine (*minpod*) poate fi situat deasupra unei incizii fluviale actuale care știrbește podeaua circului, și reprezintă punctul cu cea mai mică valoare altitudinală din cadrul circului. Altitudinea medie a podelei (*medpod*, sau „*modal floor*”) coincide, în cele mai multe cazuri, cu altitudinea unui lac sau tinov cu origini glaciare. În caz contrar, altitudinea medie este dată de partea cea mai domoală a podelei. În alegerea acesteia se ia în considerare și lățimea maximă a podelei în dreptul axei mediane a circului. Altitudinea maximă a podelei (*maxpod*) este valoarea maximă altitudinală

găsită în interiorul perimetrului podelei. Altitudinea maximă a spătarului (*maxspat*) este altitudinea maximă din lungul crestei spătarului, respectiv, a limitei superioare a cercului. Altitudinea medie a spătarului (*medspat*) este valoarea altitudinală găsită la intersecția axei mediane cu creasta spătarului (limita superioară a cercului). Altitudinea maximă a bazinului din care face parte cercul (*altcum*) poate fi găsită prin mai multe încercări de analiză a altitudinilor din lungul cumpenei de apă din apropierea cercului.

În unele situații, cotele cu altitudinile cele mai mari se găsesc pe crestele secundare în detrimentul celor principale. Punctul cu cea mai mare altitudine coroborat cu suprafața totală sau parțială cuprinsă între limita superioară a cercului și cumpăna de ape poate fi foarte important pentru balanța ghețarului de circ din apropiere. Redăm mai jos, cu rol de definiție, ecuațiile de subordonare a variabilelor altitudinale măsurate, utilizate pentru verificarea și validarea datelor obținute:

$$\begin{aligned} \text{altcum} &\geq \text{maxspat} \geq \text{medspat} > \text{minpod} \\ \text{maxspat} &> \text{maxpod} \geq \text{medpod} \geq \text{minpod} \end{aligned}$$

Pentru că circurile glaciare sunt erodate de un agent unidirecțional, respectiv curgerea glaciară, care acționează dinspre centrul de greutate al cercului situat la baza spătarului spre aval, aproximativ în lungul axei mediane, se recomandă măsurarea *lungimii* cercului în lungul acesteia, între buza cercului și limita superioară a acestuia.

Lățimea se măsoară în lungul unei linii perpendiculare pe axa mediană trasată în cel mai larg sector al cercului. Aceasta din urmă poate depăși frecvent, ca valoare, lungimea, lucru demonstrat și de măsurătorile noastre.

A treia variabilă dimensională măsurabilă este *elevația* (înălțimea) maximă a spătarului (*hspat*) care se măsoară în lungul unei singure linii, perpendiculară pe curbele de nivel, între limita superioară a cercului și podea. Menționăm faptul că această variabilă nu reprezintă amplitudinea spătarului sau diferența dintre altitudinea maximă a spătarului (*maxspat*) și cea maximă a podelei (*maxpod*). Tot în lungul acestei linii se determină și orientarea spătarului primar (*aspspat*), probabil, partea spătarului sub care a apărut, pentru prima dată, celula rotațională de gheață.

În cazul circurilor glaciare se pot măsura două variabile ale declivității, respectiv, gradientul maxim (al spătarului) și cel minim (al podelei). Gradientul minim (*mingrad*) este considerat 0° dacă există un lac (necolmatat) sau tinov/turbărie de mari dimensiuni, chiar dacă înclinarea reală poate fi, în unele cazuri datorită cuvetelor glaciare majore și contrapantelor, inversă. În afara acestor situații, se caută și se identifică cel mai mare spațiu existent (măsurat perpendicular pe izohipse) între două curbe de nivel succesive pe o diferență de nivel pe verticală egală cu echidistanța hărților, respectiv, de 10 m. Apoi, cu ajutorul funcțiilor trigonometrice se găsește unghiul minim căutat.

Acesta din urmă poate fi influențat de depozitele morenaice sau de alte tipuri de depozite, precum și de inciziile fluviale, care largesc spațiile dintre curbele de nivel. Valoarea reală a acestei variabile este aceea a subasmentului aflat în prezent sub depozitele superficiale, a căror grosime și distribuție pe orizontală este, deocamdată, necunoscută. Un aspect favorabil pentru determinarea acestei variabile pentru circurile glaciare din CR îl constituie faptul că acumulările de grohotiș apar la baza spătarului, acolo unde panta podelei nu este dintre cele mai scăzute din cuprinsul său.

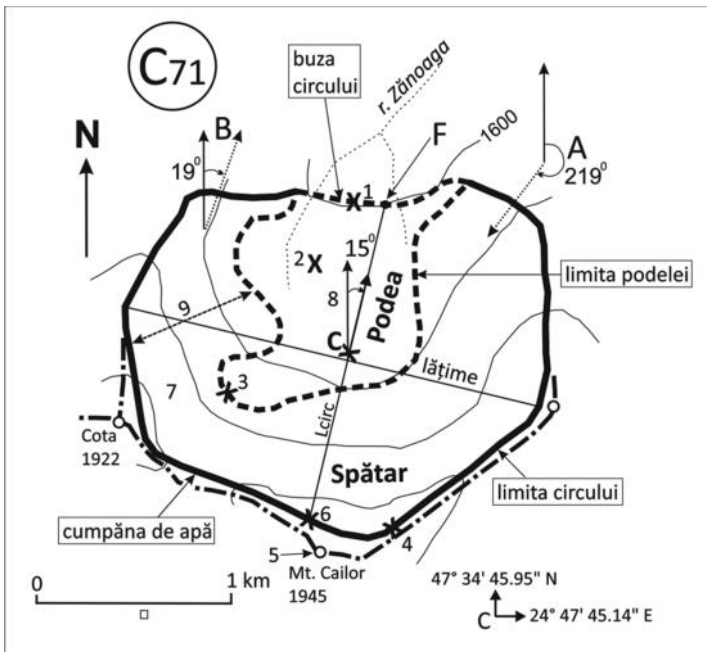


Figura 4.4. Definierea variabilelor măsurabile ale circurilor glaciare (adaptată după Evans & Cox, 1995). **Ciroul Izvorul Cailor, masivul Rodnei (sus- harta măsurătorilor; jos-fotografie cu ciroul Izvorul Cailor din data de 16 ianuarie 2006).**



1. minpod = 1590
2. medpod = 1620
3. maxpod = 1760
4. maxspat = 1940
5. maxcum = 1945
6. medspat = 1930
7. 50 m cădere pe o distanță de 33 m: maxgrad = 56,6°
8. 10 m cădere pe o distanță de 147 m: mingrad = 3,8°
9. înălțimea spătarului (hspat) = 240 m

A - determinarea unghiului făcut de curba mediană la intrarea în circ cu meridianul locului (219°)

B - determinarea unghiului făcut de curba mediană la ieșirea din circ cu meridianul locului (019°)

Plancirc = 219°-19°= 200°

Aspaxa = 15°

C - punctul de calcul al coordonatelor geografice: 47°34' 45.95" N și 24°47'45.14" E (centrul ciroului)

F - focusul ciroului

Axa mediană se întinde între punctele notate cu 6 și F. Aceasta desparte ciroul în două părți egale

Lcirc - lungimea ciroului (800 m)

lățime - lățimea ciroului (1065 m)

C71 - codul național de identificare al ciroului (numărul de ordine din nomenclator)

Izoloniile de la nivelul spătarului sunt foarte dese, iar în multe situații, mai ales în Alpii Transilvaniei (AT), apare frecvent semnul convențional pentru abrupturi. În unele cazuri acesta este total nejustificat, în timp ce în alte situații, acolo unde ar trebui să apară, lipsește. În acest caz unghiul maxim de înclinare (*maxgrad*) s-a măsurat pe o diferență de nivel de 50 m (30 m în cazul studiilor realizate în Marea Britanie), respectiv, între 6 izohipse succesive. În mod frecvent, este nevoie de mai multe măsurători (încercări) pentru găsirea gradientului maxim real. Dintre toate variabilele, aceasta depinde cel mai mult de precizia și calitatea hărților topografice folosite. În multe situații este foarte greu de evaluat datorită utilizării semnelor convenționale care indică prezența abrupturilor, ce nu permite determinarea cu precizie a pantei.

Separat a fost calculat un gradient mediu (*spatgrad*) al spătarului de circ în lungul liniei cu elevația maximă a spătarului. Rezultatele obținute pentru variabilele gradient au o precizie de $3^{\circ} \pm 2^{\circ}$ pentru gradientul maxim și de aprox. 1° pentru gradientul minim.

Plancirc (*plan closure*) este o variabilă importantă care definește gradul de dezvoltare a circurilor. Teoretic, ea are valori cuprinse între 0° și 360° (valorile extreme fiind specifice craterelor vulcanice glaciare). Măsurătorile se fac la cele două capete (stânga și dreapta) ale curbei mediane, situate la jumătatea distanței verticale dintre buza și limita superioară a cercului. Practic, se măsoară unghiul dintre direcția de intrare și cea de ieșire (pe o distanță de 100 m excluzând formațiunile torențiale sau jgheburile) a curbei mediane din circ și meridianul locului. Prin diferența dintre cele două unghiuri se găsește valoarea căutată. Valorile intermediare găsite la capetele curbei mediane pot fi diferite sau greșite dacă nu se lucrează după o direcție dinainte stabilită, respectiv, în sensul acelor de ceasornic (Fig. 4.4). De asemenea, pentru a nu se greși cadranul trigonometric în care se face măsurătoarea, este indicat să se parcurgă vizual curba mediană de la un capăt la altul pentru mai multă siguranță.

Precizăm faptul că în acest studiu a fost adoptată definiția *plancirc* dată de Gordon (1977) în detrimentul celei date de Evans & Cox (1974), care utilizează curba de nivel cea mai lungă. Este foarte important să se surprindă unghiul corect al celor două ramuri laterale (contraforturi) ale spătarului la partea inferioară a cercului, față de meridianul locului. Din nou, precizia hărților topografice este foarte importantă. Această variabilă definește *gradul de zăvorăre orizontală a circurilor*. Valorile apropiate de 180° definesc un circ de tip trog (sub forma literei "U"), cele mai mici de 180° definesc un circ cu deschidere unghiulară (sub forma literei "U", larg deschisă), iar cele mai mari de 180° sunt caracteristice circurilor închise (sub forma simbolului grecesc *lunate sigma* "∩"), foarte bine dezvoltate.

În cazul tuturor măsurătorilor directe de pe hărțile topografice, formațiunile torențiale, jgheburile și inciziile fluviale (cu profil în V) au fost ignorate.

Table 4.1. Variabilele și factorii de control direct măsurabili ai circurilor glaciare (modificat după Evans & Cox, 1995)

Poziția cercului, coordonate matematice (km și m)

- *est* (longitudine)

- *nord* (latitudine)

Ambele se măsoară la mijlocul axei mediane.

Altitudinea, altitudine absolută (m)

- *minpod* (lowalt), altitudinea minimă a podelei

- *medpod* (flooralt), altitudinea modală a podelei („inima podelei”)

- *maxpod* (maxflalt), altitudinea maximă a podelei

- *maxspat* (maxcralt), altitudinea maximă a crestei spătarului

- *medspat* (medcralt), altitudinea punctului de intersecție dintre creasta spătarului și axa mediană

- *altcum* (maxabalt), altitudinea maximă din bazinul din care face parte cercul

Orientarea, azimut (grade: 0° - 360°)

- *aspaxa* (axisasp), orientarea axei mediane a cercului
 - *hspataspect* (wallasp), orientarea liniei corespunzătoare elevației maxime a spătarului
- Variabilele de orientare se măsoară în sensul acelor de ceasornic față de meridianul locului.

Mărimea, dimensiuni (m, ha)

- *lungimea* (m) axei mediane dintre prag și muchia cercului
- *lățimea* (m), valoarea maximă găsită în lungul unei linii perpendiculare pe axa mediană
- *hspat* (m), înălțimea maximă a spătarului, dintre podea și muchia cercului, măsurată perpendicular pe curbele de nivel
- *ariacirc* (ha), suprafața cercului din interiorul perimetrului
- *percirc* (m), perimetrul cercului măsurat în lungul limitelor de circ
- *ariapod* (ha), suprafața podelei din interiorul perimetrului podelei
- *perpod* (m), perimetrul podelei măsurat în lungul limitelor sale
- *lungzav* (m), lungimea buzei (zăvorului) cercului măsurată între ramurile inferioare ale spătarului

Gradientul, unghi de pantă (grade: 0° - 90°)

- *maxgrad*, unghiul maxim de înclinare a spătarului măsurat pe o cădere de nivel de 50 m
- *mingrad*, unghiul minim de înclinare a podelei măsurat pe o cădere de nivel de 10 m (este considerat 0° dacă există lacuri sau turbării)

Forma, Gradul de închidere a cercului

- *plancirc* (grade), se măsoară la nivelul izohipsei mediane situată la mijlocul distanței verticale dintre pragul și creasta cercului
- *iezer?*, scală ordinală
 1. lac de mari dimensiuni situat într-o cuvetă glaciară formată în roca in-situ (cuvetă glaciară) sau prin baraj morenaic
 2. turbărie de mari dimensiuni
 3. lac (-uri) sau turbărie (-i) de mici dimensiuni
 4. cuvetă (-e) lacustră (-e) colmatată(-e) sau abia schițată(-e)
 5. podea uniformă fără neregularități
 6. podea disecată de rețeaua fluvială sau cu neregularități (monticuli, haos morfologic)
- *fereastră*, numărul înșeuărilor mai adânci de 30 m care fragmentează atât cumpăna de ape, cât și muchia cercului

Factorii de control și tipologia

- *geologia*, scală nominală funcție de litologia întâlnită
- *ordinul* (scală ordinală)
 1. *circul clasic*: prezintă toate atributele în conformitate cu literatura de specialitate. Spătarul este abrupt și bine arcuit în jurul podelei care deține o cuvetă glaciară. Podeaua trebuie să fie foarte domoală, chiar dacă conține o cuvetă glaciară ocupată de un lac
 2. *circul bine definit* (bine dezvoltat): spătarul și podeaua sunt bine dezvoltate. Spătarul înclinat se arcuiește, mai mult sau mai puțin, în jurul podelei domoale. Circurile care prezintă o cuvetă de origine glaciară sigură primesc cel puțin acest ordin, chiar dacă cele două elemente principale, spătarul și podeaua, nu prezintă caracteristicile cerute de acest ordin
 3. *circul definit* (dezvoltat): nu există dubii privind originea sa glaciară, însă una dintre caracteristicile sale este slab reprezentată sau lipsește
 4. *circul slab definit* (slab dezvoltat): există unele dubii privind originea sa, însă una dintre caracteristici este bine dezvoltată, compensând neajunsurile. Un circ situat în vecinătatea unor circuri mai dezvoltate, și care prezintă un element bine proporționat, poate primi acest ordin
 5. *circul marginal* (de tranziție spre circurile nivale): statutul și originea cercului sunt dubitabile, însă locația și altitudinea sa pot duce la includerea pe lista circurilor. Deși miniaturale, de cele mai multe ori, aceste circuri sunt foarte bine reprezentate. Fie au dimensiuni mici, fie sunt situate la marginea ariilor glaciare
- *tipul*, scală nominală
 1. *circul inferior*, de joasă altitudine
 2. *circul de obârșie*, fără prag, situat într-o obârșie actuală aflată în prelungirea unei văi bine formate sau incipiente
 3. *circul de obârșie*, cu prag
 4. *circul de versant*, situat suspendat pe versantul văilor; poate reprezenta izvorul sau obârșia unui pârâu sau râu, dar fără ca acesta să prezinte o vale, nici măcar incipientă
 5. „*circul cu circuri*” (complex, de tip *outer*), conține unul sau mai multe circuri interne, de

dimensiuni mai mici

6. „*circul în circ*” (interior, de tip *inner*), este situat în interiorul unui circ mai mare, denumit complex (*outer*)

- *relief 1*, amplitudinea maximă altitudinală găsită în lungul unui arc de cerc cu raza de 1 km, a cărui centru se găsește la mijlocul axei mediane.

- *relief 2*, idem pentru un cerc cu raza de 2 km.

Punctele de altitudine maximă și minimă pot fi identificate oriunde în lungul arcelor de cerc, indiferent dacă acestea se găsesc sau nu în același bazin hidrografic în care se găsește și circul pentru care se fac măsurătorile.

Variabilele calitative. Existența sau lipsa, precum și numărul *ferestrelor* glaciare (înșeuări de transfluență glaciară sau nivală) sunt, de asemenea, importante pentru circuri. Prezența ferestrelor glaciare arată magnitudinea fragmentării limitei superioare a circurilor și trădează existența unui flux de gheață, firn sau zăpadă, mai ales înspre, sau dinspre circuri. Au relevanță pentru balanța ghețarului de circ, pe care noi încercăm să-l cuantificăm, numai înșeuările care au o adâncime mai mare de 30 m și „taie” atât cumpăna de ape, cât și limita superioară a circului (creștetul spătarului). Astfel de înșeuări se întâlnesc cu precădere acolo unde circurile se dezvoltă „spate în spate” sau „braț la braț”, situații specifice ariilor cu simetrie glaciară sau în cele de tip *karling*.

„*Lezer?*” este o variabilă ordinală care reprezintă o apreciere vizuală asupra existenței și dimensiunilor unei cuvette glaciare săpate în roca in situ. Cuvetele glaciare caracterizează circurile cu un grad avansat de dezvoltare și evoluție. Astfel, prezența unei cuvette (lac) de mari dimensiuni este sinonimă, aproape în toate cazurile, cu existența unui circ clasic. Lacurile sau turbăriile de mari dimensiuni (majore) care ocupă aproape în întregime podeaua circurilor sunt foarte rar întâlnite în CR. Acestea reprezintă centrul de greutate (punctul focal) al circurilor în care se găsesc. Cele de mici dimensiuni (minore) pot avea forme rectangulare reflectând efectele unei eroziuni diferențiale ale subasementului, și apar mai degrabă ca un detaliu decât ca o parte componentă a unui circ de mari dimensiuni. Cele șase clase utilizate în cazul evaluării acestei variabile au fost preluate și modificate din lista întocmită de Zienert (1967) (tabel 4.1).

Tabel 4.2. Clasele de litologie și codurile specifice valabile pentru circurilor glaciare din Carpații Românești

Geologie	Cod
Strate de flîș (gresii și marne)	1
Micașisturi	2
Șisturi epimetamorfice	3
Șisturi epimetamorfice și roci sedimentare (calcare, conglomerate, gresii)	4
Diabaze, tufuri diabazice și marnocalcare	5
Arcoze, calcare și marne	6
Conglomerate cenomaniene	7
Calcare cristaline	8
Andezite, andezite cu amfiboli	9
Granite, granodiorite și granitoide	10
Amfibolite, paragnaise și șisturi	11
Gnaise, paragnaise și gnaise oculare	12
Gnaise, paragnaise și micașisturi	13
Gnaise, paragnaise și roci sedimentare (microconglomerate)	14
Gnaise, paragnaise și șisturi epimetamorfice	15
Cuarțite, paragnaise și micașisturi	16

Evaluarea variabilei numită „*geologie*” a presupus întocmirea unei scale nominale cu toate tipurile sau asociațiile de roci pe care se găsesc circurile din regiunea studiată, utilizându-se o scală codată unică (tabel 4.2).

Ordinul circurilor este o apreciere subiectivă a gradului de dezvoltare al acestuia. Tipul circurii reprezintă o clasificare a circurilor glaciare în raport cu o scală nominală în funcție de relația pozițională dintre acesta și topografia înconjurătoare (poziția circurilor în cadrul obârșiiilor de vale).

Din perspectiva timpului necesar pentru cuantificarea fiecărei variabile, apreciem că variabilele dimensionale de tip aria circurilor sau a podelelor sunt cele mai mari consumatoare de timp. Urmează *plancirc* (în cazul căreia consumul de timp se justifică prin importanța acesteia, neexistând posibilitatea de a fi înlocuită sau ajustată de alte variabile), *axa mediană* (care, la rândul său, este utilizată pentru determinarea unui număr mare de variabile), și, în fine *gradientul maxim și orientarea spătarului*.

Variabilele *iezer?* și *ordinul circurilor* pot fi determinate cu ușurință pe hărțile la scară mare, dar evaluarea poate fi îmbunătățită mult prin cercetări de teren și aerofotointerpretare, operații care sunt, de asemenea, destul de laborioase și consumatoare de timp. Procesul poate fi scurtat renunțând la unele din cele 6 variabile altitudinale, însă acestea sunt foarte ușor de determinat și furnizează informații folositoare în cercetările de acest tip.

Pe baza variabilelor direct măsurabile pe hărțile topografice a fost determinat un alt set de variabile, denumite derivate. Acestea au fost calculate prin raport, diferență sau pe baza unei formule matematice (tabel 4.3).

Amplitudinea axei mediane (*amplitudinea* = medspat - minpod) este o variabilă care cuantifică amplitudinea maximă din lungul axei mediane. Aceasta este suplimentată de *amplitudinea podelei* (*amplipod* = maxpod - minpod). Ambele sunt variabile de mărime. Termenul de „volum” a fost abandonat pentru că poate duce în eroare cititorul. Nu s-a stabilit, deocamdată, o cale de aflare a volumului de rocă erodată de ghețar. În schimb, variabila „mărime” (m³) a fost calculată după formula: lungime x lățime x amplitudine.

Gradientul axial (*axgrad* = arctan amplitudine/lungime) reprezintă cea mai bună estimare care se poate face, dintre toate măsurătorile derivate. Determină gradientul ghețarului ipotetic care a ajuns la stadiul de preaplin glaciare și se calculează în lungul axei mediane, ca fiind unghiul de înclinare al acesteia în plan vertical. Astfel, punctul de intersecție dintre axa mediană și limita superioară a circurii pare să fi avut și un rol funcțional, fiind punctul până la care s-a dezvoltat ghețarul de circ și, de cele mai multe ori, punctul cel mai înalt din lungul crestei spătarului. Cu cât punctul se află mai jos pe creastă, coroborat cu înclinarea mică a axei mediane, cu atât ghețarul a fost mai slab dezvoltat în grosime.

Profilul transversal al circurii (*profcirc* = maxgrad - mingrad) este măsurat pentru a defini gradul de închidere a circurii, însă, de această dată, în plan vertical (*gradul de zăvorâre verticală*). Totuși, valoarea sa absolută este limitată de corelația slabă dintre gradientul maxim și cel minim.

După ce toate variabilele au fost măsurate, s-a trecut la etapa de clasificare (grupare) a circurii și a informațiilor aferente pe mai multe diviziuni, în afară de ordin, tip sau geologie. Cea mai importantă distincție s-a făcut între cei doi versanți principali ai ariilor glaciare. Variabila *versant* împarte circurile în circuri nordice, sudice, estice sau vestice. Circurile estice și vestice sunt specifice doar pentru câteva arii montane, printre care Biharia, Siriu, Muntele Mic, Șureanu și Bucegi.

Tabel 4.3. Variabilele adiționale derivate specifice circurii

Mărime

- *amplicirc*, amplitudinea axei mediane (medspat- minpod) (m)
- *amplipod*, amplitudinea podelei (maxpod - minpod) (m)
- *mărimea*, radicalul valorii obținute din relația lungime x lățime x amplicirc (m³)

Gradient

- *axgrad*, gradientul axial respectiv, unghiul pantei liniei imaginare formată dintre axa mediană și amplitudinea cercului; $axgrad = \arctan \text{amplitudine}/\text{lungime}$

Forma, Gradul de zăvorâre a cercului

- *profcirc*, gradul de închidere verticală a cercului, maxgrad - mingrad, grade
- *latlun*, raportul celor două axe de mărime, lățime/lungime
- *zăvor*, raportul procentual dintre perimetrul podelei și lungimea pragului, perpod/lungzav (%)
- *cirpod*, raportul ariilor cercului și podelei

Deși până acum divizarea circurilor s-a realizat după bazinele hidrografice, noi preferăm gruparea lor după nodurile orografice principale, care au reprezentat în același timp, *hornuri* glaciare. *Grupul* de circuri reprezintă totalitatea circurilor din jurul unui horn montan pe care ghețarii de circ s-au „sprijinit”, mai mult sau mai puțin, în evoluția lor. De cele mai multe ori, podelele circurilor componente ale unui grup glaciare converg spre vârful dominant, de tip horn. Divizarea circurilor după grupuri glaciare ajută la repartiția mai exactă a circurilor din Carpații Românești.

Nu am renunțat nici la repartiția circurilor după bazinul hidrografic din care fac parte. Mai mult, am ales pentru aceasta două variabile: cea a bazinului hidrografic cel mai apropiat (bazinul hidrografic minor: *bazin1*), respectiv, cea a bazinului hidrografic major (*bazin2*) din care face parte cercul.

În final, circurile au fost împărțite pe *sectoare*, în funcție de conformația și direcția culmilor principale. Pentru că predomină orientarea creștelor montane majore vest-est, sectoarele cele mai frecvente sunt cele de tip estic, central și vestic. Dar există și situații diferite, cu sectoare nordice, centrale și sudice (Maramureș, Godeanu, Țarcu). În munții Retezatului, dată fiind prezența a două culmi glaciare, cât și complexitatea reliefului glaciare, am modificat într-o mică măsură modul de selectare a sectoarelor.

Deși inițial nu am intenționat să denumim sau să redenumim circurile din CR, cu ocazia divizării lor pe grupuri, bazine și sectoare am acordat o parte din timpul de cercetare pentru stabilirea denumirii acestora, în primul rând în conformitate cu literatura de specialitate, apoi după hărțile topografice și toponimia locală, transmisă prin viu grai. Totuși, nu suntem convinși pe deplin că denumirile utilizate de noi sunt și cele reale, cel puțin pentru o mică parte dintre ele. Acest neajuns a fost înlăturat prin realizarea unui nomenclator propriu circurilor glaciare, bazat pe coordonatele geografice.

Metodologia de lucru a fost simplificată și expusă concis și exact în paragrafele de mai sus. Astfel, pentru a permite armonizarea datelor obținute de noi cu alte seturi de date obținute de cercetătorii străini nu am recurs la modificări importante privind setul de variabile utilizate în literatura internațională (Evans & Cox, 1995). În acest sens am realizat și un nomenclator al variabilelor folosite, în care, pe lângă denumirea utilizată de noi în prelucrările spațiale și statistice, sunt listate și acronimele folosite de cercetătorii străini (tabelul 4.4). În funcție de specificul reliefului glaciare din CR, am inclus și alte variabile morfometrice care să surprindă și mai bine efectul glaciației de aici asupra terenurilor montane carpatice. Toate operațiile de măsurare (exercițiile de geomorfometrie), precum și variabilele morfometrice, sunt atent definite tocmai pentru a încuraja astfel de studii în perspectivă.

Tabel 4.4. Tabelul tuturor variabilelor folosite în analizele spațiale și statistice, precum și corelarea lor cu variabilele folosite în Marea Britanie

Variabila, RO	Variabila, UK	UM	Definiție
cod	id	nr	numărul de ordine al ciroului; cu acest număr, ciroul apare în nomenclator și pe hărțile circurilor
nrharta	map	nr	numărul hărții din care face parte ciroul
lant	mainrange	nume	numele lanțului carpat
masiv	range	nume	numele masivului
nume	name	nume	numele ciroului
est	easting	grade	longitudine, coordonate geografice
nord	northing	grade	latitudine, coordonate geografice
minpod	lowalt	m	altitudinea minimă a podelei
medpod	flooralt	m	altitudinea medie a podelei
maxpod	maxflalt	m	altitudinea maximă a podelei
maxspat	maxcralt	m	altitudinea maximă a spătarului
altcum	maxabalt	m	altitudinea maximă a bazinului din care face parte ciroul
medspat	medcralt	m	altitudinea medie a spătarului
aspaxa	axisasp	grade	orientarea ciroului
aspspat	wallasp	grade	orientarea medie a spătarului
lungime	length	m	lungimea ciroului
latime	width	m	Lățimea ciroului
hspat	wallht	m	elevația spătarului
lungspat	wallen	m	lungimea spătarului
lungzav	thlength	m	lungimea buzei (zăvorului)
ariacirc	cirarea	ha	aria ciroului
percirc	cirper	m	perimetrul ciroului
ariapod	floorarea	ha	aria podelei
perpod	floorper	m	perimetrul podelei
mingrad	mingrad	grade	unghiul minim de înclinare
maxgrad	maxgrad	grade	unghiul maxim de înclinare
plancirc	planclos	grade	gradul de zăvorăre orizontală
iezer?	lake?	nr	prezența sau absența cuvetei glaciare
sa	cols	nr	prezența sau absența înșeuărilor de transfluență glaciară sau nivală
geologie	geology	cod	litologia ciroului
ordin	grade	nr	ordinul ciroului
tip	type	nr	tipul ciroului
versant	slope	azimut	versantul pe care se găsește ciroul
bazin1	basin1	nume	bazinul minor din care face parte ciroul
bazin2	basin2	nume	bazinul major din care face parte ciroul
grup	group	nume	grupul glaciare din care face parte ciroul
sector	section	nume	sectorul glaciare din care face parte ciroul
amplitudine	amplitude	m	amplitudinea ciroului

Variabila, RO	Variabila, UK	UM	Definiție
amplipod	florange	m	amplitudinea podelei
marime	size	mc	mărimea circului (volumul)
axgrad	axgrad	grade	gradientul axial al circului
profcirc	profclos	grade	gradul de zăvorâre verticală a circului
axrap	widlen	nr	raportul axelor
adanc	lenwall	nr	adâncimea circului, raportul lungime/elevație
cirpod	cirfloor	%	raportul ariilor
zavor	floorclos	%	gradul de cuprindere a podelei de către spătar
spatgrad	headgrad	grade	unghiul mediu de înclinare a spătarului
horn	horn	nume	hornul circului, vârful cel mai apropiat

4.5. Confruntarea cu terenul (etapa de teren)

Etapa de teren, deși este și ea mare consumatoare de timp și, mai ales, de resurse financiare, a fost cea mai importantă pentru realizarea acestui studiu. Această etapă a avut drept scop următoarele:

- a). verificarea circurilor în teren;
- b). identificarea de noi areale glaciare;
- c). evaluarea variabilelor de calitate specifice circurilor (*ordin, iezer, geologie, tip etc.*), precum și a ambianței topoclimatice a acestora;
- d). cercetarea detaliată a circurilor cu statut incert și aprofundarea cunoștințelor despre circurile clasice;
- f). lecțiile de geomorfologie în teren.

În analiza noastră de teren au fost incluse toate ariile glaciare puse în discuție în literatura de specialitate până la realizarea acestui studiu. Având în vedere că s-a semnalat prezența circurilor și la altitudini maxime mai mici de 2000 m, am realizat o listă cu toate ariile montane a căror altitudine depășește 1800 m. Toate acestea au fost declarate, de la începutul cercetărilor, ca având potențialul de a fi întreținut ghețari de circ în timpul Pleistocenului. Singura excepție a reprezentat-o Muntele Siriu, a cărui altitudine coboară sub 1800. Acest prag altitudinal a fost inspirat din realitatea morfologică a munților Maramureșului, unde fiecare masiv montan cu altitudini de peste 1800 m prezintă circuri glaciare.

Verificarea circurilor în teren. Această acțiune a presupus verificarea în teren a informațiilor care au fost emise de către predecesorii noștri, motiv pentru care ne-am concentrat în principal asupra prezenței și distribuției circurilor glaciare. Desigur, atenția noastră a fost îndreptată predilect asupra ariilor marginal glaciare cu circuri izolate. Această verificare a fost necesară deoarece am considerat că unele arii au fost incomplet analizate sub aspectul prezenței reliefului glaciare. Și în acest caz, dăm ca exemplu munții Maramureșului, unde nici un studiu de morfologie glaciară nu a redat o imagine reală asupra glaciației de aici. Din acest motiv, am decis că se impun unele verificări în teren ale datelor din literatura de specialitate, tocmai pentru a ne asigura că situația aceasta nu s-a repetat și în cazul altor arii montane unde există semne de întrebare privind existența ghețarilor.

Identificarea de noi areale glaciare. În primă instanță nu ne-am propus să extindem spațiul considerat a fi glaciare, însă identificarea în cadrul CR a unor noi circuri glaciare care nu fusesse menționate anterior ne-a determinat să abordăm și acest subiect, al descoperirilor de morfologii glaciare. Astfel, există pe lista noastră câteva circuri care nu au mai fost menționate niciodată în literatura de specialitate. Cel mai reprezentativ exemplu, în acest caz, îl constituie Muntele Jupania (munții Maramureșului de Sud) unde am identificat prezența a două circuri glaciare la obârșia Ceremușului (afluent din bazinul superior al Prutului) (Fig. 4.5). În același timp, circurile din Jupania au reprezentat un perimetru de studiu experimental, în vederea cercetărilor speciale de geomorfologie glaciară, mai ales în ceea ce privește cartările în detaliu și comportamentul zăpezilor din timpul anului.

Circuri noi, în general cu poziții izolate față de populațiile de circuri clasice, au fost identificate în aproape fiecare arie glaciară majoră. Considerăm, însă, că cea mai mare realizare a acestui demers de cercetare a constat în identificarea unei tipologii noi de circuri din CR, respectiv circurile interne (*inner cirques*) situate în perimetrul circurilor mai mari, denumite complexe. Deși existența acestora a fost menționată în literatura de specialitate, nu au fost cartate decât sporadic.

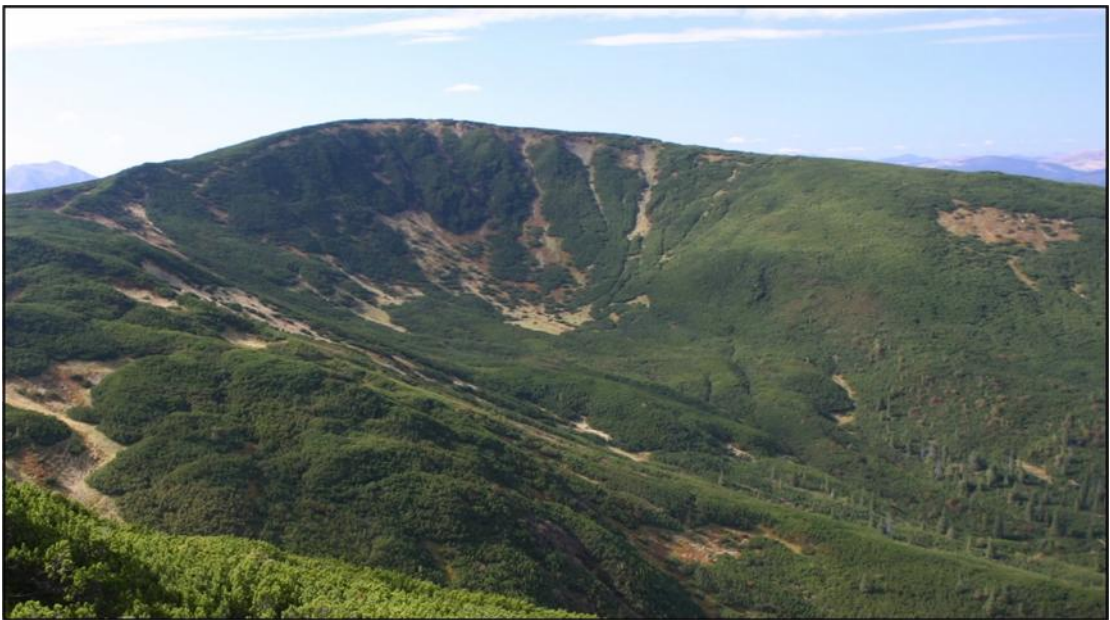


Figura 4.5. Circul glaciare Jupania, cod: C32 (munții Maramureșului de Sud).

Evaluarea variabilelor de calitate. În lista noastră de variabile există câteva care nu pot fi evaluate utilizând doar hărțile topografice. Din acest motiv, am recurs la campanii de teren pentru evaluarea acestora la fața locului. Desigur, nu a existat timpul necesar pentru a realiza astfel de evaluări pentru întreaga populație de circuri, ci doar acolo unde materialele cartografice nu au furnizat suficiente informații ori originea ciroului era incertă. Printre variabilele de calitate evaluate în teren s-au numărat ordinul, tipul precum și prezența sau lipsa cuvetelor glaciare ale circurilor. Cele mai multe dezbateri în teren au avut loc în cazul ordinului, pentru evaluarea cât mai corectă a gradului de dezvoltare a circurilor glaciare.

În ceea ce privește tipul, cercetările au vizat mai ales situațiile în care circurile sunt adunate în ciorchine. În astfel de situații s-a recurs la „divizarea” acestora, pentru identificarea circurilor complexe (de tip *outer*), respectiv, interne (de tip *inner*). Deși cele mai multe dintre cuvele glaciare sunt cartate pe hărțile topografice sub formă de lacuri glaciare, cele care au

fost, între timp, colmatate sau transformate în turbării, au necesitat investigații de teren pentru identificarea lor corectă. Pentru unele dintre circuri s-au realizat cartări detaliate în care sunt reprezentate toate elementele de detaliu ale acestora, incluzând morenele de circ sau rocile mutonate.

Circurile cu origine incertă. Una dintre preocupările noastre majore a fost reprezentată și de studiul detaliat al circurilor cu statut incert, dubitabil. Deoarece astfel de circuri au, în cele mai multe cazuri, și dimensiuni mai mici, ele au fost „surprinse” mult mai greu pe hărțile topografice la scara 1:25.000. Chiar dacă pentru anumite arii am utilizat și hărți la scară mai mare, tot au fost necesare investigații de teren pentru a determina, cu mai multă acuratețe, originea acestor circuri incerte. Astfel de cazuri sunt frecvente în Carpații Orientali (CO) sau în Biharia din Munții Apuseni (MA), însă ele nu lipsesc nici în AT (Muntele Mic, Căpățâni, Șureanu, Iezer). Astfel, în urma investigațiilor din teren, pentru unele dintre cazurile analizate a fost confirmat statutul de circ, în timp ce în alte cazuri a fost infirmat.

Lecțiile de geomorfologie. Acestea au reprezentat un pas important pentru înțelegerea și studiul glaciației din CR de către autorul acestui studiu. În primul rând, utilizând datele predecesorilor noștri, am ales cele mai dezvoltate circuri din CR pe care ulterior le-am investigat, direct în teren, pentru a înțelege, mai în profunzime, morfologia glaciară. Totodată, am verificat anumite teorii privind glaciația din CR, și am identificat unele elemente de morfologie glaciară menționate în literatura de specialitate românească (morene, trepte glaciare, umeri glaciari, cuvete, roci mutonate, striaiții etc.). Am rămas plăcut surprinși de calitatea informațiilor și ideilor privind morfologia glaciară emise de Sârcu și Niculescu în cadrul celor două studii care au reprezentat tezele lor de doctorat. Practic, aceasta subetapă metodologică poate fi numită sugestiv: **Pe urmele predecesorilor noștri.**

De asemenea, am vizitat și o serie de spații glaciare din Europa, Asia și America de Nord, dintre care menționăm aici expedițiile științifice realizate împreună cu profesorul Ian Evans de la Universitatea Durham (UK) în Himalaya (aprilie 2011) și munții Coastei din Canada (iulie-august 2014) în vederea studierii reliefului glaciare. Cele mai multe vizite le-am realizat, însă, în spațiile glaciare din Arhipelagului Britanic (Snowdonia, Lake District, Scoția). Deși glaciația britanică a fost diferită față de cea din CR, ghețarii de circ au acționat prin aceleași mecanisme pretutindeni, iar în Marea Britanie am putut observa anumite microforme ale reliefului glaciare care în spațiul carpatic sunt mai rare, cum sunt striaițiile glaciare (Fig. 4.6).



Figura 4.6. Roci mutonate (stânga) și striaiții glaciare din regiunea Lake District, Marea Britanie (2004).

La acestea se adaugă cercetările din munții glaciați ai Ucrainei. Deși se caracterizează prin altitudini care abia trec de 2000 m și sunt formați din strate de fliș, munții Cernahora și Svidovieț prezintă un relief glaciare deosebit de interesant (Fig. 4.7), având asemănări pronunțate față de relieful glaciare de tip Godeanu.



Figura 4.7. Relieful glaciar din munții Cernahora, Ucraina (foto: M. Mîndrescu, septembrie 2004).

Pe baza experienței astfel acumulate, am observat că studiul hărților, completat cu informațiile culese din teren, pot da rezultate foarte bune. În unele cazuri harta ne-a îndrumat pașii spre cunoașterea exactă, în sens morfometric, iar cercetările din teren au fost cele care au definitivat și completat cunoașterea circurilor, mai ales din punct de vedere calitativ.

Din păcate, în ultima perioadă s-a renunțat din ce în ce mai mult la etapa de teren (consumatoare de fonduri) și se acordă o importanță tot mai mare celei de laborator, prin aplicarea de metode și tehnici moderne în geomorfologie, incluzând utilizarea imaginilor aeriene și satelitare. Cercetarea în teren a circurilor glaciare s-a făcut în condiții dificile, mai ales climatice, dat fiind faptul că am lucrat în ariile alpine și subalpine.

Nu de puține ori, aplicațiile de teren nu și-au atins scopul tocmai datorită condițiilor meteorologice. În general, cercetarea circurilor glaciare în condițiile CR se poate face mai ales în sezonul cald al anului, care se suprapune și cu perioada cu maxim de precipitații. Totuși, cea mai favorabilă perioadă pentru cercetările alpine rămâne cea de toamnă (septembrie - octombrie). La fel de importante pentru studiul circurilor glaciare sunt și cercetările din timpul iernii, însă în acest caz crește foarte mult pericolul unor accidente datorate avalanșelor de zăpadă. Spătarele de circ prezintă cel mai mare risc în acest sens, astfel încât circurile pot fi evaluate doar din perspectivă. Deosebit de importante în sezonul de iarnă sunt observațiile privind modul de remanieră a zăpezilor și repartiția construcțiilor nivale de anvergură. În anumite cazuri, acestea din urmă au fost monitorizate până la topirea lor din timpul verii. Persistența construcțiilor nivale târzii, până în vară, constituie un indiciu al originii glaciare a unor situri montane care au creat cele mai bune condiții de adăpost și protecție față de vânt și insolația solară (Fig. 4.8).



Figura 4.8. Construcție nivală lângă cirul Jupania (munții Maramureșului de sud) (foto: M. Mîndrescu, 5 mai 2004).

4.6. Geomorfometria circurilor glaciare *on screen* (etapa de laborator)

Studiul geomorfometriei circurilor glaciare din CR a necesitat, pe lângă campaniile de teren, diverse operații asistate de calculator. Etapa de laborator a fost, la rândul său, destul de laborioasă, de ea depinzând toate rezultatele finale.

Pentru obținerea bazei de date cuprinzând toate variabilele care descriu caracteristicile geomorfometrice ale circurilor glaciare din CR și prelucrările ulterioare pe baza acestora, s-au realizat trei operații importante: cartografierea digitală, exercițiile de geomorfometrie (măsurarea variabilelor) și prelucrarea statistică a datelor.

4.6.1. Cartografierea digitală

Cartografierea digitală a presupus delimitarea tuturor circurilor glaciare din CR, precum și a elementelor componente. Pentru început, s-au selectat ariile în care au fost identificate circuri glaciare, atât în studiile precedente, cât și de către noi. Etapele de lucru au inclus revizuirea literaturii de specialitate privind existența circurilor, urmată de identificarea acestora în teren și pe hărțile topografice. După localizarea pe hărțile digitale a tuturor circurilor glaciare (al căror număr a variat de-a lungul acestei etape din diferite motive) s-a trecut la cartografierea digitală propriu-zisă a circurilor. Astfel, fiecare circ și elementele sale componente au fost delimitate, mai ales pe baza anumitor valori prag ale declivității. Valorile acestor gradienti au făcut, practic, distincția dintre circuri și ariile înconjurătoare, cât și dintre cele două elemente importante ale circurilor, spătarul și podeaua. Desigur, pe lângă valorile gradientilor prag, s-a ținut seama și de alte elemente morfologice locale.

Identificarea și poziționarea exactă a circurilor pe hărțile topografice și cartografierea lor digitală, au reprezentat cei mai importanți pași pentru realizarea acestui studiu, dar nu fără dificultăți, care au survenit mai ales în stabilirea circurilor complexe și interne. Deseori, delimitarea circurilor a fost îngreunată de morfologia glaciară complicată, mai ales acolo unde circurile sunt adunate sub formă de ciorchine. Amalgamarea circurilor din CR a necesitat studiul atent al hărților topografice și verificarea datelor în teren.

După cartografierea circurilor, a fost trasată și baza geografică a hărților, reprezentată de curbele de nivel principale, rețeaua hidrografică, cumpenele de apă, cuvetele lacustre, vârfurile, înșeuările și toponimele. În unele cazuri au fost cartografiate și morenele de circ sau alte neuniformități ale podelei (monticuli sau morene de tip movilă: *hummocky moraine*). Morenele de tip movilă au aspectul unor ondulări ale depozitelor glaciare de fund cu pante

abrupte separate de microdepresiuni închise și adânci, ale căror elevații pot ajunge până la 10 m. În CR, acestea sunt de cele mai multe ori solitare.

Hărțile astfel rezultate au urmat două căi diferite:

- prelucrarea lor pentru tipărire (*ready for print*),
- pregătirea lor pentru realizarea exercițiilor de geomorfometrie.

Prelucrarea pentru tipărire a presupus salvarea layer-ului cartografiat de noi și ajustat pentru a fi gata de printat. Înainte de tipărire s-au adăugat elementele comune unei hărți, și anume legenda și scara.

În schimb, pregătirea lor pentru măsurarea variabilelor a presupus un nou set de operații realizate cu ajutorul unei aplicații dedicate. Pentru fiecare circ au fost trasate axele de măsurare (axa mediană, lățimea, elevația spătarului, curbele mediane, mijlocul axei mediane etc.). Înainte de a fi importate pentru următoarea aplicație, fiecare circ a primit câte un cod (ID-ul cercului), fiind apoi supuse măsurătorilor geomorfometrice.

Inițial această operație a părut simplă, însă ulterior, ca urmare a modificărilor repetate, am realizat că este mai complicată decât ne așteptam. Revenirea asupra unor hărți s-a datorat fie eliminării unui circ sau acceptării altuia nou, fie modificării limitelor dintre acestea sau dintre elementele lor componente. Aceste exerciții s-au extins pe o perioadă lungă de timp și abia după consultări și verificări repetate s-a ajuns la un produs final (fig. 4.9).

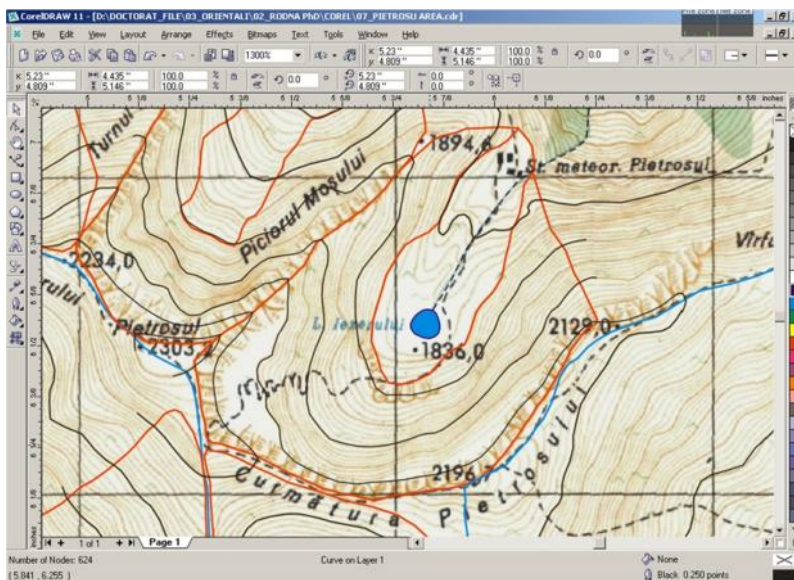


Figura 4.9. Geomorfometria circurilor glaciare. În lucru: cercul Iezerul Pietrosu (cod: C39), masivul Rodnei.

4.6.2. Exercițiile de geomorfometrie

În această etapă au fost măsurate variabilele dimensionale, azimutale, de gradient și coordonatele geografice ale tuturor circurilor din CR. Variabilele altitudinale au fost stabilite prin apreciere vizuală, urmate de calcule simple. În schimb, variabilele calitative au fost determinate exclusiv pe baza aprecierilor vizuale, ținându-se cont de metodologia prezentată, de literatura de specialitate și de experiența proprie din teren.

Măsurarea variabilelor a presupus realizarea unor fișe individuale pentru fiecare circ, unde au fost înscrise datele morfometrice obținute. Exercițiile de geomorfometrie au necesitat un volum imens de muncă, mai ales dacă avem în vedere faptul că fiecare modificare legată de cartografierea circurilor (internă sau externă) a condus la refacerea măsurătorilor asupra

variabilelor. Am considerat că am ajuns la rezultatul final doar atunci când reprezentările noastre nu au mai comportat modificări.

Cele mai frecvente dificultăți le-am întâmpinat în cazul zonelor cu frecvență mare a abrupturilor (ca semn convențional specific hărților), precum și la măsurarea coordonatelor rectangulare. Așa cum am menționat anterior, frecvența mare a abrupturilor a îngreunat substanțial măsurătorile privind unghiurile maxime de înclinare, motiv pentru care adeseori am utilizat interpolarea. Probabil, în acest set de variabile se întâlnesc și cele mai mari erori, în sensul că unghiul maxim de înclinare nu este congruent cu cel din realitate. În ceea ce privește coordonatele rectangulare și geografice, dat fiind faptul că teritoriul României este împărțit între două fuse longitudinale diferite (L-34 și L-35), a fost necesar ca valorile obținute să fie armonizate.

Variabilele obținute prin măsurare digitală au fost denumite variabile directe, întrucât au fost măsurate direct pe hărțile topografice prelucrate în prima aplicație. Pe baza acestora, a fost calculat un nou set de variabile, denumite derivate.

În final, fișa morfometrică de lucru a fiecărui circ a fost completată cu variabilele calitative. O parte dintre acestea au fost determinate tot pe baza materialelor cartografice sau aerofotogramelor, așa cum este cazul celor privind ordinul sau tipul circurilor. În schimb, pentru determinarea variabilelor privind geologia sau cuvetele glaciare ale circurilor, au fost utilizate hărțile geologice (scările 1 : 50.000 și 1 : 200.000), respectiv, textele și hărțile cu conținut hidrologic și limnologic (Pișota, 1968, 1971).



Figura 4.10. Geomorfometria circurilor glaciare. În lucru: circul Zeicu de Nord (cod: C634), munții Țarcu.

În cadrul acestei etape de lucru au fost făcute o serie de rectificări importante asupra hărților primare, ca urmare a unor „defecte” descoperite cu ocazia exercițiilor de geomorfometrie. La finalul acesteia s-a putut stabili cu exactitate numărul populației de circuri din CR. Din acest moment nu s-a mai operat nici o schimbare în ceea ce privește identificarea și delimitarea circurilor glaciare.

Produsul final, care a necesitat peste 40.000 de măsurători cantitative și calitative pe diverse hărți (fig. 4.10), a fost reprezentat de dosarul cu fișele morfometrice ale tuturor circurilor glaciare din CR. Numărul de măsurători include și operațiile de remăsurare, verificare și de corectare a erorilor. Astfel, înainte de a trece la analiza statistică a datelor, ne-am asigurat că

toate datele morfometrice obținute sunt cât mai corecte și am eliminat, pe cât posibil, erorile de măsurare.

4.6.3. Prelucrarea statistică a datelor

Pe baza fișelor morfometrice a fost construită baza de date geomorfometrice a circurilor glaciare din Carpații Românești. Aceasta a fost realizată cu aplicația Excel, fiind ulterior importată în aplicația de statistică Stata 8.2, care a permis o varietate de operații statistice utile pentru analiza circurilor glaciare, motiv pentru care aceasta este utilizată și pe plan internațional de către diverși geomorfologi.

Primele operații au fost cele de verificare a datelor și de înlăturare, pe cât posibil, a tuturor erorilor existente (de măsurare sau de transcriere a datelor). Desigur, erorile primare, incluzându-le pe cele care țin de acuratețea hărților topografice, calibrarea scărilor, cartografierea digitală sau proiecțiile diferite folosite pentru hărți, au fost mai greu de evaluat și înlăturat. Etapa de *checking* (verificare a datelor) a necesitat timp și rularea de multiple operații statistice, iar erorile identificate au fost înlăturate. Acest tip de erori au fost reduse ca număr și s-au datorat mai ales transcrierilor de date (mai ales în cazul coordonatelor rectangulare).

După eliminarea tuturor erorilor de măsurare și transcriere, s-a obținut varianta finală a bazei de date, care a fost procesată cu ajutorul aplicației Stata pentru obținerea datelor statistice și a reprezentărilor grafice (Fig. 4.11).

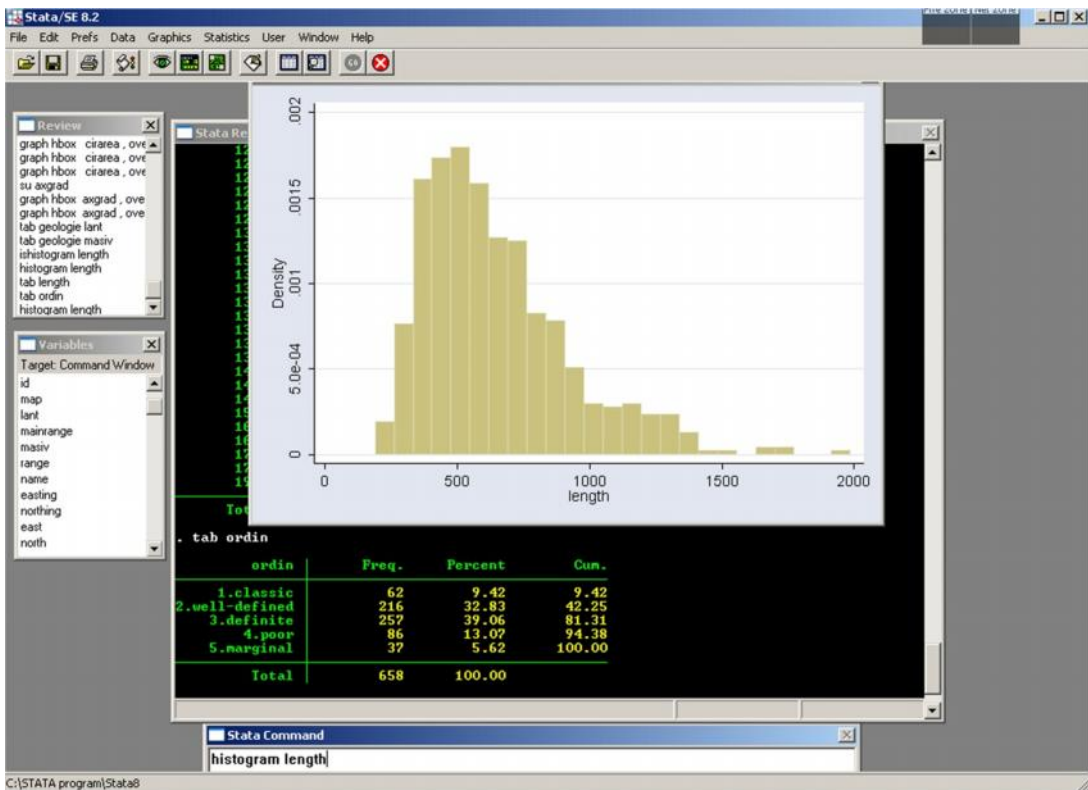


Figura 4.11 Geomorfometria circurilor în aplicația Stata 8.2. În lucru: Histograma corespunzătoare lungimilor tuturor circurilor glaciare carpatice (sus) și statistica descriptivă a ordinelor de circ (jos).

Realizarea bazei de date privind geomorfometria circurilor glaciare din Carpații Românești s-a bazat pe utilizarea materialelor cartografice la scară mare și procesarea ulterioară a acestora cu ajutorul aplicațiilor digitale, coroborate cu experiența din teren, revizuirea literaturii de specialitate, dar și cu discuțiile purtate cu cercetători cu experiență, toate acestea constituind elemente necesare în realizarea unui astfel de studiu.

Având această experiență laborioasă, considerăm că etapele menționate (de laborator și de teren) trebuie să coexiste în proporții comparabile pentru a asigura reușita unui studiu geomorfologic. Chiar dacă cercetarea de teren necesită o perioadă de timp mai mare și resurse financiare apreciabile în unele cazuri, ea completează, cu succes, etapa de laborator.

5. Repartiția și gruparea circurilor glaciare

5.1. Introducere

În Carpații Românești au fost identificate 658 de circuri glaciare în diferite stadii de evoluție, de la circuri bine dezvoltate (clasice) la cele slab dezvoltate (marginale). Dintre acestea, în cazul a 27 de circuri originea glaciară este considerată dubitabilă, motiv pentru care au fost excluse din studiile noastre mai recente, din 2010 (Mîndrescu et al., 2010) și 2014 (Mîndrescu & Evans, 2014).

Pe de altă parte, harta *Circurile glaciare din Carpații Românești* conține un număr de 679 de circuri glaciare, mai multe cu 21 de circuri față de numărul din studiul de față (Mîndrescu, 2016). Dimensiunea populației de circuri inventariate a crescut datorită identificării de circuri noi atât în arile montane clasice (ex. Șureanu de Sud) cât și în areale noi, așa cum sunt munții Gurghiului (ex. cercul Sacă, C100). Nomenclatorul circurilor glaciare este redat sub forma unui tabel inclus în hartă, care conține și hărțile circurilor glaciare aferente fiecărui masiv glaciatic. Codurile folosite în acest studiu sunt cele preluate din nomenclatorul hărții menționate (Mîndrescu, 2016).

Cele 658 de circuri carpatice românești reprezintă cea mai mare populație de circuri analizată în cadrul unui studiu la nivel mondial (tabel 5.1). Circurile identificate sunt repartizate în toate cele trei ramuri carpatice principale, după cum urmează: Carpații Orientali (100), Alpii Transilvaniei (554) și Munții Apuseni (4). Între cel mai nordic cerc, Dezeskul Grun, C10 (munții Maramureșului de Nord) și cel mai sudic, Groapa Olanului, C611 (munții Godeanu) se desfășoară o distanță de 302 km, iar între cel mai vestic cerc, La Blid, C675 (Muntele Mic) și cel mai estic cerc, Mălaia, C101 (munții Siriu) sunt 286 km (dacă se exclude cercul Mălaia, cel mai estic cerc devine cercul Coștila, C112, din Bucegi, iar distanța se reduce la 235 km). Astfel, populația de circuri carpatice poate fi încadrată într-un dreptunghi cu latura mare îndreptat spre nord (302 km / 235 km).

Tabel 5.1. Investigațiile recente privind populațiile de circuri analizate în cadrul unui studiu (modificat după Barr & Spagnolo, 2013)

Nr	Sursa bibliografică	Regiunea montană	Numărul de circuri
1	Mîndrescu (2016)	Romania	658 (631)
2	Křifžek et al. (2012)	Cehia, Germania, Polonia	27
3	Andres et al. (2010)	Elveția	500
4	Stauch & Lehmkhul (2010)	NE Rusia	498
5	Ruiz-Fernández et al. (2009)	Spania (WMPE)	59
		Spania (SSWA)	70
6	Hughes et al. (2007)	Grecia	35
7	Steffanová & Mentlik (2007)	Cehia, Germania	7
8	Marinescu (2007)	Romania	10
9	Brook et al. (2006)	Noua Zeelandă	92
10	Evans (2006)	Țara Galilor	260
11	Chueca & Julián (2004)	Spania	3

Nr	Sursa bibliografică	Regiunea montană	Numărul de circuri
12	Federici & Spagnolo (2004)	Franța, Italia	432
13	Urdea (2001)	Romania	31
14	García-Ruiz et al. (2000)	Spania	206
15	Evans (1999)	Țara Galilor	228
16	Davis (1999)	USA	49
17	Hassinen (1998)	Norvegia, Suedia, Finlanda	539
18	Evans & Cox (1995)	Anglia	158
19	Evans (1994)	Canada	198
20	Embleton & Hamann (1988)	Austria și Marea Britanie	302
21	Vilborg (1984)	Suedia	>200
22	Aniya & Weich (1981)	Antarctica	56
23	Olyphant (1981)	USA	23

Circurile carpatice sunt repartizate în 14 bazine hidrografice majore, și anume Tisa (52), Prut (2), Bistrița (8), Mureș/Strei (157), Buzău (1), Olt (158), Ialomița (8), Dâmbovița (29), Argeș (113), Jiu (42), Cerna (29), Timiș (32) și Arieșul Mare (4). Bazinul râului Tisa deține cele mai multe dintre circurile orientale, în timp ce circurile alpine transilvănene se găsesc, în principal, în bazinele Olt, Argeș și Strei, care dețin împreună cele mai multe dintre circurile carpatice (65%). Cele patru circuri din Biharia se găsesc în bazinul Arieșului. În detaliu, circurile carpatice sunt repartizate în 156 de bazine hidrografice minore (ordin I și II Strahler): Orientali (37 bazine), Alpii Transilvaniei (117), Apuseni (2).

Table 5.2. Repartiția circurilor glaciare în cadrul Carpaților Românești (* - asimetria principală este de tip est-vest. Asimetria numerică reprezintă raportul procentual al numărului circurilor situate pe cei doi versanți principali. Valoarea de 50% = simetrie glaciară; valoarea de 100% = asimetrie nordică sau estică totală; valori mai mici de 50% = asimetrie sudică sau vestică)

Masivul	Nr. circuri	Frecv., relat., %	Frecv. cumul., %	Circuri nordice/estice	Circuri sudice/vestice	Asimetria numerică, %
Făgăraș	210	31.91	31.91	90	120	43
Retezat	89	13.53	45.44	50	39	56
Godeanu	71	10.79	56.23	41	30	58
Țarcu	60	9.12	65.35	27	33	45
Parâng	52	7.9	73.25	36	16	69
Rodna	48	7.29	80.54	38	10	79
Iezer	41	6.23	86.77	27	14	66
Maramureș	28	4.26	91.03	26	2	93
Bucegi*	11	1.67	92.7	7	4	64
Lotrului	11	1.67	94.37	3	8	27
Călimani	8	1.22	95.59	8	0	100
Cindrel	8	1.22	96.81	7	1	88
Șureanu*	5	0.76	97.57	3	2	60
Latorița	4	0.61	98.18	4	0	100
Biharia*	4	0.61	98.79	4	0	100
Țibleș	2	0.3	99.09	2	0	100
Mt Mic*	2	0.3	99.39	1	1	50
Suhard	1	0.15	99.54	1	0	100
Siriu*	1	0.15	99.69	1	0	100
Leaota	1	0.15	99.84	1	0	100
Căpățâni	1	0.15	100	1	0	100
Total	658	100		378	280	57

Circurile carpatice sunt grupate în 21 de masive montane, însă doar 7 dintre acestea din urmă dețin 87% dintre numărul de circuri, după cum urmează: Rodna, Iezer, Făgăraș, Parâng, Retezat, Godeanu și Țarcu (tabel 5.2). Densitatea cea mai mare de circuri se înregistrează în masivul Făgăraș și în grupa Retezat, care împreună însumează 65% dintre circurile carpatice. Deci, ghețarii de circ au preferat aria cu cea mai mare masivitate (Făgăraș) și cu poziția cea mai vestică (grupa Retezat) din CR.

Cele 100 de circuri orientale sunt repartizate în 8 regiuni montane, situate mai ales în Carpații Orientali de Nord. În detaliu, acestea au fost împărțite în 21 de grupuri glaciare, dintre care 9 (Bardău, Toroiaga, Jupania, Cearcănu, Țibleș, Suhard, Bistriciorul, Mălaia și Leaota) dețin doar unul sau două circuri.

Cele mai multe grupuri glaciare din Carpații Românești (84) sunt repartizate în cele 12 regiuni montane din AT. Dintre grupurile glaciare transilvănene, 8 dețin unul sau două circuri (circuri izolate sau în pereche). Spre exemplu, numai în munții Latoritei se găsesc trei dintre aceste grupuri.

În total, în cadrul Carpaților Românești au fost identificate 106 grupuri glaciare, dintre care 88 includ mai mult de 3 circuri glaciare (între 3 și 13, tabel 5.3), și doar 18 dețin unul sau două circuri.

Table 5.3. Repartiția circurilor în funcție de grupurile glaciare din CR (FR - frecvența relativă, FC - frecvența cumulată)

Grupul glaciare	Nr	FR, %	FC, %	Grupul glaciare	Nr	FR, %	FC, %
Mica Mare	7	1.06	1.06	Ucea Mare	6	0.91	38.13
Pop Ivan	8	1.22	2.28	Arpașul Mare	10	1.52	39.65
Farcău	7	1.06	3.34	Vârtoșul	7	1.06	40.71
Bardău	2	0.3	3.64	Râiosu	6	0.91	41.62
Toroiaga	1	0.15	3.79	Robița	3	0.46	42.08
Jupania	2	0.3	4.09	Piscul Negru	1	0.15	42.23
Cearcănu	1	0.15	4.24	Buteanu	9	1.37	43.6
Țibleș	2	0.3	4.54	Paltinul	11	1.67	45.27
Pietrosu	11	1.67	6.21	Călțunul	6	0.91	46.18
Țapu	3	0.46	6.67	Negoiu	10	1.52	47.7
Repedea	5	0.76	7.43	Șerbota	5	0.76	48.46
Pusdrele	11	1.67	9.1	Scara	12	1.82	50.28
Gărgălău	7	1.06	10.16	Ciortea	13	1.98	52.26
Inău	11	1.67	11.83	Suru	7	1.06	53.32
Suhard	1	0.15	11.98	Ursu	1	0.15	53.47
Bistriciorul	2	0.3	12.28	Conțu Mare	3	0.46	53.93
Pietrosu	3	0.46	12.74	Șteflești	5	0.76	54.69
Rățiș	3	0.46	13.2	Piatra Albă	3	0.46	55.15
Siriu	1	0.15	13.35	Cindrel	8	1.22	56.37
Omu	11	1.67	15.02	Fraoșteanu	1	0.15	56.52
Leaota	1	0.15	15.17	Puru	1	0.15	56.67
Cătunul	3	0.46	15.63	Bora	2	0.3	56.97
Danciul	4	0.61	16.24	Galbenu	6	0.91	57.88
Iezerul Mare	13	1.98	18.22	Urdele	4	0.61	58.49

Grupul glaciari	Nr	FR, %	FC, %	Grupul glaciari	Nr	FR, %	FC, %
Bătrâna	10	1.52	19.74	Cărbunele	6	0.91	59.4
Păpușa	11	1.67	21.41	Mohoru	6	0.91	60.31
Luțele	3	0.46	21.87	Setea Mare	7	1.06	61.37
Beriveiul Mare	8	1.22	23.09	Coasta lui Rus	7	1.06	62.43
Brățila	6	0.91	24	Mândra	9	1.37	63.8
Ludișor	7	1.06	25.06	Cârja	7	1.06	64.86
Zârna	10	1.52	26.58	Șureanu	5	0.76	65.62
Leaota	7	1.06	27.64	Lazărului	3	0.46	66.08
Dara	11	1.67	29.31	Gruniu	3	0.46	66.54
Urlea	11	1.67	30.98	Custura	7	1.06	67.6
Cațiva	1	0.15	31.13	Vârful Mare	6	0.91	68.51
Gălășescu	9	1.37	32.5	Păpușa	7	1.06	69.57
Moldoveanu	9	1.37	33.87	Peleaga	8	1.22	70.79
Valea Rea	9	1.37	35.24	Bucura	12	1.82	72.61
Valea Lungă	8	1.22	36.46	Retezat vf	4	0.61	73.22
Picuiata	5	0.76	37.22	Slăveiu	10	1.52	74.74
Clince	4	0.61	75.35	Bran	3	0.46	87.83
Judele	6	0.91	76.26	Godeanu	9	1.37	89.2
Seșelor	5	0.76	77.02	Olanelor	4	0.61	89.81
Zlata	6	0.91	77.93	Sincului	1	0.15	89.96
Drăgșani	8	1.22	79.15	Bistra	12	1.82	91.78
Piatra Iorgovanului	1	0.15	79.3	Petreanu	13	1.98	93.76
Paltina	5	0.76	80.06	Baicu	13	1.98	95.74
Galbena	10	1.52	81.58	Bistricioara	4	0.61	96.35
Borăscu Mare	9	1.37	82.95	Țarcu Mic	4	0.61	96.96
Stâna Mare	4	0.61	83.56	Căleanu	7	1.06	98.02
Scărișoara	8	1.22	84.78	Țarcu Mare	7	1.06	99.08
Morarul	13	1.98	86.76	Muntele Mic	2	0.3	99.38
Gugu	4	0.61	87.37	Cucurbăta	4	0.61	99.99

Desfășurarea predilectă a creștelor montane principale de la vest la est a condus la repartizarea circurilor pe cei doi versanți principali, de nord și sud. Astfel, 57% dintre circurile carpatice românești se găsesc pe versanții nordici, iar 42% pe versanții sudici. La prima vedere avem de a face cu o asimetrie glaciară moderată, însă apar diferențieri de la o regiune carpatică la alta, sau, mai ales, de la o arie montană la alta. Spre exemplu, în CO 83% dintre circuri se găsesc pe versanții nordici, comparativ cu ponderea de 16% a circurilor sudice. Doar circul Mălaia (munții Siriu) s-a format pe un versant cu expoziție estică.

Desfășurarea longitudinală a AT a condus la dezvoltarea clară a doi versanți cu expoziție nordică, respectiv, sudică. Ca populație totală, circurile transilvănene sunt repartizate echilibrat pe cei doi versanți, rezultând o simetrie glaciară aproape perfectă (N - 52,5%, S - 47,5%). Apar, însă, diferențe sensibile de la un masiv la altul, după cum vom vedea ulterior.

În Munții Biharia cele 4 circuri, slab dezvoltate, se găsesc pe versantul estic, rezultând o asimetrie estică de 100%. Acest lucru s-a datorat vântului dominant care a condus la un surplus de zăpadă pe versantul estic, adăpostit.

5.2. Poziția geografică a circurilor

Localizarea spațială a circurilor carpatice românești a fost stabilită cu ajutorul coordonatelor geografice (Fig. 5.1). Teritoriul României aparține fuselor 34 și 35 (hărțile acestora fiind realizate în proiecții diferite), astfel încât a fost necesară armonizarea datelor obținute, pentru ca toate circurile cuprinse în baza de date să fie raportate la un sistem de axe identic. Coordonatele obținute sunt deosebit de importante pentru determinarea spațială a circurilor glaciare și pentru întocmirea nomenclaturii circurilor glaciare, permițând diferite corelații și comparații spațiale interne sau cu alte arii glaciare de pe Terra.

Repartiția populației de circuri glaciare din CR pe baza coordonatelor geografice (variabilele *nord* și *est*) redă repartiția exactă a celor 658 de circuri glaciare și permite identificarea unor regiuni glaciare de diferite ranguri.

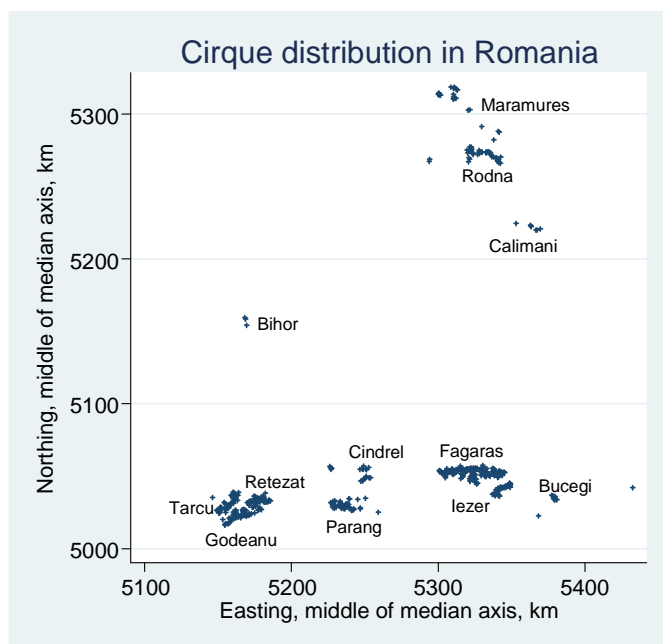


Figura 5.1. Repartiția circurilor glaciare din Carpații Românești.

Pe baza hărții repartiției circurilor din CR pot fi identificate două arii importante (majore) și două secundare, izolate. Ariile principale sunt liniile glaciare Maramureș - Călimani din nordul Carpaților Orientali și Bucegi - Muntele Mic din AT. Aria nordică are continuitate și dincolo de granița de nord a țării, în munții Cernahora și Svidoveț din Ucraina. Aria sudică este mai extinsă, mai consistentă, și se desfășoară în lungul paralelelor. Aceasta poate include și ciroul izolat din munții Siriu, însă se evidențiază grupele Bucegi, Făgăraș-Iezer, Parâng și Retezat. Ariile secundare sunt reprezentate de Siriu și Biharia (MA).

Baza de date conținând coordonatele obținute permite realizarea unor astfel de reprezentări pentru fiecare dintre ramurile carpatice sau pentru fiecare masiv montan glaciare în parte, așa cum este exemplificat pentru masivul Rodnei (Fig. 5.2).

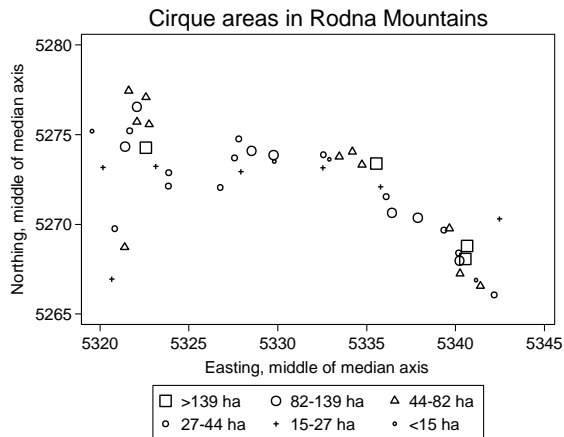


Figura 5.2. Repartiția și mărimea circurilor glaciare din masivul Rodnei.

5.3. Nomenclatorul circurilor

Nomenclatorul circurilor glaciare din Carpații Românești reprezintă un inventar al acestor forme de relief, organizat sub forma unui tabel. Astfel de inventare sunt utilizate pe Glob în studiul ghețarilor montani actuali. Nomenclatorul de față a presupus realizarea unei ordonări spațiale a circurilor, ținându-se cont de coordonatele geografice ale acestora. Începând din munții Maramureșului și până în Biharia, de-a lungul lanțului carpatic, au fost numerotate toate circurile glaciare (*codul circurilor*), în sensul acelor de ceasornic. Codul primit a depins de poziția geografică a ciroului și apare atât în lista circurilor din România, cât și pe hărțile circurilor (vezi harta *Circurilor glaciare din Carpații Românești*, Mîndrescu, 2016).

Utilizând acest cod, dar și datele aferente din nomenclator, fiecare circ poate fi poziționat cu ușurință pe hărțile topografice și în teren, utilizând GPS-ul. Circurile au fost ordonate după latitudine în CO și după longitudine în AT, fapt care facilitează identificarea spațială și a variabilelor morfometrice ale tuturor circurilor din România. Coordonatele geografice au fost determinate la mijlocul axei mediane a ciroului.

Utilitatea acestui nomenclator rezidă și în faptul că prin folosirea lui pot fi limitate confuziile datorate utilizării toponimiei circurilor. Considerăm că această bază de date poate reprezenta un suport solid pentru cei interesați de studiul reliefului glaciare, de administrarea și protejarea parcurilor naționale și naturale care includ acest tip de relief, dar și pentru amenajarea durabilă a spațiului montan sub aspect turistic.

5.4. Densitatea circurilor glaciare

Pentru a fundamenta necesitatea utilizării densității circurilor, desigur, în paralel cu asimetria distribuției lor, exemplificăm situația din munții Făgăraș. Pe baza dimensiunilor ghețarilor de vale s-a sugerat că glaciația a fost mai intensă pe versantul sudic comparativ cu cel nordic (asimetrie numerică inversă). Însă inventarul ghețarilor nu a ținut cont și de mărimea celor doi versanți principali ai lanțului montan. În realitate, cei doi versanți se află pe poziții inegale sub aspectul mărimii lor, versantul sudic fiind mult mai extins în suprafață

față de cel nordic, astfel încât densitatea circurilor glaciare pe versantul nordic (1,25 circuri / km²) are o valoare sensibil mai ridicată comparativ cu cel sudic (0,72 circuri / km²).

Astfel pentru a reda o imagine cât mai clară asupra repartiției circurilor s-a realizat și o densitatea a acestora pentru toate ariile glaciare importante, pentru a scoate în evidență, atât diferențele de la un masiv la altul, dar și de la un versant la altul (tab. 5.4).

Tabel 5.4. Densitatea circurilor din Carpații Românești la altitudini mai mari de 1800 m (masivele glaciare principale) [NrC - numărul total de circuri din masiv; DT - densitatea circurilor raportată la suprafața totală a masivului; DN - densitatea circurilor nordice raportată la suprafața versantului nordic ; DS - densitatea circurilor sudice raportată la suprafața versantului sudic; DC - densitatea circurilor raportată la lungimea crestei principale; AG - aria glaciată: proporția ocupată de totalul suprafețelor circurilor din masiv (Stc) din suprafața totală a masivului (At)].*- totalul circurilor luate în analiză

Nr	Masiv	NrC	DT, nr/km ²	DN, nr/km ²	DS, nr/km ²	DC, nr/km	AG Stc/At,%
1	Rodna	48	1,00	1,30	0,53	1,54	63.11
2	Țarcu	60	0,96	0,78	1,19	2,22	26.74
3	Godeanu	71	0,92	0,75	1,33	2,17	29.65
4	Făgăraș	210	0,88	1,25	0,72	3,33	35.31
5	Retezat	89	0,76	0,81	0,71	3,23	29.44
6	Parâng	52	0,66	0,63	0,75	1,61	28.05
7	Iezer	41	0,53	0,81	0,32	1,47	21.46
8	Cindrel	8	0,19	0,29	0,06	0,40	8.6
9	Lotru	11	0,16	0,11	0,20	0,47	5.91
10	Bucegi	11	0,16	0,29	0,09	0,65	8.13
	Media	601*	0,62	0,70	0,59	1,71	25.64
11	Șureanu	5	0,20	0,21	0,20	0,32	7.96
12	Latoriței	4	0,15	0,27		0,19	3.84
13	Căpățâni	1	0,05	0,10		0,05	1.85

În conformitate cu datele din tabelul de mai sus, se evidențiază 7 masive glaciare importante din CR. Acestea le revin cele mai ridicate valori ale densității circurilor raportate la suprafață, variind între 0,53 și 1 circuri la kilometru pătrat. Se remarcă faptul că valorile cele mai mari sunt obținute pentru munții Rodnei, cu poziția cea mai nordică, și în munții Țarcu, cu poziția cea mai vestică între masivele glaciare importante din CR. Există o corelație strânsă între valorile densităților și cea a indicelui de glaciație stabilit de noi în tabelul 5.6 din această secțiune.

Valorile densității circurilor glaciare arată că masivele cu valoarea indicelui de glaciație mai mare de 3 (Rodna, Țarcu, Godeanu, Făgăraș, Retezat, Parâng și Iezer) au și cea mai mare densitate a circurilor glaciare. Cele mai ridicate densități sunt înregistrate în cel mai nordic areal glaciare, dar situat într-o poziție vestică în cadrul CO (Rodna), în cel mai masiv sector montan din Carpații Românești (Făgăraș), și în masivele extrem vestice din Alpii Transilvaniei (grupa Retezat, în special în Țarcu). Această distribuție ar putea indica faptul că poziția geografică a masivelor a reprezentat cel mai important factor pentru densitatea mare a circurilor, astfel încât zonele situate mai aproape de ariile de proveniență ale precipitațiilor (oceanul Atlantic și marea Mediterană) sau situate mai aproape de Polul Nord, au fost cele mai favorizate.

Dacă se fac estimări separate privind densitatea circurilor pe cei doi versanți principali, rezultă un coeficient al asimetriei glaciare de tip dimensional. Coeficienții rezultați pentru cei doi versanți împart masivele glaciare în două categorii: cu asimetrie nordică respectiv,

sudică. Asimetriile nordice sunt specifice pentru cele mai multe dintre masive, inclusiv pentru Făgăraș. Însă cu cât scade longitudinea, în AT, cu atât crește gradul de simetrie dimensională (Retezat) sau chiar asistăm la asimetrii inverse evidente (Godeanu, Țarcu). Aceste situații susțin ipoteza conform căreia, odată cu scăderea longitudinii, crește gradul de simetrie glaciară. Deoarece masivele vestice transilvănene nu prezintă diferențe morfologice și altitudinale majore față de cele estice, credem că asimetria glaciară s-a datorat condițiilor paleoclimatice specifice de aici: creșterea umidității atmosferice și a precipitațiilor, mai ales regimul acestora, cu existența a două maxime anuale, așa cum se întâmplă și astăzi.

Astfel, circurile nordice sunt mai prezente în masivele Făgăraș și Rodna, probabil datorită altitudinilor ridicate din sud și a latitudinilor mari din nord. În schimb, cele sudice sunt mai frecvente în munții Godeanu și Țarcu. Acest lucru se datorează conformațiilor crestelor principale ale celor două arii montane, care nu mai sunt la fel de bine definite în spațiu pe direcția vest-est. Trebuie să admitem, însă, că și abundența precipitațiilor solide de aici a făcut posibilă instalarea ghețarilor de circ și pe pantele cu anumite grade de orientare spre sud.

Cea mai mare presiune a ghețarilor de circ asupra crestelor principale s-a înregistrat în masivele Făgăraș și Retezat, astfel încât în aceste masive a rezultat cel mai dens și impunător relief glaciardin din CR, constituind cei doi poli glaciari din AT din timpul glaciației cuaternare.

În ceea ce privește suprafața ocupată de circuri, remarcăm că în toate cele 7 masive importante, circurile ocupă cel puțin un sfert din terenurile montane situate la peste 1800 m altitudine. Totuși, dintre acestea se remarcă masivul Rodnei, cu toate că acolo există o asimetrie glaciară pronunțată nord-sud, unde peste 60% din aria alpină este ocupată de circuri. Este, de departe, cea mai mare valoare, care detașează acest masiv de restul Carpaților Românești. Explicația este una ce ține mai mult de dimensiunea circurilor glaciare decât de numărul lor. Masivul Rodnei deține doar 48 de circuri, însă acestea ocupă aproape 2/3 din suprafețele montane situate la peste 1800 m. Gradul mare de ocupare cu circuri se datorează dimensiunilor mari (Rodna având printre cele mai mari circuri din CR), dar și liniei regionale a zăpezilor, mai coborâtă comparativ cu masivele din AT. În timp ce palierul altitudinal actual situat în jurul valorii de 1800 din Rodna se afla în plin climat glaciardin, cel de la aceeași altitudine din AT era situat mai degrabă marginal în raport cu climatul glaciardin regional de acolo.

În restul masivelor densitatea circurilor scade drastic, de la 0,16-0,20 circuri / km² în masivele Cindrel, Lotru sau Bucegi, la doar 0,05 circuri / km² în munții Căpățâni (tab. 5.4)

Repartiția circurilor se realizează în mod diferit și asimetric, de la un masiv la altul, în funcție de latitudine, longitudine, poziția în cadrul lanțului carpatic și altitudine. Asimetriile nordice și estice sunt cele mai comune, însă pierd din importanță odată cu scăderea longitudinii sau altitudinii, devenind simetrii glaciare. Densitatea arată cel mai bine modul de grupare sau dispersie a circurilor glaciare dintr-un masiv, sau pe versanți, în condiții de egalitate privind suprafața la care se raportează numărul de circuri.

5.5. Asimetria circurilor glaciare

Asimetria circurilor poate fi abordată din două puncte de vedere. Pe de-o parte, se poate discuta despre asimetria internă a circurilor, cea care a fost intens discutată de către Niculescu (1957), Nedelcu (1959) și Iancu (1958), dar fără o definiție clară și lipsind o analiză morfometrică, situație în care structura geologică și cea petrografică pot influența forma circurilor.

Asimetria internă a circurilor este rezultanta influențelor geologice și a reliefului preexistent, totodată contând și poziția sau modul de dezvoltare a celei rotaționale a ghețarului. Poziționarea acesteia pe o parte sau alta a sitului inițial poate duce la asimetria internă ulterioară. La fel, prezența unui horn pe partea stângă a cercului, spre exemplu, duce la aceeași asimetrie. În acest studiu nu ne vom referi, însă, la datele morfometrice specifice asimetriei interne a circurilor, care este foarte importantă pentru descifrarea dezvoltării și evoluției ghețarilor de circ.

În 1936, polonezul Pawlowski a remarcat repartiția dezechilibrată a circurilor de-o parte și de alta a creștelor principale din Carpați. Aceasta a fost definită, mai târziu, ca fiind *asimetria glaciară*. Cel mai simplu mod de calcul al acesteia este raportul dintre numărul circurilor situate pe versanții principali diametral opuși (tab 5.2; coloana: asimetria numerică). În conformitate cu condițiile morfologice și climatice specifice CR, se poate vorbi de două tipuri de asimetrie glaciară: *asimetrie latitudinală* (sau de tip nord-sud) și *longitudinală* (de tip vest-est). În funcție de formația creștelor masivelor glaciare din CR, asimetria latitudinală este cea mai comună, motiv pentru care o considerăm principală.

Asimetria principală poate fi normală, atunci când numărul circurilor este mai mare pe versantul nordic, sau inversă, atunci când numărul este mai mare pe versantul sudic. *Asimetria secundară* se definește în același mod, raportându-se însă la versanții de vest, respectiv, est. Disponerea circurilor predominant pe versantul estic constituie o asimetrie secundară normală. *Asimetria principală*, nord-sud, caracterizează aproape toate masivele glaciare din CR cu excepția grupurilor glaciare Siriu, Omu (Bucegi), Șureanu, Muntele Mic și Cucurbăta Mare (Biharia). Excepție mai fac și ariile glaciare de mici dimensiuni.

Această asimetrie este de tip numeric, în sensul că se raportează la numărul circurilor de pe doi versanți principali opuși, și poate explica, cu succes, situațiile din Rodna sau Parâng, dar nu este elocventă, de exemplu, în cazul munților Făgărașului. Din acest motiv, am propus analiza altor tipuri de asimetrie, cum ar fi *asimetria dimensională* sau *selectivă*. Asimetria dimensională reprezintă raportul dintre aria totală a circurilor de pe versanții opuși, iar asimetria selectivă ia în calcul doar circurile tangente la cumpăna de ape. După cum am văzut, și *densitatea circurilor* de pe versanții cu expoziție diametral opusă poate reda, destul de bine, valoarea asimetriei glaciare dintr-un masiv montan.

Analiza repartiției circurilor pe cei doi versanți principali, nord și sud, a dus la următoarele concluzii:

- i). asimetria circurilor din CO (orientale) este cea mai pronunțată: odată cu creșterea latitudinii în CR crește și asimetria circurilor glaciare, respectiv, predominanța acestora pe versanții nordici. Mai mult, în cazul circurilor izolate sau a perechilor de circuri, acestea sunt situate, exclusiv, pe versanții de nord, adăpostiți.
- ii). asimetria circurilor din AT (transilvănene) este mult mai moderată, existând și cazuri de asimetrie inversă (Făgăraș, Lotru). O dată cu scăderea longitudinii, în CR scade și gradul de asimetrie glaciară. Aceasta se datorează poziției de prim front orografic în calea maselor de aer vestice, apropierea de un bazin oceanic sau marin, precum și conformației masei muntoase din vestul AT sub forma mai multor noduri orografice dispuse areal (ex. Retezat) și nu în lungul unei linii.
- iii). asimetria numerică este, uneori, neputincioasă în explicarea asimetriilor glaciare; astfel, în unele masive, nu există o corespondență între numărul circurilor și intensitatea glaciației de la nivelul versantului pe care acestea se găsesc.

Tendința circurilor de a se grupa pe versanții nordici se explică prin condițiile topoclimatice, respectiv, prin cantitatea mică de radiații pe care o primesc aceștia, care a condus la o rată mică a ablației. Intensitatea glaciației a fost mai puternică pe versanții nordici decât o arată

numărul circurilor de pe acești versanți în cazul AT. Numărul mai mare de circuri sudice s-a datorat suprafeței mai mari a versanților sudici sau, mai important, existenței unor culmi secundare care au expus versanți estici, favorabili glaciației (ex. Făgăraș). Spre exemplu, versantul sudic din munții Făgăraș a profitat de ambele situații descrise mai sus. Mai mult, în cazul acestor munți, altitudinile medii ale culmilor secundare sudice sunt asemănătoare cu cele ale crestei principale. Pentru a surprinde și mai bine asimetria glaciară din CR, am recurs și la alte formule de calcul, după cum vom vedea în continuare.

Nici asimetria secundară nu este lipsită de importanță. Ea este cel mai bine pusă în evidență în munții Biharia, dar apare în toate masivele montane glaciare, însă numai în anumite sectoare. Orice schimbare a conformației crestelor principale care a dus la apariția unei tendințe estice, adăpostite, în orientarea versanților, a favorizat, mai mult sau mai puțin, în funcție și de alți factori, apariția ghețarilor de circ. Spre exemplu, „decroșarea” morfologică în latitudine a crestei Rodnei dintre vârfurile Repedeș și Pusdrele, a favorizat apariția circurilor sudice în acel sector. Mai mult, cu cât crește tendința estică, în orientare, a unui versant, dispăre asimetria principală, iar grupul de circuri va fi caracterizat prin asimetrie secundară, vest-est. Asimetria estică este considerată normală și caracterizează ariile carpatice acolo unde crestele principale sunt orientate nord-sud. De asemenea, ea este caracteristică tuturor crestelor secundare glaciare (desfășurate pe direcția nord-sud), mai cu seamă în cazul munților Făgăraș sau a culmii secundare a Retezatului.

Asimetria estică a fost explicată ca fiind efectul viscolului glaciare din timpul Pleistocenului care a avantajat formarea acestei asimetrii prin intermediul deflației nivale (acțiunea de remaniere a zăpezii de la sol sau aeropurtate, în special de către vântul dominant, denumit viscol glaciare în timpul fazelor glaciare). Mai mult, rata de ablație de la nivelul versanților estici, din emisfera nordică, este mai scăzută în timpul dimineții, decât după amiază (Lobeck, 1939; Evans, 1977). Important de menționat este și faptul că nu s-au semnalat asimetrii secundare inverse, ceea ce sugerează că viscolul glaciare a fost factorul decisiv, restrictiv, care a împiedicat formarea ghețarilor de circ pe versanții vestici, expuși.

În concluzie, asimetria numerică principală sau secundară reprezintă o realitate confirmată în CR. Cele mai multe dintre circuri sunt situate pe versanții nordici, nord-estici și estici. Totuși, odată cu creșterea altitudinii masivelor montane, gradul de asimetrie scade, deoarece ghețarii de circ găsesc condiții din ce în ce mai bune pentru formare prin scăderea accentuată a temperaturilor. Astfel, este favorizată glaciația tuturor fațetelor muntelui, rezultând ceea ce se numește *glaciație de tip horn*. Astfel de cazuri au fost foarte frecvente în munții Făgăraș, Retezat sau grupul Omu (Bucegi).

Faptul că versanții de nord-est au fost preferați de ghețarii de circ demonstrează că aceștia au acumulat ambele avantaje majore, respectiv poziția de adăpost față de vânt (încurajându-se construcțiile nivale) și protecție față de insolație (metamorfozarea zăpezii în gheață și declanșarea curgerii glaciare).

În același timp, gradul de asimetrie caracterizează cel mai bine situațiile locale, mai ales la nivelul grupurilor glaciare. Astfel, pe distanțe scurte se schimbă tipul de asimetrie (normală-inversă, principală-secundară) de la un grup la altul. Toate aceste schimbări sunt explicate printr-un cumul de factori locali, cum ar fi: modificarea conformației în plan a crestelor, relieful preexistent, ambianța topografică, structura geologică sau variațiile altitudinale. La nivel regional, asimetria glaciară a depins de latitudine, longitudine și altitudine. Cele trei variabile pot forma axele principale ale unui cub - *cubul de gheață*, unde locul longitudinii este luat de locul geografic al masivului în cadrul ariei montane pe direcția vest-est (*eastward*). Asimetria crește spre latitudinile și longitudinile mari și scade odată cu altitudinea.

Un tip aparte de asimetrie este reprezentat de *asimetria selectivă* care ia în analiză populații selective de circuri. Cea mai relevantă pe care am identificat-o este *asimetria de creastă principală*. Aceasta vizează doar circurile glaciare situate tangent la crestele principale glaciare. În acest caz se elimină situațiile în care numărul de circuri se raportează la versanți diferiți ca mărime, morfologie (magnitudinea fragmentării pe flancuri) sau altitudine. Cel mai tipic caz este cel al masivului Făgăraș, unde valoarea asimetriei numerice este de 43% (90/120: asimetrie normală inversă). Însă dacă raportăm numai circurile situate tangent la creasta principală, valoarea asimetriei principale devine 57,6% (asimetrie normală) respectiv, 68 de circuri nordice și 50 sudice (Fig. 5.3). Astfel, conform acestui parametru, situația se inversează, sugerând o intensitate mai ridicată a glaciației pe versantul făgărășan nordic față de cel sudic, așa cum s-a întâmplat, de fapt, în realitate. În concluzie, glaciația din munții Făgărașului a fost mai intensă pe versantul nordic în lungul crestei principale, și pe fețele estice, în cazul culmilor secundare sudice (Mîndrescu, 2009).

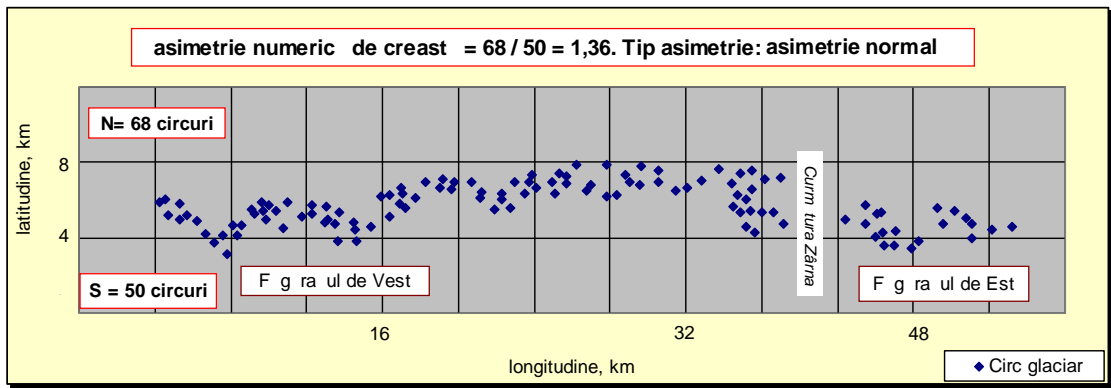


Figura 5.3. Asimetria glaciară de creastă din munții Făgărașului (doar circurile tangente la creasta principală: 118 circuri).

Alte tipuri de asimetrie raportează numărul, calitatea sau dimensiunea circurilor la unitatea de suprafață. Acești parametri ai simetriei (de tip densitate) au rolul de a defini, cât mai bine, repartiția ghețarilor de circ din CR.

5.6. Mărimea și masivitatea ariilor glaciare

Cele mai multe dintre ariile montane glaciare din CR au fost analizate și din punct de vedere dimensional, pentru a stabili cât de importantă a fost mărimea și masivitatea munților pentru formarea ghețarilor de circ și repartiția actuală a circurilor glaciare. De asemenea, a fost determinată și mărimea versanților principali, pentru a avea o imagine mai completă asupra asimetriilor glaciare dimensionale. Ariile și lungimea creștelor principale au fost determinate pentru sectoarele montane cu altitudini mai mari de 1800 m. Sub acest aspect, se evidențiază munții Făgăraș (238 km²) și Retezat (116 km²), care au „oferit” proceselor specifice glaciației cele mai întinse suprafețe montane, fapt care explică de ce aproape jumătate dintre circurile glaciare din CR (45,4%) se găsesc în perimetrul acestor două masive. Celelalte masive prezintă valori mult mai reduse, astfel încât le putem clasifica, comparativ cu primele, ca fiind de mărime mică (50-75 km²) sau foarte mică (sub 25 km²).

Suprafața masivelor este distribuită inegal de la un versant la altul. Deoarece masivele prezintă creste principale cu desfășurare vest-est, s-au determinat suprafețele care le revin versanților de nord, respectiv, de sud. Singura excepție, dintre masivele analizate de noi, o

reprezintă munții Bucegi unde expunerea versanților principali se face către vest, respectiv, est. Nu este atât de importantă valoarea absolută care revine versanților principali, ci raportul dimensional care se stabilește între cei doi versanți principali (asimetria versanților, A_v ; tabel 5.5).

În funcție de valoarea acestui coeficient, rezultă mai multe categorii de masive. Cele mai multe dintre masivele glaciare prezintă o asimetrie nordică, suprafața versanților nordici fiind considerabil mai mare comparativ cea sudică ($A_v > 1.25$). Astfel, asimetria circurilor a fost favorizată și de supra-reprezentarea, din punct de vedere dimensional, a versanților nordici. Dacă adăugăm și faptul că acești versanți oferă și un grad de insolație mai scăzut, iar unii dintre ei s-au format pe capetele de strate, cu foarte multe trepte și polițe structurale (folosite ca suport material pentru surplusul de zăpadă), putem afirma că pe acești versanți au existat cele mai bune condiții de formare a ghețarilor de circ din CR. Cazurile extreme sunt reprezentate de munții Parâng și Godeanu, ai căror versanți nordici sunt de două ori și jumătate mai extinși față de cei sudici. Asimetria circurilor din Parâng găsește, și în acest caz, o explicație.

Asimetria sudică (versanți sudici mai mari decât cei nordici ($A_v < 0.80$)), este specifică masivelor glaciare cu populații mici de circuri. Există, însă, o singură excepție, și încă de mare anvergură: versantului sudic făgărășan îi revine 70% din suprafața totală, rezultând cea mai accentuată asimetrie dintre doi versanți principali expuși glaciației. Dimensiunea acestuia, precum și altitudinile mari specifice creștelor secundare sudice, au condus la apariția unei asimetrii inverse a circurilor. În schimb, munții Retezat au expus glaciației versanți aproximativ egali din punct de vedere dimensional, ceea ce a influențat asimetria glaciară moderată.

Lungimea creștei principale (L_{cr}) cu altitudini peste 1800 m duce la o distincție clară dintre munții Făgăraș și restul masivelor glaciare. Creasta principală a munților Făgăraș măsoară peste 63 km, adică aproximativ cât însumează munții Parâng și Godeanu. În ciuda acestei lungimi apreciabile, există o discontinuitate importantă în lungul acestei crește, respectiv, Curmătura Zârnei (1932 m), care împarte creasta principală în două: Făgărașul de Vest, care deține 78% din creasta principală și Făgărașul de Est, care deține numai 22% din creasta principală. Celelalte masive prezintă crește cu lungimi mai mici de 32 km. Unele dintre ele prezintă crește unitare, așa cum sunt masivele Rodna, Parâng, Lotru, Cindrel și Iezer, în timp ce altele sunt fragmentate de înșeuări joase, cu altitudini sub 1800 m (Țarcu, Șureanu, Latoriței, Godeanu).

Fragmentarea creștei principale a masivelor este un indicator morfografic foarte important pentru instalarea ghețarilor de circ. Valorile ridicate ale fragmentării descurajează semnificativ instalarea ghețarilor de circ. Cea mai fragmentată creastă principală este cea a munților Maramureșului, datorită "spargerii" acesteia de către afluenții de dreapta ai râului Vișeu (ex. Cișla, Vaser, Ruscova cu Repedeș). Din această cauză, glaciația de aici a fost una insulară, manifestându-se sub forma unor mici grupuri glaciare susținute de vârfuri izolate (Pop Ivan, Farcău-Mihailecu, Pietrosul Bardăului, Toroiaga, Jupania, Cearcănu).

Altitudinile maxime ale masivelor glaciare evidențiază patru grupuri altitudinale:

- ⇒ **grupul 2500** (masivele care depășesc 2500 m altitudine: Făgăraș, Parâng, Retezat și Bucegi),
- ⇒ **grupul 2300** (masivele care ating sau sunt aproape de această valoare: Rodna, Lotru, Cindrel, Godeanu, Țarcu),
- ⇒ **grupul 2050** (masivele care au altitudinea maximă în jurul acestei valori: Șureanu, Căpățâni, Călimani),
- ⇒ **grupul sub 2000** (restul masivelor glaciare).

Primele 3 grupuri sunt cele mai importante, deși, dintre acestea, grupul 2500 deține singur peste jumătate dintre circurile glaciare din Carpații Românești, și anume 351 (54%). Alitudinea, coroborată cu masivitatea, sunt elemente foarte importante în explicarea numărului și mărimii circurilor glaciare.

În final, pe baza ariilor și a altitudinilor a fost determinată masivitatea sau volumul masei montane situate deasupra limitei altitudinale de 1800 m (Msv). Valoarea maximă (1) a fost atribuită munților Făgăraș, deoarece acest masiv are cele mai mari valori ale mărimii și altitudinii dintre ariile montane analizate. În funcție de aceasta, au fost determinate valorile de masivitate pentru restul masivelor glaciare (tabel 5.5).

Fiind vorba, în fapt, de masivitatea impozantă (cu altitudinile cele mai mari), „grupul 2500” prezintă cele mai mari valori, deoarece masele montane se dezvoltă precum un organism viu (în sensul că dimensiunile areale au crescut odată cu cele verticale). Aceasta poate fi definită ca un tip aparte de alometrie montană. În afară de masivul Făgăraș, se mai evidențiază cu valori crescute două masive din „grupul 2300”, respectiv munții Godeanu și Rodna. Munții Godeanu, deși au altitudini mai mici decât masivul Rodnei, prezintă un volum de masă montană mai ridicat decât aceasta. În ciuda masivității pronunțate a masivului Bucegi, acesta nu deține decât 11 ghețari de circ. Descurajarea formării ghețarilor în acest areal montan a ținut de această dată de condițiile climatice specifice masivelor aflate în umbra ("în umbra ploilor", *rain shadow*, mai multe detalii în Whiteman, 2000) unor lanțuri cu masivitate foarte pronunțată, așa cum sunt munții Făgăraș. La polul opus se găsesc masive glaciare cu masivitate foarte scăzută (sub 0.1, sau chiar sub 0.05), ceea ce explică și prezența mult mai redusă a ghețarilor de circ în aceste arii (Cindrel, Latorița, Șureanu sau Căpățâanii).

Tabel 5.5. Mărimea și masivitatea ariilor glaciare din Carpații Românești (At - suprafața totală a masivului; An - suprafața versantului nordic; As - suprafața versantului sudic; H - altitudinea maximă din masiv; Lcr - lungimea crestei principale; Av - asimetria dimensională a versanților; Msv - masivitatea ariei montane)

Masivul	At (km ²)	An (km ²)	As (km ²)	H (m)	Lcr (km)	Av	Msv
Făgăraș	237.61	71.71	165.9	2544	63.69	0.43	1
Retezat	116.61	61.5	54.76	2508	28.02	1.12	0.45
Iezer	76.77	33.40	43.37	2470	27.76	0.77	0.31
Bucegi	67.91	23.94	43.97	2505	16.96	0.54	0.31
Parâng	78.53	57.03	21.5	2518	32.4	2.65	0.29
Godeanu	77.53	55.06	22.47	2291	32.91	2.45	0.20
Lotru	67.21	26.33	40.88	2242	23.27	0.64	0.17
Țarcu	62.18	34.55	27.63	2192	27.14	1.25	0.15
Rodna	48.12	29.3	18.82	2303	31.37	1.56	0.13
Cindrel	41.67	24.39	17.28	2243	20.14	1.41	0.11
Latoriței	26.54	15.05	11.49	2055	20.92	1.31	0.05
Șureanu	24.38	14.57	9.81	2059	15.57	1.49	0.04
Căpățâanii	21.75	9.81	11.94	2125	18.66	0.82	0.05
Total	946,81	456,64	489,82	-	358,81	-	3,26
Media	72,83	35,13	37,68	2311,92	27,60	1,26	0,25

În concluzie, cele 13 arii glaciare din tabelul 5.5 dețin cumulativ aproape 1000 km² de teren montan și creste cu o lungime totală de 359 km situate la altitudini mai mari de 1800 m. 51.73% din această suprafață are expoziție sudică, fapt care se datorează în bună măsură munților Făgăraș, ce dețin un versant sudic a cărui arie (aprox. 166 km²) depășește suprafața totală a oricărui alt masiv glaciare. Dacă se exclude din analiză masivul Făgăraș, situația devine favorabilă versantului nordic, cu o pondere de 54,33%. Această diferență relevă

importanța și magnitudinea reliefului glaciare din această arie montană, care cuprinde aproape 1/3 dintre circurile glaciare din CR.

5.7. Coeficientul de glaciație

Coeficientul de glaciație reprezintă un concept nou pe care îl introducem în studiul circurilor glaciare și exprimă o valoare rezultată prin cumularea mai multor variabile: aria, altitudinea, masivitatea, lungimea crestei principale, latitudinea și longitudinea. Aceste variabile cuantifică cele mai bune condițiile favorizante pentru formarea ghețarilor de circ din Carpații Românești. Ca un masiv montan din CR să prezinte un grad cât mai mare de susceptibilitate la glaciație, trebuia să îndeplinească următoarele condiții:

- a). să se fi găsit cu o suprafață (S) cât mai mare de teren deasupra liniei regionale a zăpezilor;
- b). să aibă altitudini maxime cât mai ridicate (ex. masivele care fac parte din grupul 2500);
- c). să aibă creasta principală cu altitudini cât mai ridicate, obligatoriu peste 1800 m, și să fie cât mai puțin fragmentată;
- d). să fie poziționat cât mai spre nord, în Carpații Orientali, sau cât mai spre vest, în Alpii Transilvaniei. Practic, cu cât o arie montană se află mai spre marginea vestică, cu atât profită mai bine de advecțiile de aer umed venite dinspre oceanul Atlantic sau Mediterana. În mod contrar, cu cât se află mai spre est în cadrul masei montane (*eastward*) cu atât ajung mai greu precipitațiile acolo (ex. munții Giumalău, Bistriței, Ceahlău, Ciucaș-Zăganu, Baiului, Bucegi, Leaota etc.).

Pe baza acestor factori a fost calculat *coeficientul de glaciație* (G). Formula de calcul este următoarea:

$$G = S + H + M + C + N + E,$$

unde: S - coeficientul de arie (valoarea de referință - Făgăraș), H - coeficientul de altitudine (valoarea de referință - Făgăraș), M - coeficientul de masivitate (valoarea de referință - Făgăraș), C - coeficientul de creastă (valoarea de referință - Făgăraș), N - coeficientul de latitudine (valoarea de referință - Rodna) și E - coeficientul de longitudine (valoarea de referință - Țarcu) (tab. 5.6).

Având în vedere faptul că masivul Făgăraș se detașează în cadrul ariilor montane glaciare din CR cu cea mai mare arie, altitudine, masivitate și lungime de creastă, s-a acordat valoarea 1 pentru coeficienții menționați în cazul acestuia. Rodna a primit valoarea 1 pentru dispunerea în latitudine, având poziția cea mai nordică (după excluderea munților Maramureșului, care reprezintă o arie montană fragmentată sub forma unor vârfuri glaciare izolate), iar munții Țarcu au primit valoarea de referință 1 pentru localizarea longitudinală, fiind situați la extremitatea vestică a AT (prin excluderea Bihariei și Muntelui Mic).

Analiza valorilor coeficientului de glaciație relevă 3 intervale de grade de susceptibilitate la glaciație (tabel 5.6): a). masive cu susceptibilitate mare ($G > 4$); b). medie ($G = 3 - 4$) și c). mică ($G < 3$). Zona cea mai susceptibilă la glaciație au fost munții Făgăraș ($G = 4,95$), care, cu excepția coeficienților de poziție, au primit valori maxime la coeficienții de calcul. În intervalul mediu se încadrează masivele din vestul Alpilor Transilvaniei (Parâng, Retezat, Godeanu, Țarcu), precum și munții Rodna. Masivele cu coeficient de glaciație mai mare decât 3, la care se adaugă și munții Lezer, însumează nu mai puțin de 571 de circuri glaciare (87% din total). Această analiză confirmă, o dată în plus, importanța celor 7 masive montane pentru instalarea ghețarilor de circ din timpul Pleistocenului în Carpații Românești.

Tabel 5.6. Indicele de glaciație al masivelor din Carpații Românești (cS - coeficientul de arie; cH - coeficientul de altitudine; cM - coeficientul de masivitate; cC - coeficientul de creastă; cN - coeficientul de latitudine; cE - coeficientul de longitudine; cG - coeficientul de glaciație)

Masivul	cS	cH	cM	cC	cN	cE	cG - coeficientul de glaciație
Făgăraș	1.00	1.00	1.00	1.00	0.55	0.4	4.95
Retezat	0.49	0.90	0.45	0.44	0.51	0.93	3.72
Godeanu	0.33	0.99	0.20	0.52	0.49	0.98	3.49
Parâng	0.33	0.99	0.29	0.51	0.5	0.72	3.34
Țarcu	0.26	0.86	0.15	0.43	0.51	1.00	3.20
Rodna	0.20	0.91	0.13	0.49	1.00	0.37	3.10
Lotru	0.28	0.88	0.17	0.37	0.54	0.66	2.90
Cindrel	0.18	0.88	0.11	0.32	0.55	0.67	2.70
Bucegi	0.29	0.98	0.31	0.27	0.51	0.19	2.56
Șureanu	0.10	0.81	0.04	0.24	0.55	0.75	2.50
Latoriței	0.11	0.81	0.05	0.33	0.51	0.69	2.49
Căpățanii	0.09	0.84	0.05	0.29	0.49	0.63	2.39

5.8. Gruparea circurilor glaciare

În cazul circurilor glaciare, mai ales al celor din CR, se manifestă o tendință marcată de grupare, fapt ce a condus fie la amalgamarea acestora (prin formarea de circuri complexe care dețin unul sau mai multe circuri interne), fie la formarea de entități glaciare distincte. În urma realizării hărților privind repartiția circurilor din Carpații Românești a fost evidențiată existența unor astfel de entități spațiale glaciare distincte. Principalele categorii de grupare a circurilor glaciare pe care le-am identificat în CR sunt: circul izolat, perechea de circuri, linia glaciară cu circuri, grupul glaciară cu circuri și aria glaciară cu circuri (populația de circuri).

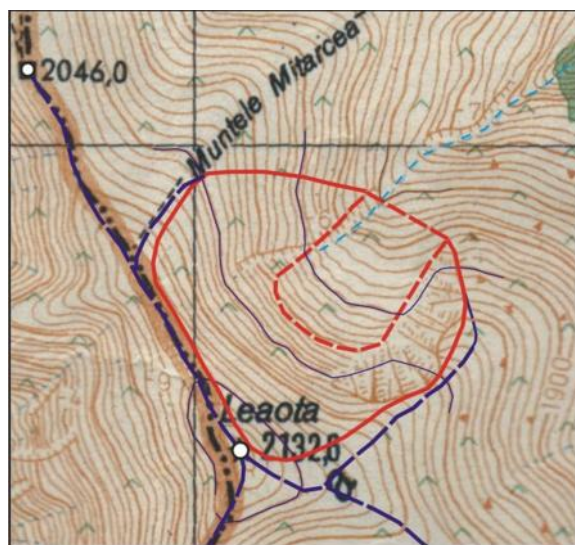


Figura 5.4. Un exemplu de circ izolat (cercul Mitracea - C113 din munții Leota).

Cercul izolat are funcția de holon al acestei clasificări spațiale a circurilor. Acesta este caracteristic pentru spațiile moderat sau parțial glaciare, în condițiile unui climat marginal glaciară, precum este cazul circurilor Gropșoara (Farcău, m-ții Maramureșului de Nord), Cearcănu (Cearcănu, munții Maramureșului de Sud) sau Mălaia (Siriu). Totodată, circul izolat

este caracteristic și pentru ariile de la marginea masivelor puternic sau moderat glaciare, dar situate la o anumită distanță, izolat, față de populația de circuri. Există câteva cazuri de circuri izolate, și sunt în general circuri slab dezvoltate sau cu statut incert, așa cum este cercul Mitarca din munții Leaota (Fig. 5.4).

Perechea de circuri este o entitate glaciară care cuprinde două circuri situate pe același versant, "braț la braț", sau pe versanți opuși, "spate în spate". Din păcate, nicăieri în CR nu se regăsește vreo pereche de circuri izolate, cu circuri situate spate în spate (cu excepția celor două circuri slab dezvoltate din Muntele Mic), fapt ce demonstrează, încă odată, asimetria glaciară specifică ghețarilor de circ, mai ales acolo unde glaciația nu a avut intensitate mare. Cea mai comună pereche este cea de tip „braț la braț” cuprinzând circuri situate pe același versant, adăpostit, în care unul dintre circuri este de obârșie, iar celălalt de versant. Perechea de circuri este una din cele mai frecvent întâlnite entități glaciare din CR, după grupul glaciare.

Prezența a cel puțin trei circuri glaciare pe același versant, de tip „braț la braț”, și la distanțe foarte reduse între ele (cazul cel mai frecvent) formează o *linie glaciară*. Liniile glaciare reprezintă un exemplu tipic de asimetrie glaciară. Ele sunt caracteristice mai ales ariilor slab glaciare, dar și ariilor glaciare clasice. Cele mai tipice linii glaciare, în poziție izolată (individualizate prin lipsa altor circuri din apropiere), sunt cele din Pop Ivan sau Mica Mare din munții Maramureșului de Nord.

Grupul glaciare presupune existența a cel puțin trei circuri glaciare, dintre care unul să fie situat pe un versant opus față de celelalte. În poziție izolată, există un singur astfel de grup glaciare, cel din masivul Farcău-Mihailecu din munții Maramureșului de Nord. Însă în cadrul ariilor glaciare este cea mai comună formă de grupare a circurilor. Grupurile prezentate de noi în cadrul bazei de date reprezintă astfel de entități, cu precizarea că au fost incluse și situațiile în care circurile sunt grupate pe un singur versant. Această excepție a fost făcută doar pentru baza de date, deoarece în realitate ele reprezintă linii glaciare.

Cea mai utilizată formă de grupare a circurilor din Carpații Românești până la studiul de față a fost cea realizată după bazinul hidrografic din care fac parte unul sau mai multe circuri. Considerăm, însă, că grupul glaciare reprezintă o formă de asociere spațială a circurilor mult mai aproape de realitate, care ține cont de corpul muntelui (hornul montan) și nu de obârșia de vale sau bazinul hidrografic (Tab. 5.3). Acestea din urmă constituie, în definitiv, un vid de masă montană, în timp ce hornul montan (un vârf ce a fost glaciare de unul sau mai mulți ghețari de circ) reprezintă opusul, o acumulare de masă montană. În urma observațiilor făcute am constatat că gruparea circurilor este mult mai bine explicată de prezența vârfurilor și crestelor, de masivitate și altitudinile ridicate, decât de bazinele hidrografice suprapuse pe flancurile munților.

În general, gruparea circurilor din perimetrul unui bazin hidrografic a fost definită ca un *complex de circuri*, care cuprinde cel puțin trei circuri glaciare situate în cadrul aceleiași obârșii, situate la distanțe mici unele față de altele, distribuite în evantai de-a lungul versantului de obârșie. În mod obișnuit, unul dintre circuri este de obârșie, iar unul sau mai multe sunt situate pe versanți.

Prezența mai multor entități glaciare de genul celor prezentate până acum într-un anumit spațiu, așa cum este cel al unui masiv montan, a dus la formarea unei *arii glaciare*. Aceasta reprezintă o asociere a mai mult de 40 de circuri, formată din mai multe grupuri glaciare, linii, perechi sau circuri izolate.

În Carpații Românești există șapte astfel de arii glaciare, respectiv, în Rodna, Iezer, Făgăraș, Parâng, Retezat, Godeanu și Țarcu. La rândul lor, ariile glaciare pot fi de dimensiuni medii (în jur de 50 de circuri: Rodna, Iezer), mari (între 50 și 100 de circuri: Retezat, Godeanu, Țarcu și Parâng) și foarte mari (Făgăraș, cu 210 circuri). Din punct de vedere statistic, noi am

denumit acest arii ca fiind *populații de circuri*. Unele sunt de dimensiuni impresionante, permițând corelații și comparații în cadrul aceleiași arii (Fig. 5.5).

În sfârșit, *regiunea glaciară* reprezintă totalitatea ariilor și grupurilor glaciare dintr-o ramură montană care să aibă continuitate fără să țină cont de limitele lanțurilor carpatice, așa după cum le cunoaștem. Astfel, cele 658 de circuri glaciare din CR sunt repartizate la două regiuni importante: circurile sudice sau transilvănene și circurile nordice.

Circurile sudice (567) sunt cele mai numeroase și se desfășoară între valea Buzăului (cuprinzând, deci, și circuitul izolat Mălaia) și cea a Timișului, însă cele mai multe se găsesc în perimetrul Alpilor Transilvaniei (554), și doar 13 în Carpații Orientali. Circurile nordice sunt în număr de 87 și sunt localizate la nord de valea Mureșului din CO și până la granița de nord a României, incluzând și circurile de pe teritoriul ucrainean din Pop Ivan și Mica Mare, tangente la frontiera montană de nord. În realitate, aria nordică este mult mai extinsă, cuprinzând și circurile din munții Cernahora și Svidoveț, adică în jur de 50-60 circuri. Cu o poziție izolată, circurile din Biharia (4), sunt dispuse sub forma unei linii glaciare, și nu reprezintă o regiune glaciară propriu-zisă.

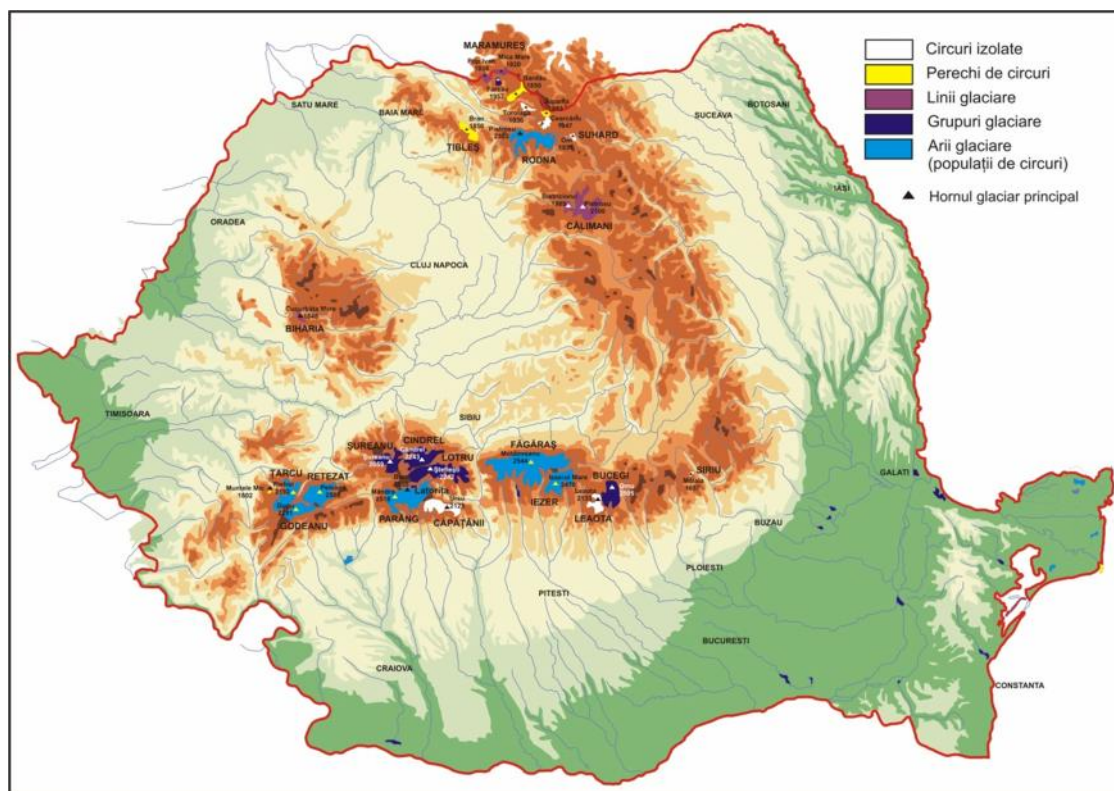


Figura 5.5. Gruparea spațială a circurilor glaciare din Carpații Românești.

Am recurs la această împărțire în raport cu cele două regiuni pentru a avea o imagine mai clară privind distribuția circurilor glaciare din CR, care indică o glaciație bipolară, nordică și sudică, a cărei extindere nu ține cont de regionarea geografică a Carpaților Românești.

Dintre entitățile glaciare identificate în cadrul CR, *grupul glaciară* reprezintă cel mai comun mod de grupare a circurilor, motiv pentru care și noi am optat pentru această grupare în analiza circurilor, rezultând un număr de 89 grupuri glaciare carpatice tipice, care dețin mai mult de 3 circuri glaciare dispuse simetric sau asimetric (tab. 5.2). În final, sub denumire

generică de *sit glaciatic*, putem include și cele 17 cazuri de circuri izolate și perechi de circuri, rezultând un număr total de 106 de entități glaciare de ordin 1 în CR.

În Carpații Românești, circurile glaciare sunt repartizate în 21 de masive glaciare, situate în cele trei ramuri carpatice principale. Însă numărul circurilor diferă substanțial de la un masiv la altul, valoarea absolută a acestora variind de la 1 la 210. În funcție de numărul total de circuri aferente fiecărui masiv, rezultă trei tipuri de arii montane de rang diferit:

Rangul I cuprinde masivele cu numărul cel mai mare de circuri. Din această categorie fac parte ariile montane care dețin peste 40 de circuri glaciare: Rodna, Iezer, Făgăraș, Parâng, Retezat, Godeanu și Țarcu. Acestea le revin 87% dintre circurile glaciare carpatice și 93,5 % dintre circurile cele mai bine dezvoltate (clasice). Practic, aceste masive, considerate ca un întreg, redau cel mai bine imaginea glaciației din Carpații Românești. Din punct de vedere altitudinal, acestea prezintă și cele mai mari altitudini din Carpați (grupurile 2500 și 2300).

Rangul II cuprinde ariile montane care cuprind între 8 și 28 de circuri glaciare. Din această categorie fac parte munții Maramureș, Călimani, Bucegi, Lotru și Cindrel. Dintre acestea se evidențiază munții Maramureșului, cu 28 de circuri repartizate la 7 grupuri montane separate (masivele maramureșene glaciare). Masivele de rang II dețin 10,5 % dintre circurile glaciare și 10,6% dintre circurile bine definite (*well-defined*).

Rangul III cuprinde ariile montane care au mai puțin de 5 circuri glaciare, așa cum sunt munții Țibleș, Suhard, Siriu, Leaota, Căpățâni, Șureanu, Muntele Mic și Biharia. Dintre acestea, se evidențiază munții Șureanu. Dintre cele 8 masive de rangul III, 4 dețin câte un singur circ glaciatic. Masivele de rang III dețin doar 2,5% dintre circurile glaciare carpatice.

6. Altitudinea circurilor glaciare

Deși forma și dezvoltarea circurilor a fost studiată în ultimele decenii (tab. 5.1), până în prezent nu există o analiză globală privind altitudinea circurilor glaciare. Studiile de morfologie glaciară au demonstrat însă relația strânsă dintre altitudinea podelelor de circ și linia de echilibru a ghețarilor, LEG (*aquilibrium line altitude*, ELA) (ex. Flint, 1957; Porter, 1989). În realitate, măsurarea altitudinii podelelor de circ reprezintă, în sine, o metodă de estimare a plaeo-liniei de echilibru a ghețarilor (Meierding, 1982; Benn & Lehmkuhl, 2000; Porter, 1989). Mai mult, unii cercetători au confirmat faptul că podelele de circ s-au format de regulă într-o arie situată aproape de altitudinea medie a liniei de echilibru a ghețarilor din timpul Pleistocenului (*QU-ELA*), sugerând un efect cumulativ al eroziunii glaciare și non-glaciare (o glisare pe verticală a celor două în timp) pe parcursul mai multor faze glaciare (Mitchell & Montgomery, 2006; Foster et al., 2008; Andres et al., 2010).

Prin urmare, altitudinea circurilor glaciare este foarte importantă în geomorfologie, climatologie și paleoclimatologie, întrucât ea este cea care controlează mezoclimatul palierului altitudinal luat în analiză (etajarea verticală). Circurile glaciare sunt, prin excelență, forme de relief de altitudine a căror geneză este rezultatul activității ghețarilor de circ care s-au dezvoltat în timpul Pleistocenului inferior în CR, deasupra liniei regionale a zăpezilor permanente, LZP (*snowline*).

Nu peste tot această linie climatică (LZP) a coborât suficient de mult astfel încât să se formeze condiții favorabile pentru dezvoltarea ghețarilor, doar anumite masive beneficiind de astfel de condiții, iar factorul de control principal care a determinat glaciarea lor a fost altitudinea. Spre exemplu, în munții Maramureș unele vârfuri cu altitudini maxime de doar 1713 sau 1775 m au deținut ghețari, în timp ce în munții Făgăraș a fost adeseori necesar ca vârfurile să depășească 2130 m, sau chiar 2200 m, pentru a găzdui ghețari. Acest lucru a fost dictat de poziția LZP, mai coborâtă în nord și mai ridicată în sud. Au existat, însă, și vârfuri în munții Maramureș cu altitudini 1811m care nu au susținut ghețari, așa cum și în Făgăraș există zone cu altitudini maxime ce ating 2258 m lipsite de ghețari de circ.

În astfel de situații, pe lângă factorul altitudinal, au intervenit și alți factori de control, de natură locală, care nu s-au supus întru-totul condițiilor climatice regionale sau liniei zăpezilor permanente. Printre aceștia se numără expoziția, ambianța topografică, condițiile topoclimatice, relieful pre-existent, morfografia vârfului montan, gradul de adăpost, gradul de umbrire, poziția vârfului în cadrul arie montane, conformația crestei montane, existența suprafețelor favorizante (platouri de pe care să poate fi spulberată zăpada în amplasamentul viitorului circ) etc. Astfel, unele dintre circuri au găsit condiții favorabile de formare și sub linia regională a zăpezilor permanente, într-un climat parțial sau marginal glaciare.

Pentru definirea altitudinală a circurilor din Carpații Românești au fost determinate 6 variabile morfometrice (tab. 6.1). Circurile carpatice prezintă o valoare medie a altitudinilor minime ale podelelor (*minpod*) de 1900 m, majoritatea dintre ele având buza situată între 1725 și 2075 m (Fig. 6.1). Circurile sunt repartizate pe verticală după un ecart altitudinal destul de larg, cuprins între 1310 și 2300 m, care se datorează atât manifestării mai multor faze glaciare (cu linii ale zăpezilor cu altitudini diferite), cât și formării ghețarilor de circ în condiții diferite de la un lanț montan la altul, sau de la un masiv la altul. Chiar și în cadrul aceluiași masiv apar diferențe notabile privind altitudinea circurilor componente.

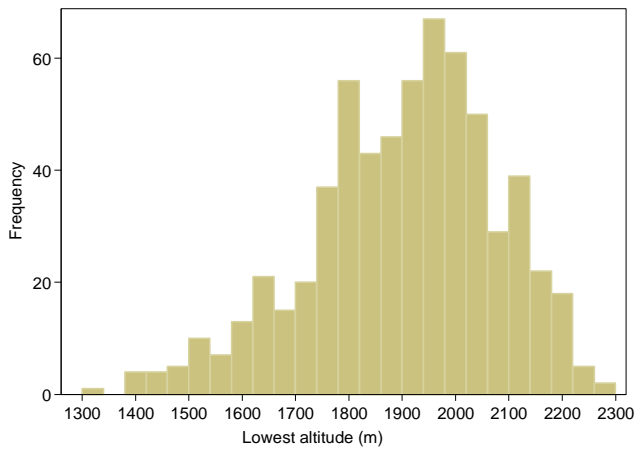


Figura 6.1. Frecvența altitudinilor minime (*minpod*, *lowest*) ale circurilor glaciare din Carpații Românești.

Centrul de greutate al ghețarilor de circ (*medpod*) a fost situat cu câțiva metri mai sus față de buza circurilor, rezultând o medie a circurilor carpatice de 1940 m. Podelele de circ urcă în altitudine până la valoarea medie (*maxpod*) de 2010 m. Conform datelor morfometrice, ghețarii de circ din CR au găsit condiții de formare începând cu altitudini de cel puțin 1530 m (cazul Biharia). În privința altitudinilor maxime (*maxcum*) sub care s-au format circurile, există cele mai mari diferențe regionale. Limita superioară a muchiei circurilor este tangentă la altitudinea cu valoarea medie (*maxspat*) de 2210 m, oscilând între 1500 și 2544 m (tabel 6.1).

Tabel 6.1. Variabilele altitudinale ale circurilor din Carpații Românești. Statistica descriptivă (ds - deviația standard)

Variabila	max	p95	p75	p50	Media	p25	p5	min	sd	skew
minpod (m)	2300	2150	2020	1900	1899	1790	1580	1310	175	-0.47
medpod (m)	2360	2190	2065	1960	1938	1830	1622	1330	173	-0.51
maxpod (m)	2400	2250	2140	2020	2012	1900	1700	1450	172	-0.53
maxspat (m)	2544	2500	2380	2240	2217	2100	1860	1500	190	-0.49
maxcum (m)	2544	2505	2395	2259	2242	2126	1905	1530	185	-0.60
medspat (m)	2544	2420	2305	2180	2171	2060	1810	1500	180	-0.60

Între cele trei lanțuri montane apar diferențe semnificative privind altitudinea circurilor. Din acest punct de vedere, într-o poziție intermediară se găsesc circurile din CO, a căror altitudine medie a podelelor (*minpod*) este de aprox. 1700 m (tabel 6.2). Lista circurilor din CO cuprinde tipologii diferite de circuri formate în situații variate: circuri cu statut incert (Siriu, Suhard), circuri complexe și interne (tip *inner* sau *outer*), circuri rezultate în urma unei singure faze glaciare (munții Călimani) sau a mai multora (Rodna), circuri formate pe strate de fliș (Maramureș). În CO circurile se găsesc în intervalul altitudinal 1400 - 2250 m, cele mai multe fiind situate în palierul 1620 - 1900 m. Acestea sunt mai înalte decât cele din Biharia, însă mult mai joase față de cele din AT.

Circurile din CO s-au dezvoltat, în general, pe fațada estică a munților, de regulă peste tot unde altitudinea maximă depășește 1800 m. Spre exemplu, cel mai nordic grup glaciare din CR, Mica Mare, apare sub cea mai joasă culme, cu altitudinea maximă de 1820 m, unul dintre aceste circuri formându-se chiar sub o culme cu altitudinea maximă de 1713 m. Astfel,

culmea Mica Mare constituie cea mai joasă arie montană sub care s-au individualizat circuri cu statut bine definit, și origine glaciară certă.

Table 6.2. Variabilele altitudinale ale circurilor din Carpații Orientali. Statistica descriptivă

Variabila	Media	ds	Val. min.	Val. max.
minpod (m)	1704	188	1400	2250
medpod (m)	1748	190	1400	2320
maxpod (m)	1825	193	1490	2400
medspat (m)	1993	202	1630	2500
maxspat (m)	2040	207	1650	2505
maxcum (m)	2060	205	1657	2505

În cadrul CO, atât altitudinea minimă (*minpod*), cât și cea maximă, sub care s-au format circurile (*maxcum*) variază foarte mult de la o arie montană la alta (tab. 6.3 și 6.4). Cele mai joase circuri apar în munții Siriu, Țibleș și Maramureș. Acestea din urmă sunt arii montane ale căror altitudini maxime nu depășesc 2000 m, chiar dacă, cu excepția Sîrului, sunt cele mai nordice arii glaciare din CR. Într-o poziție intermediară se găsesc circurile din masivul Rodnei, cu altitudini medii de aprox. 1700 m. Altitudinea mai mare a circurilor din Rodna se datorează altitudinilor maxime ale acestei arii, precum și manifestării mai multor faze glaciare (Sârcu, 1978). Circuri cu altitudini medii sensibil mai mari decât în masivul Rodna se găsesc în Călimani. Acestea aparțin ultimei generații de ghețari de circ din CO, respectiv ultimei faze glaciare. Cele mai înalte circuri se găsesc la extremitatea sudică a lanțului, în Bucegi și Leaota, care din acest punct de vedere se aliniaza valorilor specifice AT.

Table 6.3. Altitudinea minimă a circurilor (*minpod*) din Carpații Orientali

<i>minpod</i>	Media	se (media)	ds	skewness	p5	p50	p95
Siriu	1400.0	.	.	.	1400	1400	1400
Țibleș	1515.0	35.0	49.5	0	1480	1515	1550
Maramureș	1564.9	16.2	85.5	-0.236	1416	1577.5	1670
Rodna	1694.8	16.4	113.8	-0.465	1490	1705	1850
Suhard	1750.0	.	.	.	1750	1750	1750
Călimani	1754.6	9.0	25.6	1.057	1732	1742.5	1800
Leaota	1810.0	.	.	.	1810	1810	1810
Bucegi	2111.4	33.8	112.2	-0.415	1930	2125	2250

Table 6.4. Altitudinea maximă sub care s-au format circurile (*maxcum*) din Carpații Orientali

<i>maxcum</i>	Media	se (media)	ds	skewness	p5	p50	p95
Siriu	1657.0	.	.	.	1657	1657	1657
Țibleș	1844.5	5.5	7.8	0	1839	1844.5	1850
Maramureș	1863.4	12.7	67.3	-0.458	1752	1861.15	1943
Suhard	1931.0	.	.	.	1931	1931	1931
Călimani	2012.3	27.5	77.7	-0.317	1896	2021	2100
Rodna	2109.6	18.2	125.9	-0.368	1939	2100	2303
Leaota	2133.0	.	.	.	2133	2133	2133
Bucegi	2456.6	14.6	48.4	-0.9	2350	2470	2505

În ansamblu, altitudinea circurilor din CO scade odată cu latitudinea, iar cu cât aria montană este situată mai la est, în interiorul masei montane, altitudinea crește. Totodată, diferențele mari dintre valorile altitudinale sugerează existența mai multor generații de circuri.

Circurile din AT sunt cele mai înalte dintre circurile carpatice, cu o altitudine medie a podelelor (*minpod*) de peste 1935 m (230 m mai mult decât în CO). Sunt repartizate între 1450 și 2300 m altitudine, însă majoritatea (70%) sunt distribuite în palierul altitudinal 1800 - 2100 m. Circurile sunt prezente în toate masivele importante din AT, la care se adaugă și Muntele Mic. Ghețarii de circ au avut cele mai bune condiții de dezvoltare numai acolo unde altitudinea maximă a fost de cel puțin 1860 m, însă media altitudinilor maxime (*maxcum*) sub care apar circurile transilvănene este de 2275 m (tabel 6.5). În AT există circuri care au buza situată la altitudini similare cu cele mai înalte vârfuri din masivul Rodnei (tabel 6.6). De asemenea, distribuția pe verticală a circurilor se face în cadrul celui mai larg ecart altitudinal, de peste 800 m.

Tabel 6.5. Variabilele altitudinale ale circurilor din Alpii Transilvaniei. Statistica descriptivă

Variabila	Media	ds	Val. min.	Val. max.
minpod (m)	1935	143	1450	2300
medpod (m)	1973	142	1470	2360
maxpod (m)	2045	142	1510	2400
medspat (m)	2202	151	1620	2544
maxspat (m)	2246	166	1680	2544
maxcum (m)	2274	157	1745	2544

Tabel 6.6. Altitudinea minimă a circurilor (*minpod*) din Alpii Transilvaniei și Biharia

<i>minpod</i>	Media	se (media)	ds	skewness	p5	p50	p95
Biharia	1415.0	61.2	122.338	0.848	1310	1380	1590
Muntele Mic	1500.0	0.0	0	.	1500	1500	1500
Șureanu	1720.0	40.5	90.554	0.332	1620	1730	1850
Latorița	1797.5	19.3	38.622	0.579	1760	1790	1850
Țarcu	1813.7	12.6	97.528	-0.676	1620	1845	1945
Godeanu	1834.2	13.6	114.501	-0.333	1630	1850	1990
Căpățâanii	1840.0	.	.	.	1840	1840	1840
Lotru	1842.7	25.2	83.677	-0.171	1700	1880	1970
Cindrel	1862.5	32.4	91.613	-0.337	1700	1880	2000
Parâng	1948.9	12.5	90.464	0.164	1780	1940	2130
Iezer	1985.9	16.1	103.392	-0.427	1800	2020	2110
Retezat	1987.6	14.2	134.346	-0.449	1740	2000	2170
Făgăraș	1988.2	9.4	136.404	-0.604	1750	2000	2200

Altitudinea circurilor din AT a depins de altitudinile maxime și de poziția longitudinală a ariilor montane în cadrul acestui lanț carpatic. Cele mai înalte circuri se găsesc în grupul altitudinal 2500 sau spre extremitatea estică a lanțului. Cele mai multe circuri din AT s-au format doar acolo unde altitudinile maxime au depășit cel puțin 2000 m (în Șureanu), 2100 m (în Godeanu, Lotru-Cindrel) sau peste 2300 m (în Făgăraș, Iezer, Retezat sau Parâng) (tabel 6.7).

Cele patru circuri din Biharia se găsesc la altitudinea medie de peste 1415 m, acolo unde altitudinile maxime sunt cuprinse între 1530 m și 1848 m, în lungul culmii Piatra Grăitoare.

Sunt cele mai vestice circuri, și totodată cel mai jos grup glaciare din CR. Aceste superlative sunt rezultatul unui cumul de factori, printre care poziția de baraj orografic de prim rang pe care o au munții Apuseni în cadrul teritoriului românesc, desfășurarea de la nord la sud a culmii sub care apar circurile și altitudinile mici specifice acestui lanț montan.

Tabel 6.7. Altitudinea maximă sub care s-au format circurile (*maxcum*) din Alpii Transilvaniei și Biharia

maxcum	Media	se (media)	ds	skewness	p5	p50	p95
Biharia	1647.3	71.7	143.381	0.759	1530	1605.5	1848
Muntele Mic	1768.0	23.0	32.527	0	1745	1768	1791
Șureanu	2033.0	15.4	34.402	-0.43	1991	2056	2059
Latorița	2053.0	1.4	2.828	-0.816	2049	2054	2055
Țarcu	2092.0	10.9	84.576	-0.703	1925	2094	2192
Căpățanii	2125.0	.	.	.	2125	2125	2125
Godeanu	2152.5	11.9	100.069	-1.02	1915	2161	2291
Lotru	2156.2	26.1	86.489	-0.864	1990	2202	2242
Cindrel	2157.6	29.2	82.53	-0.255	2045	2155.5	2243
Parâng	2280.7	18.9	136.233	0.26	2100	2301	2518
Retezat	2316.0	15.3	144.617	-0.79	2050	2342	2504
Iezer	2332.1	13.7	87.612	-0.409	2175	2335	2470
Făgăraș	2362.1	8.2	119.403	-1.009	2160	2391	2535

Circurile din Munții Apuseni s-au format, ca și în CO, pe fațada estică a acestora, în aria cu cele mai mari altitudini. Altitudinea, ca și ambianța topografică a circurilor din Biharia, prezintă similitudini cu cele maramureșene sau cu cercul Mălaia din Siriu. Dacă circurile din Biharia și cele din Maramureș fac parte din aceeași generație, atunci altitudinea circurilor a crescut cu peste 140 m dinspre Biharia (1415 m) spre Maramureș (1555 m), pe o distanță în linie dreaptă, de aprox. 140 km (1m/km). Totodată, sunt circurile care au fost cel mai puțin pretențioase privind altitudinile maxime sub care s-au format (media *maxcum* = 1647), ele apărând sub cumpene de apă cu cel puțin 200 m mai joase față de media munților Maramureșului (*maxcum*=1863).

Dintre variabilele altitudinale, cea minimă a podelei (*minpod*) arată limita altitudinală pornind de la care au existat condiții de formare a ghețarilor de circ. Deseori, aceste praguri altitudinale au fost interpretate ca fiind datorate influențelor structurale sau litologice. În schimb, noi considerăm că formarea podelelor de circ s-a datorat condițiilor macro- și mezoclimatice, prin intersecția liniei zăpezilor cu masa montană carpatică, asemeni unei curbe de nivel "climatice". Desigur, acesta reprezintă modelul ideal pentru desenarea buzelor de circ, pentru că, în realitate, a intervenit un cumul de factori, printre care și cei geologici. Ulterior, mărimea unui ghețar de circ, ca și transformarea lui în ghețar de vale dincolo de limita podelei a fost controlată exclusiv de factorii climatici.

În CR, buza circurilor, definită ca o ruptură de pantă datorată eroziunii ghețarilor de circ, este o realitate, mai ales pentru altitudinile cuprinse între 1600 și 2200 m. Acest palier altitudinal cuprinde buzele a peste 90% dintre circurile carpatice, însă intervalul cu cea mai mare frecvență a acestora este cel cuprins între 1800 și 2000 m. Având în vedere faptul că amplitudinea medie a valorilor altitudinale ale circurilor din CR este de cca. 270 m, iar peste 90% dintre circuri se găsesc într-un interval altitudinal de peste 600 m pe verticală (1600 - 2200 m), este cea mai clară dovadă că avem de-a face cu generații diferite de circuri, respectiv, cu generații multiple de ghețari.

Cel mai glaciare palier altitudinal din CR a fost cel cuprins între 1790 - 2020 m, care deține peste jumătate din dintre circurile carpatice (tabel 6.8). Restul circurilor sunt situate fie mai

jos de 1790 m (1570 - 1790 m: 20%; 1310 - 1570 m: 5%), fie mai sus de 2020 m (2020 - 2160 m: 20%; 2160 - 2300 m: 5%). Prin comparație, cele mai multe circuri din Pirineii Centrali sunt situate în intervalul 2200 - 2600 m, deci cu 400 m mai sus față de cele din CR (García-Ruiz et al., 2000). Cele 432 de circuri din Alpii Maritimi sunt distribuite în palierul altitudinal cuprins între 2235 și 2744 m, altitudinile extreme fiind 1537 și, respectiv, 3285 m (Federici și Spagnolo, 2004), adică, în medie, cu aprox. 600 m mai sus decât cele carpatice. Remarcăm, însă, variabilitatea altitudinală extremă de peste 1700 m, dublă ca valoare comparativ cu CR.

Am identificat, în schimb, asemănări morfometrice cu circurile din Tatra (Slovacia și Polonia). Astfel, în Tatra mai mult de jumătate dintre circuri (116 circuri) sunt cuprinse în palierul altitudinal 1815 - 2069 m (62 circuri) (Křížek & Mida, 2013). Din acest punct de vedere, există o asemănare evidentă cu situația altitudinală a circurilor din CR, care s-au dezvoltat cu precădere în intervalul 1790 - 2020 m, deci, cu 35 - 50 m mai jos față de cele din munții Tatra, aceasta reprezentând cea mai bună paralelă sub acest aspect.

Table 6.8. Frecvența altitudinilor minime (*minpod*) a circurilor glaciare din Carpații Românești

minpod	Număr circuri	Frecvența relativă, %	Frecvența cumulată, %
< 1600	47	7.12	7.11
1600 - 1800	152	23.09	30.2
1800 - 2000	276	41.95	72.15
2000 - 2200	176	26.78	98.93
> 2200	7	1.07	100

Analiza frecvenței altitudinilor modale (*medpod*) ale podelelor de circ (în zona modală fiind situat centrul de greutate al ghețarilor de circ) întărește ideea conform căreia ghețarii de circ s-au “simțit” cel mai bine în palierul altitudinal 1800 - 2200 m al CR. Aceste altitudini au fost cele mai favorabile pentru formarea circurilor glaciare, deși apar unele diferențe regionale.

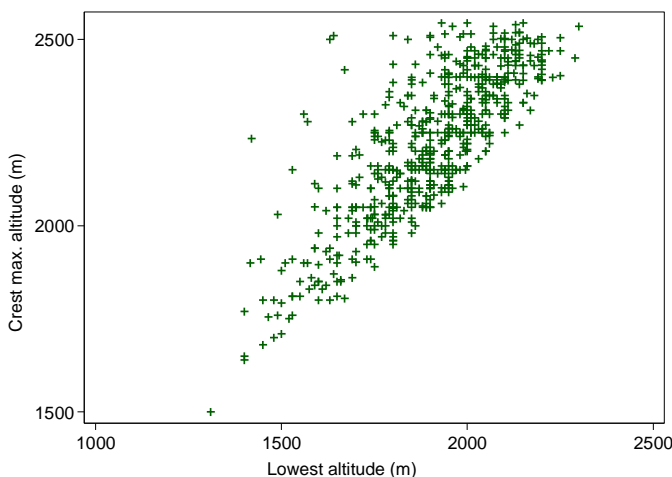


Figura 6.2. Corelația dintre altitudinea circurilor (*minpod*, *lowest*) și altitudinea maximă a creștelor montane (*maxcum*).

Una dintre preocupările noastre în ceea ce privește glaciația din CR a vizat repartitia circurilor în funcție de altitudinile maxime ale ariilor montane. În conformitate cu analiza noastră, circurile s-au dezvoltat acolo unde altitudinile maxime au fost cele mai ridicate, cuprinse între 1530 și 2544 m altitudine. Astfel, altitudinea circurilor din CR a depins cel mai

mult de altitudinile maxime ale masivelor montane, între cele două variabile existând o corelație foarte puternică (Fig. 6.2).

Frecvența circurilor în ariile montane cu altitudini maxime sub 1800 m este foarte redusă (2%), iar circurile formate sunt slab dezvoltate sau cu statut incert. Doar în munții Biharia se găsesc două circuri (cu statut incert) într-o arie unde cumpăna de apă are doar 1530 - 1560 m, însă cu cea mai vestică poziție din lanțul carpatic românesc. Palierul vârfurilor cu altitudini cuprinse între 1600 și 1800 m este caracteristic pentru CO (Maramureș, Siriu, Rodna), Biharia și Muntele Mic. În cadrul acestui grup (1600 - 1800 m), cu excepția Sirlui, circurile se găsesc situate pe versanții estici ai munților. Următorul grup cu altitudini ale vârfurilor cuprinse între 1800 și 2000 m este tipic pentru CO (Maramureș, Țibleș, Rodna, Suhard, Călimani) și vestul AT (Țarcu, Godeanu).

Acolo unde altitudinile au depășit 1800 m, în CO, și 2000 m, în Alpii Transilvaniei, au existat cele mai bune condiții de formare a ghețarilor de circ. Vârfurile cu altitudini cuprinse între 2000 și 2100 m deține 31% dintre circuri și sunt caracteristice pentru AT, mai ales partea de vest și centrală a acestora, dar și pentru munții Rodna și Călimani. La altitudini maxime de peste 2200 m, circurile s-au dezvoltat doar în AT și Rodna. Circurile tangente la altitudini de peste 2400 m sunt caracteristice doar pentru cele mai glaciare masive din CR: Făgăraș, Parâng și Retezat (tabel 6.9).

Tabel 6.9. Frecvența altitudinii maxime a bazinelor (maxcum) din care fac parte circurile din Carpații Românești

Grupul altitudinal	Număr circuri	Frecvența relativă, %	Frecvența cumulată, %
< 1600	2	0.30	0.30
1600 - 1800	12	1.82	2.13
1800 - 2000	56	8.51	10.64
2000 - 2200	201	30.55	41.19
2200 - 2400	244	37.08	78.27
> 2400	143	21.73	100

Analiza selectivă a ariilor glaciare din CO cu altitudini maxime de peste 1800 m, și a celor din AT cu altitudini maxime de peste 2000 m relevă existența unui prag altitudinal de 200 m între circurile orientale și cele transilvănene. Acesta se manifestă în cazul majorității variabilelor altitudinale. Gruparea circurilor în altitudine a circurilor, însă, este mai evidentă în AT ($ds = 157$) comparativ cu CO, pentru că există diferențe mari de altitudine mai ales între cele două arii glaciare importante de aici, Rodna și Maramureș (tabel 6.10).

Tabel 6.10. Altitudinea maximă a bazinelor din care fac parte circurile (*maxcum*). Analiza descriptivă. (CR - Carpații Românești, AT - Alpii Transilvaniei; CO - Carpații Orientali, ds - deviația standard)

Aria montană	Număr	Media	ds	Val. min.	Val. max.
CR	658	2238	187	1530	2544
AT	554	2274	157	1745	2544
CO	100	2060	205	1657	2505
AT, > 2000	531	2289	140	2000	2544
CO, > 1800	92	2086	191	1816	2505

În ceea ce privește expoziția versanților, apar diferențe altitudinale între circurile situate pe versanții principali (nord și sud). Deși acestea nu sunt remarcabile, circurile nordice sunt situate mai jos cu aprox. 70 m, în medie (*minpod*: 1870 m - circurile nordice; 1941 m - circurile sudice), față de cele cu expoziție sudică. De asemenea, valorile deviației standard

arată că, la nivelul celor doi versanți principali, circurile prezintă grade diferite de dispersie pe verticală. Astfel, circurile sudice, mai joase, sunt mai grupate altitudinal ($ds = 158$) față de cele nordice ($ds = 175$) (tab. 11 și 12). Se pare că pe versanții nordici ghețarii de circ au găsit posibilități altitudinale variate de formare, cel mai probabil, datorită formelor pre-existente de relief, dar și microclimatelor. Pe de altă parte, este evident că versanții sudici au fost mai restrictivi pentru formarea ghețarilor de circ, mai ales acolo unde fragmentarea reliefului a fost mai redusă (așa cum este cazul munților Parâng).

Spre exemplu, circurile sudice din munții Parâng prezintă un grad de dispersie altitudinală mult mai mic ($ds = 56$) față de aceeași categorie de circuri din Făgăraș ($ds = 106$). Dacă circurile sudice din munții Parâng încep să se dezvolte abia de la altitudinea de 1850 m, cele sud-făgărășene apar începând cu altitudinea de 1500 m. Diferența dintre cele două masive apare ca urmare a aspectului diferit al versanților. Versanții de tip „planeză”, cum au fost cei din sudul munților Parâng, au fost mai expuși deflației nivale, descurajând construcțiile nivale care să ducă la formarea ghețarilor de circ.

Tabel 6.11. Variabilele altitudinale ale circurilor nordice din Carpații Românești

Circuri nordice	Media	ds	Val. min.	Val. max.
minpod (m)	1870	175	1400	2250
medpod (m)	1910	172	1445	2320
maxpod (m)	1985	172	1510	2400
medspat (m)	2152	178	1620	2500
maxspat (m)	2198	189	1680	2535
maxcum (m)	2221	183	1713	2540

Tabel 6.12. Variabilele altitudinale ale circurilor sudice din Carpații Românești

Circuri sudice	Media	ds	Val. min.	Val. max.
minpod (m)	1941	158	1500	2300
medpod (m)	1979	158	1520	2360
maxpod (m)	2050	158	1600	2400
medspat (m)	2195	170	1760	2544
maxspat (m)	2239	180	1792	2544
maxcum (m)	2270	174	1792	2544

Diferența dintre altitudinea medie (*minpod*) a circurilor nordice (media altitudinală = 1687 m) și sudice (media altitudinală = 1811 m) din CO este mai mare față de cea determinată pentru circurile din AT, unde cele nordice sunt situate în jurul valorii de 1922 m, iar cele sudice au valoarea medie de 1950 m.

Ablația a jucat un rol important în apariția acestor diferențieri altitudinale nord-sud, aceasta depinzând direct de poziția latitudinală și de altitudinile medii și maxime ale creștelor masivului glaciatic. Astfel, în cazul în care nu au existat diferențieri neotectonice majore postglaciare, linia zăpezilor din CR a fost diferită de la un grad de latitudine la altul, depinzând destul de mult de elementele climatice (temperatură și precipitații).

Diferențieri altitudinale apar și în raport cu gradul de dezvoltare (ordinul) al circurilor. Astfel, cu cât descrește gradul de dezvoltare al acestora, cu atât scade altitudinea (tab. 6.13), fapt care demonstrează că, odată cu creșterea altitudinilor, cresc șansele de dezvoltare a circurilor clasice. În același sens, de descreștere a gradului de dezvoltare, crește și gradul de dispersie pe verticală a circurilor glaciare. Acest fapt demonstrează că linia zăpezilor permanente era mai aproape de buzele circurilor clasice sau bine dezvoltate. Astfel, linia

zăpezilor permanente poate fi evaluată prin altitudinea podelelor circurilor foarte bine dezvoltate, cu înclinări de sub 5 grade.

Tabel 6.13. Variabilele altitudinale în funcție de gradul de dezvoltare al circurilor (ordinul circurilor) din Carpații Românești (ordin 1 - circuri clasice, ordin 2 - circuri bine dezvoltate, 3 - circuri dezvoltate, ordin 4 - circuri slab dezvoltate, ordin 5 - circuri marginale)

Variabila	Ordin 1	Ordin 2	Ordin 3	Ordin 4	Ordin 5
minpod (m)	1979.0	1903.9	1898.6	1844.0	1828.9
medpod (m)	2016.0	1942.7	1940.5	1874.8	1865.7
maxpod (m)	2090.2	2024.1	2015.2	1934.9	1907.2
medspat (m)	2282.4	2190.9	2167.7	2068.5	2047.2
maxspat (m)	2346.6	2247.3	2208.2	2092.2	2070.1
maxcum (m)	2359.5	2268.4	2237.1	2130.4	2105.2

În ceea ce privește altitudinea circurilor în funcție de tipul lor, se evidențiază altitudinea redusă a circurilor complexe (de tip *outer*) față de cele interne (tabel 6.14). Ca urmare, considerăm că cele mai multe dintre acestea sunt, de fapt, **fotolii glaciare** care erau situate cât mai aproape de linia zăpezilor din Pleistocen. Urmează, în altitudine, circurile simple, urmate de cele interne. Acestea din urmă sunt cele mai înalte circuri din CR, fapt care pare să confirme ipoteza conform căreia acestea fac parte dintr-o generație mai tânără de circuri, pe care noi le denumim **circurile înalte carpatice**.

Tabel 6.14. Variabilele altitudinale ale circurilor din Carpații Românești în funcție de tipul lor

Variabila	Toate circurile	Circuri complexe	Circuri interne
minpod (m)	1879	1850	2019
medpod (m)	1918	1895	2048
maxpod (m)	1990	1990	2111
medspat (m)	2142	2217	2244
maxspat (m)	2179	2303	2297
maxcum (m)	2208	2321	2319
Număr	483	74	101

De exemplu, între circurile din munții Călimani (8 circuri) și circurile interne (de tip *inner*) din CO există similitudini, atât în ceea ce privește dimensiunea, cât și altitudinea lor, ceea ce ar putea susține ideea conform căreia aceste circuri fac parte din aceeași generație, luând naștere în ultima fază glaciară din CR. La acestea se poate adăuga și cirul izolat incert din munții Suhardului (tab. 6.15).

În alte masive carpatice cu populații importante de circuri, în condiții similare de altitudine cu cele din munții Maramureșului (adică la altitudini < 1957 m), am constatat că s-au dezvoltat circuri aproximativ asemănătoare cu cele maramureșene, însă într-un număr mult mai mic (tabel 6.16). Dacă altitudinea maximă atinsă în munții Maramureș (1957 m), în pofida fragmentării accentuate a acestora în mai multe masive (între care unele cu altitudini absolute de sub 1850 m), a fost suficientă pentru formarea a 28 circuri glaciare, aceleași altitudini absolute (*maxcum* < 1957 m) nu au reușit să susțină decât formarea a 5 circuri în munții Rodna, Godeanu sau Țarcu. Reiese de aici faptul că latitudinea (mare) a reprezentat un factor cu o importanță majoră pentru formarea ghețarilor de circ, la aceasta adăugându-se longitudinea (scăzută), susținută de faptul că doar în masivele vestice din AT se găsesc circuri în condiții altitudinale asemănătoare cu cele din munții Maramureșului (tab. 6.16).

Tabel 6.15. Comparații între variabilele altitudinale ale circurilor din Carpații Orientali

Variabila	CO, circurile interne	Călimani, toate circurile	Suhard, circurile izolate
minpod (m)	1788	1732	1750
medpod (m)	1812	1798	1780
maxpod (m)	1870	1841	1790
medspat (m)	1996	1991	1890
maxspat (m)	2066	2008	1910
maxcum (m)	2104	2012	1931
Număr	8	8	1

Tabel 6.16. Altitudinea podelelor de circ (*minpod*) din arii montane cu altitudini maxime asemănătoare cu cele din munții Maramureșului (alt. max. = 1957 m)

Aria montană	Număr	Media.	ds	Val. min.	Val. max.
Maramureș	28	1565	86	1400	1720
Rodna, <i>maxcum</i> < 1957	5	1552	67	1490	1650
Godeanu, <i>maxcum</i> < 1957	5	1642	57	1560	1700
Țarcu, <i>maxcum</i> < 1957	5	1626	46	1570	1690

Dacă se analizează ariile montane cu condiții asemănătoare de altitudine maximă cu cele ale masivului Rodna, se evidențiază un prag altitudinal între circurile din Rodna (aprox. 1700 m) și cele din AT, dezvoltate în condiții altitudinale asemănătoare (tabel 6.17). Valoarea absolută a acestui prag este de peste 200 m. Considerăm ca această valoare de 200 - 250 m, confirmată și de analiza variabilei *maxcum*, reprezintă și diferența de altitudine și dintre linia zăpezilor permanente din timpul glaciației din CR.

Tabel 6.17. Variabilele altitudinale ale circurilor din arii montane cu altitudini maxime asemănătoare cu cele din Masivul Rondei (alt. max. = 2303 m)

Aria montană	Număr	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Rodna	48	1695	114	1420	1890
Făgăraș, <i>maxcum</i> < 2303	68	1912	119	1450	2140
Iezer, <i>maxcum</i> < 2303	14	1931	78	1800	2030
Parâng, <i>maxcum</i> < 2303	28	1920	63	1770	2010
Retezat, <i>maxcum</i> < 2303	35	1868	107	1690	2100

Tabel 6.18. Altitudinea lacurilor și turbăriilor glaciare din Carpații Românești (ds - deviația standard)

Statistic	Total RO	Altit (m) Tip-1	Altit (m) Tip-2	Altit (m) Tip-3	Altit (m) Tip-4	Altit (m) Tip-5a	Altit (m) Tip-5b	Altit (m) Tip-6
Nr lacuri	269	45	77	38	35	9	9	56
Minim	1416	1740	1543	1416	1675	1458	1458	1532
Maxim	2297	2255	2297	2280	2249	2195	2195	2290
1st Quartile	1876	1900	1925	1931	1972	1585	1585	1765
Mediana	1977	1968	2018	2073	2007	1870	1870	1885
3rd Quartile	2095	2060	2140	2148	2114	1920	1920	1973
Media	1966.6	1983.3	2011.4	2026.9	2018.9	1808.6	1808.6	1868.6
ds (n-1)	179.5	118.9	163.6	175.3	130.8	260.4	260.4	180.3
Skewness (P)	-0.7	0.1	-0.7	-1.5	-0.7	0.2	0.2	0.0
Kurtosis (P)	0.2	-0.3	0.3	3.0	0.5	-1.3	-1.3	-0.3

Tip-1: lacuri glaciare minore a căror suprafață nu depășește 0,1 ha; Tip-2: lacuri glaciare superficiale a căror adâncime nu depășește 1,25 m; Tip-3: lacuri glaciare propriu-zise a căror adâncime este cuprinsă între 1,26 și 4,20 m; Tip-4: lacuri glaciare majore a căror adâncime depășește 4,26 m; Tip-5a: turbărie cu ochi de apă, arealul ocupat de depozitul de turbă; Tip-5b: turbărie cu ochi de apă, arealul ocupat cu apă (ochiul de apă); Tip-6: turbărie sau tinov.

Cele 260 de lacuri glaciare carpatice, în diferite stadii de colmatare, sunt situate în proporție de peste 80% între 1800 și 2150 m (minim - 1416 m; maxim - 2297 m), cu o medie de aprox. 1980 m, însă există diferențieri regionale importante între cele două lanțuri montane care dețin lacuri (tab. 6.18). Astfel, altitudinea medie a lacurilor din CO este de 1750 m, pe când în AT aceasta ajunge la 2020 m, existând o diferență de 250-270 m (Mîndrescu et al., 2016). Ca și în cazul circurilor, pe baza caracteristicilor altitudinale ale lacurilor glaciare se poate considera că palierul altitudinal 1800 - 2150 m a fost cel mai puternic glaciât dintre toate etajele altitudinale din CR.

Altitudinea circurilor și linia zăpezilor din Pleistocen. În literatura de specialitate s-a vehiculat deja ideea că podelele circurilor clasice sau bine dezvoltate s-au găsit la altitudini asemănătoare cu linia zăpezilor permanente din trecut (Derbyshire & Evans, 1976). Cele mai bine dezvoltate circuri sunt mai joase, compacte altitudinal și foarte bine adăpostite față de vânt. Aceasta înseamnă că formarea lor a depins, mai degrabă de căderilor de zăpadă (și de acumularea acesteia) decât de nivelul altitudinal de îngheț. Mai mult, în anumite condiții locale, deflația nivală a dus la acumulări pe pantele adăpostite, determinând formarea circurilor doar pe anumiți versanți, în concordanță și cu linia zăpezilor. În situațiile locale, de cele mai multe ori, datorită deflației linia zăpezilor a pierdut din altitudine. Astfel de situații pot fi explicate mai greu, prin nivelul superior de îngheț din ariile montane.

Determinarea liniei zăpezilor permanente din Pleistocen a reprezentat o provocare pentru mulți glaciologi. În prezent sunt cunoscute mai multe metode de determinare a acesteia, mai mult sau mai puțin exacte. Deoarece sistemul circ glaciare-vale glaciare este unul care funcționează amonte-aval, similar unui sistem fluvial, intrările din amonte sunt cele mai importante. Astfel, morenele stadiale sau terminale sunt tot o rezultată a acestui sector superior glaciare reprezentat de circul glaciare. Cele mai importante atribute ale acestuia sunt altitudinea și mărimea.

Considerăm, deci, mult mai necesară calcularea liniei zăpezilor în funcție de acest sistem de tip intrări-ieșiri care se suprapune doar peste circurile glaciare (circ-circ), în cazul în care celula rotațională a ghețarului se găsește în interiorul lor, sau peste circ și vale atunci când celula rotațională se suprapune peste ambele (circ-vale). Altitudinea și mărimea morenelor din lungul văilor sunt determinate atât de această arie superioară (circul glaciare), cât și de caracteristicile dimensionale ale văilor. Pot exista unele erori, dacă în determinarea liniei zăpezilor se exclud caracteristicile morfometrice și complexitatea văilor glaciare. Una dintre cele mai evidente amprente morfologice pe care a lăsat-o linia zăpezilor regionale din timpul Pleistocenului sunt buzele de circ, mai ales ale circurilor bine dezvoltate și clasice (ordinea 1 și 2).

În realitate, buza circului separă cele mai importante forme glaciare: circurile și văile glaciare. Desigur, admitem că linia zăpezilor a fost mai joasă decât altitudinea podelelor de circ, la fel cum a putut fi și mai sus decât aceasta, în anumite cazuri sau momente. Bizotarea buzelor de circ și apariția muchiilor simple sau multiple, dispuse în cascadă, reprezintă o rezultată a acestor variații ale liniei zăpezilor în altitudine. În cazul în care nu ar fi intervenit factorii topografici, topoclimatici sau geologici, linia zăpezilor ar fi traversat CR pe o traiectorie mai mult sau mai puțin rectilinie, cu creșteri longitudinale sau latitudinale constante.

Pentru determinarea liniei zăpezilor regionale aproximative din CR din timpul Pleistocenului recomandăm utilizarea altitudinilor minime ale circurilor de ordinul I și II (*minpod*), mai ales ale aceluia cu declivitate mică. În anumite situații se pot folosi și alte variabile sau cuantificarea factorilor topografici.

În cazul CO, considerăm că linia zăpezilor regionale cea mai veche este cel mai bine „desenată” de către altitudinea circurilor din munții Maramureșului. Astfel, pentru perioada glaciară Riss, linia zăpezilor din nordul CO era situată la altitudinea de aproximativ 1550 m. Aceasta era ușor mai ridicată în masivul Rodna (1600 m), unde ecartul altitudinal dintre LZR și altitudinea maximă, de aprox. 700 m, a condus la formarea unor circuri de mari dimensiuni de tipul fotoliilor glaciare caracteristice, așa cum sunt circurile Bila, Bistricioara Mare, Lala, Buhăiescu Mare și Zănoaga Mare. În schimb, nu există evidențe privind impactul climatic al celei mai vechi linii a zăpezilor din nordul CO Orientali asupra morfologiei munților Călimani. Cel mai probabil, aceștia nu dețineau încă formele pre-existente care ar fi putut încuraja apariția construcțiilor nivale și a ghețarilor de circ.

În schimb, altitudinile circurilor din munții Călimani „desenează” cel mai bine ultima linie a zăpezilor regionale din nordul Carpaților Orientali, din ultima fază glaciară, probabil Würm. Aceasta se găsea la altitudinea de 1750 m în munții Călimani și Rodna. În această fază glaciară circurile din munții Maramureșului devin funcționale, însă ecartul altitudinal rămas peste LZR a fost de doar de 200 m (și doar în punctul cel mai înalt al ariei montane, vârful Farcău, 1957 m), insuficient pentru schimbări morfologice majore ale vechilor circuri. Însă depozitele glaciare actuale din munții Maramureșului aparțin acestei ultime faze glaciare.

În cazul AT, în prima fază glaciară (Riss) linia zăpezilor regionale a avut altitudinea medie de 1830 m, iar în ultima fază glaciară (Würm), aceasta a urcat până la altitudinea de peste 2050 m.

În concluzie, circurile carpatice actuale sunt situate în general între 1700 și 2100 m altitudine (minim - 1310 m; maxim - 2300 m), cu o medie de aprox. 1900 m, însă există diferențieri regionale importante. Astfel, circurile din CO sunt răspândite la altitudini mai joase, cuprinse între 1400 și 2250 m, fiind favorizate de poziția lor latitudinală care determina o LZR mai scăzută în altitudine. În schimb, circurile din AT sunt mai înalte, având valoarea medie aproape de 1950 m, respectiv cu cca. 200 - 250 m mai sus decât circurile orientale.

Având în vedere faptul că polul ghețarilor de circ se găsea în masivul Rodna, considerăm că linia zăpezilor permanente (LZR) din CR cobora cu această valoare (200 până la 300 m) între latitudinea munților Rodnei și cea a Făgărașului sau Parângului, spre exemplu. Circurile transilvănene sunt distribuite între 1450 și 2300 m (pe un ecart vertical de peste 800 m), însă cele mai multe se găsesc în palierul altitudinal 1800 - 2100 m. Altitudinea ridicată a circurilor glaciare din AT se datorează, pe de o parte, altitudinilor absolute ale vârfurilor montane (mai ales în cazul grupurilor 2500) pe care s-au grefat circurile, iar pe de altă parte poziției mai ridicate a liniei zăpezilor permanente, mai ales în cazul masivelor centrale și estice.

Prin urmare, cele mai înalte circuri carpatice apar în masivele grupului altitudinal 2500, precum și în partea estică, mai îndepărtată de influențele atlantice și mediteraneene, a Alpilor Transilvaniei. Astfel, circurile cresc în altitudine cu 0.714 m / km pe o distanță de 286 km în lungul AT (Fig. 6.3). Media altitudinală din Făgăraș este de 2034 m, comparativ cu media circurilor de la extremitatea vestică a lanțului, de 1925 m (mai multe detalii în Mîndrescu & Evans, 2014).

În schimb, cele patru circuri din munții Bihorului (Apuseni) sunt cele mai joase circuri din România, fiind situate în jurul altitudinii de 1415 m. Acestea s-au dezvoltat în lungul versantului estic al unei culmi joase, cuprinsă între 1530 și 1848 m (Piatra Grăitoare -

Cucurbăta) cu desfășurare nord-sud, adăpostit de viscolul glaciare cu vergență vestică. Doar două sunt mai bine conturate, și anume cele din apropierea vârfului principal cu altitudinea de 1848 m. În aceste condiții, cele mai coborâte circuri se găsesc în nordul și vestul CR, respectiv în munții Maramureș (cu aprox. 200 m mai jos față de cele aferente masivelor din vestul AT) și în Biharia (de departe, cele mai joase din cuprinsul CR) (Mîndrescu et al., 2010).

Circurile glaciare din CR sunt în general cantonate acolo unde altitudinile absolute ale vârfurilor trec de 1750 - 1950 m (în nordul CR), 2000 - 2200 m (de la Iezer-Păpușa până în Șureanu), 1850 - 1950 m (în grupa Retezat-Godeanu), 1700 - 1800 m (în Bihor) sau 2400 m (în Bucegi). Însă frecvență cea mai ridicată se înregistrează în ecartul altitudinal 1800 - 2000 m (42%), definind astfel cel mai important palier glaciare din CR.

Altitudinea variabilă a ghețarilor de circ (cu amplitudini de 600 până la 800 m pe verticală) demonstrează variabilitatea în timp a liniei zăpezilor permanente, care era controlată (ca și în prezent, de altfel) de climatul continental, cel mai probabil cu influențe nord-atlantice, mediteraneene și pontice (în mai mică măsură). Când linia zăpezilor permanente cobora în altitudine, ghețarii de circ căpătau forță și mărime (mulți dintre ei se prelungeau cu ghețari de vale) și se creau condiții pentru acoperirea cu ghețari a ambilor versanți principali, reducând foarte mult asimetria glaciare. În schimb când aceasta urca în altitudine, ghețarii de circ slăbeau și creștea foarte mult asimetria glaciare, fiind favorizați mai ales versanții adăpostiți și umbriți.

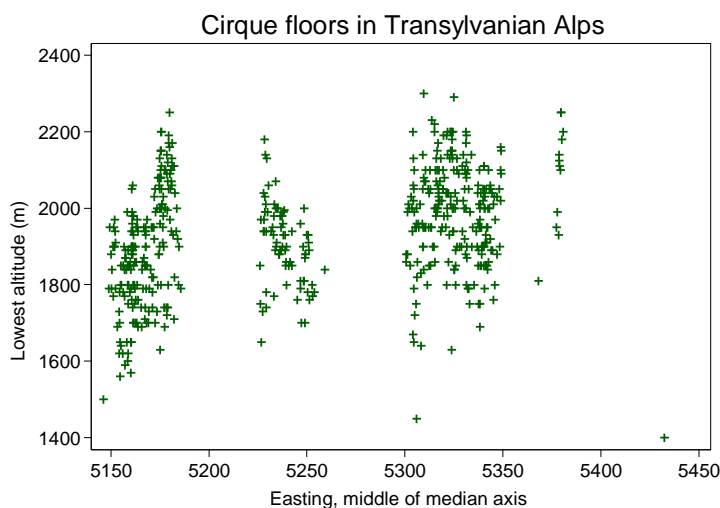


Figura 6.3. Altitudinea circurilor (minpod, *lowest*) din Alpii Transilvaniei și tendința acesteia pe direcția vest-est.

În final, trebuie să admitem că altitudinea actuală a circurilor poate fi diferită față de cea de la finalul Pleistocenului. În toată perioada Holocenului au avut loc mișcări neotectonice (active și astăzi) care au modificat, într-o măsură mică, altitudinea unor circuri din CR. Poate cele mai mari diferențe se resimt între masivele cu tectonică rupturală, destul de activă (ex. Rodna, Făgăraș, Parâng) și cele cu tectonică plicativă, mai puțin activă (ex. Maramureș). Spre exemplu, între circurile din munții Maramureș (media - 1565 m) și Rodna (media - 1700 m) există o diferență de nivel de aprox. 135 m raportată la o distanță orizontală de doar 38 de km (distanța Farcău/Maramureș - Gărgălău/Rodna). În această situație, este posibil ca mișcările neotectonice să fi modificat, într-o anumită măsură, raportul dintre valorile medii ale altitudinilor circurilor din cele două arii menționate.

7. Mărimea circurilor glaciare

Dimensiunile orizontale ale circurilor sunt guvernate de eroziunea glaciară, procesele de îngheț-dezghet, și, eventual, de condițiile geologie (McCall, 1960), în timp ce adâncirea circurilor (dezvoltarea pe verticală) este controlată în mare măsură de eroziune subglaciară (subsăpare glaciară) (Gordon, 1977). Există puține dovezi privind controlul geologic asupra dimensiunilor circurilor glaciare din CR (vezi capitolul *Geologia circurilor glaciare*), astfel încât circurile de mari dimensiuni și bine adâncite pot reflecta intensitatea ciclurilor și eroziunii glaciare, precum și pe cea a îngheț-dezghetului. Eroziunea glaciară regresivă (*headward glacial erosion*) și cea glaciară pe verticală (*downward, downcutting*) au rate și eficiențe mai ridicate decât eroziunea fluvială, astfel încât dimensiunile, orizontale și verticale ale circurilor se schimbă progresiv cu gradul de dezvoltare a circurilor.

În raport cu celelalte forme glaciare, circurile ocupă o poziție intermediară în ceea ce privește mărimea și dimensiunile. Lungimile liniare ale circurilor, la nivel global, sunt cuprinse între 100 m și 10 km. Prin comparație cu alte forme de relief, circurile au dimensiuni mai mari decât costurile, hornurile sau nunatakurile, dar sunt mai mici decât majoritatea văilor glaciare (troguri glaciare) (Fig. 7.1).

Procesul dominant	Morfologii asociate	Dimensiuni liniare									
		0,01 m	0,1 m	1 m	10 m	100 m	1 km	10 km	100 km	1000 km	10000 km
Curgerea neconstrânsă a gheții	Pozitive, pe direcția liniilor de curent	← Spinări de balenă (Whalebacks) → Pineni, creste pe direcția liniilor de curent ← Drumlunuri în rocă (Rock drumlins) →									
	Pozitive, parțial pe direcția liniilor de curent	← Roci mutonate (Roche moutonnées) → Flyggberg-uri (Flyggbergs)									
	Negative, pe direcția liniilor de curent	← Striații (Striations) → ← Scobituri (Grooves) →									
	Negative, parțial pe direcția liniilor de curent	← Excavații în rocă (Rock basins) →									
Curgerea constrânsă a gheții	Negative, pe direcția liniilor de curent	← Troguri (Troughs) →									
Interacțiunea proceselor glaciare cu cele periglaciare	Negative	← CIRCURI (Cirques) →									
	Pozitive	← Custuri (Arêtes) →									
		← Hornuri (Horns) → ← Nunatak-uri →									

Figura 7.1. Circurile glaciare și locul acestora în cadrul formelor glaciare (după Summerfield, 1997).

Pentru determinarea mărimii circurilor glaciare din CR au fost măsurate o serie de variabile dimensionale, și anume: lungimea, lățimea, elevația spătarului, amplitudinea, aria circului, aria podelei, mărimea, precum și raporturile dintre aceste variabile direct măsurabile.

Tabelul de mai jos conține cele mai importante variabile dimensionale ale circurilor glaciare și media aritmetică a acestora (tab. 7.1).

Tabel 7.1. Variabilele dimensionale ale circurilor din Carpații Românești. Statistica descriptivă (* valoarea variabilei *mărimumi* circurilor redată în tabele reprezintă radicalul valorii originale)

Variabila	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Lungimea, L (m)	647	275	191	1988
Lățimea, l (m)	709	319	180	2228
Raportul axelor, l/L	1.14	0.37	0.39	3.06
Raportul axelor, L/l	0.97	0.31	0.33	2.54
Elevația spătarului, H (m)	207	88	60	640
Adâncimea, L/H	3.37	1.35	1.02	10.00
Aria circului, Ac (ha)	43	39	4	377
Aria podelei, Ap (ha)	11.85	12.42	0.78	142
Raportul ariilor, Ac/Ap (%)	27.83	9.91	8.30	70.71
Amplitudinea, A (m)	270	99	70	740
Lungimea buzei, Lb (m)	325	191.4	48.2	1590
Mărimea, M (m ³)*	11323	6414	2542	50334

Pe baza datelor obținute putem afirma că valorile medii ale circului carpatic românesc sunt sensibil mai mari decât ale circului mediu din zona centrală a munților Pirinei și din munții Tatra. Circul carpatic mediu are lungimea de 647 m (față de 519 m în Pirineii centrali și 570 m în Tatra), lățimea de 709 m (691 m în Pirineii centrali și 550 m în Tatra), și aria de 43 ha (34 ha în Pirineii centrali și aprox. 30 ha în Tatra).

De asemenea, circul carpatic are o dezvoltare echilibrată pe cele două direcții principale orizontale ($L/l = 0.97$ în CR) comparativ cu circurile pirineene (0.79 în Pirinei). Valori asemănătoare prezintă și cercul mediu din Tatra ($L/l = 1.09$). În schimb, circurile carpatice sunt mai puțin adâncite ($L/H = 3.37$ în CR) față de cele din Pirinei ($L/H = 1.48$ în Pirinei) sau munții Tatra ($L/H = 1.87$). Aria circului carpatic este una de mărime medie comparație cu alte arii montane glaciare, iar valorile maxime (377 ha în Carpații Românești) le depășesc pe cele din Pirinei (314 ha) sau din munții Tatra (319.80 ha). În ce privește raportul celor două arii principale componente ale circului, respectiv podeaua și spătarul, podeaua medie a circului carpatic reprezintă aprox. 30% din suprafața circului (Fig. 7.2).

Cercul carpatic mediu este, însă, mai puțin dezvoltat pe verticală, având o elevație a spătarului de 207 m, față de 364 m în cazul circurilor din Pirineii centrali și 311 m în Tatra. Această diferență semnificativă privind elevația spătarelor este datorată altitudinilor mai mari din Pirinei, circurile formându-se la distanțe verticale mai mari față de cumpenele de apă. Putem adăuga și faptul că linia zăpezilor este mai coborâtă, atât în munții Pirinei, ca efect al apropierii față de Oceanul Atlantic, cât și în munții Tatra, dată fiind poziția lor mai nordică față de CR.

Astfel, cele mai bune condiții de formare a unor circuri glaciare de dimensiuni mari includ proximitatea față de un bazin marin sau oceanic și valori ridicate ale latitudinii și altitudinii. În ansamblu, circurile din CR s-au dezvoltat preponderent pe orizontală prin comparație cu cele din Pirinei sau Tatra, în schimb cele din urmă sunt mai dezvoltate pe verticală (având spătare mai înalte) față de cele carpatice.

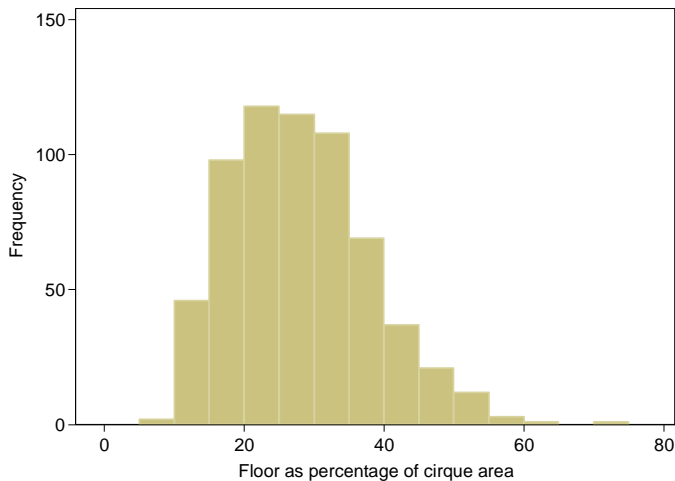


Figura 7.2. Proporția ocupată de podea (%) din aria totală a circului (CR).

Diferențele dimensionale dintre cele două ramuri carpatice glaciare importante sunt cel mai bine exprimate prin analiza comparativă a munților Rodnei și Făgărașului. Circurile rodnene, în ciuda asimetriei lor glaciare, sunt mai bine dezvoltate și echilibrate dimensional (tab. 7.2), față de populația de circuri din Făgăraș (tab. 7.3). Altitudinile sunt cu cca 200 m mai joase în Rodna, însă avantajul latitudinal, cel puțin în acest caz, și-a spus cuvântul, în privința mărimii circurilor, astfel încât aria montană glaciată a Rodnei își merită pe deplin numele de *polul glaciatic nordic*.

Table 7.2. Variabilele dimensionale ale circurilor din Masivul Rodnei

Variabila	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Lungimea, L (m)	826	379	318	1988
Lățimea, l (m)	870	415	346	2124
Raportul axelor, l/L	1.09	0.31	0.50	1.81
Raportul axelor, L/l	1.00	0.30	0.55	1.99
Elevația spătarului, H (m)	266	103	130	634
Adâncimea, L/H	3.19	1.14	1.45	6.59
Aria circului, Ac (ha)	68.6	68.8	10.3	377.2
Aria podelei, Ap (ha)	20.6	27.7	1.9	142.2
Raportul ariilor, Ac/Ap (%)	26.2	10.1	11.8	59.3
Amplitudinea, A (m)	341	129	130	740
Lungimea buzei, Lb (m)	400	312	71	1590
Mărimea, M (mc)	16026	9562	4575	50334

Table 7.3. Variabilele dimensionale ale circurilor din Munții Făgăraș

Variabila	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Lungimea, L (m)	659	277	223	1652
Lățimea, l (m)	719	347	232	2228
Raportul axelor, l/L	1.13	0.38	0.47	3.06
Raportul axelor, L/l	0.98	0.31	0.33	2.13
Elevația spătarului, H (m)	232.1	98.6	70	640
Adâncimea, L/H	3.1	1.4	1.23	10
Aria circului, Ac (ha)	45	43	7.07	245.2
Aria podelei, Ap (ha)	12	10	1.12	70.92

Variabila	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Raportul ariilor, Ac/Ap (%)	27	10	8.3	61.98
Amplitudinea, A (m)	291	104	90	655
Lungimea buzei, Lb (m)	314	164	57	1300
Mărimea, M (mc)	11977	7042	3151	41532

Variabilele considerate a fi cele mai relevante pentru dezvoltarea dimensională sunt lungimea, lățimea și înălțimea (elevația) spătarului. În analiza dimensională a circurilor sunt importante atât valorile lor absolute, cât și raporturile și ponderea dintre ele (tabelele 7.4 și 7.5). Cele mai frecvente valori ale lungimii circurilor variază între 370 și 920 m, iar valoarea medie este de 647 m pentru CR, 676 m pentru CO și 643 m pentru AT (tab. 7.6 și Fig. 7.3). Nu se evidențiază diferențe majore între valorile medii aferente celor două ramuri carpatice principale. Diferențele apar, însă, în cazul valorilor extreme, unde circurile orientale ating cele mai mari valori ale lungimii ($L_{max} = 1988$), iar cele transilvănene pe cele mai reduse ($L_{min} = 191$). Cele mai multe dintre circuri măsoară lățimi între 390 și 1030 m, iar valorile medii sunt de 709 m pentru CR, 741 m pentru CO și 704 m pentru AT (tab. 7.7 și Fig. 7.4). Spre deosebire de lungime, valorile maxime ale lățimii sunt atinse, de această dată, în AT ($l_{max} = 2228$ m).

Dezvoltarea dimensională a circurilor este cel mai bine caracterizată de raportul axelor orizontale. Astfel, ca și în munții Pirinei, circurile carpatice prezintă valori mai mari ale lățimii față de cele ale lungimii ($l/L = 1.14$ sau $L/l = 0.97$ pentru CR, respectiv 0.79 pentru Pirinei). Deși față de circurile din Pirinei, circurile carpatice sunt dezvoltate mai echilibrat în lungul celor două direcții, cele mai echilibrate pe orizontală sunt considerate a fi circurile din munții Tatra (Křížek & Mida, 2013).

Analiza în detaliu a celor două variabile arată că 386 de circuri carpatice (59%) au lățimea mai mare decât lungimea. Doar 4 circuri au lungimea dublă decât lățimea (situate în Godeanu, Iezer, Făgăraș), în timp ce 16 circuri au lățimea dublă față de lungime. 100 de circuri (*circuri spătoase*) au lățimea de 1.5 mai mare decât lungimea, și doar 41 (circuri de tip trog) au lungimea o dată și jumătate cât lățimea. Frecvența mai mare a circurilor spătoase față de cele de tip trog este o realitate pentru CR, și trădează un model de dezvoltare specific circurilor glaciare prin eroziunea lateral-regresivă a ghețarilor de circ în masa muntelui. Aceste valori morfometrice diferențiază circurile glaciare de obârșiile de vale, non-glaciare.

Tabel 7.4. Variabilele dimensionale ale circurilor din Carpații Orientali

Variabila	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Lungimea, L (m)	676	334	246	1988
Lățimea, l (m)	741	359	180	2124
Raportul axelor, l/L	1.15	0.40	0.50	2.96
Raportul axelor, L/l	0.96	0.31	0.34	1.99
Elevația spătarului, H (m)	226	94	60	634
Adâncimea, L/H	3.11	1.10	1.02	6.59
Aria circului, Ac (ha)	48.8	53.3	4.2	377.2
Aria podelei, Ap (ha)	14.32	20.76	0.78	142.20
Raportul ariilor, Ac/Ap (%)	25.7	9.7	11.5	59.3
Amplitudinea, A (m)	289	114	120	740
Lungimea buzei, Lb (m)	338	269	48	1590
Mărimea, M (mc)	12359	7999	2542	50334

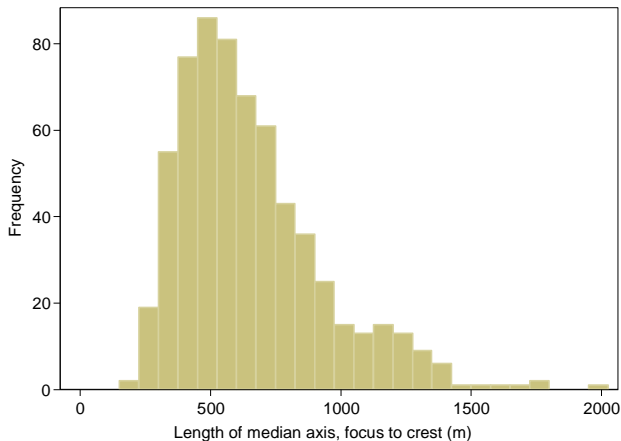
Tabel 7.5. Variabilele dimensionale ale circurilor din Alpii Transilvaniei

Variabila	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Lungimea, L (m)	643	264	191	1652
Lățimea, l (m)	704	312	196	2228
Raportul axelor, l/L	1.14	0.37	0.39	3.06
Raportul axelor, L/l	0.97	0.31	0.33	2.54
Elevația spătarului, H (m)	204.6	86.7	70.0	640.0
Adâncimea, L/H	3.41	1.39	1.23	10.00
Aria circului, Ac (ha)	41.9	35.8	3.7	245.2
Aria podelei, Ap (ha)	11.4	10.2	1.0	72.4
Raportul ariilor, Ac/Ap (%)	28.2	9.9	8.3	70.7
Amplitudinea, A (m)	267	96	70	655
Lungimea buzei, Lb (m)	324	175	50	1300
Mărimea, M (mc)	11163	6090	2829	41532

Pe baza raportului axelor (lățime/lungime, l/L) s-a realizat o clasificare a circurilor glaciare din CR. Astfel, cele mai multe circuri (47%) sunt de formă circulară ($l/L = 0.80 - 1.20$), adică sunt dezvoltate echilibrat în lungul celor două axe orizontale, din care 12 % sunt aproape perfect echilibrate după cele două axe. Restul circurilor sunt clasificate astfel: 37% sunt circuri spătoase ($l/L > 1.20$), dezvoltate mai mult în lățime, și doar 16% reprezintă circuri de tip trog ($l/L < 0.80$), dezvoltate mai mult în lungul axei mediane.

Tabel 7.6. Lungimea circurilor după lanțul montan din care fac parte

Lungimea, L (m)	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Carpații Românești	658	647	275	191	1988
Carpații Orientali	100	676	334	246	1988
Alpii Transilvaniei	554	643	264	191	1652
Biharia	4	503	95	389	604

**Figura 7.3.** Frecvența lungimii circurilor din Carpații Românești.**Tabel 7.7.** Lățimea circurilor după lanțul montan din care fac parte

Lățimea, l (m)	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Carpații Românești	709	319	180	2228
Carpații Orientali	741	359	180	2124
Alpii Transilvaniei	704	312	196	2228
Biharia	606	145	441	750

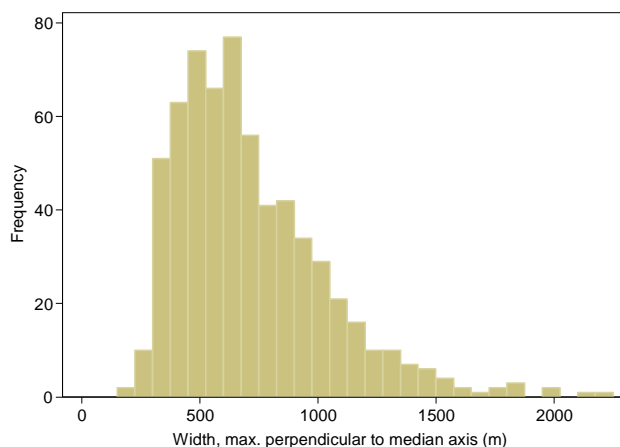


Figura 7.4. Frecvența lățimii circurilor glaciare din Carpații Românești.

Elevația spătarului (H) reprezintă cea de-a treia direcție principală de dezvoltare și arată anvergura verticală a circurilor glaciare. Desigur, valoarea acesteia depinde de altitudinea liniei zăpezilor și de masa montană rămasă între aceasta și creasta principală. Circul mediu carpatic prezintă un spătar de 207 m înălțime, respectiv, 226 m în CO și 205 m în AT (tab. 7.8 și Fig. 7.5). Spre deosebire de Pirinei și Tatra, valorile elevației sunt mult mai mici, mai ales pentru că în CR distanța dintre linia zăpezilor și cumpenele de apă a fost mai mică, reducându-se astfel mult masa montană supusă glaciației prin acțiunea ghețarilor de circ. Totuși, circurile orientale au găsit condiții de dezvoltare la altitudini mai coborâte față de cumpenele de apă, prin comparație cu cele transilvănene. Un exemplu îl constituie circurile glaciare din munții Cernahora, situați mai la nord de cele orientale românești, care „mușcă” din masa montană situată mai jos de cumpenele de apă, fapt datorat nivelului mai coborât al liniei zăpezilor regionale.

Tabel 7.8. Elevația spătarului (*hspat*)

Hspat (m)	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Carpații Românești	207	88	60	640
Carpații Orientali	226	94	60	634
Alpii Transilvaniei	205	87	70	640
Biharia	118	33	80	150

Valorile morfometrice ale spătarului demonstrează existența unui prag limită (valoare minimă) a elevației spătarului sub care s-au dezvoltat ghețarii de circ. Această valoare a fost de aprox. 70 m în CR (60 m în CO, 70 m în AT și 80 m în Biharia). Având în vedere faptul că o podea de circ s-a adâncit cu câțiva metri pe parcursul unei etape glaciare, putem afirma cu certitudine că spătarul inițial trebuia să aibă o elevație de cel puțin 50 m pentru a se putea forma un ghețar de circ embrionar.

Totuși, luând în calcul valoarea medie și deviația standard, majoritatea circurilor din CR s-au format acolo unde a existat un spătar inițial cu înălțime de cel puțin 100 m. Spătarele circurilor carpatice au elevații cuprinse între 120 și 300 m, însă circurile bine dezvoltate prezintă valori medii de 280 m și pot atinge valori maxime de peste 600 m. În Pirinei, valoarea minimă a spătarului este de 100 m, iar cea maximă de 943 m (față de 640 m pentru CR, 603 m pentru Tatra). Astfel, pentru formarea unui ghețar de circ în CR trebuia să existe cel puțin 200 m distanță pe verticală între altitudinile maxime și linia zăpezilor.

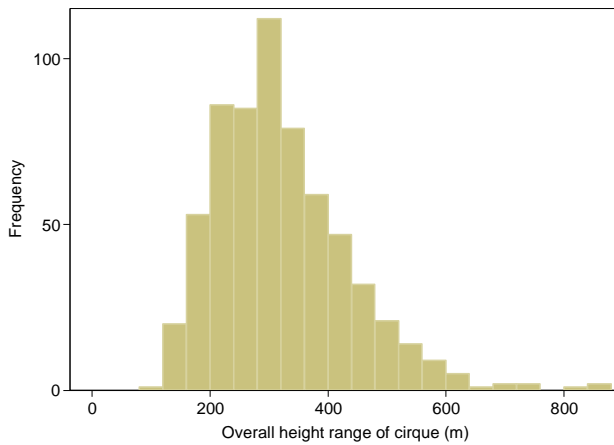


Figura 7.5. Frecvența înălțimii spătarelor de circ din Carpații Românești.

Valorile obținute pentru elevația spătarelor de circ a permis clasificarea circurilor în mai multe categorii. Un număr de 59 de circuri (9%) prezintă spătare superficială, cu valori ale elevației mai mici sau egale cu 100 m. Aceste elevații sunt specifice mai ales circurilor slab dezvoltate (ordinea 3 și 4), dar sunt caracteristice și pentru câteva circuri clasice sau bine dezvoltate (15 circuri). Cele mai multe circuri (47%) prezintă spătare cu valori ale elevației cuprinse între 101 și 200 m. Acestea valori sunt cele mai des întâlnite în cazul circurilor carpatice și definesc spătarul normal de dimensiuni medii. Spătarele de mari dimensiuni, cu valori ale elevației cuprinse între 201 și 300 m, caracterizează aproximativ 30% din circurile carpatice. Un caz aparte de spătar este cel de tip *jilț*, cu înălțimi impresionante, ce depășesc 300 m, specific pentru 14% dintre circuri. Între acestea există 6 circuri ale căror spătare depășesc 500 m, însă nici unul dintre acestea nu aparține unui circ clasic. La aceste dimensiuni impresionante există riscul ca unele dintre ele să reprezinte, în fapt, obârșii de vale glaciară și nu circuri propriu-zise, deși analiza noastră a fost foarte riguroasă și din acest punct de vedere.

Table 7.9. Lungimea circurilor ordonate după masivele glaciare

Masivul	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Maramureș	28	478	160	246	833
Țibleș	2	489	78	434	544
Rodna	48	826	379	318	1988
Călimani	8	486	129	275	621
Bucegi	11	745	273	388	1169
Iezer	41	651	213	347	1307
Făgăraș	210	659	277	223	1652
Lotru	11	675	251	400	1125
Cindrel	8	697	203	355	865
Parâng	52	691	285	319	1437
Șureanu	5	648	276	293	930
Retezat	89	656	289	191	1403
Godeanu	71	601	250	233	1539
Țarcu	60	566	208	260	1137
Biharia	4	503	95	389	604

La nivel regional, se remarcă, din punct de vedere dimensional, câteva tipuri de circuri. Cel mai caracteristic sub aspectul frecvenței este cercul transilvănean, care definește toate circurile din AT, cu lungimi medii cuprinse între 566 și 697 m. Circurile orientale se împart în trei categorii: marile circuri rodnene, circurile de dimensiuni medii de tip Maramureș (specifice și pentru Cernahora) și cercul de tranziție, cu dimensiuni intermediare, de tip Bucegi. Cercul cu cele mai mici dimensiuni ale axei mediane este cel de tip Biharia (tabel 7.9).

Diferențele dimensionale sunt cel mai bine puse în evidență dacă sunt analizate selectiv, după gradul de dezvoltare a circurilor (ordinul circurilor). Această analiză evidențiază un model dimensional simplu de evoluție a circurilor, de la cele marginale până la cele clasice. Se observă că toate valorile dimensionale cresc dinspre circurile marginale, considerate ca un stadiu incipient de dezvoltare, spre circurile clasice, cele mai avansate. Astfel, se stabilește una dintre cele mai puternice corelații specifice circurilor din CR, dintre dimensiune (lungimea) și gradul de dezvoltare a circurilor exprimat prin gradul de zăvorăre a acestora (Fig. 7.6). Acest tip de evoluție progresivă la nivelul tuturor elementelor cercului, dar cu rate diferite, este specific și regnului animal și vegetal, și este cunoscut sub denumirea de *dezvoltare alometrică*.

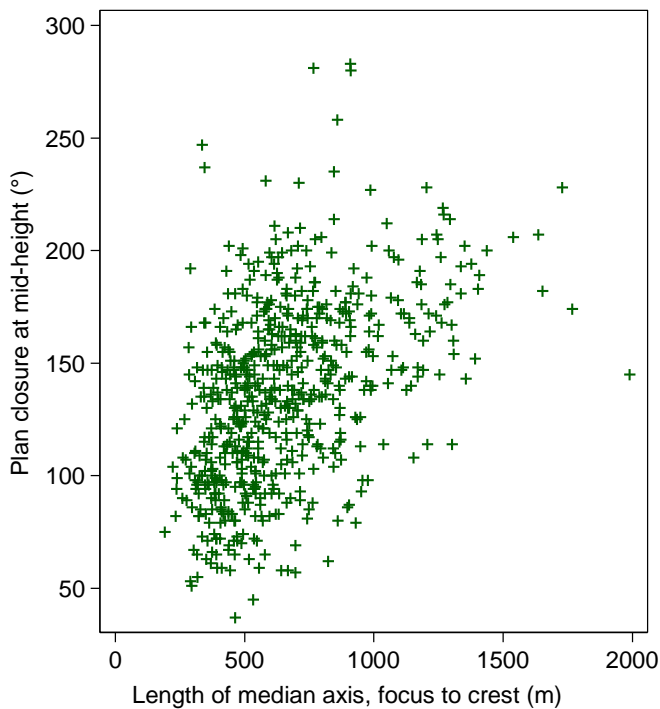


Figura 7.6. Corelația dintre dimensiunile circurilor (lungimea) și gradul de dezvoltare al acestora (gradul de zăvorăre, *plancirc*).

La nivel de detaliu, cu cât circurile evoluează și se dezvoltă dimensional, se remarcă o schimbare a raportului dintre lățime și lungime, prin creșterea elevației spătarului și, respectiv, prin adâncimea cercului. Circurile slab dezvoltate (ordin 1) se caracterizează printr-un raport unitar dintre lățime și lungime ($l/L = 1$), însă creșterea gradului de dezvoltare a cercului se face o dată cu creșterea lățimii în detrimentul lungimii ($l/L = 1.2$) (tabel 7.10). Astfel de modificări apar și în ceea ce privește ponderea podelei raportată la suprafața cercului. Se consideră că podeaua reprezintă cel mai important indiciu al eficienței eroziunii ghețarului de circ, constatându-se creșterea ponderii suprafeței acestuia de la circurile marginale (20%) spre cele bine dezvoltate (30%).

Tabel 7.10. Variabilele dimensionale ordonate după ordinul circurilor (media aritmetică)

Variabila	Ordin 1	Ordin 2	Ordin 3	Ordin 4	Ordin 5
Lungime, L (m)	898.0	750.2	599.2	455.8	408.2
Lățime, l (m)	1024.6	840.3	638.5	494.3	401.0
Raportul axelor, l/L	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
Elevația spăt., H (m)	260.4	225.7	200.1	162.9	163.6
Adâncimea, L/H	3,57	3,64	3,28	3,04	2,67
Amplitudinea, A (m)	303.4	287.1	269.1	224.5	218.3
Lungimea buzei, Lb (m)	471.1	394.4	286.9	224.5	175.1
Aria circ, Ac (ha)	84.8	56.1	33.4	19.0	16.2
Arie podea, Ap (ha)	25.6	16.1	8.7	4.6	2.9
Raportul ariilor, Ac/Ap	29.9	30.3	27.1	25.7	19.9
Mărimea, M (m ³)	17049.9	13598.0	10209.0	7088.0	6035.3
Număr de circuri	62	216	257	86	37

O altă distincție de ordin dimensional se poate face între circurile de obârșie, cu sau fără abrupt de circ (prag) și cele de versant. Este una dintre cele mai reprezentative situații, cu nivel înalt de încredere, pentru că se pun în față în față două populații cu un număr aproape egal de circuri. Așa cum era de așteptat, există diferențe dimensionale evidente între cele două categorii de circuri: cele de versant sunt de dimensiuni mai mici și sunt dezvoltate echilibrat, în lungul axelor orizontale, în timp ce circurile de obârșie prezintă dimensiuni semnificativ mai mari, mai ales în ceea ce privește aria cercului și podelei (tabel 7.11). Aceste diferențe se explică prin contextele morfologice inițiale diferite (relieful pre-existent) care au acționat în perioada incipientă a instalării ghețarilor de circ.

Circurile de obârșie, spre deosebire de cele de versant, au moștenit situri montane bine conturate și de anvergură, de tipul obârșiilor de vale, fie ele și inițiale, având în vedere ridicările tectonice din Cuaternar din CR. Cel puțin, acestea au beneficiat de ambianța topoclimatică specifică versanților de obârșie. În schimb, circurile de versant au moștenit de regulă unele forme preexistente de dimensiuni mai mici, cel mai probabil neregularități ale versanților de vale rezultate în urma alunecărilor, rupturilor de strate de roci, prăbușirilor, avalanșelor de rocă etc., sau trepte datorate influențelor structurale și litologice, însă în nici un caz acestea nu au avut anvergura obârșiilor de vale.

Tabel 7.11. Variabilele dimensionale ordonate după tipul circurilor (media aritmetică)

Variabila	Circuri de obârșie	Circuri de versant
Lungime, L (m)	684.0	536.4
Lățime, l (m)	763.3	535.6
Raportul axelor, l/L	1.2	1.0
Elevația spăt., H (m)	212.9	178.8
Adâncimea, L/H	3.50	3.25
Amplitudinea, A (m)	276.3	248.9
Lungimea buzei, Lb	327.7	261.9
Aria circ, Ac (ha)	45.5	25.0
Aria podea, Ap (ha)	13.2	7.2
Raportul ariilor, Ac/Ap	27.7	27.6
Mărime, M (m ³)	12022.2	8512.6
Nr. circuri	263	214

Analiza diferențiată a circurilor din punct de vedere dimensional reflectă aspecte diferite între circurile situate pe versanții nordici și cele de pe versanții sudici (tabel 7.12). Circurile nordice și sudice reprezintă toate circurile situate la nord de cumpenele principale de apă, respectiv, la sud de aceasta, indiferent de orientarea axei mediane a circurilor. În general, circurile sudice sunt de dimensiuni mai mici față de cele nordice, fapt datorat, cel mai probabil, intensității solare mai mari, care a dus la creșterea ablației în cadrul circurilor sudice, micșorând puterea de eroziune a ghețarilor de circ. Această diferențiere nord-sud a fost semnalată și în zona centrală a munților Pirinei (Garcia-Ruiz et al., 2000).

Tabel 7.12. Dimensiunea circurilor nordice și sudice (media aritmetică)

Variabila	Circurile nordice	Circurile sudice
Lungime	667.57	622.42
Lățime	731.16	680.05
Raportul axelor, l/L	1.15	1.13
Elevația spat.	215.79	197.32
Amplitudinea	282.21	253.84
Lungimea pragului	326.62	322.34
Arie circ	46.01	38.83
Arie podea	12.57	10.93
Raportul ariilor, Ac/Ap	27.28	28.54
Mărime	11991.46	10478.93
Nr. circuri	374	279

La nivel regional, de rangul doi, aceste diferențieri devin mult mai evidente, întărind regula conform căreia circurile situate pe versanții nordici sunt mai dezvoltate, precum și faptul că circurile din nordul CR sunt mai dezvoltate decât cele din sud (tabel 7.13). Diferențele dimensionale dintre versanții nordici și sudici sunt mai evidente în nordul CO, dar și în vestul AT, așa cum este cazul în munții Retezat. Totuși, în munții Făgăraș există un echilibru între cele două categorii sub acest aspect, trădând o simetrie dimensională aproape perfectă între cei doi versanți (tabel 7.13).

Tabel 7.13. Variabilele dimensionale ale circurilor situate în trei masive reprezentative (N - circurile situate pe versantul nordic; S - circurile situate pe versantul sudic)

Variabila	Rodna		Făgăraș		Retezat	
	N, 38	S, 10	N, 90	S, 120	N, 50	S, 36
Lungimea, L (m)	897	555	670	650	710	586
Lățimea, l (m)	940	604	738	704	799	674
Raportul axelor, l/L	1.09	1.09	1.13	1.12	1.20	1.19
Raportul axelor, L/l	1.01	0.94	0.99	0.98	0.93	0.92
Elevația spătarului, H (m)	280	215	254	216	222	174
Adâncimea, L/H	3.35	2.60	2.84	3.29	3.32	3.49
Aria circului, Ac (ha)	79	28	48	43	50	37
Aria podelei, Ap (ha)	24.3	6.8	11.4	11.7	14.77	12.26
Raportul ariilor, Ac/Ap (%)	27.13	22.70	26.00	27.69	30	32
Amplitudinea, A (m)	362	259	321	268	266	224
Lungimea buzei, Lb (m)	435	265	311	317	383	370
Mărimea, M (mc)	17765	9416	12917	11272	12420	9531

Anumite diferențieri între cele două categorii de circuri, nordice și sudice, reies și din raportul ariilor (circ / podea), care pare să fie favorabil, de această dată, circurilor sudice, cel puțin în cadrul AT. Mai mult, podelele circurilor sudice sunt și mai bine proporționate (calibrate) față de suprafața circurilor. Se conturează astfel ipoteza conform căreia pe cei doi versanți au funcționat ghețari distincți din punct de vedere termic, cu eficiență erozională diferită asupra podelelor de circ: datorită intensității mai mari a radiației solare, pe versanții sudici s-au format ghețari de circ mai „calzi”, cu dinamică mai mare. Deși nu la fel de productivi precum cei nordici (mai mari, dar mai rigizi), cei sudici au avut însă o eficacitate sporită în procesul de eroziune a podelelor.

Complexitatea circurilor glaciare din CR a fost dată, mai ales, de prezența circurilor complexe și interne. Principala distincție între aceste două categorii de circuri este de ordin dimensional, având în vedere faptul că sunt situate unele în interiorul celorlalte. În afara diferențelor sensibile de mărime (circurile complexe fiind duble ca dimensiuni față de cele interne), există și diferențieri privind raporturile stabilite între variabilele dimensionale. Astfel, circurile interne par a fi mai „glaciare” prin comparație cu cele complexe. Acestea se caracterizează printr-o tendință de dezvoltare spre cele două laturi laterale, care conduce la o creștere a raportului celor două axe orizontale ($l/L = 1.23$), podeaua are o pondere mai mare din suprafața circului, și sunt mai adâncite (corelație mai puternică între elevația spătarului și axa lungimii) (tab. 7.14 și 7.15).

Tabel 7.14 Dimensiunea circurilor complexe, de tip *outer* (74 de circuri)

Variabila	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Lungime, L (m)	1029	322	343	1988
Lățime, l (m)	1166	407	480	2228
Raportul axelor, l/L	1.19	0.41	0.49	2.57
Elevația spat., H (m)	285	106	100	640
Adâncimea, L/H	3.96	1.68	1.02	10
Amplitudinea, A (m)	368	115	130	655
Lungimea prag, lp (m)	488	244	119	1590
Aria circ, Ac (ha)	107	64	19	377
Aria podea, Ap (ha)	25.3	21.4	2.2	142.2
Raportul ariilor, Ac/Ap (%)	24.03	10.66	8.3	55.82
Mărime, M (m ³)	21127	8768	5658	50334

Tabel 7.15. Dimensiunea circurilor interne, de tip *inner* (101 circuri)

Variabila	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Lungime, L (m)	510	176	191	1058
Lățime, l (m)	606	244	223	1356
Raportul axelor, l/L	1.23	0.40	0.59	3.06
Elevația spat., H (m)	195	79	82	396
Adâncimea, L/H	2.84	1.07	1.23	7.98
Amplitudinea, A (m)	225	80	70	440
Lungimea prag, lp (m)	333	175	95	1015
Aria circ, Ac (ha)	27.7	18.2	4.5	100.5
Aria podea, Ap (ha)	8.61	6.57	1.04	31.04
Raportul ariilor, Ac/Ap (%)	31.16	10.01	11.67	70.71
Mărime, M (m ³)	8377	3856	2829	21273

Totuși, corelațiile, nu foarte puternice, dintre principalele variabile dimensionale demonstrează că influențele sitului montan inițial (relieful pre-existent) în care s-a format ghețarul de circ au influențat cel mai mult dimensiunile și forma circurilor actuale din CR (tabel 7.16).

Tabel 7.16. Corelațiile dintre principalele variabile dimensionale

Variabila	Lungime	Lățime	Elevație	Aria circ	Aria podea	Buza
Lungimea, m	1					
Lățimea, m	0.704	1				
Elevația (<i>hspat</i>), m	0.565	0.568	1			
Aria circ, m	0.866	0.891	0.590	1		
Aria podea, m	0.733	0.751	0.320	0.838	1	
Lungimea buzei, m	0.385	0.603	0.219	0.534	0.671	1

În concluzie, mărimea circurilor este direct proporțională cu cea a ghețarilor de circ și cu intensitatea fazelor glaciare din CR. Evoluția circurilor a pornit de la morfologii incipiente, pre-existente, iar unele dintre ele au ajuns la maturitate deplină, respectiv, circuri glaciare clasice. Unul dintre factorii de control importanți pe scara evoluției circurilor glaciare îl reprezintă dimensiunea ghețarilor, cuantificabilă prin mărimea circurilor actuale. Creșterea mărimii circurilor glaciare a depins de dimensiunile celor trei axe de dezvoltare: lungimea (ghețarul de circ este unul constrâns de topografie și prin urmare acționează în principal unidirecțional), lățimea (spre deosebire de râuri, ghețarii atacă relieful areal, inclusiv lateral), și înălțimea spătarului (eroziunea regresivă a ghețarului a condus la retragerea spătarului și creșterea elevației acestuia). Alte variabile de mărime relevante sunt amplitudinea cercului (diferența de nivel dintre buza cercului și creasta spătarului), aria cercului și aria podelei.

Cercul carpatic mediu are o lungime de 650 m, lățimea de 710 m și înălțimea spătarului de 210 m, rezultând o suprafață totală medie de 43 ha (12 ha pentru podea). Podeaua circurilor carpatice ocupă aprox. 30% din suprafața circurilor, indicând o dezvoltare bună a acestora. Spre deosebire de altitudine, în cazul acestei variabile nu se remarcă diferențe semnificative între CO și AT, ceea ce indică, o dată în plus, că intensitatea glaciației din nordul CR a fost similară cu cea din sud, și doar diferența de masă montană și-a spus cuvântul în ceea ce privește numărul circurilor.

Sub aspectul mărimii, însă, au fost favorizate mai degrabă circurile glaciare din nord (CO), astfel încât unele dintre cele mai mari circuri din CR se găsesc în munții Rodnei, dezvoltate sub spătare mai înalte decât cele din sud, dar și în condițiile unei LZP mai coborâte. Cel mai mare circ glaciare din CR este cercul Bistricioarei, C72 (Rodna), de la obârșia celui mai lung râu carpatic, Bistrița moldovenească. Ghețarul Bistricioarei, format într-un cerc complex care deține un cerc intern (cercul Gărgălău, C73), a alimentat unul dintre cei mai mari ghețari de vale din masivul Rodna, ghețarul văii Bistricioarei, dar și pe cel de pe valea Fântâniei de sub cascada și cercul Izvorul Cailor (C71), printr-o șa de transfluență glaciară bine exprimată în morfologie în dreptul Poianei Știol.

Majoritatea ghețarilor de circ s-au dezvoltat sub spătare cu valori cuprinse între 120 și 300 m înălțime. Elevația spătarelor de circ a depins foarte mult de altitudinea relativă a cumpenelor de apă deasupra liniei zăpezilor permanente (*snowline*). Cele mai multe din spătarele de circ din CR sunt tangente cu crestele lor la cumpenele de apă. Acest lucru demonstrează că linia zăpezilor din CR nu a coborât suficient de mult încât să rămână un

spațiu (palierul supra-glaciari) generos între amplasamentul circurilor și cumpenele de apă. Tot de acest fapt a depins și lungimea ghețarilor de vale, care, fără excepție, nu au reușit să iasă din perimetrul munților pentru a forma un relief fluvio-glaciari așa cum s-a întâmplat în munții Alpi. Un nivel mai coborât al liniei zăpezilor ar fi însemnat mai mult spațiu de lucru pentru metamorfoza zăpezii în gheața și creșterea volumului ghețarilor.

La nivel regional, cele mai mari circuri se găsesc în Rodna, urmată de Făgăraș cu cele mai mari înălțimi ale spătarelor, și Bucegi cu cele mai mari dimensiuni orizontale (probabil pe seama substratului calcaros și stratificației acestuia). Munții Maramureș și Călimani au cele mai mici circuri sub aspectul lungimii și lățimii, în timp ce elevația cea mai redusă a spătarelor o au circurile din munții Biharia și Țarcu.

Prin comparație cu alte arii glaciare, circurile din CR au lungimi similare cu cele din Țara Galilor, dar seamănă ca lățime cu cele din Boemia. Circurile carpatice sunt mai bine dezvoltate pe orizontală decât cele din Lake District (Marea Britanie), dar mai mici decât cele din Țara Galilor și sensibil mai mici față de cele din munții Coastei din Columbia Britanică (Canada) observate de noi în expediția științifică din august 2014 (Fig. 7.7 și tab. 7.17).

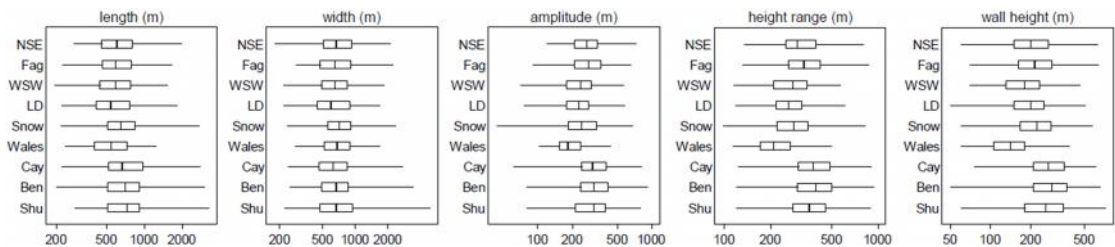


Figura 7.7. Reprezentare de tip box plot a 5 variabile morfometrice pe scara logaritmică. NSE - grup cuprinzând circurile din Carpații Orientali și Iezer; Fag - circurile din Făgăraș; WSW - circurile din grupele Parâng și Retezat; LD - Lake District; Snow - Snowdonia, Țara Galilor; Wales - Țara Galilor; Cay - Cayoosh, BC, Canada; Ben - Bendor, BC, Canada; Shu - Shulaps, BC, Canada.

Tabel 7.17. Valoarea medie a principalelor variabile dimensionale

Regiunea	Număr circuri	Lungime	Lățime	Amplitudine	Elevația spătarului
N & SE România	132	610	666	300	200
Făgăraș	206	592	652	330	215
V & SV România	293	591	644	280	180
Lake District	156	545	600	261	200
Snowdonia	143	655	720	285	222
Țara Galilor C, S & E	117	550	685	210	140
Cayoosh, BC	198	670	625	381	270
Bendor, BC	222	705	670	395	285
Shulaps, BC	126	730	670	360	260
TOTAL	1593	625	656	310	210

N&SE Romania - circurile din Carpații Orientali și Iezer; V&SV Romania - circurile din grupele montane Parâng și Retezat; BC - British Columbia, Canada). Pentru Snowdonia, Lake District, Țara Galilor și British Columbia s-au folosit datele din Evans (2006 și 2010). Pentru România s-a folosit baza de date pentru 631 de circuri glaciare conform Mîndrescu et al. (2010) și Mîndrescu & Evans (2014)

Utilizând și alte surse bibliografice privind morfometria circurilor glaciare din diferite arii montane de pe Glob, avem posibilitatea de a compara mărimea și elementele dimensionale ale circurilor glaciare din CR cu alte arii glaciare (Fig. 7.8 și tab. 7.18).

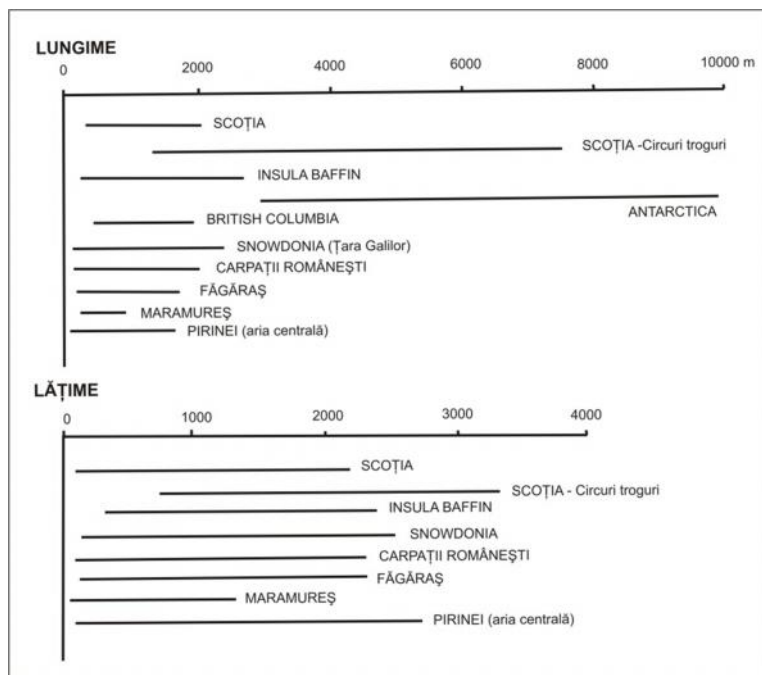


Figura 7.8. Dimensiunea circurilor glaciare din Carpații Românești și munții Maramureș prin comparație cu alte arii montane glaciare de pe Glob.

Table 7.18. Dimensiunea circurilor glaciare din diferite zone de pe Glob (amplit. - amplitudinea ciroului; NZ - Noua Zeelandă)

Regiunea	Număr circuri	Lungime	Lățime	Amplitudine	Sursa bibliografică
Carpații Românești	658	647	709	300	Mîndrescu M., 2016
Kintail-Affric-Cannich, V Scoția	231	625	586	(276*)	Gordon, J., 1977 (doar circurile simple)
N. Scandinavia transect	537	845	888	400	Hassinen, S., 1998
Tatra Mare	116	570	550	311	Křifžek, M., Mida, P., 2013
Bohemia	27	788	700	272	Křifžek, et al., 2012
Alpii Maritimi	432	672	663	355	Federici, P.R., Spagnolo, M., 2004
Pirineii de Est	1071	489	482	(223*)	Delmas et al., 2014 (circurile simple)
Pirineii Centrali	206	519	691	364	García-Ruiz et al., 2000
SV Asturias	70	487	594	255	Ruiz-Fernández et al, 2009
V Picos de Europa	59	295	467	294	Ruiz-Fernández et al, 2009
NE USA	49	1687	954	442	Davis, P.T., 1999
V-C Yukon	331	802	736	214	Nelson, F.E.N., Jackson, L.E., 2003
Kamchatka	3520	868	992	421	Barr, I.D., Spagnolo, M., 2013
Fiordland, NZ	1296	855	882	463	Richter, D., 2006

Regiunea	Număr circuri	Lungime	Lățime	Amplitudine	Sursa bibliografică
Westland, NZ	480	1069	961	580	Richter, D., 2006
Ben Ohau Ra., NZ	90	489	536	216	Brook et al, 2006
N. Grecia	166	530	737	289	Bathrellos et al., 2014
S. Grecia	99	376	460	173	Bathrellos et al., 2014

Dimensiunile diferite ale circurilor glaciare reprezintă rezultatul evoluției distincte a acestora. Circurile carpatice au avut momente diferite de inițiere în morfologie, dar și de decădere. Dimensiunea și forma circurilor a depins atât de condițiile topografice (relieful pre-existent) și topoclimatice inițiale în care s-au instalat ghețarii de circ, cât și de numărul și intensitatea fazelor glaciare. Mărirea circurilor actuale din Carpații Românești reprezintă, deci, o expresie a dimensiunii ghețarilor de circ și eficienței erozive a acestora.

8. Forma circurilor glaciare

Definiția circurilor ne furnizează o imagine asupra formei ideale a circurilor glaciare. Cu toate acestea, circurile sunt des confundate cu obârșiile de vale. Pentru ca această distincție să fie clară, cu atât mai mult cu cât multe circuri s-au dezvoltat chiar în situri care reprezintă obârșii de vale, podelele de circ trebuie să crească în suprafață și să evolueze către o înclinare cât mai redusă (chiar în contrapantă), în timp ce spătarul devine mai înclinat și mai arcuit în plan împrejurul podelei. Prezența unei astfel de podele înconjurate de un versant abrupt și arcuit în plan indică existența și acțiunea unui ghețar de circ.

Tendența ghețarului de circ este de a se “închide” în corpului muntelui prin zăvorârea sa în plan orizontal (retragerea diferențială a spătarului de circ) și vertical (prin formarea de contrapante de subsăpare glaciară), aceste procese determinând, în cele din urmă, forma circului glaciare.

Forma circurilor este controlată, în general, de acțiunea combinată a cel puțin trei factori determinanți: climatul, topografia și geologia. Forma circurilor este determinată de altitudine doar într-o mică măsură, fiind documentată o creștere a gradului de incizie odată cu altitudinea (Křížek & Mida, 2013). O serie de studii au evaluat relația dintre morfologia circurilor și altitudine, orientare, litologie, și alți factori de control. Unele dintre acestea (Haynes, 1968; Olyphant, 1977; Federici & Spagnolo, 2004; Hughes et al., 2007) au confirmat influența condițiilor geologice, a orientării versanților și altitudinii asupra mărimii și formei circurilor. În alte studii (Klimaszewski, 1964; Evans&Cox, 1995; Garcia-Ruiz et al., 2000; Ruiz-Fernandez et al., 2009), însă, nu a putut fi determinată nici o relație între morfologia circurilor și factorii climatici (care depind de altitudine, orientare și ambianța topografică) sau condițiile geologice.

În aceste condiții, este plauzibilă ipoteza conform căreia dezvoltarea formei circurilor este controlată, cel mai probabil, de tipul de relief preglacial, de prezența scobiturilor inițiale (care au facilitat inițierea în morfologie a circurilor) sau a predispozițiilor structurale și litologice (prezența cornișelor, polițelor etc.). Diferențele de morfologie a circurilor par să reflecte mai degrabă stadiul diferit de dezvoltare a circurilor decât diferențe în ceea ce privește factorii de mediu (Aniya & Welch, 1981; Brook et al., 2006).

Un circ bine dezvoltat, de tipul unui fotoliu glaciare, are o podea domoală și un spătar puternic înclinat și arcuit în jurul podelei, acest cuplu de caracteristici fiind cel mai important pentru forma circurilor. Orice sector al podelei trebuie să aibă înclinarea mai mică de 20° , iar spătarul, în funcție de gradul de duritate a rocilor, trebuie să depășească gradul de înclinare specific taluzurilor naturale (40°) în majoritatea sectoarelor sale.

Podeaua circului se poate termina sau nu printr-un abrupt (prag) dincolo de buza (zăvorul) circului. Abruptul circului poate lipsi în anumite situații, mai ales acolo unde circurile sunt însoțite de văi glaciare, trecerea făcându-se gradual în acest caz. Mai mult, pentru a fi definit ca un circ glaciare clasic, acesta trebuie să dețină și o cuvetă glaciară de dimensiuni apreciabile.

Variabila care definește cel mai bine forma unui circ este gradul de zăvorâre, care poate fi de două tipuri: gradul de zăvorâre orizontală (*plancirc*) și verticală (*profcirc*) (Fig. 8.1). Ambele definesc forma circurilor, dar indică și gradul de dezvoltare al acestora. De regulă, zăvorârea

circurilor a fost cel mai puțin modificată după deglaciație fiind, așadar, foarte aproape de realitatea morfologică din timpul glaciației.

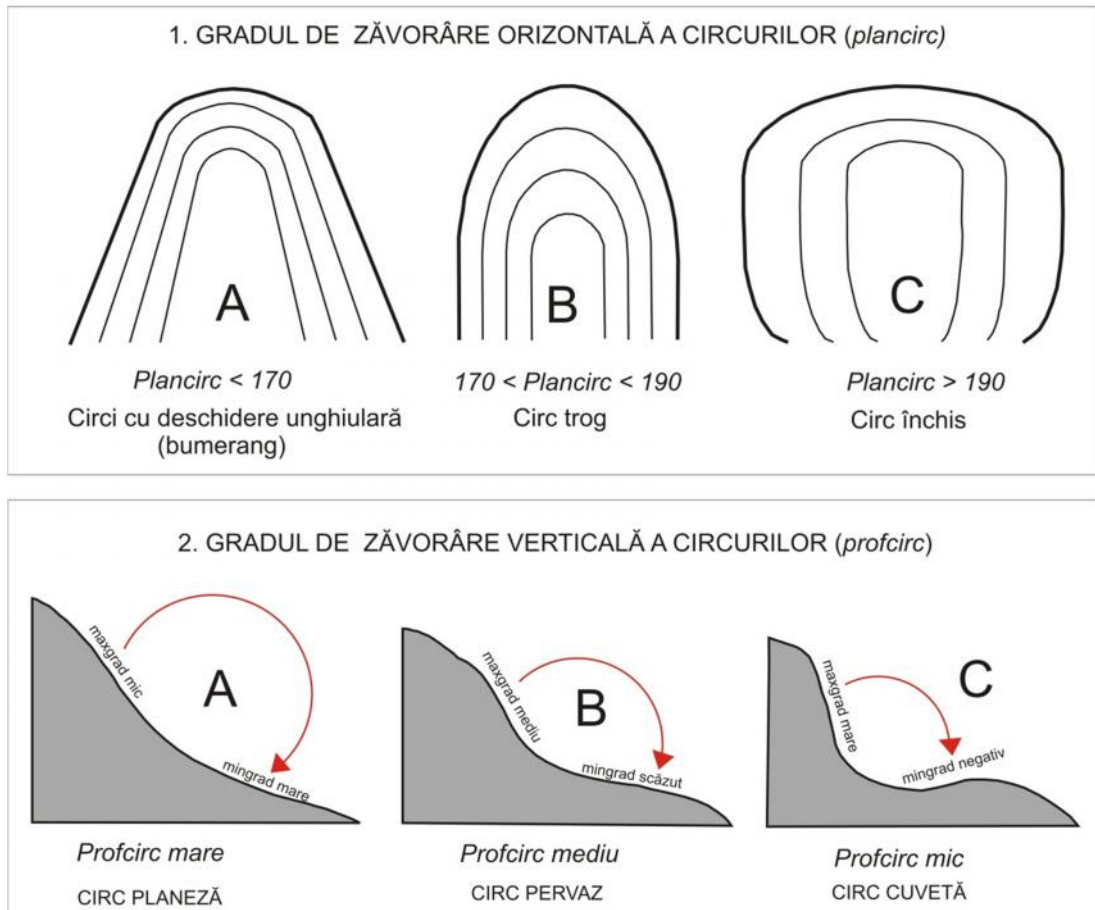


Figura 8.1. Gradul de zăvorâre orizontală (1 - *plancirc*) și verticală (2 - *profcirc*) a circurilor glaciare.

Circurile glaciare pot fi definite și clasificate după forma în plan sau după profilul longitudinal. În raport cu primul dintre cele două criterii, *forma în plan*, se deosebesc circuri închise (1c), circuri de tip trog (1b) și circuri evazate sau cu deschidere unghiulară (1a) (Fig. 8.1). Una dintre tendințele principale care se manifestă în dezvoltarea circurilor este aceea de închidere a acestora în corpul muntelui, evoluând, în timp, către circuri închise. Evident, acestea reprezintă tipul de circ cu maturitate avansată. Înainte de a ajunge în acest stadiu, însă, circurile glaciare trec, de regulă, prin faza de circ evazat, larg deschis spre aval, și apoi prin cea de trog, cu laturile spătarului paralele între ele. Din perspectivă evolutivă, aceste tipuri de circ determinate în raport cu caracteristicile de formă constituie, totodată, faze de evoluție în dezvoltarea circurilor glaciare până la ating stadiului de maturitate deplină (circ închis) (Fig. 8.2).

În funcție de *profilul longitudinal al circurilor* se deosebesc trei tipuri de circuri: cuvetă, planeză și pervaz (Fig. 8.1). Circurile cuvetă (2c) prezintă un zăvor foarte bine exprimat în morfologie, astfel încât se realizează un profil longitudinal cu aspect de cuib închis din toate părțile. Pentru că aspectul podelei constituie factorul cel mai relevant în cazul acestei clasificări, următoarele tipuri de circuri au fost denumite, destul de sugestiv, de „tip pervaz” (2b) și circuri „planeză” (2c). *Circurile planeză* au podeaua în pantă (amplitudinea podelei

este mare, variabila *amplipod* având o valoare ridicată), însă fără a depăși valoarea critică specifică podelelor de circ, în timp ce la *circurile pervaz* podeaua prezintă o diferență de nivel (*amplipod*) cât mai scăzută. Cazurile tipice de circ pervaz pot fi identificate intuitiv pe hărțile topografice datorită faptului că podeaua este reprezentată prin doar câteva curbe de nivel.

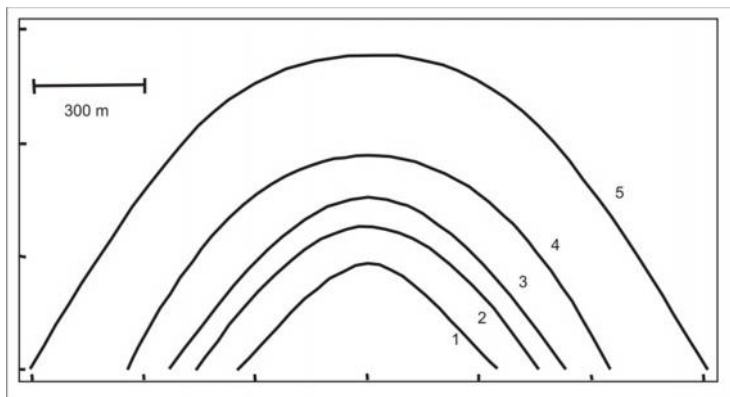


Figura 8.2. Dezvoltarea circurilor în plan după 5 ordine de mărime, de la cele marginale (1) până la cele mai dezvoltate, clasice (5). Generalizare: s-a utilizat *plancirc*, lățimea și $\frac{1}{2}$ din lungime (modificată și adaptată după Evans, 2006).

La fel ca în cazul gradului de zăvorâre orizontală, dezvoltarea circurilor în profil longitudinal trece prin mai multe stadii, de la circurile cel mai slab dezvoltate (marginale) până la cele foarte bine dezvoltate (clasice). Cele 5 stadii de evoluție identificate se caracterizează prin modificarea progresivă a declivității podelei și spătarului: descreșterea declivității pentru podele și creșterea gradientului pentru spătare (Fig. 8.3).

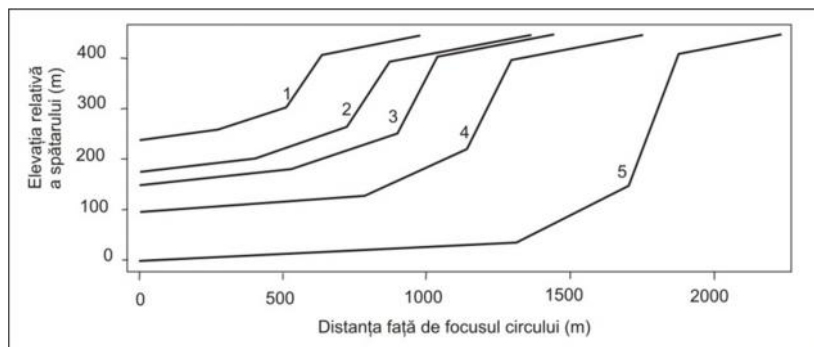


Figura 8.3. Dezvoltarea circurilor glaciare în profil după 5 ordine de mărime, de la circurile marginale (1) până la cele clasice (5) (modificată și adaptată după Evans, 2006).

Forma circurilor glaciare a fost descrisă, cel mai adesea, ca fiind asemănătoare unei scobituri de dimensiuni variate, închisă pe trei laturi și deschisă spre aval. În fapt, forma circului este dată de aspectul construcției care rezultă din arcuirea spătarului în jurul podelei, și poate fi echivalată cu gradul de zăvorâre orizontală a circului. Această variabilă este deosebit de utilă atât în definirea formei circului, cât și pentru identificarea proceselor de eroziune glaciară specifice ghețarilor de circ, cu atât mai mult cu cât, spre deosebire de alte urme ale eroziunii glaciare, gradul de zăvorâre a circurilor a fost cel mai puțin modificat după deglaciație.

Pentru evaluarea formei în plan a circurilor din Carpații Românești a fost măsurată variabila *plancirc*, care determină gradul de deschidere al circurilor glaciare spre aval. În funcție de valorile pe care le ia aceasta, circurile carpatice au fost atribuite la 6 clase morfometrice de formă (tabel 8.1 și Fig. 8.4): circuri foarte deschise (cu valori sub 90°), deschise ($90^\circ - 130^\circ$), ușor deschise ($130^\circ - 170^\circ$), trog ($170^\circ - 190^\circ$), ușor închise ($190^\circ - 230^\circ$) și închise (peste 230°).

În cadrul populației de circuri carpatice, cele mai multe sunt circuri deschise sau ușor deschise, iar ponderea celor foarte deschise este mai mare decât cea a circurilor trog. Cele mai slab reprezentate sunt circurile ușor închise (7%) și închise (1,8 %). Având în vedere faptul că doar 22% dintre circurile glaciare dețin cuvete glaciare (acestea fiind privite ca un element de maturitate glaciară), ocupate astăzi de lacuri sau turbării (Mîndrescu et al., 2016), putem presupune că doar aprox. 20%, dintre circurile carpatice atinseseră un anumit grad de maturitate glaciară, în timp ce aproape 80% se găseau la finalul glaciației în diferite stadii de evoluție.

Table 8. 1. Forma circurilor glaciare din Carpații Românești în funcție de gradul lor de zăvorăre orizontală (*plancirc*)

Forma circului	Nr. circuri	Frecvența relativă, %	Frecvența cumulată, %
foarte deschise	98	14.89	14.89
deschise	196	29.79	44.68
ușor deschise	230	34.95	79.64
trog	76	11.55	91.19
ușor închise	46	6.99	98.18
închise	12	1.82	100

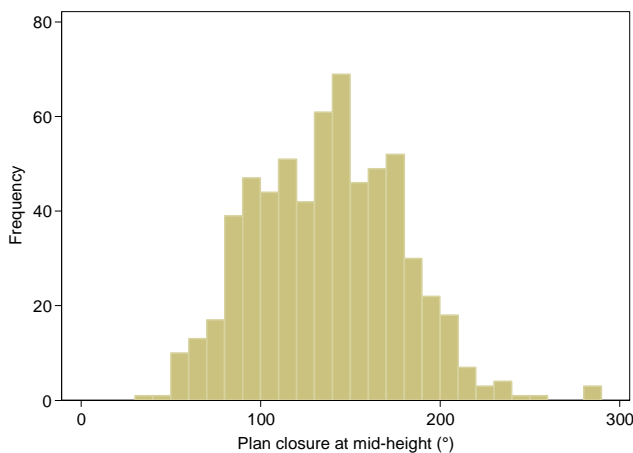


Figure 8.4. Forma în plan a circurilor glaciare din Carpații Românești (*plancirc*).

La nivel regional se păstrează aceleași diferențe privind cele 6 clase de formă ale circurilor glaciare (tab. 8.2). Media variabilei de formă (*plancirc*) prezintă valori asemănătoare în CR și în cele două ramuri principale ale sale. Totuși, se remarcă existența unui număr proporțional mai mare al circurilor ușor închise și închise în AT.

Table 8.2. Clasele de formă a circurilor și repartiția lor în cele trei ramuri carpatice

Forma circului	Carpații Orientali	Alpii Transilvaniei	Biharia
foarte deschise	18 – 18%	79 – 14,2%	1 – 25%
deschise	29 – 29 %	164 – 29,6%	3 – 75%
ușor deschise	37 – 37%	193 – 34,8%	-
trog	11 – 11%	65 – 11,7%	-
ușor închise	3 – 3%	43 – 7,7%	-
închise	2 – 2%	10 – 1,8%	-

Valorile medii ale tuturilor ariilor glaciare (21) pun în evidență unele diferențieri dintre populațiile de circuri la nivel regional (tab. 8.3). În cadrul populațiilor cu număr mic de circuri predomină circurile cu cel mai mic grad de zăvorâre (cele mai slab dezvoltate), așa cum este cazul în munții Călimani, Biharia, Muntele Mic, Șureanu și Latorița, în timp ce numărul cel mai mare de circuri închise se găsesc în populațiile din Lotru, Bucegi sau Cindrel. În cazul populațiilor cu număr mare de circuri, cele mai deschise apar, detașat de restul grupului, în munții Țarcu.

Restul populațiilor se împarte în două categorii: pe de o parte, masivele de la extremitatea AT (Godeanu, Iezer), care, împreună cu Rodna și Maramureș, au valori medii ale variabilei *plancirc* cuprinse între 124⁰ și 135⁰, iar, de cealaltă parte, masivele aparținând grupului altitudinal 2500 (Retezat, Parâng și Făgăraș), cu valori medii cuprinse între 143⁰ și 151⁰. Putem, deci, conchide că gradul de închidere / zăvorâre a crescut direct proporțional cu altitudinea maximă a ariilor glaciare respective.

Table 8.3. Forma circurilor glaciare din cele 21 de masive glaciare din Carpații Românești în funcție de gradul de zăvorâre (*plancirc*)

Masivul	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Călimani	8	92.5	19.5	59	114
Biharia	4	105.8	14.9	88	122
Țarcu	60	111.5	41.9	37	210
Muntele Mic	2	112.5	29.0	92	133
Șureanu	5	113.8	28.5	79	156
Latoriței	4	121.0	33.2	74	151
Țibleș	2	122.0	35.4	97	147
Iezer	41	124.8	37.8	58	191
Godeanu	71	125.7	32.4	53	206
Rodna	48	131.5	43.8	55	228
Retezat Sud	39	134.4	42.0	71	235
Maramureș	28	135.1	33.2	69	192
Făgăraș Sud	120	142.9	40.4	67	258
Făgăraș	210	143.5	39.6	50	258
Retezat	89	143.8	41.1	59	235
Făgăraș Nord	90	144.3	38.8	50	237
Parâng	52	145.2	42.6	72	280
Retezat Nord	50	151.1	39.3	59	219
Lotru	11	152.6	50.3	107	283
Bucegi	11	153.8	24.4	92	183
Cindrel	8	160.0	52.4	108	281

Analiza valorilor medii ale variabilei *plancirc* indică faptul că se individualizează trei tipuri de populații de circuri cu forme diferite (tab 8.3 și Fig. 8.5), și anume: circurile cu valori medii ale variabilei *plancirc* cuprinse între 92⁰ și 122⁰ (caracteristice ariilor glaciare cu număr mic de circuri), circuri cu valori medii cuprinse între 125⁰ și 143⁰ (specifice ariilor glaciare de la extremitățile Alpilor Transilvaniei și nordul Carpaților Orientali), și circurile cu valori medii ale gradului de zăvorâre de peste 143⁰, care au frecvența cea mai mare în masivele aparținând grupului altitudinal 2500 și în cele cu populații medii de circuri.

Analiza formei circurilor glaciare în funcție de apartenența acestora la principalele bazine hidrografice confirmă cele afirmate mai sus, întrucât cele mai bine zăvorâte circuri sunt cele din nordul CO și AT, cu excepția bazinului Timiș (Fig. 8.6).

Analiza în comun a formei și ordinului circurilor pune în evidență, pe de o parte, circurile clasice și bine dezvoltate (cu cele mai mari grade de închidere), iar pe de alta, pe cele slab dezvoltate și marginale, care se caracterizează prin forme evazate sau foarte evazate. În poziție intermediară se găsește cel mai compact grup al circurilor glaciare din CR, respectiv cel care cuprinde circurile dezvoltate, al căror grad de zăvorâre (*plancirc*) are valori cuprinse între 100^0 și 150^0 (Fig. 8.7).

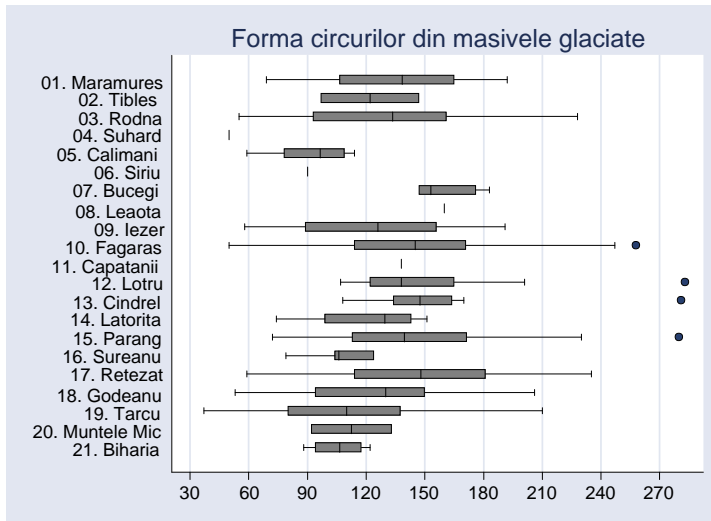


Figura 8.5. Forma circurilor glaciare din ariile glaciare din Carpații Românești (*plancirc*).

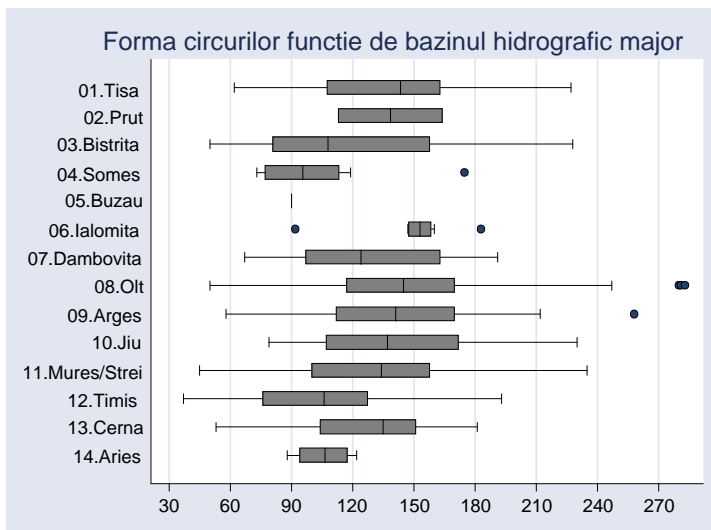


Figura 8.6. Forma circurilor în funcție de bazinele hidrografice în care sunt situate (*plancirc*).

În funcție de poziția circurilor în cadrul bazinelor hidrografice, apar diferențe sensibile privind forma acestora (Fig. 8.8), circurile de obârșie având forme mai bine dezvoltate prin comparație cu cele de versant. Formele cele mai mature aparțin circurilor complexe (de tip *outer*), ceea ce pare să confirme ideea că acestea s-au format pe parcursul mai multor faze glaciare și nu sunt doar simple circuri în trepte, așa cum au fost interpretate și clasificate în anumite studii (Iancu, 1962). Această ipoteză a ciclurilor glaciare multiple este susținută și

de faptul că aceste circuri sunt și cele mai dezvoltate, cu forme mature și dimensiuni mari, și care includ circuri componente (circuri interne).

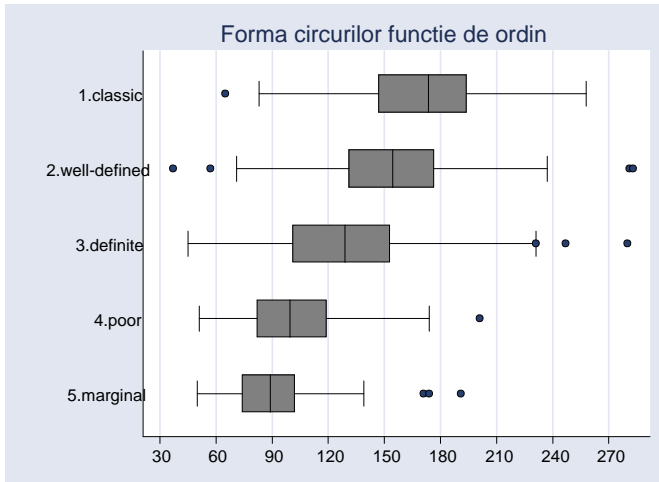


Figura 8.7. Forma circurilor (*plancirc*) în funcție de gradul de dezvoltarea a acestora (*ordinul circurilor*).

Deși s-au format pe amplasamentul altor circuri glaciare, cu rol de gazdă, circurile interne prezintă, la rândul lor, forme destul de evolute, mai ales dacă avem în vedere timpul mai scurt în care acestea au funcționat. Fără îndoială că acest fapt a fost favorizat și de ambianța topoclimatică de care au profitat, moștenind amplasamente care fuseseră anterior glaciare. Însă, în același timp, este posibil ca ghețarii de circ din circurile complexe și interne să fi funcționat concomitent.

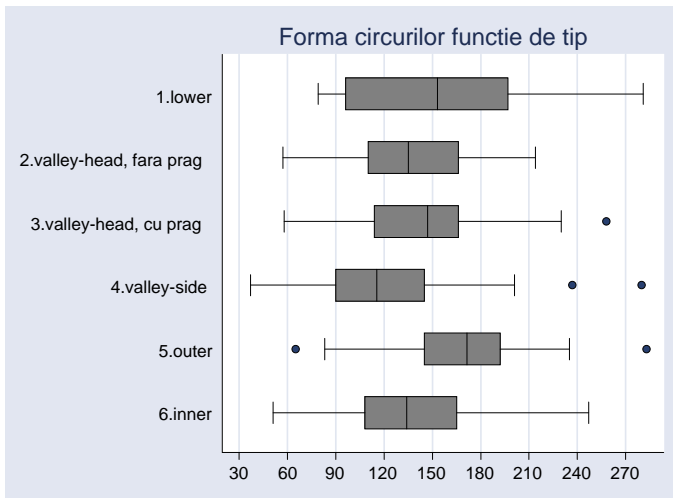


Figura 8.8. Forma circurilor (*plancirc*) în funcție de tipul circurilor. 1 - circuri joase; 2 - circuri de obârșie fără abrupt (prag); 3 - circuri de obârșie cu abrupt; 4 - circuri de versant; 5 - circuri complexe (*outer*); 6 - circuri interne (*inner*).

Există, de asemenea, o corelație și între orientarea circurilor glaciare și gradul acestora de închidere orizontală. Analiza populației de circuri din Carpații Românești indică faptul că circurile cu orientări nordice, nord-estice, estice și sud-estice prezintă formele cele mai mature (Fig. 8.9), fapt care se datorează, pe de o parte, insolației mai reduse de pe versanții nordici și nord-estici, iar, pe de alta, deflației care a favorizat edificarea construcțiilor nivale de pe versanții estici și sud-estici. Gradul scăzut de insolație a avantajat, în special, versanții nordici ai unor arii montane cu masivitate ridicată (Făgăraș, Parâng, Retezat sau Rodna), în timp ce deflația nivală a favorizat pantele adăpostite, mai ales cele din munții Maramureș,

Godeanu, Țarcu, sau crestele sudice ale masivului Făgăraș, arii în care s-au dezvoltat cele mai mature circuri, cu forme dintre cele mai evolute.

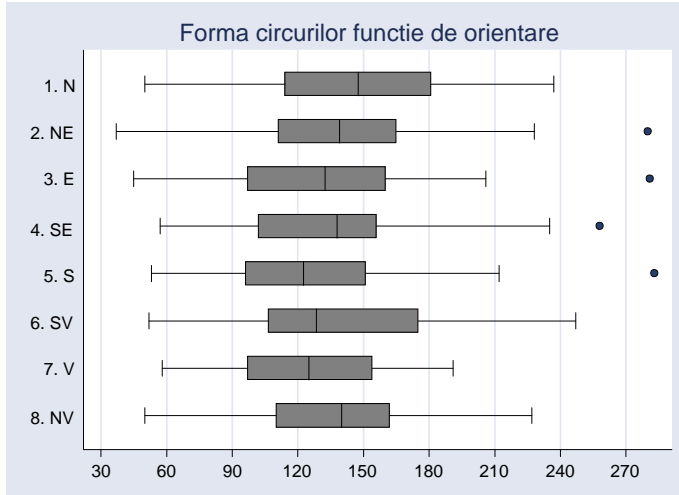


Figura 8.9. Forma circurilor (*plancirc*) în funcție de orientare.

În sectoarele centrale și de vest ale masivelor glaciare s-au format cele mai dezvoltate circuri glaciare. Pentru că majoritatea circurilor aparțin Alpilor Transilvaniei, au fost delimitate mai multe sectoare longitudinale decât latitudinale. Astfel, cu cât ghețarul de circ s-a situat mai spre marginea vestică sau în centrul ariei montane, cu atât s-au dezvoltat circuri cu forme mai evolute (Fig. 8.10).

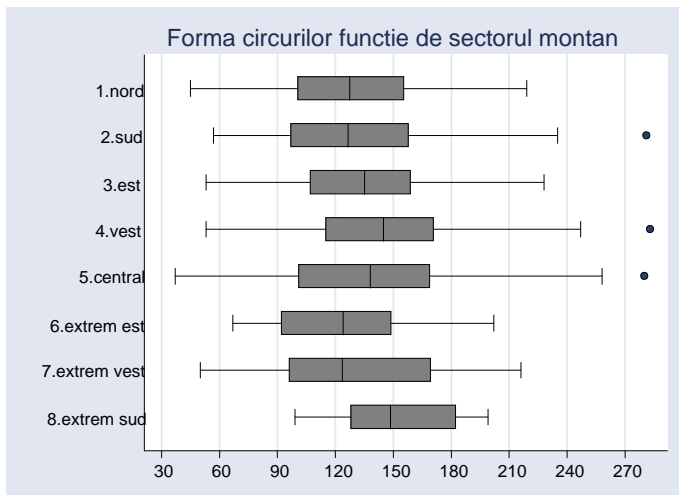


Figura 8.10. Forma circurilor (*plancirc*) în funcție de poziția acestora în cadrul masivelor glaciare.

Forma circurilor este diferită și de la un tip de rocă la altul, însă nu atât de mult precum ne-am fi așteptat. Din acest punct de vedere, se evidențiază două tendințe în dezvoltarea circurilor în funcție de litologie (Fig. 8.11): i). în ariile cu roci mai puțin dure (clasele 01-06) forma circurilor este mai puțin evoluată și fără variații de la o rocă la alta; ii). în ariile cu roci mai dure (clasele 10-16) forma circurilor este mai evoluată și mai diversificată, indicând variații sensibile de la un tip de rocă la altul. Astfel, rocile mai dure nu au împiedicat formarea circurilor, dar, în schimb, au contribuit la diversificarea substanțială a formelor acestora. Gradele maxime de zăvorâre a circurilor se întâlnesc pe roci de tipul micașturilor, granitelor sau gnaiselor în combinație cu micașturi. Însă cele mai frumoase forme ale circurilor s-au conservat pe roci care includ conglomeratele cenomaniene, calcarele

cristaline, amfibolitele sau cuarțitele. Indiferent de litologie, ghețarii de circ și-au impus propria personalitate în morfologie, reflectată de forma circurilor glaciare actuale.

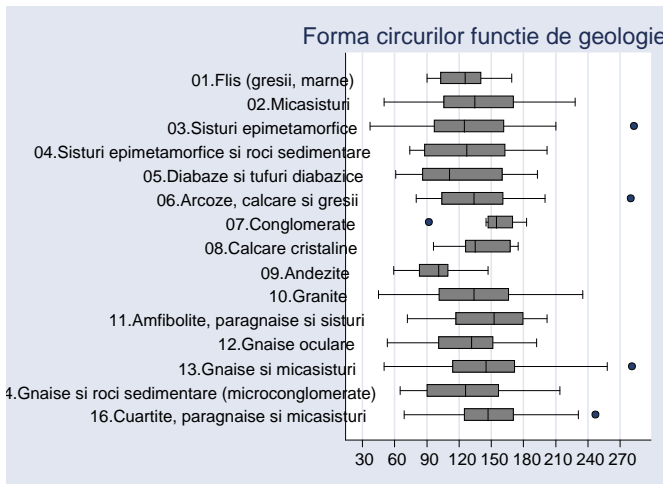


Figura 8.11. Forma circurilor glaciare (plancirc) în funcție de litologie.

Alături de forma în plan a circurilor a fost determinat un set adițional de variabile care reflectă forma în profil longitudinal a acestora (*profcirc*). Întrucât această variabilă reprezintă diferența dintre variabilele *maxgrad* și *mingrad*, valorile sale indică unghiul diedru format de cele două planuri principale ale circurilor: spătarul și podeaua. Astfel, cu cât valoarea variabilei este mai mare, cu atât unghiul este mai mic, respectiv, cirul este mai închis pe verticală (gradul de zăvorâre verticală). Valoarea maximă a acestui parametru poate să ajungă la valoarea de 90°, în cazul în care spătarul ar avea 90° iar podeaua ar fi netedă, orizontală (0°), sau ocupată în întregime de o cuvetă lacustră. Teoretic, sunt posibile și valori mai mari de 90°, atunci când podeaua este în contrapantă, iar spătarul este vertical.

Tabel 8.4. Gradul de zăvorâre verticală a circurilor (*profcirc*) din Carpații Românești

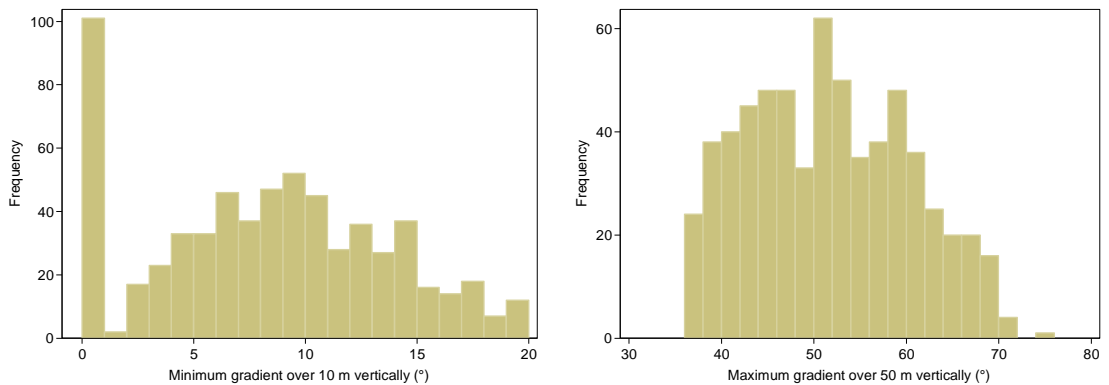
<i>profcirc</i>	Nr. circuri	Frecvența relativă, %	Frecvența cumulată, %
sub 20°	12	1.82	1.82
20-30°	89	13.53	15.35
30-40°	205	31.16	46.5
40-50°	163	24.77	71.28
50-60°	131	19.91	91.19
peste 60°	58	8.81	100

Datele statistice din tab. 8.5 indică faptul că cele mai dezvoltate circuri, cu podele domoale sau în contrapantă și spătare înclinate (grad mare de zăvorâre verticală mai mare de 50°) sunt cele din munții Făgăraș, Retezat, Godeanu, Parâng și Rodna. Acestea sunt fie arii montane cu altitudini ridicate, fie zone situate spre extremitățile lanțului carpatic românesc.

Declivitatea (*maxgrad*) și elevația (*hspat*) spătarului au dus la individualizarea mai multor categorii de circuri, dintre care cele mai spectaculoase sunt cele cu spătar de tip *jilț*. Spătarul de tip *jilț* prezintă înălțimi mai mari de 300 m și declivități care depășesc 50°. Un număr de 75 de circuri glaciare din CR dețin spătare de acest tip (11,4 % din total). Astfel de spătare sunt foarte caracteristice pentru munții Făgăraș (50%), însă se întâlnesc și celelalte arii glaciare importante din România, printre care munții Maramureș, Rodna, Iezer, Bucegi (1), Parâng, Retezat și Godeanu, și lipsesc din munții Țarcu.

Table 8.5. Gradul de zăvorăre verticală a circurilor (*profcirc*) în cele 21 de arii glaciare din Carpații Românești

Masivul	sub 20°	21-30°	31-40°	41-50°	51-60°	>61°	total
Făgăraș	3	15	58	56	55	23	210
Retezat	0	9	14	29	23	14	89
Godeanu	1	10	24	18	14	4	71
Țarcu	0	16	27	11	6	0	60
Parâng	1	2	14	13	12	10	52
Rodna	0	10	16	8	10	4	48
Iezer	2	9	19	10	1	0	41
Maramureș	0	3	14	8	2	1	28
Bucegi	0	0	5	2	3	1	11
Lotrului	0	2	4	3	2	0	11
Călimani	3	4	1	0	0	0	8
Cindrel	0	1	1	3	2	1	8
Șureanu	0	3	0	1	1	0	5
Latorița	0	1	3	0	0	0	4
Biharia	1	0	3	0	0	0	4
Țibleș	0	1	1	0	0	0	2
Mt Mic	0	1	1	0	0	0	2
Suhard	1	0	0	0	0	0	1
Siriu	0	0	0	1	0	0	1
Leota	0	1	0	0	0	0	1
Căpăținii	0	1	0	0	0	0	1
Total	12	89	205	163	131	58	658

**Figure 8.12.** Unghiul minim de înclinare a podelelor, *mingrad* (stânga), și unghiul maxim de înclinare a spătarelor, *maxgrad* (dreapta) din Carpații Românești. Valoarea zero de la unghiul minim reprezintă podelele ocupate de lacuri glaciare pentru care s-a atribuit valoarea zero a înclinării.

Unghiul minim de înclinare al podelei (*mingrad*) reflectă cel mai bine aspectul acesteia și variază între 0° și 22°, însă 66% dintre circuri prezintă valori cuprinse între 0° și 12° (Fig. 8.12). *Circurile cuveta* sunt cele care dețin cuvete glaciare majore, și sunt în număr de 56 (8,5% din total) în CR, dintre care 52 în AT. *Circurile pervaz* (20% din totalul circurilor) sunt cele care fie dețin cuvete glaciare minore (54 de circuri - 8,2% din total), fie au valoarea

variabilei *mingrad* mai mică sau egală cu 5° (77 de circuri - 11,7% din total). La fel ca în cazul categoriei anterioare, podelele de tip pervaz sunt caracteristice doar principalelor arii glaciare din România, la care se adaugă Maramureș și Bucegi. *Circurile de tip planeză* sunt cele ale căror gradienti ai podelei (*mingrad*) sunt mai mari de 15° înclinare (79 circuri - 12 % din total). Spre deosebire de celelalte tipuri, acestea se întâlnesc în toate ariile glaciare cu excepția celor cu număr mediu de circuri (Bucegi, Cindrel, Lotru).

În ceea ce privește unghiul maxim de înclinarea a spătarului (*maxgrad*), valorile variază între 30° și 75° , însă 66% dintre circurile au valori cuprinse între 40° și 60° (Fig. 8.12). Spătarele cu înclinare mică indică o formă mai rudimentară a circului respectiv, și implică un grad scăzut de dezvoltare. Acestea au gradienti mai mici sau egali cu 40° și reprezintă 13,2 % din total (87 circuri). La polul opus se situează spătarele care au valori ale unghiului maxim de înclinare de peste 60° , specifice unor forme mai evoluate ale circurilor (tipice pentru ordinele 2 și 3) (90 de circuri). În ansamblu, forma circurilor este dominată de dimensiunile verticale în fazele incipiente de evoluție (ordinele mari), respectiv, de cele orizontale în stadiile mai mature (ordinele mici) (Fig. 8.13).

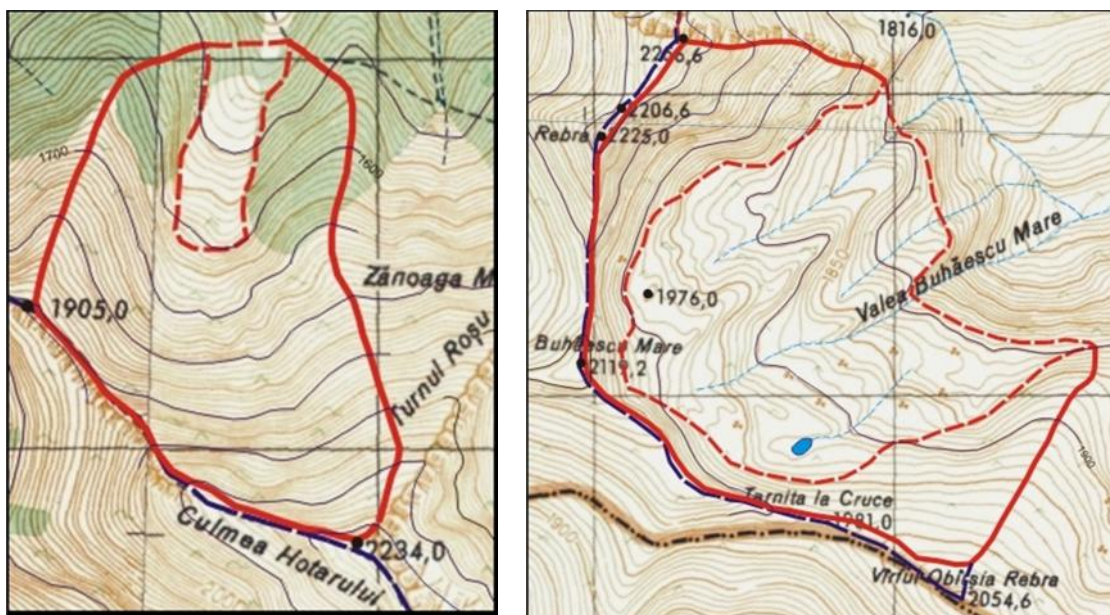


Figura 8.13. Un exemplu de circ slab dezvoltat a cărui formă este dominată de dimensiunile verticale (stânga): circul Sforac, C37 (masivul Rodna); și un exemplu de circ dezvoltat a cărui formă este dominată de dimensiunile orizontale (dreapta): circul Buhăescu, C47 (masivul Rodna).

Spre deosebire de variabilele de mărime, variabilele de formă măsurate aici au distribuții simetrice. Valorile medii ale variabilelor *mingrad* și *maxgrad* sunt de 8° (ds 5°) și, respectiv, 51° (ds 9°), iar valoarea medie a înclinării axei mediane este de 24° (ds 6°). Media valorii gradului de zăvorâre orizontală este de 137° (ds 40°).

La nivel regional, circurile din Călimani sunt caracterizate de formele cele mai sărace, urmând Bihor, Maramureș, Iezer și Țarcu. Cele mai înclinate spătare se găsesc în Făgăraș, Retezat și Parâng, iar cele mai reduse înclinări ale podelelor se găsesc în Retezat, Parâng și Lotru-Cindrel (pe trenele granitice). Acestea din urmă, alături de circurile din munții Bucegi, au cele mai ridicate grade de zăvorâre orizontală din Carpații Românești, și cele mai evoluate forme (mai multe detalii în Mîndrescu & Evans, 2014).

În ceea ce privește forma în plan a circurilor (evaluată prin variabila *plancirc*), analiza statistică a relevat faptul că cele mai multe dintre circurile carpatice sunt deschise și ușor

deschise, în timp ce circurile ușor închise (7%) și închise (1,8%) reprezintă mai degrabă rarități în cadrul populației din CR. Putem, deci, admite că marea majoritate a circurilor carpatice (cca. 80%) erau la finalul glaciației în plin proces de evoluție, și doar aprox. 20% puteau fi considerate circuri mature. Cu toate acestea, valorile *plancirc* ale circurilor carpatice sunt comparabile cu cele din Columbia Britanică (Canada) și sunt mai ridicate comparativ cu cele din Marea Britanie (mai multe detalii în Mîndrescu & Evans, 2014).

8.1. Dezvoltarea alometrică a circurilor

Conceptul de alometrie a fost dezvoltat pentru prima dată în domeniul biometriei (Thompson, 1942). Circurile glaciare evoluează și se măresc după cele trei axe de dezvoltare (lungime, lățime și înălțimea spătarului), devenind din ce în ce mai concave atât în profilul vertical, cât și în plan. Dacă axele de dezvoltare se schimbă cu aceeași rată o dată cu creșterea mărimii (aria cercului), atunci avem de a face cu o *dezvoltare izometrică*, adică circurile mici vor avea aceeași formă cu a celor de mari dimensiuni (dezvoltare echilibrată în lungul celor trei axe). Din contra, dacă una din axele de dezvoltare variază diferit față de celelalte, este vorba de o *dezvoltare alometrică* (disproporționată). De menționat faptul că, în situația unei dezvoltări izometrice toate valorile de creștere ale axelor de dezvoltare trebuie să fie egale cu 1, iar suma lor trebuie să fie egală cu 3. În cazul în care una dintre axe crește mai repede (are valoarea peste 1), atunci alta trebuie să scadă sub 1: aceasta este dezvoltarea alometrică.

Rezultatele prezentate în această secțiune se bazează atât pe cercetările din CR, cât și din alte zone glaciare de pe Glob: British Columbia, Marea Britanie, Scandinavia și Spania. Datele obținute arată că, pe măsură ce crește dimensiunea circurilor, lungimea se mărește mai repede decât dimensiunile verticale (înălțimea spătarului) ale cercului. Acest lucru a fost confirmat în 95% dintre situații (c95), indiferent de regiunea în care se găsesc circurile.

Astfel, rezultatele sunt consistente în confirmarea dezvoltării alometrice a circurilor glaciare: circurile de mari dimensiuni sunt sensibil mai lungi și mai largi decât sunt adâncite. Coeficienții aferenți lungimii și lățimii sunt, în general, mai mari de 1,0, în timp ce coeficienții pentru adâncime sunt semnificativ mai mici (tab. 8.6), iar în majoritatea regiunilor, coeficientul de creștere a lungimii îl depășește pe cel al lățimii.

Table 8.6. Coeficienții de creștere ai variabilelor dimensionale. N - număr circuri; L - exponentul pentru lungime; l - exponentul pentru lățime; A - exponentul pentru amplitudinea totală; H - exponentul pentru înălțimea spătarului; BC - British Columbia; NZ - Noua Zeelandă

Regiunea	N	L	l	A	H	Sursa bibliografică
Romania	631	1,10	1,04	0,86	0,87	Mîndrescu, 2014
Scandinavia	541	1,18	0,99	0,84	0,65	Hassinen, 1998
Blanca, Stâncoși	15	1,14	1,20	-	0,66	Olyphant, 1977
Lake District	158	1,17	1,10	0,74	0,75	Evans&Cox, 1995
Pirineii Centrali	260	1,17	1,06	-	0,77	Garcia-Ruiz et al., 2000
Cayoosh, BC	198	1,10	1,05	0,85	0,83	Evans&McClellan, 1995
Alpii Maritimi	432	1,08	1,08	-	0,84	Federici&Spagnolo, 2004
Bendor, BC	222	1,12	0,98	0,91	0,84	Evans, 1994
Țara Galilor	260	1,12	0,98	0,90	0,91	Evans, 2006
Ben Ohau, NZ	94	0,99	1,00	-	1,01	Brooks et al., 2006

Conform bazei de date a circurilor din Carpații Românești, lungimea circurilor are un ritm de creștere egal cu 1.095 ± 0.032 , lățimea crește cu 1.043 ± 0.051 , iar amplitudinea doar cu 0.861 ± 0.046 . Prin urmare, lungimea circurilor crește cel mai mult o dată cu mărimea circurilor; amplitudinea crește și ea, dar cu mult mai puțin prin comparație cu cât o face lungimea față de lățime. Deci, circurile carpatice se dezvoltă mai mult în lungul axelor orizontale, mai ales în lungul axei mediane (a lungimii), însă au rate mai mici de creștere în lungul axei verticale. Astfel, o dată cu creșterea axelor de dezvoltare se schimbă și forma circurilor carpatice (dezvoltare alometrică). În concluzie, dezvoltarea alometrică este confirmată și pentru circurile din Carpații Românești (Fig. 8.14), la nivelul celor trei grupuri importante: nordul Carpaților, Făgăraș și vestul Alpilor Transilvaniei (grupa Retezat) (pentru mai multe detalii consultați Mîndrescu & Evans, 2014).

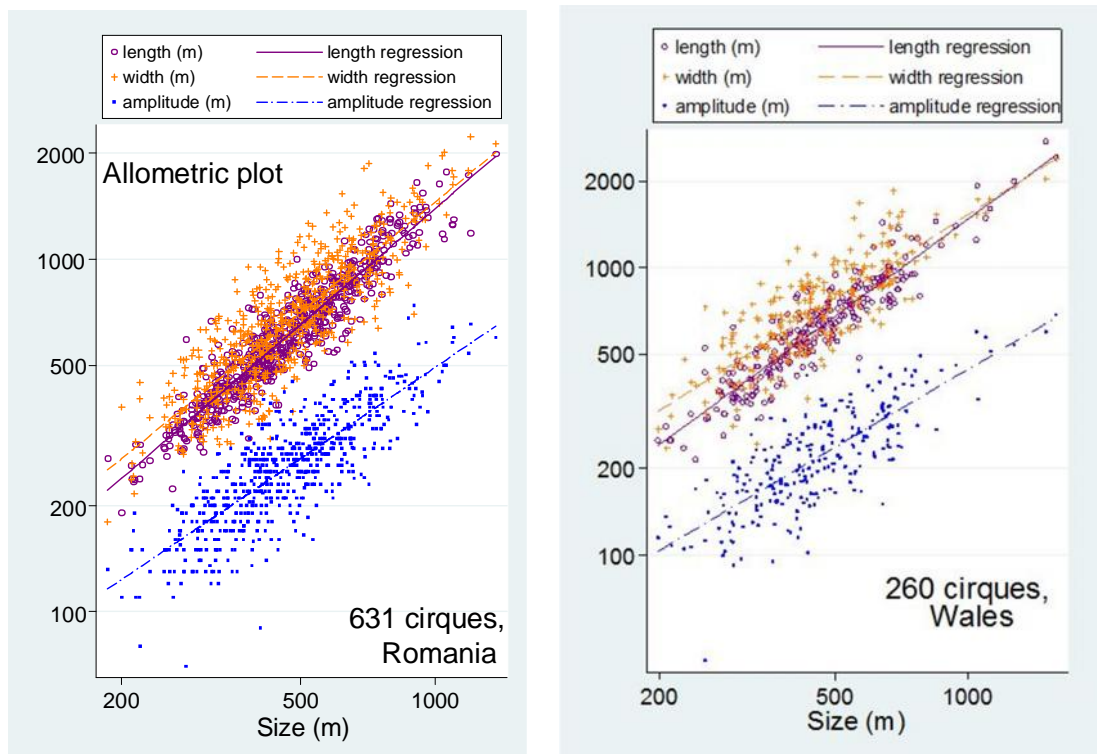


Figura 8.14. Dezvoltarea alometrică a circurilor glaciare din Carpații Românești (stânga) și Țara Galilor (dreapta - Evans, 2006).

Corelațiile dintre cele trei variabile dimensionale sunt foarte slabe, demonstrând faptul că dezvoltarea circurilor variază foarte mult, iar influența sitului montan inițial rămâne primordială. Forma cirului glaciare este, la rândul său, la fel de diversă, astfel încât numai o mică parte dintre diferențele dintre circuri poate fi explicată prin altitudine, orientare și geologie.

9. Orientarea circurilor glaciare

În ariile montane cu desfășurare în lungul paralelelor, linia zăpezilor a fost mai joasă pe versanții nordici, umbriți, față de cei sudici, însoriți, astfel încât versanții nordici și nord-estici au fost mai puternic glaciați comparativ cu cei sudici sau sud-vestici. În emisfera nordică circurile glaciare sunt, în general, mai mari și mai numeroase pe versanții nordici și estici, față de cei sudici și vestici, cele din urmă fiind ocupate astăzi doar de ghețari de mici dimensiuni sau de bancuri de zăpadă (Flint, 1947). La latitudinile medii din emisfera nordică majoritatea circurilor bine dezvoltate sunt orientate între 0° și 90° (cadranul de NE) (Embleton & King, 1968), punct de vedere susținut și de Evans (1977) în studiul său la scară mondială.

Cercetarea cauzelor acestor diferențieri și asimetrii a arătat că influența radiației solare și a modului de manifestare a ablației (pe fața muntelui, respectiv pe dosul muntelui) constituie factorii cei mai importanți. Alte cauze secundare includ: deflația nivală și regimul diurn al temperaturii (cu diferențe termice de tip dimineață - după amiază, versanții sudici și vestici primind căldură în timpul celei mai calde perioadă a zilei, după Lobeck (1939), în timp ce topografia este mai puțin relevantă.

În ariile montane cu desfășurare în lungul meridianelor circurile sunt mai numeroase pe versanții estici, fapt ce indică susceptibilitatea mai mare la glaciație a acestora. La latitudinile mijlocii, vânturile de vest (*westerlies*) (n.n. viscolul glaciatic din timpul Pleistocenului) spulberau zăpezile de pe versanții vestici, dinspre vânt, și formau bancuri de zăpadă pe versanții estici, adăpostiți (Enquist, 1916). Deși această opinie nu a fost confirmată de datele meteorologice, a fost acceptată, în mod general, de geomorfologii și glaciologii din trecut (Romer, 1905; Woldsted, 1929; Louis, 1933; Lobeck, 1939, Flint 1949; Embleton & King, 1968; Pitty, 1971).

În ansamblu, se admite generalizarea conform căreia în emisfera nordică circurile sunt mai mari și mai numeroase pe versanții nordici și estici (Flint, 1949), această distribuție fiind valabilă și în acele regiuni unde zăpezile aeropurtate au vergență vestică. Klimaszewski (1993) consideră că un rol important pentru glaciație l-au avut condițiile macro- și mezoclimatice, acestea influențând distribuția, mărimea, dar și orientarea ghețarilor.

Deși în general este acceptată aproape unanim ideea că versanții nordici și nord-estici au fost mai puternic glaciați, au fost documentate și excepții, așa cum este cazul munților Pirinei, unde pe versantul de nord au fost contabilizate 17 de surse de gheață și firn, cu o suprafață totală de 3200 km², iar pe cel sudic, însorit, au fost găsite 20 de surse de gheață, dar cu o suprafață totală tot de 3200 km², deși linia zăpezilor a fost mult mai ridicată față de versantul opus.

În munții Alpi, cei mai mari ghețari pleistoceni (16) sunt distribuiți astfel: 7 sunt orientați spre nord, iar restul de 9 sunt orientați către sud, sud-est și sud-vest. În munții Tatra, versanții sudici, însoriți, au fost mai puternic glaciați comparativ cu cei nordici, adăpostiți, iar ghețarii au fost mai numeroși și mai lungi pe văile sudice, față de cele nordice (Klimaszewski, 1993). În masivul Triglav (ex-Iugoslavia) lungimea medie a ghețarilor pleistoceni de pe versantul nordic a fost de 6,3 km, comparativ cu cei sudici, care atingeau până la 9,2 km (Milojević, 1939).

În prezent, cei mai mulți dintre ghețarii din Alpi sunt orientați spre nord sau nord-est, în timp ce doar 5 (ex. Aletsch) dintre cei mai mari ghețari alpini (12) sunt situați pe pantele de sud și sud-est. De asemenea, trei dintre cei mai mari ghețari din Caucaz (6) curg astăzi spre est, iar 5 dintre cei mai mari din Karakorum (10) sunt situați pe versanții de SE, S și SV (Klimaszewski, 1993).

În ariile montane cu desfășurare în lungul meridianelor, versanții estici au fost mai puternic glaciați datorită unui complex de factori:

- vântul dominant de vest a spulberat zăpada fără ca aspectul în plan al culmilor să aibă vreo importanță;
- rata de ablație este mai scăzută în timpul dimineții decât după amiază (Lobeck 1939; Evans, 1977);
- au existat diferențe morfologice preglaciare între versanții vestici și cei estici.

Ghețarii de circ s-au format selectiv în funcție de orientarea versanților principali, preferând versanții adăpostiți față de insolație și de vânt. Pentru că majoritatea creștelor glaciare din Carpații Românești sunt desfășurate de la vest la est, au rezultat doi versanți principali, cu expunere nordică și sudică. Astfel, era de așteptat ca orientarea circurilor din CR să depindă într-o măsură semnificativă de expoziția versanților, însă lucrurile nu s-au întâmplat întocmai.

Dacă repartitia circurilor depinde foarte mult de expoziția versanților principali, orientarea lor, în schimb, demonstrează faptul că ghețarii de circ au avut mai multe grade de libertate imediat după formare. Fiind un agent unidirecțional, constrâns de topografie, ghețarul de circ s-a caracterizat printr-un vector de mișcare foarte constant și clar exprimat, care, de cele mai multe ori, nu a depins într-un tot de expoziția versantului pe care s-a format.

Astfel, dintre cele 658 de circuri carpatice inventariate, 55% sunt orientate spre nord, nord-est și est. Dintre cele 8 clase ale orientării circurilor determinate în acest studiu, circurile estice sunt cele mai numeroase (130). Tendința estică este mai pregnantă în AT, în ciuda desfășurării culmilor principale de la vest la est. În CO se observă o ușoară tendință de orientare a circurilor spre nord și nord-est, atât datorită condițiilor climatice mult mai restrictive specifice regiunilor montane nordice, cât și fragmentării montane mai pronunțate, mai ales în munții Maramureș.

Table 9.1. Orientarea circurilor din Carpații Românești (Or- orientarea)

Or	Carpații Românești		Carpații Orientali		Alpii Transilvaniei	
	Nr. circuri	Frecv. relat.	Nr. circuri	Frecv. relat.	Nr. circuri	Frecv. relat.
N	118	17.93	23	23.00	94	16.97
NE	111	16.87	29	29.00	81	14.62
E	130	19.76	21	21.00	108	19.49
SE	94	14.29	7	7.00	86	15.52
S	66	10.03	5	5.00	61	11.01
SV	40	6.08	1	1.00	39	7.04
V	32	4.86	4	4.00	28	5.05
NV	67	10.18	10	10.00	57	10.29

Spre exemplu, două treimi din circurile glaciare carpatice (67%) prezintă valori ale orientării cuprinse între 0° și 180° (cadranul de est), în timp ce doar o treime (33%) au valori cuprinse între 180° și 360° (cadranul de vest). Având în vedere diferența dintre cele două direcții analizate, putem afirma cu certitudine că orientarea predominantă a circurilor carpatice este de tip estic, în ciuda faptului că versanții principali ai masivelor glaciare au expoziții nordice

și, respectiv, sudice. În ceea ce privește direcțiile nord și sud, proporțiile sunt ceva mai echilibrate, însă cu predominarea circurilor nordice (59%) față de cele sudice (42%). Astfel, ca notă dominantă, circurile prezintă două tendințe evidente în ceea ce privește orientarea lor: estică și nordică (tab. 9.1).

La nivelul masivelor glaciare (rangul III), vectorii cumulați ai orientării circurilor glaciare împart masivele în mai multe categorii (tab. 9.2). Circurile cu orientări nord-estice, cu media orientării cuprinsă între 35 și 50°, sunt caracteristice pentru munții Maramureș, Țibleș, Retezat, Leaota, Latorița, Bucegi, Rodna și Iezer. Acest grup cuprinde 224 de circuri glaciare (34%). Circurile cu orientări est-nord-estice sau chiar estice se găsesc în partea de vest a AT (Parâng, Țarcu), în Biharia, și, foarte interesant, în Făgăraș. Acest grup este cel mai consistent dintre toate, conținând 326 de circuri (50%). Restul masivelor prezintă tendințe mult mai clare, dat fiind numărul mic de circuri. În Cindrel tendința de orientare a circurilor este una nordică, în timp ce, imediat la sud, în munții Lotrului, aceasta este sud-estică.

Tablel 9.2. Vectorii orientării circurilor glaciare din Carpații Românești

Masivul	Obs	Mean	Strength	Range	c95	limits	Rayleigh	Kuiper
Maramureș	28	49.3	0.769	242.0	35.0	63.6	0.000	0.000
Țibleș	2	49.0	0.875	58.0	358.8	99.2	0.245	0.213
Rodna	48	38.7	0.490	308.0	16.40	61.0	0.000	0.000
Suhard	1	325.0	1.00	0.0	325.0	325.0	0.512	0.277
Călimani	8	6.40	0.727	125.0	327.9	44.8	0.010	0.010
Siriu	1	125.0	1.00	0.0	125.0	125.0	0.512	0.277
Bucegi	11	42.3	0.307	294.0	.	.	0.363	0.536
Leaota	1	48.0	1.00	0.0	48.0	48.0	0.512	0.277
Iezer	41	37.0	0.382	287.0	358.6	75.4	0.002	0.000
Făgăraș	210	69.9	0.208	350.0	42.5	97.2	0.000	0.000
Căpățini	1	115.0	1.00	0.0	115.0	115.0	0.512	0.277
Lotru	11	116.5	0.568	154.0	64.0	169.0	0.025	0.008
Cindrel	8	10.70	0.595	170.0	317.7	63.8	0.054	0.100
Latorița	4	42.7	0.903	62.0	15.30	70.1	0.026	0.022
Parâng	52	69.2	0.394	329.0	41.6	96.9	0.000	0.001
Șureanu	5	116.8	0.357	193.0	.	.	0.553	0.596
Retezat	89	49.0	0.190	319.0	349.6	108.4	0.039	0.002
Godeanu	71	114.0	0.297	331.0	80.5	147.5	0.002	0.000
Țarcu	60	79.8	0.418	288.0	54.8	104.9	0.000	0.000
Mt. Mic	2	25.50	0.566	111.0	.	.	0.593	0.530
Biharia	4	71.0	0.781	110.0	23.20	118.8	0.080	0.122

Utilizând valorile morfometrice calculate pentru orientarea circurilor carpatice, am obținut diagrame ale vectorilor cumulați, atât pentru CR, și ramurile sale, precum și pentru fiecare masiv în parte. Vectorul principal se definește, prin direcția (d , *mean direction*) și tăria/puterea sa (t , *vector strenght*). Direcția vectorilor desemnează tendința principală (cumulată) a orientării circurilor glaciare, iar puterea arată gradul de încrederea al valorii medii. Cu cât aceasta din urmă este mai mare, cu atât valoarea sa explică un număr mai mare de circuri analizate.

Direcția vectorului principal al orientării circurilor glaciare din Carpații Românești este $64,1^\circ$, iar tăria sa este de 0,301 (Fig. 9.1), însă la nivelul celor două ramuri principale apar

diferențe semnificative (tab. 9.3). În CO direcția vectorului principal al circurilor este de $41,5^{\circ}$ (t 0.548) (Fig. 9.2), în timp ce în AT valoarea sa este de $71,9^{\circ}$ (t 0.264) (Fig. 9.3), indicând faptul că vectorii principali ai circurilor din CR și, respectiv, din cele două ramuri carpatice principale glaciare au direcții mai mult sau mai puțin estice.

Table 9.3. Valorile vectorului principal al orientării circurilor glaciare în cele trei ramuri carpatice românești

Lanțul carpatic	Obs	Mean	Strength	Range	c95	limits	Rayleigh	Kuiper
CO	100	40.3	0.560	329.0	52.90	52.9	0.000	0.000
AT	554	71.6	0.263	352.0	58.2	84.9	0.000	0.000
Biharia	4	71.0	0.781	110.0	118.80	118.8	0.080	0.122

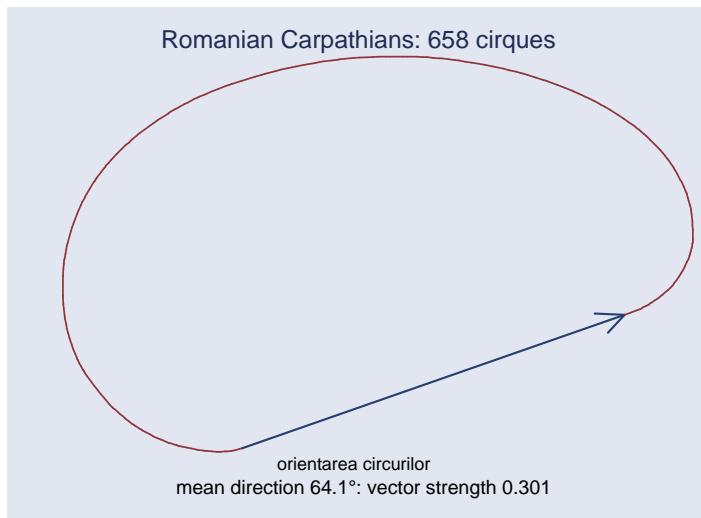


Figure 9.1. Diagrama vectorilor cumulați ai orientării circurilor glaciare din Carpații Românești.

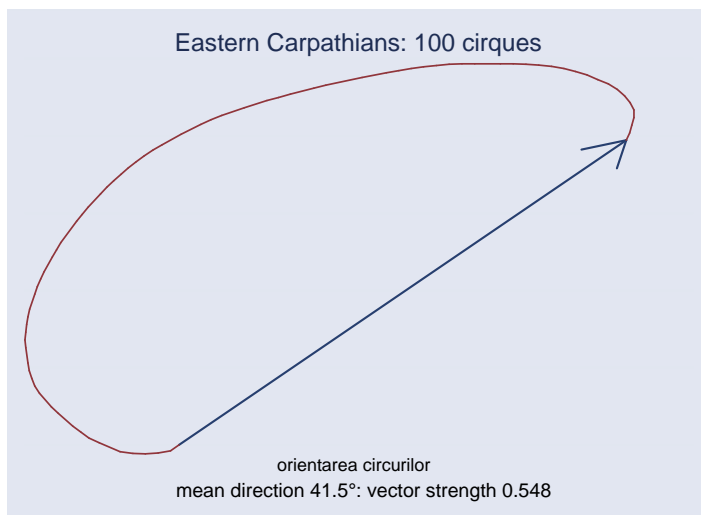


Figure 9.2. Diagrama vectorilor cumulați ai orientării circurilor glaciare din Carpații Orientali.

Acest tip de orientare pare să arate că, dintre cei doi factori de control principali în orientarea circurilor, vântul dominant și insolația, primul explică cele mai multe dintre cazuri. Astfel, deflația nivală exercitată de un viscol glaciare cu intensități puternice a

reprezentat principalul factor care a determinat orientarea ghețarilor de circ din Pleistocen. Tăria vectorului este maximă în CO pentru că în această arie există o tendință clară nord-estică în orientarea circurilor glaciare. Cu cât crește latitudinea, cu atât descrește asimetria glaciară, coroborată cu predominarea orientărilor nordice și nord-estice. Această situație este specifică CO, dar se manifestă și în lanțurile montane desfășurate în lungul meridianelor, așa cum sunt munții Ural sau Alpii Scandinaviei (Evans, 1977).

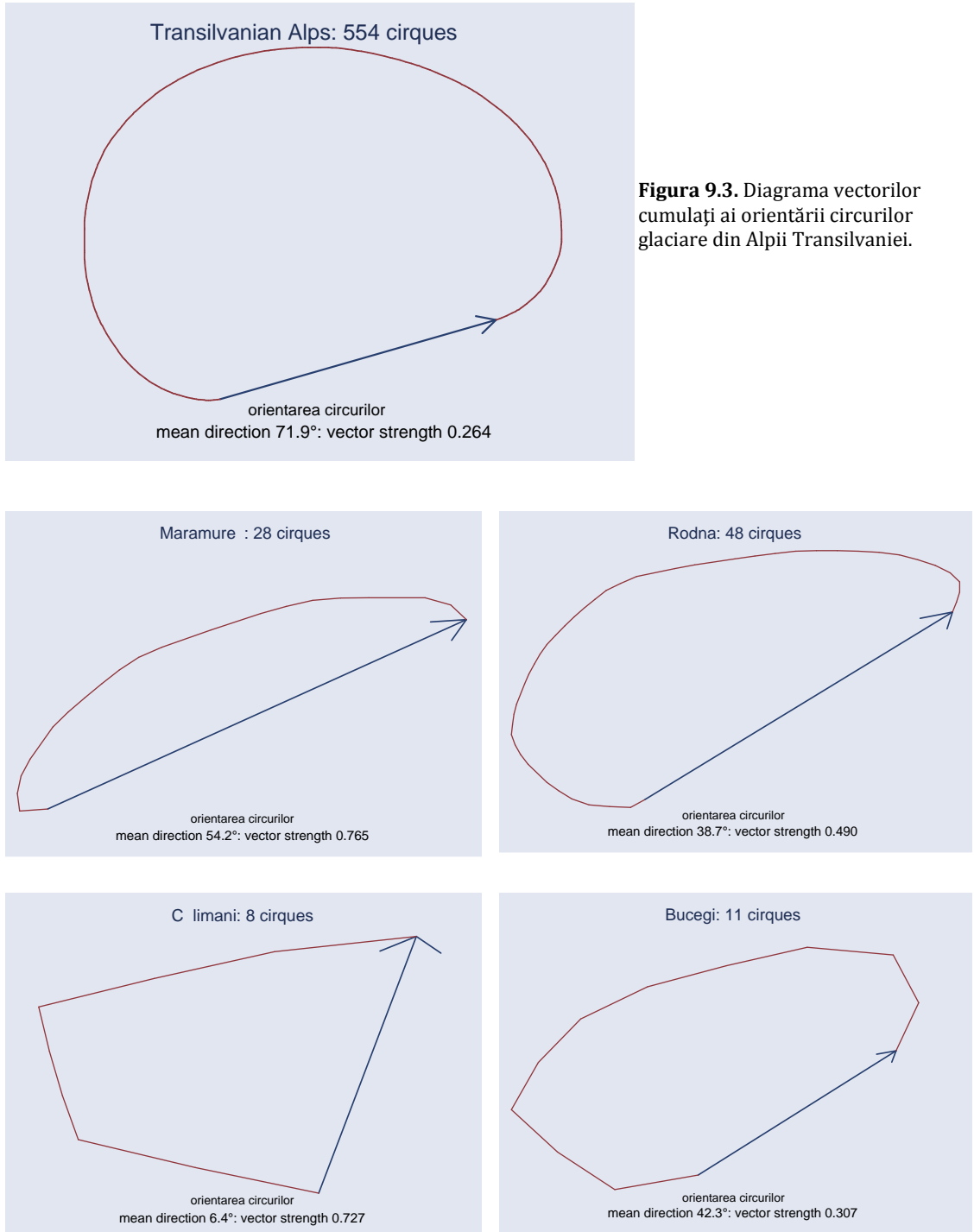
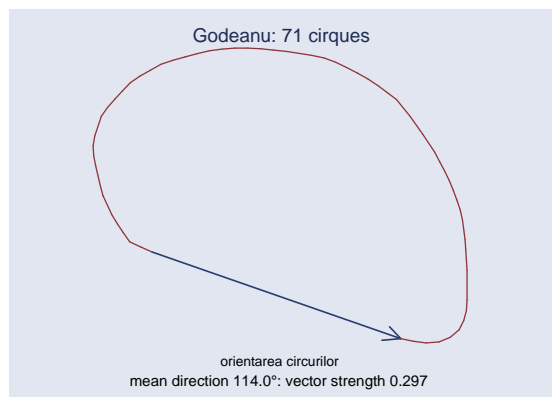
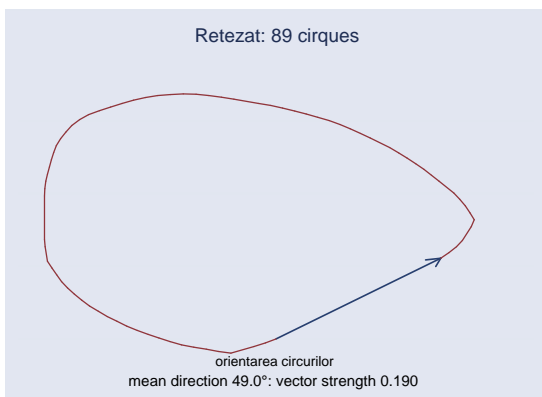
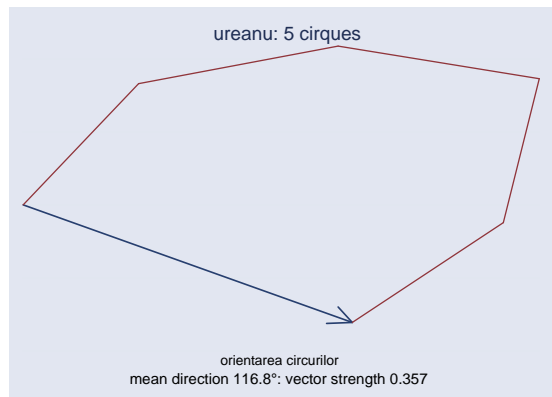
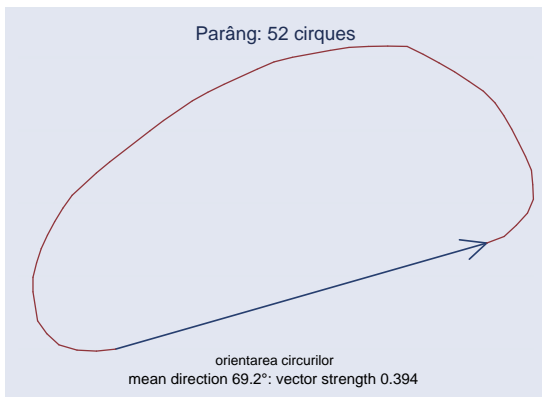
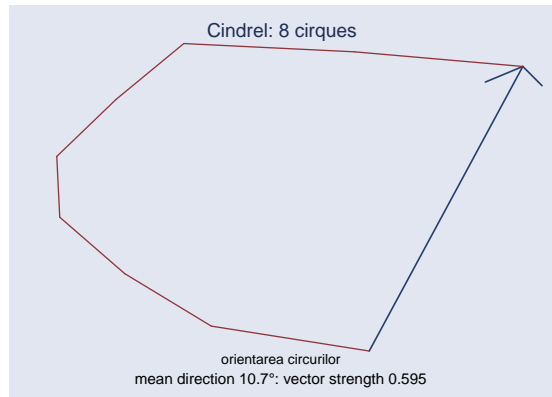
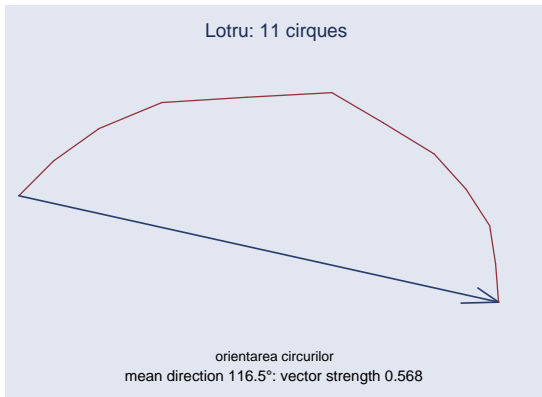
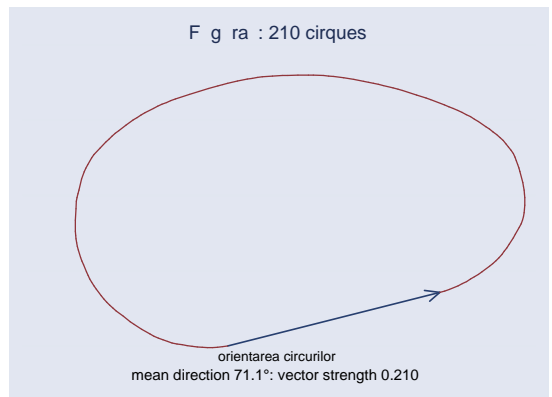
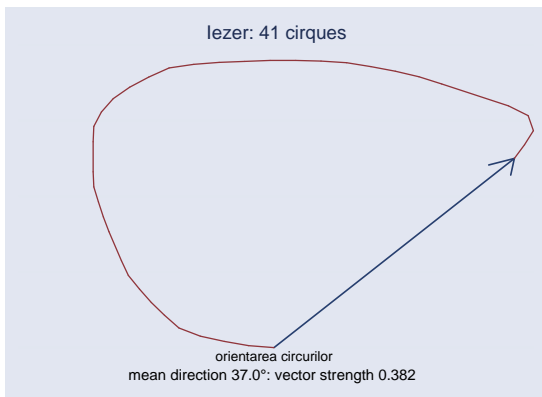


Figura 9.3. Diagrama vectorilor cumulați ai orientării circurilor glaciare din Alpii Transilvaniei.



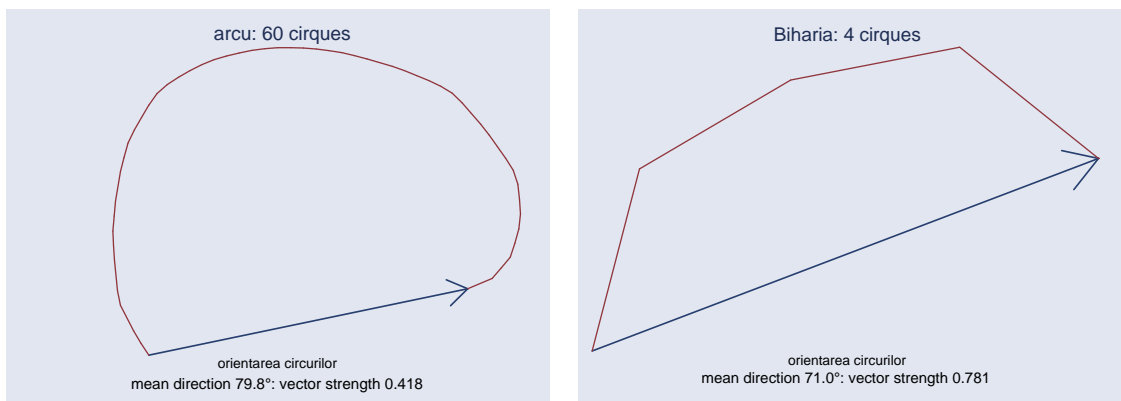


Figura 9.4. Diagrama vectorilor cumulați ai orientării circurilor glaciare din principalele masive glaciare din Carpații Românești.

Aproape fără excepție, vectorii principali au direcții estice în cazul tuturor masivelor glaciare din CR (Fig. 9.4), inclusiv a celor mai intens glaciare, așa cum este cazul munților Rodna și Făgăraș. Primul dintre aceste masive, cu un număr de 48 de circuri glaciare, situate mai ales pe versantul nordic, prezintă un vector principal cu direcție nord-estică (39°) a cărei tărie este aproape de 0,5. Cazul munților Făgăraș este și mai interesant, cele 210 circuri dispuse pe versanții principali, nordic și sudic, având un vector principal cu direcție est-nord-est (71°).

În ciuda expoziției nordice și sudice a versanților principali, circurile actuale prezintă orientări cu tendințe estice clare, fapt care s-a datorat deflației nivale puternice specifice condițiilor climatice de la sfârșitului Pleistocenului din CR, care poate fi pusă pe seama eficacității ridicate a viscolului glaciare.

Direcția vectorului principal variază atât în latitudine, cât și în longitudine; cu cât scade longitudinea, se evidențiază progresiv o tendință estică în direcția vectorului principal (tab 9.4). Printre masivele cu tendințe clare de acest tip se numără Țarcu și Godeanu, din extremitatea vestică a AT, chiar cu o nuanță sud-estică (114°). Explicația ar putea rezida în faptul că deflația nivală pierdea din importanță pe direcția vest-est în AT, odată cu reducerea altitudinilor și creșterea gradului de adăpost față de vânt.

Tablel 9.4. Vectorul principal al orientării circurilor din două sectoare despărțite de râul Olt ale Alpilor Transilvaniei

Aria montană	Obs	Mean	Strength	Range
Vestul AT, vest r. Olt	303	78.1	0.296	348.0
Estul AT, est r. Olt	251	61.3	0.229	350.0

Dacă analizăm principalele arii glaciare din CR, respectiv valorile vectorilor principali ai circurilor de pe cei doi versanți principali, se evidențiază faptul că pe versanții nordici valorile medii ale orientării circurilor sunt cuprinse între 27 și 50° , iar cele situate pe versanții sudici au valori cuprinse între 10 și 39° (Parâng, Retezat, Godeanu, Țarcu, Iezer și Rodna). Astfel, indiferent de orientarea versantului pe care sunt situate, circurile au o tendință clară spre nord-est (în funcție de direcția de curgere a ghețarilor: spre dreapta în cazul circurilor situate pe versanții nordici, și spre stânga în cazul celor de pe versanții sudici). Notă discordantă fac, însă, circurile din munții Făgăraș, unde predomină orientarea către est a circurilor situate pe versanții nordici și orientarea spre sud-est a celor de pe

versantul sudic (tab. 9.5). Prin urmare, ghețarii de circ, mai ales la începuturile formării lor, s-au instalat în cele mai umbrite situri montane din CR.

Table 9.5. Valorile vectorilor principali ai orientării circurilor situate pe versanții nordici și sudici ai principalelor arii glaciare din Carpații Românești

Masiv	Versant	Obs	Mean	Strength	Range
Făgăraș	N	90	9.50	0.676	245.0
	S	120	145.5	0.455	310.0
Parâng	N	36	42.1	0.706	245.0
	S	16	169.6	0.737	170.0
Retezat	N	50	356.8	0.569	256.0
	S	39	140.3	0.576	268.0
Godeanu	N	41	26.50	0.425	312.0
	S	30	154.6	0.892	107.0
Țarcu	N	27	21.40	0.535	248.0
	S	33	114.9	0.649	228.0
Rodna	N	38	27.30	0.675	221.0
	S	10	146.6	0.531	243.0
Iezer	N	27	359.6	0.643	202.0
	S	14	117.0	0.765	151.0

Analiza separată a celor două grupuri de circuri, nordice (situate pe versanții nordici) și sudice (situate pe versanții sudici) arată că orientarea circurilor nordice a depins în foarte mare măsură de orientarea versanților pe care sunt situate (0° - ideal; 20° -real; diferența - 20°), pe când în cazul circurilor sudice orientarea versanților pe care sunt situați a avut o importanță mai mică (180° - ideal; 142° - real; diferența - 38°) (Fig. 9.5).

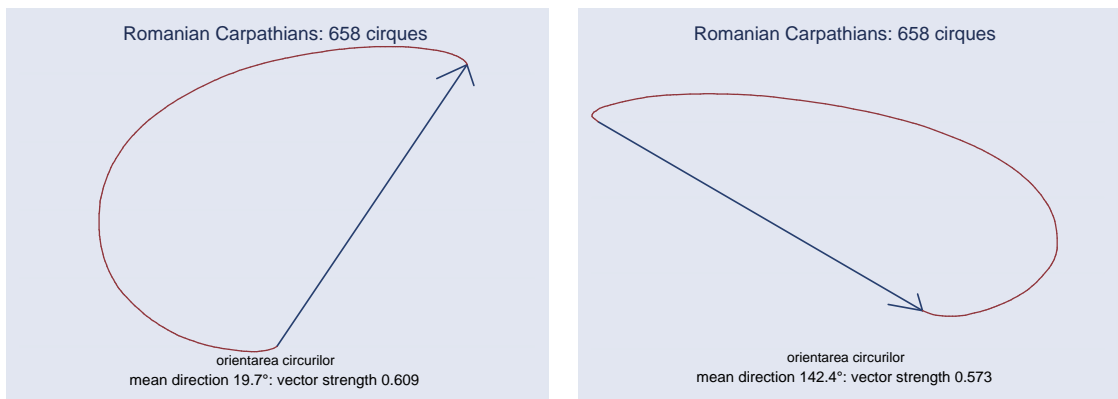


Figure 9.5. Diagrama vectorilor cumulați ai circurilor glaciare situate pe versanții nordici (stânga) și sudici (dreapta) din Carpații Românești.

Acestea din urmă, deși situate pe versanții sudici, au preferat orientări sud-estice sau chiar estice. Cel mai bun exemplu în acest sens îl reprezintă circurile sudice din munții Făgăraș, ai căror ghețari nu au depins de expoziția sudică a versantului principal, ci, dimpotrivă, de expoziția estică a versanților aparținând culmilor sudice din acest areal montan. În cazul circurilor sudice (situate la sud de creasta principală a Făgărașului) se evidențiază și o asimetrie secundară normală, predominând circurile cu orientare estică.

Diferențele în ceea ce privește orientarea circurilor se manifestă nu numai de la un masiv la altul, ci și în funcție de parametrii specifici circurilor glaciare. Fiind vorba despre forme de relief de altitudine, ne-am oprit mai întâi asupra diferențierilor care apar de la un etaj altitudinal la altul în ceea ce privește orientarea circurilor și valorile vectorilor (tab. 9.6). Astfel, cu cât crește altitudinea circurilor glaciare (*minpod*), orientarea circurilor se schimbă, preferând o orientare cât mai spre est, cele mai înalte preferând chiar o orientare spre sud-est. Așa cum am precizat anterior, această tendință se datorează viscolului glaciare, ce căpăta o importanță din ce în ce mai mare odată cu creșterea altitudinilor, devenind factor aproape unic de control la nivelul celor mai mari înălțimi.

De asemenea, odată cu creșterea altitudinii se reducea și insolația (intensitatea radiațiilor), astfel încât ghețarii de circ de la altitudini mari găseau condiții de formare chiar și pe pantele sudice. Din contra, ghețarii de altitudine joasă se formau doar acolo unde erau mai bine protejați, pe versanții adăpostiți de vânt și insolație. Astfel, lipsa circurilor cu orientare estică din ariile mai joase (ex. Maramureș) este explicată de faptul că ghețarii de circ s-au instalat doar în ariile cele mai adăpostite.

În Carpații Românești circurile cu altitudini de peste 2000 m sunt orientate de regulă spre est (direcția vectorului = 85°), în timp ce circurile situate sub această altitudine sunt orientate spre nord-est (54°). Dacă selectăm alte intervale altitudinale, tendința se menține neschimbată: circuri sub 1800 m (50°), între 1800 - 2100 m (63°) și peste 2100 m (117°).

Table 9.6. Valoarea medie a vectorilor principali în funcție de altitudinea circurilor

Minpod, m	Obs	Mean	Strength	Range
< 1600 m	41	47.0	0.749	215.0
1600 - 1800	132	51.8	0.388	337.0
1800 - 2000	273	59.8	0.233	348.0
2000 - 2200	194	81.8	0.299	348.0
> 2200 m	18	142.5	0.215	273.0

Gradul de dezvoltare a circurilor a depins, la rândul său, de orientarea ghețarului de circ, fiind necesare condiții optime pentru dezvoltarea circurilor clasice. Conform datelor noastre, ghețarii circurilor clasice au avut direcții nord-estice (43°), cumulând cele mai bune condiții de formare, ferite de acțiunea viscolului glaciare și a insolației (tab. 9.7). Pe măsură ce se reduce gradul de dezvoltare a circurilor, se observă și o modificare în orientarea lor, direcția vectorului principal căpătând valori din ce în ce mai mari. Valorile se modifică brusc în cazul circurilor marginale care s-au dezvoltat în principal în cadrul unor scobituri pre-existente orientate spre nord.

Table 9.7. Valoarea vectorilor principali (*axaspa*) în funcție de gradul de dezvoltare a circurilor (ordin)

Ordin	Obs	Mean	Strength	Range
Ordin 1	62	43.4	0.480	320.0
Ordin 2	216	58.4	0.381	326.0
Ordin 3	257	85.2	0.244	352.0
Ordin 4	86	68.7	0.335	338.0
Ordin 5	37	345.4	0.263	299.0

Orientarea circurilor a depins și de poziția acestora în cadrul văilor și bazinelor hidrografice. Diferențele, în acest caz, apar între circurile de obârșie și cele de versant, dar și între cele complexe și interne (tab. 9.8). Cea mai mare diferență, dar și cea mai surprinzătoare, este cea

care apare între circurile de obârșie fără abrupt (40⁰), și cele de același tip, dar cu abrupt (93⁰). Explicația constă, cel mai probabil, în situarea la altitudini mai mari a circurilor de obârșie cu abrupt, care sunt suspendate deasupra talvegurilor de vale. Deși în perioada actuală ele reprezintă obârșiile unor râuri, este posibil ca la origine să fi fost tot circuri de versant. Spre deosebire de circurile de obârșie fără abrupt, cele de versant preferă orientarea estică. În cazul circurilor îngemănate, cele interne păstrează, cu mici diferențe, orientarea circurilor gazdă (complexe). În acest caz, se evidențiază cel mai bine influența factorilor topografici asupra orientării circurilor glaciare. Referitor la circurile de altitudine joasă, deși sunt puține, este evident că acestea au rezultat ca urmare a instalării unor ghețari nordici.

Table 9.8. Valorile vectorilor principali în funcție de tipul circurilor

Tipul	Obs	Mean	Strength	Range
Circuri de joasă altitudine	6	357.7	0.220	258.0
Circuri de obârșie, fără abrupt	101	39.8	0.310	338.0
Circuri de obârșie, cu abrupt	162	93.3	0.344	339.0
Circuri de versant	214	68.3	0.369	348.0
Circuri complexe	74	41.7	0.297	320.0
Circuri interne	101	31.80	0.256	330.0

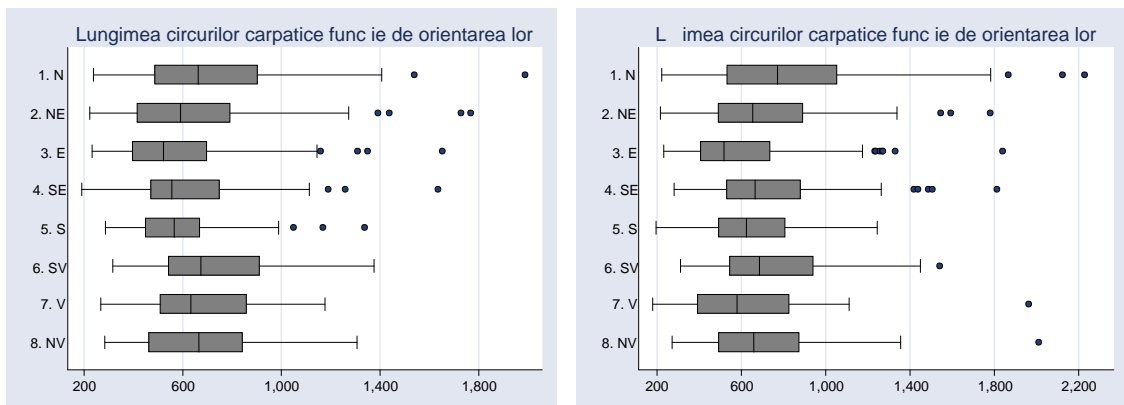


Figure 9.6. Lungime și lățimea circurilor în funcție de orientarea circurilor carpatice.

Table 9.9. Dimensiunile circurilor în funcție de orientarea acestora (Or - orientarea circurilor; L - lungimea, l - lățimea; H - înălțimea spătarului)

Or	Nr. circuri	Aria (ha)	L (m)	l (m)	L/l	L/H	H
N	118	59.1	732.7	839.9	0.92	3.46	229.8
NE	111	43.1	648.1	706.9	0.96	3.22	211.4
E	130	32.0	571.1	603.5	1.00	3.37	183.0
SE	94	39.6	624.1	727.2	0.90	3.45	197.6
S	66	34.6	595.8	661.6	0.95	3.34	188.4
SV	40	54.0	733.9	770.8	0.99	3.53	228.0
V	32	39.5	649.8	658.4	1.10	3.43	212.3
NV	67	42.3	675.4	694.7	1.03	3.20	225.0

Orientarea ghețarilor de circ a influențat, la rândul său, mărimea circurilor actuale. Analiza populației de circuri carpatice a arătat că circurile cu orientări nordice, nord-estice și sud-vestice sunt cele mai mari (tab. 9.9 și Fig. 9.6), dar și cele mai bine dezvoltate. Valorile relativ

mari aferente circurilor sud-vestice se explică prin prezența acestora în munții Făgăraș și Retezat, însă nu reprezintă o clasă reprezentativă pentru CR. O situație similară a fost documentată și în munții Pirinei, unde circurile vestice, deși în număr de numai 20, sunt cele mai mari din aria centrală. Totuși, circurile cu orientare nordică și nord-estică sunt cele mai reprezentative din punct de vedere dimensional și al gradului de dezvoltare. Raportul axelor (L/l) indică faptul că ghețarii cu orientări nordice au format circuri mai dezvoltate, cu lățimea mai mare decât lungimea, spre deosebire de cei vestici sau nord-vestici.

În concluzie, orientarea circurilor actuale constituie o dovadă a direcției de curgere a ghețarilor de circ din Pleistocen, care a fost influențată de deflația nivală și de gradul de insolație specifice Carpaților Românești. Deflația nivală a favorizat formarea ghețarilor de circ în toate situațiile în care versanții pe care acestea s-au format erau adăpostiți de vânt (versanții estici, nord-estici și chiar sud-estici). Faptul că orientarea circurilor variază odată cu latitudinea și longitudinea reprezintă consecința unor schimbări de mediu specifice fiecărei faze glaciare. Astfel, deflația nivală a controlat, îndeosebi, ariile vestice și pe cele înalte, iar intensitatea radiațiilor solare a constituit un factor de control cu acțiune semnificativă mai ales în ariile joase și mai nordice, așa cum este cazul CO. În această arie montană, versanții reci și adăpostiți, precum și zăpezile timpurii, au permis formarea ghețarilor la altitudini mai joase, dar cu orientări mult mai stricte comparativ cu AT. În timp ce în cuprinsul CO au existat mai multe suprafețe montane adăpostite față de insolație, dar mai puține față de viscol, în AT se pare că situație a fost inversă, respectiv suprafețele adăpostite față de vânt au fost mai numeroase decât cele ferite de insolație.

La altitudinile cele mai mari, îndeosebi peste 2200 m, factorii restrictivi nu au mai avut forță (datorită poziționării mult deasupra liniei zăpezilor permanente), astfel încât ghețarii de circ s-au putut forma pe orice versant, indiferent de orientarea acestuia. În această situație este vorba despre glaciație pe toate fețele muntelui (*all-sided glaciation*), care conduce la o asimetrie glaciară specifică doar celor mai mari altitudini din Carpații Românești.

Astfel, orientarea circurilor actuale reflectă expoziția fostelor surse glaciare, care, la rândul lor, au depins de condițiile topografice (ambianța topografică), intensitatea radiației și gradul de umbră, direcția vântului (deflația nivală, dar și ablația mai intensă pe pantele expuse vântului), diferențele de temperatură dintre dimineață și amiază rezultate din regimul diurn al temperaturii și nebulozității (Evans, 1977; Mîndrescu et al., 2010).

10. Geologia circurilor glaciare

Munții reprezintă cele mai impresionante forme de relief de pe suprafața Pământului, reflectând antagonismul, dar și influența reciprocă, dintre forțele tectonice (de construcție) și procesele geomorfice destructive care se reflectă în forța meteorizației, eroziunii și transportului de natură climatică, rezultând un peisaj de denudație (Barsch & Caine, 1984). În ceea ce privește circurile glaciare din Carpații Românești, influența faliilor, contactelor litologice sau a planurilor de stratificație a fost, în multe situații, foarte importantă pentru forma și mărimea acestora. Stratificația rocilor a reprezentat adesea un factor care a favorizat instalarea ghețarilor de circ prin geneza unui pervaz (suprafață structurală de tipul unei polițe) pe care ulterior viscolul glaciar a dus la acumularea zăpezilor la adăpostul unor creste sau culmi, care au acționat ca adevărate parazăpezi montane. În arealele din CR unde a existat un climat parțial sau marginal glaciar, prezența unor astfel de pervazuri structurale a dictat dezvoltarea unor circuri glaciare de dimensiuni mici sau medii. Desigur, multe dintre acestea au rămas la stadiul de circuri nivale sau marginale, însă cele mai adăpostite au avut condițiile necesare pentru a ajunge la un grad mai avansat de maturitate.

Elevația creștelor deasupra pervazurilor în rocă trebuia să fie suficient de mare pentru a oferi condiții de formare pentru circuri glaciare mature, această valoare a elevației fiind denumită valoare critică de circ (Lewis, 1960). Sub aceasta, circurile și morenele glaciare sunt înlocuite de circurile nivale, ale căror podele netede de tip șorț sunt parazitare de grohotișuri sau morene de névé (Fig. 10.1).



Figura 10.1. Un exemplu de circ nival: circul nival Stânișoara, creasta Mihailecu, munții Maramureșului de Nord.

Măsurătorile privind densitatea contactelor litologice și a faliilor, sau asupra proprietăților geofizice ale rocilor, ar fi deosebit de utile pentru explicarea variabilității formei și dimensiunilor circurilor glaciare din CR. Astfel de informații lipsesc, însă, atât în literatura de specialitate România, cât și în cea internațională, așa încât noi am introdus în analiza circurilor glaciare din CR acest factor, cuantificând geologia ariilor glaciare (a circurilor) prin

variabila *geologie*. Astfel, pe baza hărților geologice la scara 1 : 50.000 și 1 : 200.000, precum și a altor studii de specialitate, am realizat o scală a formațiunilor litologice pe care s-au format circurile carpatice. Aceste formațiuni sunt ordonate pornind de la cele cu rezistența cea mai redusă la eroziune până la cele mai dure (tab 10.1).

Tabel 10.1. Formațiunile litologice specifice circurilor glaciare din Carpații Românești

Clasele litologice	Nr. circuri	Frecv. abs. (%)	Frecv. cum. (%)
Gnaise, paragnaise și micașisturi	173	26.29	26.29
Granite, granodiorite și granitoide	116	17.63	43.92
Șisturi epimetamorifice	99	15.05	58.97
Gnaise, paragnaise și gnaise oculare	82	12.46	71.43
Micașisturi	50	7.60	79.03
Cuarțite, paragnaise și micașisturi	23	3.50	82.52
Arcoze, calcare și marne	17	2.58	85.11
Șisturi epimetamorifice și roci sedimentare	15	2.28	87.39
Conglomerate cenomaniene	14	2.13	89.51
Amfibolite, paragnaise și șisturi	14	2.13	91.64
Gnaise, paragnaise și șisturi epimetamorifice	13	1.98	93.62
Diabaze, tufuri diabazice și marnocalcare	12	1.82	95.44
Andezite, andezite cu amfiboli	11	1.67	97.11
Strate de flîș (gresii și marne)	8	1.22	98.33
Gnaise, paragnaise și roci sedimentare	6	0.91	99.24
Calcare cristaline	5	0.76	100
Total	658	100	

Conform datelor obținute în cadrul acestui studiu, cele mai multe circuri glaciare s-au format pe gnaise și paragnaise (43,3%), fiind vorba cu precădere despre circurile din munții Făgăraș și Godeanu. Desigur, pe lângă substratul principal menționat (gnaise și paragnaise) mai intervin și alte roci, dar în proporții mai reduse, acest tip de litologie fiind unul dintre cele mai slab mixtate comparativ cu celelalte categorii. Urmează circurile formate pe granite (mai ales în Retezat, dar și în munții Țarcu și Parâng), pe șisturi epimetamorifice (toate circurile din Iezer, circurile Jupania din Maramureș, Muntele Mic, Biharia), și pe micașisturi (Rodna și Parâng). Într-o proporție mult mai redusă sunt reprezentate circurile formate pe strate de flîș și arcoze (Maramureș, Godeanu), calcare cristaline și conglomerate (calcare cristaline - Făgăraș, conglomerate cenomaniene - circurile Bardău din Maramureș), diabaze sau tufuri diabazice (Maramureș, Godeanu) sau andezite (Călimani, Țibleș, Toroiaga) (Fig. 10.2).

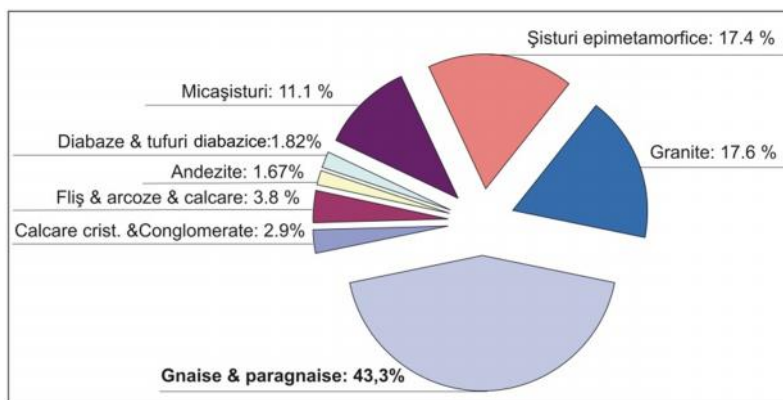


Figura 10.2. Distribuția circurilor glaciare din Carpații Românești în funcție de litologie.

În ceea ce privește analiza influenței litologie asupra circurilor, ne-am oprit în primul rând, asupra gradului de zăvorâre a circurilor. Am determinat că gradul de zăvorâre orizontală (*plancirc*) variază și în raport cu litologia pe care s-au format circurile (tab. 10.2, Fig. 10.3), cele mai mature forme ale acestora dezvoltându-se în ariile de aflorare a conglomeratelor, cuarțitelor sau amfibolitelor. Desigur, valorile mai mari ale variabilei *plancirc* în acest caz se datorează și numărului mai redus de circuri. Dintre populațiile mari de circuri, cele mai bine zăvorâte circuri sunt cele formate pe gnaise și paragnaise (173 circuri - media *plancirc*: 145^o), micașisturi (50 circuri - media 136^o) și granite (116 circuri - media 133^o). În schimb, cele mai mici grade de zăvorâre le au circurile formate pe diabaze, strate de fliș sau andezite. Singurele circuri formate pe roci vulcanice, așa sunt cele din Călimani, prezintă și un anumit grad de incertitudine în ceea ce privește originea glaciară, cu excepția celor din grupul Pietrosu - Rățișș. Prin urmare, circurile din Călimani au cele mai mici grade de zăvorâre, fapt care se datorează și dimensiunilor lor reduse și stadiului timpuriu de evoluție.

La polul opus, valorile maxime absolute ale variabilei *plancirc* se găsesc în ariile cu aflorare a gnaiselor și micașisturilor (13 circuri), granitelor (10) și micașisturilor (2). Astfel, în ciuda durtății rocilor, în aceste cazuri s-au format circuri bine zăvorâte, dezvoltarea acestora trădând eficacitatea eroziunii glaciare a ghețarilor de circ din CR. Mai mult, rocile dure au și conservat cel mai bine gradul de zăvorâre a circurilor actuale.

Tabel 10.2. Gradul de zăvorâre orizontală a circuitului (*plancirc*) în funcție de litologie (ds - deviația standard, c5 - valoarea minimă obținută prin excluderea a 5% dintre valorile cele mai mici)

plancirc	media	se (media)	ds	skewness	c5	c50	c95
Conglomerate	155.0	5.9	22.1	-1.5	92	155	183
Cuarțite	150.7	8.6	41.2	0.4	89	147	231
Amfibolite	148.4	9.6	35.8	-0.5	72	152.5	202
Gnaise, paragnaise	144.8	3.1	40.1	0.2	82	145	207
Gnaise și roci sedimentare	141.5	17.4	42.6	0.7	96	137.5	214
Calcare cristaline	140.0	14.4	32.3	-0.2	96	135	175
Arcoze, calcare, marne	138.1	12.4	51.3	1.3	80	134	280
Micașisturi	136.2	6.3	44.5	0.1	65	134.5	227
Granite	133.4	3.9	42.5	0.1	65	134	199
Șisturi epimetamorifice	129.3	4.3	43.2	0.4	58	125	194
Gnaise oculare	127.0	3.6	32.7	-0.3	73	131.5	173
Șisturi epimetamorifice și roci sedimentare	126.3	10.6	41.1	0.2	74	127	202
Fliș	124.6	9.4	26.5	0.3	90	125.5	169
Diabaze și tufuri	120.8	13.0	45.0	0.3	61	111	193
Gnaise și șisturi epimetamorifice	115.5	10.4	37.6	0.2	65	95	167
Andezite	99.1	7.0	23.2	0.2	59	101	147
Total	135.4	1.6	41.0	0.2	71	136	201

Gradul de zăvorâre verticală a circurilor (*profcirc*) variază, la rândul său, în funcție de substratul litologic pe care s-au format circurile. Valorile mai ridicate ale acestuia arată că spătarul circurilor este mai înclinat, iar podea este cât mai domoală. Deci, cu cât valoarea variabilei *profcirc* este mai mare, cu atât circurile sunt mai bine formate, printre rocile care au favorizat acest lucru numărându-se (cu un număr reprezentativ de circuri) micașisturile (media - 47^o), gnaisele și paragnaisele, precum și granitele (tab. 10.3, Fig. 10.4).

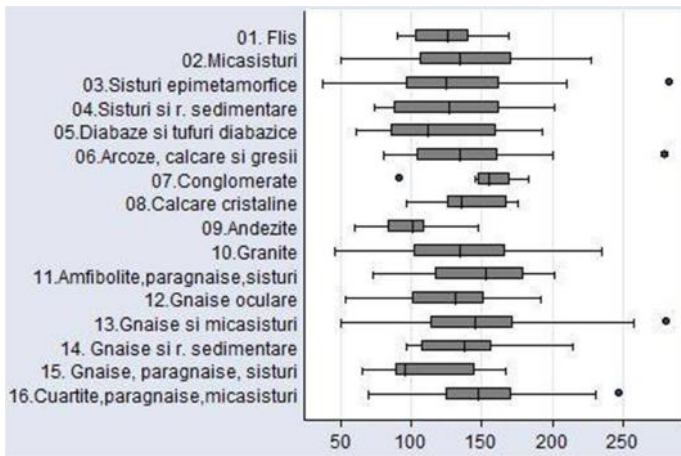


Figura 10.3. Gradul de zăvorâre orizontală a circurilor (*plancirc*) în funcție de litologie.

Cu toate acestea, cele mai mari valori le ia gradul de zăvorâre verticală în cazul conglomeratelor și cuarțitelor. Spre deosebire de *plancirc*, rocile mai puțin dure au favorizat un grad de zăvorâre verticală mai ridicat, deoarece au fost mai ușor modelate de ghețari la nivelul podelei prin procese de subsăpare glaciară (*downcutting, down erosion*). De această dată, valorile maxime absolute a variabilei *profcirc* se întâlnesc la circurile formate pe granite (10), gnaise și micașisturi (13) și micașisturi (2). Acest clasament se păstrează și în cazul în care se analizează doar circurile glaciare clasice și bine dezvoltate (ordinele 1 și 2). Remarcăm din nou ușurința cu care granitele sunt erodate prin subsăpare glaciară, care conduce la formarea de podele orizontale, suborizontale sau de tip cuvetă. Acest proces a dus la modelarea, pe substraturile granitice, a celor mai multe cuvete glaciare, dar și a celor mai multe podele de tip cuvetă, în ansamblu. În cazul rocilor cristaline (micașisturi, gnaise) planele de stratificație și șistuoșitate au crescut eficacitatea eroziunii glaciare asupra podelelor de circ.

Tabel 10.3. Gradul de zăvorâre verticală (*profcirc*) în funcție de litologie

profcirc	media	se (media)	ds	skewness	c5	c50	c95
Conglomerate	49.1	2.6	5.9	-0.7	40.5	52.6	53.7
Cuarțite	46.7	1.9	13.7	-0.4	25.1	48.2	65.3
Amfibolite	46.7	2.0	9.6	0.0	32.1	47.5	62.7
Gnaise, paragnaise	46.6	1.7	4.2	-1.2	38.7	47.8	50.7
Gnaise și roci sedimentare	46.1	2.6	9.9	0.3	33.4	46.1	64.2
Calcare cristaline	45.1	0.9	11.7	-0.1	27.6	46.2	63.5
Arcoze, calcare, marne	45.0	3.5	13.1	0.3	30.2	39.7	64.6
Micașisturi	44.8	1.2	12.9	0.2	25.4	44.9	68.2
Granite	44.7	2.7	9.4	0.0	29.7	46.0	60.2
Șisturi epimetamorifice	39.8	2.0	5.6	0.6	33.3	39.7	50.0
Gnaise oculare	39.5	1.2	10.5	0.5	25.0	37.2	58.5
Șisturi epimetamorifice și roci sedimentare	38.8	2.3	9.3	0.6	26.2	38.1	58.2
Fliș	38.4	2.8	10.0	0.0	24.2	35.1	51.4
Diabaze și tufuri	36.3	1.0	10.4	0.4	20.8	35.4	54.7
Gnaise și șisturi epimetamorifice	35.4	2.7	10.6	0.6	23.1	31.3	53.6
Andezite	23.9	1.6	5.3	0.1	16.5	21.9	31.1
Total	42.3	0.5	12.1	0.2	23.7	41.2	63.0

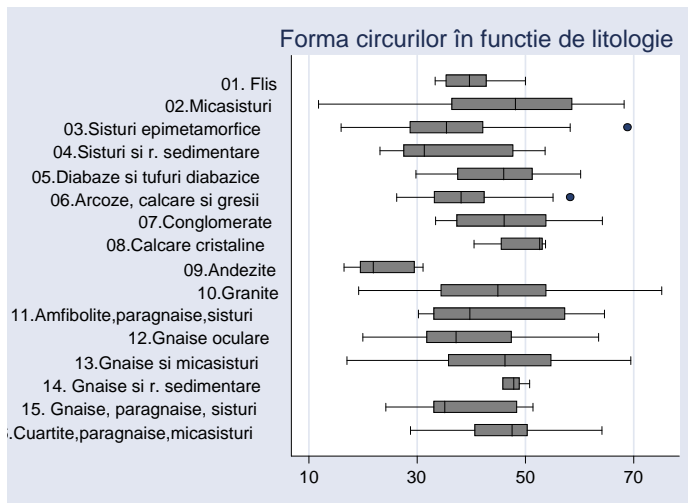


Figura 10.4. Gradul de zăvorăre verticală (*profcirc*) în funcție de litologie.

Unghiul minim de înclinare (*mingrad*) caracterizează cel mai bine aspectul podelelor de circ, acesta fiind influențat, cu certitudine, pe lângă puterea de eroziune a ghețarului, și de caracteristicile litologice ale substratului. Din studiul de față rezultă că granitele, arcozele, diabazele și micașisturile au favorizat formarea celor mai domoale podele (tab. 10.4, Fig. 10.5), la polul opus găsindu-se andezitele. Alături de formațiunile menționate, au favorizat formarea de podele mai mult sau mai puțin înclinate, cuarțitele, șisturile epimetamorifice sau calcarele cristaline. Interesant este că șisturile cristaline, care au duritate mai mică și au fost modelate într-un palier altitudinal înalt, așa este cel al munților Iezer, nu au favorizat formarea de podele domoale ori de cuvete glaciare, în această arie o singură cuvetă glaciară majoră, ocupată de lacul glaciar Iezer-Păpușa. Presupunem că acest fapt s-a datorat existenței unor ghețari mai puțin dinamici (ghețari reci), dată fiind poziția extrem estică a masivului în cadrul AT.

Tabel 10.4. Unghiul minim de înclinare a circurilor (*mingrad*) în funcție de litologie

mingrad	media	se (media)	ds	skewness	c5	c50	c95
Conglomerate	6.1	0.5	5.2	0.152	0	7.0	14.8
Cuarțite	6.2	1.2	4.8	0.501	0	5.2	15.1
Amfibolite	6.8	1.0	3.6	0.04	0	6.9	13.9
Gnaise, paragneise	7.5	1.7	6.0	0.193	0	7.5	17.4
Gnaise și roci sedimentare	7.9	0.8	6.0	0.354	0	7.8	18.2
Calcare cristaline	8.3	0.4	5.1	0.176	0	8.3	17.4
Arcoze, calcare, marne	8.3	1.5	4.2	-0.919	0	9.5	12.8
Micașisturi	8.7	1.3	5.1	-0.043	0	8.9	17.4
Granite	9.1	1.9	4.6	0.568	4.69	8.3	16.4
Șisturi epimetamorifice	9.5	0.6	5.3	0.119	0	9.3	19.0
Gnaise oculare	10.1	2.4	5.3	-0.104	2.8	9.2	16.9
Șisturi epimetamorifice și roci sedimentare	10.3	0.5	5.4	-0.062	0	10.4	20.3
Fliș	10.5	1.8	6.6	0.438	0	9.0	21.8
Diabaze și tufuri	11.0	1.1	5.5	-0.261	2.21	12.3	17.4
Gnaise și șisturi epimetamorifice	11.2	1.9	6.9	0.106	0	10.9	21.1
Andezite	14.6	1.0	3.2	-0.098	9.47	14.0	19.0
Total	8.6	0.2	5.5	0.14	0	8.6	17.9

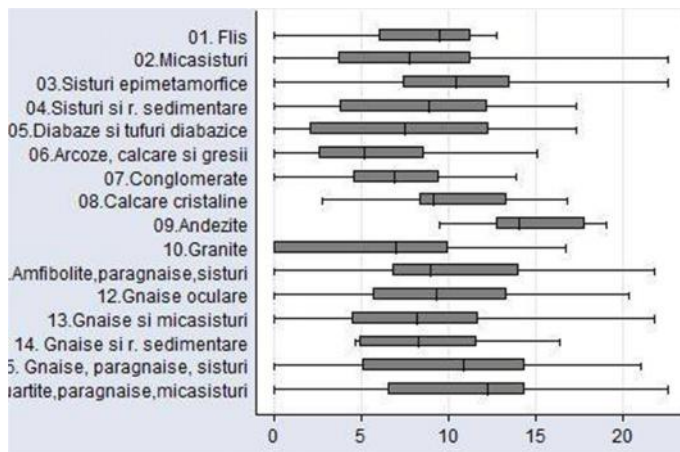


Figura 10.5. Gradientul minim al circurilor (*mingrad*) în funcție de litologie.

Analiza datelor indică faptul că terenurile granitice au favorizat apariția celor mai multe cuvete lacustre majore, comparativ cu alte litologii, situație întâlnită și în alte arii montane glaciare, cum este cazul părții centrale a munților Pirinei (Gargia-Ruiz et al., 2000). Astfel, dintre cele 56 de cuvete majore din CR, 24 (43%) sunt formate pe granite, dintre care 18 în munții Retezat, 4 în Parâng și 2 în Țarcu. O altă unitate litologică cu susceptibilitate ridicată pentru modelarea cuvetelor glaciare a fost cea compusă din gnaise și micașisturi, pe care s-au format 15 cuvete majore, dintre care 14 în munții Făgăraș.

Dacă luăm în considerare doar cele 260 de lacuri și turbării glaciare din Carpații Românești, subsamentul litologic pe care s-au dezvoltat acestea este distribuit astfel: micașisturi și micașisturi cu paragnaise - 38%, granite și granodiorite - 35%, șisturi cristaline epimetamorifice - 16%, și amfibolite și pegmatite - 6% (Mîndrescu et al., 2016).

Tabel 10.5. Unghiul maxim de înclinare (*maxgrad*) în funcție de litologie

maxgrad	media	se (media)	ds	skewness	c5	c50	c95
Conglomerate	59.19	2.09	4.68	0.75	54.65	57.33	66.48
Cuarțite	57.68	1.34	6.42	-0.46	46.55	58.23	67.25
Amfibolite	55.66	1.96	4.81	0.41	50.33	54.29	62.23
Gnaise, paragnaise	55.50	2.46	9.22	-0.04	40.93	54.03	69.73
Gnaise și roci sedimentare	54.57	1.35	9.55	-0.79	33.71	57.41	66.98
Calcare cristaline	53.38	0.72	9.49	-0.14	38.02	53.16	67.84
Arcoze, calcare, marne	52.90	2.30	8.60	0.32	40.78	50.69	67.25
Micașisturi	52.29	1.87	6.49	-0.46	37.84	53.16	64.39
Granite	50.90	0.91	9.79	0.24	35.63	50.71	69.23
Șisturi epimetamorifice	49.61	1.58	5.68	-0.47	39.36	51.37	57.41
Gnaise oculare	49.05	0.86	7.82	0.15	37.46	48.04	61.66
Șisturi epimetamorifice și roci sedimentare	48.16	1.77	5.00	-0.23	40.30	49.01	55.81
Fliș	46.53	0.76	7.60	0.23	33.70	45.72	59.07
Diabaze și tufuri	45.00	1.71	7.05	0.80	36.75	42.30	58.23
Gnaise și șisturi epimetamorifice	44.16	2.02	7.81	0.20	32.02	41.78	57.41
Andezite	38.55	0.90	3.00	0.66	35.56	36.75	43.90
Total	50.88	0.36	9.26	0.08	36.07	50.99	66.96

Așa cum era de așteptat, unghiul maxim de înclinare (*maxgrad*) specific spătarului de circ are valorile cele mai mari pe rocile dure și foarte dure (tab. 10.5, Fig. 10.6), valorile maxime fiind

înregistrate, din nou, pe granite. La cealaltă extremitate se află spătarele domoale, apropiate de valoarea minimă admisă, care s-au format pe roci mai puțin rezistente la eroziune, așa cum sunt stratele de fliș, șisturile epimetamorfice, arcozele. Deși sunt roci cu duritate ridicată, pe andezite nu au fost modelate circuri glaciare cu spățare cu declivitate mare.

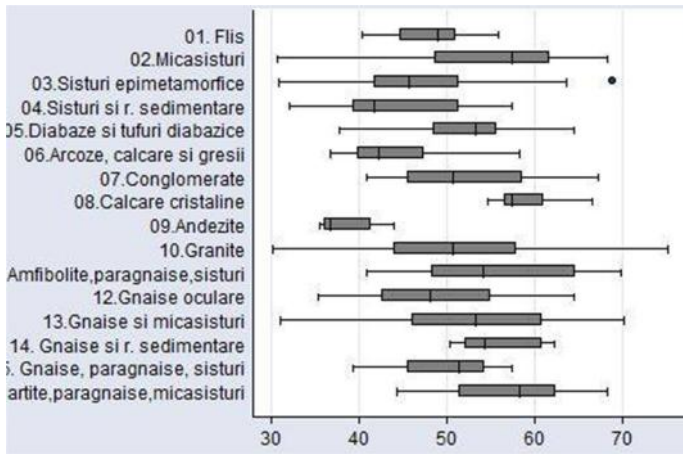


Figura 10.6. Unghiul maxim de înclinare a spătarelor (*maxgrad*) în funcție de litologie.

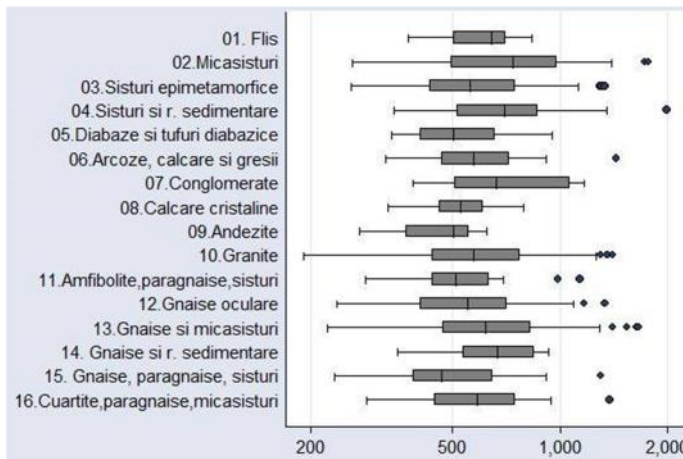


Figura 10.7. Dimensiunea circurilor glaciare în funcție de litologie: *lungimea*.

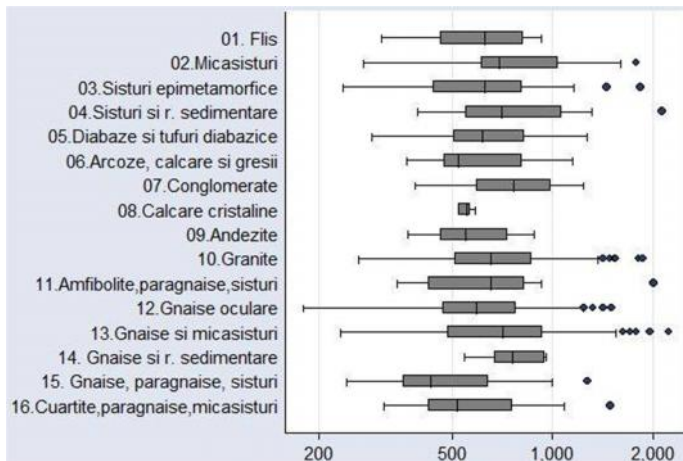


Figura 10.8. Dimensiunea circurilor glaciare în funcție de litologie: *lățimea*.

De asemenea, litologia și-a lăsat amprenta asupra dimensiunilor circurilor glaciare carpatice. Circurile cu cele mai mari axe mediane (*lungimea*) s-au format pe șisturi epimetamorfice

(media lungimii: 791 m), micașturi (789 m) și conglomerate (744 m), aceste tipuri de litologii favorizând dezvoltarea celor mai mari circuri din CR. Se remarcă valorile diferite ale lungimii și lățimii în cadrul aceluiși tip de litologie, care reflectă influențele structurale ale fiecărui tip de rocă în funcție de poziția dintre axa cercului și stratificația rocilor. Spre exemplu, la conglomerate sau calcare cristaline lungimea este mai mare comparativ cu lățimea (tab. 10.7, Fig. 10.7 și 10.8).

În condiții similare de altitudine și grad de dezvoltare, circurile formate pe gnaise și micașturi sunt cele mai mari, în timp ce circurile formate pe granite, micașturi sau șisturi epimetamorifice au suprafețe aproximativ egale. La polul opus, cu dimensiunile cele mai reduse (Fig. 10.9), se găsesc circurile care s-au dezvoltat pe strate de fliș sau arcoze în combinație cu marne și calcare.

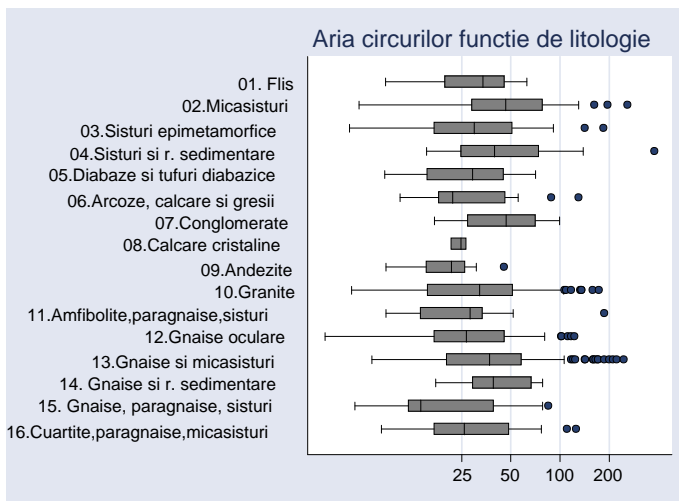


Figura 10.9. Suprafața circurilor glaciare în funcție de litologie.

Pe lângă influența compoziției substratului litologic asupra formei și dimensiunilor circurilor a fost evidențiată și cea exercitată de modul de dispunere a stratelor (structura geologică). Din păcate, influența structurii geologice nu a putut fi cuantificată cu ajutorul unei variabile, ci doar prin cercetări și observații de teren. Cele mai multe studii din România privind geomorfologia glaciară au avut la bază analiza influenței structurii geologice asupra circurilor glaciare. Uneori această influență a căpătat o importanță atât de mare, în concepția unor autori, încât generațiile diferite de circuri au fost interpretate ca fiind rezultatul influențelor structurale. Din acest punct de vedere, considerăm că maximizarea influențelor structurale asupra circurilor glaciare nu este în acord cu realitatea, astfel minimalizându-se rolul eroziunii glaciare propriu-zise.

Desigur, acceptăm influența structurii geologice asupra circurilor, și mai ales asupra micro- și macroreliefului de detaliu al circurilor (ex. trepte glaciare, podele dedublate, berbeci glaciari, umeri glaciari etc.), precum și asupra asimetriei interne a circurilor (dezvoltarea circurilor mai pregnant pe o latură în detrimentul celeilalte). În urma investigațiilor de teren din CR a rezultat aceleași tipuri de evoluție a formei și dimensiunilor circurilor identificate și în alte arii glaciare de pe Glob. Astfel, în funcție de orientarea axei mediane a circurilor față de liniile structurale majore au rezultat două tipuri principale de dezvoltare a circurilor glaciare: perpendicular și paralel față de liniile structurale (Fig. 10.10). Poziția axei mediane în raport cu liniile structurale, respectiv, cu valoarea unghiului de intersecție dintre acestea, diferențiază două tipuri diferite de circuri: alungite (Fig. 10.10a) și spătoase (Fig. 10.10a).

În pofida tuturor corelațiilor identificate între litologie și caracteristicile circurilor, considerăm că litologia a avut un rol mai puțin important pentru forma și dimensiunile

circurile glaciare din CR, comparativ cu altitudinea, masivitatea, conformația creștelor principale, și poziția latitudinală sau longitudinală. Se remarcă, totuși, câteva influențe privind valorile diferite ale unor variabile specifice circurilor formate în condiții litologice distincte (roci dure față de roci mai puțin dure), dar și susceptibilitatea granitelor pentru modelarea cuvetelor glaciare, și numărul redus (ex. Rodna) sau lipsa aproape completă a acestora (ex. Iezer) în aria șisturilor epimetamorfice.

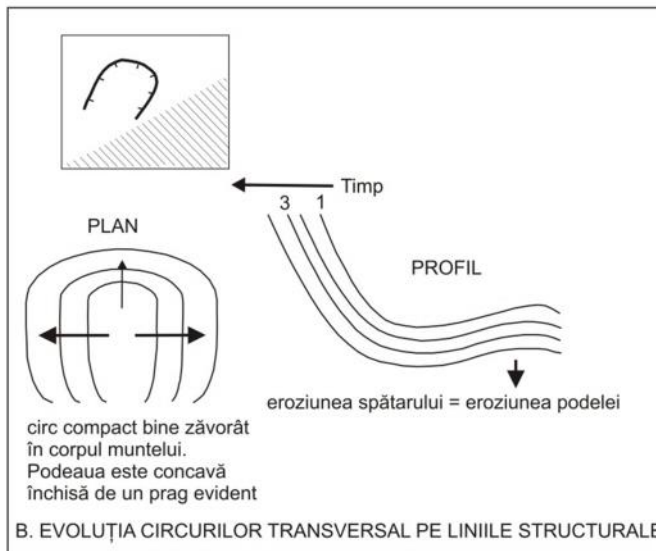
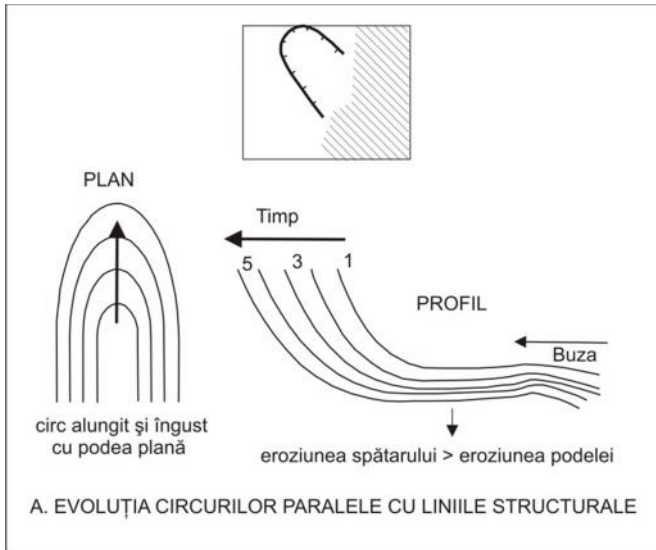


Figura 10.10. Evoluția circurilor glaciare paralele (a) și transversal (b) față de liniile structurale (modificată după Bennett, 1990).

În ceea ce privește structura geologică, circurile dezvoltate paralel față de liniile structurale și-au mărit foarte mult axa mediană prin retragerea rapidă a spătarului (colapsul spătarului), devenind circuri alungite de tip trog, cu podele netede și fără zăvor evident. În schimb, cele dezvoltate transversal în raport cu liniile structurale au evoluat mai mult spre cele două părți laterale ale spătarului, mărindu-se astfel gradul de zăvorâre orizontală. Deoarece eroziunea spătarului și a podelei au fost mai echilibrate, au existat condiții mult mai bune de formare a cuvetelor și a zăvoarelor glaciare. Spre finalul evoluției lor, au rezultat circuri dezvoltate mai mult în lățime, cu podele concave și zăvor evident.

Ghețarii de circ cu dinamică mare din CR au tins să dezvolte circuri simetrice, indiferent de structura subasmentului, această simetrie fiind deseori conservată în arealele unde rocile au aceeași duritate, în mod special, roci cu duritate ridicată. În schimb, concavitățile inițiale ocupate de ghețarii de dimensiuni mici sau mai puțin dinamici au devenit în timp circuri glaciare caracterizate prin asimetrie internă.

În concluzie, peste 2/3 din circurile glaciare din Carpații Românești s-au format pe **șisturi cristaline** (72%). Datorită planurilor de șistozitate, acestea comportă și cele mai importante influențe structurale. Dintre acestea, cele mai mult sunt formate pe gnaise și paragnaise, gnaise în combinație cu alte roci metamorfice și gnaise oculare (aprox. 300 circuri). Aici se încadrează circurile din munții Făgăraș, Godeanu sau masivul Pop Ivan din Maramureș. Urmează șisturile epimetamorfice cu peste 100 de circuri din Iezer (toate), Bihor, Muntele Mic sau masivul Jupania din Maramureș. Aproape 50 de circuri s-au dezvoltat pe micașisturi, în special în munții Rodna și Parâng.

În afara șisturilor metamorfice, circurile s-au mai format pe **granite**, roci sedimentare (de tip fliș), andezite și diabaze. Peste 110 circuri (18%) s-au format pe roci granitice (granite și granodiorite), mai ales în masivele Retezat, Țarcu și Parâng, acestea deținând cele mai importante volume de grohotișuri organizate începând de la conuri, trene și potcoave până la ghețari de pietre. Granitul nu se remarcă doar ca o rocă gelivă, care generează cantități mari de grohotiș, dar este și susceptibil la subsăparea glaciară, rezultând astfel cuvetele glaciare (*rock basin*), care după dispariția ghețarilor s-au transformat în numeroase lacuri glaciare distribuite în masivele menționate mai sus. Astfel, nu este o întâmplare că cele mai multe lacuri glaciare, dar și cele mai mari (ca suprafață și adâncime) se găsesc în masivul Retezat, celulele rotaționale ale ghețarilor fiind mult mai eficiente erozional pe terenurile granitice.

În ordinea importanței, urmează **rocile sedimentare**, de tipul stratelor de fliș, arcozelor, calcarelor și conglomeratelor, care susțin aproape 50 circuri. Singurele circuri formate pe fliș se găsesc în munții Maramureș, în culmea Mica Mare. Dincolo de granița de nord a țării, circurile din Carpații ucraineni s-au format exclusiv pe strate de fliș, așa cum este cazul celor din Cernahora sau Svidoveț. Circurile pe arcoze se găsesc în munții Godeanu, iar pe conglomerate s-au dezvoltat circurile din Bucegi (care includ în masa lor și blocuri de roci cristaline și calcare - Oncescu, 1943) și din masivul Bardău (Maramureș). Deși puțin numeroase, circurile pe calcare sunt o realitate pentru aria montană Piule-Iorgovanu (Retezat-Godeanu), iar diabazele (cu intercalații de calcare) constituie subasmentul circurilor din grupul Farcău-Mihailecu din munții Maramureș. În rocile vulcanice neogene de tipul andezitelor au fost sculptate circurile din masivele Călimani, Țibleș sau Toroiaga, unde pantele accentuate ale acestor terenuri andezitice au condus la formarea unor circuri slab dezvoltate.

În multe dintre situații, structura geologică a fost mai importantă decât litologia, deși, din punct de vedere morfometric, aceasta a influențat într-o oarecare măsură înclinarea spătarului și a podelei, dar și dimensiunile verticale (înălțimea spătarului și amplitudinea circului). Cu toate acestea, cele mai multe dintre formele de detaliu ale podelelor de circ din CR fiind controlate de structura geologică. Înălțarea horsturilor cristaline (tectonică rupturală) s-a făcut adesea asimetric, mai pregnant pe clinele nordice, aducând la zi capetele de strate și o varietate de trepte structurale. În felul acesta s-au format megacueste montane cu versanți asimetrici. Cu toate că versanții nordici erau mai abrupti și mai înguști, zăpada a găsit condiții mai bune, atât sub aspectul suportului material (prin prezența planelor de stratificație și a treptelor), cât și topoclimatic (versant adăpostit) pentru formarea ghețarilor de circ. Mai mult, acești versanți fuseseră pregătiți anterior pentru acumulările de zăpadă prin formarea de concavități la nivelul lor datorită proceselor gravitaționale (prăbușiri de

pachete de roci) și alunecărilor depozitelor superficiale determinate de energiei mare de relief. Nu este, deci, o întâmplare faptul că cele mai multe circuri dezvoltate în ciorchine (circuri complexe cu circuri interne) s-au format în astfel de situații, așa cum sunt cele de pe versanții nordici ai munților Făgăraș, Rodna, Parâng sau Retezat.

11. Clasificarea circurilor glaciare

11.1. Gradul de dezvoltare sau ordinul circurilor

Întrucât există câteva sute de mii de circuri glaciare pe Terra, nimeni nu a fost în măsură să le cerceteze și să le măsoare pe toate și, cu atât mai mult, să realizeze o clasificare exhaustivă a acestora. Fiecare geomorfolog s-a rezumat la studiul unei regiuni sau a unui masiv montan, așa cum am procedat și noi în cazul Carpaților Românești, însă acest fapt a dus, inevitabil, la apariția unor controverse și diferențieri în ce privește interpretarea și clasificarea circurilor glaciare. Înainte de toate, cel mai important deziderat a fost acela de a diferenția circurile de siturile montane non-glaciare, de tipul obârșiiilor de vale, și de a face o distincție clară între circurile complexe și cele interne, în cazul regiunilor cu circuri amalgamate (dispuse în ciorchine).

Unul dintre cele mai importante criterii de clasificare a circurilor glaciare din CR, după părerea noastră, este criteriul calitativ, care ia în considerare gradul de dezvoltare a circurilor în funcție de atributele morfologice și morfometrice ale acestora. Conform analizei realizate în cadrul acestui studiu, gradul de dezvoltare a circului glaciar carpatic este definit de *ordinul* său. Pentru determinarea acestui ordin, metodologia utilizată în cercetările de geomorfologie glaciară (Evans & Cox, 1995) a fost adaptată la specificitățile reliefului glaciar din CR, rezultând astfel o scală ordinală a gradului de dezvoltare a circurilor glaciare de la 1 la 5.

Ordinul I, denumit și clasic (*classic*), prezintă toate atributele specifice unui circ glaciar ideal așa cum sunt acestea descrise în toate definițiile din literatura de specialitate. Circul clasic prezintă un spătar înclinat, arcuit în jurul unei podele domoale, ocupate de o cuvetă glaciară de dimensiuni mari. Spre deosebire de celelalte ordine, prezintă cel mai bun grad de zăvorăre orizontală (*plancirc*) și verticală (*profirc*), și deține, obligatoriu, o cuvetă lacustră. În CR există o singură situație care constituie o excepție în acest sens, și anume un circ clasic fără cuvetă glaciară (Căldarea Berbecilor, Retezat), însă lipsa acesteia a fost compensată de celelalte elemente considerate clasice pentru ordinul I. Cuvetele glaciare specifice circurilor clasice, așa cum sunt ele descrise în literatura de specialitate, nu apar întocmai și în CR, diferențele constând în frecvența mai redusă a acestora raportat la populația totală de circuri, și în dimensiunile mai mici. Prototipul cuvetei glaciare clasice îl reprezintă, însă, Bucura din munții Retezat; prin contrast cu aceasta, cuvetele glaciare din CR sunt de dimensiuni medii sau mici. Mai mult, din totalul de circuri clasice din Carpați, doar 73% prezintă cuvete majore (aici fiind incluse toate cuvetele care dețin o pondere însemnată din suprafața podelei), restul având cuvete de dimensiuni mici.

Astfel, în CR au fost identificate și clasificate în categoria circurilor clasice un număr de 62 de circuri (9,42% din total) (tab 11.1), repartizate mai ales în AT: 17 în Retezat, 15 în Făgăraș, și 12 în Parâng. O treime dintre acestea reprezintă, în același timp, și circuri complexe (*outer cirques*). Distribuția circurilor clasice evidențiază, din nou, *grupul 2500* al masivelor montane ale căror altitudini ating sau depășesc 2500 m. În CO, doar în masivul Rodnei se găsesc astfel de circuri (5 circuri). Din punct de vedere funcțional, circurile clasice se suprapun, mai mult sau mai puțin, peste categoria circurilor-fotoliu care au evoluat foarte apropiat de linia

zăpezilor din Pleistocen, altitudinea acestora (*minpod* = 2000 m în AT) fiind un indicator foarte important pentru localizarea liniei zăpezilor în altitudine. De asemenea, acestea sunt cele mai expresive și în ceea ce privește morfologia glaciară de detaliu, prin prezența morenelor de circ, berbecilor glaciari sau a striatiilor.

Tabel 11.1. Circurile clasice (ordinul I) din Carpații Românești

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Minpod, m	62	1979	141	1530	2220
Maxcum, m	62	2360	128	2056	2544
Ariacirc, ha	62	85	64	13.55	377
Ariapod, ha	62	26	25	3.66	142
Mingrad, gr.	62	0.35	1.5	0	8.49
Maxgrad, gr.	62	59	7.3	40	75
Plancirc, gr.	62	169	34	65	258
Profcirc, gr.	62	58	7.3	40	75

Circurile de **ordinul II**, sau bine dezvoltate (*well-defined*), sunt apropiate ca formă de cele clasice, cu diferența că unul dintre elemente este mai slab definit sau chiar lipsește. În cazul circurilor din CR, a fost suficient ca spătarul să fie mai domol sau podeaua să fie mai înclinată pentru ca circul să piardă ordinul I. De asemenea, lipsa unei cuvette glaciare din cuprinsul perimetrului unui circ cu atribute clasice a dus, automat, la retrogradarea sa, astfel încât 80% dintre circurile de ordin II nu conțin cuvette glaciare. A contat, de asemenea, și gradul de înclinare a podelei, fiind evident faptul că panta mai mare a podelei a tras după sine și lipsa cuvettei lacustre, fie ea și superficială. La circurile bine dezvoltate fie podeaua este mai înclinată față de cele clasice, fie un sector de spătar este mai slab înclinat, sau spătarul prezintă o deschidere unghiulară.

În CR se găsesc 216 de circuri de ordinul II, reprezentând 32.8% din populația totală de circuri (tab. 11.2). Și în acest caz, cele mai multe se găsesc în AT, însă, de această dată, sunt mai bine distribuite spațial și nu se limitează doar la grupul altitudinal 2500. În CO astfel de circuri s-au dezvoltat în munții Rodna, Maramureș (9 circuri) și Bucegi. O situație aparte o reprezintă cele din munții Bucegi, care ar fi fost de așteptat să fie mai dezvoltate, însă prezența podelelor în pantă (datorată condițiilor structurale și litologice). precum și lipsa cuvetelor glaciare, au dus la retrogradarea acestora.

Tabel 11.2. Circurile bine dezvoltate (ordinul II) din Carpații Românești

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Minpod, m	216	1903.87	173.12	1400	2230
Maxcum, m	216	2268.36	173.50	1651	2544
Ariacirc, ha	216	56.11	39.18	7.86	258.3
Ariapod, ha	216	16.12	11.48	1.32	89.44
Mingrad, gr.	216	5.00	3.39	0	14.04
Maxgrad, gr.	216	53.55	8.33	35.36	70.85
Plancirc, gr.	216	154.16	36.13	37	283
Profcirc, gr.	216	48.55	9.09	28.76	70.24

Circurile de ordinul I și II însumează 42,25% din totalul circurilor glaciare din Carpații Românești, și reprezintă populația de circuri carpatice pentru care nu există nici un semn de

întrebare privind originea lor glaciară. Acestea sunt considerate cele mai evoluate circuri glaciare din CR, și reprezintă și grupul care poate furniza informații semnificative privind intensitatea glaciației sau altitudinea liniei zăpezilor regionale din CR. Formarea acestora a depins mai mult de condițiile macroclimatice decât de cele topoclimatice. Cel mai probabil au moștenit forme de relief preglaciare de dimensiuni mari precum sunt obârșiile de vale.

Circurile de **ordinul III**, denumite și dezvoltate (*definite*), constituie o categorie de tranziție între circurile cele mai dezvoltate și cele mai puțin dezvoltate, situate la subsolul clasamentului (slab dezvoltate și marginale). În cazul acestei clase nu există dubii privind originea glaciară a circurilor, însă unul dintre elementele specifice circurilor poate fi mai slab reprezentat sau poate lipsi, iar morfologia de detaliu nu mai este la fel de diversificată așa cum este în cazul ordinelor I și II. Desigur, aceste elemente de detaliu au fost mai ușor de șters după deglaciație, fie datorită faptului că au fost mai crude, fie pentru că au fost îngropate de acumulările de grohotișuri de la nivelul spătarului.

Circurile dezvoltate, spre deosebire de ordinele superioare, prezintă podele mai înclinate; dacă media unghiului minim de înclinare (*mingrad*) are valori de 0.35° pentru circurile clasice și 5° pentru cele bine dezvoltate, aceasta ajunge la aprox. 11° pentru circurile dezvoltate de ordinul III. Nu la fel se întâmplă și cu unghiul maxim de înclinare (*maxgrad*), care nu prezintă diferențieri importante, ci doar sesizabile. Gradul de zăvorâre orizontală și verticală variază de la circurile de ordin superior la cele de ordinul III. Apar diferențieri importante și în ceea ce privește suprafața circurilor, circurile de ordinul III având o arie medie de 33 ha, comparativ cu 85 ha la cele de ordinul I și 56 ha la cele de ordinul II. Gradul mai ridicat de înclinare a podelei, cu valori de peste 10° , și deschiderea unghiulară mai mare a spătarului, coroborate cu dimensiunile mai mici, au fost principalii indicatori pentru identificarea și clasificarea circurilor glaciare de ordinul III. Doar 6 circuri de ordin III dețin cuvete glaciare, care în prezent sunt colmatate.

Circurile de ordin III, în număr de 257 (39% din total) reprezintă categoria cea mai numeroasă din CR (tab. 11.3). Totodată, constituie populația majoritară pentru aproape toate masivele glaciare. Această frecvență a circurilor de ordinul III nu înseamnă neapărat că intensitatea glaciației carpatice nu a fost puternică, ci doar că stadiul de evoluție a acestor circuri a fost întrerupt prematur datorită încălzirii climatice de la începutul Holocenului, astfel încât o generație importantă de circuri carpatice nu a avut șansa de a ajunge la maturitate. Spre deosebire de generațiile mai mature, acestea sunt mai unitare ca formă și dimensiune, și mai uniform repartizate în spațiu.

Tabel 11.3. Circurile dezvoltate (ordinul III) din Carpații Românești

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Minpod, m	257	1898.57	169.03	1416	2300
Maxcum, m	257	2237.11	175.59	1713.3	2544
Ariacirc, ha	257	33.38	23.58	5.33	245.2
Ariapod, ha	257	8.65	5.59	1.07	36.28
Mingrad, gr.	257	10.87	3.29	0	19.66
Maxgrad, gr.	257	49.45	8.70	32.68	70.14
Plancirc, gr.	257	128.35	35.55	45	280
Profcirc, gr.	257	38.58	8.91	16.52	60.3

Circurile de **ordinul IV**, sau slab dezvoltate (*poor*), sunt puțin numeroase (86 de circuri), reprezentând doar 13% din populația de circuri carpatice (tab. 11.4). Deși există unele incertitudini privind originea lor glaciară, cel puțin unul dintre elementele componente ale acestor circuri este bine dezvoltat. În general, la baza identificării acestor circuri a stat

spătarul mai înclinat comparativ cu suprafețele înconjurătoare, care se arcuiește, mai mult sau mai puțin, în jurul unei podele în pantă și de dimensiuni mai degrabă reduse. La fel de importante au fost și altitudinea și poziția lor, mai ales în raport cu ariile glaciare clasice. Astfel, circurile de ordin IV s-au dezvoltat adeseori în condiții altitudinale asemănătoare cu unele circuri care au ordine superioare. Totuși, analiza ulterioară asupra acestor circuri a scos la iveală faptul că au unele caracteristici morfometrice comune cu ale obârșiilor de vale. Din punct de vedere morfometric, sunt circuri de mici dimensiuni (suprafața circurilor scade cu 43% față de ordinul precedent; iar cea a podelei cu peste 50%), cu spătar domol (cu media de 45°), și podea în pantă (media *mingrad* = 13.3°).

Deși ar fi fost de așteptat ca acestea să fie răspândite mai degrabă în ariile incerte sau marginal glaciare, ele se regăsesc în toate masivele glaciare importante. Circul slab dezvoltat este tipul de circ embrionar care, deși a fost inițiat târziu în morfologie, cel mai probabil fără a moșteni un sit preexistent de mari dimensiuni, a evoluat suficient pentru a putea fi considerat circ glaciare. Apare la altitudini mai joase decât ordinele precedente, ceea ce poate fi un indiciu că a evoluat într-un climat marginal sau parțial glaciare. Desigur, trecerea de la ariile cu densitate mare de circuri (banda cu aglomerare de circuri) la ariile non-glaciare nu putea să se realizeze fără existența unor forme de tranziție, așa cum sunt și circurile de ordinul IV. Acestea apar spațial ca un „franji” între ariile clasice cu circuri și restul ariei montane.

Table 11.4. Circurile slab dezvoltate (ordinul IV) din Carpații Românești

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Minpod, m	86	1844.01	199.64	1310	2290
Maxcum, m	86	2130.38	203.80	1530	2518
Ariacirc, ha	86	19.00	10.08	4.45	49.93
Ariapod, ha	86	4.61	2.48	1.04	12.32
Mingrad, gr.	86	13.30	4.47	3.13	22.63
Maxgrad, gr.	86	45.54	8.99	30.25	67.74
Plancirc, gr.	86	102.87	29.35	51	201
Profcirc, gr.	86	32.24	9.74	15.97	63.19

În sfârșit, cele mai slab dezvoltate circuri glaciare sunt cele de **ordinul V**, denumite și marginale (*marginal*). Acestea sunt situate la marginea ariilor glaciare, atât în spațiu cât și în altitudine, dar și la subsolul clasamentului privind gradul de dezvoltare a circurilor glaciare. Sub aspect morfometric și dimensional, sunt ultimele care pot fi surprinse pe hărțile topografice la scara 1 : 25.000. Cu toate acestea, au fost descrise în detaliu în literatura de specialitate. La o analiză viitoare pe baza imaginilor satelitare sau aerofotogramelor pot fi scoase mai bine în evidență elementele acestor circuri. Circurile aparținând acestui ordin au podele de dimensiuni mici (în jur de 2-3 ha), cu aspect de șorț, și cu cel mai ridicat gradient de pantă, cu valori apropiate de limita admisă (20°). Ghețarii acestor circuri au existat datorită unor condiții locale, în special, topoclimatice, însă, spre deosebire de circurile nivale, au fost modelate de gheață și firn. Interesant este faptul că asupra acestora planează mai puțin incertitudini privind confuziile cu obârșiile de vale, datorită dimensiunilor lor mici. Acestea sunt forme glaciare marginale care au funcționat sub acțiunea unor ghețari de mici dimensiuni și nu au nimic în comun cu obârșiile de vale actuale. Totuși, în cazul unor astfel de circuri ar putea apărea semne de întrebare, originea lor putând fi pusă pe seama deplasărilor în masă de tipul *rock slope failure* - RSF (mai multe detalii în Jarman 2003, 2005). Acestea sunt răspândite în nordul CO, vestul AT, precum și în munții Făgăraș, în acele arii cu deflație nivală și intensitate mică a insolației. Prin comparație cu celelalte ordine, sunt cele mai puțin dezvoltate, iar în detaliu se prezintă sub forma unor circuri în miniatură (ex.

circul Rusaia din munții Suhard - Popescu-Argeșel, 1980). Circurile marginale sunt situate la altitudinile cele mai mici, foarte aproape de limita climatică de formare a unui ghețar de circ în CR. Credem că multe dintre aceste circuri s-au format chiar sub linia zăpezilor regionale într-un climat marginal sau parțial glaciar, într-o proporție mult mai mare decât cele de ordin IV.

În CR au fost identificate, după criterii bine stabilite, un număr de 37 de circuri marginale (5.6% din populația totală). Ele sunt specifice atât ariilor montane unde există incertitudini privind manifestarea glaciației (Suhard, Muntele Mic, Biharia), dar și ariilor glaciare clasice (tab. 11.5). În ceea ce privește aspectul circurilor clasice și marginale pe harta topografică în izolinii, în Fig. 11.1 este ilustrat un exemplu sugestiv.

În afara acestor cinci ordine specifice circurilor glaciare, mai menționăm *circurile nivale*, cunoscute și sub denumirea de glacio-nivale. Acestea sunt formate mai mult ca rezultat al acțiunii unui troian de zăpadă și firn decât a gheții propriu-zise. Aceste forme nu au fost adăugate pe lista noastră, pentru că nu reprezintă circuri glaciare propriu-zise, și sunt și imposibil de identificat pe hărțile topografice la scara 1 : 25 000.

Tabel 11.5. Circurile marginale (ordinul V) din Carpații Românești

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Minpod, m	37	1828.92	179.86	1360	2200
Maxcum, m	37	2105.19	198.47	1560	2419
Ariacirc, ha	37	16.23	25.69	3.65	164.8
Ariapod, ha	37	2.92	3.88	0.78	24.81
Mingrad, gr.	37	15.98	4.52	2.77	22.63
Maxgrad, gr.	37	44.42	7.58	30.78	59.92
Plancirc, gr.	37	93.81	32.72	50	191
Profcirc, gr.	37	28.44	8.53	11.74	57.15

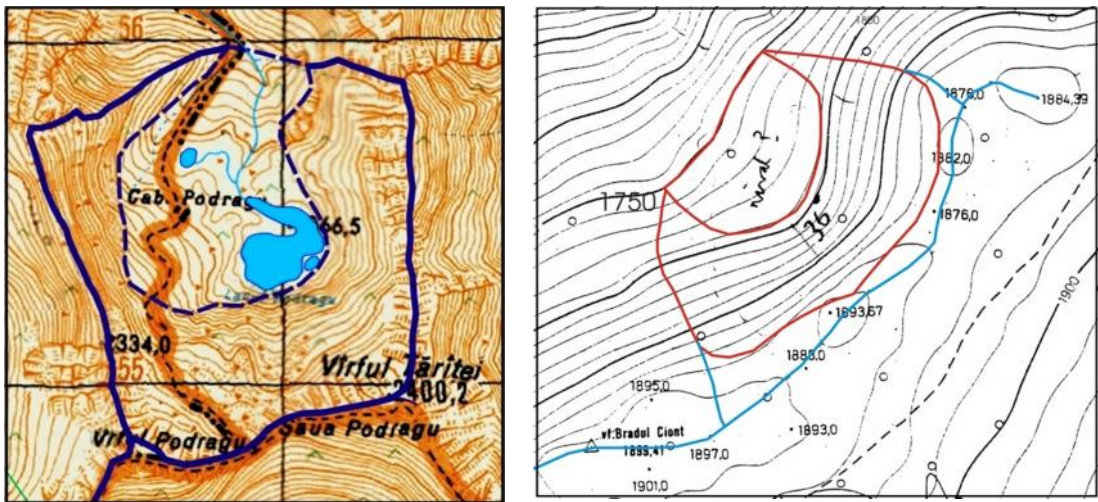


Figura 11.1. Contrastul dintre un circ clasic (stânga: circul Podragul - C267 din munții Făgăraș) și unul marginal (dreapta: circul Bradul Ciont - C99 din munții Călimani).

În concluzie, în Carpații Românești predomină circurile bine dezvoltate (ordinul II) și dezvoltate (ordinul III), care însumează 72% din populația totală de circuri carpatice. Restul populației este împărțit în circuri clasice (aprox. 10%) și circuri slab dezvoltate și marginale (18%) (tab. 11.6). Aceste valori confirmă manifestarea unei glaciații cu intensitate puternică, în ciuda poziției lanțului montan carpatic în interiorul continentului, dar care s-a încheiat brusc lăsând în urmă generații de circuri care nu au ajuns la maturitate morfologică deplină.

Tabel 11.6. Frecvența ordinelor de circ din Carpații Românești

Ordinul	Nr. circuri	Frecvența relativă, %	Frecvența cumulată, %
Clasic (1)	62	9.42	9.42
Bine dezvoltat (2)	216	32.83	42.25
Dezvoltat (3)	257	39.06	81.31
Slab dezvoltat (4)	86	13.07	94.38
Marginal (5)	37	5.62	100
Total	658	100	

Cele mai dezvoltate circuri sunt cele clasice, care prezintă toate atributele unor circuri ideale, datorită evoluției îndelungate (circuri vechi peste care au trecut mai multe faze glaciare), motiv pentru care prezintă și cele mai mari dimensiuni. Între cele trei variabile de dezvoltare s-au stabilit relații de reciprocitate, toate evoluând constant spre partea finală a evoluției acestor circuri.

Tabel 11.7. Repartiția ordinelor de circ după ramurile carpatice principale

Aria montană	Clasic	Bine dezvoltat	Dezvoltat	Slab dezvoltat	Marginal	Total
Carpații Românești	62	216	257	86	37	658
Alpii Transivaniei	57	187	215	67	28	554
Carpații Orientali	5	28	41	18	8	100
Biharia	0	1	1	1	1	4

Tabel 11.8. Ordinul circurilor glaciare. Repartiția ordinelor după masivele glaciare

Aria montană	Clasic	Bine dezvoltat	Dezvoltat	Slab dezvoltat	Marginal	Total
Retezat	17	39	18	13	2	89
Făgăraș	15	65	99	20	11	210
Parâng	12	13	22	5	0	52
Rodna	5	15	19	7	2	48
Godeanu	5	26	26	6	8	71
Țarcu	3	20	25	9	3	60
Cindrel	2	5	0	0	1	8
Iezer	1	12	19	7	2	41
Lotrului	1	6	2	2	0	11
Șureanu	1	1	2	1	0	5
Maramureș	0	9	10	7	2	28
Bucegi	0	3	7	1	0	11
Biharia	0	1	1	1	1	4
Siriu	0	1	0	0	0	1
Călimani	0	0	4	2	2	8
Latorița	0	0	1	2	1	4
Leaota	0	0	1	0	0	1
Căpățîinii	0	0	1	0	0	1
Muntele Mic	0	0	0	2	0	2
Țibleș	0	0	0	1	1	2
Suhard	0	0	0	0	1	1
Total	62	216	257	86	37	658

În ceea ce privește circurile de ordinul IV și V, există unele dubii, exprimate în grade de incertitudine, privind originea acestora. Deși în cazul majorității acestor circuri avem convingerea că au cunoscut acțiunea gheții sub forma sa cea mai obișnuită din CR, și anume a ghețarului de circ, admitem, totuși, că geneza unora dintre acestea s-ar fi putut datora și altor procese. Aceste procese au avut loc mai ales după deglaciație și au fost generate de relaxarea terenurilor și descărcările de masă montană (*rebound* - Hutchinson, 1988), cauzate de dispariția ghețarilor și a apei înghețate din roci și din depozitele superficiale.

Procesele care ar fi putut produce forme care să imite cel mai bine configurația unui circ au fost, cel mai probabil, prăbușirile și căderile de roci, inclusiv ruperile de strate (RSF). Aceste tipuri de procese au fost cel mai adesea citate ca fiind comune în ariile glaciare (Jarman, 2003, 2005), cu atât mai mult cu cât CR se află într-o zonă cu seismicitate ridicată, care probabil a stat și la baza formării unor cavități preglaciare care ulterior au devenit circuri glaciare. Până la realizarea unor analize de vârstă absolută privind depozitele glaciare din perimetrul circurilor de ordin inferior, ne asumăm și riscul de a fi inclus în baza noastră de date și unele forme non-glaciare, după cum, la fel, este posibil să fi omis unele circuri glaciare propriu-zise.

Cele cinci ordine glaciare identificate de noi în CR reprezintă tot atâtea stadii de evoluție și dezvoltare a circurilor, prin care acestea trec progresiv de la faza de tinerețe la cea de maturitate deplină. Cele mai dezvoltate circuri se găsesc în AT (tab. 11.7), iar la nivel de masive, munții Retezat și Godeanu (Fig. 11.2), Făgăraș, Parâng și Rodna (Fig. 11.3) dețin cele mai multe circuri clasice (tab. 11.8).

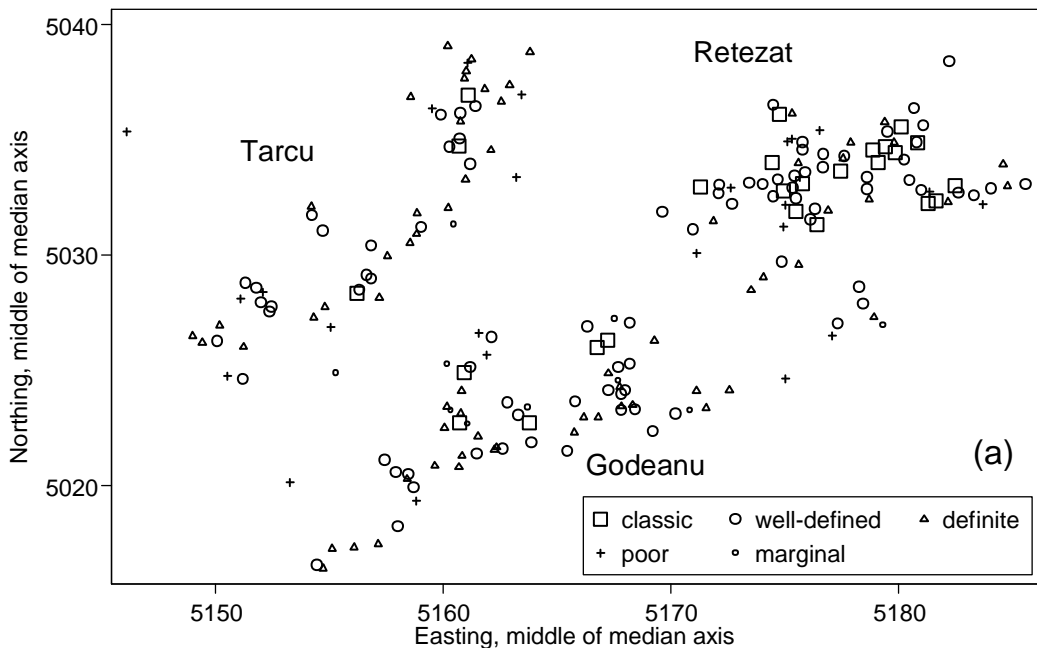


Figura 11.2. Gradul de dezvoltare a circurilor glaciare (ordinul circurilor) din masivele Retezat-Godeanu-Țarcu (*classic*: clasic, *well-defined*: bine dezvoltat, *definite*: dezvoltat, *poor*: slab dezvoltat, *marginal*: marginal).

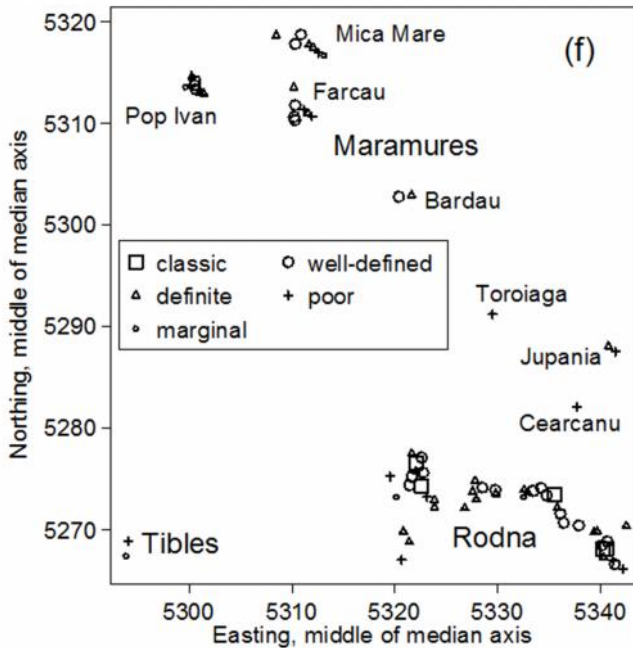


Figura 11.3. Gradul de dezvoltare a circurilor glaciare (ordinul circurilor) din masivele Rodna, Maramureș și Țibleș (*classic*: clasic, *well-defined*: bine dezvoltat, *definite*: dezvoltat, *poor*: slab dezvoltat, *marginal*: marginal).

11.2. Circurile complexe și interne: amalgamarea circurilor

O altă distincție pe care o considerăm utilă pentru studiul circurilor glaciare, dar care a produs multe controverse, este cea dintre circurile complexe și restul circurilor glaciare. În situația de față, circurile complexe sunt considerate acele care dețin unul sau mai multe circuri interne. Prin urmare, circurile complexe (*circ cu circuri*) sunt cele compozite, care dețin unul sau mai multe circuri interne (denumite și *circ în circ*). Circurile complexe (*outer cirque*), prezintă podea și spătar separate de elementele circurilor interne (*inner*). Sub aspect funcțional, circurile componente trebuie să aibă arii sursă de zăpadă, firn și gheață, separate, aceasta reprezentând o condiție obligatorie pentru delimitarea circurilor complexe și interne.

La o analiză preliminară, circurile complexe se pot diferenția între ele în funcție de numărul de circuri interne pe care le dețin, cele cu un singur circ intern fiind, de regulă, mai simple din punct de vedere morfologic. În cazul acesta, cele două podele fie sunt dispuse în cascadă, acolo unde între ele există o diferență de nivel consistentă, de cel puțin 50 m, fie, acolo unde această diferență de nivel nu există, circurile interne au aspectul unui „fund de sac” în partea superioară a circurilor complexe. În aceste situații de 1 la 1, diferențele în ce privește gradul de dezvoltare între cele 2 circuri sunt puțin sesizabile (Fig. 11.4). Mai mult, există cazuri în care circurile interne sunt mai bine dezvoltate, fiind clasificate cu un ordin superior față de circurile complexe.

Atunci când circurile complexe includ mai mult de două circuri interne, situația morfologică se complică, între circurile-gazdă și circurile interne apărând diferențe de dezvoltare și dimensionale semnificative. Aspectul acestui complex este acela al unui circ major care înglobează circuri interne dispuse în evantai în lungul spătarului său. Tipul acesta de circ complex cu mai mult de două circuri interne constituie varianta cea mai complicată morfologic, în cuprinsul CR fiind identificate 19 astfel de circuri glaciare.

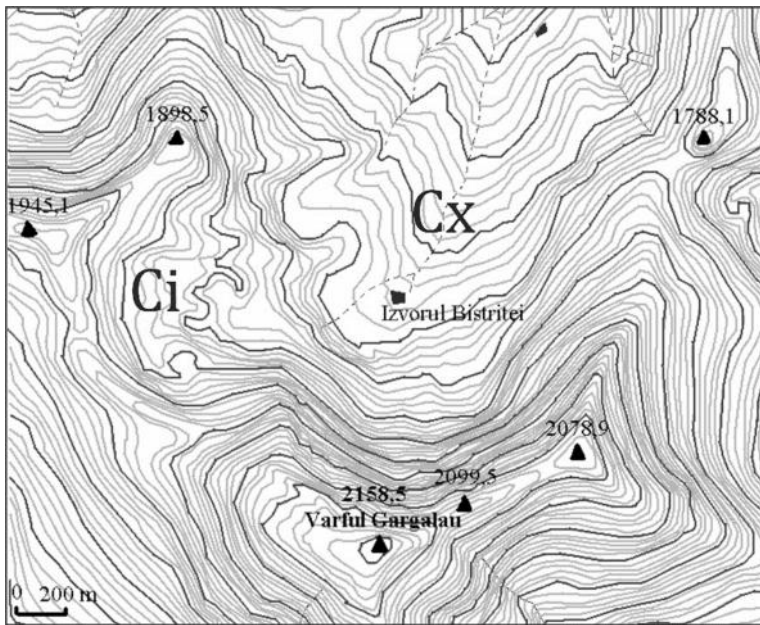


Figura 11.4. Un exemplu de circ complex (Cx - circul Bistricioarei, C72 din munții Rodnei) care deține un singur circ intern (Ci - circul Gărgălau, C73).

Existența circurilor complexe și interne reprezintă o realitate pentru CR, iar apariția lor în peisajul glaciatic carpatic s-a datorat fie intensității mari a glaciației de la altitudinile mari, fie complicațiilor de natură structurală și litologică specifice mai ales flancurilor montane grefate pe capetele de strate. În CR au fost identificate 74 de circuri complexe care dețin unul sau mai multe circuri interne, reprezentând 11,25% din numărul total de circuri (tab. 11.9). Cele mai multe astfel de circuri se găsesc în AT, în aria cu cea mai mare masivitate și altitudine (ex. munții Făgăraș cu 25 circuri), dar și în vestul acestora (munții Retezat cu 15, și Godeanu cu 10). Circurile complexe sunt prezente și în nordul CO, în munții Rodna și Maramureș.

În mod logic, prezența acestor circuri ar sugera manifestarea a două faze glaciare principale în ariile montane în care acestea se găsesc. Astfel, dintre cele 21 de arii montane glaciare, doar 10 dețin circuri complexe și interne, ceea ce sugerează existența a două faze glaciare (probabil, Riss și Würm). Până în prezent a fost acceptată manifestarea certă a două faze glaciare în masivele Făgăraș, Retezat, Godeanu, Parâng, Iezer și Rodna, în acest din urmă caz vehiculându-se chiar trei faze glaciare principale (Sârca, 1978). Totuși, cercetările pe care le-am desfășurat în cadrul acestui studiu indică faptul că această listă ar trebui să includă și arii montane cum sunt cele din munții Țarcu, Maramureș, Lotru sau Cindrel, cu precizarea că una dintre cele două faze s-a manifestat cu o intensitate mai redusă în aceste masive. În fine, la această listă se adaugă munții Bucegi, unde dimensiunile mari ale circurilor sunt rezultatul existenței a două faze glaciare, fapt evidențiat și de analiza depozitelor de peșteră (Velcea-Micalevich, 1959).

Deși credem că astfel de cazuri sunt mai numeroase, am inclus în inventarul nostru un singur caz în care un circ intern prezintă, la rândul său, un circ interior. Este vorba de circul Ucea Mare (C262) din munții Făgăraș. O situație asemănătoare apare și în cazul circului Lala (C84) din masivul Rodna (Mîndrescu, 2001). Aceste situații morfologice particulare ar putea sugera existența a trei faze glaciare principale, cel puțin în masivele Rodna și Făgăraș, ipoteză care a fost deja vehiculată pentru munții Rodna (Sawicki, 1911; Sârca, 1978), însă nu și pentru Făgăraș.

Tabel 11.9. Circurile complexe din Carpații Românești

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Minpod, m	74	1849.7	149.6	1510	2090
Maxcum, m	74	2320.8	157.1	1915	2544
Ariacirc, ha	74	106.6	63.7	19.04	377.2
Ariapod, ha	74	25.3	21.4	2.19	142.2
Mingrad, gr.	74	4.0	4.2	0	15.53
Maxgrad, gr.	74	56.5	7.8	39.36	69.43
Plancirc, gr.	74	168.5	37.3	65	283
Profcirc, gr.	74	52.5	9.7	32.18	69.43

Circurile complexe nu ar putea fi definite fără existența celor interne sau „circ în circ”, situate în interiorul circurilor gazdă, care prezintă podea și spătar proprii. Având în vedere poziționarea circurilor interne în cadrul unor circuri de dimensiuni mai mari, se poate considera că aparțin unei generații mai noi decât circul gazdă. Această ipoteză poate fi susținută și de gradul lor de dezvoltare care, pe ansamblu, este mai scăzut decât a circurilor complexe care le includ.

Circurile interne constituie un exemplu de adaptare la morfologie a ghețarilor de circ din generațiile mai tinere. Cele cu poziție în „fund de sac” (ex. Fundu Bilei, C82) sunt mai bine dezvoltate și mai mari, acestea profitând mai bine de ambianța topoclimatică oferită de circul gazdă. În schimb, cele suspendate pe spătarul circului gazdă sunt de dimensiuni mai mici și au aspect de cuib cu podea de tip șorț, născând un semn de întrebare privind modul de inițiere în morfologie a ghețarilor de circ, având în vedere înclinarea accentuată a spătarului circurilor gazdă (în general, de peste 50°). Cum a fost, deci, posibilă instalarea ghețarilor în acele amplasamente? Abia în aceste cazuri putem afirma cu certitudine că ghețarii au fost ajutați de stratificația rocilor, prin existența unor polițe structurale, care au condus la formarea unor circuri interne cu aspect de cuib.

În CR au fost identificate 101 circuri interne (15.35% din totalul circurilor), distribuite în cadrul celor 74 de circuri complexe (tab. 11.10). Ele au, în mod evident, aceeași repartitie spațială la nivelul ariilor montane glaciare ca și circurile complexe, cu mențiunea că în munții Rodna, Maramureș, Iezer, Cindrel și Lotru se găsesc exclusiv circuri complexe care dețin un singur circ intern. Spre deosebire circurile complexe, însă, cele interne sunt situate la altitudini mai mari și sunt mai puțin dezvoltate decât acestea. În mod frecvent, circurile interne sunt poziționate pe latura din spate a spătarului de circ.

Tabel 11.10. Circurile interne din Carpații Românești

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Minpod, m	101	2018.8	132.2	1660	2300
Maxcum, m	101	2318.9	148.9	1912	2544
Ariacirc, ha	101	27.7	18.2	4.45	100.5
Ariapod, ha	101	8.6	6.6	1.04	31.04
Mingrad, gr.	101	7.9	6.0	0	22.63
Maxgrad, gr.	101	53.8	8.3	35.59	69.23
Plancirc, gr.	101	135.5	40.5	51	247
Profcirc, gr.	101	45.9	10.9	21.69	69.23

Restul circurilor glaciare (73.4%) sunt considerate **circuri simple** întrucât nu prezintă astfel de complicații morfologice, cum se întâmplă în cazul circurilor complexe. În schimb, această populație a fost clasificată după poziția pe care o ocupă în cadrul bazinului hidrografic în care se găsește. Deși circurile complexe și interne pot fi clasificate și ele după acest criteriu, am considerat că este oportun să aplicăm această clasificare doar pentru circurile simple.

În cadrul studiului de față a fost realizată prima clasificare a circurilor glaciare care ține seama de poziția acestora în cadrul bazinelor hidrografice, definită prin intermediul variabilei denumite *tipul ciroului*. După cum vom vedea, această clasificare are și un rol funcțional, deoarece ghețarii de circ au prezentat decalaje temporale ale momentului de inițiere în morfologie care s-au datorat condițiilor diferite de alimentare. Terenurile înclinate din ariile înalte carpatice sunt reprezentate de o succesiune de versanți de obârșie și de vale. În funcție de poziția circurilor față de acești versanți au fost identificate următoarele tipuri de circuri: i). circurile de altitudine joasă; ii). circurile de obârșie fără abrupt (prag); iii). circurile de obârșie cu abrupt; și iv). circuri de versant (Fig. 11.5 și Fig. 11.6).

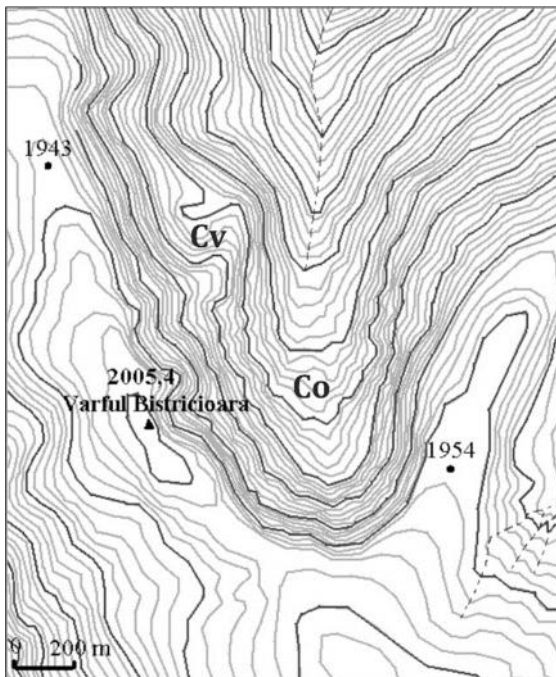


Figura 11.5. Un exemplu de circ glaciare de obârșie fără abrupt (Co - circ Obârșia Daici, C647 din munții Țarcu) și de versant (Cv - circ Daici 1, C648).

Tabel 11.11. Circurile de obârșie din Carpații Românești

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Minpod, m	263	1873.1	185.2	1400	2250
Maxcum, m	263	2221.3	193.2	1651	2518
Ariacirc, ha	263	45.5	28.2	7.86	183.8
Ariapod, ha	263	13.2	11.4	1.07	109
Mingrad, gr.	263	8.2	5.2	0	22.63
Maxgrad, gr.	263	49.5	9.2	30.25	70.24
Plancirc, gr.	263	139.4	36.1	57	258
Profcirc, gr.	263	41.3	11.8	18.86	70.24

Cele mai frecvent întâlnite circuri sunt cele care se găsesc la obârșia râurilor și pâraielor actuale (Fig. 11.5). Circurile de obârșie, cu sau fără abrupt, sunt în număr de 263 și reprezintă 54,5% dintre circurile carpatice simple (tab. 11.11). Acestea au moștenit forme

preglaciare evidente de tipul obârșiilor glaciare. Pentru circurile de obârșie fără abrupt, trecerea de la podea la patul văii glaciare sau fluviale se face gradat, acestea fiind considerate tipice. În cazul circurilor glaciare de obârșie cu abrupt, trecerea de la podea la patul văii se realizează prin intermediul unui sector înclinat, care uneori poate ajunge și până la 500 m cădere pe verticală.

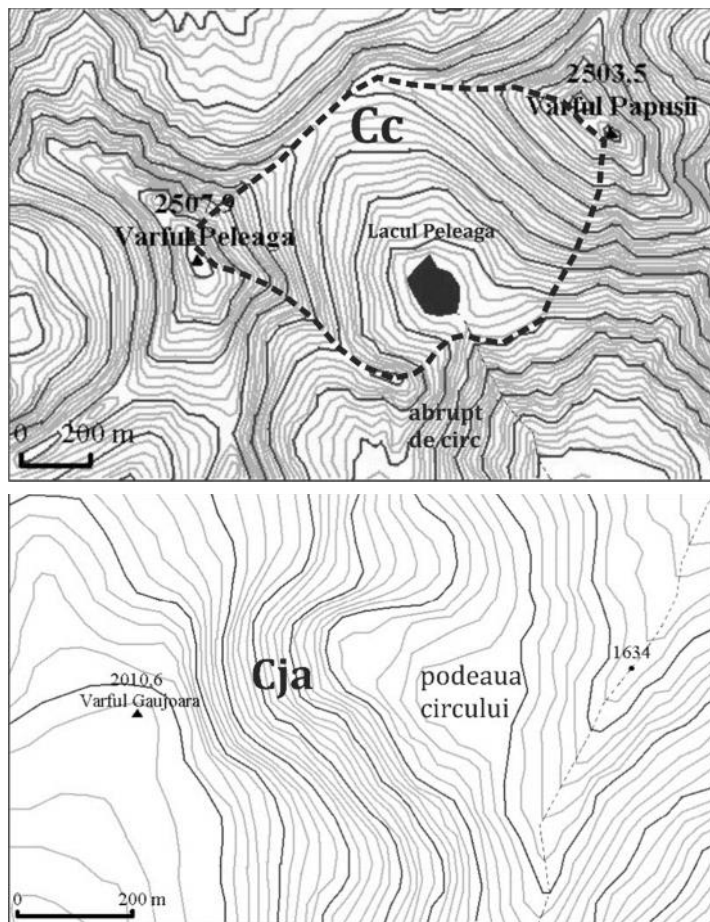


Figura 11.6. Exemple de circ obârșie cu abrupt de circ (Cc - circul clasic Peleaga, C479 din munții Retezat) și circ de joasă altitudine (Cja - circul Găujoara, C384 din munții Cindrel).

A doua populație importantă din CR, pe lângă circurile de obârșie, este reprezentată de cea a **circurilor de versant**. În număr de 214, acestea reprezintă 44.3% din totalul circurilor simple din CR (tab. 11.12). Acestea au fost deseori amintite de cei care au studiat relieful glaciare din CR, însă nu au fost definite propriu-zis, fiind circuri suspendate la nivelul versanților de vale, dar și de obârșie (Fig. 11.5). Sunt mai mici comparativ cu circurile de obârșie, având un grad mai redus de zăvorăre orizontală. În ansamblu, gradul lor de dezvoltare este mai scăzut, fapt care ne îndreptățește să le considerăm mai puțin mature morfologic și mai tinere decât cele de obârșie. Doar 5 circuri de versant se încadrează în ordinul I (circuri clasice), față de 20 de circuri de obârșie care aparțin aceluiași ordin.

Morfologic, acest tip de circuri a moștenit forme preglaciare minore de genul nișelor nivale sau a pervazurilor structurale și/sau litologice. Gradul mai mic de zăvorăre arată că ele s-au format în ariile rectilinii ale versanților montani, spre deosebire de cele de obârșie. Mai mult, versanții de obârșie a creat un microclimat mult mai favorabil pentru formarea ghețarilor de circ, spre deosebire de cei de vale. Ghețarii formați în circurile de versant și de obârșie au invadat și văile fluviale, creând ghețarii de vale. Cele mai tipice exemple de astfel de ghețari de vale, de mari dimensiuni, sunt cei care au existat pe versantul sudic al masivului Făgăraș.

Tabel 11.12. Circurile de versant din Carpații Românești

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Minpod, m	214	1883.9	168.5	1310	2200
Maxcum, m	214	2189.2	186.8	1530	2535
Ariacirc, ha	214	25.0	17.2	3.65	159.3
Ariapod, ha	214	7.2	6.8	0.78	70.92
Mingrad, gr.	214	10.9	4.9	0	22.63
Maxgrad, gr.	214	49.1	9.2	30.78	75.14
Plancirc, gr.	214	118.3	38.4	37	280
Profcirc, gr.	214	38.2	11.3	11.74	75.14

În final, circurile de joasă altitudine (*lower*) sunt cele mai puțin frecvente. Acestea s-au format foarte aproape de talvegul văilor alpine și subalpine, la baza versanților de obârșie sau de vale, iar evoluția lor a fost împiedicată de extinderea ghețarilor de vale care au invadat văile montane. Teoretic, și circurile aflate la distanță mai mare de cumpenele de apă pot intra în această categorie. Un exemplu tipic de circ de joasă altitudine în reprezintă circul Găleata Găujoara din munții Cindrel (Fig. 11.6).

După magnitudinea fragmentării limitei superioare a circurilor (creștetul spătarelor) și a cumpenelor de ape (prezența sau absența înșeuărilor de transfluență glaciară), circurile se pot clasifica în: *circuri fără înșeuări de transfluență glaciară sau nivală* (60% dintre circuri) și *circuri cu înșeuări de transfluență glaciară și nivală* (40%) (tab. 11.13).

Astfel, cele mai multe circuri glaciare nu prezintă înșeuări mai adânci de 30 m care ar fi permis tranzitul de gheață sau zăpadă spre circ. Prezența acestora este o realitate morfologică pentru cele mai glaciare masive; cu cât numărul de ghețari de circ a fost mai mare, cu atât au existat mai multe șanse de a se forma fluxuri de gheață inter-circuri sau dintre ghețarii de circ și alte forme de gheață (ex. ghețari de platou). Din acest punct de vedere se detașează masivul Făgăraș, cu un număr total de 113 de astfel de înșeuări dintr-un total de 306 existente în CR. Acesta este și motivul pentru care creasta munților Făgăraș are cel mai expresiv aspect de ferăstrău, rezultat în urma acțiunii ghețarilor de circ, conform teorii *buzzsaw* (mai multe detalii în Mîndrescu & Evans, 2014).

Prezența sau lipsa acestor înșeuări s-a reflectat direct în balanța și alimentarea ghețarilor de circ. Acolo unde ele au existat a fost susținută alimentarea acestora prin deflație nivală sau chiar prin unii tributari ai ghețarilor de platou. Astfel de înșeuări adânci au coborât linia de echilibru a ghețarilor (*ELA*), întrucât ghețarii de circ de sub ele s-au putut dezvolta mai mult, dat fiind aportul de gheață sau zăpadă venit prin aceste „ferestre glaciare” (în limbajul local înșeuările adânci sunt denumite ferestre).

Tabel 11.13. Numărul înșeuărilor de transfluență glaciară sau nivală din ariile glaciare din Carpații Românești (0 - nici o înșeuare, 1 - o înșeuare, 2 - două înșeuări, 3 - trei înșeuări)

Masivul	0	1	2	3	Nr. circuri
Făgăraș	116	79	11	4	210
Retezat	45	33	10	1	89
Godeanu	41	29	1	0	71
Parâng	30	21	1	0	52
Rodna	23	19	6	0	48
Iezer	28	13	0	0	41
Maramureș	18	10	0	0	28
Țarcu	50	10	0	0	60
Bucegi	5	6	0	0	11

Masivul	0	1	2	3	Nr. circuri
Lotrului	6	5	0	0	11
Țibleș	0	2	0	0	2
Călimani	6	2	0	0	8
Cindrel	6	2	0	0	8
Șureanu	4	1	0	0	5
Biharia	3	1	0	0	4
Suhard	1	0	0	0	1
Siriu	1	0	0	0	1
Leaota	1	0	0	0	1
Căpăținii	1	0	0	0	1
Latorița	4	0	0	0	4
Mt Mic	2	0	0	0	2
Total	391	233	29	5	658

Forma și aspectul circurilor depinde și de prezența sau absența cuvetelor glaciare ocupate astăzi de lacuri glaciare. În fapt, existența acestora a fost asociată cu creșterea gradului de zăvorăre verticală a circurilor, influențând profilul longitudinal al circurilor. După acest criteriu, circurile glaciare din CR au fost clasificate astfel: i). circuri cu lacuri majore; ii). circuri cu lacuri sau turbării minore; iii). circuri cu lacuri colmatate; iv). circuri fără lac/lacuri cu podea uniformă; și v). circuri fără lac/lacuri cu podea neuniformă.

Din păcate, în CR există foarte puține circuri glaciare a căror podea să fie ocupată aproape în totalitate de o cuvetă glaciară, așa cum se întâmplă, spre exemplu, cu unele circuri din Marea Britanie. Unele dintre acest cuvette, în prezent ocupate cu apă, deși pot avea dimensiuni impresionante, nu reușesc decât foarte rar să ocupe toată suprafața podelei. Desigur, unele cuvette glaciare au dispărut sau și-au redus dimensiunile în timp, fiind colmatate sau parazitare de depozitele de pantă. Un număr de 157 de circuri glaciare (24%) prezintă evidențe morfologice ale prezenței unei cuvette glaciare, sub diferite forme: lacuri majore, lacuri minore, turbării minore sau cuvette colmatate de diferite dimensiuni.

Cele mai multe circuri cu cuvette glaciare dar și cea mai mare densitate a acestora se găsesc în munții Retezat, unde s-a manifestat o predispoziție a granitelor pentru modelarea cuvetelor glaciare, urmați de munții Făgăraș, care dețin și cele mai multe cuvette colmatate. Colmatarea depinde de o serie de factori de control, printre care mărimea și expoziția bazinului de recepție, altitudinea, litologia și apropierea de spătarul circurilor (Necșoiu et al., 2016) sunt cei mai relevanți. În cazul munților Făgăraș, colmatarea s-a datorat substratului format din roci mai puțin dure, cele mai afectate fiind cuvettele lacustre care s-au aflat mai aproape de spătarele circurilor. Cel mai probabil, unele dintre ele au fost acoperite în totalitate de către depozitele de grohotișuri. Alte masive care dețin cuvette glaciare sunt munții Parâng, Godeanu, Rodna și Țarcu. Munții Iezer, în ciuda altitudinilor ridicate, dețin o singură cuvetă glaciară, Iezer-Păpușa.

Tabel 11.14. Tipologia circurilor din Carpații Românești în funcție de prezența sau absența cuvettei glaciare*

Tipul cuvettei glaciare	Nr. circuri	Frecv. relativă, %	Frecv. cumulată, %
Lac major	56	8.51	8.51
Lac sau turbărie minoră	54	8.21	16.72
Lac colmatat	47	7.14	23.86
Fără lac, podea uniformă	394	59.88	83.74
Fără lac, podea neuniformă	107	16.26	100
Total	658	100	

Table 11.15. Numărul cuvetelor lacustre din ariile glaciare din Carpații Românești*

Masivul	Lac major	Lac minor	Lac colmatat	Fără lac	Total
Retezat	19	15	2	53	89
Făgăraș	16	10	26	158	210
Parâng	7	8	0	37	52
Godeanu	4	6	7	54	71
Rodna	3	4	3	38	48
Țarcu	3	4	2	51	60
Iezer	1	0	3	37	41
Cindrel	1	1	0	6	8
Șureanu	1	0	0	4	5
Siriu	1	0	0	0	1
Maramureș	0	3	1	24	28
Lotrului	0	2	0	9	11
Călimani	0	1	0	7	8
Bucegi	0	0	2	9	11
Biharia	0	0	1	3	4
Mt Mic	0	0	0	2	2
Leaota	0	0	0	1	1
Căpăținii	0	0	0	1	1
Latorița	0	0	0	4	4
Țibleș	0	0	0	2	2
Suhard	0	0	0	1	1
Total	56	54	47	501	658

* tabelele 14 și 15 au fost realizate după baza de date a cuvetelor glaciare realizată în 2006.

O altă clasificare a circurilor glaciare ține cont de poziția circurilor față de linia zăpezilor din Pleistocen, precum și de balanța ghețarilor de circ. Astfel, am identificat existența circurilor de tip fotoliu (**fotolii glaciare**) și a celor alpine (**carpatice înalte**) și în CR. În afară de acestea, se distinge și un al treilea tip de circ, denumit **nord-carpatic**, specific pentru ariile glaciare ale munților Maramureșului și Cernahora (Ucraina).

Fotoliile glaciare s-au dezvoltat foarte aproape de linia zăpezilor din Pleistocen, sub acțiunea unor ghețari care au ajuns la stadiul de celulă rotațională. Mișcarea rotațională a acestora a determinat intensificarea eroziunii glaciare și creșterea dimensiunilor circurilor. Sub acest impuls, circurile fotoliu au crescut repede în lungul axelor orizontale prin colapsul și retragerea spătarului. Din punct de vedere morfometric, sunt circuri de mari dimensiuni, în general peste 100 ha, cu lățimea mai mare decât lungimea (raportul axelor este subunitar), podelele sunt domoale, ocupate de lacuri, iar spătarele sunt înclinate (tab. 11.16). Aceste circuri se disting prin dimensiunile orizontale care sunt considerabil mai mari decât cele verticale. Totodată, au cele mai ridicate grade de zăvorâre orizontală și verticală, motiv pentru care aceste circuri sunt utilizate pentru determinarea altitudinii liniei zăpezilor din Pleistocen.

În CR au fost identificate 59 de circuri glaciare care dețin aceste caracteristici morfometrice specifice fotoliilor glaciare. Fotoliile glaciare clasice s-au dezvoltat acolo unde acumularea zăpezii și a firnului s-a făcut mai mult în partea superioară a ghețarului de circ și în cantități suficiente de mari pentru a încuraja apariția mișcării rotaționale a ghețarului. Acumularea zăpezilor s-a realizat prin precipitații solide directe, prin deflație nivală și prin acțiunea avalanșelor de la nivelul spătarului. Orice excavație de mici dimensiuni sau fractură de la nivelul subasmentului avea toate șansele să se transforme într-o cuvetă glaciară. Un exemplu

tipic de fotoliu glaciare este cel al circului Lala din munții Rodnei (Fig. 11.7), unde, ca urmare a succesiunii mai multor generații de ghețari în zona obârșiei pârâului Lala, a rezultat ceea ce noi considerăm a fi un *palimpsest glaciare*. Fotoliul glaciare Lala constituie unul dintre cele mai reprezentative circuri din masivul Rodnei, dar și unul dintre cele mai mari din CR (Mîndrescu, 2001).

Tabel 11.16. Fotoliile glaciare din Carpații Românești (exemple)

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Altit. minimă podea, m	59	1802.0	128.4	1510	1990
Altit. maximă cumpănă, m	59	2286.7	155.6	1915	2544
Orientarea circului, gr	59	166.4	123.8	7	359
Lungime, L	59	1050.8	324.9	343	1988
Lățime, l	59	1176.9	420.5	522	2228
Raportul axelor, L/l	59	0.95	0.3	0.48	2.05
Elevația spătarului, Hs	59	292.2	115.6	100	640
Arie circ, ha	59	109.7	68.0	19.13	377.2
Arie podea, ha	59	25.1	22.3	2.19	142.2
Unghiul minim de înclinare, gr	59	4.3	4.1	0	15.53
Unghiul maxim de înclinare, gr	59	56.2	7.8	39.36	69.43
Gradul de zăvorâre orizontală, gr	59	167.0	37.5	65	283
Gradul de zăvorâre verticală, gr	59	52.0	10.0	32.18	69.43

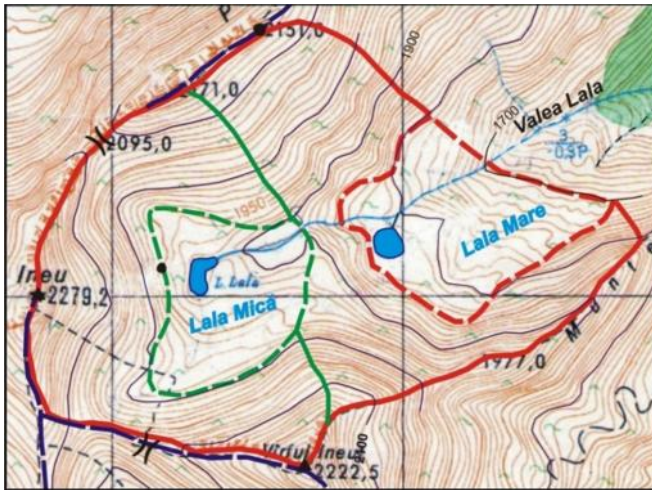


Figura 11.7. Fotoliul glaciare Lala (C84) din munții Rodnei.

Circurile carpatice înalte (alpine) sunt de dimensiuni mai mici și prezintă podele de tip „șorț” și înclinate. Acestea s-au dezvoltat cu mult peste linia zăpezilor regionale sub acțiunea unor ghețari foarte crevasați, cu spatele înclinat și care nu au dezvoltat o mișcare rotațională, ci au curs cu viteze mari, evacuând cu rapiditate gheața din circ, astfel încât eroziunea exercitată asupra muntelui nu a fost la fel de puternică. Sursele de acumulare cu zăpadă erau chiar mai numeroase și mai întinse, însă ghețarii formați alunecau rapid peste patul înclinat. Astăzi, aceste circuri sunt suspendate deasupra obârșiiilor de vale sau a văilor glaciare și fluviale (Fig. 11.8).

Sub aspect morfometric, circurile carpatice înalte sunt de dimensiuni mai mici (în jur de 25 ha) și apar la altitudini mai mari (media 2080 m), cu peste 200-300 m mai sus față de

fotoliile glaciare. Raportul axelor este mai echilibrat, însă lungimea este mai mare decât lățimea. Dimensiunile horizontale sunt mult mai reduse și se apropie ca valoare de cele verticale (tab. 11.17), iar podeaua de tip „șort” este mai înclinată și lipsită de cuvete lacustre.

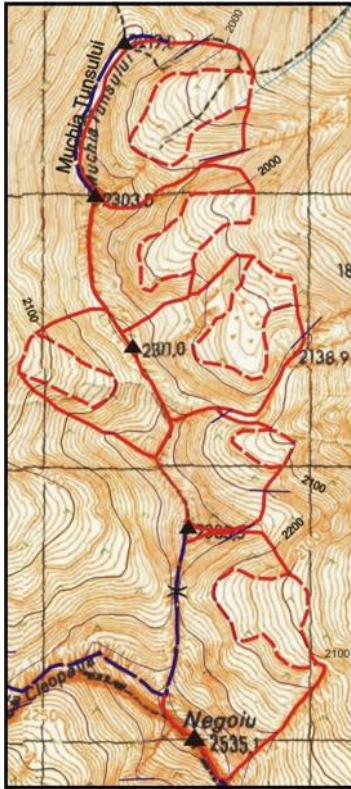


Figura 11.8. Circurile carpatice înalte (alpine) din lungul Muchiei Tunsului din Făgăraș.

Tabel 11.17. Circurile carpatice înalte din Carpații Românești (exemple)

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Altit. minimă podea, m	55	2080.4	58.1	2010	2200
Altit. maximă cumpănă, m	55	2390.0	76.2	2212	2535
Orientarea circului, gr	55	132.5	96.6	0	344
Lungime, L	55	558.1	224.5	237	1652
Lățime, l	55	547.1	195.6	216	1331
Raportul axelor, L/l	55	1.1	0.3	0.5	2.13
Elevația spătarului, Hs	55	197.8	75.8	90	385
Arie circ, ha	55	26.8	23.0	3.65	159.3
Arie podea, ha	55	8.1	10.4	1.02	70.92
Unghiul minim de înclinare, gr	55	10.2	5.6	0	21.04
Unghiul maxim de înclinare, gr	55	52.8	10.7	31.08	75.14
Gradul de zăvorâre orizontală, gr	55	128.7	38.2	68	237
Gradul de zăvorâre verticală, gr	55	42.6	13.4	15.97	75.14

Circurile carpatice înalte sunt specifice doar ariilor glaciare din AT, cu răspândire predilectă în munții Făgăraș și Retezat, cele mai multe circuri de acest tip fiind înșirate în lungul creștelor secundare ale masivului Făgăraș. Ghețarii acestor circuri au alimentat ghețarii de vale, care au evoluat astfel către dimensiuni impresionante. Dintre acestea, exemplificăm circurile carpatice înalte din lungul culmii secundare nordice Muchia Tunsului (Fig. 11.8),

situată la nord de vârful Negoiu, dar și circurile din lungul creștelor secundare sudice Buda (între vârfurile Vârtopu și Râios) și Boia (situată la sud de vârful Ciortea). O populație asemănătoare de circuri, dar de altitudine mai joasă, formează și circurile din munții Călimani.

Fotoliilor glaciare și circurile carpatice înalte (alpine) identificate în cuprinsul Carpaților Românești reprezintă, poate, cele mai distincte circuri din punct de vedere morfometric, dar și cele mai ușor de identificat pe hartă și în teren (Fig. 11.9).

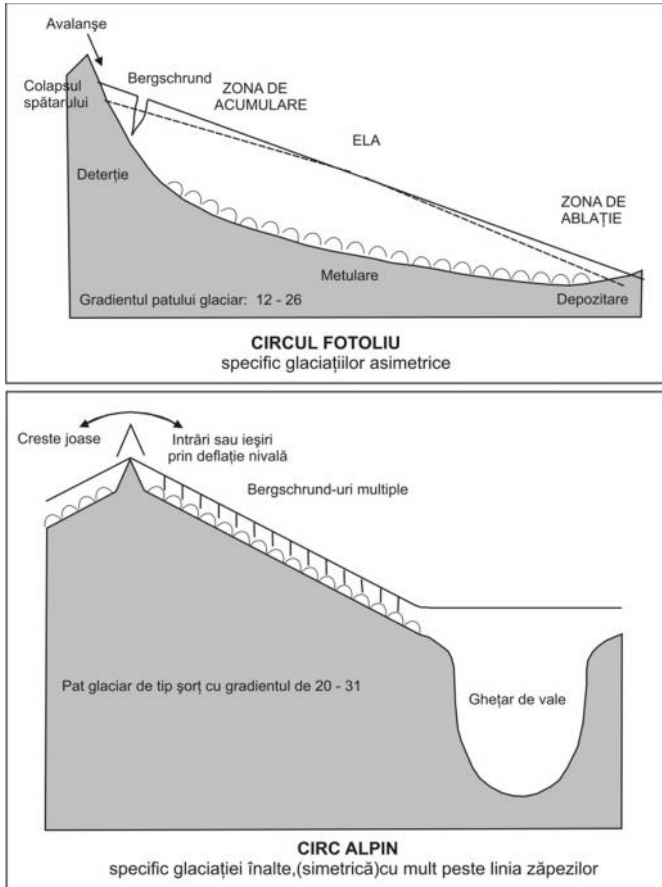


Figura 11.9. Sistemul glaciare al circurilor fotoliu (sus) și alpine sau cirques en van (jos) (modificat după Evans, 2006).

Ca o notă distinctivă, în cazul CR a fost identificat un tip aparte de circuri pe care le-am denumit circuri nord-carpatice sau de tip „Maramureș”, caracteristice pentru nordul CO și ariile glaciare din Ucraina, Cernahora și Svidoveț. Circul nord-carpatic se găsește sub altitudini absolute ale creștelor de sub 2000 m, însă s-a dezvoltat aproape de linia zăpezilor regionale din Pleistocen. Sub aspect dimensional sunt asemănătoare cu cele carpatice înalte, deși le pot depăși ca dimensiuni pe acestea din urmă, însă sunt situate la altitudini mult mai coborâte (cu până la 500 m) față de acestea. În CR au fost identificate 42 de astfel de circuri (tab. 11.18).

În afara celor 3 categorii menționate, în CR mai pot fi identificate și alte forme care sunt asemănătoare ca aspect cu circurile glaciare, însă nu au reprezentat surse de gheață în timpul

Pleistocenului. Reamintim că toate circurile glaciare (conform accepțiunii pe care le-am dat-o în acest studiu) au fost surse de gheață, însă nu toate sursele de gheață au fost reprezentate prin circuri. Printre formele similare circurilor glaciare, sau care au constituit doar surse de surplus de zăpadă și firn, enumerăm circurile și nișele nivale.

Table 11.18. Circurile nord-carpătice (exemple)

Variabila	Nr. circuri	Media	ds	Val. min.	Val. max.
Altitudinea minimă a podelei, m	42	1580.1	99.1	1400	1750
Altitudinea maximă a cumpănii, m	42	1871.1	76.3	1657	1990
Orientarea circului, gr	42	104.6	107.2	4.2	355
Lungimea, L	42	494.6	176.3	246	904
Lățimea, l	42	572.5	250.4	180	1263
Raportul axelor, L/l	42	0.9	0.3	0.34	1.76
Elevația spătarului, Hs	42	183.1	61.2	60	380
Arie circ, ha	42	25.8	18.0	4.17	74.14
Arie a podelei, ha	42	7.2	6.8	0.78	27.44
Unghiul minim de înclinare, gr	42	11.1	6.2	0	22.63
Unghiul maxim de înclinare, gr	42	47.8	7.1	30.78	64.39
Gradul de zăvorâre orizontală, gr	42	125.3	35.3	50	192
Gradul de zăvorâre verticală, gr	42	36.7	10.3	11.74	60.18

Circurile nivale au forma unui cerc, însă au rezultat exclusiv în urma eroziunii exercitate de troienele de zăpadă (bancuri sau construcții nivale). **Nișele de nivație** se aseamănă unor circuri glaciare în miniatură, însă lipsesc elementele caracteristice acestora. Ca și în cazul circurilor glaciare, circurile sau nișele nivale pot prezenta o podea în pantă sau pot îngloba un lac, de obicei superficial (Evans & Cox, 1974). Spătarul este mai domol, cu un creștet mai puțin evident în morfologie, iar muchia circului (*trimline*) lipsește deoarece nu s-a produs bizotarea glaciară. Nișele de nivație sunt de dimensiuni mult mai mici comparativ cu circurile glaciare, motiv pentru care nu pot fi surprinse pe hărțile topografice la scara 1 : 25.000. Deoarece nu s-au realizat măsurători și asupra acestor forme nivale, nu știm cu siguranță care sunt raporturile, din punct de vedere dimensional, dintre acestea și circurile glaciare.

În 1974 a fost propusă o clasificare a circurilor glaciare din punct de vedere genetic pe baza modului de manifestare a mișcării rotaționale a ghețarilor de cerc și altitudinii liniei zăpezilor (Evans & Cox, 1974). Au fost, astfel, identificate următoarele tipuri de circuri glaciare dezvoltate de:

1. un ghețar rotațional izolat (n.n. care funcționează după mecanismul celei rotaționale) alimentat, în principal, de deflația nivală;
2. un ghețar rotațional izolat alimentat din alte surse decât deflația nivală;
3. un ghețar izolat fără mișcare rotațională a gheții, de tip lespezi de gheață;
4. un ghețar de mici dimensiuni a cărui limbă depășește, pe mici distanțe, abruptul circului;
5. un ghețar tributar unui ghețar de vale sau unui ghețar de treaptă de vale;
6. un ghețar de obârșie de vale glaciară (ghețar de capăt de vale);
7. un ghețar suspendat al cărui cerc a fost ulterior modificat de eroziunea calotelor de gheață modificând spătarul prin bizotare glaciară (n.n. situație specifică pentru Marea Britanie);
8. un ghețar suspendat (n.n. de obicei a unui cerc intern) al cărui cerc a fost modificat, după deglaciație, de procese nivale, gelivație și taluzare.

12. Concluzii

Munții Carpați se întind la est de Munții Alpi, dincolo de bazinul Vienei, și ajung până în România unde formează coloana vertebrală a unui relief dispus în trepte, dinspre crestele carpatice spre fluviul Dunărea și Marea Neagră. Pe teritoriul României, lanțul carpatic poartă denumirea de Carpații Românești și desenează una dintre cele mai spectaculoase curburi montane din lume (*Carpathian Bend or Curvature*), reprezentând totodată și aria cu cea mai mare seismicitate din Europa de Sud - Est. Prezența curburii carpatice a înlesnit delimitarea arbitrară a CR în trei ramuri carpatice, după cum urmează: Carpații Orientali (sau Moldavo-Transilvani), Alpii Transilvaniei (Carpații Meridionali) și Munții Apuseni (Carpații Occidentali).

Arcul carpatic atinge maximumul de extensiune spre est pe teritoriul României. Dincolo de acesta se întinde o vastă regiune cu altitudini mult mai coborâte, iar la vest se găsește Câmpia Panonică drenată de Dunăre și afluentul său Tisa. Practic, Carpații Românești reprezintă ultima barieră orografică din Europa, delimitând două arii cu influențe climatice diametral opuse: cea vestică cu nuanțe pronunțat atlantice și mediteraneene, și cea estică cu influențe pronunțat asiatice (estice) și pontice. Prin urmare, lanțul carpatic românesc constituie o arie de tranziție climatică de prim rang la nivelul continentului european, și cea mai importantă din partea sa estică.

Aceste valențe climatice de mare însemnătate, care derivă din poziția lor în cadrul continentului coroborat cu conformația în plan, conduc la concluzia că lanțul carpatic românesc reprezintă o regiune cheie pentru înțelegerea schimbărilor climatice trecute și actuale de la nivel continental și intercontinental (Europa - Asia). Advecția maselor de aer pe direcția nord - sud / sud - nord (Marea Baltică - Mediterană: *from sea to sea*) și, mai ales, pe direcția vest - est/est-vest (Oceanul Atlantic - Munții Urali) a depins într-o măsură semnificativă de prezența acestui lanț montan, *influențele carpatice* resimțindu-se atât la mare distanță (prin diminuarea cantității de precipitații și a umidității spre est sau moderarea temperaturilor spre vest prin frânarea maselor de aer estice), cât și la mică distanță (brizele carpatice, inversiunile termice, formarea foehnului, efectul Venturi etc.).

Printre cele mai importante influențe carpatice asupra regiunilor proxime se numără imprimarea efectului Coandă asupra maselor de aer care tranzitează Carpații Românești. În acest caz, lipsa văilor transversale din Carpații Orientali, desfășurați perpendicular pe direcția vântului dominant, reprezintă un factor favorizant. Gradul în care un lanț montan este fragmentat de văi adânci determină eficacitatea acestuia ca barieră climatică. Acesta este similar efectului dinamic observat atunci când un jet de aer traversează un spațiu îngust (tunel, tub) care asigură accesul într-o cameră largă, cunoscut sub denumirea de *efectul Coandă*. Giles (1976) sugerează că vânturile care se manifestă la est de Carpații Românești par să reflecte acest principiu, întrucât sunt deflectate spre sud-est către suprafața convexă adiacentă lanțului montan (datorită curburii). Deseori, o arie de presiune locală scăzută din interiorul arcului carpatic este determinată de antrenarea aerului într-un flux consistent spre versantul sudic al Alpilor Transilvaniei. Astfel de fluxuri de mase de aer abătute spre sud-est dincolo de lanțul Carpaților ar putea să explice prezența unor arii glaciare nu numai în munții Siriu, dar și în ariile înconjurătoare, acolo unde existența reliefului glaciare rămâne încă o temă intens dezbătută, cu numeroase argumente pro și contra.

Prin urmare, studierea formelor de relief rezultate în urma variațiilor climatice din trecut, așa cum sunt circurile glaciare din Carpații Românești, a devenit o prioritate pentru geomorfologia din România. Obiectivul principal al acestui studiu a fost analiza morfometrică a acestor forme de relief "relicte" (non-funcționale) cu scopul de a înțelege mai bine sistemul geomorfologic și specificitatea circurilor glaciare carpatice. Rezultatele obținute au adus informații importante privind evoluția reliefului, și în special a reliefului glaciare din Carpații Românești, dar și despre climatul în care acesta a evoluat. Astfel, deși studiul de față este unul geomorfologic și geomorfometric, nu lipsesc și interpretările paleoclimatice, fără de care nu putem explica multe din caracteristicile individuale sau de grup ale circurilor glaciare.

Studiul reliefului glaciare din Carpații Românești se numără printre cele mai timpurii preocupări geografice și geomorfologice din țara noastră. Formele de relief glaciare au fost studiate mai întâi utilizând metode specifice geologiei, și ulterior conform metodelor morfologice moderne, încă dinainte de înființarea primei școli de geografie din învățământul superior românesc. Primele date despre relieful glaciare au fost culese de de Martonne, însă cele mai consistente, mai ales de natură descriptivă, s-au acumulat pe parcursul realizării unor teze de doctorat în domeniul geomorfologiei, dintre care unele constituie studii de excepție (ex. Sârcu, Niculescu, Iancu) din perioada anilor 60' - 70' ai secolului trecut. Acestea sunt sintetizate, alături de alte contribuții notabile, în volumele I (1983) și III (1987) dedicate Geografiei României. Totuși, cele mai importante informații de natură cantitativă, dar și calitativă, au fost obținute după anul 1990, odată ce geomorfologii români au început să aibă, din nou, acces la literatura de specialitate din Europa și America de Nord, făcându-se astfel pași importanți pentru studierea reliefului glaciare din punct de vedere morfometric, dar și al analizei sedimentologice a depozitelor glaciare și stabilirea vârstelor fazelor glaciare pe baza izotopilor radiometrici.

În acest context, studiul de față integrează pentru prima dată toate circurile glaciare din Carpații Românești într-o analiză morfometrică, statistică și spațială. Circurile glaciare sunt clar definite, împreună cu elementele acestora și procesele geomorfologice care le guvernează pe parcursul evoluției lor. Mai mult, au fost aduse contribuții noi (și de multe ori îndrăznețe) în privința termenilor care desemnează elemente de morfologie, procese sau condiții climatice specifice ariilor glaciare, fiind propusă și o definiție a circurilor carpatice.

Pe baza exercițiilor de geomorfometrie efectuate pe hărțile topografice la scară mare și a aerofotogramelor, precum și a cercetărilor din teren în Carpații Românești, au fost identificate 658 de circuri glaciare aflate în diferite stadii de evoluție și dezvoltare. Cele mai multe circuri se găsesc în Alpii Transilvaniei (554) și în urmează Carpații Orientali (100). Densitatea circurilor și indicele de glaciație descriu repartiția circurilor la nivel local, regional și carpatic, fiind aduse contribuții noi la metoda de calcul a asimetriei glaciare prin raportarea circurilor la unitatea de suprafață sau în funcție de proximitatea față de creasta principală. Astfel, au fost stabilite mai multe tipuri de asimetrie glaciare. Repartiția intimă a circurilor glaciare este cel mai bine definită de gruparea acestora în funcție de vârfurile dominante denumite hornuri glaciare (grupurile glaciare).

Poziția pe verticală a circurilor glaciare este foarte importantă pentru evoluția și dezvoltarea lor ulterioară, dar și pentru stabilirea unor linii climatice importante pentru ariile glaciare, așa cum sunt linia zăpezilor, linia de echilibru a ghețarilor sau limita de glaciație. În Carpații Românești, dată fiind poziția lor intracontinentală, departe de ariile de proveniență a precipitațiilor, altitudinea a fost cea care a trasat limita dintre ariile glaciare și cele non-glaciare, respectiv, dintre climatul glaciare și cel non-glaciare sau parțial glaciare. Circurile carpatice actuale sunt situate în general între 1700 și 2100 m altitudine, la o elevație medie de aprox. 1900 m, însă cu diferențieri regionale importante. Pe baza variabilelor de altitudine s-a stabilit altitudinea circurilor, a podelelor și a limitei inferioare a acestora (buza

circurilor), altitudinile maxime sub care s-au format ghețarii de circ / circurile, amplitudinea verticală a circurilor etc. Totodată, au fost aduse contribuții importante privind linia zăpezilor din timpul Pleistocenului, precum și variabilitatea pe verticală a podelelor de circ actuale din Carpații Românești.

Sub aspect dimensional, comparativ cu alte circuri din munții Europei, circurile carpatice sunt relativ mari, în ciuda continentalismului climatic specific acestei arii montane, cunoscut fiind faptul că dimensiunile circurilor depind, în primul rând de, eroziunea glaciară, de procesele periglaciare (îngheț - dezghețul), și de condițiile geologice. Circul carpatic românesc mediu are lungimea de 647 m (față de 519 m în Pirineii centrali și 570 m în Tatra), lățimea de 709 m (691 m în Pirineii centrali și 550 m în Tatra), și aria de 43 ha (34 ha în Pirineii centrali și aprox. 30 ha în Tatra). Dimensiunilor apreciabile ale circurilor carpatice nu pot fi explicate decât de condițiile reliefului pre-existent, mai favorabile, probabil, pentru glaciație în Carpații Românești comparativ cu ariile montane menționate. Atât circurile, cât și elementele acestora (podeau și spătarul), sunt descrise dimensional în cele mai mici detalii, fiind încadrate dimensional în raport cu alte circuri de pe Terra. În acest context, doar înălțimea spătarelor de circ carpatice este ceva mai redusă, fapt care ar putea fi pus pe seama distanței mici pe verticală dintre crestele carpatice și linia zăpezilor din timpul fazelor glaciare.

Principalele deziderate ale geomorfometriei circurilor glaciare includ stabilirea formei și mărimii circurilor, scoaterea în evidență a relațiilor dintre mărime și formă, precum și stabilirea factorilor de control pentru mărime, formă și poziție. Forma circurilor este controlată, în general, de acțiunea combinată a cel puțin trei factori determinanți: climatul, topografia și geologia. Pentru forma circurilor carpatice au fost definite două modalități de evaluare: gradul de zăvorăre orizontală (principală) și verticală (secundară) a circurilor. În cadrul populației de circuri carpatice, cele mai multe sunt circuri deschise sau ușor deschise, iar ponderea celor foarte deschise este mai mare decât cea a circurilor de tip trog. După gradul de zăvorăre verticală au fost identificate trei tipuri de circuri: cuvetă, planeză și pervaz. În ceea ce privește dezvoltarea alometrică a circurilor, aceasta este confirmată de rezultatele obținute, circurile de mari dimensiuni fiind sensibil mai lungi și mai largi decât sunt adâncite. Coeficienții logaritmici aferenți lungimii și lățimii au, în general, valori mai mari de 1,0, în timp ce coeficienții pentru adâncime sunt semnificativ mai mici. Circurile carpatice se află în stadii avansate de dezvoltare, însă nu toate au ajuns la un nivel de maturitate specific circurilor glaciare clasice, ceea ce indică faptul că încălzirea climatică din Holocen le-a întrerupt prematur evoluția.

Orientarea circurilor aduce informații consistente privind dinamica și bilanțul ghețarilor de circ, dar și dinamica atmosferei din timpul fazelor glaciare (direcția viscolului glaciare). Pe baza cumulării vectorilor de orientare ai tuturor circurilor și spătarelor de circ acestora s-a determinat că direcția vectorului principal al orientării circurilor glaciare din CR este $64,1^{\circ}$, iar tăria sa este de 0,301 (t), însă acesta are valoare mai mică (tendință nordică) în Carpații Orientali ($41,5^{\circ}$, cu $t = 0.548$) și valoare mai mare (tendință estică) în Alpii Transilvaniei ($71,9^{\circ}$, cu $t = 0.264$). Orientarea circurilor actuale constituie o dovadă a direcției de curgere a ghețarilor de circ din Pleistocen, care a fost influențată semnificativ de direcția vântului dominant (paleovântul glaciare) și de gradul de insolație. La altitudinile mai mari de 2200 m, cei doi factori restrictivi nu au mai avut forță, astfel încât ghețarii de circ s-au putut forma pe orice versant, indiferent de orientarea acestuia (glaciația tuturor fețelor muntelui).

Geologia se poate exprima în morfologia circurilor glaciare prin litologie, structură și tectonică, la care se poate adăuga și gradul de seismicitate. Deși există o variabilitate ridicată privind natura litologică a ariilor montane glaciare, nu apar diferențieri importante ale dimensiunii și formei circurilor de la tip de rocă la altul, ci, mai degrabă, odată ce au fost inițiate în morfologie, circurile sunt controlate de agentul modelator - ghețarul de circ. Datele

obținute arată că aproape jumătate dintre circurile glaciare s-au format pe gnaise și paragnaise (43,3%), fiind vorba cu precădere despre circurile din munții Făgăraș și Godeanu, urmate de circurile formate pe granite (în Retezat, dar și în munții Țarcu și Parâng), de șisturile epimetamorfice și micașisturi. În plus, a fost evidențiată frecvența crescută a cuvetelor glaciare formate prin subsăpare glaciară de pe terenurile granitice și granodioritice, astfel încât cea mai mare densitate de lacuri glaciare este specifică munților Retezat, care sunt de regulă și cele mai mari și mai adânci.

Influența structurii geologice a depins de unghiul format între direcția de curgere a ghețarului de circ și liniile structurale, cele mai pregnante influențe structurale manifestându-se în cazul circurilor obsecvente situate pe megacuestele montane (ex. Rodna, Parâng), prin formarea de trepte glaciare și frecvența ridicată a berbecilor glaciari în cadrul circurilor. Raporturile altitudinale ale circurilor de la un masiv la altul ar fi putut fi modificate de mișcările tectonice diferențiate în funcție de cele două arii tectono-structurale importante din Carpații Românești: structurile de tip horst și cele plicative (spre exemplu masivul Rodna vs munții Maramureșului), însă nici acestea nu au adus modificări importante față de situația din timpul fazelor glaciare. Gradul ridicat de seismicitate de la curbura Carpaților Românești a avut mai mult un efect indirect asupra circurilor carpatice, prin pregătirea siturilor pre-glaciare (prin tasări de strate, prăbușiri de roci, alunecări de depozite superficiale etc).

Analiza geomorfometrică a populației de circuri glaciare din Carpații Românești a culminat cu obținerea celei mai ample clasificări a circurilor carpatice, realizând tranziția de la clasificările clasice ale circurilor (calitative) la cele pe baze cantitative și funcționale.

Noi am abordat cercul carpatic ca un sistem geomorfologic complex cu intrări și ieșiri de energie și materie, pe care l-am caracterizat atât din punct de vedere a dimensiunilor, formei și gradului de evoluție, cât și funcțional, ca arie de formare a ghețarilor montani. Toate circurile glaciare au fost surse de gheață, însă nu toate sursele de gheață au evoluat în circuri, în CR funcționând o varietate de stocaje de gheață, printre care și ghețarii de platou, care aveau relații funcționale și de reciprocitate strânse cu ghețarii de circ.

Pentru a evalua gradul de evoluție a circurilor actuale am întocmit o scală nominală a gradului de dezvoltare a acestora (ordinul circurilor), care cuprinde cele 5 ordine după care au fost clasificate circurile glaciare din Carpații Românești: clasice (1), bine definite (2), definite (3), slab definite (4) și marginale (5), la care se adaugă circurile nivale (non-glaciare), pentru a elimina orice confuzie dintre acestea și cele glaciare. Cele mai multe circuri din CR sunt circuri bine definite (2) și definite (3), acestea reprezentând însumat aprox. 72% populația totală, în timp ce circurile clasice, cele mai evolute, dețin aproape 10% din total. De asemenea, am acordat o atenție deosebită circurilor complexe și celor interne, care definesc gradul de amalgamare a circurilor.

Astfel, peste un sfert dintre circurile din Carpații Românești sunt fie circuri complexe (11,15%), care dețin unul sau mai multe circuri, fie circuri interne (15,35%) care sunt situate în interiorul altor circuri, cu rol de gazdă. Acest tip de coalescență a circurilor (sub forma unui ciorchine) constituie o caracteristică definitorie a Carpaților Românești, mai ales prin comparație cu alte arii montane glaciare. O altă distincție s-a realizat între circurile formate la obârșiile râurilor actuale (circurile de obârșie), a căror dezvoltare a fost, probabil, favorizată de acest tip de locație, și cele situate pe versanții montani (circurile de versant). Numărul aproximativ egal dintre acestea (263 la 214 circuri) demonstrează că zăpada, și mai apoi firnul și gheața, au găsit condiții bune de instalare, atât în obârșiile pre-existente, cât și pe versanții montani, acolo unde existau discontinuități care să permită acumulările nivale (mai ales cele de natură structurală). În cele din urmă, am propus și o clasificare pe criterii mixte, pe baze funcționale și altitudinale (în funcție de linia zăpezilor din Pleistocen), care a

condus la identificarea a două tipuri: circurile de tip fotoliu (*fotoliile glaciare*) și a celor alpine (*carpatice înalte*), alături de care s-a individualizat și un al treilea tip, denumit *circul nord-carpatic*, specific ariilor glaciare din nordul extrem al Carpaților Românești și din Carpații Ucraineni.

Ca notă generală, în Carpații Românești circurile glaciare sunt abundente (în palierul altitudinal de peste 1800 m) și sunt caracterizate de diferite stadii de evoluție. În fapt, *toate gradele de dezvoltare identificate în alte arii montane glaciare sunt prezente și în România*. Circurile carpatice coboară la altitudinile cele mai mici în nordul și în vestul lanțului carpatic românesc, în timp ce circurile cele mai înalte se găsesc în sectoarele centrale ale principalelor masive glaciare din Alpii Transilvaniei (Făgăraș, Retezet, Parâng). Este evidentă o tendință clară a orientării acestora spre est (cu manifestarea cea mai puternică în Alpii Transilvaniei), care pune pe plan secundar tendința nordică, specifică altor arii montane, demonstrând faptul că direcția vântului dominant era dinspre vest în timpul fazelor glaciare pe parcursul cărora s-au format circurile. Dezvoltarea circurilor a avut loc cu precădere în jurul momentelor de maxim glaciare (ex. LGM). Pe măsură ce s-au dezvoltat, prin creșterea mărimii, circurile carpatice s-au alungit și lățit într-o măsură mai mare decât s-au adâncit, ceea ce confirmă dezvoltarea lor alometrică, observată pretutindeni pe Terra.

Bibliografie

- Ancuța C (1995) Câteva aspecte ale reliefului glaciatic și periglaciatic din Munții Lotrului, Noosfera, Centrul Carpato-Danubian de Geoecologie, Universitatea București, nr.2, p.11-13.
- Anders AM, Mitchell SG, Tomkin JH (2010) Cirques, peaks, and precipitation patterns in the Swiss Alps: connections among climate, glacial erosion, and topography. *Geology* 38 (3), 239–242.
- Andra AD (2008) Bazinul hidrografic Topolog: studiu geomorfologic. PhD Thesis (Manuscript), București.
- Andrews JT, Dugdale RE (1971) Factors affecting corrie glacierization in Okoa Bay. *Quaternary Res.* 1(4), p. 532-551.
- Aniya M, Welch R (1981) Morphometric analyses of Antarctic cirques from photogrammetric measurements. *Geografiska Annaler: Series A* 63 (1/2), 41–53.
- Athanasiu S (1899) Morphologische Skizze Nord - Moldaueschen Karparthen, *Bull. Soc. Șt. București*, t. VII, nr.3, p. 232-277.
- Bashenina NV (1971) O roli blokovoy morfotektoniki v oledenanii sovetskikh Karpat, *Izvestiya Vsesoyuznogo Geograficheskogo Obshchestva*, 103 (2): 166- 170.
- Barr ID, Spagnolo M (2013) Palaeoglacial and palaeoclimatic conditions in the NW Pacific, as revealed by a morphometric analysis of cirques upon the Kamchatka Peninsula. *Geomorphology* 192, 15–29.
- Barsch D, Caine TN (1984) The nature of mountain geomorphology. *Mountain Research and Development* 4, 287 298.
- Bathrellos GD, Skilodimou HD, Maroukian H (2014) The spatial distribution of Middle and Late Pleistocene cirques in Greece. *Geografiska Annaler A* 96, 323–338.
- Brook MS, Kirkbride MP, Brock BW (2006) Cirque development in a steadily uplifting range: rates of erosion and long-term morphometric change in alpine cirques in the Ben Ohau Range, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms* 31, 1167–1175.
- Băcăuanu V, Donisă I, Hârjoabă I (1974) Dicționar geomorfologic cu termeni corespondenți în limbile: franceză, germană, engleză, rusă. Editura Științifică, București, 283 p.
- Benn DI, Lehmkuhl F (2000) Mass balance and equilibrium-line altitudes of glaciers in highmountain environments: *Quaternary International*, 65–66: 15–29.
- Bennett MR, Glasser NF (2009) *Glacial Geology- Ice sheets and landforms (second edition)*, John Wiley and Sons.
- Bennett M R, Huddart D, Glasser NF (1999) Large-scale bedrock displacement by cirque glaciers. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 31, 99–107.
- Bezdek J (1905) A Máramarosi havasokról, *Földrajzi Közlemények*, t. XXXIII; fasc.5, p.343-350.
- Bleahu M (1957) Forme periglaciare și glaciare în Munții Maramureșului, *Comunicare la Ses. Șt. a Univ. București*, 1957.
- Bonney TG (1896) *Ice-work: Present, and Past*. London: Kegan Paul, trench, Trübner&Co.
- Buzilă L (2005) *Procesele de meteorizatie și reflectarea lor în morfologia masivului Bihor*. Manuscrisul tezei de doctorat. Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca.

- Carol H (1947) Formation of roches moutonnées, *Journal of Glaciology* 1 (2), p. 57-59.
- Chueca J, Julián A (2004) Relationship between solar radiation and the development and morphology of small cirque glaciers (Maladeta Mountain massif, Central Pyrenees, Spain). *Geografiska Annaler: Series A. Physical Geography* 86 (1), 81–89.
- Constantin S, Bojar AV, Lauritzen SE, Lundberg J (2007) Holocene and late pleistocene climate in the sub-Mediterranean continental environment: a speleothem record from Poleva Cave (Southern Carpathians, Romania). *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 243(3):322–338.
- Dahl SO, Nesje A (1992) Paleoclimatic implications based on ELA depressions of reconstructed Younger Dryas and Holocene cirque glaciers in inner Nordfjord, wn. Norway. *Palaeogeogr, -clim., -ecol.* 94, p. 87-97.
- Davis PT (1999) Cirques of the Presidential Range, New Hampshire, and surrounding alpine areas in the northeastern United States. *Géographie Physique et Quaternaire* 53 (1), 25–45.
- Davis WM (1909) Glacier erosion in North Wales, *Quarterly Journal of the Geological Society* 65, p. 281-350.
- Davis WM (1906) The sculpture of mountains by glaciers, *Scottish Geographical Magazine* 26, p. 76-89.
- Decei P (1959) Cercetări în lacurile din Parâng, în „Revista pădurilor”, nr.11, București.
- Delmas M, Gunnell Y, Calvet M (2014) Environmental controls on alpine cirque size. *Geomorphology* 206, 318-329.
- Derbyshire E, Evans IS (1976) The climatic factor in cirque variation. p. 447-494 in Derbyshire, E. (ed) *Geomorphology and Climate*, J. Wiley (New York & London).
- Drăgușin V, Staubwasser M, Hoffmann DL, Ersek V, Onac BP, Vereș D (2014) Constraining holocene hydrological changes in the Carpathian–Balkan region using speleothem $\delta^{18}O$ and pollen-based temperature reconstructions. *Clim Past* 10(4):1363–1380.
- Drăguț L (1996) Considerații asupra reliefului climatic din Munții Șureanu, în a II –a Conferință regională de geografie “ Cercetări geografice în spațiul carpato-danubian “, Universitatea de Vest din Timișoara, p. 99-106.
- Embleton C, Hamann C (1988) A comparison of cirque forms between the Austrian Alps and the Highlands of Britain. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. SupplementBand* 70, 75–93.
- Embleton C, King CA (1968) Cirques, In: *Glacial Geomorphology*. Ed. Edward Arnold, London, (608p), p. 204-218.
- Evans IS (2010) Allometry, scaling and scale-specificity of cirques, landslides and other landforms. *Transactions of the Japanese Geomorphological Union* 31 (2), 133-153.
- Evans IS (2008) Glacial erosional processes and forms: mountain glaciation and glacier geography in *The history of the study of landforms or the development of geomorphology. Volume 4: Quaternary and recent processes and forms (1890-1965) and the Mid-Century Revolutions*, Edited by Burt TP, Chorley RJ, Brunsten D, Cox NJ and Goudie AS, 495-619 p.
- Evans IS (2006) Allometric development of glacial cirque form: Geological, relief, and regional effects on the cirques of Wales: *Geomorphology*, v. 80, p. 245–266.
- Evans IS (1999) Was the cirque glaciation of Wales time-transgressive, or not? *Annals of Glaciology* 28 (1), 33–39.
- Evans IS (1997) Process and form in the erosion of glaciated mountains. In Stoddart, D.R. (ed.) *Process and form in geomorphology. Festschrift for Richard J. Chorley*. p. 145-174, Routledge, London.

- Evans IS, Cox NJ (1995) The form of glacial cirques in the English Lake District, Cumbria. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F. 39, 175-202.
- Evans IS, McClean CJ (1995) The land surface is not unifractal: variograms, cirque scale and allometry. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband 101*, 127-147.
- Evans IS (1994) Lithological and structural effects on forms of glacial erosion: cirques and lake basins. In: Robinson, D.A., Williams, R.B.G. (Eds.), *Rock Weathering and Landform Evolution*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, pp. 455-472.
- Evans IS (1977) World-wide variations in the direction and concentration of cirque and glacier aspects. *Geografiska Annaler*, 59A, p. 151-175.
- Evans IS, Cox NJ (1974) Geomorphometry and the operational definition of cirques. *Area* 6, 150-153.
- Evans IS (1972) General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In *Spatial Analysis in Geomorphology*, Edited by Chorley, R.J., Methuen, London, pp. 17-90.
- Fisher JE (1948) The pressure melting point of ice, and the excavation of cirques and valley steps by glaciers, U.G.G.I., Assoc. Internat. Sci. Hydrol. (Oslo), 2, p. 341-5.
- Fisher JE (1955) Internal temperatures of a cold glacier and conclusions therefrom, *Journal of Glaciology* 2 (18), p. 582-591.
- Fisher JE (1963) Two tunnels in cold ice at 4000 m on the Breithorn, *Journal of Glaciology* 4 (35), p. 513-520.
- Federici PR, Spagnolo M (2004) Morphometric analysis on the size, shape and areal distribution of glacial cirques in the Maritime Alps (Wn. French-Italian Alps). *Geografiska Annaler A* 86(3), 235-248.
- Flint RF (1971) *Glacial and Quaternary geology*, New York: John Wiley, 892 pp.
- Flint RF (1957) *Glacial and Pleistocene Geology*: New York, John Wiley and Sons, Inc., 554 p.
- Foster D, Brocklehurst S, Gawthorpe R (2008) Small valley glaciers and the effectiveness of the glacial buzzsaw in the northern Basin and Range, USA: *Geomorphology*, v. 102, p. 624-639.
- García-Ruiz JM, Gómez-Villar A, Ortigosa L, Martí-Bono C (2000) Morphometry of glacial cirques in the C. Spanish Pyrenees. *Geografiska Annaler* 82 (A): 433-442.
- Gâștescu P (1971) *Lacurile din România; Limnologie regională*, Ed. Acad. Române, București, 372 p.
- Gheorghiu D (2012) Testing climate synchronicity since the last glacial maximum between Scotland and Romania. PhD thesis, University of Glasgow.
- Gheorghiu DM, Hosu M, Corpade C, Xu S (2015) Deglaciation constraints in the Parâng Mountains, Southern Romania, using surface exposure dating. *Quat Int* 388:156-167.
- Giles BD (1976) On isobars, isohypsies and isopachs or pressure, contour and thickness charts. *Weather*, 31 (4):113-121.
- Grove JM (1961) Some notes on slab & niche glaciers, & the characteristics of proto-cirque hollows. *Int. Assoc. Sci. Hydrol., Publ.* 54, p. 281-287.
- Gruia C (1998) Some aspects concerning the morphometry of glacial cirques from Țarcu Mountains, *Geographica Timisiensis*, vol. 6, p. 27- 31.
- Harland WB (1957) Exfoliation joints and ice action, *Journal of Glaciology* 3 (21), p. 8-10.
- Hassinen S (1998) A morpho-statistical study of cirques and cirque glaciers in the Senja-Kilpisjärvi area, northern Scandinavia. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 52, 27-36.
- Haynes VM (1968) The influence of glacial erosion and rock structure on corries in Scotland. *Geografiska Annaler* 50 A (4), 221-234.

- Helland A (1877) On the Ice-Fjords of N. Greenland and on the Formation of Fjords, Lakes, and Cirques in Norway and Greenland, *Quart. Journ. Geol. Soc.*, xxxiii, 1877, 161.
- Hobbs W H (1911) Characteristics of Existing Glaciers, New York, 1911, p. 15.
- Hobbs WH (1910) The cycle of mountain glaciation, *Geographical Journal* 35: 146-163 and 268-284.
- Holmes CD (1944) Hypotheses of subglacial erosion, *Journal of Geology* 52: 184-190.
- Holmes CD (1949) Glacial erosion and sedimentation, *Geological Society of America Bulletin* 60: 1429-36.
- Hooke RL (1991) Positive feedbacks associated with erosion of glacial cirques & overdeepenings. *Geol. Soc. Amer., Bull.* 103, p. 1104-8.
- Hooke RL, Rohrer WL (1979) Geometry of alluvial fans: Effect of discharge and sediment size. *Earth Surf. Proc.*, 4: 147-166.
- Hughes PD, Gibbard PL, Woodward JC (2007) Geological controls on Pleistocene glaciation and cirque form in Greece. *Geomorphology* 88 (3), 242–253.
- Hutchinson JN (1988) General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proceedings 5th Int. Symposium on Landslides, Lausanne, vol. 1.* Balkema, Rotterdam, pp. 3– 35.
- Iancu S (1973) Realizări în studiul reliefului glaciatic din Carpații Românești, în „Realizări în geografia României, (culegere de studii), Edit. Științifică, București, p.55-64.
- Iancu S (1970) Masivul Parâng. Studiu geomorfologic, teză de doctorat în manuscris, București.
- Iancu S (1962) Considerații asupra formării circurilor glaciare în trepte, în „Prob. de geogr.”, vol. X, București.
- Iancu S (1958) Câteva aspecte litologice și structurale în morfologia glaciatică a Masivului Parâng, *Natura, seria geografie – geologie, anul X, nr.3*, p.59-65.
- Inkey B (1884) Geotektonische Skizze der westlichen Hälfte des ungarisch- rumänischen Grenzgebirges, *Földtany Közlöny, t. XIV*, p. 116-121.
- Iverson NR (1991) Potential effects of subglacial water-pressure fluctuations on quarrying. *Journal of Glaciology* 37(125), 27–36.
- Jarman D (2003) Paraglacial landscape evolution: the significance of rock slope failure. In: Evans, D.J.A. (Ed.), *Western Highland Boundary-Field Guide. Quaternary Research Association, London*, pp. 50–68.
- Jarman D (2005) Large rock slope failures in the Highlands of Scotland: Characterisation, causes and spatial distribution. *Engineering Geology* 83 (2006) 161– 182.
- Johnson WD (1904) The profile of maturity in alpine glacial erosion, *Journal of Geology* 12: 569-578 (reprinted in Embleton, C., ed.1972: 70-78).
- Kamb B, Lachapelle E (1964) Direct observation of the mechanism of glacier sliding over bedrock, *Journal of Glaciology* 5 (38): 159-172. Reprinted in Embleton, C. ed., 1972: 229-243.
- Klaeboe H (1951) Transport of solid matters in glacier currents, *U.G.G.I. Assoc. Int. d'Hydrologie Scientifique, Publication 34 (Bruxelles Symp., v.3)*, p. 124-127.
- Klimaszewski M (1993) Conditions of the Pleistocene glaciation of mountainous regions, *Zeitschr. f. Geomorph., N. F., Bd.37, Heft 1*, p. 1-18.
- Klimaszewski M (1964) On the effect of the preglacial relief on the course and the magnitude of glacial erosion in the Tatra Mountains. *Geographia Polonica* 2, 11–21.
- Kondracki J (1935) O zlodowaczeniu pasma Nieneski w Karpatach Marmorskich (Über die Vergletscherung des Nėneska – Rückens in den Marmaroscher Karpaten), *Przegl. Geogr.- Warszawa, t. XIV*, p.160-166.
- Krautner T (1930) Die Spuren der Eiszeit in den Ost-und Sud-Karpathen. *Geologisch-morphologische Studie, Verhandl. Mitt. Des Siebenburg. Vereins fur Nat. zu Hermannstadt, t. LXXIX-LXXX, jahrgang 1929-1930: 8-86.*

- Křížek M, Mida P (2013) The influence of aspect and altitude on the size, shape and spatial distribution of glacial cirques in the High Tatras (Slovakia, Poland). *Geomorphology* 198 (2013) 57–68.
- Křížek M, Vočadlova K, Engel Z (2012) Cirque overdeepenings and their relationship to morphometry. *Geomorphology* 139–140, 495–505.
- Kuhlemann J, Dobre F, Urdea P, Krumrei I, Gachev E, Kubik P, Rahn M (2013) Last glacial maximum glaciation of the Central South Carpathian range (Romania). *Austrian J Earth Sci* 106:83–95.
- Langbein WB (1964) Geometry of river channels: *Jour. Hydro. Div., Am. Soc. Civil Engineers*, p. 301-312.
- Lehmann PW (1881) Beobachtungen über Tektonik und Gletscherspuren im Fogaraschen Hochgebirge, *Zeitschr. d. Geol. Gesellschaft Berlin*, t. XXXIII, p. 109-117.
- Lehmann PW (1885) Die Südkarpathen zwischen Retjezat und Königstein, *Zeitschr. d. Geseellschaft f. Erdkunde Berlin*, t. XX, p. 325-386, în special p. 346-364.
- Lehmann PW (1891), Der ehemalige Gletscher des Lalatales im Rodnaergebirge, *Petermanns geogr. Mitteilungen*, t. XXXVII, p. 98-99.
- Leopold LB, Maddock T (1953) The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implication. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 252.
- Lewis WV (1960) Norwegian Cirque Glaciers, *R.G.S. Research Series*, 4, 104p. Royal Geographical Society, London.
- Lewis WV (1947) The formation of roches moutonnées: some comments on Dr. Carol's article, *Journal of Glaciology* 1 (2): 60-63.
- Lewis WV (1949) Glacial movement by rotational slipping, *Geografiska Annaler* 31, p. 146-158.
- Lewis WV (1954) Pressure release and glacial erosion, *Journal of Glaciology* 2 (16), p. 417-422.
- Lewis WV (1940) The function of meltwater in cirque formation, *Geographical Review* 30: 64-83. [Discussion (1949), 39: 110-128].
- Linton DL (1963) The forms of glacial erosion, *Transactions, Institute of British Geographers* 33, p. 1-28. (Reprinted, abridged, in Embleton, C. (ed). 1972: 149-172).
- Lliboutry L (1962) L'érosion glaciaire, *U.G.G.I. Assoc. Int. d'Hydrologie Scientifique*, Publication 59 (Bari Symposium), p. 219-225.
- Lliboutry L (1965) *Traité de Glaciologie*, (vol. 2: 429-1040) Paris: Masson.
- Lobeck AK (1939) *Geomorphology*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Lóczy L (1904) A Retyezat tavairol. *Földrajzi Közlemények*, t. XXXII, p. 224-233.
- Mac I (1996) Geomorfofera și geomorfosistemele, *Presa Univ. Clujeană, Cluj Napoca*.
- Mac I, Covaci I, Moldovan C (1990) Glaciațiune și morfologie glaciară în munții mijlocii din România, *Studia Univ. "Babeș- Bolyai", Geographia*, t. XXXV, nr. 2, p. 3-11.
- Macarovici N (1963) Unele observații în legătură cu problema glaciației cuaternare în Carpații Orientali, *Natura*, seria geogr.- geol., nr.4, București.
- Marinescu E (2007) The morphometry of the glacial cirques within the Gilort Basin. *Analele Universității din Craiova. Seria Geografie* 10, 5–12.
- Martiniuc C (1960) Harta regiunilor geomorfologice ale R.P. Române. În: *Monografia geografică a R.P.R., Vol. I, Geografia fizică*. Editura Academiei Române, București.
- de Martonne, E (1907) Recherches sur l' evolution morphologique des Alpes de Transylvanie (Karpates meridionales), *Rev. de geogr. Annuelle*, t. I (1906-1907), Paris, 286 p., și în " *Lucrări geografice despre România*", vol. I, Edit. Academiei, București, 1981, 271p.
- de Martonne, E (1906) Notice sur les reliefs du Parângu et de Soarbele (Karpates meridionales), *Edit. Socec, București*, p.3-27.
- de Martonne, E (1904) Le periode glaciaire dans les Karpates meridionales, *C.R. IX Congr. Intern. Geol. De Vienne (1903)*, p. 691-702.

- de Martonne E (1901) Sur la formation des cirques, *Ann. de géographie*, Paris, t. X, nr.49, p.10-16.
- de Martonne, E (1899) Sur la période glaciaire dans les Carpates méridionales, *Bul. Soc. Regiune. Rom. Geogr.*, t. XX, fasc. IV, p. 83-86.
- Mathews WH (1964) Sediment transport from Athabaska Glacier, Alberta, U.G.G.I., *Assoc. Internat. Sci. Hydrol. Publ.* 65, Land erosion, precipitations, hydrometry and soil moisture, p. 155-165.
- Matthes FE (1900) Glacial sculpture of the Bighorn Mountains, Wyoming, U.S. Geological Survey 21st. Annual Report, 1899-1900 part 2, p. 167-190.
- McCall JG (1960) The flow characteristics of a cirque glacier and their effect on glacial structure and cirque formation, in Lewis, W.V. (ed.), 39-62 (Reprinted in Embleton, C., ed.1972, p. 205-228).
- McCall JG (1952) The internal structure of a cirque glacier: report on studies of the englacial movements and temperatures, *Journal of Glaciology* 2 (12), p. 122-130.
- Meierding TC (1982) Late Pleistocene glacial equilibrium line altitudes in the Colorado Front Range: A comparison of methods: *Quaternary Research*, v. 18, p.289-310.
- Micalevich-Velcea V (1961) Masivul Bucegi. Studiu geomorfologic. Edit. Academică, București, cap. "Sistemul glaciari", p. 74-89.
- Mitchell SG, Montgomery DR (2006) Influence of a glacial buzzsaw on the height and morphology of the Cascade Range in central Washington State, USA: *Quaternary Research*, v.65, p.96-107.
- Mîndrescu M (2016) Circurile glaciare din Carpații românești. Edit. Universității "Ștefan cel Mare" Suceava, Suceava, Romania.
- Mîndrescu M, Florescu G, Grădinaru I, Haliuc A (2016a) Lakes, lacustrine sediments and palaeoenvironmental reconstructions (cap.30). In: *Landform Dynamics and Evolution in Romania*. Edit. Springer, 699-731.
- Mîndrescu M, Cristea I, Zamosteanu A (2016b) Lacurilor și turbăriilor glaciare din Carpații românești. Edit. Universității „Ștefan cel Mare” Suceava, Suceava, Romania.
- Mîndrescu M, Evans IS (2016) Glacial cirques in the Romanian Carpathians and their climatic implications (cap. 9). In: *Landform Dynamics and Evolution in Romania*. Edit. Springer, 208-224.
- Mîndrescu M, Evans IS (2014) Cirque form and development in Romania: allometry and the buzz-saw hypothesis. *Geomorphology*, 208: 117-136.
- Mîndrescu M, Evans IS, Cox NJ (2010) Climatic implications of cirque distribution in the Romanian Carpathians: Palaeowind directions during glacial periods. *Journal of Quaternary Science*, 2010, 25(6), 875-888.
- Mîndrescu M (2009) Glacial asymmetry in the Făgăraș Massif. *Analele Universității „Ștefan cel Mare” Suceava, Secțiunea geografie*, 18: 25-34.
- Mîndrescu M (2008) A new glacial area in Rodna mountains- Tarnița din Ciung cirque. *Analele Universității „Ștefan cel Mare” Suceava Secțiunea Geografie*, 17: 79-86.
- Mîndrescu M (2003) Muntele Jupană. Studiu morfologic, *Analele Univ. "Ștefan cel Mare" Suceava*, 11: 41-47.
- Mîndrescu M (2001) Fotoliul glaciari Lala (Masivul Rodnei), *Analele Universitatii "Ștefan cel Mare" Suceava, secțiunea Geografie-Geologie*, 10: 63-73.
- Morariu T (1940) Contribuțiunile la glaciațiunea din Munții Rodnei, *Rev. geogr. Rom.*, an. III, fasc.1, București.
- Mrazec L (1898) Sur l'existence d'anciens glaciers sur le versant Sud des Carpathes Meridionales, *Bull. Soc. De Science, Bucarest*, t. VIII, nr. 2, p. 466-468.

- Munteanu-Murgoci G (1898) Les Serpentes d'Urde, Muntiu, et Găuri, *Annal. Mus. Geol.*, Bucurest, t. LXVIII, vol.II, p. 54-185.
- Naum T (1970) Complexul de modelare nivo-glaciar din Masivul Căliman, *Anal. Univ. București, Geografie*, an. XIX, p.67-75.
- Năstase A (1960a) Lacurile Capra și Căprița din Masivul Făgărașului, *Probl. de geogr.*, vol., VII, București.
- Năstase A (1960b) Lacul Doamnei- Observații limnologice, *Com. de geol.,geogr.*, 1957-1959, S.S.N.G. b, București.
- Năstase A (1961) Lacul Buda- Observații limnologice, *Natura*, nr. 3, București.
- Necșoiu M, Mîndrescu M, Onaca A, Wigginton S (2016) Geomorphologic evolution of alpine lakes in Southern Carpathian mountains using high-resolution optical imagery. *Quaternary International*, 415: 164-174.
- Nedelea A (2006) Valea Argeșului în sectorul montan—studiu geomorfologic. PhD Thesis, Editura Universitară, București.
- Nelson FEN, Jackson LE (2003) Cirque forms and alpine glaciation during the Pleistocene, west-central Yukon. In: *Yukon Exploration & Geology 2002*, Emond, D.S. & Lewis, L.L. (Eds.), Indian & Northern Affairs Canada, 183-198.
- Nedelcu E (1959) Aspecte structurale și litologice în morfologia glaciară a Munților Făgăraș, *Prob. de. geogr.*, vol.VI, București.
- Nedelcu E (1962) Relieful glaciara din bazinul Râului Doamnei (Munții Făgărașului), *Com. Acad.*, t.XII, nr. 5, București.
- Neuenschwander G (1944) *Morphometrische begriffe; ein kritische übersicht auf grund der literatur*. Ph.D. thesis, Universität Zürich.
- Niculescu G (1997) On the glacial and cryo- nival relief, *Rev. de Geomorfologie*, nr. 1, București, p. 75- 82.
- Niculescu G (1990) Relieful glaciara din Munții Țarcu, *Stud. cerc. de geografie*, t.XXXVI; p. 43-52.
- Niculescu G (1965) Munții Godeanu. Studiu geomorfologic, *Ed. Acad. Române*, București, 339 p.
- Niculescu G (1957) Influențe litologice și structurale în morfologia glaciară, *Analele româno-sovietice, seria geol., geogr.*, an. XI, seria a-III-a, nr.4 (33), București, p. 81-91.
- Niculescu G, Nedelcu E, Iancu S (1983) Glaciația și relieful glaciara, în *Geografia României*, vol. I - Geografia fizică, Edit. Academiei, București, p.136-141.
- Niculescu G, Nedelcu E, Iancu S (1960) Nouvelle contribution a l' étude de la morphologie glaciara des Carpates roumaines, *Recueil d'études géographiques*, București.
- Nye JF (1952) The mechanics of glacier flow, *Journal of Glaciology* 2 (12): 82-93.
- Nye JF, Martin PCS (1968) Glacial erosion, *U.G.G.I., Assoc. Internat. Sci. Hydrol. Publ.* 79, *Comm. Neiges et Glaces (Berne 1967)*: 78-86.
- Olyphant GA (1981) Allometry and cirque evolution. *Geological Society of America Bulletin* 92 (9), 679-685.
- Onac BP, Constantin S, Lundberg J, Lauritzen SE (2002) Isotopic climate record in a Holocene stalagmite from Ursilor Cave (Romania). *J Quat Sci* 17(4):319-327.
- Oncescu N (1943) La région de Piatra Craiului – Bucegi. *Étude géologique*, AIGR, 22.
- Orghidan N (1910) Urme de ghețari în Munții Rodnei. Valea Bistricioarei, *Anuar de geografie și antropogeografie*, vol. I, 77-87.
- Orghidan N (1931) Observații morfologice în Bucegi, *Lucr. Inst. de Geogr. al Univ. din Cluj*, vol. IV (1929-1929), p.245-266.
- Orghidan N (1932) Urme de ghețari pe Siriu, *Bul. Soc. Reg. Rom. Geogr.*, vol. LI, p. 292- 294.
- Orghidan N (1933) Urme glaciara (?) pe Siriu, *Bul. Soc. Reg. Rom. Geogr.*, vol. LII, p. 245-266.

- Østrem G, Bridge CW, Rannie WF (1967) Glacio-hydrology, discharge and sediment transport in the Decade Glacier area, Baffin Island, N.W.T., *Geografiska Annaler* 49: 268-282.
- Pawlowski S (1936) Les Karpates à l'époque glaciaire, C.R. Congrès internationale de géographie, Varsovie 1934, Travaux de section 2, 2: 89-141 + map.
- Perşoiu A (2016) Climate Evolution During the Late Glacial and the Holocene in Landform dynamics and evolution in Romania. 57-66. Springer Geography.
- Petrea R, Petrea D (1991) Modelarea reliefului și depozitelor de cuvertură în masivul Farcău– Mihailecu, *Anal. Univ. Oradea, fasc. Geographie, t. I*, p. 43-52.
- Pike RJ (2000) Geomorphometry- diversity in quantitative surface analysis. *Progress in Physical Geography* 24 (1), 1–20.
- Pișota I (1971) Lacurile glaciare din Carpații Meridionali, Ed. Acad. Române, București, 162 p. și hărți.
- Pișota I (1968) Lacurile glaciare din Munții Rodnei. *Anal. Univ. București (Șt. nat) Geologie - Geografie* 12, 2, 113-124.
- Popescu R, Urdea P, Vespremeanu-Stroe A (2016) Deglaciation history of high massifs from the Romanian Carpathians: Towards an integrated view. in *Landform dynamics and evolution in Romania*. 87-116. Springer Geography.
- Popescu-Argeșel I (1980) Microrelieful periglaciare din Masivul Suhard. *Studii și comunicări de ocrotire a naturii*. vol. 5, Suceava.
- Popovici-Hatzeg V (1898) Études géologique des environs de Câmpulung et de Sinaia. *Carée et Naud* (Paris), 220 pp.
- Porter SC (1989) Some geological implications of average Quaternary glacial conditions: *Quaternary Research*, v.32,p. 245–261.
- Posea G, Ilie I, Grigore M, Popescu N, Ielenicz M (1970) *Geomorfologie*. Edit. Didactică și pedagogică, București.
- Primics G (1884) Die geologischen Verhältnisse der Fogarascher Alpen und des benachbarten Rumänischen Gebirges, *Mitt., a. d. Jahrb. d.k. Ungar. Geolog. Landesanstalt. t. IV*, p. 283-315.
- Puchleiter S (1901) Die Eiszeit Gletscherspuren in den Sudkarpathen, *Mitt. D. k. k. Geogr. Ges. Wien, t. XLIV*, p.124-139.
- Ramsay AC (1862) On the glacial origin of certain lakes in Switzerland, the Black Forest, Great Britain, Sweden, North America, and elsewhere, *Quarterly Journal of the Geological Society, London* 18: 185–204.
- Reuther A, Urdea P, Geiger C, Ivy-Ochs S, Niller HP, Kubik P, Heine K (2007) Late Pleistoceneglacial chronology of the Pietrele Valley, Retezat Mountains, Southern Carpathians, Constrained by ¹⁰Be exposure ages and pedological investigations. *Quat Int* 164–165:151–159.
- Richter D (2006) *Morphometric Analysis of Cirques in Fiordland, New Zealand*. Dresden University of Technology. Diploma, 74 pp.
- Ritter DF (1978) *Glacial Erosion, Deposition and Landforms*, in *Process Geomorphology: Dubuque, Iowa*, Wm C. Brown, p. 262-404.
- Ritter DF (1978) *Glaciers and Glacial Mechanics*, in *Process Geomorphology: Dubuque, Iowa*, Wm. C. Brown, p. 335-363.
- Ruiz-Fernández J, Poblete-Piedrabuena MA, Serrano-Muela MP, Martí-Bono C, García-Ruiz JM (2009) Morphometry of glacial cirques in the Cantabrian Range (Northwest Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 53 (1), 47–68.

- Ruszkiczay-Rüdiger Z, Kern Z, Urdea P, Braucher R, Madarász B, Schimmelpfennig I, ASTER team (2016) Late Pleistocene glacial chronology of the Retezat Mts, Southern Carpathians, using ^{10}Be exposure ages. *Quat Int*, 415: 216-229.
- Sawicki L (1912) Les études glaciaires dans les Carpates. Aperçu historique et critique, *Ann. De Géographie*, Paris, vol. XXI, p.230-250.
- Sawicki L (1911) Die glazialen Züge der Rodnaer Alpen und der Marmaroscher Karpaten, *Mitt. D. k. k. Geogr. Gesellschaft Wien*, Bd. 54, heft X-XI, p.510-571.
- Sârcu I (1978) Munții Rodnei. Studiu morfogeografic, Editura Academiei, București, cap."Relieful glaciari", p.49-80.
- Sârcu I (1971) Geografia fizică a României, Ed. Did. și Pedag., București.
- Sârcu I (1964) Câteva precizări în legătură cu glaciația cuaternară din Carpații Orientali Românești, *Natura*, Seria Geologie- Geografie, nr.3, p. 24-31.
- Sârcu I (1963) Le probleme de la glaciation quaternaire dans les montagnes du Maramureș, *Anal. șt. Univ. « Al. I. Cuza » Iași*, (Seria nouă), secț. II (Șt. nat), b. Geologie- Geografie, t. IX, p. 125-134.
- Schafarzik F (1897) Die geologische Verhältnisse der Umgegend von Borlova und Pojana Mörul, *Jahrbuch der Ungar. Geol. Landesanstalt*, f. 1897, p. 120-156.
- Sharp RP (1954) Glacier flow, a review, *Geological Society of America Bulletin* 65: 821-838.
- Simoni S (2011) Studiu geomorfologic al bazinului Râului Doamnei. Editura Universității din Pitești, Pitești.
- Someșan L (1932) Urme glaciare în Munții Călimani, *Bul. Soc. Regiune. Rom. Geogr.*, vol.LI, p.295-299.
- Steffanová P, Mentlík P (2007) Comparison of morphometric characteristics of cirques in the Bohemian Forest. *Silva Gabreta* 13 (3), 191-204.
- Stauch G, Lehmkuhl F (2010) Quaternary glaciations in the Verkhojansk Mountains, Northeast Siberia. *Quaternary Research* 74 (1), 145-155.
- Streiff-Becker R (1953) Extrusion flow in glaciers, *Journal of Glaciology* 2(13): 181-182.
- Sugden DE (1968) The selectivity of glacial erosion in the Cairngorm Mountains, Scotland, *Transactions, Institute of British Geographers* 45: 79-92 & vi-vii.
- Summerfield MA (1997) *Global geomorphology*. Routledge, Marea Britanie.
- Szadeczky G (1906) Gletschernymok a Biharhegységben (Gletscherspuren im Bihargebirge), *Földrajzi Közlemények*, t. XXXIV, nr.8, p. 299-304.
- Szalay AB (1934) Der Kamm des Fogarascher Gebirges, *Jahrb. d. Siebenbürgischen Karpatenvereins, Sibiu*, Jg. XLVII, p. 3-32.
- Szalay AB (1935) Der Kamm des Fogarascher Gebirges, *Jahrb. d. Siebenbürgischen Karpatenvereins, Sibiu*, Jg. XLVIII, p. 1-48.
- Szalay AB (1936) Der Kamm des Fogarascher Gebirges, *Jahrb. d. Siebenbürgischen Karpatenvereins, Sibiu*, Jg. XLIX, p. 1-43.
- Szepesi A (2007) Masivul Iezer. Elemente de geografie fizică. Editura Universitară, București.
- Szilády Z (1907) A Nagy- Pietrosz ezirkusz- völgyei, *Földrajzi Közlemények*, XXXV, p. 6-8.
- Tămaș T, Onac BP, Bojar AV (2005) Lateglacial-middle Holocene stable isotope records in two coeval stalagmites from the Bihor Mountains, NW Romania. *Geol Quart* 49(2):185-194.
- Thompson DAW (1942) *On Growth and Form*, 2nd ed. Macmillan, New York (1116 pp.).
- Thorarinsson S (1939) Observations on the drainage and rates of denudation in the Hoffellsjökull district, *Geografiska Annaler* 21: 189-215. Reprinted in Embleton, C. (ed.) 1972: 119-129.

- Toma S (2001) Morfometria circurilor glaciare din sectorul central al Masivului Făgăraș, Edit. Argonaut Cluj- Napoca.
- Tricart J (1947) Sur quelques indices géomorphométriques. Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences 225, 747-749.
- Trufaș V (1961a) Lacurile din relieful glaciar al Munților Șureanu, Rev. de meteor. hidrolog. și gosp. apelor, vol. I, a, București.
- Trufaș V (1961b) Iezerele din Munții Cândrel, Com. de geogr., S.S.N.R., b, vol.II, București, p.69-80.
- Urdea P, Reuther A (2009) Some new data concerning the Quaternary glaciation in the Romanian Carpathians. Geogr Pannonica 13(2):41-52.
- Urdea P (2005) Ghețarii și relieful, Edit. Universității de Vest, Timișoara.
- Urdea P (2000) Munții Retezat. Studiu geomorfologic. Ed. Acad. Rom., București.
- Urdea P (1993) Considerații asupra manifestării glaciației cuaternare în Munții Retezat, Stud. cerc. de geografie, t. XL, p. 65-72.
- Varga L (1927) A Radnai havasok keleti felének glacialis jelensegei, Foldrajzi Közlemenyek, t.LV, f.4-6.
- Velcea-Micalevich V (1959) Câteva elemente noi cu privire la stabilirea fazelor glaciare din Masivul Bucegi, Probleme de geografie, vol. VI, p.219-226.
- Vilborg L (1984) The cirque forms of central Sweden. Geografiska Annaler: Series A. Physical Geography 66 (1-2), 41-77.
- Vivian R (1971) Cryoclastie et érosion glaciaire, Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences (Paris) D 272 (20): 2524-2526.
- Vuia F (2001-2002) Diferențieri morfometrice și morfografice ale circurilor glaciare din bazinul Jiețului (Munții Parâng), Analele Universitatii de Vest din Timisoara, Seria Geografie, vol. XI-XII, p. 31-46.
- Wachner H (1929) Die Eiszeitgletscher des Bucegi in den Südkarpathen, (Rumanien), Zeitschr. für Gletscherkunde, Band XVIII, Heft 4-5, p. 67-76.
- Wachner H (1930) Urme de ghețari în Munții Bucegi, An. Inst. Geol. Rom., vol.XIV (1929), p. 63-77.
- Whalley WB, Rea BR, Rainey MM, McAlister JJ (1997) Rock weathering and blockfields: some preliminary data from mountain plateaus in north Norway. In Winddowson, M. (ed.), Palaeosurfaces: Recognition, Reconstruction and Interpretation. Geological Society, London, Special Publication 129, 133-45.
- Whiteman CD (2000) Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications. Oxford University Press. ISBN 0-19-513271-8.
- Zienert, A (1967) Vogesen-und Schwarzwald-Kare, Eiszeitalter und Gegenwart 18: 51-75.
- *** (1987) Geografia României. Carpații Românești și Depresiunea Transilvaniei (vol. III)
- *** (1988) Dicționarului Geografic Enciclopedic Rus. Ed. Enciclopedică sovietică, Moscova.
- *** (1970) Harta Geologică a României scara 1: 200 000 și 1: 50 000. Editată de către Institutul Geologic al României
- *** (1960) Monografia geografică a Republicii Populare Române, Edit. Academiei, București.
- *** (1932) Nuttall's Popular Dictionary of the English Language.