

ЖИЛ БЛАШ, ЕКС-МАРСЕЉ

ОБЛИЦИ ГЛАЦИЈАЛНЕ ЕРОЗИЈЕ

Проблем глацијалних облика састоји се у томе да се испита да ли су ишчезли ледници оставили свој траг у рељефу Земљине површине и којим начином су то извршили. Том се проблему може двојачко приступити — према томе да ли се има више интереса за облике или за начин рада. Да се испита начин ледничког ерозивног деловања треба проучавати садашње леднике, испитујући њихову температуру, њихов састав, њихова кретања, као и пренос материјала који настаје услед тих кретања. То је задатак дисциплине која се може назвати *динамичком глациологијом*. Географ, међутим, испитује најпре облике рељефа у погледу њиховог распореда, њихове величине и честине понављања (услед чега се јављају карактеристичне црте) и, сем тога, обраћа пажњу околном рељефу.

Ми почињемо испитивање глацијалних облика као географ, тј. испитујући саме облике. Да ли видимо посебне облике у областима у којима је некада била развијена глацијација? Када се ови облици окарактеришу с погледом на частину и затим среде, да ли ће они тада приказивати начин рада ледничке ерозије?

Постављено испитивање ће се обавити без икаквог библиографског апарата и без икаквог указивања на било кога писца. Литература о глацијалном проблему је огромна, као што је знатна и суштина нашег знања о том проблему, утврђена доста давно нарочито од стране немачких, америчких и скандинавских аутора.

Почев од Скандинавије, стари ледници су покривали северну европску равницу до Карпата и највећи део Британских Острва, силазили су низ алпске долине до Лиона и били јако развијени у Северној Америци и на јужној хемисфери. Стварност тих ледника је утврђена у XIX веку и то проучавањем „ератичних“ моренских наслага места до којих су насlage допрле као и изгледом тих наслага. Питање о нарочитом печату, који је рељеф добио радом глацијалне ерозије, постављено је тек доцније.

Области у којима се виде најдубљи и најкарактеристичнији трагови поменуте ерозије јесу планинске области, изложене западним ветровима, који доносе обилне падавине у оним шири-

нама, где дувају. Оне су јако храниле снегом квартарне леднике. Те су области:

Западна страна Скандинавског Полуострва;
 Западна страна Аљаске;
 Западна страна Патагоније и
 Западна страна Новог Зеланда.

На карти крупног па чак и ситног размера ове три области показују тако сличну обалску разуђеност, да се једна област не може разликовати од друге и да се оне не могу заменити ниједном другом облашћу на Земљи. Облик норвешких фјордова у њима је тако изразито претстављен, да је термин *фјорд* пренет у Аљаску и Патагонију и на Нови Зеланд. Тај облик налазимо и на Гренланду и Шпицбергу.

На карти која претставља обалу, врло значајна линија је изохипса нулте висине. Ова линија постоји и у крајевима даљим од самог мора: тако се јављају доста правилне удолине, стрмих страна и сниженог дна, *валови*. У нивоу мора, нулта изохипса ограничава заливе прилично правилних обала, који се узводно сужавају и гранају као гране на дрвећу. Заливи се често гранају и низводно као корени (сл. 1).

Острва су многобројна. Ничег сличног нема у нормалној области с острвима поређаним у низове, с обалама и рељефом који су одређени грађом и с неправилним морским међупросторима. Овде морски међупростори, у облику ширих удолина, гранајући се, постају узводно све ужи и у њиховом продужењу леже издужена језера, која привлаче нашу пажњу. Треба обратити пажњу и на *стаишисички карактер* ове појаве. Залив у облику ходника, у ма којој области на Земљи, могао би бити различно објашњен, напр. паралелним раседима или потапањем речне долине. Али, фјордови имају своје области у којима су врло чести. Хипотеза о њиховом структурном пореклу — која је некада изношена — не може опстати стога што у ствари у долинама нема раседа. Естуари, постали потапањем речних долина, такви какве познајемо из других крајева, били би шири, странији и не би се низводно гранали по стеновитом земљишту. Статистичку везу с ишчезлом глацијацијом показују сви облици који изгледају сродни, везани за области из којих су ледници ишчезли, односно за области у којима изгледа да су леднички језици готови да понова сићу у дугуљасте удолине; такви облици се јављају у великом броју у вишим ширинама, на Шпицбергу и Гренланду. Али једна лапа не чини пролеће. Један фјорд или једна од тих долина са попречним профилем U — један валов — који лежи у продужењу узводно, не би сами носили траг глацијалне ерозије. Али то доказују стотине фјордова и валова тако локализованих.

Да се вратимо другим начинима испитивања, рећи ћемо да се не ради о томе да се испита један ледник како би се видело

да ли му његова ледничка природа даје могућност да врши ерозију или не; да се испитивају стрије, наслаге и однети материјал; да се сазна да ли морене потичу од дна валова или од одвесних страна; да се спуштамо у ледничку пукотину, како бисмо видели да ли се ту осећају промене спољашње температуре; да упознамо физичко стање леда у разним дубинама и начин кретања; да изра-



Сл. 1

чунамо могућност које леду пружа брзина мања у односу на брзину воде; да видимо супротност између адхезије у удубљењима и адхезије на неравном рељефу дна. Сви ови елементи, које добијамо обавештењем и чији је интерес несумњив (под условом да се обавештења добијена на ивици или на површини ледника не преносе на дно ледника дебелог 1000 м) — сви се ти елементи заснивају на испитивању самог ледника. Та нас обавештења одводе анализи активних чинилаца, док нам испитивање

топографије даје обавештења о резултатима рада тих чинилаца. Бројно развиће облика, везаних за глацијалну прошлост, даје нам права да сматрамо, не испитивајући претходно средства које је ледник употребио при раду, да области фјордова дугују тој глацијалној прошлости карактеристичну, врло изразиту топографију, такву да испитивање начина рада треба да буде подређено испитивању резултата рада.

Ова претходна примедба, као и примедбе које ће се доцније изнети у вези с њом, потичу у својој укупности од В. М. Девиса, А. Пенка, К. Алмана и скоро свих савремених молфолога. Они који поричу глацијалну ерозију или они који су јој хтели приписати споредну улогу, ишли су поступком супротним од поступка којим смо ми пошли идући од топографије и од посматрања топографских облика. Они су пошли од динамичке глациологије, одбијајући да верују карти. Ова тежња није потпуно угашена, било што научне школе имају властити живот, било што се, по доста раширеној тежњи, мисли, да једно издвојено проматрање може поколебати доктрину, која изгледа утврђена. Један скорашњи испитивач, после свог путовања по Гренланду, уложио је много труда испитујући чело ледника да би упознао трагове, које је ледник оставио у топографији. У границама свога искуства он је нашао да они не постоје. Ми мислимо да испитивање топографије на великим просторима и поређења која нам ова топографија пружа отварају најшири хоризонт кад је реч о проблему којим географ има да се бави.

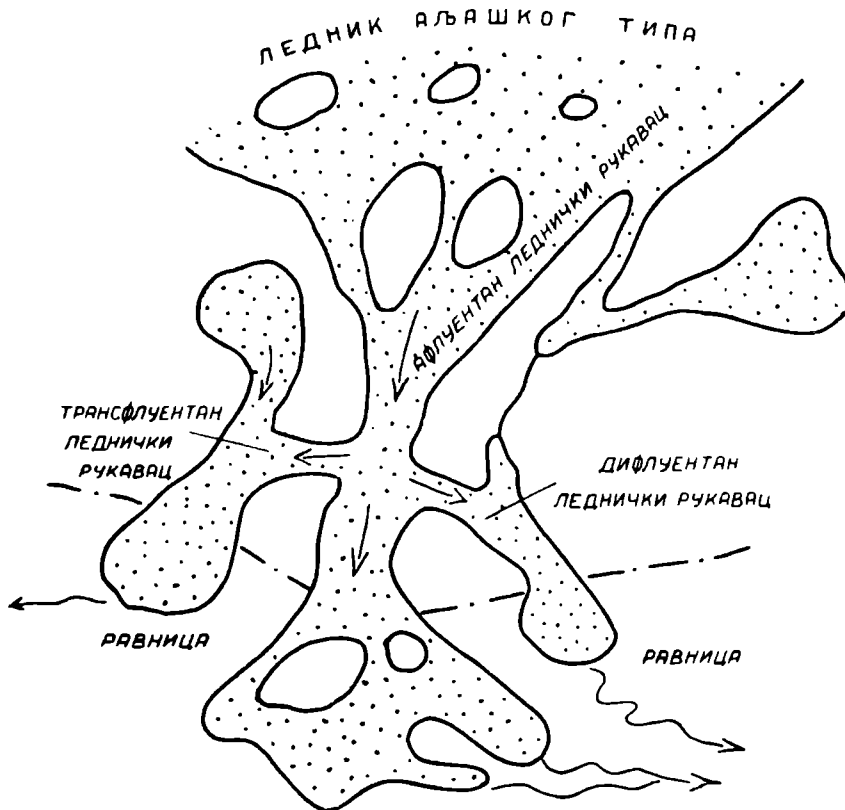
Корисно је, међутим, потсетити се на стечене појмове, оне који су елементарни и које не оспорава глацијална физика. Тако је напр. важно потсетити се да лед отиче због теже, испуњава дна долина, а каткад прелази и у суподину и ту се шири. Преостале снежне падавине не могу се у хладним пределима, на месту где су пале, безгранично гомилати. Лед који клизи низ стене шири се дотле, док га блажа клима или море не претворе у воду. Посматрани су најпре алпски ледници, врло спори (због незнатне количине ледене масе); потом су упознати поларни ледници, већи и много бржи — с брзином од више метара на дан место више метара на годину; до тог се проматрања дошло касније стога, што су поменути ледници у мање приступачним областима. Због дебљине, лед се понаша као пластична маса, али отиче много спорије од воде: сто хиљада пута. Водени ток, широк 50 и дубок 5 м, може тако бити претстављен ледничким током, широким 5 км и дубоким 500 м. Није чудно што валови и фјордови претстављају у рељефу корита старих ледника. Та се корита могу упоредити са речним, водећи рачуна о маси леда, која отиче смањеном брзином. Ледничка долина, било да је изнад мора у облику валова, било да је у пола потопљена под море у облику фјорда — или, као што ћемо видети, чак потпуно потопљена — у ствари је циновски хомолог незнатног речног корита.

Статистичка честина валова није уочена најпре у Скандинавији већ у Алпима, који су тако дали свој прилог расветљавању овог питања. Истина, све алпске долине, којима су пролазили квартарни ледници, нису валови, и честина овог феномена, мако-лико била значајна, мања је него у земљи фјордова. Овај недостатак алпске области са гледишта које нас занима може се приписати томе што је у Алпима квартарна глацијација била од мањег значаја него у Скандинавији, и затим већој геолошкој разноврсности (јер је алпско набирање захватило стене различне отпорности), разноврсности услед које су се јавили структурни облици пред чисто глацијалних. Међутим су алпски глацијални облици врло чисти у највишим регионима. Ту влада попречни профил у облику слова U у валовима и цирковима, и степеничаст уздужни профил, о коме ћемо такође говорити, с језерима и водопадима. Средине алпске долине, у којима се стичу воде унутрашњих Алпа, често имају слабо развијене глацијалне облике. Грезиводан, напр., има само с једне стране стрму падину валова. Попречни профили Моријенс, Тарантезе и доњег дела Романше чешће су облика слова V него слова U. Чисти глацијални облици налазе се често даље низводно. Напр. језера Буржеа, Анесиа и Четири Кантона, као и италијанска језера у њиховим алпским деловима, у ствари су фјордови који, место да прелазе у море, завршују се у подгорини; разлика према фјордовима је само у погледу на морски ниво. Изгледа да се слабо развијени карактер средишних долина може објаснити деловањем речне ерозије за време интерглацијалних фаза; о тој ерозији нам с друге стране дају доказа и моренске наслаге. У горњим деловима високих масива, за време евентуалних интерглацијалних фаза, токови с мањом количином воде врло споро су мењали глацијалне облике. У доњим деловима великих долина валови су дубоки, дубљи него база речне ерозије, и интерглацијална или постглацијална речна ерозија не могу деловати на њихово дно, које је остало под језером или је испуњено наносима, као што не могу деловати ни на њихове стране.

Не треба дакле очекивати да ће се наћи чисти глацијални облици свуда тамо, где су за време глацијације постојали леднички токови. На сваки начин, општи распоред долинске мреже не може се приписати глацијалној скулптури. Фјордови, који носе најјачи печат глацијалног деловања, били су раније речне долине, које су ледници искористили. Фјордови и алпске долине добили су од претходних речних долина изразиту разгранатост, коју су ледници тежили да униште. Ледничка мрежа скоро је иста као и речна. Ипак треба приметити да је ледничка мрежа сложенија од раније речне, баш због тога што велика ледничка маса тежи да се распростре. Она се не скупља једино у долинама, које се спајају и које је та маса искористила: она се преливала преко бочних усуса којих је могло бити на странама речних долина и стварала дифлуентне валове на рачун превоја на развођима. Ови трагови

дифлуенције — или трансфлуенције кад се прелаз врши из једног ледничког слива у други — врло су чести у Алпима, где многи превоји претстављају широка седла, а не гребене. У Скандинавији и у свима областима фјордова поменути трагови појачавају разуђеност морских обала, које показују карактеристичан четвртаст распоред: острва, више или мање облика правоугаоника или ромба, растављена су удолинама, валовима неједнако потопљеним, који одговарају деловању трансфлуенције или дифлуенције (сл. 2).

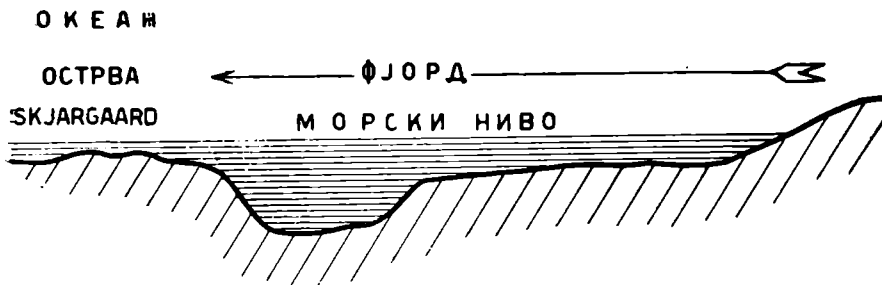
ВИСОКЕ УНУТРАШЊЕ ОБЛАСТИ



Сл. 2

Пошто скандинавски валови постају низводно заливи, њихово дно се спушта испод морског нивоа. Први посматрачи, који су увидели да су фјордови постали радом квартарних ледника, у дубинским приликама фјордова нису нашли ослоњаца против оних, који су порицали деловање поменуте ерозије: зар би се удубљења испод морског нивоа дубока више стотина метара, некад више

од хиљаду метара, могла приписати нечем другом а не тектоници? (У толико више, што четвртаст распоред острва, растављених каналима, потиче очевидно, као и рељеф флувијалног порекла, од структуре). Међутим, треба знати да леднички ток, којим се лед креће до мора, ако га топљење услед климатских прилика пре не уништи, носи лед који иде тако далеко да плива; он се може тада раскомадати у ледене брегове, који бивају даље ношени струјама; често се они широко распростиру на фронту према пучини кад пливају, као што је то случај са садашњим ледницима — пречагама: таква је Росова пречага пред великим јужним ледником. Леднички фронт Росове пречаге плива (диже се са плимом); на извесним местима он је изнад мора више од 80 м, што значи да је у води за 600—800 м. До тренутка док не почне да плива, лед притискује дно и креће се по дну у поменутој дубини. Фјордови су дубоко издубени стога, што је била дебела ледничка струја којом се спуштао лед ледника-пречаге и пливао у Северном Мору. Чак у Алпима, ледене струје биле су у унутрашњем делу планине дебље од 1000 м: о томе сведочи висина моренских наслага на странама. Скандинавски ледници могли су се ширити у мору: губећи дебљину, они су се до мање дубине спуштали у води. Зато је стеновита удолина фјорда често низводно затворена. Согнефјорд у Норвешкој и Бакерфјорд у Патагонији претстављају басене у континенталном



Сл. 3

рељефу, стеновите удолине дубље од 1200 м, који се не продужују према пучини. Дно Хардангерфјорда спушта се до 800 м. Фјордови не претстављају дакле потопљене долине, истоветне с атлантским естуарима и са средоземним каланкама, који су потопљени под море уколико се издигао морски ниво, и који према пучини нису затворени. Фјордови су ледничка корита у којима је морска вода наследила оне ледничке токове, који су поменута корита издубили, док није било потребе да се ниво морски издигне (сл. 3).

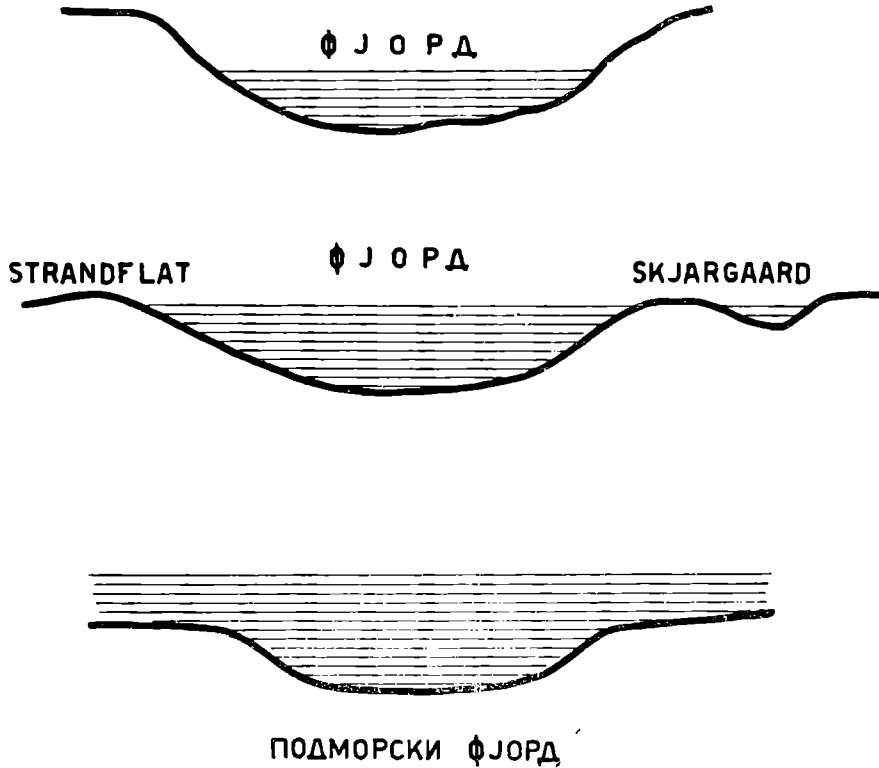
Помињемо да се дно великих италијанских језера на јужном алписком ободу такође спушта испод морског нивоа. Грезиводан

је био испуњен наносима Изера, али бушења у тим наносима нису досегла до њиховог дна у нивоу мора, док је даље низводно Изер морао пресећи терасе које претстављају продужење чеоне морене.

Рељеф норвешке обале и Норвешког Мора очевидно су нам боље познати него рељеф и море других области у којима се јављају фјордови. Многи фјордови, видели смо, у ствари су стеновите удолине заграђене на изласку фјорда у океан, као да се лед изненада ширио. Али Х. В. Алман наводи, да се на дну Норвешког Мора, на пучини пред обалом, продужује фјорд, потпуно подморски, на дужини од 35 км. То је Бредсунддибет, продужење Сулефјорда. Кад би се морски ниво спустио за неколико десетина метара, обале тога фјорда појавиле би се на површини. Слична подморска удолина лежи у продужењу фјорда Трондхјема. Скорашња мерења показују да је дно Норвешког Мора избраздано многобројним карактеристичним облицима. Можемо бити у извесној недоумици о овој појави. Међутим, узмимо изврсну детаљну карту Мисисипине делте и њених подморских продужења: на њој видимо да речно корито, ниже за 60 м испод делтиних наноса, није ишчезло кад су речни рукавци прешли у Мексикански Залив; оно се продужује далеко према пучини, оивичено малим низовима речних острва, посталих при изливањима великих вода, што се види дуж доњег тока реке Мисисипи. Подморско дно издубљених речних рукаваца постало је радом речног тока који се продужавао према пучини. Тако нас не могу изненадити подморске удолине, којима се продужују фјордови на норвешком континенталном постољу (сл. 4). Овакав распоред се уосталом не види само на прелазу у само море. Норвешки фјордови, пре него што доспу до потопљеног континенталног постоља, усечени су у обалској издигнутој површи (Strandflat). Согнефјорд напр. у доњем делу, који претставља једну трећину његове дужине, није усечен између страна које леже изнад мора: са својим високим странама фјорд је скоро потпуно подморски.

У овом случају, као и у случају где су продужене удолине потпуно потопљене под море, било је немогућно да ледник није излазио из свог корита. То значи да ледник није био ограничен само на валов: ниједна од оних ледничких струја, које су протилале и храниле ледник — пречагу у Норвешком Мору, није могла бити издвојена на његовој површини. Ово је проматрање од значаја за тумачење других облика глацијалног рељефа, не само у Скандинавији, већ и у Алпима. Кад се почела проучавати глацијална морфологија, много се расправљало, поводом алписких облика, питање да ли је и глацијално *раме*, које се диже изнад ивице валова, било такође или не покривено ледом, који се кретао валовом. Сматрало се да је валов могао бити тачно толико велики колико и активан леднички ток, пошто се овај ток, као и речни токови, могао повремено издизати или спуштати. Фјордови, који

су усечени у обалској површи и који су рашчланили на пучини Норвешко Море, дају одговор на ово питање. У овој ивичној области, ледничке струје нису ни у једном тренутку могле бити издвојене. Сада, када смо боље обавештени о алпским облицима, нарочито када имамо боље карте, израђене фотограметриски, које не допуштају да се сумња у предубеђење топографа, могу се у алпској области наћи докази, који се слажу са претходним. Они



Сл. 4

су претстављени издуженим и уским валовима и у њима нису могли постојати тако издужени ледници, јер таквих долињских ледника нигде нема. Изванредно је изразита скица валова Венеона, у Озану, и суседних удолина, које су све правилно једна већа од друге и издужене; та скица потиче од нове француске карте, размера 1:50.000, која претставља огроман напредак према претходним. Немогуће је да такве удолине, у облику маракона, одговарају глечерским језицима који би имали њихове размере. У Алпима се могу наћи други примери исто тако изразити, нарочито

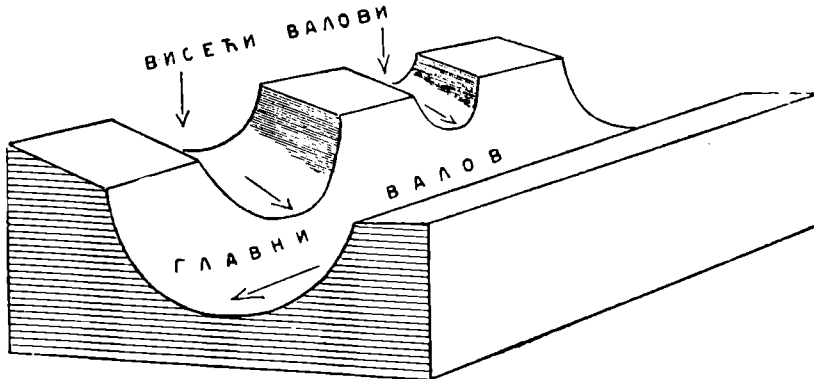
у угљеном басену Тарантезе: овде не изгледа да су стране изразито преиначене радом ледника, који су могли достизати дебљину већу од хиљаду метара, док се на дну долине види дубок и издужен канал, који није у сразмери са ледничким током из времена највеће глацијације, и који је одвећ незнатан и издужен да би могао одговарати слабијој глацијалној фази, која је заузимала дно долине. До сличних се запажања дошло у Аљасци. Према томе изгледа да глацијални валов најчешће одговара не ледничком току који је имао димензије валова, већ дубоком делу ледничког тока. Не задржавајући се на хипотезама које потичу од динамичке глациологије, можемо потсетити да се приликом речних поплава врло добро види, да вода не дуби свуда поплавлени простор, већ само по неким браздама; велике просторе између тих бразда, снажно урезаних, вода не дуби или их засипа наносима.

У случају ледничких покривача који се крећу преко равница — као напр. Фингер Језера, који наводи Флинт — запажа се да бразда у правцу кретања ледника има облик валова. У тој области, међутим, никад није било издвојеног ледничког тока већ се ширио амерички леднички покривач (*ice sheet*): као примери из Алпа, Скандинавије и са Аљаске, то показује да валови леже испод ледничког покривача и на ограниченим просторима оне површине коју су ледници покривали.

Тако шема, која приказује валове сличне по димензијама ледничким токовима, претставља прву приближну слику. Она без сумње вреди у широкој мери, као што то показују фјордови распоређени уопште по величини. Поједини леднички токови, који су постали од великих ледничких покривача, или леднички токови, који су хранили суподинске леднике, створили су долине према својој величини. Али, у случају општег потапања рељефа под леднике, поуздано је да у дубини могу бити израђени валови чији попречни профил не задовољава потребе општег отицања леда. Ми утврђујемо последице оваквог стварања унутрашњих удубљења, али те последице не објашњавамо.

Као површина водених токова, тако и површина ледника, и главних и споредних, покрива рељеф неједнаких дубина; када глацијација ишчезне, остају корита притока као viseћа изнад главних корита. После глацијације остају viseћа и корита дифлуентних токова, који су се преливали преко страна. Након нестанка ледника, последња корита остају празна, док се из корита viseћих притока вода сурвава водопадима: они ће створити сутеске које ће спојити главно корито са споредним. У оба случаја вијугави путеви, којима се прилази viseћем нивоу, а у другом случају хидроелектричне фабрике, које искоришћују јаке водене падове, претстављају карактеристичне црте, којима су се људи прилагодили природној средини. Не можемо се чудити што постоје, запажене од почетка у Алпима, *viseће долине* притока изнад корита

главних долина. Висеће долине Норвешке откриле су В. М. Девису колико је јако морфолошко деловање ледника (сл. 5). Различна дубина корита споредних ледника, која су данас без леда, изврсно показује неједнако ерозивно деловање ледничких токова. У Алпима, али само у њиховим дубоким долинама, многе висеће долине су исто тако изразите као у Скандинавији. У долинама средњих дубина види се како је било успешно деловање интер-

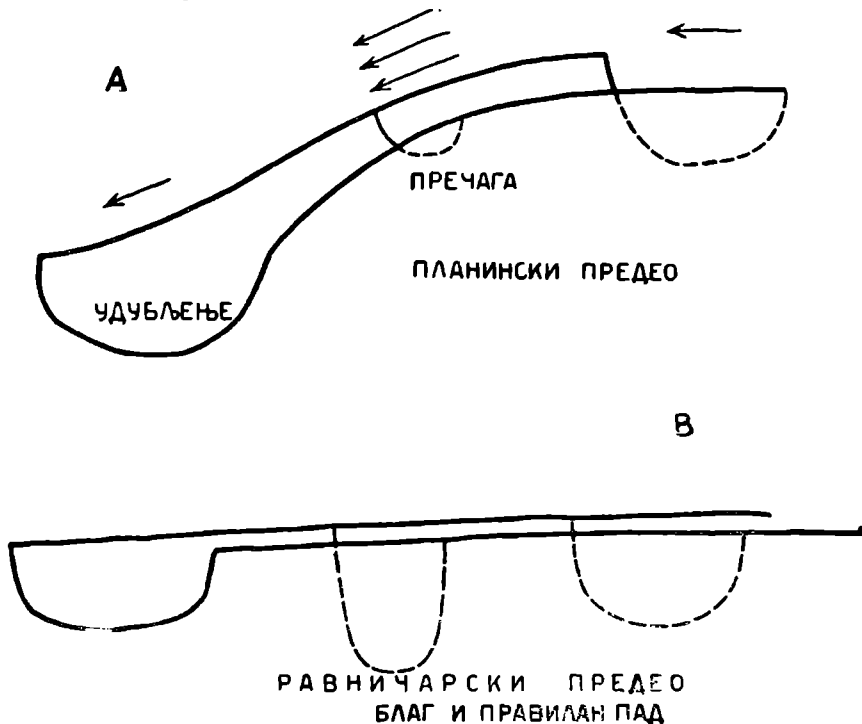


Сл. 5.

глацијалних фаза којим су речна корита доведена скоро у исти ниво. Долине, које се као споредне спајају с овим средњим долинама, најчешће претстављају висеће долине, врло широко отворене, и нису то могле постати након врло скорашњег ишчезавања ледника. Таква је сутеска Романше на њеном саставу са валовом Бург д'Оазана или сутеска Дорона на његовом саставу са долином Изера у Мутијеу. Ови усеци су постали у интерглацијалним фазама. Интерглацијална ерозија, која је довела до саглашавања вишег корита са нижим, некад је долину учинила дубљом него што је садашње корито: то се увидело код Шамбона, у Оазану, када се откопавало корито Романше да би се поставиле основе за браву у једној сутесци која је личила на пречагу.

Још више него дно речног корита, дно ледничког корита нема непрекидан пад, као што га имају површине оба тока, речног и ледничког. У ледничком кориту се смењују испупчени делови (који одговарају *праговима* речних корита) и удубљени делови (који одговарају *вировима*). Код ледничких корита то су *пречаге* и *удубљења*, израђена, разуме се, према величини ледника. На праговима и пречагама речни или леднички ток теку брже (истом протицају у попречном профилу корита мањих димензија одговара брже отицање). У вировима и удубљенима брзина је смањена услед ширења тока. У Конкордија Плацу напр. где се ледник Алеч шири и где површински слаб пад (од чега потиче

име поменутог места) привлачи скијаче, дебљина ледника достиже 800 м. Неправилности у паду ледничког корита могу бити различног порекла; ја сам лично указао на то да у случају када је дно корита састављено од стена неједнаке отпорности и сложене грађе, убрзани токови на праговима (или пречагама) потичу од прилагођавања, изазваног појачаном отпорношћу. Дуж водених токова, који се удубљују у разним стенама и јаког су пада, запажа се врло добро како пад постаје јачи при пролазу кроз чврсте стене, као да би се остварио потребан напор, док бива блажи при пролазу кроз мекше стене у којима ерозија захтева мањи напор. Исто тако су чврсте стене у стању да изазову нагиб погодан за ледничку ерозивну акцију, тј. за смањивање попречног профила ледничког тока; после ишчезавања ледника тако остаје на дну долине пречага у чврстим стенама. Погодба за ову појаву, коју ћемо доцније проверити, састоји се у томе да се ледничка ерозија повећава са брзином ледничког тока, као што се повећава и речна ерозија (сл. 6).



Сл. 6

Међутим, испитујући норвешке и гренландске фјордове, и то према тачним картама, на којима је претстављено подморско дно, наилази се на велики број таквих, који, сужавајући се у

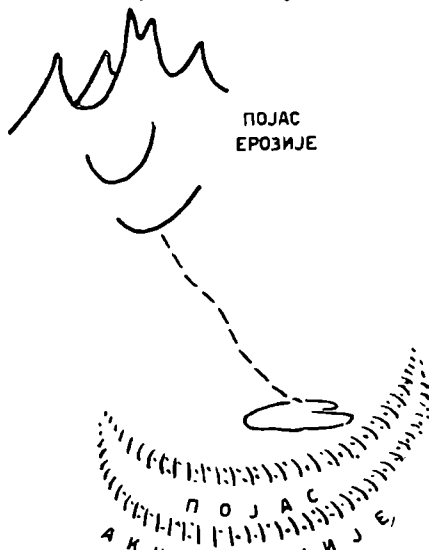
чврстим стенама, што нас ништа не изненађује, дубљи су у том делу него у деловима усеченим у мекшим стенама: место пречаге имамо удубљење. Како објаснити ову инверзију која нас изненађује? Њено објашњење није врло тешко. Пречага у чврстим стенама, тако честа у планинама, где неизбежно одговара повећаној брзини ледничког тока, јесте појава везана за планинске области: потребан је осетан нагиб, који допушта убрзање ледничког тока при пролазу кроз чврсту стену. У ивичним равницама, у близини морског нивоа, појачавање пада није више могуће: сужавању корита може одговорати његово удубљивање, чиме се обезбеђује једнако отицање — отицање чија брзина не може бити повећана денivelацијом. У четвртастим групама норвешких или гренландских острва, канали су често уских попречних профила, али су, као у накнаду, веће дубине. То се исто види у Хадсон-фјорду узводно од Њу-Јорка. То је појава, посматрана у извесним рекама, пренета у област глацијалног рељеља. У Ђердапу, напр. у Доњој Клисурси, у току који износи скоро 9 км, Дунав је спор али врло дубок, више него и у једној другој клисури, пошто му је ширина 200 м док му дубина премаша 60 м, и претставља највећу дубину. Пошто пад није велики, река се покурава геометриској компензацији: уско корито је поправљено тиме што је удубљено.

У случају ледника, као и у случају текућих вода, правац и брзина токова у поплавленим просторима у везама су с деловањем ерозије. У Скандинавији се запажа да су канали, управљени у смислу ледничког тока, према мору где се врши таложење, дубљи од бочних канала. Иста је појава запажена и у областима где је глацијација покривала равније континенталне просторе: речне долине, израђене пре глацијације, јасне по свом уздужном и попречном профилу, засуте су *дрифтом* или подинском мореном. То је бар случај с оним долинама, које нису биле управљене у правцу ледничког тока, док су долине, које су управљене у смислу општег отицања, удубене: такве су долине језера Фингер у Држави Њу-Јорк. То показује да је ерозивно дејство ледничких токова у вези с њиховим отицањем, а не само с њиховим присуством и с њиховом тежином или само с чињеницом што они додирују стране и дно корита. Код фјордова се запажа иста појава када се ради о улози брзине: удолине се спуштају из високих области. Супротност између дубоких норвешких фјордова и шведских језера, која одговарају блажем нагибу према Балтичком Мору и имају басене мање дубине, указује на то да су се норвешким фјордовима кретали не само моћни ледници, већ да им је нагиб, који је доводио до брзог отицања, створио могућност такве глацијалне ерозије, која има изузетну вредност.

Тако можемо очекивати да је глацијална ерозија, неједнака према местима, имала минимално или икакво дејство на великим просторима који су били под обилним ледничким покривачем.

У областима ослобођеним од леда тада наилазимо на нормалне долине, које прелазе једна у другу без отсека, пошто њихов попречни профил потиче од субаерске ерозије, а уздужни је без супротних нагиба. Ледник их је покривао, али их није преиначио, што би учинила и мирна речна поплава. Гренландска ледничка област претставља неку врсту ледничког резервоара: лед, дебео више хиљада метара, отиче из ње уским бочним удолинама према ивицама, али не доноси много моренског наноса. У поређењу са ледом планинских ледника, лед који доноси ове удолине је чист. Он је скроман ерозиони инструмент, ограничен на удолине.

Међутим, не треба потцењивати ерозију великих ледничких покривача (*ice sheet*), који су пренели и преко Балтика материјал понет са Скандинавије, и који су застрли наносом (*drift*) огромне просторе Северне Америке. Материјал, сталожен у северној европској равници, претставља слој дебео десетине метара, скинут са скандинавског штита. У норвешким фјордовима, где је кретање било каналисано и нагиб већи, дубљење у односу на првобитну топографску површину процењено је на 2500 м.



Сл. 7

Моћ глацијалне ерозије је у вези с кретањем и њен значај у вези с брзином кретања: такав закључак изгледа многим глациолозима толико очевидан, да се они не труде да га доказују и задовољају се тиме што на њега указују. Треба истаћи да је ово правило потврђено проматрањима о глацијалној топографији какву видимо у многобројним облицима исте врсте, а не унутрашњим проматрањима: ми стварно не видимо глацијалну ерозију на раду, већ судимо о њој према њеним резултатима.

Посматрања исте врсте, унеколико статистичка, наводе нас да припишемо скоро све те резултате великим глацијацијама — оним које су биле

највише распрострањене. Довољно је доиста видети где се налази главна маса моренског материјала. У свима глацијалним областима на Земљи, разликују се спољашњи моренски појас, добро ограничен, и унутрашњи појас, који је без већих количина моренског материјала (сл. 7). Моренски материјал пореклом из Алпа опкољава онај део планинског лука који је био под глацијацијом, док су у његовој унутрашњости наслаге ретке, ограничене на удубљења у

рељефу, или сведене на ретке и незнатне низове. Цела скулптура рељефа изграђена је ерозијом. Исто тако су скандинавски и амерички штит знатно снижени у корист јужнијих моренских области. Од највећег су значаја ове географске чињенице: рељеф, распоред текућих вода и језера, вегетација, културе, саобраћајне линије; све је друкчије у зони из које су ледници пролазили него у зони у коју су они доспевали. Из тога нећемо закључити да је глацијална епоха претстављала јединствену епизоду, већ само да су велике глацијације, које су врло вероватно биле растављене фазама повлачења, сталожиле своје морене на суседним местима, јер су имале сличан значај, док фазе коначног повлачења нису имале скоро никаквог утицаја на рељеф и на наслаге, јер је повлачење било непрекидно и без сумње брзо. Сви велики и дубоки глацијални трагови могу одговарати само пароксизму глацијација. Оне су без сумње биле дуге и имале велику ерозивну моћ, пошто је брзина ледничких токова у вези с њиховом дебљином. Потсећајући се дугуљастих дубоких валова, тако удубљених, да се њихов постанак не може приписати раду ледника њихових димензија, у општем распореду наслага наилазимо на сличну потврду. Ове наслаге не могу потицати од једне оделите фазе повлачења или од једног прогресивног повлачења праћеног прогресивном ерозијом: где би се онда налазиле наслаге, које би томе одговарале? Али због ове чињенице морамо местимице издвајати уклопљена корита, облике који су везани за извесна места и који се не протежу непрекидно.

У планинама, дубина глацијалних трагова такође је у односу са висином оних масива, у којима су се ледници стварали. Гребен који се више дизао изнад границе вечитог снега био је под моћним ледничким токовима и њихов траг је дубок. У региону врхова, дубина тих трагова огледа се у појави врхова који се дижу као пирамиде, као игле које надвисују околне удолине. Ако је ледник био мање развијен, што одговара рељефу мање висине, ледничка корита су плића и врхови између њих су само назупчени. Најзад, ако је висина рељефа била још мања, заостали су ређи трагови глацијалне ерозије, рудиментарне удолине које заслужују име циркова. Тако се у Француским Алпима јавља низ почев од игличастих облика Мон Блана, преко зупчастог гребена Белдоне до издвојених циркова Веркора, који рељефу не дају оштар изглед.

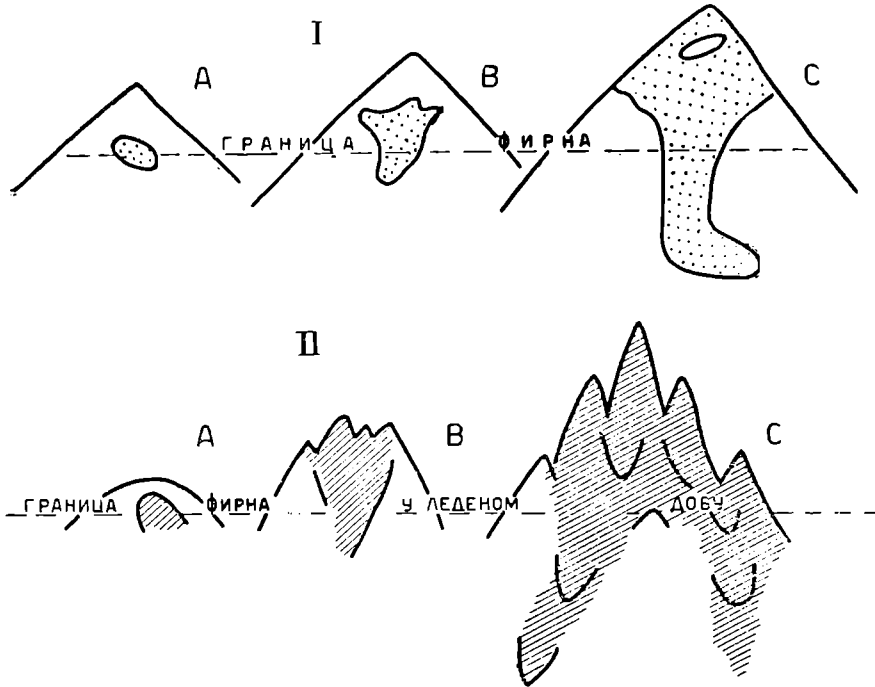
Величином и обликом, ови се издвојени циркови не разликују од циркова који претстављају облукe глацијалних долина. На њиховом дну често се место ледника налази језеро (али не место целог ледника, који, макако био незнатан, увек има површину нагнуту у истом правцу, док се леднички слојеви, као водени млазеви у реци, могу усправити). При посматрању деловања глацијалне ерозије, ови мањи ледници не могу се засебно посматрати. Али, пошто су они претстављали елементарне организме, глациолози су се њима често и радо бавили, надајући се

да ће у њима наћи елементе за проблем глацијалне ерозије. Допуштено је мислити да је приказ фјордова речитији. Незнатни организми, који су били у цирковима или су још у њима, могу пружити само недовољна обавештења. Израђени рељеф је међутим јасан, и њега нормална ерозија не може створити. Противници глацијалне ерозије некада су покушавали да оспоре оригиналност овог рељефа, да покажу његову сличност напр. са облацима виловитих потока, облацима који су више или мање преиначени. То је значило не водити рачуна о унутрашњој удолини, о њеном дну које има облик наслоњаче, и о њеним малим димензијама (док басени виловитих потока могу бити врло пространи); сем тога, неки од ових издвојених циркова могу се јавити свуда, напр. на кречњачким отсецима, где се спирање не врши.

Ови циркови могу бити облаци степенчастих, више или мање дугих ледничких корита и ми смо запазили да су најдужи и најјаче издубљени и да је рељеф гребена, који их растављају, више накупчен (низ од Веркора до Мон Блана). Зашто су циркови нижих планина изјуплини, а такође и најређи? Да би се тачно објаснила ова појава треба утврдити да изнад границе фирна, вечити снег не покрива целу површину рељефа. Снежни покривач, који делимице заостаје изнад ове границе крајем топлог годишњег доба, није једнолико распоређен. Ако је нагиб јак, он може клизити. Његово клижење ствара обично усек, путање усова (који се могу спуштати и чак стварати испод ката, вишег од границе фирна). Ветар такође премешта снег и тако ће један део високог рељефа бити од њега очишћен. Тако се лед скупља било под утицајем клижења усова било под утицајем ветра у стеновитим удубљењима, али се због тога увек не ствара ледник, тј. леднички ток који се услед теже спушта из зоне где се ствара (изнад границе фирна) у зону где се топи (испод те границе) (сл. 8). Ово се кретање може вршити само ако је нагомилани лед довољно дебео: његова дебљина треба да буде око шездесет метара. Испод те дебљине лед не отиче. Потребна дебљина може потицати било од нагомилавања снега који је пао из атмосфере на сам ледник, било са суседних страна, с којих се према леднику спушта снег, који је на њих пао, било да клизи у облику усова, било да је ношен ветром.

Као што се види, ради стварања правога ледника на земљишту које мало премаша снежну границу, потребне су повољне топографске прилике у којима ће се скупити снег са доста пространог вишег земљишта, На погодном месту, уопште у удолини накупиће се снег са суседних висина и тако ће се образовати, ледник, док ће поменуте висине бити без њега. На земљишту, које се диже изнад снежне границе, лед покрива врло мали део површине. Ја сам израчунао да на гребену Белдоне ледник сада покрива 3 до 4% површине више од 2500 м. — више од границе фирна — док се врхови дижу скоро до 3000 м.

Уколико је висина већа, утолико ледник добија више снега на површини, јер је годишњи остатак снега све дебљи: на висини од 4000 м у Алпима пада данас тако рећи само снег и летња топлота је од малог значаја. Годишњи заостатак снега може лако прећи дебљину од десетак метара. Сем тога, изнад фирнске границе су нагиби високог земљишта дужи, и услови који одатле полазе могу наићи на фирн, место да се спуштају ниже од те



Сл. 8

I У све вишим зонама, означеним тачкама, садашњи ледници су све више развијени.

II Све више зоне, означене косим линијама, све су више рашчлањене ледничком ерозијом.

границе, док ветар нагомилава велике количине снега, снете са гребена. Тиме је фирн боље храњен, пространији ледник покрива већи део земљишта на slabим или јаким нагибима, чак и на високом земљишту (као што се види на Мон Блану). Лед тежи да обухвати више земљишта. Из леда се дижу растурена стеновита узвишења, стрмих страна, која ветрови бришу или услови чисте. Туристички дом Вало, поред врха Мон Блана, саграђен је на једном таквом издвојеном *нунаШаку*.

Ово је испитивање корисно за схватање глацијалних облика, који су близу врхова. Најпре, оно нам објашњава чињеницу зашто су глацијални облици, израђени на најнижим гребенима, растављени један од другог, и зашто се спајају на већој висини. Овакав распоред одговара неједнакој густини ранијих ледника на различним висинама.

Тај распоред нам објашњава погодбе под којима је високо земљиште, које је било под глацијацијом, добило различан рељеф. Кад посматрамо циновске падине, које ограничавају хималајске масиве, Мон Блан је јаче рашчлањен него Белдон, а Белдон јаче него Веркор, могли бисмо бити у искушењу да из тога закључимо да се глацијација дуже одржала на вишим масивима или да су ти облици, све оштрији уколико су виши, постали на тај начин, што лед ту још делује. Ово се објашњење не може одржати. Опште ишчезавање ледника било је нагло и десило се тако рећи јуче: само пре десетак хиљада година, што нема значаја за геолошко доба, јер се повлачење извршило брзо, почев од чела највећег ширења. Различан ступањ развића, тј. дубљи или плићи леднички трагови у рељефу, не потиче отуда што су ледници дуже или краће трајали, већ отуда што су они леднички токови, који су са високог земљишта добијали највише снега, јаче деловали: на нижем земљишту, међутим, били су развијени ледници рећи и мањи.

Претходна констатација и величина ледника, различна према висини, допуштају да се објасни различан изглед удолина, које леже испод гребена. Класичан тип цирка потсећа на наслоњачу, уоквирену високим зидовима, са којих силазе или са којих су силазили усови, повећавајући површинско храњење снегом; тако су неки циркови могли или могу лежати потпуно испод границе фирна, измерене према околним падинама. Као што смо видели, ти су циркови некад јаче растављени један од другог. Али, међу облицима, које нам рељеф открива, могу се наћи циркови једва назначени у планинској маси. Они се јављају у вишем региону који нису хранили или који не хране снегом више падине, и који дугују све или скоро све талозима што су их добили површински. Ови циркови равног дна, уоквирени малим и кратким преградама — *чиније* А. Аликса — сретају се у унутрашњим, вишим областима Алпа. Кратки планински ободи, који им служе као ограде, потсећају на ободу међу које емањери потапају емањ.

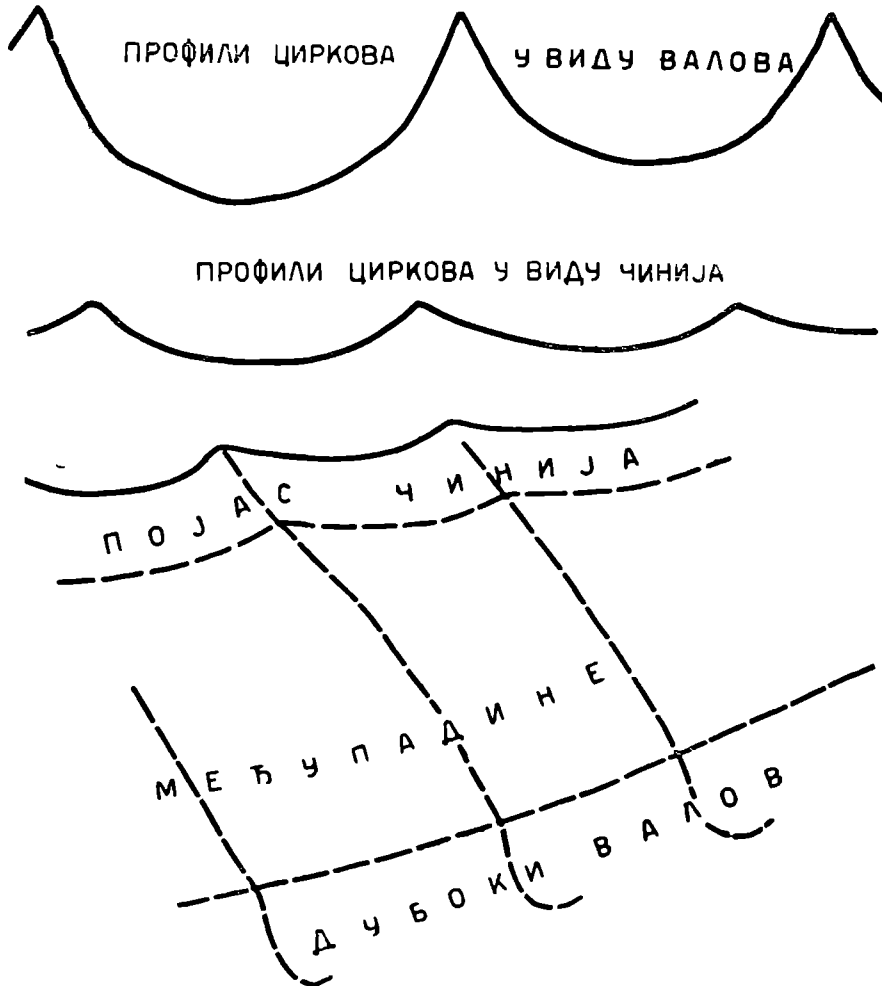
Овакав изглед одговара спојним ледницима — а не издвојеним, као што су ледници ниских планина — и настаје под утицајем висине веће од снежне границе. Цирк равног дна само се ту јавља. Али зар нисмо описали у овим високим регионима дубоке удолине, између оштрих узвишења? Треба истаћи да ова особина постоји и да је у доба глацијације била ограничена на области ослобођене од леда, из којих је лед могао брзо тећи према нижим областима: такав је Мон Блан због своје изузетне

висине; западна страна Белдоне, која ограничава ров Грезиводана; Веркор, издвојени преалпски масив. Али се циркови типа чинија јављају у унутрашњим долинама, које су испуњавали ледници *аљашког* типа — такви, код којих су се мањи делови земљишта дизали из ледничког покривача. Наши алпски циркови облика чинија леже изнад унутрашњих долина, које су ледници испуњавали до њиховог нивоа. Типски примери се виде у високој Тарантези, напр. у долини Ирзерен. Да су ове области у доба великих глацијација биле испуњене ледом, потврђују алпски превоји, данас границе, који имају облик удолина, и показују знаке дифлуенције према италијанској страни алпског лука, куда је лед лакше отицао; такви су превоји: Бернина, Св. Готхард, Мали Св. Бернар, Мон Жени. И поред веће висине изнад снежне границе, ледници, развијени на гребенима, који су се мало дизали изнад ледничке површине, могли су само површно преиначити рељеф. Док је у Западним Алпима снежна граница била висока око 1600 м, циркусни ледници Моријене и Тарантеза наилазили су површински на ледник *аљашког* типа, који су испуњавали долине изнад висине од 2000 м.

Спустимо се за тренутак у унутрашње долине (Тарантезу, Моријену, Оазан) да се потсетимо да у њима облици валова нису тако изразити, као што су, видели смо, у неким вишим долинама, које полазе од највиших масива, или као што су на спољашњој страни алпског лука. Овде је зона блажих облика рељефа; и само према дну, и то неправилно, наилази се на елементе облика U. Место да се позивамо само на интерглацијалну ерозију ради објашњења ових облика који изгледају закржљали, можда треба мислити на *аљашки* карактер глацијације, на то да су облици били испуњени ледом који уопште није брзо отицао, на то да је отицање ледника било ограничено само на дубину (сл. 9).

Било да се ради о дубоким цирковима (облика наслоњаче), било о плитким (облика чинија), из топографских облика можемо добити још обавештења о начину деловања глацијалне ерозије. Доиста, када је ледник ишчезао, видимо како се са дна цирка дижу одвесне падине, као што се са дна валова диже његов обод. На падини цирка облика наслоњаче, почев од дна па до врха, не види се прегиб у паду, који би сведочио о деловању усова изнад ледничке површине, деловању које је јаче од деловања леда што је испуњавао удубљење. У случају циркова облика чинија, непрекидни ниски венци који их ограђују показују да бочно потсецање није имало значајну улогу: да је бочна ерозија имала удела у изграђивању ових облика, циркови би се спојили или залеђем или странама, тиме што би биле уништене кратке пречаге које их деле. Судећи по овим резултатима, при стварању циркова, као и при стварању валова, који се на њих настављају, лед делује непосредно, а не преко атмосферских чинилаца (преко пукотине којом је лед одвојен од стене као

што се некад наговештавало) и циркови се не развијају ширећи се, као што је тежио да то претстави Хобс, замишљајући развој од издвојених циркова до преосталих узвишења (споменика), који су сматрани као резултат непрекидног ширења удолина.



Сл. 9

Испитујући облике, који носе карактеристичан знак ледника, излагали смо најопштије појмове о природи ледника и о његовом деловању. Битни морфолошки закључци не потичу искључиво од динамичке глацијације: они су резултат идентификовања, класификовања и упоређивања дугих низова облика. Дефиниција типова је производ специфично географског рада. Њихов рас-

поред и површина коју они на Земљи захватају дају поуздана обавештења. Овај начин рада, чије је порекло чисто статистичко, тачан је по томе што су тачне карте крупног размера.

Други извори, који нам дају обавештења, такође су значајни. При крају, можемо се укратко осврнути на суседне науке чије је полазно гледиште сасвим друкчије, али чији резултати могу бити корисни за тумачење облика рељефа. Реч је само о томе да се искористе наговештаји које су дала најсавременија испитивања о трајању и о епизодама глацијалног периода. Данас је утврђено (Ц. Емилијани) да његово трајање није било дуже од 300.000 година. Током терцијера, температура се на Земљи спуштала; квартарна хладна ера, претстављена садашњом епохом као последњом епизодом, имала је пароксизме — четири хладније фазе, које одговарају класичним глацијацијама, којих је такође било четири; спуштање температуре у односу на интерглацијације (и на садашњи период, који је такође њима сличан) износило је сваки пут 6° ; последња глацијална фаза (вирмска) била је најдужа. Постглацијално доба настало је тек пре 10 до 15.000 година, после наглог издизања температурне криве.

Ове су констатације у сагласности са индикацијама, које пружа изглед израђених облика. Сем тога, оне истичу, утврђујући краткоћу глацијалног доба, огромну моћ ерозивног оруђа, које је створило то доба. Огромне количине леда, које је квартарна ера донела Земљиној површини, оставиле су на неким њеним областима за релативно кратко време врло дубоке трагове. Док су фјордови дубоко рашчланили планинске области, док су се у високим областима алпског типа стварале удолине, ограничене карактеристичним, оштрим узвишењима, периглацијално дејство оставило је врло слабе трагове у ивичним областима. У пределима поштећеним од глацијације, још се на Земљиној површини јављају облици, који потичу с краја терцијера и који су очували свој општи лик. Истина је да ерозија, ма на ком се облику вршила, делује јаче на вишим облицима рељефа; али, на сваки начин, ледници нису вршили улогу заштитних покривача. Као вулкани, и још више него вулкани, ледници претстављају такав елемент који је унео новине у данашњи рељеф Земљине површине. Најмлађи вулкански рељеф често је у вези са старим рељефом истог порекла; у целини, вулкани доносе нов прилог, додатак рељефу у коме се појављују. Рељеф алпског стила у исто доба је скорашњи у својој укупности, али он сведочи о изузетно јаком снижавању, извршеном на рачун виших региона.

(Са француског оригинала пишевог превео Б. Ж. Милојевић).

R é s u m é

JULES BLACHE

LES RÉSULTATS DE L'ÉROSION GLACIAIRE

Cette étude, destinée à présenter un corps de doctrine sur le développement des formes de sculpture glaciaire, est illustrée de figures très simples, didactiques, susceptibles d'être reproduites aisément.

Mais sur cette base anciennement établie apparaissent des indications spéciales, tirant parti de réflexions ou d'observations nouvelles de l'auteur ou d'autres auteurs.

1° — Il est précisé que le mode de recherche, de caractère statistique, exploité tout au long, s'oppose par sa démarche aux procédés de recherche de la glaciologie dynamique, laquelle part de l'examen de phénomène glaciaire originel, et non, comme nous, de l'examen des formes sculptées.

2° — Ce texte résout une contradiction apparente entre les verrous de montagne, d'une part, et les tronçons de lits glaciaires approfondis et étranglés à la fois, dans les plaines du niveau de base.

3° — Il généralise, par comparaison avec les reliefs d'origine fluviale, l'explication des auges sous-marines, reconnues aujourd'hui en grand nombre.

4° — Il montre comment, dans certaines parties des Alpes en particulier, la notion de glaciation alaskienne rend compte de développement des auges filiformes profondes, comme des larges cirques à fond plat.