

PAVEL ČERVINKA

ZALEDNĚNÍ KANADSKÝCH COLUMBIA MTS. A ROCKY MTS.

P. Červinka: *Glaciation in Columbia Mountains and Rocky Mountains in Canada*. – Geografie – Sborník ČGS, 103, 4, pp. 414 – 427 (1998). – The article deals with the glaciation of selected regions in Canadian Rocky Mountains and Columbia Mountains and examines in detail glacial morphological forms. It is based on author's field research and interpretation with regard to the glacial forms classification and origins. Glacial fluctuations in the area studied were influenced by climatic changes; most glacial morphological forms are supposed to be relatively recent. Frequent slope movements cause ongoing creation of talus and other accumulations.

KEY WORDS: Canadian Rocky Mountains – glaciers – glacial forms – slope movements.

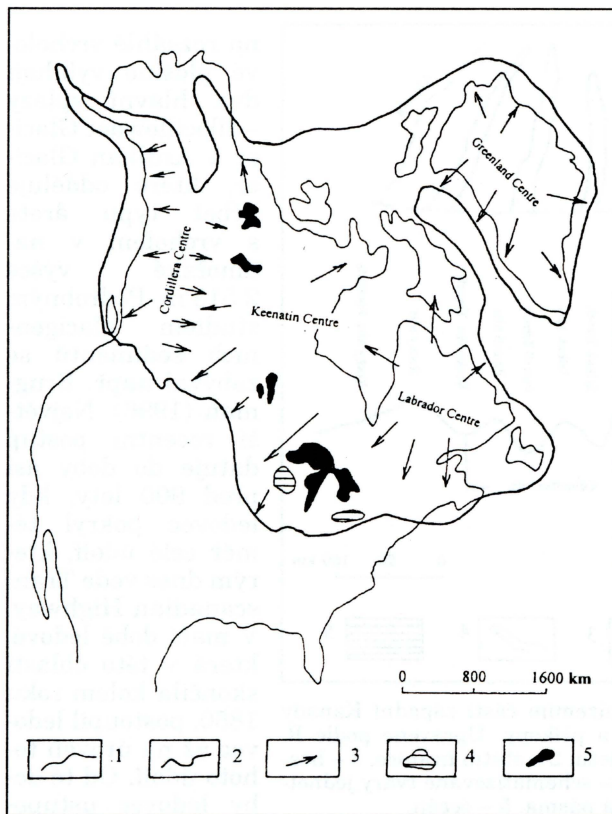
Úvod

Při dvou studijních pobytech v Kanadě v letech 1995 a 1997 jsem měl možnost podrobněji studovat současné zalednění a ledovcové tvary reliéfu v některých územích kanadských Kordiller. V předložené práci jsou uvedeny hlavní výsledky tohoto výzkumu.

Zalednění kanadských Columbia Mts. a Rocky Mts. je v odborné zahraniční literatuře věnována stálá pozornost. Geomorfologickými procesy v těchto pohořích se zabýval i Slaymaker a McPherson (1972 a 1977), Fulton (1967) a Ryder (1970). Ústup ledovců a vznik sedimetárních forem reliéfu studovali Jewaings (1951), Horberg (1954), Wagner (1966), Rutter (1966), Stalker (1968), Alley (1973). Pohyby ledovců v tomto století v Rocky Mts. se zabývali Heusser (1956), Gardner (1972), Fulton (1991), Ryder a Magnard (1991), nejnověji pak Fishpool (1996) v oblasti Columbia Icefield.

Současné zalednění Columbia Mts. a Rocky Mts. a jejich glaciální, kryogenní a fluvialní tvary reliéfu je třeba studovat především v kontextu s wisconsinským glaciálem v pleistocénu. Wisconsinský glaciál začal v Severní Americe přibližně před 70 000 lety a pevninský ledovec postupně pokryl celou Kanadu a část území USA. Tento pevninský ledovec se šířil ze čtyř základních center (obr. 1). Byla to centra Grónské, dále Labradorské, ležící na východ od Hudsonova zálivu a Keenatinské, nacházející se na západ od Hudsonova zálivu. Čtvrté centrum leželo ve Western Cordillera (Tranhaile 1990). Pevninský ledovec wisconsinského glaciálu začal ustupovat před 14 000 lety.

Ústup pevninského ledovce na většině jižní poloviny území Britské Kolumbie skončil před asi 10 000 lety (Tranhaile 1990). V Kordillerách se zachovalo horské zalednění do současné doby. Nejstarší holocenní morény, které dokumentoval Alley (1976) pocházejí právě z období před 8 – 10 000 lety. Oteplení, které následovalo, skončilo přibližně před 6 000 lety. Později došlo podle Portera (Porter 1976, in: Slaymaker, McPherson 1977) v jižních kanadských Kordillerách nejméně ke třem postupům ledovců. První postup je datován do



Obr. 1 – Hlavní centra šíření pevninského ledovce v období Wisconsinického glaciálu. Upraveno podle R. Kruegra (1991). 1 – obrysy kontinentu, 2 – hranice maximálního rozšíření pevninského ledovce, 3 – směry šíření pevninského ledovce, 4 – nezaledněné oblasti, 5 – současná jezera.

období před 4 000 – 5 000 lety, druhý před 2 300 – 3 200 lety a třetí před necelými 1 000 lety.

Pohyby současných ledovců se v Rocky Mts. zabýval i Heusser (1956) a Gardner (1972). V tomto pohoří došlo k maximálnímu rozšíření ledovců na konci 17. a začátkem 18. století, k ústupu koncem 18. století a začátkem 19. století, a k novému postupu ve druhé polovině 19. století. Později ledovce již většinou ustupovaly, a to až do poloviny 20. století. Současné trendy v pohybu ledovců jsou v Kordillerách protikladné. Např. West a Maki (1961) popisují postup ledovce v Purcell Mts. Častější jsou však ústupy ledovců, například v údolích a podél východních svahů Rocky Mts. (Reid 1973).

Zalednění Columbia Mts.

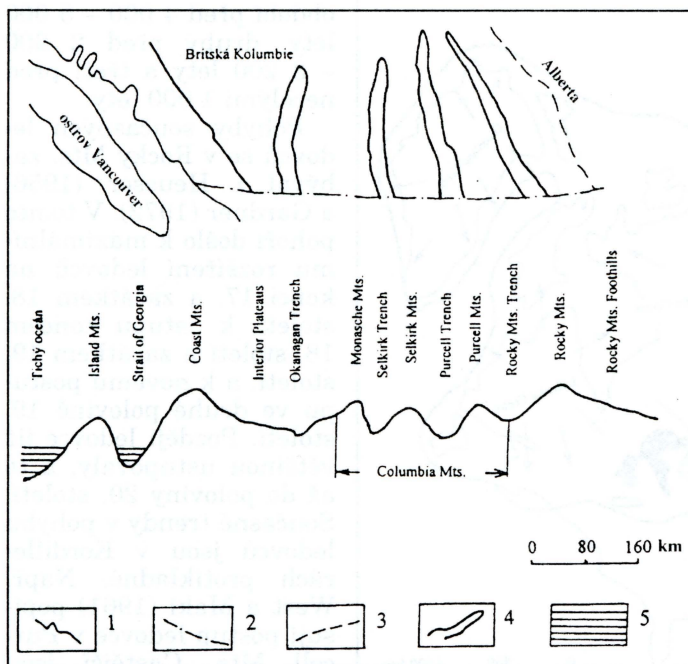
Monasche Mts., Selkirk Mts. a Purcell Mts. Vzájemně je oddělují příkopy Selkirk Trench a Purcell Trench (obr. 2). Columbia Mts. jsou na západě odděleny od Interior Plateau a Coast Mts. kotlinou Okanagan Trench, a na východě kotlinou Rocky Mts. Trench od Rocky Mts.

Ve vysokohorském reliéfu Columbia Mts. převažují horské masivy tvaru tzv. pyramidových štítů, které vznikaly zejména zpětnou glaciální modelací ledovců nacházejících se na třech či čtyřech stranách horských vrcholů. Rozvodnice mezi jednotlivými údolími jsou často velice úzké a protáhlé skalní hřbety, nazývané ârete.

Illecillewaet Glacier

V současnosti se v tomto pohoří nachází několik desítek ledovců. Pozornost jsem zaměřil především na Illecillewaet Glacier, který je jedním z největších ledovců Columbia Mts. (obr. 3). Patří mezi horské ledovcové čapky. Z ledovce

Columbia Mts. tvoří tři paralelní horská pásma



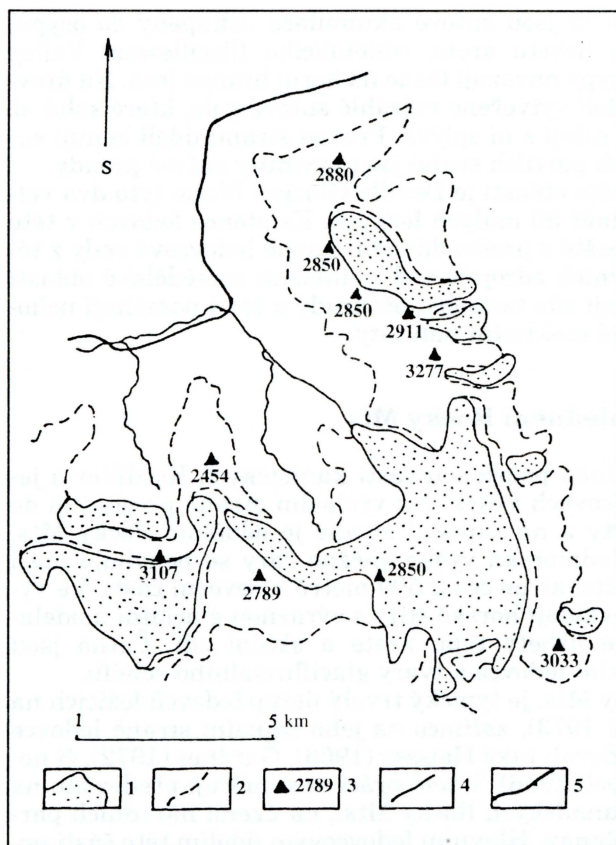
Obr. 2 – Schematizovaný profil územím části západní Kanady s jednotlivými horskými pásmy a příkopy. Upraveno podle R. Kruegra (1991). 1 – obrysy kontinentu, 2 – státní hranice, 3 – hranice mezi provinciemi Kanady, 4 – schematizované tvary jednotlivých příkopů oddělujících horská pásma, 5 – oceán.

délka ústupu činila asi 2 000 m. Průměrná rychlost ústupu byla přibližně 14 m za rok. Tento ústup ledovce však neprobíhal pravidelně, ale s výrazným zrychlením od padesátých let tohoto století. Po roce 1990 se tento trend změnil a ledovec se začal zvětšovat. Rychlost jeho postupu je 10 m za rok. Sněžná čára zde leží v nadmořské výšce 2 500 – 2 600 m a to znamená, že většina hlavní oblasti akumulace sněhu na ledovci leží pod její úrovní.

Glaciální erozní a akumulační tvary reliéfu

Splazový ledovec Illecillewaet Glacier vytvořil pozoruhodné údolí, které je především ve své dolní části částečně přemodelováno fluvialními procesy. Jestliže starší, především boční, ústupové a spodní morény již pokrývá vegetace, po rychlém ústupu ledovce v období 1950 – 1990 bylo obnaženo kvarcitové podloží. V jeho dolní části se nacházejí pozoruhodná nakupení „eratických balvanů“. Odkryté kvarcitové podloží je výrazně rozčleněno oblíky (roches moutonnées). Vnitřní vertikální členitost dosahuje mezi jednotlivými tvary 10 m. Tyto útvary jsou orientovány převážně ve směru pohybu ledovce. Obnažený skalní povrch je ohlazen materiálem a ledem spodní morény v délce asi 1 000 m. V mělkých depresích na povrchu oblíků i v depresích mezi nimi, které jsou přemodelovávány tavnými a srážkovými vodami, se usazuje různě mocná vrstva sedimentů. Deprese vyplněné sedimenty jsou místa, kde se uchycuje vegetace a odkud začíná svoji další expanzi. Tento proces je patr-

na rozsáhlé vrcholové plošině vybíhají dva hlavní splazy – Illecillewaet Glacier a Asulkan Glacier, které odděluje hřbet typu ârete s vrcholem v nadmořské výšce 2 515 m. Podrobným studiem glacienních sedimentů se zabýval např. Brugman (1996). Největší recentní postup datuje do doby asi před 900 lety, kdy ledovec pokryl téměř celé údolí, kterým dnes vede Transcanadian Highway. V malé době ledové, která v této oblasti skončila kolem roku 1850, postoupil ledovec až na úroveň tohoto údolí. Od té doby ledovec ustupoval, přičemž celková



Obr. 3 – Skica oblasti Illecillewaet Glacier. 1- ledovce, 2 – horní hranice alpského pásma, 3 – horské štíty (nadmořské výšky v metrech), 4 – vodní toky, 5 – transglaciální násočky.

ciér, vedlejšího splazu Illecillewaet G. Jde o jejich podtyp, tzv. břehové morény, které jsou odděleny od údolního svahu žlebem. Dosahují výšek až 50 m. Pravé svahy údolí jsou mírnější, s četnými sněžníky a firnovišti v nadmořských výškách 2 400 – 2 600 m.

Početnou skupinu akumulčních povrchových tvarů reliéfu představují osypy. Na svazích Kordiller lze rozlišit čtyři různé typy osypových svahů. Rapp (1960) rozlišuje „suťové kužele“, které vznikají při vyústění skalních rýh nebo skalních úžlabin. Suťové kužele obsahují gravitačně vytríděný materiál. Druhým typem jsou osypy, vznikající akumulací materiálu na úpatí a tvořící pokračování skalního svahu. Třetím typem těchto povrchových tvarů jsou spojené suťové kužele vznikající splnutím několika suťových kuželů. Posledním tvarem je suťové pole s gravitačně přemísťovaným materiálem. Materiál suťových polí pokrývá svah ve vrstvě o stejné mocnosti (Stock 1968), což je patrné při příčném průřezu. Typický sklon těchto svahů je 35°, přičemž Stock (1968) považuje za hraniční hodnotu 40 – 42°. Materiál těchto tvarů reliéfu je gravitačně tříděný, přičemž jeho hrubší součásti jsou ukládány při úpatí svahů. Suťové proudy jsou dalším specifickým tvarem reliéfu, který lze zařadit do této kategorie a který se v některých lokalitách často vyskytuje.

ný především v dolní části masivu.

Čelo ledovce Illecillewaet je mocné od 5 do 8 metrů. Na jeho pravé straně vzniklo na malé plošině (15 x 35 m) ledovcové jezero, odkud vytéká jeden z hlavních ledovcových toků. Ten protéká podél čela ledovce v 15 – 20 m hlubokém kaňonu a posléze se stáčí do osy údolí. Splaz ledovce spadá přímo do jezírka. Vzhledem k šířce čela ledovce (asi 150 m) a členitosti terénu je výtok subglaciálních toků několik. Na odhaleném podloží vytvářejí ledovcové toky vodopády vysoké až 10 m a malé kaňony, hluboké od 3 až do 10 m. I tyto kaňony, což jsou erozní činnosti tavných vod přetvářené oblíky, se musí překonat při výstupu k čelu ledovce. Z morén je především vyvinutá levá boční moréna, žlebem oddělená od hřebene typu (rete. Skutečně pozoruhodné jsou však vyvinuté boční morény u Asulkan Glacier.

V oblasti Illecillewaet Glacier jsou suťové akumulace uskupeny do osypů, které pokrývají úpatní části hřbetu ârete, oddělujícího Illecillewaet Valley a Asulkan Valley. Recentní osypy navazují těsně na horní hranici lesa. Na úrovni oblíků je na levé straně údolí vytvořeno rozsáhlé suťové pole, které sahá až ke žlebu postranní morény a nížeji s ní splývá. Pravou stranu údolí lemují suťové kužele, osypy a ve vyšších partiích svahů jsou vyvinuty suťové proudy.

Dalším velký ledovcem v této oblasti je Deville Glacier. Mimo tyto dva velké ledovce se zde nachází téměř 30 malých ledovců. Existence ledovců v této oblasti je předmětem zájmu ještě z jiného důvodu. Tavné ledovcové vody z této oblasti jsou jednou z hlavních zdrojnic vod v důležité zemědělské oblasti Columbia Basin. Spolunapájají zde tamnější přehradu a také pomáhají uchovat významné, nížeji položené mokřadní habitaty.

Zalednění Rocky Mts.

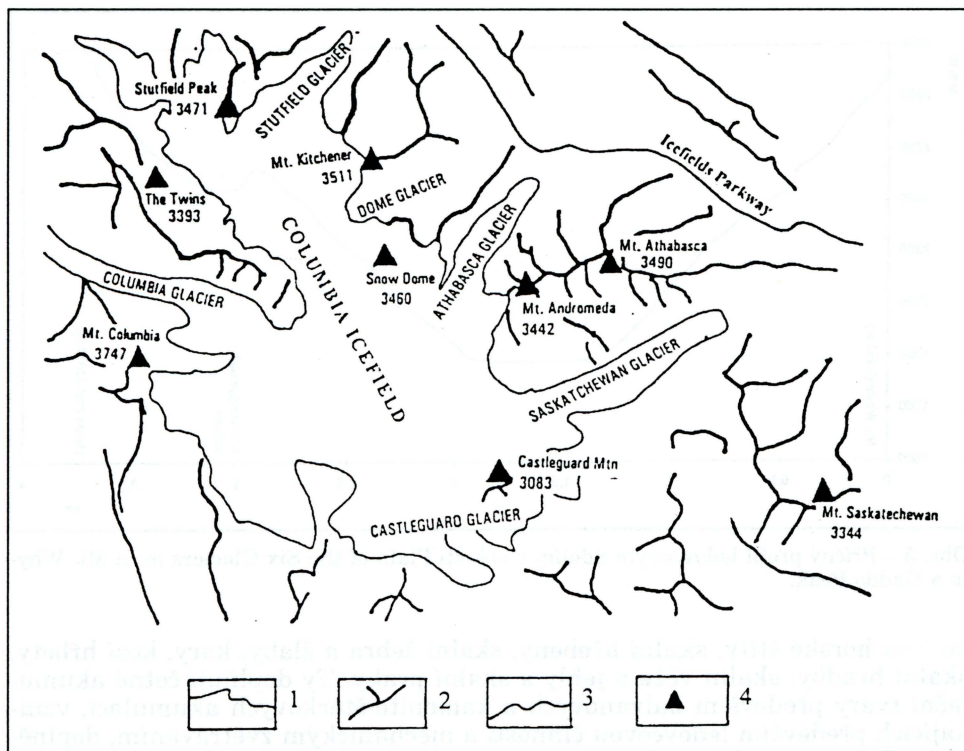
Rocky Mts. jsou nejvýchodněji položenou částí kanadských Kordiller a jejich vrcholy dosahují čtyřtisícových výšek. Na východní straně přecházejí do Great Plain na území Alerty a na západní straně je odděluje Rocky Mts. Trench od Columbia Mts. Nadmořská výška sněžné čáry se pohybuje mezi 2 000 m v jižní části Rocky Mts. až po cca 2 500 metrů v severní části. Ve vysokohorském reliéfu opět převládají horské štíty s výraznou glaciální modelací a příkrými svahy, horské hřbety typu ârete a skalní zdi. Četná jsou kamenná moře a proudy, skalní ledovce a tvary glaci-fluviálního reliéfu.

Pro horské zalednění Rocky Mts. je typický trvalý ústup ledovců ležících na východní straně pohoří (Reid 1973), zatímco na jeho západní straně ledovce stagnují. Pohyby ledovců studovali také Heisser (1956), Gardner (1972), či nedávno Fulton (1991) a Fishpool (1996). V této práci se zaměřuji především na zalednění v centrální části kanadských Rocky Mts., na území národních parků Banff, Jasper, Yoho a Kootenay. Hlavním ledovcovým údolím této části pohoří je údolí řeky Bow River orientované ve směru SSZ – JJV. Ledovcové toky ústící do Bow River překonávají na vzdálenost několika kilometrů značný výškový rozdíl a mají bystrinný charakter s početnými vodopády.

Columbia Icefield

Stálý ústup ledovců v Rocky Mts. je nejvíce patrný na největším a nejsnadněji přístupném ledovci v oblasti – Columbia Icefield v Jasper National Park. Ledovcový štít Columbia Icefield má rozlohu 325 km² a dosahuje mocnosti až 350 m. Ústup tohoto ledovce je od konce minulého století poměrně dobře dokumentován. Podobně jako u ledovců v oblasti Columbia Mts., i zde došlo ke zrychlení jeho ústupu v padesátých letech tohoto století.

Columbia Icefield leží na kontinentálním rozvodí a tavné vody ledovce odtékají z oblasti Snow Dome čtyřmi říčními systémy do tří oceánů – Tichého na západě, na východ přes Hudsonův záliv do Atlantského oceánu a na sever do Severního ledového oceánu. Tyto říční systémy jsou Columbia, Fraser, Mackenzie a Saskatchewan. Existenci a mohutnost Columbia Icefield umožňují tři faktory. V první řadě je to nadmořská výška, protože každý z devíti štítů, které ho obklopují, přesahuje nadmořskou výšku 3 000 m (obr. 4). Dalším faktorem je příznivé klima pro vznik sněhu a ledu, dané především trvale nízkou průměrnou teplotou vzduchu a relativně vysokými srážkami (1 000 mm za



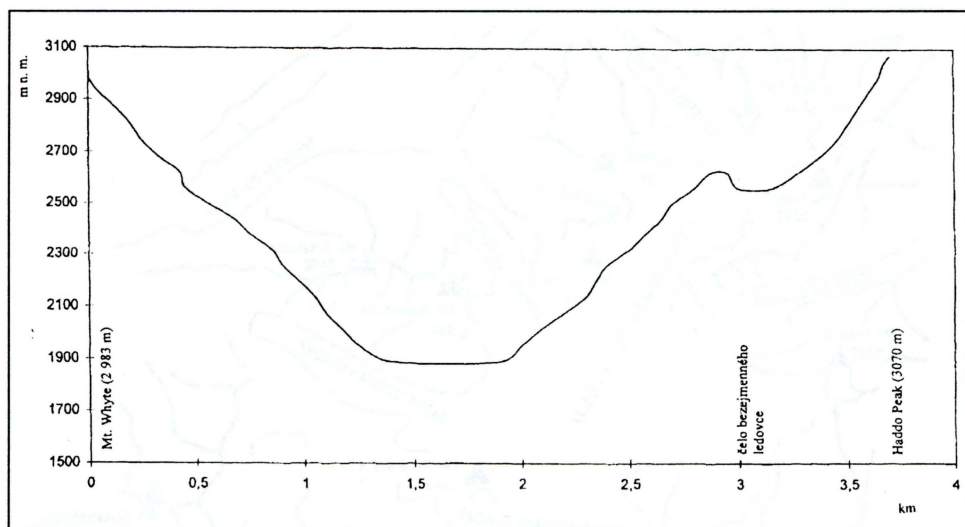
Obr. 4 – Skica oblasti Columbia Icefield. 1 – ledovec, 2 – horské hřbety, 3 – transkanadská dálnice, 4 – horské štíty (nadmořské výšky v metrech).

rok). Každou zimu napadne v oblasti akumulace ledovcového štítu Columbia Icefield kolem 10 m sněhu.

Z Columbia Icefield vybíhá šest splazů (obr. 4): na západě je to Columbia Glacier, na jihu Castleguard Glacier a na východě leží od severu Stutfield Glacier, Dome Glacier, Athabasca Glacier a Saskatchewan Glacier. U Athabasca Glacier, který je nejlépe dostupný, jsou výrazně vyvinuty především recentní pravá boční moréna, terminální moréna, ústupové morény a spodní morény s výraznými akumulacemi tillu. Před čelem tohoto ledovce vytvářejí řadu koncentricky uložených vyvýšenin – drumlinů. V předpolí Athabasca Glacier se nacházejí dvě ledovcová jezera. Jedno leží téměř u současné Icefield Parkway a druhé jezero vzniklo na levé straně ledovce, a to asi 900 m od jeho současného okraje. V roce 1898 byl Athabasca Glacier 7 km dlouhý a dosahoval až k místu současné Icefield Parkway (asi 1850 m n.m.), na úroveň Informačního centra pro návštěvníky. Za posledních 99 let ustoupil Athabasca Glacier téměř o 2 000 m.

Ledovce v oblasti Plain of the Six Glaciers

Vysokohorský reliéf v oblasti Plain of the Six Glaciers nese všechny znaky alpinského typu. Mezi typické tvary reliéfu zde patří řada skalních tvarů ja-

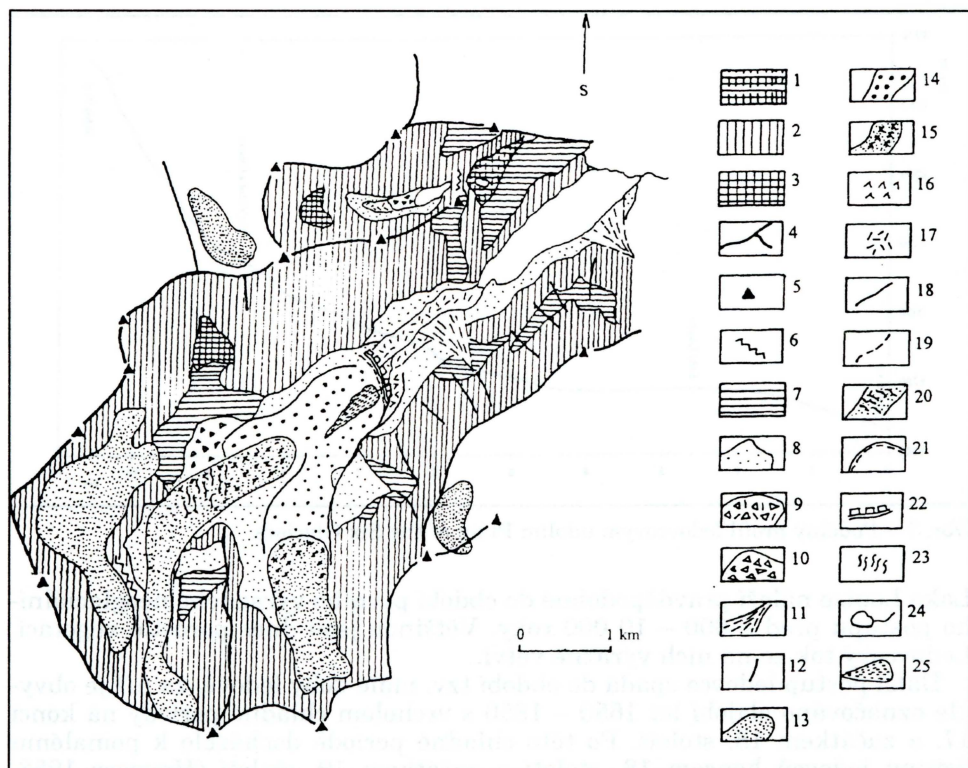


Obr. 5 – Příčný profil ledovcovým údolím v oblasti Plain of the Six Glaciers mezi Mt. Whyte a Haddo Peak.

ko jsou horské štíty, skalní hřebeny, skalní žebra a žlaby, kary, kozí hřbety, skalní hradby, skalní věže a jehly a skalní prahy. Ty doplňují četné akumulací tvary především balvanových a kamenito-štěrkových akumulací, vznikajících především ledovcovou činností a mechanickým zvětráváním, doplněnými fluvialními modelací. Kontinentální rozvodí probíhá v popisované oblasti v několika obloucích a tvoří je relativně úzké skalní hřebeny s výraznou glacienní modelací.

Ledovcové údolí Plain of the Six Glaciers si až po skalní stupeň na úrovni Lake Louise zachovává typický tvar trogů v podobě písmene U (obr. 5). Zejména jeho pravou stranu člení skalní žlaby na několik skalních žebor. Každý skalní žlab je zakončen suťovým kuzelem s gravitačně tříděným materiálem. Suťové kužely, které také tvoří pravý jezerní břeh Lake Louise, se na západní části břehu spojují do rozsáhlého souvislého pásma spojených suťových kuželů. Podobně je výrazně rozčleněna pravá stěna údolí, podél níž prochází Victoria Glacier. Tato stěna je po ohybu ledovce orientována téměř k jihu. I na ní se nacházejí četné úpatní suťové kužely, či suťové proudy, vznikající gravitačními svahovými pochody. Levou stěnu údolí o menším sklonu pokrývá ve spodní části až do nadmořské výšky 2 400 m vegetace. Nad ohybem ledovce je na této straně vyvinut výrazný mrazový sráz, překrytý suťovým polem s charakteristickými projevy současných mrazových a nivačních procesů, včetně kryoturbance.

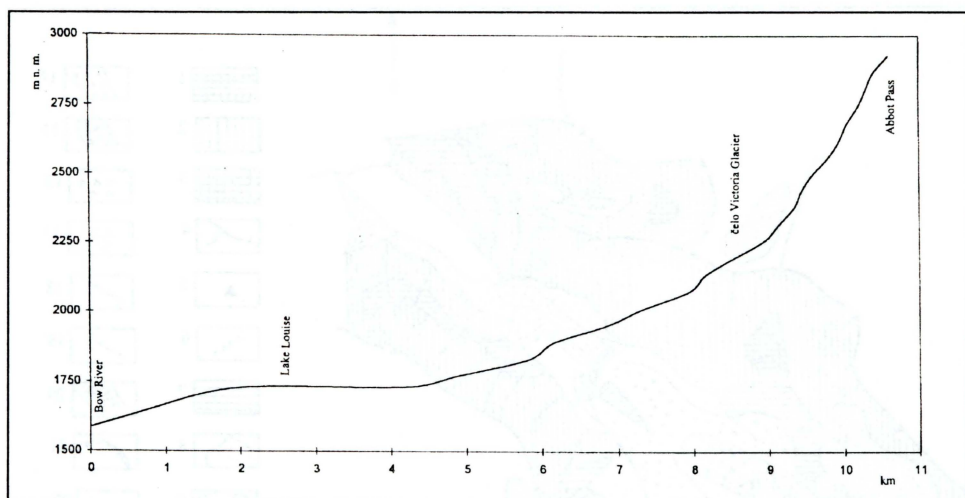
Typické údolní ledovce alpského typu představují ledovce Victoria Glacier a Lefroy Glacier ve Valley of the Six Glaciers v Národním parku Banff. Doplňují je údolní ledovce splazového typu, štítové ledovce a svahové ledovce. Vedle již zmíněných ledovců Victoria Glacier a Lefroy Glacier se zde nachází pět dalších ledovců (obr. 6). Fosilní i recentní glaciální tvary lze sledovat především u ledovců Victoria Glacier a Lefroy Glacier. Na jednom z posledních glaciálních stupňů, který tyto ledovce vytvořily, leží ve vzdálenosti asi 5 km od současného čela ledovce jedno z turisticky nejznámějších jezer ledovcového původu v oblasti – morénou hrazené Lake Louise (obr. 7). Toto jezero je na-



Obr. 6 – Geomorfolická skica oblasti údolí Plain of the Six Glaciers (původní měřítko 1:50 000). 1 – skalní svahy o sklonu do 25°, 2 – skalní svahy o sklonu vyšším než 25°, 3 – skalní plošiny, 4 – horské hřbety, 5 – horské štíty, 6 – tektonicky podmíněné skalní stupně, 7 – erozní denudační svahy, 8 – osypové tvary reliéfu, 9 – skalní ledovce, 10 – mrazové srázy, 11 – výrazné suťové kužele, 12 – skalní žlaby, 13 – ledovce, 14 – recentní morény a tillové akumulace (19. století), 15 – výrazně vyvinuté současné svrchní morény, 16 – morény a tillové akumulace z chladné periody malé doby ledové, 17 – morény a tillové akumulace z období před 8 000 – 10 000 lety, 18 – v terénu výrazně vyvinuté boční morény, 19 – náporové morény, 20 – výrazné ledovcové trhliny, 21 – obrysy karu, 22 – ledovcový stupeň, 23 – striace, 24 – ledovcová jezera a vodní toky, 25 – náplavové plošiny.

pájeno tavnými ledovcovými vodami především z Victoria Glacier. Ledovcové vody unášejí na krátkou vzdálenost od zdrojové oblasti velké množství materiálu, který postupně sedimentuje na dně jezera. Victoria Glacier se rozkládá na východní straně kontinentálního rozvodí od oblasti Abbot Passu (3 150 m n. m.) až k současné terminální moréně v oblouku kopírujícím průběh kontinentálního rozvodí. Akumulace dnešní terminální morény přecházejí ve starších nánosech tillu do rozlehlé glacifluviální náplavové plošiny (sandru), ležící v nadmořské výšce 1 830 m. Celková délka ledovce je přibližně 5 km (obr. 6). V současné době oba popsané ledovce výrazně ustupují. Porovnáním vlastních videozáznamů pořízených v roce 1995 (září) a v roce 1997 (srpen) usuzují na rychlost ústupu asi 20 m/rok.

Nejstarší úroveň morénových akumulací navazuje na jezero a rozkládá se v délce asi 1 200 m v nadmořské výšce od 1 731 m (úroveň hladiny jezera) do nadmořské výšky přibližně 1 760 m. Zde je ukončena výrazným glaciálním stupněm a akumulacemi mladší náporové morény. Morénové akumulace za



Obr. 7 – Podélný profil ledovcovým údolím Plain of the Six Glaciers.

Lake Louise náleží pravděpodobně do období prvního výrazného neoglaciálního postupu před 8 000 – 10 000 roky. Většinou jsou dnes porostlé vegetací. Ledovcový tok se na nich výrazně větví.

Další postup ledovce spadá do období tzv. malé doby ledové, za níž je obvykle označováno období let 1650 – 1850 s vrcholem chladné periody na konci 17. a začátkem 18. století. Po této chladné periodě docházelo k pomalému ústupu ledovců koncem 18. století a začátkem 19. století (Heuseer 1956, Gardner 1972, Reid 1973). Tehdy ledovec postoupil asi o 2 100 m oproti svojí současné úrovni. Vytvořil přitom na zmíněném glaciálním stupni náporovou morénu. Současně došlo k opětovnému spojení Victoria Glacier a Lefroy Glacier. K podobnému spojení obou ledovců došlo při posledním postupu, datovaném do druhé poloviny 19. století. Ledovec přitom postoupil na téměř identickou úroveň jako na vrcholu malé doby ledové, o čemž svědčí dvě téměř koncentricky uložené a velmi blízké náporové morény. Spojením ledovců vznikly nejen výrazné boční morény, ale také moréna střední. Levá boční moréna je dlouhá asi 2 000 m. Patří k břehovému typu bočních morén a její dnešní poloha 40 až 70 m nad úrovní tělesa ledovce svědčí o značném úbytku jeho moci. Pravá boční moréna není u ledovce Victoria Glacier téměř vyvinuta. Pouze v místech těsně nad kontaktem s boční morénou ledovce Lefroy Glacier je v terénu patrná. Splnutím s levou boční morénou Lefroy Glacier vznikla krátká, částečně zachovaná střední moréna. Velmi výrazná je naopak pravá boční moréna Lefroy Glacier. Začíná přibližně od současného čela ledovce a táhne se v oblouku až k ledovcovému stupni nad Lake Louise (obr. 6). V roce 1997 byla překryta v některých místech suťovými kužely více než v roce 1995. V pravé části se nachází nad náporovou morénou. Tuto náporovou morénu v její pravé části přemodelovává a snižuje ledovcový tok. Náplavová plošina je dlouhá asi 600 – 700 m a pokrývá ji jemný, vytríděný materiál, výrazně odlišný od netříděných, hrubých tillových akumulací v okolí. Nalevo od náplavové plošiny vznikly eskery a nad ní pokračují nánosy základní morény s drumliny a s lokalitami mrtvého ledu.

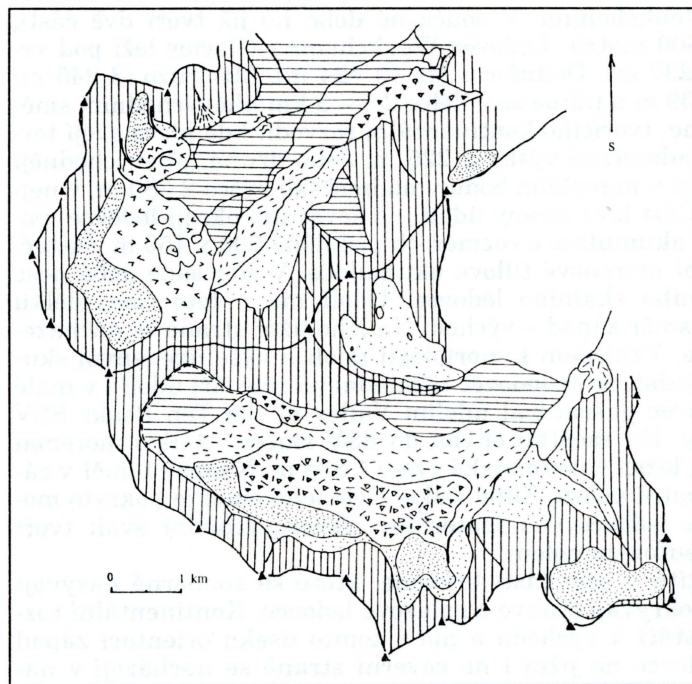
Třetí velký ledovec v této oblasti leží pod vrcholy Mt. Victoria (3 464 m) a Mt. Collier (3 125 m). Typově patří mezi ledovce štítové. Zalednění existuje

na západní i východní straně rozvodí a ledovcová činnost působila na masív z obou stran. Pozůstatky kdysi rozsáhlého ledovce, nacházejícího se na západ od kontinentálního rozvodí, představují čtyři menší ledovce. Další ledovec na východní straně leží v oblouku nad Victoria Glacier, od kterého je oddělen asi 350 – 400 m vysokou skalní stěnou se sklonem 51° , pravděpodobně glacitektonického původu. V nejvyšším bodě ledovec dosahuje nadmořskou výšku 2 865 m, v nejnižším 2 500 m. Pokrývá příkře ukloněnou plošinu širokou přibližně 1 500 m a spadající pod úhlem cca $19,5^\circ$ k východu. Vzhledem ke své poloze nemá vyvinuty žádné glaciální akumuláční tvary.

Osypané akumuláční tvary reliéfu jsou v tomto údolí velice výrazně vyvinuty. Levou nejhořejší část údolí (nad Tea House) pokrývá rozsáhlé suťové pole spadající až k ledovci. Pod Tea House (2 100 m n.m.) se nacházejí na tomto údolním svahu méně vyvinuté suťové kužele a suťové proudy. Nejvýraznější jsou recentní a holocenní suťové kužele na pravém údolním svahu. Na pravém břehu Lake Louise splývají v spojené suťové kužele. Místy jsou i vyvinuty osypy (obr. 6).

Ledovce v oblasti Paradise Valley

Paradise Valley leží na východ od kontinentálního rozvodí a jeho osa má orientaci SV – JZ. Protéká jím bystrina Paradise Creek, jež je napájena tavnými vodami z Horseshoe Glacier. Horseshoe Glacier je největším ledovcem v této oblasti, má podkovovitý tvar, severojižní orientaci a leží na východ od kontinen-



tálního rozvodí v nadmořské výšce 2 500 až 2 300 m. Jde o úpatní typ ledovce v závěru údolí. Štíty nad ním jsou součástí skalního hřebene kontinentálního rozvodí a zvedají se do nadmořských výšek nad 3 000 m: Wankchemna Peak 3 173 m a Hungabee Mountain 3 493 m na jižním konci, ve středu oblouku ležící Ringrose Peak 3 281 m a Glacier Peak 3 283 m na severu. Jižní svah údolí lemuje četné další erozní tvary velehorského reliéfu, k nimž patří především skalní jehly, vyvinuté v oblasti Pinacle Mountain (obr. 8).

Obr. 8 – Geomorfolgická skica oblasti Wankchemna Peaks a Paradise Valley (původní měřítko 1:50 000). Vysvětlivky 1 – 25 viz obr. 6.

Na mírně ukloněné plošině, široké 2 500 metrů, se rozkládají před čelem ledovce morénové akumulace netříděného materiálu, a to v mocnostech nejméně 30 m. Na tomto stupni vznikla i čtyři menší ledovcová jezera. Páté jezero se nachází pod malým ledovcem asi 500 m SSV pod vrcholy Mt. Lefroy (3 423 m) a pod jižní stranou The Mitre (2 998 m). Poloha morén nasvědčuje tomu, že ledovce byly spojeny nejen na začátku holocénu, ale zřejmě také v malé době ledové. U menšího z ledovců jsou pozoruhodně vyvinuty boční morény, které bezprostředně nasedají na skalní masiv. Na tuto část jezerní plošiny navazuje rozsáhlá plošina pokračující až k Giant Step. Tento tvar reliéfu tvoří několik stupňů, vzniklých na tektonických poruchách, zhruba kolmých na osu údolí. V této části je na několika místech odhaleno ledovcem obroušené skalní podloží s patrnými striacemi. Největší část plošiny však pokrývají v současné době alpské louky.

V nadmořské výšce 1 965 m leží na pravé straně údolí ve vzdálenosti přibližně 5 500 m od současného čela ledovce Lake Annette. Toto ledovcové jezero je hrazené morénou. Na relativně úzké plošině nad jižním břehem jezera jsou zachovány výrazné boční morény. Na jihozápadních svazích nad jezerem se nachází mohutná balvanitá akumulace, která vznikla rozsáhlým sesuvem svahu Mt. Temple (3 543 m).

Ledovce v oblasti Valley of Ten Peaks a Wenkchemna Peaks

V údolí Valley of Ten Peaks a Wenkchemna Peaks (obr. 8) se nachází desítka čapkových a splazových ledovců. Přechodný typ k úpatnímu ledovci představuje ledovec Wenkchemna. V současné době ho již tvoří dvě části, vzdálené od sebe asi 500 metrů. Ledovec Wenkchemna Glacier leží pod vrcholy Neptuak Mt. (3 237 m), Deltaform Mt. (3 424 m), Mt. Tuzo (3 245 m) v nadmořské výšce 2 439 m a táhne se v délce 2,5 – 3 km jihovýchodním směrem až po úpatí hřebene, tvořícího kontinentální rozvodí, kde klesá svojí terminální morénou do nadmořské výšky 2 225 m. Jeho druhá, jihovýchodněji položená část se nachází v nejvyšším bodu v nadmořské výšce 2 380 m, v nejnižším bodu 2 135 m. Část levé strany údolí (na severním okraji ledovce) pokrývá mohutná suťová akumulace o rozměrech přibližně 500 x 450 m, částečně překrývající původní morénové tillové akumulace. V současné době nese většinu znaků recentního skalního ledovce. Údolí má v této části délku 5 000 m a dominantní směr západ – východ. Na jeho jižní straně se nacházejí morénové akumulace. Vzhledem k morfologii údolí a výše uvedeným skutečnostem lze předpokládat, že se ledovec rozkládal po celé šíři údolí i v malé době ledové. Dále ledovec pokračoval údolím Valley of the Ten Peaks SSV směrem do Bow Valley. Na začátku ohybu do SSV směru vzniklo morénou hrazené Moraine Lake, ležící v nadmořské výšce 1 885 m. Naopak téměř v závěru údolí vzniklo v úpatní poloze Eiffel Lake. Celé jeho okolí je pokryto mohutnými akumulacemi ledovcového materiálu. Severovýchodní svah tvoří mrazový sráz pokrytý suťovým polem.

Většinu horských štítů v této části hřebene, které se souborně nazývají Wenkchemna Peaks, pokrývají štítové a splazové ledovce. Kontinentální rozvodí se zde postupně stáčí k východu a má v tomto úseku orientaci západ – východ. Všechny ledovce na jižní i na severní straně se nacházejí v nadmořské výšce převyšující 2 600 m, což je průměrná výška, kde končí jejich čela.

V celé oblasti Rocky Mts. probíhají rozsáhlé svahové pohyby a skalní říční. Vysoká četnost těchto jevů je umožněna stávajícími klimatickými podmínkami – srážkami a nízkou teplotou, při nichž dochází ke kongelifrakci, ovlivňující výrazně stabilitu masivů. Průměrný roční úhrn srážek má v Rocky Mts. hodnotu 800 mm a průměrná roční teplota se pohybuje na úrovni 2 – 5 °C (Banf: průměrná roční teplota 2,9 °C, roční úhrn srážek 468 mm; Jasper: 3,1 °C, 393,7 mm). Výsledkem těchto recentních procesů je vznik různých akumulčních tvarů reliéfu. V případě, že k těmto procesům dochází nad tělesem ledovce, podílí se jimi uvolněný materiál na vzniku svrchních morén, případně vyplňuje ledovcové trhliny.

Nejrozšířenější formou jsou osypové akumulční tvary reliéfu, pokrývající svahy do sklonu až 42°. Materiál v nich bývá gravitačně tříděn při stálém, převážně pomalém gravitačním přemísťování po svahu dolů. Skalní ledovce představují další formu akumulčních svahových povrchových tvarů reliéfu. Podle Slaymakera (1977) vznikají dvěma způsoby: a) z normálního ledovce, na kterém začínou skalní fragmenty výraznou měrou převažovat nad intersticiálním ledem; b) pohybem osypů nebo morénového materiálu, které současně akumulovaly dostatečné množství vnitřní vlhkosti k umožnění pohybu a ke vzniku vnitřního ledu. Znaky recentního skalního ledovce má popisovaná povrchová akumulace v údolí Valley of the Ten Peaks.

Skalní říčení má podle Slaymakera (1977) také dva způsoby vzniku: a) při prvním dochází k pomalé a hluboké dezintegraci skalních svahů mrazovým zvětřováním; b) při druhém k říčení vysokých skalních útesů. Obě formy se vyskytují opět poměrně často, ovšem obvykle v malém měřítku. Dalšími svahovými pohyby jsou laviny a ledopády. Na skalních římsách skalních svahů zůstávají zachovány malé zbytky ledových těles, na nichž dochází k další akumulaci sněhu. Především v letním v období, kdy dochází k odtávání, se narušuje jejich stabilita a dochází k utržení visuté části ledovce. To vyvolává dramatickou zvukovou kulisu a dochází k přemísťování materiálu k úpatí svahu. Na pomalém přemísťování svahových sedimentů se podílí také soliflukce.

Závěry

1. Rozšíření ledovců v oblasti Columbia Mts. a Rocky Mts. prodělalo od Wisconsiného glaciálu výrazné změny, které přispěly ke vzniku rozsáhlých ledovcových a fluviálních tvarů horského reliéfu. V horském reliéfu alpského typu převládají skalní strukturní a erozní ledovcovou činností ovlivněné povrchové tvary reliéfu (horské štíty, skalní jehly, árete, oblíky), ledovcové akumulční povrchové tvary reliéfu (morény, drumliny), povrchové tvary balvanitých a kamenito-šterkovitých akumulací (osypy), fosilní a recentní skalní ledovce, glacifluviální akumulční (náplavové kužele – sandry a eskery) a erozní tvary. Ledovcová údolí mají ve svých horních partiích v profilu tvar U, zatímco ve spodní části jsou již výrazně přemodelovány fluviálními a periglaciálními procesy.

2. Od počátku holocénu (před 10 000 lety) docházelo k výrazným fluktuacím v postupech a ústupech současných ledovců, které byly důsledkem klimatických změn. Podle rozšíření jednotlivých tvarů reliéfu lze usuzovat na fluktuace ledovců v případě východní strany Rocky Mts. v tomto sledu a rozsahu:

- hranici mladoholocenních morén z období před 8 000 – 10 000 lety lze vést na výškové úrovni asi 1 900 m; je vymezena morénami, které hradí ledovcová jezera jako jsou např. Lake Annette, Moraine Lake a v nižší poloze, ale s odlišnou orientací údolí Lake Louise; další postupy ledovců v hiolocénu datoval Porter (1976) do období před 4 000 – 5 200 lety, před 2 300 – 3 200 lety a před necelými 1 000 roky
- následoval ústup ledovců s tvorbou fosilních povrchových tvarů reliéfu
- postup ledovců na vrcholu chladné periody malé doby ledové koncem 17. a začátkem 18. století, s glaciálními akumulacemi v nadmořských výškách kolem 2 100 m
- ústup ledovců na konci 18. a začátkem 19. století, v závěru malé doby ledové
- postup ledovců v druhé polovině 19. století, často až na úroveň postupu malé doby ledové
- ústup ledovců od konce 19. století, obvykle zrychlený v polovině 20. století (rychlost ústupu činila v tomto období 20 m/rok, ovšem s tím, že tento ústup neprobíhal pravidelně)
- protikladné pohyby ledovců v současnosti, kdy ledovce obecně spíše ustupují, přimčez rychlost ústupu se zpomalila, nebo stagnují a v některých případech dokonce postupují.

3. Časové disproporce v postupech a ústupech ledovců v jednotlivých pohorí naznačují úzkou vazbu na specifické podmínky daného regionu. Typickým příkladem jsou časově rozdílné recentní oscilace ledovců v Columbia Mts. v porovnání s Rocky Mts.

4. Přesné časové určení změn oscilací ledovců v kanadských velehorách ztěžuje nedostatek radiometrických dat.

Literatura:

- ALLEY, N. F. (1976): Pleistocene glaciations in the interior of British Columbia. In: *Geomorphology of the Canadian Cordillera*. s. 6-7.
- FISHPOOL, I. (1996): Glaciation and Deglaciation the Columbia Icefield and Athabasca Glacier. *Geography Review*, 9, č. 3, s. 11-15.
- FULTON, R. J. (1991): A conceptual model for growth and decay of the Cordilleran Ice Sheet. *Géographie Physique et Quaternaire*, 45, č. 3, s. 181-186.
- FULTON, R. J., ed. (1989): Quaternary geology of Canada and Greenland. *Geological Survey of Canada*, 242 s.
- GARDNER, J. (1972): Recent glacial activity and some associated landforms in the Canadian Mountains. In: *Mountain Geomorphology*, s. 55-62.
- CHRISTOPHERSON, R. W. (1994): *Geosystems: An Introduction to Physical Geography*. MacMillan, New Jersey, USA (2nd edition).
- KRUEGER, R., CORDER, R., KOEGLER, J. (1991): *This Land of Ours. A new Geography of Canada*. HBJ, Canada.
- REID, I. A. (1973): Glacier Surveys by the Water Survey of Canada. In: *The Role of Snow and Ice in Hydrology*, s. 1133-1143.
- RYDER, J MAYNARD, D. (1991): The Cordilleran Ice Sheet in northern British Columbia. *Géographie Physique et Quaternaire*, 45, č. 3, s. 355-363.
- SLAYMAKER, O. H. (1972): Physiography and hydrology of Six River Basin. In: *Studies in Canadian Geography*, Toronto, s. 32-68.
- SLAYMAKER, O., MCPHERSON, J. (1977): An overview of geomorphic processes in the Canadian Cordillera. *Z. Geomorph. N.F.* 21, č. 2, s. 169-186.
- TRANHAILE, A. S. (1990): *The Geomorphology of Canada*. Oxford University Press, Toronto.
- Nepublikované materiály a ústní sdělení pracovníků Park Service Canada.

GLACIATION IN COLUMBIA MOUNTAINS AND ROCKY MOUNTAINS IN CANADA

The areal extent of glaciers in Canadian Rocky Mountains and Columbia Mountains has much changed since the Wisconsin glaciation. Thanks to these changes large glacial and fluvial morphological forms in mountainous landscape came to existence. The local morphology is of alpine type; among the prevailing morphological forms are rocky structural forms, surface forms influenced by glacial erosion, glacial accumulation forms, boulders, stones and gravel, old and recent rocky glaciers, fluvioglacial accumulation and erosive forms (Figures 6, 8).

Chronology of ice advances and retreats in Rocky Mountains has been compiled. It is based on field examination of different morphological forms and field mapping in selected regions. Marked ice advances and retreats, influenced by climatic changes, happened repeatedly since early Holocene. However, ice movements in different mountain ranges were unequal depending on local conditions (microclimate, location, orientation etc.). Typical examples of different ice movements have been observed in Columbia Mountains and Rocky Mountains.

- Fig. 1 – Main centres of glacial expansion during the Wisconsin glaciation (modified according to R. Krueger 1991). 1 – continental limits, 2 – maximal extent of continental glacier, 3 – directions of ice advance, 4 – ice-free regions, 5 – lakes (current state).
- Fig. 2 – Simplified cross-section of Western Canada with different mountain ranges and valleys. Modified according to R. Krueger (1991). 1 – continental limits, 2 – state boundaries, 3 – provincial boundaries, 4 – simplified shapes of different valleys separating mountain ranges, 5 – ocean.
- Fig. 3 – Schematized map of the Illecillewaet Glacier area. 1 – glaciers, 2 – upper limit of alpine landscape, 3 – mountain peaks (altitudes in metres), 4 – rivers and creeks, 5 – Trans-Canadian Highway.
- Fig. 4 – Schematized map of the Columbia Icefield area. 1 – glaciers, 2 – mountain ranges, 3 – Trans-Canadian Highway, 4 – mountain peaks (altitudes in metres).
- Fig. 5 – Transversal cross-profile of a glacial valley in the Plain of the Six Glaciers region between Mount Whyte and Haddo Peak.
- Fig. 6 – Schematized geomorphological map of the Plain of the Six Glaciers Valley (original scale 1:50,000). 1 – rocky slopes (not steeper than 25°), 2 – rocky slopes (steeper than 25°), 3 – rocky plateaus, 4 – mountain ranges, 5 – mountain peaks, 6 – fault rock steps, 7 – erosional denudational slopes, 8 – talus morphological forms, 9 – rocky glaciers, 10 – frost-riven scarps, 11 – marked talus cones, 12 – rock grooves, 13 – glaciers, 14 – recent moraines and accumulated till (19th century), 15 – marked current upper moraines, 16 – moraines and accumulated till from the cold period of the Little Ice Age, 17 – moraines and accumulated till from 8,000 – 10,000 years ago, 18 – marked side moraines, 19 – push moraines, 20 – marked crevasses, 21 – cirque lines, 22 – glacier steps, 23 – striation, 24 – glacial lakes and streams, 25 – outwash plains.
- Fig. 7 – Lengthwise cross-section of the Plain of the Six Glaciers glacial valley.
- Fig. 8 – Schematized geomorphological map of the Wankchemna Peaks and Paradise Valley regions (original scale 1:50,000). For explanations see 1 – 25 in Figure 6.

(Pracoviště autora: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2.)

Do redakce došlo 9. 2. 1998

Lektorovali Jan Kalvoda a Václav Příbyl