

JAN KALVODA

GEOMORFOLOGICKÉ PROJEVY OROGENEZE HIMÁLAJE A KARÁKÓRAMU

J. Kalvoda: *Geomorphological Evidence for Orogeny in the Himalayas and the Karakoram*. - Sborník ČGS, 99, 1, pp. 20-28 (1994). The report on synthetic results of geomorphological research in the Himalayas and the Karakoram is presented. Relief building of these mountain ranges during the course of collision orogeny in the Late Cenozoic, as well as active geodynamic features of their landform patterns are described. The relative chronology of essential paleogeographical events in this region of High Asia is provided.

KEY WORDS: morphotectonics - orogeny - high-mountains geomorphology.

1. Úvod

Výzkum historie vzniku pohoří Vysoké Asie je motivován snahou přispět k poznání geologických procesů, fyzikálních vlastností a chování přivrchových částí horninového masivu v orogeneticky aktivních zónách zemské kůry. Pozorování geodynamických jevů a procesů v asijských velehorách, úvahy o jejich podstatě a paleogeografickém kontextu umožňují získat nové poznatky o vývoji velkolepé architektury masivů alpsko-himálajské soustavy. V této práci jsou shrnuty hlavní výsledky syntézy geomorfologických výzkumů v Himálaji a Karákóramu. Rozbor terénních pozorování, údajů v dosud publikovaných studiích a jejich morfotektonická interpretace jsou podrobně uvedeny v monografické práci J. Kalvody (1992).

2. Vývoj reliéfu v mladším kenozoiku

Geomorfologický záznam orogeneze Himálaje a Karákóramu je svědectvím vývoje jejich reliéfu v průběhu vrcholné kolize kontinentálních desek. Tato horská pásma měla totiž ještě před milionem let zcela jinou podobu a typy reliéfu než v současnosti. V subdukční etapě orogeneze, při níž se severní okraj Indické desky podsunoval pod Asijskou desku, probíhala denudace jejich povrchu a transport zvětralinového materiálu do mělkých mořských bazénů. Postupný přechod těchto dějů do etapy kolizní orogeneze se pak nejpозději od oligocénu (P. Le Fort 1975, P. Molnar, P. Tapponier 1977) projevil uzavřením těchto sedimentačních pánví a vytvořením prvotního suchozemského reliéfu v celé oblasti kolizního styku pevninských desek.

V neogénu probíhaly paleogeografické změny okrajových částí konvergujících desek Indie a Asie zejména vznikem příkrovové stavby a tedy i podstatným zmenšením plochy paleoreliéfu a dále pak vytvářením rozsáhlých elevací, jejich intenzivní erozí a denudací. V miocénu též vznikala hlubinná granitoidní tělesa a protáhlé hřbety (P. Molnar 1986, S. V. Srikantia 1987) kordilérového typu, v pliocénu již poměrně členitý středohorský reliéf, doprovázený sedimentací molas v předpolí vyvíjejících se horských pásem. V kvartérní etapě orogeneze vyvrcholila dosavadní historie kolize Indické a Asijské desky postupným vývojem členitého vysokohorského reliéfu. Teprve tehdy nastal čas vzniku

himálajských pohoří jak je dnes známe (obr. 1), a to převážně v kompresním režimu vrcholné kolize těchto pevninských desek. Při tom stále probíhala poměrně rychlá destrukce reliéfu Himálaje a Karákóramu v postupně se měnících klimatických podmínkách.

V nejstarším pleistocénu (1,7 až 0,7 milionu let) se uplatňovala tektonická eroze při pohybech příkrovů, pokračovala denudace středohorského reliéfu a převážně říční transport zvětralých hmot do jižní himálajské předhlubně, mezihorských kotlin a na severu též do vnitrokontinentálních pánví v prostoru dnešní Tibetské vysočiny (M. Fort et al. 1982, B. Delcailleu 1986). Koncem pliocénu a v nejstarším pleistocénu se členitý suchozemský reliéf rozsáhlé kolizní zóny Indické a Asijské desky vyvíjel ve velmi teplém, vlhkém a v některých územích též poměrně suchém podnebí. Přestože existují důkazy o pokračující orogenezi v této době (např. v Síváliku a v Solném pohoří), další výrazné zdvihy a aktivita zlomů či přesunů dominovaly až ve starém pleistocénu. Na tehdy nejvyšších hřbetech Himálaje a Karákóramu vznikalo zalednění a prvotní reliéf alpského typu (J. Kalvoda 1982, G. Mascle et al. 1990). Existence souvislého zalednění těchto horských pásem ve starém pleistocénu (tj. před 700 000 až 400 000 lety) je dosud sporná, zatímco v severnější ležícím Pamíru a Tan-šanu byly již geomorfologické projevy zalednění prokázány.

Geomorfologický záznam orogeneze Himálaje a Karákóramu ukazuje, že teprve od středního pleistocénu (v době před 400 000 až 120 000 lety) se vyvíjely horské masivy srovnatelné výškami a členitostí s jejich dnešní podobou. Tomu odpovídaly i změny kvality a vertikální zonality klimaticky podmíněných procesů modelace pohoří, (M. Fort 1979, M. Kuhle 1986 a další), včetně vzniku velmi rozsáhlého horského zalednění. Naznačený trend pravděpodobně vyvrcholil v mladém pleistocénu, a to jak v postupně se měnícím režimu tektonické aktivity, tak v závislosti na globálních a regionálních změnách podnebí. Pro dynamiku reliéftvorných procesů byla též podstatná poloha dílčích morfostrukturních celků (např. hluboce erodovaných reliéfových příkrovů nebo mezihorských kotlin) v kolizní zóně Indické a Asijské pevninské desky. Aktivita přesunů reliéftvorných příkrovů a různorodé zdvihy bloků horských masívů (v impulzním režimu a s rychlostí řádu $\text{cm} \cdot \text{rok}^{-1}$) pak kulminovaly v mladší části středního pleistocénu a v mladém pleistocénu.

Ve starší části středního pleistocénu proběhlo zvrásnění himálajských molas na jihu, přesunupí podél tzv. Hlavního hraničního zlomu a vznikly nejmladší reliéfové příkrovy ve Vysokém Himálaji (J. Jaroš, J. Kalvoda 1978a, b). Výstavba reliéfu byla řízena velmi silným zdvihem horských pásem Himálaje a Karákóramu jako celku a šikmými pohyby příkrovů podél násunových ploch. Dále se vyvíjely členité horské reliéfy modelačními procesy exogenního původu. V Himálaji proběhlo ve středním pleistocénu 2. stadium zalednění a v Karákóramu stadium zalednění Šanoz (Tab. 1). V mladší části středního pleistocénu se po ústupu zalednění uplatnila mohutná hloubková eroze, která zasáhla jak povrchové části horninových masívů, tak sedimenty říčního, jezerního a ledovcového původu v údolích a mezihorských kotlinách. V západním Karákóramu je prokázáno další stadium zalednění Yanz, zatímco morfologicky velmi výrazné stadium Hunza proběhlo až ve starší části mladého pleistocénu (srv. J. Kalvoda 1990), kdy bylo uspořádání říční sítě již velmi podobné dnešnímu.

V mladém pleistocénu, tedy před 120 000 až 10 000 lety, vyvrcholila morfofotektonická aktivita v centrální části Himálaje, včetně vývoje strukturně denudačních svahů podél čelních partií reliéfových příkrovů a nejstarších zachovaných povrchových tvarů členité pahorkatiny Síváliku (J. Nakata 1972, B. Delcailleu 1986). V celém prostoru himálajské větve pohoří Vysoké Asie pak bylo dovršeno extrémní rozčlenění horských pásem, proběhla hlavní období vývoje alpského typu reliéfu a dvě stadia výrazných postupů ledovců. Koncem mladého pleistocénu nastal rozsáhlý ústup zalednění a zvýšila se tak i erozní činnost řek.

V holocénu již Himálaj a Karákóram dosáhly dnešních výšek a podoby (obr. 1 a 2). V současné etapě vývoje těchto pohoří pozorujeme geomorfologické projevy pokraču-

Tab. 1 - Korelace stadií zalednění Himálaje a Karákóramu v kvartéru (zjednodušeno podle Kalvody 1992)

Geologické stáří (1000 let) a stratigrafická klasifikace	Pevninské zalednění			Horské zalednění		
	severní Evropa	západní Sibiř	severní Čína	Karákóram	Tibetský Himaláj	Nepálský Himaláj
— 0 —	—	—	—	recentní	recentní	recentní
Mladší holocén	—	—	—	Pasu II Pasu I		Khumbu (mladší Dhaulagiri)
— 6 —						
Starší holocén	—	—	—	Ghalkin II		Changri (Sirkung)
— 10 —						
Mladý pleistocén	viselské	zarjanské	Dali	Ghalkin I	Baiyu (Rongbuk)	Dusa (Tengpočhe)
— 100 —				Hunza	Guxiang	
Střední pleistocén	sálské	tazovské	Lushan	Yanz		Ghat
— 400 —		samarovské		Shanoz	Jilung	
Starý pleistocén	elsterské	Shaitan	Dagu	lokální	Nayalam	Lughla (?)
— 700 —	menapinské		Poyang	nejvyšších hřbetů	Xixabangma	

jících zdvihů (M. Fort 1979, J. Kalvoda 1982, L. Seeber, V. Gornitz 1983), pohybů na zlomech (J. Nakata 1972, L. A. Owen 1989 a další), pomalých subhorizontálních přesunů příkrovů, v některých oblastech i silnou seismickou činností a geotermální aktivitou, včetně výskytu horkých pramenů. Nápadná je intenzivní říční eroze, častá skalní řízení a další náhlé pohyby svahových nebo ledových hmot.

3. Morfotektonická specifika

V neogénu probíhaly paleogeografické změny v širší zóně kolizního styku Indické a Asijské desky zejména utvářením příkrovové stavby a tedy i podstatnou tektonickou redukcí terestrického reliéfu, vznikem rozsáhlých elevací, jejich intenzivní erozí a denudací. V kvartérní etapě orogeneze pak pokračovala výstavba horských systémů Himálaje a Karákóramu převážně v kompresním režimu vrcholné kolize, přičemž vývoj extrémně vysokých masivů (obr. 1 a 2), doprovázený destrukcí jejich povrchu v různých klimato-morfogenetických podmínkách, byl často spjat se začleněním reliktního pliocenního reliéfu do nové morfotektonické pozice. Geomorfologické projevy recentních pohybů zemského povrchu tektonického původu a s nimi spojená vysoká intenzita klimatomorfogenetických procesů svědčí o tom, že orogeneze himálajské větve pohoří Vysoké Asie pokračuje

i v současné době. Nápadný je ovšem rozdíl mezi morfotektonickými styly, které jsme dokumentovali v Nepálském Himálaji a v západním Karákóramu, způsobený především odlišným postavením těchto oblastí v alpsko-himálajském orogénu.

Příkrovová stavba Nepálského Himálaje, v níž jsme identifikovali reliéfové příkrovy (J. Jaroš, J. Kalvoda 1978a, b, J. Kalvoda 1984a) si zachovala v kvartéru podobu převážně mírně ukloněných přesunových ploch, morfologicky výrazných strukturálně a zlomově podmíněných svahů v čelních částech příkrovů, či v jinak architektonicky exponovaných částech pohoří. Na rozdíl od toho mezi masivem Nangá Parbatu (západní Himálaj) a horskými pásmy Karákóramu v horní části povodí řeky Hunza je vyvinut reliéf s projevy extrémního stlačení a zúžení připovrchové části zemské kůry v zóně pevninských desek. Typické jsou proto strmé úklony přesunových ploch příkrovů a hlavních zlomových pásem (J. Kalvoda 1984b, J. Kalvoda, N. F. Senkovskaja 1986, L. A. Owen 1989). Navíc jsou zde do vysokých poloh reliéfu pohoří tektonicky vyzdviženy nejen denudací odkryté krystalinické horniny, ale též formace s ofiolity. Tyto bazické horniny magmatického původu představují relikt oceánské kůry ve strukturálních jizvách (suturách) kolizního styku desek.

Popsaná situace svědčí o podstatně větším zkrácení plochy reliéfu (tj. šířce celé orogenní zóny) v posledních 20 až 25 milionech let mezi himálajským masivem Nangá Parbatu a Velkým Karákóramem, než je tomu ve východněji ležících pásmech tohoto orogénu. To potvrzuje geodynamické koncepce (viz např. K. J. Hsü 1983, S. V. Srikantia 1987), z nichž vyplývá, že kontakt od jihu k severu se pohybující Indické desky s Asijskou deskou se od počátku terciéru uskutečňoval postupně od západu k východu a nej-



Obr. 1 - Alpský reliéf jižní části horského masivu Trivor (7 220 m), budovaný převážně granodiority a silně matamorfovanými krystalinickými horninami Velkého Karákóramu.

později od miocénu byl doprovázen též mírnou rotací Indické desky proti směru hodinových ručiček.

V kvartérní etapě orogeneze Himálaje a Karákóramu byly tedy vztahy tektonických a klimaticky podmíněných reliéfových procesů mimořádně složité. Zdvih nejvyšších horských masivů dosáhl od počátku pleistocénu hodnoty nejméně šesti tisíc metrů (srv. M. Fort et al. 1982, R. W. H. Butler, D. J. Prior 1988 a další), což je pravděpodobně srovnatelné s velikostí horizontální složky pohybu příkrovů a jejich šupin po přesunových plochách, či dílčích stavebních bloků podél zlomů. Navíc rozsáhlá exhumace krystalinických hornin, včetně hlubinných vyvřelin miocenního stáří (obr. 1 a 2), erozí původního povrchu himálajské větve pohoří Vysoké Asie v pliocénu a kvartéru (G. Mascle et al. 1990) zvyšovala podíl isostaze na zdvihu těchto horských pásem.

Výrazné zdvihy pohoří Vysoké Asie a Tibetské vysočiny v kvartéru, které se v některých oblastech projevují i v jejich extrémních výškách, nelze pravděpodobně vysvětlit pouze zkrácením zemské kůry kompresí a podsouváním litosférických desek (P. Molnár, P. Tapponier 1975, 1978), které centrální část Asie vytvářejí nebo obklopují. Pravděpodobnější je vysvětlení orogeneze Vysoké Asie, založené na integraci dynamických procesů kolize Indické desky a Euroasie s důsledky (geofyzikálně zjištěné) konvekční tepelné inverze ve svrchním plášti pod Tibetskou vysočinou.



Obr. 2 - Visuté a svahové ledovce, odlučné plochy skalních řícení ve stěnách leukokratních granitů a pararul a jejich intenzivní kryogenní modelace zvyrazňují morfostrukturní rysy reliéfu skupiny štítů Hunku Drangka (6 830 m) v Nepálském Himálaji.

Porovnání geomorfologických projevů orogeneze himálájské větve pohoří Vysoké Asie s odpovídajícími údaji o Pamíru, Pamiro-Alaji a Ťan-šanu ukázalo (J. Kalvoda 1992), že 1) v měřítku milionů let se od konce miocénu do kvartéru průměrná hodnota tektonického zdvihu zvyšuje, 2) etapy vzniku zarovnaných úrovní (kdy se na změnách povrchových tvarů podílely převážně klimaticky podmíněné geomorfologické procesy) se střídaly se zvyšováním vertikální členitosti reliéfu tektonickými pochody, 3) rychlosti zahlubování řek, ovlivněné jak tektonickými zdvihy a poklesy, tak změnami podnebí, se měnily od minima kolem 0,1 mm až do maxima přibližně 10 mm za rok, 4) hlavní podíl na celkovém orografickém efektu zdvihů mají tektonické děje, které proběhly od středního pleistocénu do současnosti, 5) časový režim tektonických zdvihů se ve výše uvedených pohořích Vysoké Asie liší: v centrálních částech Himálaje a Karákóramu proběhly hlavní zdvihy ve druhé polovině středního pleistocénu, zatímco v Pamíru a Ťan-šanu se vyklenování horských masivů výrazně uplatňovala již od poloviny starého pleistocénu, 6) reliktury povrchových tvarů z období největšího zalednění v západním Karákóramu (stadium Šanoz), které proběhlo před více než 200 000 lety, jsou pravděpodobně časově ekvivalentní tvarům z období výrazného horského zalednění Pamíru a Ťan-šanu ve středním pleistocénu.

Ve sledovaných pohořích Vysoké Asie byly dále zjištěny časové souběhy geomorfologicky výrazných dlouhodobých postupů ledovců ve středním pleistocénu a starém holocénu. Pravděpodobná je též shoda některých postupů ledovců Karákóramu v pleistocénu se situací v Altajsko-Sajanské zóně západní Sibíře. Stadia Šanoz a Yanz v Karákóramu lze časově korelovat s obdobími vzniku sibiřských morén pevninského zalednění, a to s jejich tzv. Samarským a Tazovským horizontem (Tab. 1). Ledovcové sedimenty karákóramských stadií Hunza a Ghalkin I pak v mladém pleistocénu vznikaly pravděpodobně během ranné a pozdní etapy Zyrjanského zalednění západní Sibíře.

Pokud jde o oscilace ledovců od mladého holocénu do současnosti, je zřejmé, že se na rozložení, mocnostech a době vzniku četných morén tohoto stáří velmi silně projevují lokální změny přírodních podmínek. Morfologicky doložené mladoholocenní až recentní oscilace ledovců mají proto v různých pohořích nebo i horských masivech odlišný průběh. Lze však upozornit, že tzv. "Little ice age" (neoglaciál) je pravděpodobně časově blízký stadiu Batura v západním Karákóramu, 4. stadiu zalednění v západním Himálaji, stadiu Nauri v masivech Dhaulagiri a Annapurna (M. Kuhle 1986) a stadiu Changri (J. Kalvoda 1978, 1979a, b) v Himálaji východního Nepálu. Podobné stadium zalednění Pasu I v Karákóramu a nejstarší stadium Dhaulagiri kulminovaly před necelými 1 000 lety a stadia Pasu II, mladší Dhaulagiri a Khumbu jsou subrecentní.

Řada přírodovědců důrazně upozorňovala (nověji např. M. Fort 1978, J. Kalvoda 1984b, S. Iswata 1987) na vliv drastických změn klimatu a tvárnosti reliéfu Himálaje a Karákóramu v pliocénu a zejména pak v kvartéru na faunu a flóru. Spojení mezi severní palearktickou a jižní orientální biogeografickou oblastí bylo v pleistocénu přerušeno jak rostoucí nadmořskou výškou těchto pohoří, tak jeho zaledněním. Sivalik obývala v pliocénu antropoidní opice *Ramapithecus*. Nálezy kostí nosorožce v jezerních sedimentech tohoto stáří při úpatí Šiša Pangma ve výškách cca 5 000 m svědčí jak o teplém klimatu v té době, tak o následném zdvihů v kvartéru.

Zdvih Tibetské vysočiny a okrajových pohoří v kvartéru ovlivnil směry a paleogeografický dosah monzunových proudění. Poslední morfologicky prokazatelná výrazná změna podnebí v Tibetu je dokumentována v holocénu. Ve střední části holocénu (cca před 7 500 - 3 000 lety) bylo v jižním Tibetu tepleji než dnes. Teprve v období od 3 000 let do současnosti se drasticky zmenšila hladina jezer při ochlazení, zvýšení aridity a současné vazbě vody v ledovcích.

Pokračující pohyby zemského povrchu tektonického původu ovlivnily i historii člověka v himálájské orogenní zóně. Například Árijci přišli do Indie před více než 4 000 lety a usídlili se podél řek v Paňdžábu. Jednou z nejdůležitějších řek této oblasti byla v té

době Sarasvatí. Jejím hlavním zdrojem vod byla oblast Siváliku v indickém předhoří Himálaje (T. Nakata 1972) a dále její tehdejší přítoky Satledž, Beas a Orišadwati. Toto uspořádání říční sítě se však podstatně změnilo přibližně před 3 600 - 3 700 lety, a to jako důsledek vzniku nových zlomů na západ od Sarasvatí. Zdrojnice této řeky byly načepovány Yamunou, která začala odvádět himálajské vody do povodí Gangy. Ztráta přítoků řeky Sarasvatí znamenala neštěstí a katastrofu pro Árijce, kteří u ní sídlili - řeka se totiž začala ztrácet v pouštích Radžastánu. Árijci začali migrovat k severovýchodu, kde se ovšem utkávali s Drávidy. Archeologické památky Árijců z údolí Gangy nejsou starší než 3 000 let. Mnoho jejich sídlišť v okolí Patny a v Biharu může být dnes skryto pod náplavami řek, protože poklesy v této oblasti se v současné době odhadují místy až na 10 cm za rok.

Amplitudy holocenních a současných pohybů zemského povrchu tektonického původu jsou v některých geomorfologicky velmi zřetelných pásmech pohoří Vysoké Asie nejméně o řád vyšší (L. Seeber, V. Gornitz 1983, S. Iswata 1987, L. A. Owen 1989), než průměrné hodnoty jeho zdvihu a přesunů v pleistocénu. Zjištěné následky zemětřesení v reliéfu, lineární stupně a trhliny ve svazích, tektonická porušení sedimentů holocenního stáří apod. svědčí o krátkodobých impulzech s amplitudami deformací horninového masivu v připovrchové části zemské kůry desítky centimetrů až metry. Tyto projevy aktivní orogeneze se vyskytují zejména ve strukturně exponovaných zónách pohoří, např. v jižním předhoří, v pásmech sutur a zlomové podmíněných okrajů dílčích horských masivů.

4. Závěr

Výstavba a zdvih reliéfu Himálaje a Karákoramu v kvartéru, včetně reaktivace pohybu příkrovů, vzniku dalších zlomů a grabenového režimu ukazují, že vrcholná etapa kolizní orogeneze již dospěla do zralého morfogenního stadia. Přechod ze subdukční do kolizní fáze orogeneze se v karákoramsko-himálajské oblasti uskutečňoval od křídly do eocénu. Podobně vrcholná etapa kolizní orogeneze ve zralém morfogenním stadiu může probíhat (v tomto případě přibližně od nejstaršího pleistocénu) ještě několik milionů let.

Terénní pozorování, interpretační zkušenosti a poznatky z asijských pohoří využíváme také v Evropě, např. při morfotektonickém průzkumu lokalit výstavby a provozu velkých inženýrských děl, včetně jaderné energetických zařízení. Syntéza geomorfologického záznamu kolizní orogeneze pohoří Vysoké Asie je kromě vlastní výpovědi o jejich vzniku také zdrojem podnětů k řešení vybraných úloh geodynamiky. Aktuální jsou především ty výsledky geomorfologického výzkumu velehor, které směřují k poznání kvartérní a současné dynamiky geologických (v užším slova smyslu pak reliéfových) procesů v připovrchových částech zemské kůry. Vysoká výpovědní hodnota zjištění geneze a rychlosti změn reliéfu tak umožňuje přispět k určení stupně geomorfologických ohrožení a rizik i k prognózám katastrofických událostí a jevů, jakými jsou například zemětřesení, sopečná činnost, pohyby horninových masivů na zlomech, skalní řízení a sesuvy.

Literatura:

- BUTLER, R.W.H., PRIOR, D.J. (1988): Tectonic controls of the uplift of the Nanga Parbat Massif, Pakistan Himalayas. *Nature*, London, č. 333, s. 247 - 250.
- DELCAILLEU, B. (1986): Dynamique et évolution morphostructural du piémont frontal de l'Himalaya: les Siwaliks du Népal oriental. *Rev. géol. dyn. et géogr. phys.*, 27, Paris, s. 319 - 337.
- FORT, M. (1978): Observations sur la géomorphologie du Ladakh. *Bull. Assoc. Géogr. Franc.*, Paris, č. 452, s. 159 - 175.

- FORT, M. (1979): Études sur la Quaternaire au Himalaya - La haute vallée de la Buri Gandaki, Népal. In: Cah. Népal., Paris, 136s.
- FORT, M., FREYTET, P., COLCHEN, M. (1982): Structural and sedimentological evolution of the Thakkhola Mustang Graben (Nepal Himalayas). Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd. 42, Berlin, Stuttgart, s. 75 - 98.
- HSÜ, K. J. ed. (1983): Mountain Building Processes. London, Academic Press, 288 s.
- ISWATA, S. (1987): Mode and rate of uplift of the central Nepal Himalaya. Z. Geomorphol. N.F., Suppl. Bd. 63, Berlin, Stuttgart, s. 37 - 49.
- JAROŠ, J., KALVODA, J. (1978a): Quaternary relief thrusts in the Himalayas, East Nepal. In: Saklani, P.S. (ed.): Tectonic geology of the Himalayas. New Delhi, s. 167 - 219.
- JAROŠ, J., KALVODA, J. (1978b): Geological Structure of the Himalayas, Mt. Everest - Makalu section. In: Rozpr. ČSAV, Ř. mat. přír. věd, Praha, 87, Academia, s. 1 - 69.
- KALVODA, J. (1978): Genesis of the Mount Everest (Sagarmatha). In: Rozpr. ČSAV, Ř. mat. přír. věd, 88, Praha, Academia, s. 1 - 62.
- KALVODA, J. (1979a): Geomorphological map of the Barun glacier region. Acta Univ. Carol., Geogr., 14, Praha, s. 3 - 38.
- KALVODA, J. (1979b): The Quaternary History of the Barun Glacier, Nepal Himalayas. Věst. Ústř. Úst. geol., 54, Praha, s. 11 - 23.
- KALVODA, J. (1982): Quaternary morphogenetic events in the Himalayas. In: Sbor. geol. věd, Ř. A, 14, Praha, s. 141 - 218.
- KALVODA, J. (1984a): The landforms design in the East Nepal Himalayas. In: Rozp. ČSAV, Ř. mat. přír. věd, 94, Praha, Academia, s. 1 - 72.
- KALVODA, J. (1984b): The nature of geomorphic processes in the Himalayas and Karakoram. Stud. geomorphol. carpatho-balcanica, 18, Kraków, s. 45 - 64.
- KALVODA, J. (1990): Geomorphology of the Ghareisa glacier region, Karakoram. Acta Univ. Carol., Geogr., 25, Praha, č. 2, s. 3 - 27.
- KALVODA, J. (1992): Geomorphological Record of the Quaternary Orogeny in the Himalayas and the Karakoram. Amsterdam, Elsevier Sci. Publ., 360 s.
- KALVODA, J., SENKOVSKAJA, N.F. (1986): Geomorfologičeskie projavlenija četvertičnogo orogeneza v zapadnom Karakorum. Vest. Mosk. univ., ser. 5, geogr., Moskva, s. 90 - 96.
- KUHLE, M. (1986): Former Glacial Stages in the Mountain Areas Surrounding Tibet - in the Himalayas (27° - 29°N: Dhaulagiri, Annapurna, Cho Oyu and Gyachung Kang areas) in the South and in the Kuen Lun and Quilian Shan (34° - 38°N: Amimachin, Kakitu) in the North. In: Joshi, S.C. (ed.): Nepal Himalaya: Geo-ecological Perspectives. New Delhi, s. 437 - 473.
- Le FORT, P. (1975): Himalaya the collided range; present knowledge of the continental arc. Amer. J. Sci., 275A, New Delhi, s. 1 - 44.
- MASCLE, G., DELCAILLEU, B., HERAIL, G. (1990): La formation de l'Himalaya. La Recherche, Paris, č. 1, s. 30 - 39.
- MOLNAR, P. (1986): The geologic history and structure of the Himalaya. Amer. Sci., 74, s. 144 - 154.
- MOLNAR, P., TAPPONIER, P. (1975): Cenozoic tectonics of Asia. Effects of a continental collision. Science, 189, s. 419 - 426.
- MOLNAR, P., TAPPONIER, P. (1977): The collision between India and Euroasia. Sci. Amer., 236, s. 30 - 42.
- MOLNAR, P., TAPPONIER, P. (1978): Active tectonics of Tibet. J. Geophys. Res., 83, Richmond, č. B - 11, s. 5361 - 5376.
- NAKATA, T. (1972): Geomorphic History and Crustal Movements of Foot-Hills of the Himalayas. Sci. Rep. Tohoku Univ., ser. 7, Geogr., 22, Tohoku, s. 39 - 177.
- OWEN, L.A. (1989): Neotectonic and glacial deformation in the Karakoram mountains and Nanga Parbat Himalayas. Tectonophysics, Amsterdam, Elsevier Sci. Publ., s. 227 - 265.
- SEEBER, L., GORNITZ, V.I. (1983): River profiles along the Himalayan arc as indication of active tectonics. Tectonophysics, Amsterdam, Elsevier Sci. Publ., s. 335 - 367.
- SRIKANITA, S.V. (1987): Himalayas - the collided orogen: a plate tectonic evolution on geological evidences. Tectonophysics, Amsterdam, Elsevier Sci. Publ., s. 75 - 90.

Summary

GEOMORPHOLOGICAL EVIDENCE FOR OROGENY IN THE HIMALAYAS AND THE KARAKORAM

The presented paper deals with geomorphological aspects of collision orogeny and main climate-morphogenetic features of relief development of the Himalayas and the Karakoram in the Late Cenozoic.

The paleogeographic reconstruction of succession of relief-forming events and processes in the East Nepal Himalayas and in the western Karakoram, morphotectonic observations and analysis of the geomorphological record of orogeny in the near-surface parts of the Earth's crust in the High Asian mountain belts suggest that the mountain building activity in the wider zone of collision contact of Indian and Asian plates attained a mature morphogenic stage in the Quaternary. In the Neogene, paleogeographic changes of marginal parts of these converging plates were realized by the origin of nappe structure and, therefore, also by the substantial tectonic reduction of terrestrial relief, by the arising of extensive elevations and their intensive erosion and denudation.

In the Quaternary stage of orogeny the relief building of the Himalayas and the Karakoram continued mostly under a compression regime of culminated collision. The development of extremely high mountain ranges, accompanied by destruction of their surface under different climate-morphogenetic conditions, was often connected with incorporation of relics of the Pliocene relief in a new morphotectonic position. The activity of relief nappes thrusting and differential uplifts of partial morphostructural units (under impulsion regime and with a velocity in order of $\text{cm}\cdot\text{year}^{-1}$) culminated in the younger part of the Middle Pleistocene and the Upper Pleistocene which also represented periods of the maximum extents of the mountain glaciation.

Geomorphological evidence of recent movements of the Earth's surface of tectonic origin and the high intensity of climate-morphogenetic processes connected with them give witness that the orogeny of the Himalayas and the Karakoram continues even in the present time.

(Pracoviště autora: Přírodovědecká fakulta UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2.)

Došlo do redakce 9.9.1993

Lektoroval Václav Král