

Univerza v Ljubljani
Filozofska fakulteta



Univerza v Ljubljani
Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo

GeograFF 29

Dolina Baruna pod Makalujem

Znanstvene raziskave v okviru alpinističnih
himalajskih odprav leta 1972 in 2014

Tajan Trobec, Uroš Stepišnik (ur.)

GeograFF 29

ISSN 1855-5896 (Tiskana izd.) in 2820-5642 (Spletna izd.)

Dolina Baruna pod Makalujem

Znanstvene raziskave v okviru alpinističnih himalajskih odprav leta 1972 in 2014

Urednika: Tajan Trobec, Uroš Stepišnik

Recenzenta: Blaž Komac, Ana Vovk Korže

Kartografinja: Lena Kropivšek

Fotografi: Matej Blatnik, Tomaž Goslar, Janez Gregori, Viki Grošelj, Ivan Kotnik, Jurij Kunaver, Irena Mrak, Tone Wraber

Fotografije na naslovnici: Tomaž Goslar

Lektorica: Špelca Mrvar

Založila: Založba Univerze v Ljubljani

Za založbo: Gregor Majdič, rektor Univerze v Ljubljani

Izdala: Znanstvena založba Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani; Oddelek za geografijo

Za izdajatelja: Mojca Schlamberger Brezar, dekanja Filozofske fakultete

Oblikovanje in prelom: Eva Vrbnjak

Tisk: Birografika Bori d.o.o.

Naklada: 200 izvodov

Prva izdaja

Ljubljana, 2023

Cena: 19,90 EUR



To delo je ponujeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna licenca (izjema so fotografije). / This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (except photographs).

Knjiga je izšla s podporo Javne agencije za raziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije v okviru Javnega razpisa za sofinanciranje izdajanja znanstvenih monografij.

Raziskovalni program št. P6-0229 (B) je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna.

Prva e-izdaja. Publikacija je v digitalni obliki prosto dostopna na <https://ebooks.uni-lj.si/zalozbaul/>
DOI: 10.4312/9789612971625

Kataložna zapisa o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

Tiskana knjiga
COBISS.SI-ID=163944707
ISBN 978-961-297-165-6

E-knjiga
COBISS.SI-ID=163860995
ISBN 978-961-297-162-5 (PDF)

Dolina Baruna pod Makalujem

Znanstvene raziskave v okviru alpinističnih
himalajskih odprav leta 1972 in 2014



GeograFF
29

KAZALO

Aswin Kumar Shrestha

| | |
|----------------------|----------|
| Uvodnik | 9 |
|----------------------|----------|

Matevž Novak

| | |
|--|-----------|
| Geološke značilnosti Nepalske Himalaje s poudarkom na dolini Baruna pod Makalujem | 13 |
|--|-----------|

| | |
|---|----|
| 1 Uvod | 13 |
| 2 Geotektonska zgradba nepalske Himalaje | 14 |
| 3 Pregled geoloških raziskav širšega območja doline Baruna | 18 |
| 4 Geologija širšega območja doline Baruna | 22 |
| 5 Prispevek slovenskih raziskovalcev k poznavanju geologije doline Baruna | 41 |
| 6 Modeli tektonsko-metamorfne nastanka nepalske Himalaje | 42 |
| 7 Sklep | 46 |

Jurij Kunaver

| | |
|--|-----------|
| Pregled geomorfološkega raziskovanja zgornjega dela doline Baruna pod Makalujem, s poudarkom na letu 1972 | 57 |
|--|-----------|

| | |
|--|-----|
| 1 Uvod | 57 |
| 2 Geomorfološko raziskovanje v dolini Baruna | 64 |
| 3 Oris literature in virov | 66 |
| 4 Geografske, zlasti reliefne poteze doline Baruna in njene okolice | 69 |
| 5 Geomorfološke značilnosti posameznih delov doline zgornjega Baruna s sledovi poledenitev | 75 |
| 6 Razvitost tal in spremembe na ledeniških balvanih kot indikacije za starostno razlikovanje med morenami zadnje pleistocenske in recentnimi poledenitvami; periglacialni pojavi | 94 |
| 7 Pregled pomembnejših rezultatov raziskovanja kvartarnih in recentnih poledenitev v Himalaji s posebnim ozirom na dolino Baruna po letu 1972 | 102 |
| 8 Geomorfološko kartiranje doline Baruna leta 1972 in kasneje | 109 |
| 9 Geomorfološki razvoj pobočij in obviselih dolin nad srednjo dolino Baruna | 113 |
| 10 Razprava in sklep | 118 |

Irena Mrak, Tomaž Goslar

**Spremembe obsega ledenikov na širšem območju Himalaje –
primer preučevanja južnega ostenja Makaluja s pomočjo slikovnega
gradiva iz let 1972 in 2014 125**

1 Uvod 125

2 Metodologija 126

3 Rezultati in razprava 127

4 Sklep 132

Matej Blatnik

**Značilnost rastlinstva v Nepalju s poudarkom na dolini Baruna
pod Makalujem 135**

1 Uvod 135

2 Geomorfološke in podnebne značilnosti, ki vplivajo na rastlinstvo v Nepalju 135

3 Splošne značilnosti rastlinstva v Nepalju 137

4 Značilnosti rastlinstva v dolini Baruna 142

5 Rastlinstvo na meliščih v dolini Baruna 145

6 Spremembe v rastlinstvu zaradi človeka in podnebnih sprememb 146

7 Sklep 147

Jože Bavcon, Blanka Ravnjak

Rastlinstvo Himalaje skozi zapise prof. dr. Toneta Wraberja 151

1 Uvod 151

2 Geografska predstavitev območja odprav v dolini Baruna 152

3 Pregled literature o Himalaji v zapuščini prof. Wraberja 153

4 Wraberjevi zapisi o Himalaji v *Proteusu* 155

5 Ovrednotenje Wraberjevih zapisov 160

6 Sklep 161

Janez Gregori

Zoološke raziskave v dolini Baruna pod Makalujem 165

1 Uvod 165

2 Zoološke raziskave v okviru 4. JAHO 165

3 Metode in materiali 165

4 Ekološke značilnosti obravnavanega območja 168

5 Sistematski del 168

6 Sklep 183

Viki Grošelj

| | |
|--|------------|
| Alpinistična zgodovina Makaluja | 185 |
| 1 Mogočni Makalu | 185 |
| 2 Prvi poizkusi osvojitve Makaluja | 185 |
| 3 V boj za vrh Makaluja se vmešajo slovenski alpinisti | 187 |
| 4 Nadaljnje odprave na Makalu | 190 |
| 5 Sklep | 193 |

Tomaž Goslar, Irena Mrak

| | |
|---|------------|
| Vpliv visoke nadmorske višine na človeka in prilagoditve nanjo | 195 |
| 1 Uvod | 195 |
| 2 Vpliv nadmorske višine na delovanje človeškega telesa | 195 |
| 3 Zdravstvene težave slovenskih odprav na Makalu | 197 |
| 4 Medicinske raziskave slovenskih odprav na Makalu | 199 |
| 5 Sklep | 202 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| Povzetek | 205 |
| Summary | 209 |
| Stvarno kazalo | 213 |
| Imensko kazalo | 217 |
| Avtorji | 221 |

Uvodnik

Nepal in mogočno gorovje Himalaje sta bila že zgodaj velik izziv za slovenske alpiniste. Aleš Kunaver, alpinist in načelnik Komisije za odpravo v tuja gorstva pri Planinski zvezi Slovenije, in novinar Zoran Jerin sta na izvidniški poti konec leta 1962 in v začetku 1963 dva meseca peš potovala po vzhodnem Nepal (od 27. novembra 1962 do konca januarja 1963, skoraj 550 km). Celotno njuno potovanje z ladijskim prevozom tja in nazaj je trajalo od konca oktobra 1962 do konca februarja 1963. Neverjetno dolgo za današnje čase, možnosti in predstave! Takrat sta si ogledovala dostope do himalajskih sedem- in osemtisočakov, bodočih ciljev alpinističnih odprav. Aleš je na tej poti posnel film *Dežela Šerp* (1962), Jerin pa je napisal knjigo *Vzhodno od Katmanduja* (1965).

Po povratku iz Nepala me je Aleš poklical po telefonu, da bi prišel k njemu v tovarno Avtomontaža na Celovski cesti v Ljubljani. To je bilo moje prvo srečanje z njim. Bil sem nepalski študent-štipendist na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani. Z navdušenjem mi je pripovedoval o potovanju po Nepal leta 1962. Bilo mi je v veliko veselje in čast spoznati nekoga, ki je bil tako navdušen nad našo državo, njenimi lepotami in mogočnim gorovjem – Himalajo. Ugajalo mu je, da so ljudje v Nepal prijazni in nasmejani, čeprav živijo zelo skromno. Občudoval je hindujske templje in budistične pagode ter drugo bogato nepalsko kulturno dediščino, ki je bila že takrat pod Unescovo zaščito. Spomnim se, da je obiskal tudi Chainpur, moj rojstni kraj, od koder se vidi na enega mogočnih himalajskih vrhov – Makalu. Poslušal sem ga zato še z večjim zanimanjem in mu potrdil, da se ta vrh res vidi zelo dobro, tudi iz okna moje rojstne hiše, od koder imam celo fotografijo. Bila je razstavljena skupaj s fotografijami alpinistov na razstavi o Himalaji v Slovenskem etnografskem muzeju v Goričanah leta 1982. Na najinem takratnem srečanju mi je predstavil načrt, da bi med drugim slovenski alpinisti poskusili plezati tudi na vrh Makaluja. Načrt je uresničil leta 1972, ko je organiziral 4. jugoslovansko alpinistično himalajsko odpravo (JAHO), ki ji je bil Makalu dodeljen kot rezervni cilj, namesto neodobrenega Kangbačena. Poleg desetih alpinistov so na odpravi sodelovali še trije raziskovalci: dr. Tone Wraber, botanik, je imel nalogo botaničnega raziskovanja s floristično inventarizacijo in zbiranjem visokogorskega herbarijskega gradiva. Ornitolog Janez Gregori naj bi raziskoval živalstvo, predvsem ptiče in sesalce. Dr. Jurija Kunaverja, geografa, poznavalca visokogorskega ledeniškega reliefa ter aktivnega jamarja pa je zanimala zlasti geomorfologija in je želel kartirati dolino Baruna. Vključitev treh znanstvenikov v sestav odprave je bila predvsem odločitev in odgovornost vodje odprave, čeprav je temu deloma botrovala tudi nikoli izpeljana odprava na Ararat, ki sta jo leta 1956 načrtovala oba brata – Aleš in Jurij Kunaver.

Rad bi poudaril, kako celovito je Aleš Kunaver želel pomagati Nepal. To, da je organiziral alpinistično odpravo in k sodelovanju povabil tudi tri naravoslovce, je bila samo predhodnica njegovega naslednjega izjemnega dejanja, ustanovitve šole za nepalske gorske vodnike v Manangu.

V nadaljevanju se bom omejil na opis prizadevanj Vlade republike Nepala za ohranitev ter obnovo gorskega ekosistema v zgornjem delu doline Baruna.

S skupnimi prizadevanji Vlade republike Nepala in Gorskega inštituta (The Mountain Institute, Washington) je bila Zgornja dolina Baruna, obljudena visokogorska divjina v vzhodnem Nepalju v provinci Sankhuwasabha leta 1992 proglašena kot narodni park. To je bilo narejeno z namenom ohranitve in obnove biotsko izjemno pestrega gorskega ekosistema. V tem narodnem parku na njegovem višjem obrobju živijo etnične skupine Rai, Šerpe in Botije. Nižje pa najdemo etnične skupine Gurunge, Tamange, Magare, Neware, Brahmine in Četrije.

Že vse od leta 1990 potekajo številni inovativni projekti, kot je npr. kakovostna proizvodnja blaga allo, izdelanega iz vlaken lokalnih rastlin (koprive), jakove volne, papirja lokta, ki je izdelan iz lubja grma *Daphne* (*Daphne bhoulua* subsp. *Bhoulua*), in drugo. Uporaba rastlin za izdelavo papirja lokta je ena od mojstrskih tradicij Nepala. Botaniki so v tem narodnem parku našli preko 3000 cvetnic, med njimi različne vrste rododendronov (slečev), orhideje itd. Velika svetovna posebnost je jartsa gunbu (*Ophiocordyceps sinensis*), redka in dragocena zdravilna goba, pravzaprav kombinacija parazit-ske glive na telesu gosencice. Tako imenovana gosencičina goba zraste 2–6 cm visoko nad zemljo. Najkakovostnejša raste na pobočjih nad Dolpo v zahodnem delu Nepala in dosega vrto glave cene. Jartsa gunbu iz nadmorskih višin od 4000 do 5500 na območju Narodnega parka Makalu Barun velja za nekoliko manj kakovostno. V času rasti jartsa gunbu stotine lokalnih prebivalcev nabirajo te cenjene zdravilne gobe, ki jih uporabljajo za zdravljenje boleznih raka in drugih težko ozdravljivih boleznih. Kot afrodiziak je ta goba najbolj priljubljena na Kitajskem, Japonskem in v Južni Koreji.

Zoologi so zabeležili več kot 400 različnih ptičev in divjih živali, med njimi snežnega leoparda, rdečo pando, himalajskega črnega medveda, divje svinje, govedo mošus, jelene ipd.

Nepalski botanik T. B. Shrestha je nekoč zapisal, da je v regiji Makalu Barun na enem območju zgoščeno tropsko, subtropsko in gorsko rastlinstvo, kar predstavlja bogato naravno nahajališče ekološko neokuženih semen.

Velika ekološka raznolikost je navdihnila ameriškega »gorskega« geografa Altona C. Byersa, ki je izdelal svojo aplikativno študijo o tem območju (2014). V njej ne obravnava le varovanja visokogorskih ekosistemov, temveč tudi učinke podnebnih sprememb in posledično nevarnost katastrof zaradi nenadnih poplav. V vse številnejših in vse večjih ledeniških jezerih se lahko zaradi različnih vzrokov (podori, plazovi, potresi) naenkrat sprostito ogromne vodne mase in ogrozijo deset- ali stotisoče prebivalcev. Byers je doktoriral na Univerzi Colorado leta 1987 iz sprememb v Narodnem parku Sagarmatha, s poudarkom na eroziji vrhnjih zemeljskih plasti in dinamike vegetacije.

Isti avtor že dlje časa opazuje 2 km dolgo ledeniško jezero West Barun na koncu Spodnjega barunskega ledenika. Zaradi globalnega segrevanja je začelo nastajati že okoli leta 1950, do danes pa je naraslo na velikost blizu 2 km²! Da bi zmanjšali nevarnost nekontroliranega nenadnega odtoka vode iz tega jezera, je nujna strateška znanstvena študija (sodelovanje lokalne vlade, lokalnih prebivalcev, vaškega razvojnega odbora, Vlade republike Nepala in mednarodnih ustanov).

Splošno povečanje človekovih aktivnosti, razmah planinstva, pohodništva in pustolovskega turizma v oddaljenih gorskih območjih, kot je Narodni park Makalu Barun, je velik izziv za gorske ekosisteme po vsem svetu. V močnem porastu so prenočitveni objekti, čajnice ipd. Vzporedno s tem opazujemo povečan obseg sekanja počasno rastočega grmičevja, kakršna sta brin in rododendron (za kurjavo). Vlada je s prepovedjo kurjenja že poskušala zaščititi ekosisteme tega narodnega parka. Les naj bi zamenjalo kurilno olje, kar pa tudi ni ravno najboljša alternativa.

Vse te aktivnosti so zamrle v času ljudskega upora maoistov (1996 do 2006). Uničeni so bili številna bivališča in prenočitveni objekti, izginila je infrastruktura in skoraj vse sledi razvojnega projekta Makalu – Barun. Od leta 2010 je temu sledilo naraščanje povpraševanja po poceni delovni sili na Bližnjem vzhodu, v Maleziji, Južni Koreji in v Evropi. Posledica je bil masovni odliv mlade nepalske delovne sile v tujino, v vaseh pa so ostali samo starejši moški, otroci in ženske. Razvoj v mestih in vaseh je tako skoraj povsem zastal.

Kot sem že omenil, Aleš Kunaver ni hodil v Nepal le zaradi lepot gora in alpinizma, ampak je želel tudi pomagati ljudem, ki živijo trdo življenje pod našimi visokimi gorami. Želel je spoznati njihovo kulturo in tudi podpreti raziskave Nepala na raznih področjih. Ugotovil je, da Šerpe, brez katerih ni odprav, nimajo dovolj znanja za varno plezanje in reševanje v primeru gorskih nesreč v Himalaji. Kot že omenjeno, je bila prav na njegovo pobudo in s finančno pomočjo vlade tedanje Jugoslavije in Republike Slovenije zgrajena šola za gorske vodnike v Manangu. Najbolj sem občudoval in še vedno občudujem Alešev čut za pomoč nosačem in sirdarjem, ki odpravam pomagajo nositi tovor v najzahtevnejših pogojih. To je bilo njegovo osebno vizionarsko delo, saj so si Šerpe s strokovnim usposabljanjem in teoretičnim znanjem v šoli za gorske vodnike pridobili poklic, ki jim zagotavlja preživetje. Za to si Aleš zasluži našo trajno zahvalo in priznanje!

Zasluga te monografije, katere pobudnik je profesor dr. Jurij Kunaver, je da nas na enem mestu seznanja z ne samo s skoraj pozabljenimi dogodki, temveč tudi s številnimi znanstvenimi dosežki slovenskih avtorjev. Obenem nas seznanja tudi z eno najzanimivejših nepalskih himalajskih pokrajin, v kateri so štirje od štirinajstih himalajskih osemtisočakov in z dolino Aruna, eno najbolj globokih na svetu.

Monografija prinaša nova spoznanja o tem dinamičnem visokogorskem prostoru, ki ga danes pestijo različne težave. Če samo pomislimo na naglo umikajoče se ledenike, to ni več samo skrb nepalske vlade, temveč vsega sveta. Iz nekoč eksotične dežele nepremaganih nepalskih osemtisočakov postaja Nepal vedno bolj torišče naravoslovnih raziskav. Ta monografija je torej prispevek slovenskih znanstvenikov v zakladnico znanj o Nepal, podobno kot so slovenski alpinisti prispevali k utiranju novih poti na nepalske vrhove. In ne nazadnje, eden od namenov monografije je približati slovenskemu bralcu kraje in pojave, ki so v večini še vedno težko dostopni. Upam, da bo monografija tako opravila več poslanstev hkrati.

mag. Aswin Kumar Shrestha, dipl. ing., MBA,
častni generalni konzul Nepala v Sloveniji

Geološke značilnosti Nepalske Himalaje s poudarkom na dolini Baruna pod Makalujem

Matevž Novak

I Uvod

Himalaja s Tibetom je najizrazitejša reliefna oblika na našem planetu. Oblikovanost površja in kvartarni geološki razvoj nepalske Himalaje sta polna ekstremov: ekstremnih višin, reliefnih oblik in geomorfnih procesov, ki jih poganjajo mehanizmi tektonike plošč. Ta pokrajina jugozahodne Azije je rezultat tektonske kolizije in dviganja ter hitre erozije in sedimentacije.

Himalaja je bila pogosto izpostavljena kot najboljši primer gorovja, nastalega pri koliziji dveh celin. Geološka lepota Himalaje je v tem, da je njena zgradba razmeroma preprosta, z glavnimi strukturnimi elementi, ki jih je mogoče opazovati na dolžini več kot 2000 km vzdolž gorstva. Ker glavne geotektonske enote in strižne ter prelomne cone med njimi potekajo v smeri vzhod–zahod, številne dostopne poti pa jih sekajo po globokih rečnih dolinah v smeri sever–jug, je v Himalaji mogoče dobiti tridimenzionalni vpogled v sestavo celotne srednje in zgornje Zemljine skorje, predrte z granitnimi magmami od njihovega izvora v srednji skorji do zgornjih strukturnih horizontov, kjer tvorijo vrhove najvišjih gora na svetu.

Ovire za geološke raziskave, predvsem geološko kartiranje kot osnovno orodje za tridimenzionalno razumevanje geološke zgradbe, izdelavo geoloških modelov in interpretacijo geološkega razvoja, v nepalski Himalaji so odročnost območja z ekstremnimi nadmorskimi višinami, razgiban teren s strmimi pobočji, bujnost vegetacije v spodnjem in snežna odeja v zgornjem delu ter omejena dostopnost zaradi pomanjkanja cest in pohodniških poti in celo stez. Raven našega razumevanja orogena dodatno ovirajo politične razmere, ki so v različnih obdobjih prejšnjega stoletja omejevale dostop tujim raziskovalcem v različna območja. Kljub vsemu naštetemu so raziskovalci z vsega sveta preučevali geološki razvoj Himalaje, ki je tako izjemen naravni geološki laboratorij.

Pri pregledu teh raziskav v nepalski Himalaji v zadnjih petih desetletjih lahko opazimo jasen razvoj od klasičnega geološkega kartiranja, ki temelji predvsem na terenskem delu, do geoloških kart novih generacij, ki temeljijo na multidisciplinarnem pristopu. Ta vključuje tako terensko kartiranje in daljinsko zaznavanje kot uporabo najsodobnejših tehnik, kot so mezo- in mikrostrukturna analiza, petrologija, mineralna kemija ter termobarometrični izračuni in geokronologija (npr. Kohn, 2008; Jessup

in sod., 2008b; Larson, 2012; Larson in sod., 2013; Montomoli in sod., 2013; Mosca in sod., 2012; Cottle in sod., 2015; Wang in sod., 2022). Tak pristop je privedel do kartiranja „skritih tektonsko-metamorfni mej“, ki so bile ključne pri razvoju gorovja po trku med Indijsko in Evrazijsko litosfersko ploščo (Goscombe in sod., 2006, 2018; Montomoli in sod., 2013; Cottle in sod., 2015; Wang in sod., 2015; Carosi in sod., 2018) in jih zdaj uporabljajo kot smernice za kartiranje podobnih struktur drugih mladih in starodavnih gorstev.

Najbolj znan rezultat tega celostnega pristopa je odkritje tektonske in metamorfne nezveznosti v srednji skorji, ki je bila prepoznana in kartirana na več kot 20 različnih lokacijah v osrednji in vzhodni Himalaji (Montomoli in sod., 2013; Cottle in sod., 2015; Wang in sod., 2015). Ta „nova“ nezveznost, imenovana Visoki himalajski nariv (po Goscombu in sod., 2006), poteka od zahodnega Nepala do Butana v dolžini več kot 1000 km (Cottle in sod., 2015; Carosi in sod., 2018; Treloar, Searle, 2019; Wang in sod., 2022).

2 Geotektonska zgradba nepalske Himalaje

Himalaja je nastala v koliziji Indijske in Evrazijske litosferske plošče, ki se je začela pred 55–50 milijoni let (npr. Le Fort, 1975), in je tradicionalno razdeljena na štiri glavne vzdolžne cone v smeri vzhod–zahod, imenovane litotektonske enote ali sekvence. Sekvence so geološke enote, ki so od sosednjih omejene z nezveznostmi. Čeprav lokalne razlike do neke mere obstajajo (in s tem tudi različna imena enot), je splošna skladnost teh con vzdolž celotne dolžine gorstva zelo očitna (Slika 1).

Od severa proti jugu, in od zgornjih do spodnjih geoloških strukturnih nivojev, zaporedje sestavljajo:

- Tetidina himalajska sekvenca (*Tethys Himalaya Sequence* – THS, tudi *Tibetan Himalaya*),
- Višja himalajska sekvenca (*Greater Himalayan Sequence* – GHS, tudi *Higher Himalayan Sequence* – HHS),
- Nižja himalajska sekvenca Himalaja (*Lesser Himalayan Sequence* – LHS, tudi *Lower Himalayan Sequence*) in
- Podhimalaja (*Sub-Himalaya*).

Obe veliki sekvenci, odloženi na pasivnem kontinentalnem robu Indije, Višja himalajska sekvenca in Nižja himalajska sekvenca, sestavljata Himalajsko metamorfno fronto (*Himalayan Metamorphic Front* – HMF). Naštete litotektonske enote sekajo duktilne strižne cone skorje in prelomne sisteme. Od severa proti jugu so to:

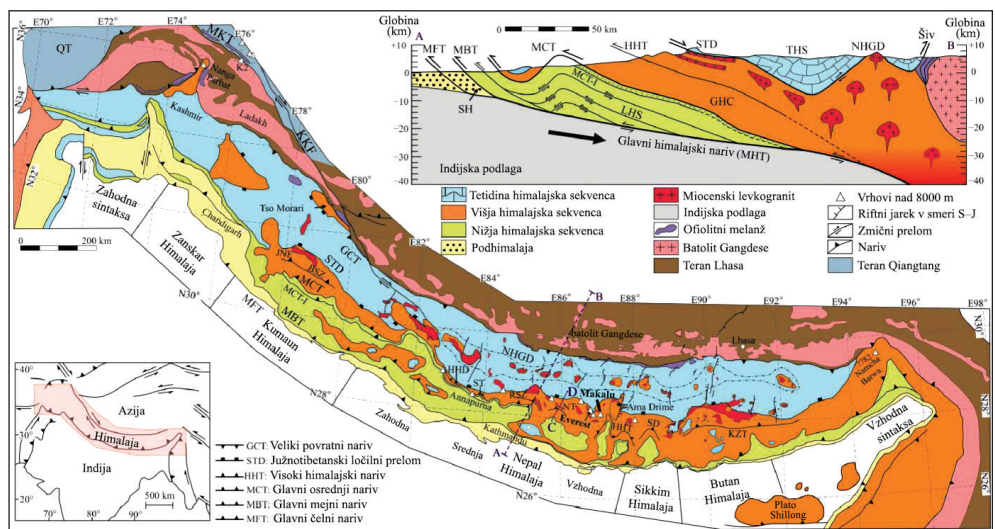
- Južnotibetanski ločilni prelom (*South Tibetan Detachment* – STD),
- Visoki himalajski nariv (*High Himal Thrust* – HHT),
- Glavni osrednji nariv (*Main Central Thrust* – MCT),
- Glavni mejni nariv (*Main Boundary Thrust* – MBT) in
- Glavni čelni nariv (*Main Frontal Thrust* – MFT).

Zadnje tri tektonske meje, katerih začetek aktivnosti je od severa proti jugu vse mlajši, se v globini združijo v zelo položen ločilni prelom, imenovan Glavni himalajski nariv

(*Main Himalayan Thrust – MHT*), bazalni prelom orogena, ki v nepalski Himalaji leži na globini med 5 in 7 km (Schelling, 1992; DiPietro, Pogue, 2004; Yin, 2006; Sorkhabi, 2010; Searle, 2013; Adhikari in sod., 2021; Godin in sod., 2021) (Slika 2).

Na severu je Himalaja omejena s šivno cono Ind-Tsangpo (*Indus-Tsangpo Suture Zone – ITSZ*) na Transhimalajo, na jugu pa Glavni čelni nariv ločuje Podhimalajo od Indsko-Gangeškega nižavja.

Slika 1: Shematski zemljevid geotektonskih enot Himalaje in prečni prerez gorskega pasu. (Vir: Yin, 2006 in Wang in sod., 2022)



2.1 Šivna cona Ind-Tsangpo

Šivna cona je tektonska cona, vzdolž katere dve celinski tektonski plošči trčita in se združita. Pred trkom obe celini loči ocean, ki se postopoma krči, ko se oceanska skorja podriva pod celinsko. Do trka pride, ko se oceanska skorja v celoti podrine, vmesni ocean izgine, primikajoči se celinski plošči pa se zaletita druga v drugo. Šivna cona Ind-Tsangpo označuje mejo med kamninami Evrazijske plošče in Indijske plošče (Gansser, 1964). Tu najdemo značilno ofiolitsko zaporedje vulkanskih kamnin oceanskega dna, pri podrivanju pod visokim tlakom nastalih metamorfnih kamnin (zelenih skrilavcev) in globokomorskih sedimentov oceana Tetide (Sorkhabi, 2010).

2.2 Tetidina himalajska sekvenca

To sekvenco sestavljajo debeli paketi sedimentnih kamnin, kot so apnenec, peščenjak in skrilavi glinavec, ki so bili odloženi na Indijskem šelfu v oceanu Tetida. V kamninah Tetidine himalajske sekvenca je ohranjen skoraj popoln stratigrafski zapis od zgornjega proterozoika do eocena in priča o geološki zgodovini severnega roba In-

dijske celine od njenega začetka v sklopu veleceline Gondvane do kontinentalnega trka z Evrazijo (Garzanti, 1999). Ker večina tega območja leži v južnem Tibetu, ga imenujemo tudi Tibetanska Himalaja (Heim, Gansser, 1939; Bordet in sod., 1971). Znotraj Tetidine Himalaje je vrsta dom oziroma kupolastih struktur, sestavljenih iz granitnega gnajsa kambrijske starosti (približno 500–450 milijonov let) ali svetlih granitov (levkogranitov) miocenske starosti (18–9 milijonov let), ki jih skupaj imenujemo Severnohimalajske granitno-gnajsne dome (Sorkhabi, 2010).

V vzhodnem Nepalju so zastopani le bazalni deli Tetidine himalajske sekvence, ki se pojavljajo samo v vrhovih najvišjih nepalskih gora. Zastopani so z metasedimentnimi kamninami (sedimentne kamnine, ki so prestale nizko do srednjo stopnjo metamorfoze) (Lombard, 1958; Bordet, 1961; Lombardo in sod., 1993; Searle in sod., 2008). Na jugu je Tetidina himalajska sekvenca ločena od Višje himalajske sekvence z močnim, proti severu nagnjenim normalnim prelomom, imenovanim Južnotibetanski ločilni prelom (STD), ki je ena največjih nateznih (ekstenzijskih) struktur na Zemlji. Ob tem prelomu se je proti severu pomaknil ogromen paket Tetidinih sedimentnih kamnin, ki tam tvorijo nekaj največjih gub na Zemlji. Na območju Mount Everesta so Carosi in sod. (1998) opredelili ločilni prelom Qomolangme kot enega od prelomov v coni STD (Burchfiel in sod., 1992; Jessup in sod., 2006; Sorkhabi, 2010; Wang in sod., 2022).

2.3 Višja himalajska sekvenca

Višja himalajska sekvenca je hrbtenica Himalajskega gorovja, sestavljena iz 10–20 km debelih kristalinskih kamnin različnih vrst. Z izrazom kristalin označujemo magmatske ali metamorfne kamnine, v katerih so minerali kristalili v sami kamnini, za razliko od sedimentnih kamnin, ki vsebujejo minerale iz drugih kamnin (Sorkhabi, 2010). V Nepalju so to kamnine, nastale pri visoki stopnji metamorfoze (skrilavec in gnajs) in migmatiti, ki se nahajajo na nadmorskih višinah od 3000 do več kot 8000 m. Te kamnine so proterozojsko-kambrijske starosti (2000–500 milijonov let) in pripadajo celinski skorji Indijske plošče (Wang in sod., 2022).

Višja himalajska sekvenca je sestavljena iz dveh glavnih strukturnih ravni, za kateri so značilne različne kamnine (glej sliki 5 in 6):

Spodnja Višja himalajska sekvenca je sestavljena iz srednje do visoko metamorfoziranih sedimentnih kamnin in granitnih ortognajsov, pri čemer se stopnja metamorfoze povečuje od spodaj navzgor (npr. Goscombe in sod., 2006; Groppo in sod., 2007; Mosca in sod., 2012). Te kamnine torej nastopajo v obrnjenem metamorfnem zaporedju, približno omejenem na Glavno osrednjo narivno cono (*Main Central Thrust Zone* – MCTZ (Goscombe in sod., 2006; Mosca in sod., 2012; Rolfo in sod., 2015)). To je cona plastičnih (duktilnih) strižnih deformacij, ki zgornjo Višjo himalajsko sekvenco z visoko-metamorfnimi kamninami potiska nad metasedimente (metamorfozirane sedimentne), kamnine Nižje himalajske sekvence (glej Searle in sod., 2008 za izčrpno razpravo o Glavni osrednji narivni coni). Glavna osrednja narivna cona je na vrhu omejena s strukturno nezveznostjo, imenovano Visoki himalajski nariv (po Goscombu in sod., 2006), kar ustreza izvirnemu Glavnemu osrednjemu narivu Bordeta (1961) (Rolfo in sod., 2015).

Zgornja Višja himalajska sekvenca, imenovana tudi Višji himalajski kristalin (*Higher Himalayan Crystallines* – HHC), je sestavljena iz visoko-metamorfnih para- in ortognajsov, pogosto anatektičnih (delno staljenih). Predponi para- in orto- se nanašata na izvorno kamnino, iz katere je pri metamorfozi nastala metamorfna kamnina; para-metamorfna nastane iz sedimentne kamnine, orto-metamorfna pa iz magmatske. V kamninah so pogosto mreže in lečasta telesa svetlih granitov (levkograditov) miocenske starosti (24–17 milijonov let) (Bordet, 1961; Schelling, 1992; Pognante, Benna, 1993; Lombardo in sod., 1993; Hodges, 2000; Visonà, Lombardo, 2002; Yin, 2006; Groppo in sod., 2007, 2012; Mosca in sod., 2012; Waters, 2019; Wang in sod., 2022).

2.4 Nižja himalajska sekvenca

Južno od Višje himalajske sekvence leži naguban in naluskan pas Nižje himalajske sekvence, ki ga sestavljajo sedimentne in metasedimentne kamnine proterozojsko-kambrijske starosti (2000–500 milijonov let), ki jih zastopajo dolomit, apnenec, kvarcit, marmor, filit, skrilavec in gnajs, vmes pa je ponekod nekaj vulkanskih in granitnih kamnin. Debelina sekvence v vzhodnem Nepalju je 10–20 km. V sestavu litosferskih plošč Nižja himalajska sekvenca, tako kot Tetidina Himalaja in Višja himalajska sekvenca, pripada severnemu kontinentalnemu robu Indijske plošče in predstavlja najjužnejši kamninski sestav oceana Tetide (Sorkhabi, 2010; Dhital, 2015).

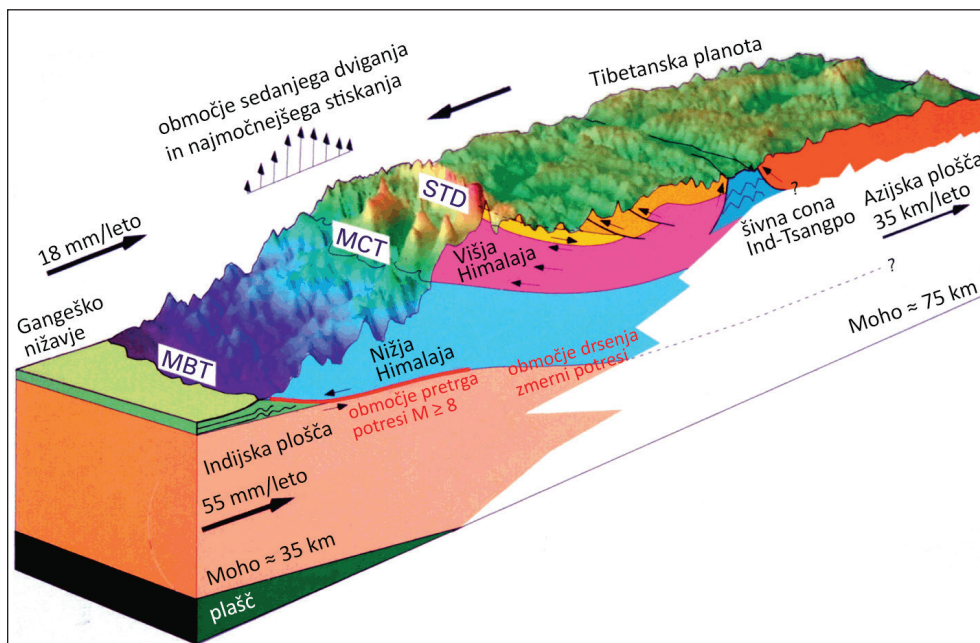
Znotraj Nižje himalajske sekvence so geologi kartirali tudi transportirane izolirane dele kristalinskih kamnin Višje himalajske sekvence in jih imenovali „zunanja kristalinska cona“ ali Višjehimalajske tektonske krpe. Te kamnine so bile premaknjene po Glavnem osrednjem narivu na Nižjo himalajsko sekvenco. Območje vzhodnega Nepala vsebuje zelo ozke pasove Nižje himalajske sekvence severno od Glavnega mejnega nariva in velika tektonska okna pod kristalinskimi pokrovi v globokih soteskah rek Arun in Tamor (Bordet, 1961; Upreti, 1999; Sorkhabi, 2010; Langille in sod., 2010; Dhital, 2015).

2.5 Podhimalaja ali pogorje Siwalik

Podhimalaja (tudi Subhimalaja ali Zunanja Himalaja) geografsko ustreza tektonsko naluskanemu predgorju Himalaje Siwalik z nadmorskimi višinami od 250 do 800 m. Na območju rek Arun in Tamor sekvenco Siwalik gradi 4–6 km debelo zaporedje peščenjaka, glinavca in konglomerata. Ti so nastali kot molasni sedimenti, ki izvirajo iz erozije Himalaje predvsem od miocena naprej (zadnjih 24 milijonov let) (Dhital in sod., 1995; Sorkhabi, 2010; Adhikari in sod., 2021).

Predgorje Siwalik je bilo v kvartarju, pred približno milijonom let, dvignjeno vzdolž strmih reverznih prelomov Glavnega čelnega nariva, ki so še vedno aktivni. Gre za niz „slepih“ prelomov, kjer prelomna ploskev ne doseže površja, in jih je mogoče kartirati samo na podlagi morfoloških elementov, ki so jih ustvarili. Ti prelomi so pogosto skriti pod aluvialnimi pahljačami grušča, naplavljenih s pobočij (Sorkhabi, 2010; Adlakha, Sain, 2022). Predgorje Siwalik predstavlja danes tektonsko najaktivnejši del Himalaje s sedimentnimi kamninami, ki tvorijo arhiv zaključne faze himalajskega dviga. Glavni čelni nariv označuje mejo med Siwalikom in Indsko-Gangeškim nižavjem (Adhikari in sod., 2021).

Slika 2: Blok diagram geotektonske zgradbe Himalaje s podatki o hitrostih aktivnih tektonskih premikov. (Vir: Searle, 2017). MBT – Glavni mejni nariv, MCT – Glavni osrednji nariv, STD – Južnotibetanski ločilni prelom.



3 Pregled geoloških raziskav širšega območja doline Baruna

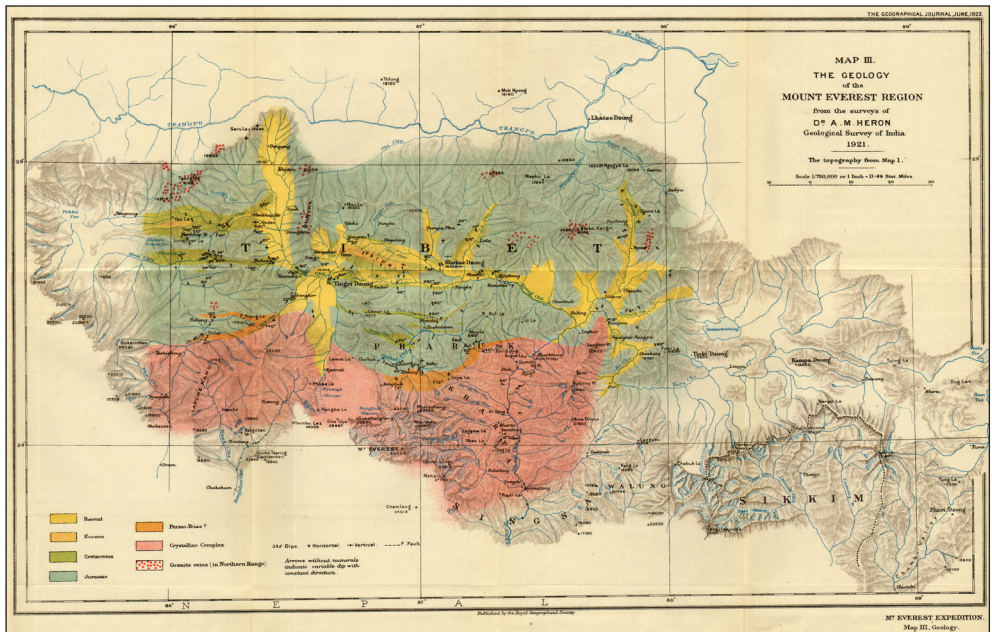
Celovite kritične preglede dosedanjih geoloških raziskav nepalske Himalaje so zbrali Stöcklin (2008), Carosi in sod. (2018), Searle, Treloar (2019) ter Adhikari in sod. (2021). V nadaljevanju predstavljamo njihov povzetek s citiranjem tam navedenih referenc.

Pred letom 1950 so bila iz Nepala objavljena le občasna geološka opažanja redkih obiskovalcev. Prve omembe geološke sestave najdemo v obsežnih „Himalajskih dnevnikih“ J. Hookerja (1854; cit. po: Stöcklin, 2008), ki se je po srednji in zgornji dolini Tamor (tudi Tambar) v vzhodnem Nepalju povzpela do tibetanske meje. Zapisal je svoja opažanja tudi o kamninah, ki jih je našel, predvsem skrilavce, blestnike, gnajse in granite. Omenil je pogosto pojavljanje turmalina v granitu in dejstvo, da se granit pogosto pojavlja kot žile v skrilavcih, vzporedno z njihovo laminacijo. V dolini Pemmi, vzhodnem pritoku srednjega Tamorja, je Hooker opazil, da blestniki tvorijo pobočja pod približno 1500 m n. v., gorske stene nad njimi pa so iz gnajsa. To je bila prva dokumentacija široko razširjenega himalajskega pojava, t. i. obrnjenega metamorfizma, ki je opisan v nadaljevanju.

Geološka spoznanja o območju Mount Everesta in Makaluja segajo v začetek 20. stoletja, ko sta A. Heron (1922; cit. po: Carosi in sod., 2018) in L. Wager (1934; cit. po: Carosi

in sod., 2018) raziskovala območje izvira reke Arun. Heron je izdelal geološko karto območja med Shishapangmo in kanjonom Yarlung Tsangpo v merilu 1 : 750.000 (Slika 3).

Slika 3: Geološka karta A. Herona iz leta 1921 (objavljena v: Heron, 1922) je prva, ki zajema del nepalske Himalaje z Mount Everestom in Makalujem.



K pionirskim študijam območja Mount Everesta so veliko prispevali alpinisti. N. Odell je bil geolog-alpinist na britanski odpravi na Everest leta 1924. Objavil je veliko izvornih geoloških opazanj s potovanja od Darjeelingu in Sikkima do tibetanske strani Everesta, zbral veliko vzorcev in izdelal geološko karto med ledeniško dolino Rongbuk (tudi Rongphu) in severnim pobočjem Mount Everesta v merilu 1 : 100.000 (Odell, 1925, 1948; cit. po: Searle, Treloar, 2019).

Po potresu v Biharju leta 1934 je J. Auden (1935; cit. po: Stöcklin, 2008) z Indijskega geološkega zavoda opravil več prečenj v vzhodnem in osrednjem Nepalju. V vzhodnem Nepalju je primerjal gnajse v obsežnih masivih dolin Arun in Tamor z Darjeeling gnajsi iz sosednjega Sikkima, o katerih je verjel, da tvorijo enega ali več velikih pokrovov, ki izvirajo iz kristalinskega jedra orogena in so narinjeni proti jugu čez Daling skrilavce. To je bil Audnov poskus razlage obrnjenega metamorfizma.

Leta 1939 sta A. Heim in A. Gansser (cit. po: Stöcklin, 2008), člana švicarske odprave leta 1936, objavila svojo klasično monografijo *Central Himalaya*, v katerih sta zelo podrobno opisala in ilustrirala svoja opazanja v himalajskem predgorju Darjeeling in predvsem na številnih prečenjih v zahodni Himalaji v neposredni zahodni soseščini Nepala. Potrdila sta pomembno vlogo narivne tektonike in identificirala dva večja narivna preloma, Glavni osrednji nariv in Glavni mejni nariv.

Z odprtjem države za tujce leta 1950 je Nepal kmalu prišel v središče zanimanja za himalajsko geologijo. To je bil čas klasične „deskriptivne geologije“ s terenskim pregledom, geološkim kartiranjem in opisovanjem opazovanih dejstev o kamninski zgradbi, stratigrafiji in strukturi kot primarnimi cilji. Nastalo je več odličnih monografij in geoloških kart različnih delov nepalske Himalaje.

Med prvimi tujimi raziskovalci, ki so v Nepal prišli na povabilo nepalske vlade, je bil leta 1952 švicarski geolog T. Hagen. Med desetletnim sistematičnim geološkim raziskovanjem pod pokroviteljstvom Združenih narodov je raziskal tako rekoč vso državo in zbral ogromno podatkov. V geološkem raziskovanju Himalaje je Hagново pionirsko delo brez primere. Čeprav je velik del njegovega gradiva, žal tudi večina njegovih geoloških kart, ostal neobjavljen, so se njegovi bistveni rezultati pojavili v več člankih in dveh bogato ilustriranih publikacijah (Hagen, 1968, 1969; cit. po: Gansser, 1964).

Po Hagnu so v Nepal kmalu prišli drugi geologi, nekateri so spremljali alpinistične odprave, kot A. Lombard (odprava na Mount Everest leta 1952) ali P. Bordet (odprava na Makalu leta 1954 in skupaj z M. Latreillom leta 1955). Ti raziskovalci so izdelali veliko izjemnih geoloških opisov in zemljevidov različnih sektorjev Višje Himalaje, kot je območje Everest-Makalu (Bordet, Latreille, 1958a, b; Bordet 1961) (Slika 4). Med najpomembnejšimi rezultati teh študij so podrobni opisi stratigrafije in strukture Tibetanske cone na severu, sestavljene predvsem iz zveznega paleozojsko-mezozojskega sedimentnega zaporedja, bogatega s fosili, ki običajno prekriva Višji himalajski kristalin (glej Sliko 1).

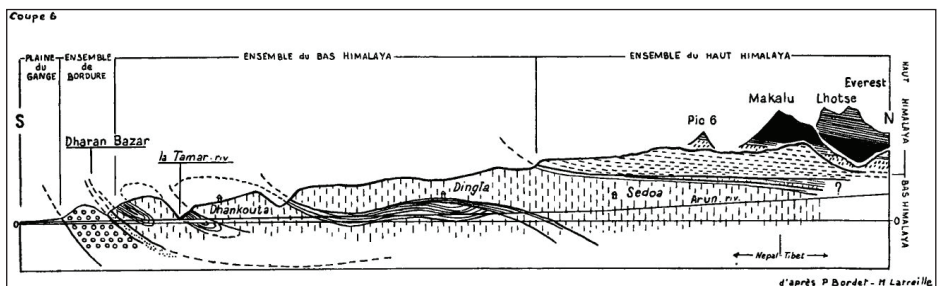
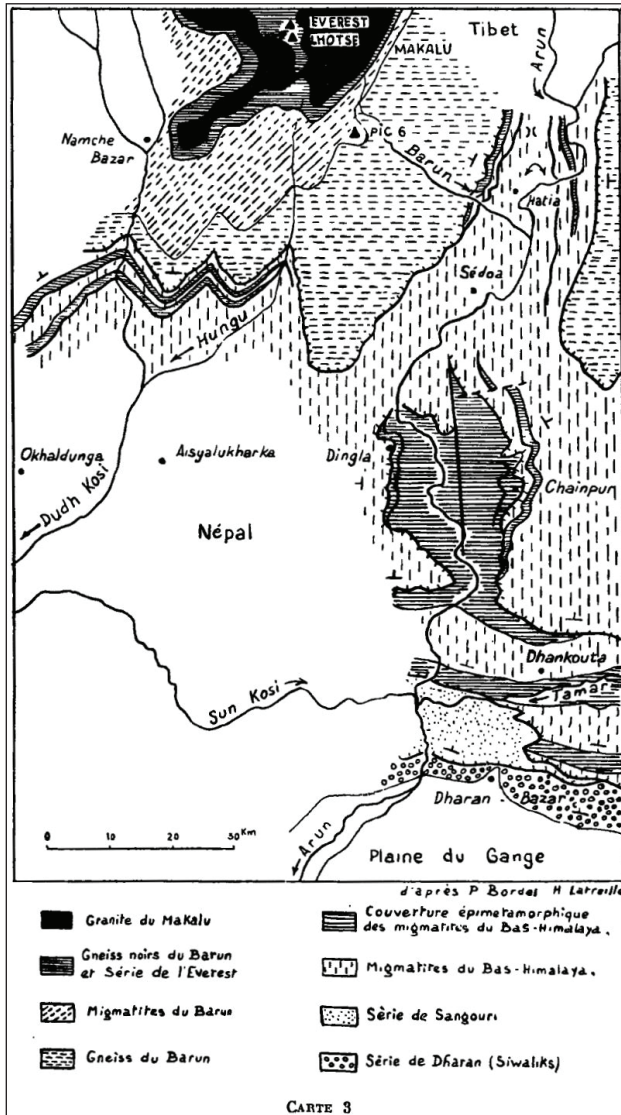
Monografiji Lombarda (1958) in Hagna (1969) ter knjigi Bordeta (1961) in Hagna (1963) so temelji geološkega znanja o vzhodnem Nepalju. Za geološko poznavanje območja Arun-Makalu so še posebej pomembne njihove geološke in tektonske karte.

S pojavom teorije tektonike plošč v poznih šestdesetih letih prejšnjega stoletja je Himalaja postala nekakšen testni primer „kolizijske verige“ (Le Fort, 1975). Po tej teoriji so bili vsi dogodki orogeneze – deformacije, metamorfizem in magmatizem – posledica subdukcije in/ali trka. Pri iskanju napetostnih in toplotnih učinkov subdukcije in kolizije na strukturo, metamorfizem in magmatizem so začele prevladovati mikrostrukturne, mineraloške in geokemične študije. V Nepalju so se osredotočile na Glavni osrednji nariv, ki je bil obravnavan kot struktura postkolizijske kontinentalne subdukcije. S tem se je fokus raziskav premaknil s površja v globlje dele Zemljine skorje, iz opazovanj v interpretacije, iz kartiranja v modeliranje.

V sedemdesetih letih prejšnjega stoletja so območje južno od Mount Everesta in Makaluja preučevale skupne italijansko-češke plezalne odprave. Italijanske ekipe so se osredotočile na južne strani gora Nuptse in Lotse (Bortolami in sod., 1976, 1977, 1983; cit. po: Carosi in sod., 2018) in objavile geološko karto doline Imja Khole v podrobnem merilu 1 : 25.000, ki jo je uredil R. Polino (1983). Češka ekipa z J. Jarošem in J. Kalvodo je svoje študije osredotočila na geomorfologijo in objavila več del z interpretacijami dinamike in razvoja vzorcev reliefa, povezanih z geološko zgradbo na območju Barun-Makalu-Mount Everest (Jaroš, Kalvoda, 1976, 1978; Kalvoda, 1978, 1979a, b, 1982, 1984).

V člankih Jaroša in Kalvode (1976 in 1978) je objavljena geološka karta Kumbakarna Himala in širšega odseka vzdolž doline Baruna med masivom Mount Everesta in dolino Aruna. Podrobne petrografske opise in kemije kristalinskih kamnin s tega območja so objavili M. Palivcová in sod. (1982).

Slika 4: Geološka karta in profil območja med dolino Aruna, Makalujem in Everestom P. Bordeta in M. Latreilla iz leta 1958. (Vir: Latreille, 1959)



Istočasno so kitajske odprave na Mount Everest v šestdesetih in sedemdesetih letih omogočile C. H. Yinu in S. T. Kuoju (1978; cit. po: Carosi in sod., 2018), da sta prikazala rezultate geoloških raziskav z območja severno od Mount Everesta na karti v merilu 1 : 100.000.

Leta 1983 je J. P. Burg (cit. po: Carosi in sod., 2018) prvi prepoznal in kartiral Južnotibetanski ločilni prelom na meji med Tetidino sedimentno sekvenco in Višjo himalajsko sekvenco. To odkritje je močno vplivalo na pogled na himalajski pas in na razvoj tektonskih modelov in je še vedno ena glavnih tem v proučevanju Himalajskega gorstva.

Geološko kartiranje in strukturna analiza D. Schellinga (1992, 1999) sta privedla do nove geološke karte vzhodne nepalske Himalaje merila 1 : 650.000, ki vključuje območje od meje Sikkima na vzhodu do Katmandujske doline na zahodu in od vrhov Višje Himalaje na severu do nižine Gangesa na jugu.

Po več odpravah italijanske ekipe geologov z univerz v Pisi, Torinu in Padovi ter CNR na nepalsko in tibetansko stran Mount Everesta, Cho Oyuja in Makaluja so R. Carosi in sod. (1999) objavili geološko karto v merilu 1 : 100.000, ki vključuje spodnji del Višje himalajske sekvence in dno Tetidine sedimentne sekvence. Vzhodni del istega območja je kartiral M. P. Searle (2003) v merilu 1 : 100.000 in sledil Južnotibetskemu ločilnemu prelomu. Druga izdaja te geološke karte Searle (2007) vključuje tudi gori Baruntse in Makalu ter območje barunskega ledenika.

Podrobnejše študije območja Arun–Makalu obravnavajo strukturno analizo, petrografijo, conacijo metamorfnih kamnin, geokronologijo in geofiziko (npr. Lombardo in sod. 1993; Pognante, Benna, 1993; Goscombe, Hand, 2000; Visonà, Lombardo, 2002; Searle in sod., 2003, 2006, 2008; Kalvoda in sod., 2004, 2013; Goscombe in sod., 2006, 2018; Groppo in sod., 2007, 2012; Kalvoda, 2007, 2020; Corrie in sod., 2010; Streule in sod., 2010a, 2012; Yoshida in sod., 2011; Ferrero in sod., 2012; Mosca in sod., 2012; Rolfo in sod., 2015; Kalvoda, Emmer, 2021).

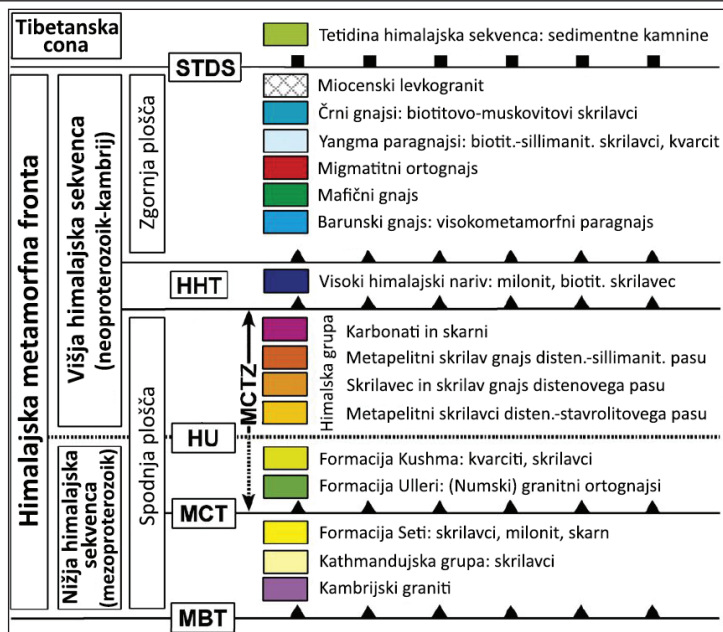
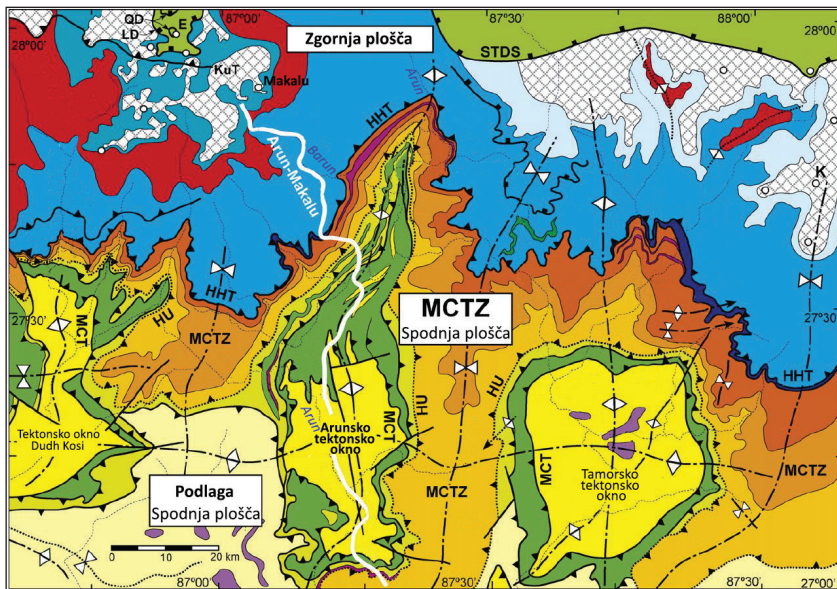
Za zadnjih trideset let je značilna krepitev geoloških institucij v Nepalju z ustanovitvijo Nacionalnega seizmološkega centra, začetkom raziskovanj za nafto v južnem predgorju Himalaje, okrepitevijo in posodobitvijo klasičnih geoloških raziskav ter močno vpetostjo v aplikativne geološke raziskave in ocenjevanje geološko pogojenih nevarnosti (proženja zemeljskih plazov, skalnih podorov in potresne nevarnosti).

4 Geologija širšega območja doline Baruna

Geološka zgradba je v tem poglavju predstavljena z opisi vzdolž običajne pohodniške poti iz doline reke Arun do baznega tabora pod Makalujem in višje ob Zgornjem barunskem ledeniku (Slika 1, str. 58). Opisane so prevladujoče kamnine v litotektonskih enotah, glavni strukturno-tektonski elementi in geološke posebnosti, ki jih prečkamo na tej poti.

A. Lombard (1958) in P. Bordet (1961) sta postavila temelje opredelitve glavnih litoloških enot tega območja in koncept obsežnih naravnih pokrovov kot sestavnih delov Himalaje. Bordetova razčlenitev na spodnji Barunski metasedimentni gnajs, Barunski migmatitni gnajs in Črni gnajs, ki so prekriti s Tetidino sedimentno sekvenco ali Everestovo serijo

Slika 5: Geološka karta in litostratigrafski stolpec vzhodnega Nepala. Prirejeno po: Goscombe in sod. (2006, 2018) in Imayama in sod. (2020), ki so karto izdelali na podlagi kart Bordeta (1961), Shresthe in sod. (1984), Lombarda in sod. (1993), Pognanteja in Benne (1993) in lastnih terenskih kart. Strukturni simboli označujejo glavne orientacije foliacije in lineacije mineralnih skupkov. Okrajšave glavnih struktur: STD – Južnotibetanski ločilni prelom, HHT – Visoki himalajski nariv, HU – Himalajska diskordanca, MCT – Glavni osrednji nariv, MCTZ – Glavna osrednja narivna cona, MBT – Glavni mejni nariv, MFT – Glavni čelni nariv. Višje gore: E – Everest, M – Makalu, K – Kangchenjunga.



in presekani z žilami Makalujskega granita, je še vedno osnovni okvir za vse poznejše litotektonske razčlenitve (npr. Lombardo in sod., 1993; Pognante, Benna, 1993; Carosi in sod., 1999; Searle 1999; Viskupic, Hodges, 2001). Povprečni vpad večine strukturnih elementov na tem območju je okrog 20° proti severu, kar pomeni, da naštete enote prečkamo po skoraj pravi stratigrafski debelini (Goscombe in sod., 2006) (Slika 5).

4.1 Arunsko tektonsko okno in metamorfna podlaga Nižje Himalaje

Kraj Tumlingtar, izhodišče mnogih himalajskih odprav, leži skoraj v sredini Arunske antiklinale, ogromne izbočene gube z osjo približno v smeri sever–jug, ki dominira v regionalni tektonski strukturi od spodnje doline Aruna do južne tibetske planote z odklanjanjem regionalnega vzhod–zahod usmerjenega trenda litotektonskih stikov proti severu (Slika 5). Medsebojni preplet narivanja, gubanja in erozije je v tem območju ustvaril in razgalil Arunsko antiklinalo v impresivnem Arunskem tektonskem oknu, ki v svojem erodiranem jedru vsebuje nizkometamorfne kamnine Nižje himalajske sekvence. Predstavlja jih okrog 6000 m debelo proterozojsko metasedimentno zaporedje skrilavcev, filita in gnajsov. Te kamnine so od spodaj navzgor zastopane v formacijah Seti, Ulleri in Kushma (Bordet, 1961; Schelling, 1992; Upreti, 1999; Dhital, 2015).

Profil Arun–Makalu seka zahodno krilo Arunske antiklinale. V Tumlingtarju v njenem jedru nastopa najstarejša enota, formacija Seti (Slika 5).

Formacija Seti

Bazalna nižjehimalajska sekvenca je monotono zaporedje nizkometamorfni drobnozrnatih, blede sivozelenih, sericitno-kremenovo-kloritovih skrilavcev in metapelitnega skrilavega milonita mezoproterozojske formacije Seti, imenovane tudi enota Tumlingtar (Shrestha in sod., 1984). Miloniti so močno deformirane kamnine, ki nastajajo s strižnimi deformacijami v duktilnih ali lomno-duktilnih razmerah strižnih con. Milonit je strukturni termin, neodvisen od mineralne sestave. Miloniti imajo praviloma dobro razvito foliacijo, prepleteno ali lečasto, ki je izražena s ploskovno razporeditvijo sploščenih mineralnih zrn. Značilni so razpotegnjeni kristali lečaste ali trakaste oblike. Pri procesu milonitizacije iz debelozrnatih izvornih kamnin (protolitov) polagoma nastajajo drobnozrnate in laminirane metamorfne kamnine. Fragmente protolita v milonitu imenujemo porfiroblasti ali očesa. Formacija Seti vsebuje tudi tanke pasove (1–10 cm) amfibolovega skrilavca, granatovo-rogovačnega skarna (karbonatno-silikatna metamorfna kamnina, nastala na stiku magme in karbonatnih kamnin), sljudnega marmorja in kvarcita (Goscombe in sod., 2018).

4.2 Glavna osrednja narivna cona in obrnjeno metamorfno zaporedje

Če se od Tumlingtarja odpravimo po cesti proti severu, približno na polovici poti do Khandbarija, na 890 m n. v., pridemo iz formacije Seti v formacijo Ulleri (ali Numski ortognajs), ki se pojavlja v osi Arunske antiklinale. Pri tem smo prečkali Glavni osrednji

nariv, spodnjo mejo Glavne osrednje narivne cone. Če pa pot nadaljujemo ob strugi reke Arun, ta nariv prečkamo tik nad Baluwabesijem nad sotočjem Aruna in doline Irkhuwa Khola na pribl. 600 m n. v.

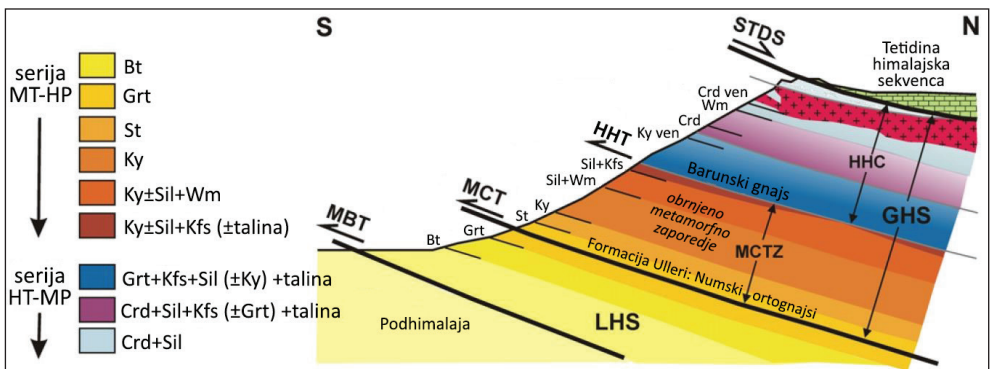
Narivne luske in duktilna strižna cona, ki jo označujejo popolnoma milonitizirane kamnine, ločujejo formacijo Seti od formacije Ulleri. To je Glavni osrednji nariv (MCT I; po Aritu (1983) ali nižji MCT po Imayami in sod. (2020)).

Glavna osrednja narivna cona

Glavni osrednji nariv (MCT) je tradicionalno veljal za glavni intrakontinentalni narivni prelom, ki ločuje visokometamorfne kamnine Višje himalajske sekvence od šibko metamorfoziranih ali nemetamorfoziranih kamnin Nižje himalajske sekvence. V zahodnem Nepalju se trasa nariva približno ujema s topografsko stopnjo, ki ločuje vrhove, nižje od 4000 m n. v., južno od nariva od visokih himalajskih vrhov na severu (Upreti, 1999). Najzgodnejši poskus kartiranja MCT je izvedel Bordet (1961), ki ga je umeščal vzdolž izrazitega pelitnega pasu z distenom znotraj sillimanitnih gnajsov v dolini Aruna, vendar ni opisal nobenih strukturnih kriterijev, ki bi podprli to umestitev. Vzdolž istega pelitnega pasu so ga umestili Lombardo in sod. (1993) ter Pognante in Benna (1993), ki so kartirali MCT severneje do Kharte v južnem Tibetu (Searle in sod., 2008).

Ker Glavnega osrednjega nariva ni bilo mogoče identificirati kot jasne narivne ploskve po kakršni koli ostri strukturni ali metamorfni nezveznosti, so jo začeli obravnavati kot nekaj kilometrov debelo cono duktilnih strižnih deformacij in postopne

Slika 6: Shematski prečni prezek čez nepalsko Himalajo med Arunom in Mount Everestom, ki prikazuje obrnjeno metamorfno zaporedje na podlagi indeksnih mineralov (Vir: Goscombe in sod., 2006; Searle in sod., 2008; Mosca in sod., 2012; Rolfo in sod., 2015; Goscombe in sod., 2018). GHS – Višja himalajska sekvenca; HHC – Višji himalajski kristalin; MCTZ – Glavna osrednja narivna cona; LHS – Nižja himalajska sekvenca; MBT – Glavni mejni nariv; MCT – Glavni osrednji nariv; STDS – Južnotibetanski ločilni prelom. MT–HP – srednja temperatura, visok tlak; HT–MP – visoka temperatura, srednji tlak. Bt – biotit; Grt – granat; St – stavrolit; Ky – kianit (disten); Sil – sillimanit; Crd – cordierit; Ms – muskovit; Wm – bela sljuda, Kfs – K-glinenec.



spremembe stopnje metamorfoze. Ta Glavna osrednja narivna cona (MCTZ) je ena največjih znanih duktilnih strižnih con iz katerega koli kolizijskega orogena (npr. Goscombe in sod., 2006; Yin, 2006; Searle in sod., 2008; Martin, 2017). To je narivna cona, sestavljena iz niza narivnih ploskev, nagnjenih proti severu, ki poteka na dolžini več kot 2000 km vzdolž celotne Himalajske verige in je debela od 100 m do nekaj km. Ta močna struktura potiska zgornji del GHS oz. Višji himalajski kristalin (HHC) z visokometamorfnimi kamninami nad nizkometamorfnimi kamninami Nižje himalajske sekvence in je v zgodnjem eocenu akomodirala več kot 100 km stiskanja skorje pri koliziji Evrazijske in Indijske plošče (npr. Le Fort, 1975; Hodges, 2000; DeCelles in sod., 2001; Mosca in sod., 2012).

Ena od posebnosti MCTZ, ki je prisotna vzdolž celotne Himalajske verige, je dobro dokumentirano obrnjeno metamorfnno zaporedje (npr. Bordet 1961; Le Fort, 1975; Arita, 1983; Brunel, Kienast 1986; Jessup in sod., 2006). To pomeni, da se metamorfne kamnine normalnega Barrovijskega metamorfnega zaporedja od visoko do nizkometamorfnih pojavljajo postopoma vedno globlje. Stopnja metamorfoze v MCTZ se povečuje navzgor od nižje do zgornje strukturne ravni v LHS do HHT v srednjem delu HHC, nato pa se od sredine do zgornjega dela HHC proti Južnotibetanskemu ločilnemu prelomu (STD) zmanjšuje (Sliki 5 in 6).

To je razvidno že, če pogledamo mineralne združbe v kamninah različnih strukturnih ravni. Te združbe vsebujejo različne značilne minerale, ki kažejo na različne metamorfne razmere. V grobem je mogoče razlikovati srednjetermperaturne, visokotlačne (MT–HP) metamorfne serije v nižjih strukturnih nivojih in visokotemperaturne, srednjetermperaturne (HT–MP) serije v višjih strukturnih nivojih. Metamorfne združbe segajo od kloritovega in granatovega pasu nizke stopnje (v LHS) do granatovega-biotitovega, stavrolitovega in distenovega (kianitovega) srednjega pasu (v spodnji MCTZ), do visokega sillimanitovega pasu in nadalje do pasu začetka delnega taljenja (anatekse) z razgradnjo muskovita in tvorbo kalijevega glinenca (v zgornji MCTZ). Nad MCTZ je anateksa zelo razširjena v HHC in je zabeležena v kamninah z distenom (v spodnjem HHC) in v kamninah s cordieritom (v zgornjem HHC) (Slika 6). Ta pojav so v profilu Arun–Makalu raziskovali Lombardo in sod. (1993), Pognante, Benna (1993), Goscombe, Hand (2000), Kalvoda in sod. (2004, 2013), Goscombe in sod. (2006, 2018), Searle in sod. (2008), Groppo in sod. (2009, 2012, 2013), Streule in sod. (2010a), Rolfo in sod. (2015) in Imayama in sod. (2020).

Tlačno-temperaturne (P-T) razmere, povezane s tem obrnjenim metamorfizmom, kažejo na najvišje mejne razmere, za katere je značilno, da se temperatura (T) dvigne s 570 na 750 °C pri konstantnem tlaku (P) okoli 8 kbar od dna do vrha zaporedja (Mosca in sod., 2012).

Formacija Ulleri (Numski ortognajs)

Najnižja enota Glavne osrednje narivne cone je formacija Ulleri (*Migmatites du Bas Himalaya* po Bordetu, 1961; *Num Orthogneiss* po Lombardu in sod., 1993). Tvori tektonsko lusko širine 200–600 m, ki je v celotnem Nepalju narinjena v srednji del Nižje himalajske sekvence. Zanj je značilna kamnina je močno milonitiziran, lateralno zvezen granitni ortognajs s prehodi v očesni ortognajs mezoproterozojske starosti

(~1850 m. l.) (Goscombe in sod., 2006). Vsebuje velika zrna glinenca, biotita in muskovita z rdečim granatom in modrim ali zelenim distenom. Vmes je tudi nekaj amfibolitnih pasov, plasti pa sekajo številne pegmatitne in aplitne žile. V zgornjih delih so luske formacije Ulleri podvojene, vmes so narinjene še luske s formacijo Kushma, v spodnjem delu pa so močno prepletene s skrilavim milonitom formacije Seti (Goscombe in sod., 2006).

Če od Numa izberemo pohodniško pot proti SZ po zahodnem pobočju Kasuwa Khole na nadmorski višini 1550 m nad strugo Aruna pri Seduwi, pridemo iz formacije Ulleri v formacijo Kushma.

Formacija Kushma

Formacija Kushma (Shrestha in sod., 1984) na vrhu Nižje himalajske sekvence je tanek, 100–750 m debel paket metasedimentnih kamnin. V spodnjem delu je sestavljen iz kremenovo-muskovitovega skrilavca (blestnika) z granatom, turmalinom in redkeje s stavrolitom in distenom. Blestnikom sledijo kvarciti, ki vsebujejo biotit, granat in disten. Pogosta so menjavanja belih pasov z debelejšimi pasovi sive ali rdečerjave barve. Med temi kvarciti najdemo tudi plasti skarna, grafitnega skrilavega milonita in modrozeleni amfibolov skrilavec (Goscombe in sod., 2018). Na kvarcitih ležijo modro-sivi filiti s številnimi lepimi kristali rdečega granata in sericita ter kremena. Sledi horizont črnega grafitnega skrilavca, temu pa spet kvarciti v belih in zelenih različicah, ki pogosto vsebujejo nekaj klorita. Zaporedje se nadaljuje s skarni, ki jih predstavljajo rumeni ali rdeči filiti z rumenosivimi karbonatnimi pasovi, in svetlo zelenimi amfiboliti. Vrh zaporedja spet tvorijo filiti, ki so običajno blede rumene barve (Dhital, 2015).

Na nadmorski višini 1800 m pod Tashigaonom prečkamo Himalajsko diskordanco in pridemo iz formacije Kushma v Himalsko grupo Glavne osrednje narivne cone. S tem smo iz Nižje Himalaje prišli v Višjo Himalajo. Če bi izbrali pot po južnem pobočju doline Baruna (Barun Nadi), bi to mejo prečkali približno na polovici poti med Dhunjungom in Chamlingmo.

4.3 Čez Himalajsko diskordanco v Višjo himalajsko sekvenco

Mezoproterozojska Nižja himalajska sekvenca in na njej ležeča neoproterozojsko-kambrijska Višja himalajska sekvenca se jasno razlikujeta po litološkem zaporedju, izotopski sestavi in starosti. V vzhodnem Nepalju ta meja ne sovпада z nobenim prelomom ali strižno cono, zato nima večjega strukturnega pomena. Mejo med tema dvema sekvencama so zato poimenovali Himalajska diskordantna meja (nezveznost; *Himalayan Unconformity* – HU) (Goscombe in sod., 2006). Kot je bilo ugotovljeno tudi drugje v Himalaji (npr. Searle in sod., 2002), se ta meja pojavlja znotraj široke Glavne osrednje narivne cone (MCTZ) nad Glavnim osrednjim narivom (MCT), ki je po prvotni definiciji ločil ti dve sekvenci (po: Heim, Gansser, 1939; Gansser, 1964; Goscombe in sod., 2006, 2018).

Himalaska grupa

Spodnje enote Višje himalajske sekvence predstavlja močno strižno deformiran paket metapelitnih skrilavcev in gnajsov s podrejenimi pasovi kvarcita, amfibolita in skarna (Goscombe, Hand, 2000). Ta paket, debel približno 800 m, ki ga sestavlja obrnjeno metamorfno zaporedje zmernih T/visokih P, so poimenovali Himalaska grupa (*Himal Group*) (Bordet, 1961; Shrestha in sod., 1984; Lombardo in sod., 1993). Metamorfne mineralne združbe se skozi Glavno osrednjo narivno cono spreminjajo, kartiranje posameznih pasov pa je dodatno oteženo zaradi narivnih lusk, ki podvajajo zaporedja. Znotraj Himalске grupe od spodaj navzgor nastopa značilna metamorfna conacija kamnin: (1) metapelitni skrilavci distenovo-stavrolitovega pasu z epidotom in amfibolit v najnižjih ravneh (1400 m n. v.), (2) debelozrnati skrilavec in skrilav gnajs distenovega pasu, (3) metapelitni skrilav gnajs distenovo-sillimanitovega pasu z granatom in amfibolitom in z vodo nasičenimi delno nataljenimi polji na najvišjih nivojih (Lombardo in sod., 1993; Goscombe, Hand, 2000; Goscombe in sod., 2018).

Med 2900 in 3200 m n. v. nad Sademo (Dhara Kharko) pri prečkanju vzhodnega pobočja 3110 m visoke Unshise prečkamo pribl. 300 m debelo cono Visokega himalajskega nariva in pridemo iz Glavne osrednje narivne cone v Višji himalajski kristalin. Ob tem prehodu smo prišli s Spodnje na Zgornjo ploščo. Severneje, ob dolini Baruna, je cona HHT debela samo okrog 100 metrov in jo prečkamo pri Bagareju.

4.4 Visoki himalajski nariv in Višji himalajski kristalin

Visoki himalajski nariv (HHT) je 100–400 m široka strižna cona močnih deformacij v Zemljini skorji, ki označuje tako jasno nezveznost v tektonskem napetostnem polju in deformacijskem slogu kot osrednjo strukturo znotraj pasu hitre spremembe v stopnji metamorfoze ter času glavne faze deformacije in metamorfizma. HHT je v vzhodnem Nepalju na visokih strukturnih ravneh (med 2000 in 3400 m n. v.) razdelil Himalajsko metamorfno fronto (HMF) na Spodnjo ploščo in Zgornjo ploščo (Slika 5). Ta „skrita tektonsko-metamorfna meja“ je torej osrednja orogenska struktura, ki je usmerjala razvoj in metamorfno strukturo HMF. Usmerja tudi iztiskanje (ekstruzijo) kamnin srednje skorje izpod Tibetanske planote proti jugu (Searle in sod., 2003; Goscombe in sod., 2006, 2018).

HHT se torej nahaja znotraj Višje himalajske sekvence in ne sovпада z diskordanco med GHS in LHS. V osrednjem in zahodnem Nepalju je to drugače; meja Zgornja/Spodnja plošča tam sovпада z MCT in je v bližini diskordance med GHS in LHS. Kljub temu je meja med Zgornjo in Spodnjo ploščo neprekinjena in enako izražena med obema regijama. Razlike v stratigrafskem in strukturnem nivoju meje med Zgornjo in Spodnjo ploščo kažejo, da se osnovna arhitektura HMF spreminja vzdolž himalajskega orogena. Debelina Višje himalajske sekvence znotraj MCTZ narašča od osrednjega Nepala in čez vzhodni Nepal do Sikkima in Butana. Poleg tega se debelina Zgornje plošče poveča s 1000–2000 m v osrednjem Nepalju na 4300–6000 m v vzhodnem Nepalju. Ta sprememba v arhitekturi HMF se začne ravno približno na zemljepisni dolžini Mount Everesta (Goscombe in sod., 2018).

Tektonizirane kamnine HHT so močno podvržene eroziji, zato so njihovi izdanki redki, v pobočju pa ustvarjajo strmo stopnjo pred bolj strmim terenom na odpornem Barunskem gnajsu, ki leži na njih (Goscombe in sod., 2018; Imayama in sod. 2020).

Barunski gnajs

Najnižjo enoto Višjega himalajskega kristalina tvori zelo debela (do 5000 m) formacija Barunskega gnajsa. Sestavljajo jo lepo plastnati visokometamorfni metasedimenti granulitnega in migmatitnega faciesa. To so drobnozrnati (pelitni) paragnajsi, za katere so značilni tanka pasovitost (1–10 mm), vključki debelejših zrn, zelo pogosto pojavljanje sillimanita in granata ter odsotnost muskovita (Brunel, Kienast, 1986; Lombardo in sod., 1993; Pognante, Benna, 1993; Goscombe, Hand, 2000; Streule in sod., 2010a). Pasovi so opredeljeni z izmenjujočimi se plastmi belih (kremen in glinenec) in črnih (biotit) mineralov (Slika 7). Nekateri rumenkasti pasovi, bogati s sillimanitom, tvorijo tipične drsne površine. Pogosti so migmatitni različki Barunskega gnajsa. Migmatit je „mešana kamnina“, sestavljena iz granita in starejše kamnine, ki se intimno prepletata. Nastane pri delnem nataljevanju (anateksi), pri čemer rekristalizira v vmesno stanje med magmatskim in metamorfnim. Značilni so za območja visoke stopnje regionalne metamorfoze in za kontaktno-metamorfne cone ob granitnih intruzijah. Na nekaterih območjih je gnajs bogat z modrim distenom, na drugih pa vsebuje plasti nečistih marmorjev s piroksenom in črnimi amfiboli. Na nekaterih mestih so v gnajsih zelo veliki pravilni (idiomorfni) rožnato-rdeči kristali granata, ki dosežejo velikost 15 cm, nekateri nepravilni (ksenomorfni) pa celo 20–25 cm (Slika 8). Običajno drobnozrnati glinenci so ponekod debelejši in tvorijo očesni gnajs, pri čemer očesa dosežejo velikost 8–10 cm. V spodnjem delu enote se pojavljajo tudi amfiboliti, pogosto z granatom, ki jih spremljajo modrikaste plasti marmorja (Kalvoda, 1979, 2007; Mosca in sod., 2011; Groppo in sod., 2013; Kalvoda in sod., 2013; Rolfo in sod., 2015).

V Barunskem gnajsu je jasno vidnih več generacij levkosom (svetlih granitnih talin), ki lahko tvorijo od nekaj milimetrov do 3 m debele vzporedne (konkordantne) plasti levkogranitnega ortognajsa, ki vsebujejo granat in prizmatični sillimanit, do levkogranitnih žil in leč s cordieritom, ki sekajo plasti gnajsa. Tako skladne kot neskladne levkosome so presekanke z miocenskimi levkogranitnimi dajki (Visonà, Lombardo, 2002).

Plasti Barunskega gnajsa imajo na splošno blage naklone kljub nekaterim močno povitim, tudi poleglim gubam in tvorijo mogočne stene (Slika 9). Njihova intenzivna pasovitost, spreminjanje sestave in zlasti vključki marmorja nakazujejo na izvor iz debelega zaporedja sedimentnih kamnin (Gansser, 1964).



Slika 7:

Migmatiziran Barunski gnajs z nezvezno foliacijo (pasovitostjo), ki jo opredeljujejo bele kremenovo-glinenčeve domene centimetrskih debelin, ki se izmenjujejo s temnimi plastmi z biotitom, sillimanitom in rdečimi zrni granata (Foto I. Mrak, 2014)



Slika 8:

Velika hipidiomorfna (nepravilna) zrna granata v debeli kremenovi domeni iz Barunskega gnajsa. (Foto I. Mrak, 2014)

Slika 9:

Močno naguban pasoviti biotitov paragnajs v formaciji Barunskega gnajsa pri Tadosi nad Jak Kharko na pribl. 4150 m n. v. Kamnina je določena na podlagi podatka k pozneje posneti fotografiji istega mesta v članku Kalvode (1979, sl. 7 z zamenjanim podnapisom s sl. 6). (Foto J. Kunaver, 1972)



Na 4600 m n. v., tik pod Šeršonom, ko pot zavije proti severu do baznega tabora pod Makalujem, pridemo iz Barunskega gnajsa v Migmatitni ortognajs (Slika 10).



Slika 10:

Južna stena Makaluja iz doline Baruna nad Šeršonom
(Foto J. Kunaver, 1972);

spodaj skica iz članka Gansserja (1964) s prikazom litoloških členov, povzetih po: Bordet (1961). 1 – Makalujski granit, 2 – cona vtiskanja, 3 – Črni gnajsi, 4 – amfiboliti, 5 – Barunski gnajsi

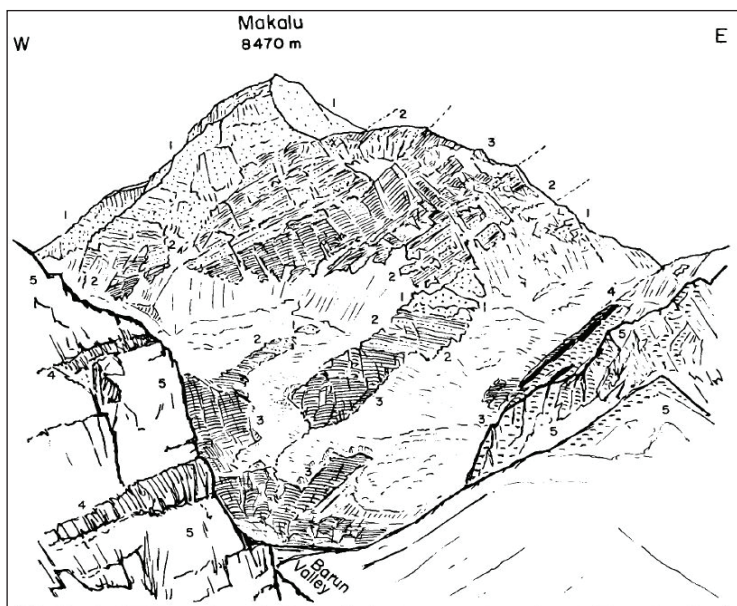


Fig.107 The Makalu with its granite intrusions; drawn after photo by Ch. EVANS (Berge der Welt, 1955), geology after P. BORDET (1961)

- | | | |
|------------------|------------------|------------------|
| 1 Makalu granite | 3 black gneisses | 5 Barun gneisses |
| 2 injection zone | 4 amphibolites | |

Migmatitni ortognajs

Formacija Migmatitnega ortognajsa je sestavljena iz velikih teles granitnega do granodioritnega ortognajsa, ki izvirajo iz granitov zgodnjepaleozojske starosti. Litološki prehod iz spodaj ležečih Barunskih gnajsov je postopen s postopnim povečevanjem števila in velikosti kristalov glinenca, izginjanjem granata in tudi širjenjem svetlih levkogranitnih žil. Značilna je dobro izražena pasovitost (Slika 11), prisotnost lečastih teles in dajkov mlajšega granita s cordieritom ter povsod prisotno pojavljanje vijoličastega cordierita v ortognajsu (Bordet, 1961) (Slika 12). Debelina formacije Migmatitnega ortognajsa je v dolini Baruna le 500 m, proti vzhodu pa se povečuje do 1500 m. Proti zahodu jo je mogoče povezati s široko razširjenimi migmatiti Namche Bajarja, ki jih je Lombard (1958) opisal kot Namche migmatitni ortognajsi.

Slika 11:

Ploščati bloki pasovitega migmatitnega ortognajsa nad levim bregom doline Baruna, na višini okrog 5450 m n. v. na zahodnih pobočjih grebena pod koto 6240 m. (Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 12:

Blok migmatitnega ortognajsa z vijoličastimi levkosomami s cordieritom. (Foto I. Mrak, 2014)



Na 5100 m n. v., nad jezerom Barun (Dud) Pokri v spodnjem delu Zgornjega Barunskega ledenika iz migmatita pridemo v formacijo Črnih gnajsov. Kamninska podlaga na Črnih gnajsih je razvita vzdolž nižjih delov vzhodnih sten Pika 4, pod višinskima točkama 5860 in 6260 m ter v ospredju jugozahodne stene Makaluja. Iz dna doline se dvigajo stene z nazobčanimi vrhovi, v katerih že od daleč zlahka prepoznamo Črne gnajse, zlasti na grebenih in skalnih stenah Pika 4, Baruntseja, Čaga in Makaluja (Kalvoda, 2007; Kalvoda in sod., 2013).

Črni gnajsi

Migmatiti postopoma prehajajo navzgor v značilne črne gnajse, ki tvorijo vznožja visokih vrhov Everestove skupine. Ti gnajsi so zelo drobnozrnati, lepo plastnati in pasoviti biotitovo-sillimanitovi paragnajsi in blestniki metasedimentnega izvora (Slika 13). Temno barvo dajejo zelo velike količine biotita. Gnajsi so razmeroma mehki in zviti, zlasti v zgornjem delu. Vmes se pojavijo tudi redki amfibolitni pasovi z rogovačo in granatom. Črni gnajsi vsebujejo granat in vijolični cordierit v obliki nekajmilimetrskih zrn ali celo v večcentimetrovskih pravilnih kristalov (Slika 14). Pogoste so tudi nekaj centimetrov debele kremenove žile z izraženo strukturo tlačnega ali strižnega budiča, ki povzročata nastanek kremenovih gomoljev z vlaknastim sillimanitom (Bortolami in sod., 1983; Lombardo in sod., 1993) (Slika 15).

Debelino črnih gnajsov je težko natančno oceniti, saj spodaj postopno prehajajo iz migmatitov, v zgornjem delu pa so prepredeni z gosto mrežo vtisnjenega Miocenskega levkogranita (Slike 16, 17, 18). Njihova ocenjena debelina se giblje od 1500 do 2000 m (Bordet, 1961; Carosi in sod., 1999). Formacija Črnega gnajsa ustreza Yangma Paragnajsu v najbolj vzhodnem delu Nepala in biotitovo-muskovitovemu gnajsu iz formacije Rongbuk, ki se pojavlja predvsem na tibetanski strani Mount Everesta (Lombardo in sod., 1993; Pognante, Benna, 1993; Carosi in sod., 1999; Goscombe in sod., 2018).



Slika 13:

Pasovit biotitovo-sillimanitov paragnajsi formacije Črnih gnajsov v konkordantnem stiku z debelo žilo levkogranita.
(Foto I. Mrak, 2014)

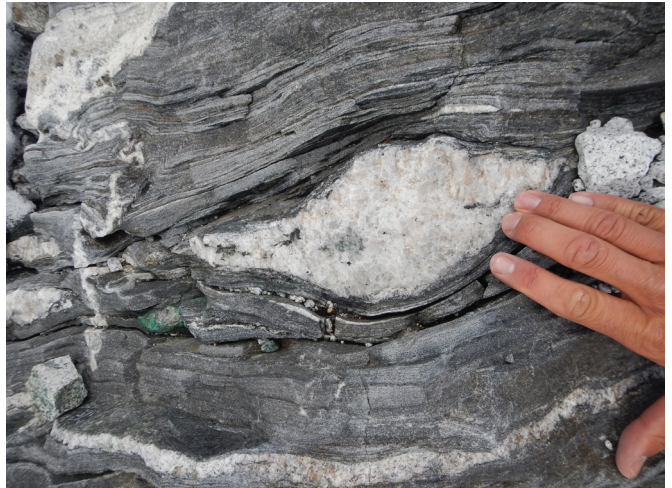
Slika 14:

Črni gnajs s cordieritom. Glavno foliacijo določajo levkokratne (svetle) kremenovo-glinenčeve domene z rdečimi granatnimi porfiroblasti, delno nadomeščenimi s cordieritom, ki se izmenjujejo s temnimi cordieritno-biotitno-sillimanitnimi plastmi z granati; primerjaj s sliko 5a v članku Rolfa in sod. (2015). (Foto I. Mrak, 2014)



Slika 15:

Budin iz kremenove žile v milonitnem metapelitnem paragajnu. (Foto I. Mrak, 2014)



Slika 16:

Barunski gnajs migmatitnega faciesa z jasno izraženo glavno milonitno foliacijo (pasovitostjo) in najmanj dvema generacijama intruzij granitnih žil, ki so vzporedne ali pa sekajo glavno foliacijo. (Foto I. Mrak, 2014)





Slika 17:

Asimetrično nagubane levkogranitne žile v migmatitnem različku Črnih gnajsov. (Foto I. Mrak, 2014)



Slika 18:

Sillimanitov migmatit z asimetrično nagubano granitno žilo, ki je prekinjena, kar kaže na delno taljenje. (Foto I. Mrak, 2014)

Na pribl. 6050 m n. v., nad Zgornjim barunskim ledenikom, iz Črnih gnajsov pridemo do Miocenskega levkogranita.

Miocenski levkogranit

Miocenski levkograniti Višje himalajske sekvence (v opisovanem območju imenovani tudi Makalujski granit (Bordet, 1961)) so ena najbolj značilnih geoloških pojavov Himalaje. Levkograniti so različki granitov, ki so zaradi zelo majhne vsebnosti temnih mineralov zelo svetli. Pogosto nastopajo v obliki aplitnih (drobnozrnatih) in pegmatitnih (debelozrnatih) žil. Miocenski graniti predstavljajo eno redkih magmatskih tvorb Himalajskega orogena in imajo izredno velik pomen v tektonsko-metamorfem razvoju Višje himalajske sekvence. Čeprav obstaja približno 15 do

20 velikih posamičnih plutonov, kot sta v Nepalju Manaslu ali Makalu, se levkograditne intruzije sporadično pojavljajo na razdalji več kot 2000 kilometrov vzdolž Himalajskega orogena (Gansser, 1964; Le Fort, 1975). Geološko kartiranje v Nepalju in dolini Kangchung v Tibetu je pokazalo, da so vsi levkograditni, vsaj od Cho Oyuja prek Everesta in Nuptseja do Makaluja in Chomolonza, del iste subhorizontalne plošče, ki leži vzdolž strukturnega vrha Višjega himalajskega kristalina pod položnim, proti severu nagnjenim Južnotibetanskim ločilnim prelomom (STD) (Searle, 1999). Nekatere od teh intruzij pa STD prečkajo in prodrejo v šibko metamorfozirane sedimente Tetidine himalajske sekvence (Le Fort, 1975; Hodges, 2000; Guillot in sod., 2008).

Baza teh debelih levkograditnih plošč je zaznamovana s cono številnih slojevitih žil in dajkov, ki so vtisnjeni v sillimanitove gnajse. Višje v profilu postajajo levkograditni vse bolj pogosti in pelitni gnajsi se tam pojavljajo le še kot ksenolitski trakovi, ki so v celoti obdani z granitom. Levkograditne žile se združijo in tvorijo velikanske 2–3 km debele, s plastmi vzporedne plošče na južnih stenah Khumbutseja in Nuptseja. Proti vzhodu se isti levkograditni povečajo in dosežejo svoj najbolj spektakularen obseg z največjo debelino okoli 3,5 km, kar je navpična višina levkograditnih teles v severnih stenah Chomolonza in Makaluja (Slika 19) (Lombardo in sod., 1993; Carosi in sod., 1999; Searle, 1999; Visonà, Lombardo, 2002; Searle in sod., 2003; Searle, Treloar, 2019).

Kljub spremenljivi debelini Miocenskega levkogradita ostaja debelina spodaj ležečih Črnih gnajsov in zgoraj ležečih Tetidinih sedimentov (Everestove formacije) bolj ali manj konstantna. Zato je moral granit vdreti v že prej metamorfozirano, nagubano in razpokano kamnino. To je dobro vidno na primer v Čo Poluju zahodno od Zgornjega barunskega ledenika. Na podlagi vseh dokazov se tako domneva mlada neogenska starost tega levkogradita, starost, o kateri je sklepal že Odell (1948). Radiogena in izotopska sestava levkograditov, njihovo pogosto pojavljanje na območjih regionalne metamorfoze visoke stopnje, odsotnost prostorske in časovne povezave z bazaltnim vulkanizmom trdno kažejo na to, da so levkograditni produkt čiste taline skorje, nekontaminirane z materialom Zemljinega plašča. Vir himalajskih levkograditov se na splošno pripisuje skrilavcem in gnajsom Višje himalajske sekvence (Hodges, 2000; Langille in sod., 2010; Streule in sod., 2012).

Večina himalajskih levkograditnih teles je sestavljena iz izrazito belih, drobno- do srednjezrnatih dvosljudnih levkograditov s turmalinom in granatom, pri čemer muskovit prevladuje nad biotitom, beli plagioklazi pa nad rožnatim ortoklazom (Bordet, 1961; Visonà, Lombardo, 2002). Igljasti turmalini lahko tvorijo velike zvezdaste oblike s premerom 10–20 cm, obdane z belim glinencem. Granit je popolnoma masiven. Stiki granita z okoliškimi kamninami so na splošno ostri in očitno kažejo na intruzije (vtiskanje granitne magme), s številnimi vključki (ksenoliti) gnajsa vseh velikosti, ki lebdi v granitu (Slika 20). Kontaktna cona lahko zavzame precejšnje dimenzije, ki celo presegajo velikost glavne granitne žile. Posebnost levkogradita na območju Makaluja in Mount Everesta je cordierit, ki je neobičajen v večini himalajskih levkograditov, tu pa je zelo razširjen in tvori velike, blede zelene kristale (Slika 21) (Gansser, 1964; Carosi in sod., 1999; Visonà, Lombardo, 2002). Najdeni so bili v dajkih v južni steni Makaluja, za katere se zdi, da so dovajali

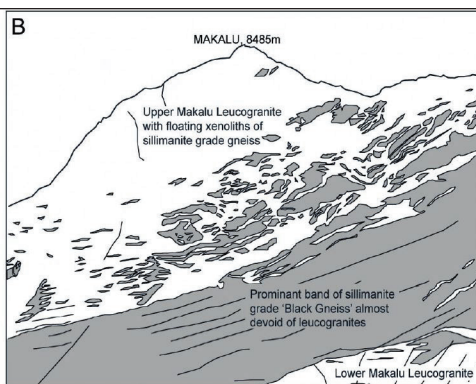
granitno magmo v najvišje dele intruzije (Slika 22). Poleg tega velika količina blokov levkogranita s cordieritom, ki padajo s pobočij vrha Makaluja, kaže, da je večina zgornjih delov intruzije sestavljena iz te kamnine. Podatki s terena kažejo, da so levkograniti, ki vsebujejo cordierit, nastali v najmlajši fazi intruzije. Številni plastnati dajki beležijo vsaj šest generacij taljenja skorje (Visonà, Lombardo, 2002; Searle in sod., 2008).



Slika 19:

Ogromen masiv levkogranita v južni steni Makaluja s številnimi ksenoliti v spodnjem delu najvišje velike žile. (Foto I. Mrak, 2014);

spodnji sliki sta za primerjavo vzeti iz članka: Searle in sod. (2010, sl. 6A, B)



Slika 20:

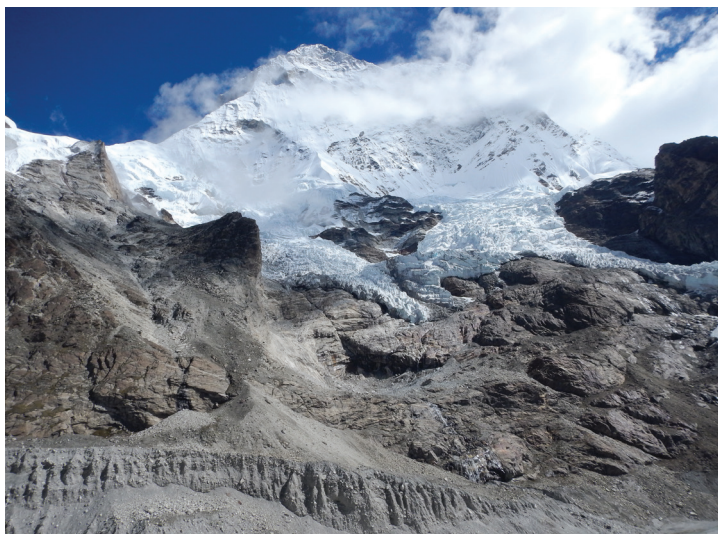
Magmatska intruzivna breča, nastala med vtiskanjem granitne magme. Sestavljena je iz klastov (ksenolitov) okoliških kamnin (gnajsa, levkogranitov iz starejših generacij intruzij in fragmente zgodnje kristaliziranega dela intruziva, ki je bil presekan med vtiskanjem), v osnovi iz kristalne magmatske snovi. (Foto I. Mrak, 2014)



Slika 21:

Balvan levkogranita v dolini Baruna. S primerjavo fotografij v drugih objavah (npr. Searle in sod., 2010, sl. 6d) lahko sklepamo, da so temni zelenkasti skupki najverjetneje veliki kristali cordierita. (Foto J. Kunaver, 1972)





Slika 22:

10 m širok navpični dovodni dajk do najvišje žile cordieritovega levkogranita je presekal starejše sile dvosljudnega turmalinovega levkogranita v južni strani Makaluja (Foto I. Mrak, 2014).

Spodnji sliki sta za primerjavo vzeti iz članka: Searle in sod. (2010, sl. 6C) in knjige: Bordet (1961, sl. 30). Glacier Supérieur du Barun – Zgornji Barunski ledenik. 1 – Barunski gnajs, 2 – migmatiti, 3 – gnajs s cordieritom (bazni tabor) in amfiboliti, 4 – Črni gnajsi, 5 – Makalujski granit, 6 – Črni gnajsi (kot 4), 7 – cona vtiskanja, 8 – Makalujski granit (kot 5), 9 – zgornja cona vtiskanja.

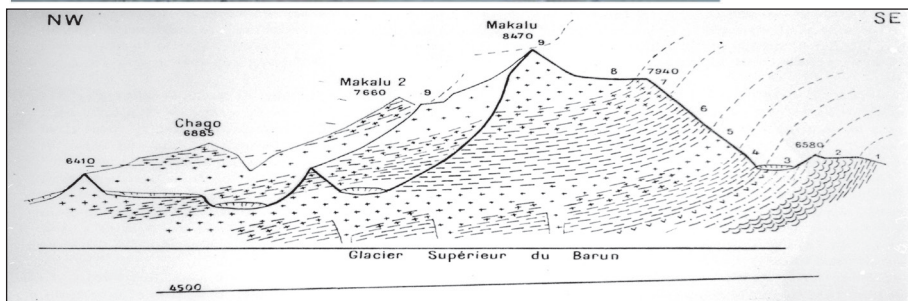
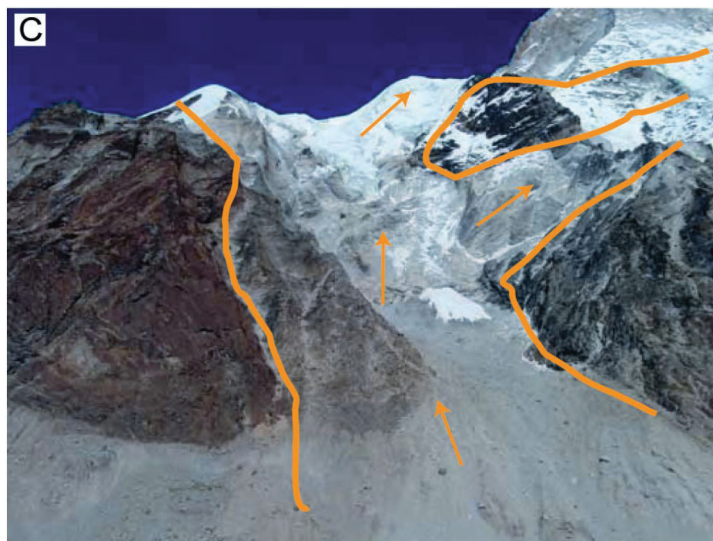


FIG. 30. — Coupe géologique du Makalu. Orientation : Nord-Ouest - Sud-Est ; Echelle 1 × 1. Longueur : environ 10 km 1 gneiss du Barun, 2 migmatites, 3 gneiss à cordierite (Camp de Base) et amphibolites, 4 gneiss noirs, 5 granite d Makalu, et zone d'injection inférieure, 6 gneiss noirs (comme 4), 7 zone d'injection, 8 granite du Makalu (comme 5), 9 zone d'injection supérieure.

4.5 Južnotibetanski ločilni prelom in Tetidina sedimentna sekvenca

Na 8050 m nad baznim taborom pod Makalujem Južnotibetanski ločilni prelom loči Miocenski levkogranit od Tetidine sedimentne sekvence.

V najvišjih vrhovih nepalske Himalaje med 7000 in 8000 m n. v. Južnotibetanski ločilni prelom (*South Tibet Detachment* – STD) loči Višjo himalajsko sekvenco od Tetidine sedimentne sekvence (*Tethyan sedimentary sequence* – TSS, v obravnavanem območju imenovana tudi Everestova serija (Bordet, 1961; Bortolami in sod., 1983)). Predstavlja ga položna, proti severu naklonjena cona duktilnih (plastično deformiranih) strižnih con nizkih stopenj metamorfoze, prelomljene z lomnimi deformacijami (Burchfiel in sod., 1992; Searle, 1999). V masivu Mount Everesta je cona Južnotibetanskega ločilnega preloma, sestavljena iz šibkih natezних strižnih pasov nad pribl. 5000 m n. v., močnih ločilnih tektonskih ploskev in kilometrskih budiniranih foliacijah nad pribl. 6500 m n. v. ter najvišja glavna ločilna preloma Lotse in Quomolangma (Searle, 1999; Searle in sod., 2003; Jessup in sod., 2006; 2008b). Levkograniti ponekod predirajo STD in so znotraj cone STD močno deformirani (Searle, 1999; Goscombe in sod., 2018).

Everestovi metapeliti, ki prekrivajo Miocenski levkogranit, so sestavljeni iz temnih drobnozrnatih gnajsov in blestnikov z biotitom, ki postopoma prehajajo v črne filite. Kamnine na dnu te serije zelo spominjajo na zgornje plasti Črnega gnajsa v dolini Baruna in verjetno je stratigrafski stik med njima skladen (konkordanten). Tako se zdi, da je Miocenski levkogranit vdrl v tektonsko diskontinuiteto med njimi (Bordet, 1961). Te plasti očitno izvirajo iz spodaj ležečih Črnih gnajsov nižje stopnje metamorfoze in so sestavljene iz drobnozrnatih biotitovo-amfibolovo-epidotovih skrilavcev in marmorjev. Čisti marmorji in marmorji s silikatnimi plastmi tvorijo jasno viden pas (t. i. rumeni pas) po vsej južni steni Lotseja in Mount Everesta. Everestova serija povsod vпада proti vzhodu pod kotom od 20 do 30°. Vrh Makaluja je tik pod cono STD in ne doseže te serije Tetidine sedimentne sekvence (Latreille, 1959; Dhital, 2015). Kalvoda (1979, 2007) in Kalvoda in sod. (2013) za Everestovo serijo uporabljajo ime Grupa Chomolangme in poročajo, da se v širšem območju Barun–Makalu pojavlja samo v bližini neimenovanega, 7502 m visokega vrha.

5 Prispevek slovenskih raziskovalcev k poznavanju geologije doline Baruna

Tudi slovenske odprave v dolino Baruna so prispevale dragocene podatke o njeni geološki zgradbi. Z željo po izpopolnitvi tedanjega poznavanja in z zavedanjem, da je vsak vzorec, na hrbtu prinesen s teh visokih odročnih območij, enako neprecenljiv kot tisti, pridobljeni iz dragih globokih vrtin, je Jurij Kunaver leta 1972 nabral vzorce nekaterih najpogostejših in najznačilnejših kamnin. Kljub temu, da je bila večina vzorcev nabrana iz morenskega gradiva, in le nekateri odvzeti iz matične kamninske podlage, dajejo vpogled v kamninsko sestavo širše okolice vse do najvišjih vrhov. Ta način vzorčenja so seveda narekovale izjemne razmere, v katerih je neposreden dostop mogoč le v relativno majhnem delu ozemlja. Po drugi strani pa strma gola pobočja in stene omogočajo, na podlagi vzorcev iz morenskega gradiva, prepoznavanje

kamninske sestave in opazovanje odnosov med litološkimi enotami tudi z razdalje (Kunaver, 1974).

Jurij Kunaver (1974, str. 14) poroča, da „je v morenskem gradivu recentnih ledenikov videti, da prevladuje svetla granitna kamnina. To velja za Spodnji kot tudi za Zgornji barunski ledenik, pa tudi za vmesnega, Tangmarskega. Le ledenik izpod jugovzhodnega sedla vsebuje večinoma komponente črnega gnajsa, ki zaradi limonitizacije hitro dobi rdečkasto barvo na površini.“

Izmed nabranih vzorcev jih je Jurij Kunaver 51 dal v analizo takratnemu Inštitutu za geologijo Fakultete za naravoslovje in tehnologijo. Vzorce je petrografsko analizirala Dragica Strmole. V večini vzorcev je kamnino lahko določila makroskopsko, iz petih so bili narejeni petrografski zbruski za mikroskopsko analizo, šest je bilo vzorcev peska iz različnih horizontov morenskega nasipa. V „Poročilu o določitvi kamnin z Makaluja“ (Strmole, 1973a) je določila 16 različnih kamnin oziroma njihovih različkov, in sicer: muskovitovo-kloritov kremenov skrilavec, dvosljudni gnajs, dvosljudni očesni gnajs, dvosljudni granitni gnajs (ortognajs) z granati, muskovitov blestnik, dvosljudni (biotit in muskovit) blestnik, biotitov blestnik z granati in distenom, biotitov gnajs, biotitov očesni gnajs, biotitov kvarcit, kloritov kvarcit, rogovačni granit s cirkonom, turmalinov aplit, turmalinov pegmatit, turmalinov pegmatit z rogovcem, metamorfozirana magmatska kamnina kalcitov avgitov sienit.

V šestih vzorcih peska je D. Strmole v „Poročilu o mineraloški preiskavi vzorcev z ledenika Barun“ (Strmole, 1973b) določila mineralno sestavo, količinska razmerja med njimi in stopnjo preperelosti. Iz rezultatov analize vzorcev zlahka prepoznamo kamnine in njihove različke, ki so bile vse pred tem opisane že v delih P. Bordeta in M. Latreilla (Bordet, Latreille, 1958a, b; Latreille, 1959; Bordet, 1961), kar je ugotovila tudi D. Strmole (Kunaver, 1974). V biotitovih blestnikih in gnajsih prepoznamo enoto Barunskega gnajsa, v granitnih ortognajsih enoto Migmatitnega ortognajsa, v skrilavcih, blestnikih in gnajsih z muskovitom in biotitom enoto Črnih gnajsov, v granitih z aplitnimi in pegmatitnimi različki pa enoto Miocenskega levkogranita. Edina določitev, ki je ne moremo umestiti v prej opisane enote, je metamorfozirana magmatska kamnina s kalcitom in avgitom, ki naj bi bila izvorno sienit. Določitev je že po mnenju D. Strmole zaradi spremenjenosti kamnine nezanesljiva.

Poleg nabranih in analiziranih vzorcev imata veliko vrednost tudi fotodokumentacija Jurija Kunaverja in Irene Mrak s slovenskih raziskovalnih odprav leta 1972 in leta 2014 ter osebna komunikacija z njima. Nekatere od številni fotografij kamnin, oblik površja in panoramskih motivov so uporabljene tudi kot dokumentacija v tem prispevku.

6 Modeli tektonsko-metamorfne nastanka nepalske Himalaje

Verjetno se bo marsikateri bralec tega prispevka vprašal, zakaj je bilo treba geologijo obravnavanega območja, predvsem opise kamnin in enot, v katerih nastopajo, opisovati tako podrobno. Dejstvo je, da je za laičnega pohodnika kamninska sestava

iz pretežno skrilavcev in gnajsov bolj ali manj enolična. Šele pozorno opazovanje s pomočjo žepne povečevalne lupe razkriva razlike v mineralni sestavi in strukturi, ki dajejo informacije o različnih procesih nastanka teh kamnin in s tem omogočajo branje zgodovine nastanka in geološkega razvoja nepalske Himalaje.

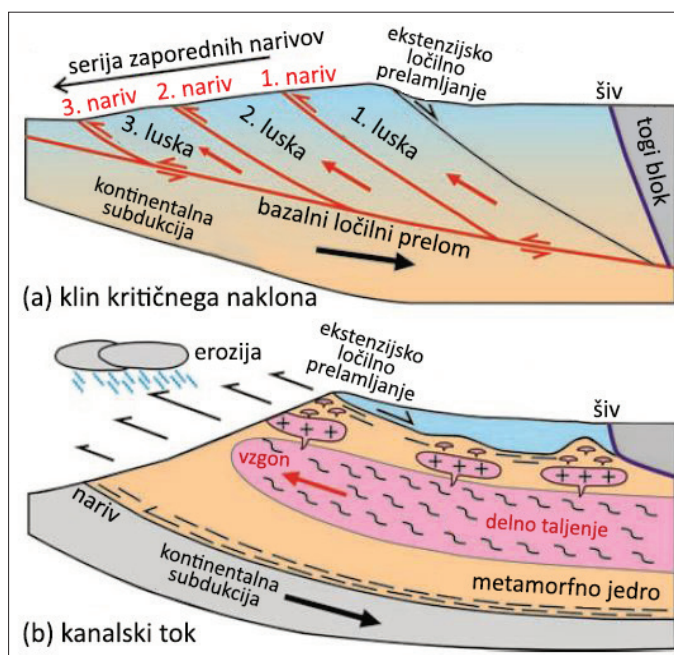
Metamorfne kamnine so ključni vir informacij o evoluciji orogena, ker: (1) ohranjajo dolg in skoraj neprekinjen orogenski zapis; (2) so edini vir informacij o globini Zemljine skorje in poteh delcev skozi steber skorje, ki omogočajo sledenje dogodkom debeljenja in tanjšanja litosfere; in (3) so edini vir informacij, ki sledi dolgi toplotni evoluciji skorje.

Poti tlak-temperatura-čas (P-T-t) orogenskega metamorfnega jedra lahko dajo ključne informacije za razumevanje mehanizmov kolizijskih orogenez. Dajejo podatke, ki jih strukturne študije same ne morejo dati. Poti P-T-t kažejo na hitrost zblíževanja, tonjenja, denudacije, procesov prevajanja toplote, in prostorske variacije v metamorfizmu, ki so jim bile podvržene kamnine. Posledično je za rekonstrukcijo arhitekture in razvoja kolizijskih orogenov potrebna integracija vseh podatkov o procesih, ki potekajo na različnih ravneh z različnimi hitrostmi (Harrison in sod., 1997; Goscombe in sod., 2006, 2018; Jessup in sod., 2008b). Z uporabo modelskih napovedi so bili primarni mehanizmi za ekshumacijo visokometamorfoziranega orogenskega jedra prepoznani s primerjavo poti P-T-t tudi na območju profila Arun–Makalu (Wang in sod., 2022).

Profil Arun–Makalu se nahaja v ključnem sektorju Himalajske verige, ki preseka celotno Himalajsko metamorfno fronto. Zato ugotavljanje razvoja P-T (tlačno-temperaturnih pogojev) litotektonskih enot v tem profilu ponuja odlično priložnost za študij arhitekture Zemljine skorje in procesov v njej (Groppo in sod., 2012). Številna dognanja so bila najprej opažena v Himalaji in razvita v modele, potem uporabljene za druge orogene pasove, kot so cona obrnjenega metamorfnega zaporedja (Arita, 1983), petrogeneza levkogranita (Le Fort, 1975; Wang in sod., 2022), „kanalski tok“ delno staljene skorje (Beaumont in sod., 2001) in drugi (Webb in sod., 2017). V tem prispevku sta opisana dva, ki izvirata iz Himalaje in sta bila testirana na območju Makalu–Barun.

Model klina kritičnega naklona (*critical taper wedge model*), znan tudi kot model buldožerja, je desetletja veljal za primarni mehanizem rasti orogenov (Wang in sod., 2022). Poenostavljen izračun namreč pokaže, da narivanje, daljše od dobrih 15 km, po eni narivni ploskvi ni mogoče. Pri tej dolžini je sila, ki bi bila potrebna, da bi premagali trenje ob narivni ploskvi, večja od trdnosti kamnine. Klinasto narivanje je eden od mehanizmov za daljše premike ob narivih. Rinjena masa se ne premakne, dokler se ne nabere pod določenim kritičnim kotom. Kritični naklon je odvisen od trdnosti rinjenega materiala, trenja ob bazalni ločilni ploskvi in naklona ločilne ploskve. Material, nastal po subdukciji in koliziji se sprime in močno stisne in oblikuje se stožčasti klin (Slika 23a). Nastajanje serije zaporednih narivov postopoma napreduje proti prednjemu delu orogena, kar vodi do bočnega iztiskanja naloženega materiala. Na podlagi tega mehanizma so bili v Himalaji predlagani drugi podrobnejši modeli, kot na primer klinasta ekstruzija (Burchfiel in sod., 1992; Bollinger in sod., 2006).

Slika 23: Dva temeljna modela mehanizma v kontinentalnih kolizijskih orogenezah: (a) model klina kritičnega naklona (po Davisu in sod., 1983) in (b) model kanalskega toka (po Beaumontu in sod., 2001) (Vira Webb, Upreti (2014) in Wangu in sod. (2022))



Model „kanalskega toka“ (»channel flow« model) je zdaj ena najbolj priljubljenih paradigem za razlago tektonsko-metamorfnega razvoja in geoloških struktur prvega reda, ki so skupne metamorfnim zaledjem kolizijskih orogenov (Beaumont in sod., 2001). Toplotno-mehansko modeliranje kolizijskih con, vključno s Himalajsko-tibetanskim sistemom, je postavilo koncept kanalskega toka v ospredje orogenih študij. Kanalski tok opisuje dolgotrajen tok šibke, viskozne nataljene skorje med dvema togima, a deformabilnima ploščama skorje. Ko je dosežena kritično nizka viskoznost (zaradi delnega taljenja), šibka plast začne teči bočno zaradi vodoravnega gradienta litostatskega tlaka. V Himalajsko-tibetanskem sistemu ta gradient litostatskega tlaka ustvarja ogromna debelina skorje pod Tibetansko planoto in „normalna“ debelina skorje v predgorju.

Po tej teoriji je pred 21 do 16 milijoni let debel kanal nataljenih mehkih, vročih kamnin sedanjega Višjega himalajskega zaporedja odtekal izpod debelega južnega roba Tibetanske planote proti tanjšemu himalajskemu predgorju. Visokometamorfne kamnine spodnjega dela so se pomikale vzporedno z vrhom kanala in odtekle 200 km proti jugu v svoj trenutni položaj. In kaj je to poganjalo? Pri iztiskanju (ekstruziji) in ekshumaciji so pomagale padavine na južnih pobočjih Himalaje in povzročale usmerjeno erozijo in denudacijo površine vzdolž gorske fronte. To vodi do rasti orogena in ohranjanja njegove visoke topografije (Grujic, 2006; Godin in sod., 2006; Jessup in sod., 2008a; Langille in sod., 2010; Webb, Upreti, 2014).

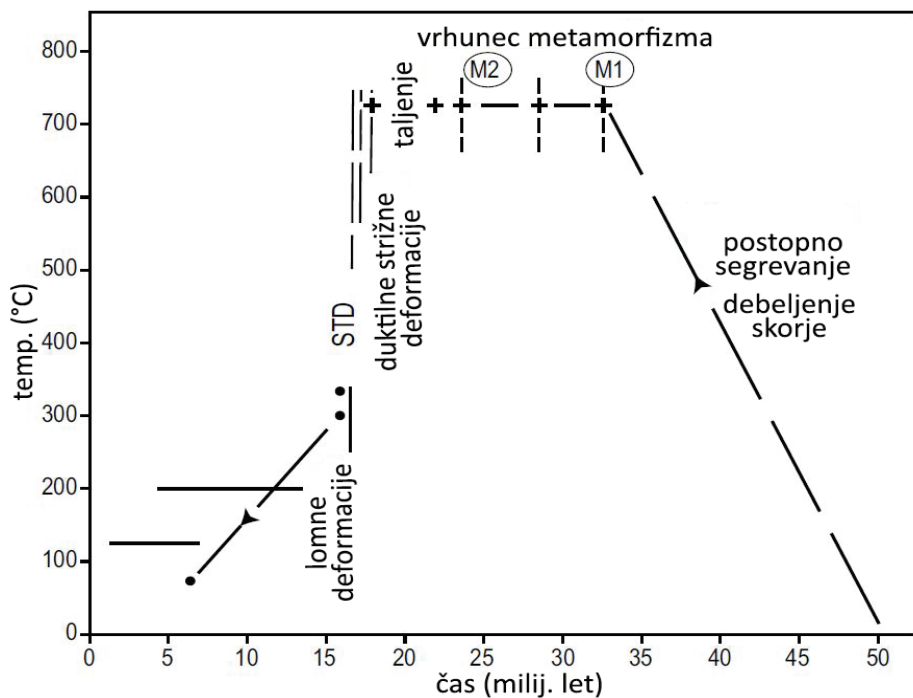
Očitno istočasni premiki ob Glavnem osrednjem narivu (MCT) in Južnotibetanskem ločilnem prelomu (STD) skupaj s prisotnostjo močno strižno deformiranih kamnin in visokometamorfnih do migmatitnih kamnin v Višji himalajski sekvenci (GHS) so mnoge raziskovalce pripeljali do tega, da so GHS razlagali kot položno, na sever nagnjeno ploščo proti jugu iztisnjene materiala srednjega dela Zemljine skorje Indijske plošče z MCT in STD kot potencialnima spodnjo in zgornjo strukturo, ki omejujeta kanal, in pri tem potiskata metamorfno jedro nad spodaj ležečo Nižjo himalajsko sekvenco (Godin in sod., 2006; Jessup in sod., 2006; Searle in sod., 2010; Webb in sod., 2017; Searle, Treloar, 2019). Ta model se ujema z največ podatki, ponuja kvantitativno razlago obrnjenega metamorfne zaporedja vzdolž orogena in učinkovito povezuje tektonske in površinske atmosferske procese (Wang in sod., 2022).

Zgodovina geološkega razvoja območja Makaluja

Temperaturno-časovni diagram (Slika 24) povzema zgodovino geološkega razvoja območja Mount Everesta in Makaluja v zadnjih 50 milijonih let. Na desni strani grafa so izotopi (npr. K-Ar), ekstrahirani iz mineralov (npr. muskovitna sljuda), ki so bili uporabljeni za določanje temperatur kamnin v preteklosti. Graf prikazuje kamnine Višje himalajske sekvence, ki so od pred 50–32 milijoni let (m. l.) počasi tonile v večje globine, se pri tem postopno segrevale in debelile Zemljino skorjo. Temperature so ostale visoke od pred pribl. 32 do 17 m. l., ko so bile kamnine srednje skorje metamorfirane do visoke stopnje. Pred 21 do 16 m. l. so se nekatere celo na mestu delno stalile, pri ohlajanju pa nato tvorile levkogranite, ki so migrirali vodoravno po ploskvah anizotropije, definiranih z metamorfno foliacijo. Temperature kažejo na globino okoli 15 km (Searle in sod., 2003).

Široko razširjeno taljenje, ki je tvorilo levkogranite Makaluja in Everesta, je sprožilo tako hitro dvigovanje in ohlajanje kamnin Višje himalajske sekvence (ekshumacija) kot tudi duktilno iztiskanje te plasti srednje Zemljine skorje z nizko viskoznostjo vzdolž Himalaje (ekstruzijo). Kanalski tok je bil omejen s sploščeno striženo duktilno strižno cono z obrnjenim metamorfizmom na dnu (MCTZ) in z duktilno strižno cono na vrhu (TSD). Pred približno 16 milijoni let je bila celotna metamorfna plošča Višje Himalaje izkopana, ohlajena in „zamrznjena“. Hiter dvig nazaj na površje dokazuje hitro ohlajanje med prehodom iz visokotemperaturnih duktilnih strižnih deformacij v nizkotemperaturne lomne deformacije vzdolž STD. Obdobje pred 16 do 2,5 m. l. je zaznamovalo počasno ohlajanje, pribl. za 20–22,5 °C na milijon let s hitrostjo ekshumacije 0,2–2 mm na leto. Na končno fazo hitre ekshumacije in erozije pred manj kot 2,5 milijona let je moral vplivati začetek kvartarne poledenitve in klimatsko pospešena erozija (Searle in sod., 2003; Wang in sod., 2015) (Slika 25).

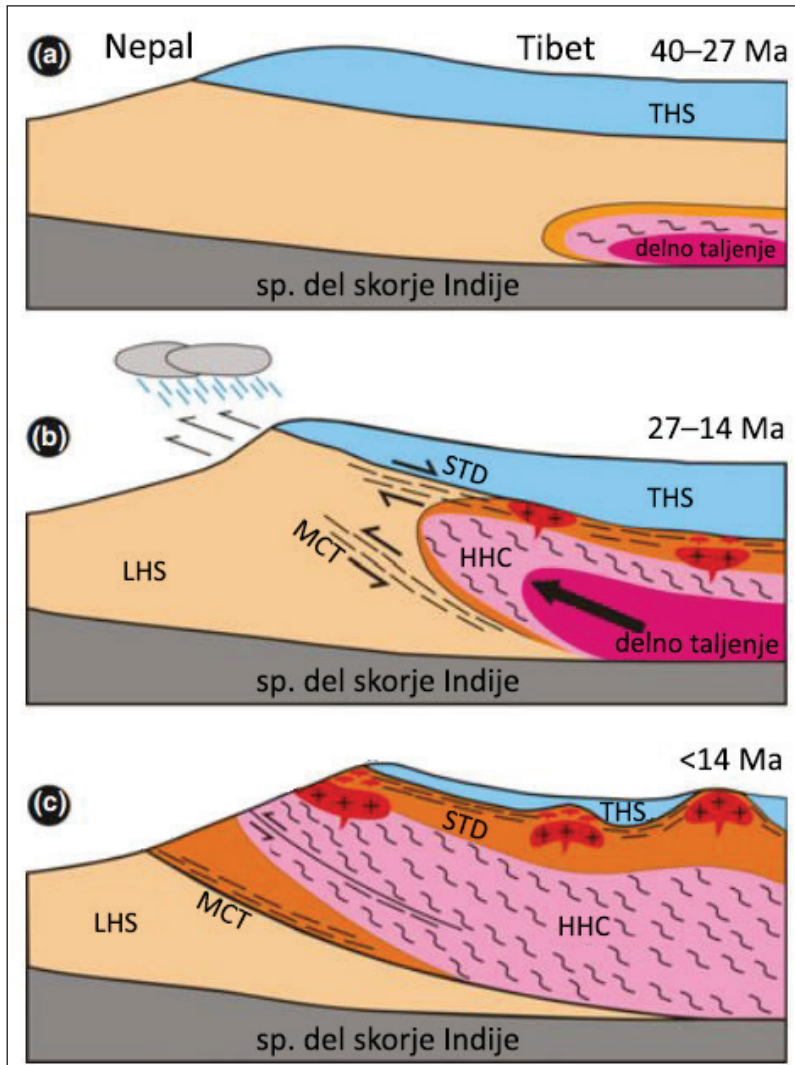
Slika 24: Temperaturno-časovni diagram, ki prikazuje podatke o starosti za Himalajo na območju Mount Everesta v Nepalju in južnem Tibetu s povzetkom prevladujočih tektonskih procesov (Vir Searle in sod., 2003). STD – Južnotibetanski ločilni prelom, M1 in M2 – dve fazi metamorfoze, ugotovljeni na območju Mount Everesta.



7 Sklep

Pot od kraja Tumlingtar (410 m) do vasi Num in čez sedlo Šiptong La do Zgornjega barunskega ledenika pod Makalujem (nad 5000 m) je posebej zanimiva, ker impresivno kaže glavne tektonske, metamorfne in magmatske cone skozi skoraj celoten profil od spodnjih delov Nižje himalajske sekvence do najvišjih delov Višje himalajske sekvence. O zanimivosti in pomenu tega profila pričajo številne objave rezultatov različnih interdisciplinarnih raziskovalnih metod in analiz vzorcev na njem. Najboljši primer sodobnega pristopa je kartiranje „skritih tektonsko-metamorfni mej“ v metamorfnem kompleksu nepalske Himalaje, ki so imele ključno vlogo pri razvoju gorovja po trku med Indijo in Azijo. Na podlagi tega so bili predlagani številni modeli in uporabljeni za razlago drugih gorovij.

Slika 25: Tektonski model časovnega razvoja Himalaje (Vir Wang in sod., 2013 z referencami). THS – Tetidina himalajska sekvenca, STD – Južnotibetanski ločilni prelom, MCT – Glavni osrednji nariv, HHC – Višji himalajski kristalin, LHS – Nižja himalajska sekvenca.



Literatura in viri

- Adhikari, D., Silwal, C. B., Paudel, L., 2021. Review of the Geology of the Arun-Tamor Region, Eastern Nepal: Present Understandings, Controversies and Research Gaps. *Journal of Institute of Science and Technology*, 26, 2, str. 79–97. DOI: 10.3126/jist.v26i2.41439.
- Adlakha, V., Sain, K., 2022. Crustal Evolution of the Himalaya since Paleoproterozoic. V: Mualla Cengiz, M., Karabulut, S. (ur.). *Earth's Crust and its Evolution – From Pangea to the Present Continents*. IntechOpen, str. 1–28. DOI: 10.5772/intechopen.104259.
- Arita, K., 1983. Origin of the inverted metamorphism of the Lower Himalayas central Nepal. *Tectonophysics*, 95, str. 43–60. DOI: 10.1016/0040-1951(83)90258-5.
- Beaumont, C., Jamieson, R. A., Nguyen, M. H., Lee, B., 2001. Himalayan tectonics explained by extrusion of a low-viscosity crustal channel coupled to focused surface denudation. *Nature*, 414, str. 738–742. DOI: 10.1038 /414738a.
- Bollinger, L., Henry, P., Avouac, J.-P., 2006. Mountain building in the Nepal Himalaya: thermal and kinematic model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 244, 58–71. DOI: 10.1016/j.epsl.2006.01.045.
- Bordet, P., 1961. *Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région du Makalu*. Pariz: Editions du CNRS.
- Bordet, P., Latreille, M., 1958a. Esquisse géologique de l'Himalaya de l'Arun et de la région de l'Everest, 1 : 250 000. V: Bordet, P. (ur.), 1961. *Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région du Makalu*. Pariz: Editions du CNRS, Pariz.
- Bordet, P., Latreille, M., 1958b. Esquisse géologique de la region de l'Everest et du Makalu, 1 : 50 000. V: Bordet, P. (ur.), 1961. *Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région du Makalu*. Pariz: Editions du CNRS.
- Bortolami, G., Lombardo, B., Polino, R., 1983. The granites of the upper Imja Khola (Everest region), Eastern Nepal. V: Shams, F. A. (ur.). *Granites of Himalayas, Karakorum, and Hindu Kush*, str. 257–270 (z barvno geološko karto območja Mount Everesta v merilu 1 : 25.000, ki jo je uredil R. Polino).
- Brunel, M., Kienast, J. R., 1986. Etude petro-structurale des chevau – elements ductile himalayens sur la transversal de l'Everest-Makalu (Nepal oriental) = Petro-structural study of Himalyan ductile thrusts in the Everest – Makalu transversal (Western Nepal). *Can. J. Earth Sci.*, 23, str. 1117–1137.
- Burchfiel, B. C., Zhiliang, C., Hodges, K. V., Yuping, L., Royden, L. H., Changrong, D., Jiene, X., 1992. The South Tibetan Detachment System, Himalayan orogen: Extension contemporaneous with and parallel to shortening in a collisional mountain belt. *Geological Society of America Special Papers*, 269, str. 1–41. DOI: org/10.1130/SPE269-p1.
- Carosi, R., Lombardo, B., Musumeci, G., Pertusati, P., 1999. Geology of the Higher Himalayan Crystallines in Khumbu Himal (Eastern Nepal). *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, str. 785–803.

- Carosi, R., Montomoli, C., Iaccarino, S., 2018. 20 years of geological mapping of the metamorphic core across Central and Eastern Himalayas. *Earth-Science Reviews*, 177, str. 124–138. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.11.006.
- Cottle, J. M., Larson, K. P., Kellett, D. A., 2015. How does the mid-crust accommodate deformation in large, hot collisional orogens? A review of recent research in the Himalayan orogen. *J. Struct. Geol.*, 78, str. 119–133. DOI: 10.1016/j.jsg.2015.06.008.
- Davis, D., Suppe, J., Dahlen, F. A., 1983. Mechanics of fold-and-thrust belts and accretionary wedges. *Journal of Geophysical Research*, 88, str. 1153–1172. DOI: 10.1029/JB088iB02p01153.
- DeCelles, P.G., Robinson, D. M., Quade, J., Ojha, T. P., Garzzone, C. N., Copeland, P., Upreti, B. N., 2001. Stratigraphy, structure, and tectonic evolution of the Himalayan fold-thrust belt in western Nepal. *Tectonics*, 20, str. 487–509, DOI: 10.1029/2000TC001226.
- Dhital, M. R., 2015. *Geology of the Nepal Himalaya: Regional Perspective of the Classic Collided Orogen*. Springer International Publishing.
- DiPietro, J. A., Pogue K. R., 2004. Tectonostratigraphic subdivisions of the Himalaya: A view from the west. *Tectonics*, 23, TC5001, 23 str. DOI: 10.1029/2003TC001554.
- Ferrero, S., Bartoli, O., Cesare, B., Salvioli Mariani, E., Cavallo, A., Groppo, C., Battiston, S., 2012. Microstructures of melt inclusions in anatectic metasedimentary rocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 30, str. 303–322. DOI: 10.1111/j.1525-1314.2011.00968.x.
- Gansser, A., 1964. *Geology of the Himalayas*. New York: Wiley Interscience.
- Garzanti, E., 1999. Stratigraphy and sedimentary history of the Nepal Tethys Himalaya passive margin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, str. 805–827, DOI: 10.1016/S1367-9120(99)00017-6.
- Godin, L., Grujic, D., Law, R. D., Searle, M. P., 2006. Channel flow, ductile extrusion and exhumation in continental collision zones: an introduction. V: Law, R. D., Searle, M. P., Godin, L. (ur.). *Channel Flow, Ductile Extrusion and Exhumation in Continental Collision Zones*. Geological Society of London, Special Publications, 268/1, str. 1–23. DOI: 10.1144/gsl.sp.2006.268.01.01.
- Godin, L., Ahenda, M., Grujic, D., Stevenson, R., Cottle, J., 2021. Protolith affiliation and tectonometamorphic evolution of the Gurla Mandhata core complex, NW Nepal Himalaya. *Geosphere*, 17, 2, str. 626–646, DOI: 10.1130/GES02326.1.
- Goscombe, B., Hand, M., 2000. Contrasting P–T Paths in the Eastern Himalaya, Nepal: Inverted Isograds in a Paired Metamorphic Mountain Belt. *Journal of Petrology*, 41, 12, str. 1673–1719. DOI: 10.1093/petrology/41.12.1673.
- Goscombe, B., Gray, D., Hand, M., 2006. Crustal architecture of the Himalayan metamorphic front in eastern Nepal. *Gondwana Research*, 10, str. 232–255. DOI: 10.1016/j.gr.2006.05.003.

- Goscombe, B., Gray, D., Foster, D. A., 2018. Metamorphic response to collision in the Central Himalayan Orogen. *Gondwana Research*, 57, str. 191–265 DOI: org/10.1016/j.gr.2018.02.002.
- Groppo, C., Lombardo, B., Rolfo, F., Pertusati, P., 2007. Clockwise exhumation path of granulitized eclogites from the Ama Drime range (Eastern Himalaya). *Journal of Metamorphic Geology*, 25, 1, str. 51–75. DOI: 10.1111/j.1525-1314.2006.00678.x.
- Groppo, C., Rolfo, F., Lombardo, B., 2009. P–T evolution across the Main Central Thrust Zone (Eastern Nepal): hidden discontinuities revealed by petrology. *Journal of Petrology*, 50, str. 1149–1180, DOI: 10.3126/hjs.v5i7.1257.
- Groppo, C., Rolfo, F., Indares, A., 2012. Partial melting in the higher Himalayan crystallines of eastern Nepal: the effect of decompression and implications for the 'Channel flow' model. *Journal of Petrology*, str. 1–32. DOI: 10.1093/Petrology/egs009.
- Groppo, C., Rolfo, F., Mosca, P., 2013. The cordierite-bearing anatectic rocks of the Higher Himalayan Crystallines (eastern Nepal): low-pressure anatexis, melt-productivity, melt loss and the preservation of cordierite. *Journal of Metamorphic Geology*, 31, str. 187–204.
- Grujic, D., 2006. Channel flow and continental collision tectonics: an overview. V: Law, R. D., Searle, M. P., Godin, L. (ur.). *Channel Flow, Ductile Extrusion and Exhumation in Continental Collision Zones*. Geological Society of London, Special Publications, 268, str. 25–37.
- Grujic, D., Casey, M., Davidson, C., Hollister, L. S., Kündig, R., Pavlis, T., Schmid, S., 1996. Ductile extrusion of the Higher Himalayan Crystalline in Bhutan: evidence from quartz microfibrils. *Tectonophysics*, 260, str. 21–43.
- Heim, A., Gansser, A., 1939. *Central Himalaya: geological observations of the Swiss expedition 1936*. Mém. Soc. Helv. Sci. Nat., 73, str. 1–245.
- Heron, A. M., 1922. Geological results of the Mount Everest expedition, 1921. *Geogr. J.*, 59, str. 418–431.
- Hodges, K. V., 2000. Tectonics of the Himalaya and southern Tibet from two perspectives. *Geological Society of America Bulletin*, 112, str. 324–350. DOI: 10.1130/0016-7606(2000)112<324:TOTHAS>2.0.CO;2.
- Imayama, T., Uehara, S., Sakai, H., Yagi, K., Ikawa, C., Yi, K., 2020. The absence of high-pressure metamorphism in the inverted Barrovian metamorphic sequences of the Arun area; Eastern Nepal and its tectonic implication. *International Journal of Earth Sciences*, 2020, 109, str. 465–488. DOI: 10.1007/s00531-019-01816-5
- Jaroš, J., Kalvoda, J., 1976. Geological results of the Czechoslovak Makalu expedition. *Himalayan Geology*, 6, str. 176–196.
- Jessup, M. J., Law, R. D., Searle, M. P., Hubbard, M. S., 2006. Structural evolution and vorticity of flow during extrusion and exhumation of the Greater Himalayan Slab, Mount Everest Massif, Tibet/Nepal: Implications for orogen-scale flow partitioning. V: Law, R. D., Searle, M. P., Godin, L. (ur.). *Channel Flow, Ductile Extrusion*

- and Exhumation in Continental Collision Zones*: Geological Society of London, Special Publications, 268, str. 379–413.
- Jessup, M. J., Newell, D. L., Cottle, J. M., Berger, A. L., Spotila, J. A., 2008a. Orogen-parallel extension and exhumation enhanced by focused denudation in the Arun River gorge, Ama Drime Massif, Tibet-Nepal. *Geology*, 36, str. 587–590. DOI: 10.1130 /G24722A.1.
- Jessup, M. J., Cottle, J. M., Searle, M. P., Law, R. D., Newell, D. L., Tracy, R. J., Waters, D. J., 2008b. P-T-t-D paths of Everest Series schist, Nepal. *Journal of Metamorphic Geology*, 26, str. 717–739.
- Kalvoda, J., 1979a. Geomorphological map of the Barun glacier region, Khumbakarna Himal. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 14, 1, str. 3–38.
- Kalvoda, J., 1979b. The Quaternary history of the Barun glacier, Nepal Himalayas. *Věstník Ústředního ústavu geologického*, 54, 1, str. 11–23.
- Kalvoda, J., 2007. Dynamics of landforms evolution in the Makalu – Barun region, Nepal Himalaya. *Geografický časopis*, 59, 2, str. 85–106.
- Kalvoda, J., 2020. *The Dynamics of Geomorphic Evolution in the Makalu Barun Area of the Nepal Himalaya*. Praga: P3K Publishers.
- Kalvoda, J., Emmer, A., 2021. Mass wasting and erosion in different morphoclimatic zones of the Makalu Barun region, Nepal Himalaya. *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, 103, 4, str. 368–396.
- Kalvoda, J., Košler, J., Svojtka, M., 2013. Landform evolution of the Makalu – Barun region in the East Nepal Himalaya. V: Kuhle, M. (ur.). *Tibet and High Asia*, Vol. VIII, Aachen: Shaker Verlag, str. 309–333.
- Kohn, M. J., 2008. P-T-t data from Nepal support critical taper and repudiate large channel flow of the Greater Himalayan Sequence. *Geological Society of America Bulletin*, 120, 259–273. DOI: 10.1130/B26252.1.
- Kunaver, J. 1974. *Prispevek h glacialni geomorfologiji doline Baruna v Khumbakarna Himalu – Vzhodni Nepal*. Ljubljana: Planinska zveza Slovenije.
- Langille, J., Jessup, M. J., Cottle, J. M., Newell, D. L., 2010. Kinematic evolution of the Ama Drime Detachment: Insights into orogen-parallel extension and exhumation of the Ama Drime Massif, Tibet-Nepal. *Journal of Structural Geology*, 32, str. 900–919. DOI: 10.1016/j.jsg.2010.04.005.
- Larson, K. 2012. The geology of the Tama Kosi and Rolwaling valley region, East-Central Nepal. *Geosphere*, 8, 2, str. 1–11. DOI: 10.1130/GES00711.1.
- Larson, K., Gervais, F., Kellett, D. A., 2013. A P–T–D discontinuity in east-central Nepal: Implications for the evolution of the Himalayan mid-crust. *Lithos*, 179, str. 275–292. DOI: 10.1016/j.lithos.2013.08.012.
- Latreille, M., 1959. Les grands traits de la structure géologique de l'Himalaya. *Trav. Lab. Géol. Grenoble*, 35, str. 193–228.

- Le Fort, P., 1975. Himalaya: the collided range. Present knowledge of the continental arc. *American Journal of Science*, 275A, str. 1–44.
- Lombard, A., 1958. Un itinéraire géologique dans l'est du Népal (Massif du Mont Everest). *Mémoires de la Société Helvétique des Sciences Naturelles*, 82, 1, str. 107.
- Lombardo, B., Pertusati, P., Borghi, A., 1993. Geology and tectono-magmatic evolution of the eastern Himalaya along the Chomolungma-Makalu transect. V: Treloar, P. J., Searle, M. P. (ur.). *Himalayan Tectonics*. Geological Society of London, Special Publications, 74, str. 341–355.
- Martin A. J., 2017. A review of definitions of the Himalayan Main Central Thrust. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, 106, str. 2131–2145. DOI: 10.1007/s00531-016-1419-8.
- Montomoli, C., Iaccarino, S., Carosi, R., Langone, A., Visonà, D., 2013. Tectonometamorphic discontinuities within the Greater Himalayan Sequence in western Nepal (Central Himalaya): Insights on the exhumation of crystalline rocks. *Tectonophysics*, 608, str. 1349–1370. DOI: 10.1016/j.tecto.2013.06.006.
- Mosca, P., Grappo, C., Rolfo, F., 2011. Geological and Structural Architecture of the Kanchenjunga Region, Eastern Nepal. *Journal of Nepal Geological Society*, 43, str. 1–12. DOI: 10.3126/jngs.v43i0.24509.
- Mosca, P., Groppo, C., Rolfo, F., 2012. Structural and metamorphic features of the Main Central Thrust Zone and its contiguous domains in the eastern Nepalese Himalaya. V: Zucali, M., Iole Spalla, M., Gosso, G. (ur.). Multiscale structures and tectonic trajectories in active margins, *Journal of the Virtual Explorer*, elektronska izdaja, št. 41, prisp. 2. DOI: 10.3809/jvirtex.2011.00294.
- Mosca, P., Groppo, C., Rolfo, F., 2014. Geological map of the Eastern Nepal Himalaya. V: Montomoli, C., in sod., (ur.). *Proceedings for the 29th Himalayan-Karakoram-Tibet Workshop*, Lucca, Italy.
- Palivcová, M., Kalvoda, J., Minařík, L., 1982. Petrography of the Makalu Massif, Nepal Himalayas. *Rozpravy Československé akademie věd, Řada matematických a přírodních věd*, 92, str. 59.
- Pognante, U., Benna, P., 1993. Metamorphic zonation, migmatization, and leucogranites along the Everest transect (Eastern Nepal and Tibet): record of an exhumation history. V: Treloar, P. J., Searle, M. P. (ur.). *Himalayan Tectonics*. Geological Society of London, Special Publications, 74, str. 323–340.
- Rolfo, F., Groppo, C., Mosca, P., 2015. Petrological constraints of the 'Channel Flow' model in eastern Nepal. V: Mukherjee, S., Carosi, R., van der Beek, P. A., Mukherjee, B. K., Robinson, D. M. (ur.). *Tectonics of the Himalaya*. Geological Society of London, Special Publications, 412, str. 177–197. DOI: 10.1144/SP412.4.
- Schelling, D., 1992. The tectonostratigraphy and structure of the eastern Nepal Himalaya. *Tectonics*, 11, 5, str. 925–943. DOI: 10.1029/92TC00213.
- Schelling, D., 1999. Geological Map of the eastern Nepal Himalaya (scale 1:650,000). V: Le Fort, P., Upreti, B. L. (ur.). *Geology of the Nepal Himalayas: Recent Advances*. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, str. 577–606.

- Shrestha, S. B., Shrestha, J. N., Sharma, S. R., 1984. *Geological map of Eastern Nepal*, 1 : 250 000. Ministry of Industry, Department of Mines and Geology, Lainchour, Kathmandu.
- Searle, M. P., 1999. Extensional and compressional faults in the Everest–Lhotse Massif, Khumbu Himalaya, Nepal. *Journal of the Geological Society of London*, 156, str. 227–240. DOI: 10.1144/gsjgs.156.2.0227.
- Searle, M. P., 2007. *Geological map of the Mount Everest–Makalu region, Nepal–South Tibet Himalaya*, 1 : 100 000 scale. Oxford University Department of Earth Sciences, 2nd edition.
- Searle, M. P., 2013. *Colliding continents. A geological exploration of the Himalaya, Karakoram and Tibet*. Oxford University Press.
- Searle, M. P., 2017. Geological Origin and Evolution of the Himalayas. V: Lama, D., Prins, H., Namgail, T. (ur.). *Bird Migration across the Himalayas: Wetland Functioning amidst Mountains and Glaciers*. Cambridge: Cambridge University Press, str. 145–154. DOI: 10.1017/9781316335420.012.
- Searle M. P., Treloar P. J., 2019. An introduction to Himalayan tectonics: a modern synthesis. V: Treloar, P. J., Searle, M. P. (ur.). *Himalayan Tectonics: A Modern Synthesis*. Geological Society of London, Special Publications, 483, str. 1–17. DOI: 10.1144/SP483-2019-20.
- Searle, M. P., Simpson, R. L., Law, R. D., Parrish, R. R., Waters, D. J., 2003. The structural geometry, metamorphic and magmatic evolution of the Everest massif, High Himalaya of Nepal–South Tibet. *Journal of Geological Society of London*, 160, str. 345–366. DOI: 10.1144/0016-764902-126.
- Searle, M. P., Law, R. D. Jessup, M. J., 2006. Crustal structure, restoration and evolution of the Greater Himalaya: implication for channel flow and ductile extrusion of the middle crust. V: Law, R. D., Searle, M. P., Godin, L. (ur.). *Channel Flow, Ductile Extrusion and Exhumation in Continental Collision Zones*. Geological Society of London, Special Publications, 268, str. 355–378. DOI: 10.1144/GSL.SP.2006.268.01.17.
- Searle, M. P., Law, R. D., Godin, L., Larson, K. P., Streule, M. J., Cottle, J. M., Jessup, M. J. 2008. Defining the Himalayan Main Central Thrust in Nepal. *Journal of the Geological Society*, London, 165, str. 523–534. DOI: 10.1144/0016-76492007-081.
- Searle, M. P., Cottle, J. M., Streule, M. J., Waters, D. J., 2010. Crustal melt granites and migmatites along the Himalaya: Melt source, segregation, transport and granite emplacement mechanisms. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 100, 1–2, str. 219–233. DOI: 10.1130/2010.2472(15).
- Sorkhabi, R., 2010. Geologic Formation of the Himalaya. *Himalayan Journal*, 66, str. 87–102.
- Stöcklin, J., 2008. Developments in the geological exploration of Nepal. *Journal of Nepal Geological Society*, 38, str. 49–54. DOI: 10.3126/jngs.v38i0.32642.

- Streule, M. J., Searle, M. P., Waters, D. J., Horstwood, M. S. A., 2010a. Metamorphism, melting, and channel flow in the greater Himalayan sequence and Makalu leucogranite: Constraints from thermobarometry, metamorphic modeling, and U-Pb geochronology. *Tectonics*, 29, TC5011. DOI: 10.1029/2009TC002533.
- Streule, M. J., Strachan, R. A., Searle, M. P., Law, R. D., 2010b. Comparing Tibet-Himalayan and Caledonian crustal architecture, evolution and mountain building processes. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 335, str. 207–232. DOI: 10.1144/SP335.10.
- Streule, M. J., Carter, A., Searle, M. P., Cottle, J. M., 2012. Constraints on brittle field exhumation of the Everest-Makalu section of the Greater Himalayan Sequence: Implications for models of crustal flow. *Tectonics*, 31, TC3010, 13 str. DOI: 10.1029/2011TC003062.
- Strmole, D., 1973a. *Poročilo o določitvi kamnin z Makaluja*. Ljubljana: Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Inštitut za geologijo.
- Strmole, D., 1973b. *Poročilo o mineraloški preiskavi vzorcev z ledenika Barun*. Ljubljana: Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Inštitut za geologijo.
- Treloar, P. J., Searle, M. P., 2019. *Himalayan Tectonics: A Modern Synthesis*. Geological Society of London, Spec. Pub., 483.
- Upreti, B. N., 1999. An overview of the stratigraphy and tectonics of the Nepal Himalaya. *Journal of Asian Earth Science*, 17, str. 577–606. DOI: 10.1016/S1367-9120(99)00047-4.
- Viskupic, K., Hodges, K. V., 2001. Monazite–xenotime thermochronometry: Methodology and an example from the Nepalese Himalaya. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 141, str. 233–247. DOI: 10.1007/s004100100239.
- Visonà, D., Lombardo, B., 2002. Two-mica and tourmaline leucogranites from the Everest-Makalu region (Nepal-Tibet). Himalayan leucogranite genesis by isobaric heating? *Lithos*, 62, str. 125–150. DOI: 10.1016/S0024-4937(02)00112-3.
- Wang, E., Kamp, P. J. J., Xu, G., Hodges, K. V., Meng, K., Chen, L., Wang, G., Luo, H., 2015. Flexural bending of southern Tibet in a retro foreland setting. *Scientific Reports*, 5, 12076. DOI: 10.1038 /srep12076.
- Wang, J. M., Zhang, J. J., Wang, X. X., 2013. Structural kinematics, metamorphic P–T profiles and zircon geochronology across the Greater Himalayan crystalline complex in south-central Tibet: implication for a revised channel flow. *J. Metamorph. Geol.*, 31, str. 607–628. DOI: 10.1111/jmg.12036.
- Wang, J. M., Wu, F., Zhang, J., Khanal, G., Yang, L., 2022. The Himalayan Collisional Orogeny: A Metamorphic Perspective. *Acta Geologica Sinica – English Edition*, 96, str. 1842–1866. DOI: 10.1111/1755-6724.15022.
- Waters, D., 2019. *Metamorphic constraints on the tectonic evolution of the High Himalaya in Nepal: the art of the possible*. Geological Society of London, Special Publications, 483, str. 325–375.
- Webb, A., Upreti, B., 2014. Structural and Metamorphic Traverse across the north-western Kathmandu Nappe, central Nepal. V: Montomoli, C., Carosi, R., Law, R.,

- Singh, S., Rai, S. M. (ur.). Geological field trips in the Himalaya, Karakoram and Tibet. *Journal of the Virtual Explorer*, elektronska izdaja, št. 47, prisp. 6.
- Webb, A. G., Guo, H., Clift, P. D., Husson, L., Müller, T., Costantino, D., Yin, A., Xu, Z., Cao, H., Wang, Q., 2017. The Himalaya in 3D: Slab dynamics controlled mountain building and monsoon intensification. *Lithosphere*, 9, 4, str. 637–651. DOI: 10.1130/L636.1.
- Yin, A., 2006. Cenozoic tectonic evolution of the Himalayan orogen as constrained by along-strike variation of structural geometry, exhumation history, and foreland sedimentation. *Earth-Science Reviews*, 76, str. 1–131. DOI: 10.1016/j.earsci-rev.2005.05.004.
- Yoshida, M., Upreti, B. N., Rai, S. M., 2011. *Guidebook for Himalayan trekkers, Series n°2. Ecotrekking in the Everest Region, Eastern Nepal*. Dpt. of Geology, Tri-Chandra Campus, Tribhuvan University.

Pregled geomorfološkega raziskovanja zgornjega dela doline Baruna pod Makalujem, s poudarkom na letu 1972

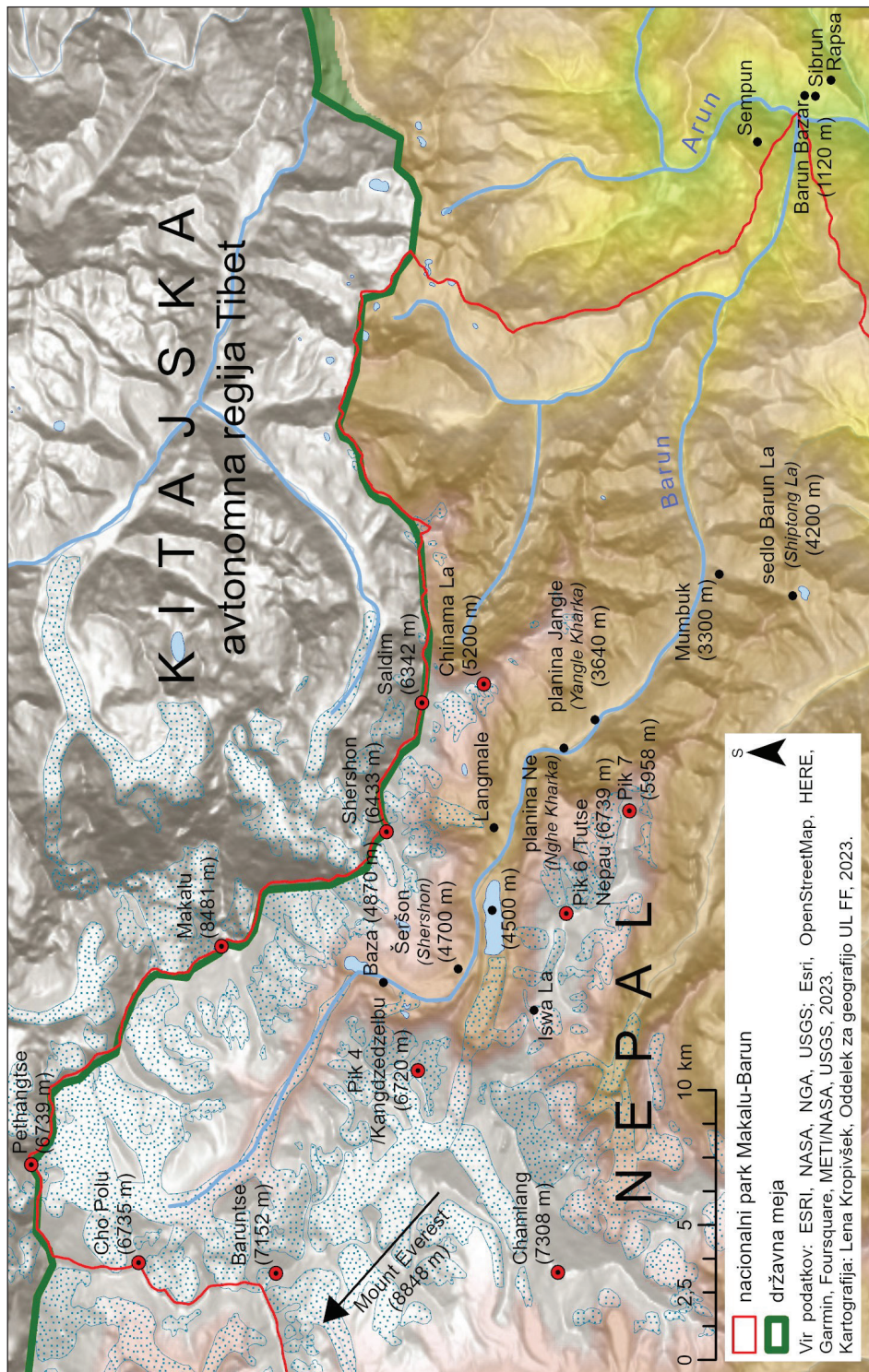
Jurij Kunaver

I Uvod

Septembra in oktobra 1972 je avtor te razprave raziskoval geomorfološko podobo zgornje doline Baruna (Slika 1). To je območje pod petim najvišjim vrhom sveta, Makalujem, 8481 m, v vzhodnem Nepal, kjer se je mudila 4. JAHO (Jugoslovanska alpinistična himalajska odprava) na Makalu, katere član je bil tudi avtor. Februarja 1974 je bil naročniku oddan elaborat, osnova za to razpravo, z naslovom Prispevek h glacialni geomorfologiji doline Baruna v Kumbakarna Himalu – vzhodni Nepal (79 strani besedila, 45 fotografij, 2 tabeli, 4 priloge, 2 orientacijska zemljevida in geomorfološka karta). Odprava je bila organizirana pod okriljem Planinske zveze Slovenije. Stroške udeležbe raziskovalca in avtorja na odpravi so podprli Sklad Borisa Kidriča, Komisija za znanstveno raziskovalno delo Univerze in Filozofske fakultete ter Planinska zveza Slovenije. Vsebina elaborata še ni bila objavljena, ker takrat za to ni bilo pogojev. Po petdesetih letih ugotavljamo, da bi bilo koristno objaviti pomembnejše rezultate, čeprav je bila dolina Baruna tudi pozneje predmet intenzivnih geoloških in geomorfoloških raziskav. To smo dolžni slovenski javnosti, ki že od samih začetkov z zanimanjem spremlja in podpira slovenska alpinistična pa tudi znanstvena prizadevanja v visokih gorstvih sveta, še posebej v Nepal. Raziskava je morda že del zgodovine himalajskih geomorfoloških prizadevanj, a kljub deloma memoarskemu značaju objave prinaša določene izvirne geomorfološke ugotovitve, poglede in rezultate. Ugotavljamo, da se je vsak, ki je prišel geomorfološko raziskovat dolino Baruna, tega lotil na svoj način. Vendar niti geologov, niti geomorfologov tu ni bilo veliko, za kar je eden od vzrokov težavna dostopnost, drug pa bližina precej bolj razvejanega in geološko ter geomorfološko še mnogo pestrejšega Solokumbuja.

Naš geomorfološki pristop je bil usmerjen v podrobnejšo geomorfološko analizo sledov posameznih poledenitev v osrednjem delu zgornje doline Baruna. Pred našim obiskom razen Bordetovih (1954–1955) podrobnejših geomorfoloških raziskav v dolini Baruna v glavnem še ni bilo. Vstopili smo v skoraj deviško in geomorfološko slabo raziskano dolino in imeli priložnost videti, opazovati, odkrivati in meriti pojave, ki jih pred nami še ni nihče. Spoznavali smo stanje, ki se je do danes precej spremenilo ali pa ga ni več, kar velja zlasti za ledenike in vode. Tudi kasnejše geomorfologe, s katerimi žal nismo imeli stikov, so zanimali nekateri podobni problemi, zlasti zaporedje in

Slika 1: Pregledna karta doline Baruna



starost poledenitev. Imeli so podobne pogoje za terensko delo, kot je na primer omejen dostop do posameznih območij in odvisnost od vremenskih razmer. Jeseni 1972 smo lahko raziskovali le v obdobju trajanja alpinistične odprave. V precej manj kot dveh mesecih bivanja v bazi (7. 9. 1972–27. 10. 1972) je bilo mogoče delati na terenu največ 24 dni, od tega le deset dni v okolici baze. S časom je bilo treba skrbno gospodariti in se na isti teren ponovno v glavnem ni bilo mogoče vračati. Ena največjih ovir je bilo slabo vreme, zlasti pogosta megla in neredke snežne padavine. Raziskovalci smo bili tesno povezani z odpravo, hkrati pa tudi odvisni od njenega utripa. Vsaj trije od pomembnih raziskovalcev in avtorjev kasnejših razprav o območju pod Makalujem so se tam mudili mnogo dlje, oziroma so se tja vračali celo večkrat, tudi s pomočniki.

Med pogoje za uspešno delo na terenu spadajo tudi individualne lastnosti raziskovalcev, predvsem sposobnost opazovanja, usmerjanje lastnega interesa in nenazadnje izkušnost. V tem se nismo veliko razlikovali od zanamcev. Kasneje so se izboljšali oprema, instrumentarij, topografske podlage, še zlasti metode laboratorijskega določanja starosti sedimentov, itd. Iz himalajskega terena smo prinesli številne kamninske in sedimentne vzorce, ki so jih analizirali v laboratoriju Inštituta za geologijo Fakultete za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani. Analize so rokopisno objavljene v elaboratu, žal pa se je od številnih prinesenih vzorcev ohranilo zelo malo. Fotografiranje, in to barvnega, smo se na terenu lahko posluževali brez omejitev. Fotografsko gradivo, ki je skoraj nedotaknjeno čakalo do danes, je pomemben vir informacij. Kot primerjalno gradivo je služilo tudi za ugotavljanje umikanja ledenikov v obdobju 1972–2014. V tej zvezi naj omenimo, da se je Kuhle pred nedavnim pri analizi morfogeneze doline Baruna odločil za množično uporabo klasičnih črno-belih fotografij velikega formata (Kuhle, 2005).

Ali se odločiti za lastno objavo po tolikih letih je bila osnovna dilema ob dejstvu, da se je v vmesnem času, poleg pravkar omenjene, nabralo zajetno število geomorfoloških razprav. Naša razprava je samo delni povzetek rezultatov prvotnega elaborata, hkrati pa prinaša tudi pregled najpomembnejših rezultatov, ki so jih dosegli raziskovalci pozneje. Pri tem smo se omejili v glavnem na probleme v tistih delih doline Baruna, ki smo jih raziskovali sami. Bralec tako lahko spozna, kaj se je v dolini Baruna v zadnjih petdesetih letih spremenilo, ne samo v naravi, temveč tudi na področju geomorfološkega raziskovanja.

Med največje naravne spremembe štejemo poleg umikanja ledenikov katastrofalne poplave tipa GLOF. Morfologijo dna doline Baruna je taka poplava leta 2017 ponekod močno spremenila (Carpenter, 2017; Byers in sod., 2019). Poplave GLOF (Glacial Lake Outburst Floods) so bile že prej znane iz zahodnih delov Himalaje in Karakoruma, v nepalski Himalaji pa morda nekoliko manj. Prvi raziskovalci nismo bili posebej pozorni na ledeniška jezera, ki so se v zadnjih desetletjih nekatera malo, druga precej spremenila ali so zaradi pospešenega taljenja ledenikov nastala na novo. V zgornji dolini Baruna so bila že prej najmanj tri nekoliko večja ledeniška jezera in nekaj manjših. Šeršonskega ledeniškega jezera (2,4 km × 750 m) na koncu Spodnjega barunskega ledenika (Kuhle, 2005, ga na str. 207 imenuje Južni barunski ledenik) leta 1972 sploh še ni bilo. V območjih mrtvega ledu so bila le posamezna manjša vodna telesa. Zabeležena so na rokopisni geomorfološki karti (1974) in tako pričajo o velikih spremembah, ki so nastale od takrat. Mnoga nova manjša jezera v večjih višinah so vidna tudi na novejših satelitskih posnetkih (Slika 2).



Slika 2:

*Pogled na taleči se mrtvi led Spodnjega barunskega ledenika leta 1972. Danes je namesto tega tu večje ledeniško jezero.
(Foto J. Kunaver, 1972)*

Tudi zato so se povečale možnosti za poplave večjih razsežnosti v primerih, da se v jezero ali v rečno strugo zgrne večji zemeljski ali snežni plaz ali pa jo povzroči kakšen drug vzrok. Zaradi predrtja zajezitve nastane vodni val, ki pljusne čez jezerski breg ali celo predre pregrado. Niso redki primeri, da take pojave povzroči tudi potresna aktivnost, ki je na vsem območju mlado nagubane Himalaje pogosta in močna. Novice o tem so vse pogostejše, saj ogrožajo vse več himalajskih dolin, tamkajšnje prebivalstvo, infrastrukturo in projekte za izrabo vodne energije.

O tem smo že pred desetletji (Kunaver, 1974, str. 46–47) napisali naslednje: »Pojav nenadnega izpraznenja ledeniških jezer je prisoten tudi v dolini Baruna, o čemer priča značaj vršaja in njegovega gradiva pod čelom jugozahodnega ledenika pod Pikom 3, ter val visoke vode, ki so ga videli alpinisti konec oktobra pri prečkanju ledeniškega potoka tik pod čelom Zgornjega barunskega ledenika. O jezerih pod ledeniki v Kumbuju poroča tudi Hagen in o neredkih močnejših poplavnih vodah ter podrtih mlinih in molilnih mlinih na vodni pogon. Te vrste poplave so v Karakorumu mnogo močnejše (Hagen, 1963, str. 90).«

Müller (1958, str. 209–210) piše, da so se tudi v Nepalju že zgodile velike katastrofe zaradi predrtih jezov ledeniških jezer. Leta 1956 je takšna nenadna poplava v dolini Indravati v srednjem Nepalju vzela streho in imetje 40.000 ljudem. V obdobju od leta 1830 do 1930 je bilo od 13 poplav v dolini Inda 9 takšnih, ki so bile neposredno povezane z izpraznitvijo ledeniških jezer. Posebno nevarno je, če so jezovi sestavljeni iz mrtvega ledu. Müller (1958) kaže na fotografiji primer moren ledenika Taveče, ki je zajezil dolino Čola Kola po vsej širini. Podoben položaj ima tudi jezik Tangmarskega ledenika nedaleč od baze.

Po Carpenterju (2017) se je 20. aprila 2017 skupina na trekingu zadrževala na območju planine Jangle, kakšnih 10 km od baznega tabora pod Makalujem in tam hotela prenočiti. Blizu poldneva je drobirski tok nenadoma pridrvel iz višjega dela doline Baruna, iz jezera Langmale v stranski ledeniški dolini, precej visoko nad dnom doline in prekril dno doline v različni višini. Ljudje na planini Jangle so ga slišali še pravočasno in se umaknili na varno. Odnesele je čajnico, oziroma stavbo, v kateri so nameravali

prenočevati, in še širi stavbe. Višje na pašnikih je bila poplava usodna za trideset jakov. Veliko škode je bilo na pašnikih Jangleja, kjer se dno doline močno razširi. Drevesa jelk (*Abies spectabilis*), ki so bila na robu gozda in preblizu akumulacijski ravnici, je blatna voda, pomešana s prodrom in skalovjem, dobessedno olupila do 2 m visoko. Nekaj balvanov ledeniškega izvora je bilo na tej ravnici že prej. Na novo pa je poplavna voda na sredo ravnice navalila nekatere balvane celo v velikosti manjše hiše. Ta pojav je zabeležen celo na spletu, na videih v zvezi z romanji do budističnih svetih krajev v omenjenem območju. Rastje pritlikavega rododendrona (sleča) je na ravnem delu dna doline enostavno izginilo pod prodnim nanosom.

Dogodek, ki ga je povzročil skalni podor in menda ne spada med večje poplave svoje vrste, je bil večkrat opisan in analiziran, spremenjeno pokrajino pa si je mogoče ogledati na Googlovih aplikacijah (Carpenter, 2017; Byers in sod., 2019). Če pred petdesetimi leti ne bi bili sami v teh krajih in obnavljali spominov, se pomena teh dogodkov in sprememb ne bi zavedali, če bi sploh kdaj izvedeli zanje. Gostišče na Jangleju so morali postaviti znova. Le tamkajšnji kamniti kvadratni budistični čorten se je škodi za las izognil.

V vmesnem času so se v zgornji dolini Baruna pomnožili objekti, ki služijo oskrbi bolj in bolj številnih obiskovalcev teh krajev. V našem času je poznala le poletne obiske domačinov, ki so sem prignali manjše črede jakov in zopkijev na pašo, in redke častilce teh budističnih svetih krajev. V zadnjih desetletjih se je močno povečalo zanimanje tujcev za vzpone in trekinge, poleg tega pa še zlasti interes domačinov iz nižjih območij za nabiranje jartsa gunbu, redke zdravilne glive, ki jo je mogoče najti na alpskih tratah med 3000 in 5000 m in jo drago prodajati.

Nekaj novega, čeprav v manjši meri že tudi pred petdesetimi leti, je precej množično romanje budističnih in drugih vernikov v zgornjo dolino Baruna do svetih krajev. Ti predstavljajo redke naravne pojave, kot so spodmoli in vdolbine (Šiva Dara in jama Parbati, 4310 m, 600 m nad dnem doline nad planino Ne) (Slika 3). Do njih danes še vedno bosí hodijo romarji, ki se dvigajo po feratam podobnih, vratolomno strmih in nezavarovanih poteh, tudi čez slapove in pod njimi. Iz tega, kar je videti na fotografijah in v objavljenih video zapisih, domnevamo, da je to

Slika 3:

Pogled na Šiva Dara, obsežen spodmol v ostenju, 600 m nad planino Ne, ki je lahko nastal kot ledeniški mlin ali pa kot učinek zmrzalnega preperevanja. Eden od svetih krajev, ki jih obiskujejo hindujski romarji. (Foto T. Goslar, 2014)





Slika 4:

Nenavaden izvir iz jame v gnajsu nad Janglejem, ki zaradi tektonske pretrtosti priča o prevodnosti kamnine za vodo, kar za to kamnino navadno ne velja. (Foto J. Kunaver, 1972)

lahko pojav podledeniških erozijskih loncev ali mlinov, kot rezultat učinka podledeniške erozije na boku ledenika. Presenetljivo je tudi podzemeljsko pretakanje manjših količin vode, ki se pojavlja v stropu enega od spodmolov, kar je dodatna privlačnost za romarje. Zato se ponuja še razlaga nastanka spodmola s pomočjo zmrzalnega razpadanja žive skale na krajih, kjer je stalno prisotna tekoča voda. Ob poti do Jangleja je v steni nizko nad tlemi celo močnejši izvir vode, skoraj podoben kraškemu, kar je za prevladujočo podlago iz gnajsja povsem neobičajen in redek pojav (Slika 4). Zelo značilna in že od daleč vidna ter od ledu obrušena izboklina v steni (Ama Bučung) pri planini Djak, nedaleč od planine Ne, predstavlja pripadnikom plemena Rai npr. simbol plodnosti (Slika 5, Slika 6). Tudi ta kraj prav tako obiskujejo in častijo. Pozornost prebivalstva, ki jo v obliki čaščenja posveča redkim naravnim pojavom v dolini, kakršna je barunska, pravzaprav ni presenečenje. V poslovni in turistični ponudbi neredko beremo, da gre za eno od »sedmih najlepših dolin sveta«.

Slika 5:

Ama Bučung, ledeniško obrušena trebušasta stena nad planino Ne, za hindujske romarje simbol plodnosti in kraj priprošenj (Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 6:

Zgradba, namenjena pohodnikom nedaleč od planine Jangle, ki je leta 1972 še ni bilo. (Foto T. Goslar, 2014)



Po tolikih letih se poleg drugačnih naravnih razmer in pogojev za vzpone ter za raziskovalno delo spominjamo tudi sodelavcev, ki so bili na odpravi iz podobnih raziskovalnih nagibov. Na odpravi so nam delali prepotrebno družbo in s tem omogočali varnejše delo. Na te okoliščine se rado pozablja, še zlasti danes, ko se pogoji za delo na terenu v visokogorju zaradi pogostejših snežnih in drugih plazov slabšajo, pa tudi zaradi drugačne organizacije himalajskih odprav. Udeleženca naše odprave sta bila v okviru znanstvene skupine poleg avtorja še pokojni botanik, profesor na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani dr. Tone Wraber ter zoolog, specialist ornitolog in sodelavec Prirodoslovnega muzeja v Ljubljani Janez Gregori. V njuni družbi je avtor preživel večino časa na odpravi, kar je še posebej veljalo za obdobje prve polovice

oktobra, ko smo se iz baznega tabora na višini 4830 m spustili do planine Ne in tam 14 dni raziskovali (30. 9.–13. 10. 1972, Kunaver, 2012).

Ob koncu uvodnih vrstic še to, da ima tudi ta razprava namen prispevati k poznavanju nekega oddaljenega gorskega sveta. Avtor je brez oklevanja izkoristil ponujeno priložnost prispevati nekaj novega in svežega k dosedanjim spoznanjem. Za Himalajo ni dovolj biti motiviran, potrebno je tudi nekaj fizične kondicije in poguma. Še v večji meri isto velja za alpinistične člane odprave, ki se povrh izpostavljajo življenjski nevarnosti. Nekaj smelosti za pričujočo objavo pa je zahtevalo že omenjeno dejstvo, da je zgornja dolina Baruna že v naslednjih letih doživela še bolj intenzivno geološko in geomorfološko raziskovanje, čemur so posledično sledile številne objave. Odločitev za objavo, ki jo je olajšala digitalizacija elaborata, je po petdesetih letih po našem mnenju prava pot. Brez tega bi zgodba iz leta 1972 ostala v predalu. Bralcu lahko vsaj v skromnejšem obsegu posredujemo izsledke najnovejših raziskav in primerjave z lastnimi. Jasno se je pokazalo, da so v geomorfologiji lahko raziskovalni pristopi zelo različni, kar je odvisno od številnih dejavnikov. Že obseg posameznih objav o istem območju je lahko diametralno različen, posamično raziskovalčevo usmeritev pa narekujejo tudi nove metode in pristopi.

2 Geomorfološko raziskovanje v dolini Baruna

Dolina Baruna pod Makalujem je bila izbrana kot območje geomorfološkega raziskovanja potem, ko je bil 4. JAHO s strani nepalske vlade odobren vrh Makalu, 8481 m v skupini Kumbakarna Himal, vzhodni Nepal. S tem se je odprla možnost za eno redkih terenskih, pionirskih raziskovanj slovenskega geografa izven domovine, predvsem v Aziji. Za sodelovanje na odpravi smo se odločili predvsem zaradi priložnosti, ki odpira geografiji kot kompleksni vedi, širša, nova obzorja. Slovenska geografija je bila v preteklosti izrazito vezana na nacionalno ozemlje in s tem prikrajšana za lastna spoznanja iz drugačnih geografskih območij. Neposredno seznanjanje z oddaljeno geografsko realnostjo omogoča lastne, originalne izsledke, večanje kroga njihovih porabnikov in bolj kritičen odnos do tujih rezultatov.

V dolini Baruna se je pokazalo, da so si mnogi erozijski učinki gorske poledenitve med seboj lahko tudi podobni, kljub veliki geografski oddaljenosti. Odkrili smo kaninskim skednjem (slope ridge, arête de pente, Kunaver, 1983, str. 244–247; 2016, str. 50) podobne pobočne pregrade, presenečenje pa so bile tudi škavnice na starejših ledeniških granitnih balvanih, kakršne so lahko pogoste v apnenčastih podlagah. Tudi teh ne omenjajo kasnejši raziskovalci. Že na tem mestu lahko opozorimo na najdbo ledeniško obrušenega dna doline v spodnjem delu doline, na rekonstrukcijo izjemno ohranjenega sistema čelnih in bočnih moren nad in pod bazo, na obstoj blokmerov ter na domnevo o tektonsko dvignjenem erozijskem nivoju, kot dosežke naših raziskovalnih prizadevanj. Povsem napačno bi bilo razmišljati, da se manjši narodi tudi na tej vrsti dejavnosti ne moremo enakopravno meriti z večjimi. Vse je odvisno od sposobnosti, vloženega truda ter ambicij.

Namen naše geomorfološke proučitve doline Baruna je bil v prvi vrsti raziskati akumulacijske ostanke domnevnih večkratnih in različno obsežnih poledenitev ter ugotoviti

njihov obseg. To smo v danih pogojih dosegli s podrobnejšo terensko analizo in opisom reliefa ter z geomorfološkim kartiranjem, in sicer med ledeniškim jezerom Barun (Dud) Pokri pod Makalujem, oziroma bazo na zgornji strani, na višini 5000 m in srednjim delom doline do višine 3300 m, v skupni dolžini 20 km. Spodnji del doline v dolžini 17 km je zaradi močno povečanega strmca in zoženja v glavnem neprehoden in zato manj zanimiv. Najvišji del doline, nad pravkar omenjenim jezerom, pa je povečini pod snegom in ledom. Z drugimi besedami, pozornost smo posvetili predvsem tistemu območju doline, ki je doživelo v pleistocenu največje geomorfološke spremembe, tako v pogledu raznovrstnosti nastopajočih pojavov kot tudi učinkov. To je od zaključka Zgornjega barunskega ledenika oziroma od ledeniškega jezera Barun (Dud) Pokri (na višini 5000 m), mimo Spodnjega barunskega ledenika, mimo planin Ne in Jangle do Mombuka (na višini 3300 m). Od tam se hitro zmanjšujejo količine akumulacijskega gradiva v dnu doline, ki postaja ožja, obenem pa se spreminja tudi oblika dna doline iz dovolj tipične ledeniške U-oblike v rečno erozijsko V-dolinsko obliko.

Zaradi že omenjenih omejitev so bile erozijske glacialne oblike, ki jih najdemo višje v pobočjih, bolj v drugem planu. S sodobnimi metodami, kot je uporaba aplikacije Google Earth, in primerjavo s starejšimi terestričnimi fotografijami, je bilo mogoče priti do novih spoznanj o značaju visokogorskega reliefa tudi visoko nad dnem doline. Do teh rezultatov smo prišli že s fotografranjem ostenij nekaterih pobočnih pregrad, predvsem pa s pomočjo opažanj na vzponu v stransko, obviselo dolino na levem bregu Baruna, v smeri sedla Činama La (11. 10. 1972). Kasneje smo s satelitskimi posnetki lahko celo identificirali kraje terestričnih posnetkov, hkrati pa določili tipe površja, oziroma reliefa ter celo višinska razmerja. V času raziskav l. 1972 za to območje nismo imeli topografskih kart. Od daleč tudi ni bilo mogoče jasno ugotoviti, ali so stranske pobočne doline na levem bregu Baruna res obviseloga tipa ali ne. Ta lastnost, pregib v pobočju med položnejšimi zgornjimi in strmejšimi spodnjimi deli pobočij ni tako jasno razločen in izrazit, kot ga srečujemo na primer v Alpah. Satelitski posnetki novejšega časa pa so tudi v tem primeru pomagali ovreči dvome v njihov obstoj.

Na terenu se je pokazalo, da bo mogoče priti do zanimivih sklepov glede relativne starosti posameznih morenskih ostankov tudi s pomočjo razvitosti pedoloških profilov pa tudi s pomočjo periglacialnih krioturbatskih procesov, ki so preoblikovali površje različno starih moren.

V pokrajini, kakršna je dolina Baruna, smo (l. 1972) naleteli tudi na čisto tehnične težave, ki so oteževale terensko delo, kot so na primer neprehoden teren in območja, ki jih neprestano ogrožajo plazovi. V dolinskem dnu tega ni bilo veliko, tudi je take terene mogoče opazovati in fotografirati od daleč. Največjo tehnično težavo je pred petdesetimi leti predstavljalo pomanjkanje primerno natančne kartografske podloge. Le za zgornji del doline je obstajala Schneiderjeva karta v merilu 1 : 50.000 (Schneider, 1963).

Srednji in spodnji del doline sta bila kartografsko obdelana le v manjših, za terensko delo neuporabnih merilih. Prisiljeni smo bili napraviti nekaj preprostih terenskih meritev s pomočjo krokiranja za topografske skice velikega merila, v katere smo lahko vnašali geomorfološke podatke. Višine smo merili z aneroidom.

Veliko pomoč je pri opisovanju makro in mikro geomorfoloških pojavov v sedanjí fazi raziskave in pri pisanju te razprave pomenilo že omenjeno računalniško orodje,

kot je Google Maps in še zlasti Google Earth pa tudi My Maps. Tako je bilo mogoče razpoznavati posamezne reliefne značilnosti ter virtualno meriti razdalje in višine v oddaljenem in težko dostopnem terenu, kakršen je barunski.

Poleg proučevanja glacialnih ostankov v dnu doline smo bolj bežno pregledali tudi robna območja, posebno na vzhodni strani doline Baruna v smeri Pika 3 do višine 5660 m, ter okolico pristopne poti do prvega taborišča pod Makalujevo južno steno do višine 5900 m. V srednjem delu smo proučili poleg dna doline še nekatera stranska pobočja, predvsem tisto, ki vodi do prelaza Činama La na nepalsko-kitajski meji (5170 m, po višineru).

Geomorfološka podoba Zgornje barunske doline s tem opisom ni popolna, ker ne obravnavamo najvišjih predelov. Novejše razprave Kalvode in Kuhleja pa odstirajo geomorfološke tančice tudi iz najvišjih in najtežje dostopnih območij, skupaj z vrhovi, s čimer je postala dolina zgornjega Baruna geomorfološko ena prepoznavnejših himalajskih pokrajin. Od mnogih drugih se loči po relativni nerazčlenjenosti in zaključenosti območja ter nekakšni razvojni enostavnosti. Z drugimi besedami, dolina Baruna in njeno gorsko zaledje predstavlja nekakšen geološki in geomorfološki park z zelo izrazitimi, skoraj šolsko oblikovanimi glacialnimi in periglacialnimi pojavi.

3 Oris literature in virov

Barunska dolina je pred nami doživela precej obiskov, večinoma alpinističnih, kar je v glavnem posledica bližine Mount Everesta. Večina odprav na Makalu tj. ameriška, obe francoski in japonska, je uporabila pristop iz Sedue čez Barun La. Zato je mogoče v vsakem od opisov poti najti nekaj koristnih podatkov, čeprav povsod manjka širši geografski pregled. Dve odpravi, ki sta do sem prodrli iz Kumbuja oziroma iz dolin Isva Kola, tj. novozelandska in angleška, nista raziskovali širšega območja med dolino Baruna in Hongu, ker sta se posvetili iskanju snežnega človeka. Iz tega zgodnjega obdobja razen geoloških študij P. Bordeta ni znano nobeno drugo znanstveno delo, ki bi podrobneje omenjalo geografske oziroma geomorfološke posebnosti Barunske doline. Znano je le, da je Hillaryjevo, torej novozelandsko ekspedicijo, ki si je 1. 1954 prizadevala povzpeti se na Makalu po francoski smeri, spremljal geograf.

Bordet je prišel v Barunovo dolino dvakrat. Prvič jeseni 1954 v okviru pregledovalne ekspedicije, drugič pomladi 1955 skupaj z geologom Latreillem, kar je bilo povezano z zmagovito francosko ekspedicijo na Makalu. Rezultat njenega terenskega dela, ki je bilo kombinirano z dolgimi pristopnimi in povratnimi pohodi vzdolž Aruna pa tudi v smeri Katmanduja, je več znanstvenih del izpod peresa omenjenega geologa. Iz najboljšejšega med njimi je mogoče izluščiti tudi nekaj geomorfoloških podatkov. Bordet omenja v knjigi le nekatere najbolj izstopajoče geomorfološke pojave in procese, ki jih poskuša razložiti, a se čuti, da je bila geologija primarni interes. Bordet je za svoje geološke karte deloma uporabil indijsko karto Nepala v merilu 1 : 253.400, list 72 E-I-M in karto Royal Geographical Society iz leta 1933. Iz novejšega časa datira odlična topografska karta K. Schneiderja v merilu 1 : 50.000, ki poleg Everestovega območja prikazuje tudi zgornji del Barunske doline. Toponimi tega dela doline, ki smo jih uporabili na geomorfološki karti, izvirajo iz ome-

njene Schneiderjeve karte. Skoraj vsa ostala imena nižje ob Barunu so posredovali domačini.

Med uporabnimi viri za območje Baruna so številne geološke, geomorfološke in glaciološke študije za območje pokrajine Kumbu pod Everestom. Vedno več pa je dokazov, da tudi na tej kratki razdalji obstajajo klimatske in vegetacijske razlike ter nianse v razvoju površja. Ko še ni bilo podrobnejših regionalnih študij, so bile za grobe primerjave koristne danes že zastarele klimatske, vegetacijske in glaciološke razprave o centralnoazijskih gorstvih in višavjih H. von Wissmanna (1961). Dolgo časa so nudile najboljše orientacijske podatke za zgornje meje gozda, recentno in ledenodobno snežno ločnico ter za obseg poledenitev.

Geomorfologa, pa tudi geologa Kalvodo (1979a; 1979b; 2007; 2013; 2020; 2021), najpogostejšega raziskovalca pod Makalujem in daleč najplodovitejšega pisca je najbolj zanimala tektonska in litološka struktura gorovja in t. i. »ekshumacija« reliefa. Manj pozornosti posveča osnovnemu geomorfološkemu inventarju, zlasti pod baznim taborom oziroma nižje v dolini. Podobnemu vzorcu je zvest v večini svojih del, pri čemer je dolina Baruna samo ena od himalajskih pokrajin, ki jo pozna do podrobnosti. Za Kalvodo je značilno, da obravnava še vidne ostanke tektonskih narivov in vplive različne kamninske sestave ter tektonskih linij. Najbolj pa se osredotoči na značilne in standardne oblike gorskega, ledeniško oblikovanega reliefa. Tako se mu zdijo Makalu, Baruntse in Pik, 7502 m, podobne piramide kot Matterhorn (1979b, str. 22). Svod nekdanjega tektonskega pokrova (Barunska napa) ali nariva naj bi bil nekoč približno 1000 m višje, ali z drugimi besedami, današnji relief naj bi bil za toliko in še več erozijsko pogreznjen v globino prvotnih narivnih pokrovov. Himalaja je še vedno gorovje, ki nastaja dobesedno pred našimi očmi. Tako na primer že nekaj časa vemo, da Himalaja v srednjem, predvsem pa v starejšem pleistocenu še ni poznala poledenitve, ker je bila prenizka. Kalvoda (1979a, str. 21–22) meni, da je bila v vzhodnem Nepalju Himalaja na začetku pleistocena dvignjena do 4000 m visoko, sredi pleistocena, ko naj bi se prvič pojavil barunski ledenik, pa 6000 m. Šele konec pleistocena je barunski ledenik lahko dosegel svoj največji obseg.

Češki raziskovalci so prišli v dolino Baruna že leto za nami (1973), a ni znano, da bi iskali stike, oziroma da bi za nas sploh vedeli. Zaradi takratnega stanja komunikacij v znanstvenem svetu in posledic politične delitve Evrope je to razumljivo. Kalvoda knjigo Makalu (MK, 1974) navaja v seznamu literature (1979a) ter Aleša Kunaverja kot prvega med avtorji. O dosežkih celotne odprave leta 1972 v tuji literaturi ni kaj prida informacij.

Prednosti aktualne objave so v tem, da smo prisiljeni vsaj v glavnih potezah predstaviti dosežke tudi drugih. Teh se je v petdesetih letih nabralo resnično veliko. V nadaljevanju predstavljamo predvsem tiste objave, ki so bile dostopne, in kadar obravnavajo snov, povezano z našo. Med prvimi zasledimo objavo Jaroša in že omenjenega Kalvode (1976) o geoloških raziskavah na odpravi na Makalu. Nato isti avtor objavi dve razpravi o geomorfološkem kartiranju in kvartarnem razvoju doline Baruna (1979a, 1979b). Oba vira smo podrobno proučili in avtorjeve navedbe primerjali z našimi ugotovitvami. Podobna je razprava o dinamiki reliefnega razvoja območja Makalu–Barun (2007). Zadnje objave istega avtorja so usmerjene v razlago razvoja reliefa v kvartarju in v obravnavanje iznosa erozije in denudacije v istem območju (2020, 2021).

Kalvoda se je uveljavil tudi z geomorfološkim raziskovanjem v drugih visokogorskih območjih Himalaje in izven nje. V nadaljevanju omenjamo v glavnem le še tiste avtorje, ki so prispevali neposredno ali posredno k poznavanju značilnosti poledenitve v dolini Baruna, ali pa v neposrednem sosedstvu, zlasti Kuhleja (2005; 2006a; 2006b; 2006c). Pokojni nemški geograf Mathias Kuhle (umrl je v nepalskem potresu 15. 4. 2015) je bil eden najbolj plodovitih in prodornih raziskovalcev poledenitve Himalaje in Tibeta, znan po tem, da je za obdobje starejšega würma predvideval mnogo obsežnejšo poledenitev od današnje. Še posebej podrobno se je ukvarjal z območjem Everesta in njegove širše okolice, vključno z območjem Makaluja. V okviru velikopoteznega iskanja sledov domnevno največje poznopleistocenske poledenitve v Himalaji in Tibetu se je odločil tudi za sistematično analizo celotnega gorskega reliefa, ki predstavlja dno in pobočja doline Baruna.

Koristne splošne podatke je bilo mogoče črpati tudi iz nekaterih izbranih preglednih regionalnih glaciogeomorfoloških študij, ki doline Baruna neposredno ne obravnavajo (Owen in sod., 1998; Fort, 2004; Richards in sod., 2014).

Laura Büchler (2019) je nedavno prispevala specializirano analizo starosti morenskega gradiva s pomočjo kozmogennih radionuklidov v območju t. i. Budovega vrta, tik nad bazo. Kolikor je mogoče presoditi, je to metodološko ena najbolj zanimivih in naprednih študij. S tem pa je seznam geomorfoloških raziskovalcev doline Baruna v glavnem zaključen.

Območje Baruna je zadnja leta nekoliko pogosteje omenjeno v delih avtorjev, ki so naravnana bolj okoljsko, tudi v zvezi z novimi ledeniški jezeri in katastrofalnimi poplavami (GLOF, npr. Byers in sod., 2019) (Slika 7).

Slika 7: Alpinistične in znanstvene odprave na Makalu in v dolino Baruna od začetkov do 6. JAHN, 1975

- 1921, Mallory je prvi fotografiral dolino Baruna s prelaza Rapiu La, SV od Mount Everesta.
- 1933 posadka letala Westland/masiv Makalu/prvi prelet masiva Čomolungme in fotografiranje/(Blacker, 1933, 1934 in 1935).
- 1952, raziskovalno-planinska skupina: Hillary, Shipton in Evans. Pohod iz Solo Kumbuja v dolino Baruna prek ledenika Barun, čez Barun La do Sedue.
- 1953, drugi polet čez vrh Sagarmatha, indijski letalci (Jayal, 1954; Album del Everest ... 1954) fotografirali masiv Čomolungme ter vrhove in ledenike Kumbakarne Himal.
- 1954, novozelandska odprava pod vodstvom Hillaryja se je iz barunskega ledenika povzpela na Baruntse in številne šesttisočake (Hillary, 1955 a, b, 1956; Lowe, 1955 a, b; Hillary in Love, 1956; Hillary in Dow 1962).
- 1954, jeseni se je francoska raziskovalna skupina pod vodstvom Franca (1955a) povzpela na vrh Kangčungtse in odkrila najugodnejšo pot za vzpon na Makalu čez ledenik Čago in prelaz Makalu La.

- 1955, odlično pripravljena francoska odprava se je z vsemi člani odprave povzpela na vrh Makaluja (Franco, 1955 b, c, 1955–1956 ali 1956–1957, 1956; Franco in sod. 1955; Terray, 1956; Viallate, 1956–1957).
- V obeh zgoraj omenjenih francoskih ekspedicijah sta sodelovala geologa Bordet in Latreille. Bordet je svoje raziskave obdelal v obsežni monografiji (Bordet, 1961). Poleg topografske karte 1 : 50 000, na kateri sta prikazana Mount Everest in Makalu (Esquisse topographique ..., 1954–1955) so bile izdelane geološke skice dolin Arun, Barun, Hunku, Imja in Kumbu.
- 1955, kalifornijska odprava pod vodstvom W. Siri (Dunmire, Unsoeld, 1955) je brez uspeha delovala na jugovzhodnem grebenu Makaluja.
- 1961, na pobočjih Makaluja in ledenika Barun so raziskovali alpinisti v okviru britanske znanstvene odprave (Gill, Harisson, 1961; Ward, 1961, 1963; Pugh in Bishop in sod., 1962).
- 1963, izdana je bila odlična karta Kumbu Himal (Schneider in sod. 1955–1963; prim. tudi Schneider, 1957, 1964–1967), katere vzhodni rob je vključeval območje Baruna do začetka Spodnjega barunskega ledenika.
- 1971, japonska alpinistična odprava (Hara, Ara, Asami, 1971; Kikuto Katok, 1972).
- 1971, francoska alpinistična odprava leta 1971 (Paragot in sod., 1971).
- 1972, jugoslovanska alpinistična odprava (4. JAHO) jeseni 1972 (Kunaver, 1974), preplezanje južne stene Makaluja.
- 1973, 3. češkoslovaška alpinistična odprava »Himalaya 1973« (Volk, 1973; Kalvoda, 1973, 1977; Lorenc, Kalvoda, 1973; Daniel, 1974, 1977; Daniel, Kalvoda, 1973, 1974, 1979; Kalvoda in sod., 1974).
- 1974, nemško-avstrijska alpinistična odprava.
- 1975, 6. JAHO, vzpon čez južno steno na vrh Makaluja (Kunaver, 1976).

4 Geografske, zlasti reliefne poteze doline Baruna in njene okolice

4.1 Zemljepisna imena

V rabi zemljepisnih imen na območju doline Baruna so v preteklih desetletjih nastale nekatere spremembe. Medtem ko pred petdesetimi leti nismo zaznali, da bi bilo več različnih imen za isti kraj, je zdaj drugače. To je lahko posledica večje obiskanosti območja in zelo različnih uporabnikov in virov za imena ali pa posledica različne etnične in jezikovne sestave v tem delu Nepala. Morda na to nismo bili posebej ali dovolj pozorni? V pomanjkanju zemljevidov smo bili glede terenskih oziroma geografskih

informacij skoraj docela odvisni od domačinov iz rodu Botijev, ki so nas spremljali. Danes se, v primerjavi s preteklostjo, v veliko bogatejši in lažje dostopni literaturi pogosto pojavljata dve ali celo tri različno pisana imena, kar pomeni, da ni povsem enotne rabe in oblike tamkajšnjih zemljepisnih imen ali pa so imena celo napačno zapisana. Pojavljajo se tudi povsem nova, oziroma doslej neznana imena, ki jim lahko daje prednost samo en avtor. Neredko se avtorju ne zdi potrebno pojasniti, za katero območje oziroma njegovo geografsko lego velja neko ime.

Neurejenost tega področja ne koristi jasnosti razlag posameznikov, prej obratno. Tudi objavljene karte večinoma niso opremljene z imeni, celo velike Kuhlejeve (2005) celostranske fotografije z geomorfološkimi simboli ne.

V besedilu uporabljamo samo poslovenjeno ime. Kot primer navajamo ime planine Ne, ki v literaturi najpogosteje nastopa kot Nghe Kharka in Nhe Kharka. Kharka pomeni planinski pašnik, planino, skratka travnato območje, kjer je mogoča paša (Slika 8). V času odprave 1972 besede kharka nismo slišali. Zanimiv je tudi primer imenoslovja ledeniškega jezera pod čelom Zgornjega barunskega ledenika, ki ga eni imenujejo Barun Pokri, drugi Dud Pokri, tretji pa Tulo Pokri. V tej razpravi smo se v izogib nejasnostim odločili uporabljati kombinirano ime Barun (Dud) Pokri.



Slika 8:

Planina Ne, v ozadju pobočja s slapovi pod Pikom 7, v prvi polovici septembra, 1972, ko je bila živina iz oddaljenih vasi še na paši.
(Foto J. Kunaver, 1972)

Gostota uporabljanih zemljepisnih imen je v zadnjih desetletjih precej narasla, vsaj ob poti od zadnjih vasi čez gorski hrbet Bararate Himal v dolino Baruna in po njej. Organizacija turističnih trekingov zahteva več stavb za prenočevanje in postrežbo pohodnikov in romarjev, tudi na krajih, kjer jih prej ni bilo. Namesto starih so se ponekod pojavila tudi povsem druga, nova imena. Do nedavnega običajno ime Barun Kola Kuhle (2005) zamenjuje ime Barun Nadi (hindujska beseda za reko). Zakaj ta sprememba, ni jasno.

4.2 Desni breg Aruna

Reka Barun je desni pritok Aruna, ta pa je del rečnega sistema Sapt Kosi-Sedmero-rečja v vzhodnem Nepal. Ta rečni sistem sestavljajo reke Sunkosi, Indravati, Tamba Kosi, Bote Kosi, Dud Kosi, Arun in Tamur. Reka Arun je v vzhodnem delu Nepala največja himalajska reka, ki ima izrazito severno-južno smer, tam, kjer prečka glavni himalajski greben. Severno od tod zbira vode iz obsežnega ozemlja v Tibetu, tudi iz severnih delov Mahalangur Himala, kar je enako širšemu območju masiva Mount Everesta. Obravnavano območje je del vzhodnega nepalskega okrožja Sankuwasabha.

Vsa dolina Barun Kole ali reke Barun od začetkov Zgornjega barunskega ledenika pod Pethangtsejem (6735 m) do sotočja z Arunom na višini 1120 m naj bi merila 67 km (Kalvoda, 1979) (Slika 9). Po drugih podatkih je kakšnih deset kilometrov krajša, na oglasih za trekinge pa meri samo 46 km. Točnih podatkov torej nimamo, a merjenje na Googlovih digitalnih zemljevidih je dalo rezultat 52,6 km. V grobem je dolino mogoče razdeliti na tri dele. Spodnji, najnižji del je dolg 17 km, točneje 16,6 km, kar je od sotočja z Arunom (1120 m) do Mombuka (3300 m). Srednji, oziroma zgornji del doline (Upper Barun Valley), od Mombuka do baznega tabora pod Makalujem oziroma do izvira reke Barun pri jezeru Barun (Dud) Pokri (4900 m), meri 21,3 km. Najvišji del doline Baruna zavzema sedanji Zgornji barunski ledenik, kar pomeni razdaljo 14,7 kilometrov. Skupaj torej 52,6 kilometrov.

Slika 9:

Pogled z višine, s poti na sedlo Činama La, na dolino Baruna med Nejem, Janglejem in Mombukom ne kaže povsem prepričljivo, da imamo opravka s tipično ledeniško dolino. (Foto J. Kunaver, 1972)



Terensko geomorfološko smo raziskovali srednji, oziroma zgornji del doline Baruna, torej med baznim taborom in Mombukom. V tem delu doline Baruna je mogoče razlikovati nekako pet glavnih značilnih dolinskih odsekov.

4.3 Reliefne značilnosti celotne doline Baruna in sosedstva

Na omenjeni razdalji se dno doline zniža od začetnih višin, ki so v krnicah Zgornjega barunskega ledenika na približno 6000 m, do omenjenega sotočja Barun Bazarja (1120 m) za slabih 5000 m, kar pomeni strmec 73 ‰, oziroma 86 ‰ (57 km). To je eden največjih znanih dolinskih strmcev na Zemlji. Če merimo strmec reke Barun od njenega izvira v jezeru Barun (Dud) Pokri, nedaleč od baznega taborišča (4830 m) do izliva v Arun (razdalja cca 40 km, višinska razlika 3850 m, oziroma 4050 m) je strmec 96 ‰, oziroma 101 ‰. Od izvira pa do Mombuka, kar je cca 25 km, je 1800 m višinske razlike. To je strmec 72 ‰, ki kaže, da je ta del doline Baruna položnejši od najnižjega, spodnjega dela.

Dolino Baruna obrobjata dva visoka gorska grebena, katerih južni nosi ime Bararate Himal, severni pa Kumbakarna Himal. Prvi se začeneja dvigati južno, drugi pa severno od izliva Baruna v Arun in se najprej polagoma zvišujeta na razdalji cca 35 km. Na začetku zgornjega dela Barunske doline se vrhovi v njiju hitro dvignejo na šest in več tisoč metrov. Najvišji vrh Bararate Himala je Pik 6 z višino 6840 m in se dviga med jezikom Spodnjega barunskega ledenika in dolino Isva Kole. Od sosednjega, še višjega grebena Čamlanga (7319 m) ga loči globoka zarezna Isva La, 5340 m. Oba, Bararate in Kumbakarna Himal, pomenita prehod iz Nizke v Visoko Himalajo.

Greben Kumbakarna Himal na levem bregu Baruna je približno enako dolg, vendar se dviguje še više, saj je njegov prvi klimaks vrh Makaluja, 8481 m (leta 1972 so navajali višino 8463, 8475 m, tudi 8485 m in 8481 m), nadaljuje pa se še naprej, vse tja do Mount Everesta.

Barunska dolina poteka torej od severozahoda proti jugovzhodu in je vzporedna z drugimi nižjimi pritoki Aruna, kot so Kasuva Kola, Isva Kola, Čojang Kola in drugi. Ta usmeritev dolin in voda je za to območje Nizke Himalaje značilna in je očitno izraz normalnega drevesastega razvoja Arunovega rečnega omrežja, katerega vzporedni potek so še poudarile v isti smeri potekajoče zgradbene linije. Arun sam poteka v osi velike, proti severu upognjene arunske antiklinale, ki pa je na severnem obrobju še naprej upognjena proti severozahodu. Usmeritev zgradbenih linij v smeri severozahod–jugovzhod oziroma zahodseverozahod–vzhodjugovzhod je zaznavna tudi v Kumbakarna Himalu severno od Makaluja in Mount Everesta, kot je prikazano na tektonski karti vzhodnega Nepala (Hagen 1963, str. 43). Zato ni izključeno, da se takšni vplivi čutijo tudi nižje navzdol v usmeritvi Barunske in drugih omenjenih dolin. Ne poznamo pa pravega vzroka za dva zavoja doline, prvega med južno steno Makaluja in ledeniškim jezerom Barun (Dud) Pokri, in drugega med jezikom Spodnjega barunskega ledenika med Pikom 4 na 6720 m in vrhom z višino 6830 m.

Spodnjega, prvega dela Barunske doline si ni bilo mogoče ogledati, ker tam ni poti. Prehod iz nje v nižji svet oziroma obratno je možen le prek dvojnega sedla Barun La (tudi Šiptong La, Keke La, jezero Kalo Pokri, Kongma La, 3560 m). Višina Mombuka je cca 3300 m, okoli 17 km oddaljeno sotočje z Arunom jugovzhodno od tod pri Barun Bazarju pa je na komaj 1120 m višine. Višinska razlika 2180 m pomeni na tej razdalji celo strmec 132 ‰, kar je izredno veliko celo za gorsko reko. V literaturi navajajo, da

so zaradi tako močnega strmca v spodnjem toku Baruna nastale neprehodne soteske, ki pa jih verjetno spremljajo tudi večje stopnje v strmcu. Območje med Makalujem in izlivom Baruna v Arun velja za tisti predel na Zemlji, kjer obstajajo največje relativne višinske razlike na kratki razdalji. Relativna višinska razlika med vrhom Makaluja na 8481 m in 35 km oddaljeno Barunovo lokalno erozijsko bazo, tj. Arunom, je 7361 m. Ta pojav je povzročila predvsem izredno globoka zarezanost Aruna prečno na greben Visoke Himalaje in to v sosedstvu najvišjih vrhov na zemlji.

Ta lastnost Arunove doline je vzbudila pozornost geomorfologov že v zgodnjem obdobju raziskovanja Himalaje. Wager (1937) je s proučevanjem zgornjega toka Aruna prišel do sklepa, da je Arun že od nekdaj tekel prečno na himalajsko gorsko verigo. Njegova globoka soteska je posledica globinske erozije v podlagi, ki se že od mlajših geoloških dob postopoma dviguje. Gre za izostatična epirogenetska, vertikalno usmerjena gibanja. Arun je torej nekoč tekel čez dosti nižji svet in se vanj začel vrezovati od začetka tektonskega dvigovanja Himalaje. Današnje globoke soteske so torej plod dolgotrajnega kombiniranega procesa erozije in tektonskega dviganja. Da je Arun res klasičen primer prodorne ali antecedentne doline, dokazuje tudi podolžni profil rečnega dna. Ta je v zgornjem toku položen, nato pa se mu ob prehodu prek Himalaje izredno močno poveča strmec tako, da dobi profil konveksno obliko. Nekako od Numa navzdol, morda še nekaj nižje, pa strmec najprej hitro, nato pa postopoma upada. Tudi v podolžnem profilu doline Baruna je čutiti ta vpliv, seveda le v spodnjem toku, kajti njegovega srednjega in zgornjega toka s tem povzročena zadenjska erozija še ni dosegla (Slike 10, 11, 12).

Slika 10:

*Nizka Himalaja nad dolino Aruna z višinskim razponom od 1000 m (dna dolin) do 3000 m in več (grebeni)
(Foto J. Kunaver, 1972)*





Slika 11:

Soteska Aruna pri Numu.
(Foto J. Kunaver, 1972)

Ob pogledu na hidrografske in reliefne karte območja desnega brega srednjega toka Aruna, ki je enako območju že omenjene največje vrezanosti te reke v glavne himalajske grebene, pade v oči značilen pahljačasti raspored omenjenih dolin, ki odmakajo masive Makaluja in Čamlanga. Od severa proti jugu se njihova smer spreminja od jugovzhodne do jugozahodne. Ena od izstopajočih lastnosti je odsotnost stranskih dolin in pritokov. Taka je v prvi vrsti dolina Baruna, ki je najdaljša od vseh in ima svoj začetek v ledeniškem območju Makaluja. Podobna ji je sosednja dolina Saldima Kola, severovzhodno od nje, ki je edini, in to levi pritok Barun Kole. Še bolj pa dolina Isva Kole, ki je vrezana komaj pet kilometrov v stran, jugozahodno od nje in je na daljši razdalji povsem vzporedna z dolino Baruna. Sotočje z Arunom ima nižje, na 750 m. Povprečna medsebojna oddaljenost teh dolin je med pet in deset kilometri, tudi naslednje, četrte, še nižje doline Apsuva Kola. Taka situacija kaže na močne geološko-tektonske vplive.

Slika 12:

*Dolina Aruna pod Numom.
(Foto J. Kunaver, 1972)*



5 Geomorfološke značilnosti posameznih delov doline zgornjega Baruna s sledovi poledenitev

5.1 Dolinski odseki

Dolino zgornjega Baruna, z izjemo stranske doline Spodnjega barunskega ledenika, smo proučevali in opisujemo po odsekih, ker so med njimi jasne višinske, morfološke in sedimentološke razlike. Razlikujemo pet glavnih dolinskih odsekov. Prvi je od Mombuka do planine Jangle (3300–3640 m, 6,9 km), drugi je od planine Jangle do planine Ne (3640–3760 m, 1,5,5 km), tretji je stopnja nad planino Ne do planine Ramron

(3760–4300 m, 5 km) blizu čela Spodnjega barunskega ledenika. Četrty je 4 km dolg, raven odsek od Ramrona do Šeršona (4300–4700 m) in peti odsek (4700–4830 m, 3,8 km) od Šeršona do baznega tabora oziroma do ledeniškega jezera Barun (Dud) Pokri.

Ker gre za izrazito visokogorsko ledeniško območje, smo največ pozornosti posvetili razvoju poledenitve in njenim sledovom. V glavnem se omejujemo samo na sledove poledenitve v dnu glavne doline, ne pa toliko na poledenitev na pobočjih in v stranskih dolinah. O splošnih zaključkih in problemih spregovorimo še v drugem delu razprave, ko jih primerjamo z ugotovitvami in zaključki kasnejših raziskovalcev. V tem prvem delu je poudarek na terenskih najdbah, vtisih in opazovanjih.

Ker je imel glavni dolinski ledenik (kot nadaljevanje Zgornjega barunskega ledenika) najpomembnejši vir ledu v zgornjem delu doline, so za datiranje najpomembnejši ostanki prav tega. Za izhodišče predpostavimo, da so najnižje ležeče morene najstarejšega datuma in da navzgor po dolini postajajo vedno mlajše. Značilno je, da so izraziti morenski ostanki ohranjeni le od planine Ne navzgor po dolini.

V obravnavanem srednjem delu celotne doline Baruna ni bilo, z izjemo Spodnjega barunskega ledenika, večjih stranskih ledenikov, ki bi mogli samostojno zapolnjevati dno doline. Značilni pa sta dve, po štiri kilometre dolgi, obviseli stranski ledeniški dolini. Ena je severno nad planino Langmale, danes zaprta z obsežno subrecentno čelno moreno. V njej je manjše ledeniško jezero (Langmale lake), ki ga je že omenjeni podor 20. aprila 2017 izpraznil in povzročil GLOF v dolini Baruna. Druga, podobna, a višje ležeča, zaprta s podobno čelno moreno, je nad Šeršonom, kjer je nekoč obstajal ledenik pod Pikom 3 (Slika 13).



Slika 13:

Pogled na grapo z vršajem pod stransko obviselo ledeniško dolino nad Šeršonom; zgoraj v sredini mladoholocenska čelna morena ledenika izpod Pika 3.

(Foto J. Kunaver, 1972)

V območju Mombuka, kjer pride steza iz Barun Laja do dna Barunske doline (3300 m), na začetku prvega dolinskega odseka, je dolinski profil V-oblike, brez ravnega dna. Reka Barun je v dolinskem dnu vrezana v grobe gruščnate sedimente, ki so ga nekoč

zapolnjevali v celem. Nižje navzdol je teh sedimentov zaradi ojačane erozije domnevno še manj oziroma jih verjetno sploh ni. Od izliva v Arun do sem je dolina Baruna torej skoraj povsem nerazčlenjena in brez daljših stranskih dolin. Na pobočjih obeh strani se menjavajo le posamezne, kratke, do največ enega kilometra dolge obviselne zatrepne doline, ki segajo pod greben (Slike 14, 15, 16).

Slika 14:

Začetek spodnjega dela doline Baruna, kjer se ta zoži. (Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 15:

Greben Kumbakarna Himala (levi breg Baruna) z eno od stranskih obviselih dolin in jasno vidnim ledeniškim ramenom. (Foto J. Kunaver, 1972)





Slika 16:

*Budistični čorten
na planini
Langmale.
(Foto J. Kunaver,
1972)*

Dolinski odsek med Mombukom in planino Jangle. Najdba starega ledeniškega obrusa

Dolina se od Mombuka navzgor na razdalji približno 5 kilometrov, kjer pridemo do planine Jangle (3760 m), ne širi prav hitro. A prečni prerez postopoma postaja bolj podoben črki U. Zato postaja širše tudi dolinsko dno, kjer je sipkega akumulacijskega gradiva sprva še malo.

Približno 1,5 kilometra pod Janglejem smo našli dokaz, da je bil tudi ta, najnižji proučevani in dostopni del srednje, oziroma zgornje doline Baruna, nekaj časa pod ledom. Pod sedimenti je na levem, severnem bregu precej na široko razgaljena živoskalna podlaga iz gnajsa. Ta je izrazito ledeniško zglajena in izginja pod bližnje morensko gradivo. Jasno so vidne vzporedne ledeniške raze, ki jih ni mogoče zamenjati z belimi strukturnimi progami, značilnimi za pasoviti biotitni gnajs. Raze z njimi zaklepajo oster kot. To je lepo vidno tudi na posnetku (Slika 17). O morenskem gradivu, ki pokriva to podlago, ne more biti dvoma, le da ni bilo mogoče ugotoviti, kje se ta konča in se nadaljuje pobočno gradivo. Ni bilo tudi mogoče zaznati znakov večje starosti morenskega gradiva, kar je pri prevladujoči silikatni sestavi pogosto. Karbonatne morene so v tem pogledu bolj spremenljive.

Eden od odgovorov na temeljno vprašanje, kakšen in kdaj je bil največji obseg poledenitve v tem delu Himalaje in kdaj, tiči v značilnostih in položaju ledeniškega obrusa. Ta je lahko le večje starosti, in sicer iz več razlogov. Glavni je velika oddaljenost od čela sedanjih ledenikov in odsotnost kakršnihkoli morenskih nasipov. Iz prevladujoče smeri ledeniških raz sklepamo, da so lahko nastale samo pod dolinskim ledenikom in to ne prav blizu njegovega zaključka. Nekoliko višje, v drugem dolinskem odseku so dodatni dokazi za starejšo, ali celo več starejših poledenitev. Da med učinke ene od njih spada tudi obravnani obrus, ne more biti dvoma.

Slika 17:

Starejši ledeniški obrus pod Janglejem v podlagi iz pasovitega biotitnega gnajsa. Opazna je razlika v usmerjenosti belih strukturnih prog, značilnih za pasoviti biotitni gnajs. (Foto J. Kunaver, 1972)



Tega obrusa kasnejši raziskovalci niso našli in ga ne omenjajo, čeprav je v neposredni bližini edine steze. Kalvoda (1979b, str. 21) se pri iskanju dokazov o obstoju neke najstarejše poledenitve sklicuje na ledeniške obruse na »roches moutonnes« v najvišjem delu zgornje barunske doline, in to 1,5 km severno od Pika, 6540 m, pod severozahodno steno Makaluja in nad Barun (Dud) Pokri v smeri Japonskega sedla. Hkrati pa ugotavlja pomembno značilnost, da nobena od poledenitev, tudi najstarejša, ni za seboj pustila večjih količin sedimentov (Kalvoda, 1979b, str. 22). Pozneje (Kalvoda, 2013) je mnenje spremenil in omenja glaciofluvialno gradivo še pod Mombukom.

Drugi dolinski odsek med planino Jangle in planino Ne

Tu dolinsko dno dosega širino do nekaj sto metrov. Na tem odseku ima pokrajina ves čas značaj tipične ledeniške doline. Posebno južna pobočja so mestoma skoraj navpična in očitno zglajena od ledu, vsaj v odsekih med položnejšimi deli, ki vodijo višje navzgor. Zanimivo, da je postal Kalvoda, tako kot mi, pozoren na isto, brez dvoma ledeniško obrušeno steno v pasovitem biotitnem gnajsu, v podnožju Ama Bučung (Kunaver, 1974; Kalvoda, 1979a).

Kuhle omenja ledeniški obrus v samem navpičnem boku doline. Če pogledamo na celoto, se zdi, da je ta srednji del doline Baruna, tj. med Janglejem in zožitvijo doline nad planino Ne, erozijsko najbolj poglobljen. Ne samo to, temveč tudi razširitev do-

line je mogoče pripisati močno povečani erozijski moči po združitvi obeh nekdanjih ledenikov.

Za dno doline je značilna ravna, s terasami malo razgibana akumulacijska ravnica, ki sega skoraj od enega do drugega podnožja strmih pobočij. Značilno je, da tod ni videti starejših fluvialnih ali glaciofluvialnih sedimentov, ki bi bili ohranjeni v višje ležečih terasah, niti ni mogoče zaslediti sledov ledeniške akumulacije, z izjemo že omenjenih balvanov. Zaradi GLOF (2017) leta 1972 opisane podobe dna doline tu skoraj ni več.

Pogled na pobočja med Mombukom in planino Ne pokaže naslednje tipične značilnosti ledeniške doline. Medtem ko v najnižjem delu doline Baruna stranske obvisele doline ne kažejo izrazitih sledov poledenitve, pa so od Mombuka navzgor vse izdatno ledeniško preoblikovane, o čemer pričajo izrazite krnice v njihovem vrhnjem koncu. Do te ugotovitve smo prišli s pomočjo Googlovih satelitskih posnetkov in digitalnih kart. Med njimi so se kot erozijski ostanki in ostanki nekdanjega starejšega reliefa ohranili ozki, v smeri največjega strmca potekajoči pobočni grebeni, ki smo jih že omenili zaradi podobnosti s kaninskimi skednji in ostrogami tipa arête v številnih nekoč poledenelih ali pa še poledenelih območjih.

Na jugozahodnih pobočjih nad planino Ne izstopa večja zareza v grebenu Bararate Himala, kjer se pozna vpliv nenadno zvišanega grebena v petisočaku Piku 7 in v Piku 6 (Tutse, 6740 m). Tam so pobočja močno umaknjena pod navpične stene omenjenega vrha, od koder se še danes z manjših pobočnih ledenikov navzdol spuščajo ledeni plazovi in ledeniški potoki. Ta umik ima značaj velike krnice v obliki nekakšnega amfiteatra (Sliki 18, 19). Prva nekoliko daljša stranska dolina se odcepi na drugi, severni strani, šele tik nad planino Langmale. Na njenem obviselem zaključku je videti obsežno recentno čelno moreno, ledenik za njo pa ima svoj izvor v južnih pobočjih Pika 3 in njegove okolice.



Slika 18:

Pik 7 s stransko pobočno dolino. Čez strma pobočja s slapovi vodi romarska pot do Šiva Dare in jame Parbati. (Foto T. Goslar, 2014)

Slika 19:

Pik 7 od blizu.
(Foto T. Goslar, 2014)



Na ledeniško obrušenost subvertikalnih in vertikalnih sten visoko v pobočjih v tem drugem delu doline Baruna smo bili leta 1972 morda nekoliko premalo pozorni. Dolina Baruna med planinama Jangle in Ne s ploskim dnom ter ponekod zelo strmimi do vertikalnimi stenami, na neki način spominja na nekatere alpske doline, kot je na primer Lauterbrunnen v švicarskem Berner Oberlandu. Za obe območji so več kot značilni številni slapovi, ki se z višin stekajo navzdol. Očitna razlika pa je v tem, da so slapovi v Lauterbrunnenu povečini prosto padajoči in to z roba »ledeniškega ramena« do dna doline. Medtem ko so na pobočjih doline Baruna slapovi povečini »plazečiči«, ker večina potokov skoraj na vsej poti ne izgubi stika z gladkimi skalnimi pobočji. To je specifičnost te pokrajine, ki ji v številčnosti slapov skoraj ni para. Ko smo bili v teh krajih oktobra 1972 so slapovi že izginjali zaradi nižanja temperatur. Ista pobočja kažejo poleti povsem drugačno podobo.

Iz razlike med obema dolinama je mogoče potegniti pomembno geomorfološko primerjavo in ugotovitev. Dolina Lauterbrunnen velja za eno najbolj znanih in tipičnih ledeniških dolin, z zelo izrazitimi, šolsko izdelanimi ledeniški »rameni« na obeh straneh. Njen nastanek, kot tudi nastanek večine alpskih dolin, lahko povežemo z več zaporednimi poledenitvami. Ledeniška ramena, ki povsod niso enako izrazita, razlagajo kot ostanek starejšega, predledeniškega reliefa. Tako dolgotrajnega in ponavljajočega se ledeniškega preoblikovanja v Himalaji ni bilo, ker je ta mnogo mlajša od Alp. Ledeniška ramena so v dolini Baruna razvita, a precej manj izrazito. Tudi klasični U-prerez doline ni povsem izoblikovan. Eno pa je bržkone skupno obema dolinama, in sicer, da je morala biti debelina ledenikov, ki sta ju ustvarila, znatna. Nekaj sto metrov široka danja ravnica, ki je sicer spremljevalka večine podobnih ledeniških dolin, na območju Jangleja spominja na nek starejši sandurski proglacialni vršaj.

Ledeniški sledovi med Janglejem in Nejem podrobneje. Izvor balvanov na območju Jangleja

K že opisanim sledovom ledeniškega delovanja na območju med Janglejem in Nejem še razprava o nekaj zelo velikih, napol zasutih balvanih, ki smo jih leta 1972 opazili blizu sredine dolinskega dna in to na krajih precej vsaksebi. Balvani krepko tičijo v prodni nasipini in so nekateri celo napol zasuti, kar lahko pomeni le to, da so starejši od obdajajočega prodnega zasipa. Menimo, da so lahko prišli do sem z ledom, ko je nastal že omenjeni talni ledeniški obrus ali pa pozneje. Z eventualnimi podori jih ne moremo povezovati, ker teh ni posebno veliko, poleg tega so odloženi, kot povedano, precej raztreseno (Slika 20).



Slika 20:

Ravno dno ledeniške doline Baruna pri Jangleju 1972. Danes zaradi GLOF-a 2017 povsem spremenjeno. (Foto J. Kunaver, 1972)

Istodobnega izvora bi bili lahko tudi nakopičeni balvani v južnem podaljšku morenske stopnje nad Nejem. Teh balvanov doslej nismo omenjali, ker so predmet naslednjega poglavja, oziroma problematike nastanka pravkar omenjene stopnje. Značilen je njihov položaj ter nakopičenost na razmeroma majhnem prostoru, predvsem pa izredna velikost. Pod nekaterimi bloki so se ohranili celo prazni prostori in spodmoli. Lahko bi bili tudi ostanek podora, ki je zgrmel z velikih višin Pika 7. Vendar bi se tako veliki bloki težko ohranili, če bi zgrmeli v dolino s tako velike višine, kakor tudi ni verjetno, da bi se pod njimi sploh lahko ohranili prazni prostori.

Druga možnost se zdi verjetnejša, namreč da so bloki na to mesto prišli, kot omenjeno, z nekim ledenikom, ki je segel še dlje navzdol po dolini in je za seboj pustil tudi balvane pri Jangleju. In končno vprašanje, od kod prodni zasip, v katerem so balvani zakopani? To je lahko že omenjeni sandurski vršaj ledeniškega zastoja, ki je opisan malo pozneje, ponuja pa se tudi možnost nekega GLOF-a v preteklosti, podobnega tistemu leta 2017.

Tretji dolinski odsek zgornjega Baruna

Ta se začne tik nad planino Ne (3696 m), kjer se dno doline nenadoma dvigne v stopnji, ki ima videz debele, sipke, nesortirane morenske nasutine z redkimi vmesnimi skalnimi bloki. Vanjo je z ozko strmo, v začetku plitvejšo, pozneje bolj globoko grapo vrezan Barun, ki je od čela Spodnjega barunskega ledenika pa do planine Ne potisnjen na desno stran doline. Celotna dolina se v tem delu nekoliko zoži in naredi zavoj za 45 stopinj. V spodnjem delu je površje stopnje poraščeno z gozdom himalajske jelke (*Abies spectabilis*) in rododendrona (sleča). Višje se površje nekoliko zravna in tako sega vse do čela omenjenega ledenika. Domnevamo, da je v tej relativni ožini v podlagi verjetno talno morensko gradivo. Na severni strani, povečini na levem bregu Baruna, med Ripujem in Djakom številni vršaji segajo daleč v dolino in so krivi za odmik Baruna na desno.

Do čela Spodnjega barunskega ledenika se zvrstita še dve stopnji, ki spominjata na dva ledeniška zastoja, pod čelnim nasipom. Površje tega dolinskega odseka je od spodnjega roba stopnje, visoke dobrih 100 m, ki zaseda vso širino doline, pa do čela tega ledenika razmeroma težko opisati in razlagati, ker so ledeniški sledovi nekoliko neizraziti, površje pa težko prehodno in nepregledno. Vzrok za neizrazitost so daleč v dolino segajoči že omenjeni vršaji s severne strani. Po velikem delu površja te stopnje so raztreseni številni balvani, nekateri izjemno velikih dimenzij. Zato domnevamo, da niso podornega nastanka, ampak ledeniškega. V mešanem gozdu himalajske jelke in drevesnega rododendrona (sleča) je ohranjeno manjše jezero, morebitni ostanek nekdanje čelne kotanje. Spodnji rob jezera spominja na zelo masiven in obsežen nasip, dodatno poudarjen s sotesko Baruna (Slike 21, 22, 23, 24).

Slika 21:

Pogled z višine na
dolinsko stopnjo
nad planino Ne.
(Foto J. Kunaver,
1972)





Slika 22:

Najožji del doline, ki kaže jasne sledove ledeniškega preoblikovanja, pogled navzgor. (Foto T. Goslar, 2014)



Slika 23:

Grapa Baruna nad planino Ne, pogled navzdol. (Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 24:

Jezerce nad planino Ne. (Foto J. Kunaver, 1972)

Četrta, bolj uravnani dolinski odsek doline Baruna

Tu ležijo ostanki umikajočega se Spodnjega barunskega ledenika, njegove recentne in močno skalnate bočne in čelne morene ter obsežno Šeršonsko ledeniško jezero (4600 m). Ob njegovi severni, oziroma levi strani je med Langmalejem in Šeršonom značilna, približno 3,5 km dolga in ozka ter plitva dolina. Nastala je med dobrih 20 m visoko bočno moreno in pobočjem, kjer teče ledeniška rečica Barun in kjer vodi pot do baznega taborišča. Na notranji strani bočne morene je od vrha do gladine ledeniškega Šeršonskega jezera do 100 m višinske razlike. Spodnji barunski ledenik je značilen primer ledenika, močno obremenjenega z morenskim gradivom, ki ustvarja visoke bočne morene (debris covered glacier). Njegov jezik je ozek in ne zaseda vse širine doline. Kuhle (2005) pogosto omenja starejšo morensko podlago, po kateri se premika mlajši ledenik in je zato nekako dvignjen (Slike 25, 26, 27).

Slika 25:

Pogled na spodnji, zaključni del Spodnjega barunskega ledenika, na ledeni slap, kakršen je bil leta 1972, in na levo bočno moreno. Zadaj levo Čamlang, 7319 m, in Hongku Chuli ali Piramida, 6833 m, v sredini. (Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 26:

Na zunanji strani dvajset in več metrov visoka leva bočna morena Spodnjega barunskega ledenika. Na notranji strani je višinska razlika med vrhom morene in talečim se ledenikom blizu 100 m. (Foto J. Kunaver, 1972)





Slika 27:

700 m visok ledeniški slap na Spodnjem barunskem ledeniku, od blizu. Današnja podoba slapa je močno spremenjena.

(Foto J. Kunaver, 1972)

Naslednji, peti dolinski odsek doline Baruna

Prične se nad stičiščem doline Zgornjega barunskega ledenika (in doline Spodnjega barunskega ledenika pri Šeršonu (4700 m)). Od tu navzgor, tik nad vršajem na Šeršonu, se prične obsežen, starostno in genetsko enoznačen in najbolj ohranjen ter zanimiv sistem čelnih in bočnih moren v vsej Barunski dolini, ki je z izjemo Bordeta zaposloval vse dosedanje geomorfologe. Od tu sega skoraj vse do višine podnožja Makaluja, kar je razdalja do 4 kilometre. V tem območju so še morene najmlajšega poledenitvenega sunka Zgornjega barunskega ledenika in subrecentne morene stranskega Tangmarskega ledenika.

Najprej je na območju Šeršona torej obsežen vršaj tik pod iztokom Baruna iz tesni, v kateri reka predira lepo oblikovan in obsežen sistem starejših čelnih moren. Ne dosti manjši, a bistveno strmejši vršaj je nastal ob hudourniku pod stransko, levo obviselo dolino z manjšim stranskim ledenikom pod Pikom 3.

Dolina Zgornjega barunskega ledenika se najprej dvigne na že omenjeni 100 m višji sistem čelnih in bočnih moren z višino 4800 m, ki jih prereže Barun. Za njimi se odpre nekaj nižja obširna akumulacijska ravnica, ki ima vse značilnosti sandurskega vršaja, zlasti v zgornjem delu, kar bo še opisano. Od strani vanjo z desne segajo veliki recentni morenski nasipi Tangmarskega ledenika (po domačinskem imenu za kraj in okolico tik pod baznim taboriščem), ki to ravnico tako delijo na spodnji nižji in zgornji višji del. Isti ledenik, ki nastaja iz pobočnih ledenikov v stenah med Pikom 4 (6720 m) in koto 6550 m, je predril bočne morene omenjenega sistema na desni strani, tik pod Budovim vrtom. Ali je Tangmarski ledenik obstajal tudi v času, ko je bil glavni barunski ledenik bistveno večji od današnjega stanja in je ustvarjal pravkar obravnavani morenski sistem, ni jasno. Kot da ga ni bilo, kar je nenavadno, ali pa so bile nekoliko drugačne klimatske razmere. Sandurska ravnica nad tangmarskimi morenami je poslednja te vrste v Zgornji barunski dolini.

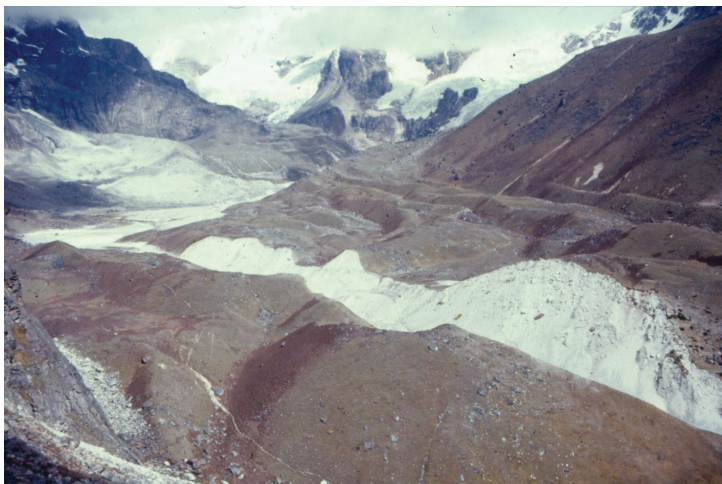
Na njej oziroma nekaj metrov nad njo je bilo 1972 na glaciofluvialni terasi bazno taborišče v višini 4830 m (sodeč po My Maps). Sandur je posejan z ledeniškiimi balvani pa tudi z manjšimi, vrtačam podobnimi termokraškimi depresijami, ki nastanejo zaradi posameznih grud mrtvega ledu. Te se raztopijo šele po nastanku sandurja in se zato na takem kraju površje vdre. Sandur je nastal tik pod nizko čelno moreno Zgornjega ledenika, ki jo je ledenik zapustil šele pred nekaj desetletji, ali pa je iz obdobja male ledene dobe (LIA). Ta del doline na obeh straneh obdajajo že omenjene obsežne in visoke bočne morene, cca 130 do 270 m nad sandurjem (tudi jezerom), ki imajo na vrhu značaj visoke terase (imenovali smo jo Budov vrt, 4960–5100 m), razgibane z nizkimi bočnimi morenskimi nasipi.

Razmeroma majhen strmec doline se še naprej nadaljuje nad recentno čelno moreno Zgornjega barunskega ledenika v območje, kjer je obsežno ledeniško jezero Barun (Dud) Pokri. Drugače je v nadaljevanju doline, ki se na tem mestu obrne skoraj za 80 stopinj proti zahodu severozahodu. Obenem se dno precej strmo dvigne in to za okrog 80 metrov, a se kmalu spet zravna tam, kjer so še ostanki mrtvega ledu. To je začetek najvišjega dela Zgornje barunske doline, ki ni vključen v to študijo (Slike 28, 29, 30, 31).

Slika 28:

*Makalu, 8481 m,
s sistemom
čelnih moren
nad Šeršonom v
ospredju.
(Foto J. Kunaver,
1972)*





Slika 29:

Pogled na izjemno ohranjen sistem čelnih moren poznowürmskega Zgornjega barunskega ledenika s prodorno dolino Baruna. (Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 30:

Pogled od zgoraj na poznowürmske čelne morene Zgornjega barunskega ledenika. (Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 31:

Prodorna dolina Baruna skozi čelne morene. (Foto J. Kunaver, 1972)

Ledeniški sledovi podrobneje: sistem čelnih moren in nekoliko starejše visoke bočne morene v Budovem vrtu nad bazo

Nad Šeršonom se dvigne navzgor že omenjeni obsežni sistem čelnih morenskih nasipov v obliki več s travo poraščenih podkvastih nasipov. Na vzhodni strani teh nasipov se vleče nekaj časa manjša dolinska depresija, po kateri vodi tudi pot navzgor. Verjetno so po tej strani, preden je Barun prerezal čelne morenske nasipe, nekoč odtekale ledeniške vode izpod Zgornjega barunskega ledenika. Omenjeni podkvasti morenski nasipi so najlepši in najbolj izrazito izoblikovani morenski nasipi v vsej dolini Baruna in so lahko referenčni zgled. Razen erozije Baruna ni bilo očitno nobenih drugih kasnejših procesov, ki bi jih kakorkoli poškodovali. Z enim pogledom je mogoče pregledati sistem vsaj štirih čelnih morenskih nasipov, ki so bili odloženi zapovrstjo drug za drugim. Preseneča izredna pravilnost podkvaste izoblikovanosti nasipov. Zaradi vplivov stranskih ledenikov, predvsem Tangmarskega in zaradi zavijanja doline, je prišlo do določene asimetrije v njihovi obliki. Bolj enakomerno so izoblikovani na levem bregu Baruna, tj. na levi strani nekdanjega ledenika, kjer so prehodi iz bočnih moren v čelne morenske loke izredno tekoči (Slike 32, 33, 34).

Slika 32:

Pogled na čelno kotanjo poznawürmskega Zgornjega barunskega ledenika s čelnimi morenami.
(Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 33:

Tangmarski ledenik, spodnji del.
(Foto J. Kunaver, 1972)





Slika 34:

Pogled na čelo
Tangmarskega
ledenika.

(Foto J. Kunaver,
1972)

Čelni del nasipa je postavljen skoraj prečno na smer doline in je razmeroma kratek. Na levem bregu so izraženi trije čelni nasipi ter štiri bočne morene, na desnem bregu pa sta le dva različna nasipa. Ledeniški jezik je tik pred koncem zadel ob prepadna pobočja Pika 4 in se nato usmeril bolj na levo stran doline.

Iz največjega stanja takratnega ledenika ni ohranjena čelna morena. Lahko da sta bila oba ledenika, Zgornji in Spodnji barunski, takrat še spojena, čeprav je danes od tu do Spodnjega približno 1000 m.

Zelo jasna je razlika med pobočji čelnih na eni in bočnih moren na drugi strani. Pri prvih, spodaj nad Šeršonom, so strmejša pobočja na notranji strani in zato relativno bolj senčna, vlažnejša ter posledično poraščena z zadnjimi krpami nizkega rododendrona (sleča). Med drugim je to lahko znak za naraščajočo aridnost podnebja. Na zunanji strani so pobočja morenskih nasipov nekoliko položnejša, kar je sicer običajen pojav, ki se tu samo še potrjuje.

Obratno je pri višje ležečih obsežnih bočnih morenah, da so zunanja pobočja strmejša, zlasti na Budovem vrtu. Te so genetsko in starostno primerljive s pravkar opisanim sistemom velikih čelnih moren nad Šeršonom. Obravnavali bomo predvsem desni, zahodni breg doline, kjer so bočne morene sicer prekinjene od Tangmarskega ledenika, a so v Budovem vrtu nad baznim taboriščem najlepše ohranjene. Na nasprotni strani se slika praktično ponovi. Budov vrt (ime je dobil v času 4. JAHO) je valovita nagnjena terasa, ki ima na spodnji strani višino 5000 m, od tam pa se do zavoja doline, od koder se odpre razgled na Mount Everest, Nuptse in Lotse, dvigne do 5100 m.

Na omenjeni terasi so v medsebojni razdalji 30 do 60 m nizki, komaj meter visoki morenski nasipi. Velik del te širine zavzemajo notranja, zelo položna pobočja nasipov, kar je nekoliko drugače kot pri prej omenjenih čelnih nasipih nad Šeršonom. Na terasi je vsega pet bočnih moren (glej Sliko 38), na bližnjih višjih pobočjih pa še kakšna več, še posebej na pobočjih pod teraso. Videti je, da so bočne morene na Budovem vrtu nastale, ko je imel na tem profilu širino približno 700 m. Lahko da je imel ledenik v najvišjem stanju še večjo širino, a ni videti, da bi bil zato bistveno daljši. Kar preseneča, je razmeroma velik

strmec bočnih moren, katerih nadmorska višina se na razdalji 4,5 km zniža od 5100 na 4800 m. Vlečejo se vzdolž pobočij in postopoma izgublajo na višini. Na pobočjih imajo morenski nasipi obliko ozkih teras, z različno dvignjenim robom na zunanji strani.

Ta rob ne more biti nič drugega kot robna morena iz faze, ko je ledenik postopoma izgubljal na obsegu. Te morene dosejajo majhne dimenzije, v višino ponekod komaj meter, drugod nekaj več. Teraso so nastale na njihovi zunanji strani in to iz gradiva, ki se je posipalo z obeh pobočij in so ga zravnale vode, tekoče ob robu ledenika. To se je očitno dogajalo v vseh ledeniških fazah. Deloma je treba izravnavanje pripisati tudi drugim procesom, kot sta soliflukcija in eolsko delovanje. Opisane terase imajo deloma lastnosti t. i. kem teras.

Na pobočjih smo mogli naštetih vsega tri bočne morene in ustrezno število teras. Ko je ledenik izmed njih odlagal vrhnjo, je dosegel širino okoli 700 metrov. Takrat je v celoti zapolnjeval obširen prostor, ki zija med obema strmima pobočjema. Še pred tem je ledenik dosegel precej večjo širino.

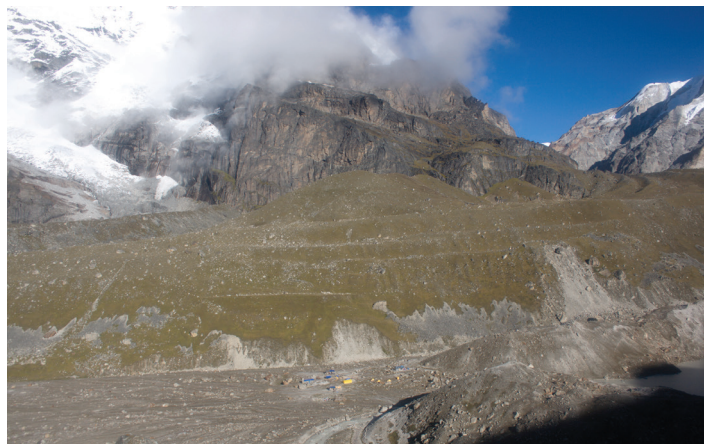
V največjem obsegu je odložil bočne morene tik pod skalnimi pobočji vrha s koto 6380 m, severno od Pika 4. V tem delu doline je takrat dosegel širino, ki ni bila dosti manjša od 1,5 kilometra. Bočne morene najstarejše faze so razmeroma slabo ohranjene, razen na zavoju doline. Razen teh smo na površju Budovega vrta naštelih še štiri bočne morene. Vse so v celoti ohranjene, ker v tem predelu v kasnejšem obdobju ni bilo nobenih močnejših preoblikovalnih procesov. Najbolj je značilno, da so nasipi odloženi drug poleg drugega v razmeroma enakomernih razdaljah. Med enim in drugim je nastala zunanja robna terasa neenakomerne širine, podobna tistim, opisanim zgoraj. Velik del omenjene širine od 30 do 60 m med nasipi, zavzemajo notranja, zelo položna pobočja nasipov. To je posebnost, kajti po naših izkušnjah je običajno nasprotno, vsaj pri recentnih bočnih morenah.

Površje Budovega vrta ima zaradi teh bočnih moren videz nekakšnega nizkega strukturnega reliefa z asimetričnimi kvestami. Nasipi so dandanes že povsem poraščeni s travno rušo, ledeniški balvani pa na površju niso pogosti.

Kmalu za zavojem doline v severozahodno smer zgornji nasipi izginejo. Močno se zmanjša in nazadnje izgine tudi ves nižji in mlajši robni akumulacijski pas, in to zaradi povečanja strmine pobočij in zoženja dolinskega profila (Slike 35, 36, 37, 38).

Slika 35:

Bočne morene Budovega vrta en face, tudi pobočne in čelna morena poznega holocena, baza leta 2014. (Foto T. Goslar, 2014)





Slika 36:

Pogled na Budov vrta s sedmimi bočnimi morenami, spodaj bočne morene poznega holocena. (Foto T. Goslar, 2014)



Slika 37:

Bočne morene Budovega vrta osenčene, detajl. (Foto M. Blatnik, 2014)



Slika 38:

Nesimetrični prečni prerez skozi bočne morene Budovega vrta; smučarska palica kot merilo. (Foto J. Kunaver, 1972)

5.2 Sklepi o zaporedju, obsegu in starosti poledenitev v Zgornji barunski dolini na osnovi raziskovanja leta 1972

O najstarejših sledovih poledenitve doline Baruna smo izčrpno spregovorili že v poglavju 5.1.1. Ponovno o tem problemu govorimo v poglavju 8. Druga najstarejša sled poledenitve je ohranjena na zavoju doline tik nad Nejem v obliki že opisane visoke morenske stopnje. Ta je oddaljena okrog 19 kilometrov od recentne morene Zgornjega barunskega ledenika in 8 km od čela Spodnjega barunskega ledenika. Ob tem se sproži vprašanje, ali je do sem segal le povečan Spodnji barunski ledenik ali pa že združena oba dolinska ledenika. Vsekakor predstavlja ta morenski ostanek sled neke samostojne poledenitve, ki je bila precej obsežnejša od današnjih. Po našem prepričanju gre za prepričljiv ostanek neke pleistocenske poledenitve, podobno kot pri sledovih, omenjenih v prejšnjem poglavju. Zaradi velikega obsega, ki ga je moral imeti takratni dolinski ledenik, sklepamo, da sta bila takrat zelo verjetno oba ledenika združena. Tako sklepamo tudi glede na razdaljo med recentno in veliko staro čelno moreno Zgornjega barunskega ledenika nad Šeršonom, ki znaša le 3,5 km. Razdalja med recentno moreno Spodnjega barunskega ledenika in obravnavano moreno pa je precej večja. Naslednji dokaz za našo domnevo je koncentracija čelnih morenskih nasipov v bližini planine Langmale, ki močno spominja na podoben sistem čelnih nasipov nad Šeršonom (vsaj trikratni narast ledenika, a vsakokrat manjši). O obstoju samostojnega čelnega morenskega nasipa med planinama Ne in Ripu skoraj ni dvoma, bolj problematičen pa je podolgovat nasip v osi doline nad Ripujem še visoko navzgor z značilno množico velikih balvanov. Čeprav spominja na drumlinsko tvorbo, se bolj zdi kot ostanek umikajočega se ledenika z njegovo srednjo moreno kot rezultat spojitve obeh dolinskih ledenikov. Ta tvorba še naprej ostaja ne povsem pojasnjen problem.

V času te druge poledenitve naj bi oba dolinska ledenika tvorila enoten ledeniški tok. Bočnih morenskih nasipov iz tega poledenitvenega obdobja nismo odkrili in so najbrž uničeni. Za himalajske ledenike je značilno razmeroma hitro upadanje debeline ledu v smeri ledeniškega jezika, kar dokazuje precejšnja strmina bočnih moren Zgornjega barunskega ledenika nad Budovim vrtom. Zato domnevamo, da je v tej drugi najstarejši poledenitvi debelina tega ledenika okrog Tangmarja merila še kakih tristo metrov, do planine Ripu pa se je že močno zmanjšala.

V tretjem poledenitvenem obdobju sta bila oba dolinska ledenika verjetno že ločena. Izredno lepo ohranjene čelne morene Zgornjega barunskega ledenika nad Šeršonom so več kot jasen znak za obstoj tega obdobja. Tudi sistem več podobnih moren okrog Langmaleja tja do čela Spodnjega barunskega ledenika spominja na takšen ritem ledeniškega naraščanja in pojevanja. Primerjava kaže seveda razlike v razdaljah med čelnimi morenami. Te so namreč precej večje okrog Langmaleja kot nad Šeršonom. Zdi se, da je Spodnji barunski ledenik kljub manjšemu zbirnemu območju bolj podvržen kolebanju kot Zgornji barunski ledenik in to zaradi klimatsko bolj izpostavljene lege. To je čutiti tudi danes, ko je njegov jezik petsto metrov nižje od jezika Zgornjega barunskega ledenika.

V nasprotju z današnjim stanjem se zdi, da je bilo podaljšanje Spodnjega barunskega ledenika v tretjem poledenitvenem obdobju razmeroma skromno, namreč v primerjavi s 3,5-kilometrskim podaljšanjem Zgornjega v istem času. Ne vemo pa dovolj o takratnih klimatskih razmerah, o smereh padavinskih vetrov. Vemo pa, da je lahko

učinek precej večjega zaledja prišel do veljave le v primeru Zgornjega, ne pa v primeru Spodnjega ledenika. Zbirno/akumulacijsko zaledje slednjega je najbrž manjše od tretjine zbirnega zaledja/območja Zgornjega barunskega ledenika.

V obdobjih pleistocenskih poledenitev je Zgornji barunski ledenik najbrž vsakokrat bolj narastel in se bolj podaljšal kot pa Spodnji. To bi posredno dokazovali tudi Bordetovi platoji, pa tudi prepoglobljenost glavne doline. Spodnji barunski ledenik se namreč tudi danes spušča navzdol v spodnji del svojega toka čez značilno dolinsko stopnjo v ledeniškem plazu. Zgornji del njegove doline ima namreč značaj obvisel doline, ki pa je zelo prostrana. A to še ne pomeni, da se je v njej vsakokrat nakopičilo več ledu kot na območju Zgornjega. Daljše stranske obvisel doline so še nad Barun (Dud) Pokri, na primer dolina Jugozahodnega ledenika pod Pikom 3.

Število bočnih moren Budovega vrta je precejšnje, kot smo povedali, in se v tem pogledu povsem ne ujema s petimi Šeršonskimi čelnimi morenami. Toda kljub temu ni dvoma, da vse pripadajo enemu samemu stadiju, v katerem je ledenik kar osemkrat ali pa morda še večkrat narastel, čeprav vsakokrat na nekoliko manjšo velikost. Šele osmič je verjetno dokončno splahnel. Če primerjamo naklon teh bočnih moren s položajem čelnih moren nad Šeršonom, potem nikakor ni mogoče dvomiti, da gre v obeh primerih za povsem istodoben nastanek. Višje navzgor nad temi bočnimi nasipi morenskih sledov nismo mogli ugotoviti, čeprav Bordet piše o njih. Zelo zanimivo bi bilo primerjati sistem obravnanih moren med Šeršonom in Budovim vrtom s podobnim primerom ledeniškega kolebanja v območju Kumbuja, če bi bilo mogoče. Kajti naš primer kaže na dolgotrajnejše klimatsko stanje z manjšimi, a zelo podobnimi klimatskimi spremembami, ki so povzročile večkratno umikanje ledenika in njegovo ponovno vračanje v istem obsegu na skoraj isti položaj, v isto stanje. Drugače si ne znamo predstavljati nastanka zaporedja tako številnih čelnih, oziroma bočnih moren. A to je lahko izziv za prihodnost.

Preostane še korelacija med temi dolinskimi sledovi tretje poledenitve in morebitnimi morenskimi nasipi na pobočjih. Iz opisa morenskih sledov na pobočjih, predvsem na severni strani doline Baruna, je mogoče spoznati, da gre za dva sistema moren. Eden višji ni daleč od ostankov recentnih pobočnih ledenikov, ki še vztrajajo na vrhovih in tik pod njimi, in sicer severozahodno od sedla Činama La ter pod ostenji Pika 7, južno od planine Ne. Drugi nižji pa se je ohranil na severnih pobočjih okrog 4400 do 4600 m visoko, tudi tam, kjer v recentni dobi ni bilo ledenikov. Takšno območje so tudi severna pobočja pod prelazom Barun La, kjer so morene ohranjene v različnih višinah, največ do 3600 m globoko. Upravičeno se zdi, da lahko vse zgoraj omenjene nasipe uvrščamo v isto, tj. tretje poledenitveno obdobje. Le v primeru najnižjih nasipov pod Barun Lajem je možno, da so to sledovi še starejšega poledenitvenega obdobja.

6 Razvitost tal in spremembe na ledeniških balvanih kot indikacije za starostno razlikovanje med morenami zadnje pleistocenske in recentnimi poledenitvami; periglacialni pojavi

V površju bočnih morenskih nasipov Budovega vrta smo opazili nekatere posebnosti in pojave, ki kažejo na daljše obdobje, v katerem je to površje izpostavljeno zu-

nanjim preoblikovalnim procesom. Videz sprememb kaže na relativno precej večjo starost kot v resnici. Ugotavljali smo stopnjo razvitosti talnih profilov. Oba izkopana profila na stari bočni moreni Tangmarskega ledenika in oni v baznem taborišču (položaj na podnožju sistema bočnih moren) izkazujeta po debelini, predvsem pa po barvah in številu horizontov, dokajšnjo razvitost. Globina profila do matičnega substrata ni velika, v prvem primeru 23 cm, v drugem 27 cm. Toda tudi matični substrat ne kaže več povsem prvotne podobe in je že nekoliko rjavkasto obarvan, predvsem večji robati kamni. Pač pa sta oba zgornja horizonta lepo razvita. A horizont je v obeh primerih temno rjave do črne barve in predstavlja trdno travno rušo. V njej je sicer precej meljaste frakcije in skoraj brez prodnikov. A/C horizont je v obeh primerih svetlorjave barve in vsebuje poleg melja tudi prodnike. Ima torej vsekakor skeletni značaj, vendar je izrazitost horizonta dovolj jasna. Poleg tega smo skušali dognati, ali je zaradi pedogeneze prišlo tudi do sprememb v mineralni sestavi oziroma do tvorbe glinastih sestavin. V tem pogledu je dala analiza Inštituta za geologijo (Kunaver, 1974) negativen rezultat. Očitno je preteklo še premalo časa, oziroma so prevladovale prenizke temperature. Pod mikroskopom je mogoče opaziti obarvanost delcev z rjavo barvo, ki je posledica izpiranja iz višjih horizontov, česar pa v mlajših morenah ni mogoče opaziti. Pedološke razlike so se pokazale dovolj izrazite za domnevo o precejšnji časovni razliki med nastankom recentnih holocenskih moren in starejših ter bolj obsežnih, torej Šeršonskih in istodobnih na Budovem vrtu.

Še o pojavu mehaničnega razpadanja ledeniških balvanov na Budovem vrtu. Ledeniški balvani, največkrat granitni, so precej gosto razmetani po površju. Z njimi so povezni trije značilni pojavi, povezani z ugotavljanjem relativne starosti. Najbolj izrazit in zanimiv je pojav razpadanja balvanov, ki ga na mlajših morenah nismo opazili. Opazili smo ga le pri večjih balvanih, ki so homogenega, granitnega sestava. Na balvanih iz gnajsa tega pojava nismo opazili. Veliki balvani običajno počijo po sredini ali ob robu v različnih smereh. Če počijo večkrat, so to večinoma vzporedne razpoke, razpoke so lahko premočrtne, pogosto pa so krive, pri čemer nastanejo školjkasto oblikovane prelomne ploskve. Posebno manjši kosi se odlomijo na tak način. Nekatere razpoke so že precej stare ter večjih dimenzij. Širjenje razpok je delno povezano s spremenjenim težiščem. Opazili smo tudi pojave nekakšnega oddaljevanja, premikanja odlomljenega kosa, čeprav v bistveno nespremenjeni legi. To bi lahko pomenilo, da imamo opravka s periglacialnimi krioturbatnimi mehaničnimi procesi, ki jih povzročata ritmično zamrzovanje in odtajanje podlage.

Drug pojav na balvanih, ki opozarja, da to je morensko površje že precej časa izpostavljeno preoblikovalnim procesom, je mehanično krušenje balvanov. Izraža se v obliki nekakšnega venca iz travnate ruše, ki dvignjen obdaja podnožje balvana. Venec je dvignjen za pet do deset centimetrov od srednje višine okolice in je širok nekaj več kot deset centimetrov. Površina balvana se ob straneh kruši v droben zrnat pesek in to na vseh straneh približno enako, ker posebnih razlik ni bilo mogoče opaziti. Tako se postopoma dviga pas travne ruše neposredno na vznožju balvana. Zdi se, da gre v teh primerih povečini za balvane iz bolj grobo zrnatega granita. Laično bi lahko skleпали, da je to posledica relativne mladosti te magmatske kamnine (makalujski leukogranit oligocenske do miocenske starosti). Opisana občutljivost te kamnine za preperevanje te ali druge vrste je lahko povezana tudi z dejstvom, da je himalajski

orogen še tektonsko aktiven in so skoraj vsa območja bolj ali manj tektonsko razpokana in razlomljena. Tudi že omenjeni pojav šibkih podzemeljskih vodnih tokov v gnajsu kaže na to.

Naslednji je pojav kraškimi škavnicam podobnih oblik na zgornjem ravnem površju balvanov, kjer se voda lahko zadržuje dlje časa. D. Gavrilovič (1965) in drugi pojasnjujejo procese za razvoj teh oblik, vendar v literaturi doslej niso navedene tolikšne višine njihovih najdišč. Našli smo jih vsega na treh krajih, od tega na dveh v območju Budovega vrta. Tretje nahajališče je bilo na pomolasti planoti Šeršontam nad vzhodnim bregom Baruna na višini cca 5200 m. Škavnice imajo v vseh treh primerih v glavnem podobne dimenzije, do 20 cm premera, iz česar sklepamo, da se razvijajo precej počasneje kot kraške škavnice. Ni dvoma, da v našem primeru prevladujejo fizikalni procesi, ob sodelovanju stoječe vode, ki povzročajo razpadanje homogene kamnine. Tudi na precej mlajši, recentni čelni moreni Tangmarskega ledenika, smo opazili nekatere neizrazite oblike kotlic, iz katerih se bodo sčasoma razvile prave škavnice.

Po Müllerju (1958) je optimalna višina za nastanek strukturnih tal v Everestovi okolici 5300 m. Tam je našel kamnite (strukturne) kolobarje, kamnite (strukturne) mreže, grbinaste travnike in kamnite (strukturne) pasove, girlande iz ruše, v raznih variantah. Celo na krioturbacijske oblike je naletel v obliki zemeljskih klinov. Še v začetku aprila so bila tla zamrznjena od 55 do 86 cm globoko. Soliflukcijski pojavi so po njegovem mnenju skromni zaradi močne aridnosti in zaradi odsotnosti pravega permafrosta. Zato pa so tem pomembnejši pojavi regelacije. S tem je povezano tudi uničevanje sklenjene travne odeje na pašnikih Peričeja in Lobuja (v Kumbuju) (Slike 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45).



Slika 39:

*Razpadajoč
granitni balvan na
Budovem vrtu.
(Foto J. Kunaver,
1972)*

Slika 40:

*Ledeniški balvan
na Budovem vrtu
z vencem razpadle
kamnine na
podnožju.
(Foto J. Kunaver,
1972)*



Slika 41:

*Razpadajoč
granitni balvan na
Budovem vrtu.
(Foto J. Kunaver,
1972)*





Slika 42:

Velik granitni balvan na
Budovem vrtu.
(Foto J. Kunaver, 1972)

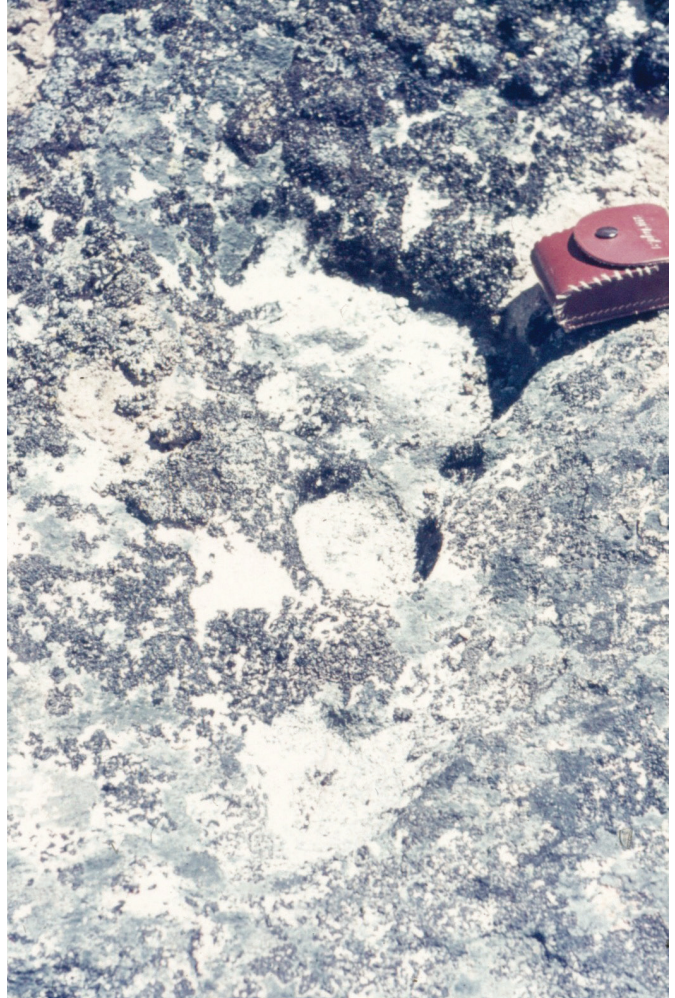


Slika 43:

Značilen granitni
balvan na Budovem
vrtu z vidnimi učinki
mehaničnega
razpadanja.
(Foto J. Kunaver,
1972)

Slika 44:

Škavnice na vrhu
granitnega balvana.
(Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 45:

Značilno
zmrzalno krojenje
makalujskega
granita.
(Foto J. Kunaver,
1972)



V Budovem vrtu pravih pojavov soliflukcije in strukturnih tal, razen že omenjenih premikov kamninskih kosov, nismo zasledili. Neredko pa smo naleteli na območja raztrgane ruše, kar je lahko posledica večje lokalne vlažnosti. Pojav dvignjenih in izoliranih rušnatih kupčkov oziroma grbin z višino do 20 cm in premerom do 0,5 m bi bilo mogoče primerjati s t. i. buttes gazonnes ali earth hummocks, ki so jih med prvimi opisali Högbom, Troll in Sharp (po Embleton-King 1968). Z opisi pogojev, v katerih nastajajo te periglacialne oblike, se ujema tudi fino peščeni sestav vrhnjega talnega horizonta tik pod rušo, kakor tudi relativno vlažnejša tla. Po Fairbridgeu (1963) spadajo te kriopedološke oblike v skupino strukturnih tal. Običajno nastajajo na ravnih poraščenih in dovolj vlažnih tleh z drobnozrnato sestavo vrhnjega talnega horizonta. Različno nastopanje zamrzovanja in odtajanja glede na globino, granulacijski sestav in vlažnost povzroča krioturbatne ekspanzijske sile, ki delujejo diferencialno v raznih smereh.

Na travnatih pobočjih moren v istih višinah, tj. okrog 5000 m visoko, se uveljavljajo tudi oblike rušnatih teras, kakršne omenja Müller (1958) in kakršne so sicer eden najpogostejših periglacialnih pojavov v gorskem svetu.

Na kratko še o konsolidaciji morenskih pobočij, predvsem notranjih strani bočnih moren. Ta pojav ni najbolj tesno povezan z omenjenimi periglacialnimi pogoji, kakršni vladajo v višinah okrog 5000 m, vendar pa ga ti vsekakor pospešujejo. V obdobju po umiku ledu večja strmina povzroči pospešeno denudacijo in predvsem posipanje različno grobega gradiva navzdol po pobočju, kar ustvarja poseben tip melišč na podnožju. Nad baznim taboriščem so bili lepi primeri tega in tudi naši šotori so stali med številnimi velikimi ledeniški balvani. Ni dvoma, da to ni bil njihov prvotni položaj, prvotno so bili odloženi nekje na pobočjih in so se že kmalu nato zvalili navzdol.

Skalnata polja ali blokmeri (Felsenmeer) so med najizrazitejšimi in tudi najbolj razširjenimi periglacialnimi pojavi, ki se uveljavljajo v zgornjem delu doline Baruna nad višino 5300 m. Nastajajo zaradi intenzivnega mehničnega razpadanja kompaktne skalne podlage. Zelo lepe primere izoliranih polj je bilo mogoče opazovati na osojnih pobočjih Šeršontama na poti do kote 5380 m. Pogosto je bilo videti, da ploščato skalovje iz pasovitega biotitnega gnajsa izvira iz neke strmejše stopnje oziroma odloma na pobočju, lahko tudi povsem lokaliziranega. Dobili smo vtis, da se s takšnih krajev skalovje s soliflukcijo in gravitacijo pomika navzdol po pobočju kot počasen plaz. Ploščata oblika skalovja verjetno še pospešuje te transportne procese. Z akumulacijo drobnejšega gradiva nastajajo med skalami majhne stopnje in terasice, vendar jih težko povezujemo s periglacialnimi razmerami.

Omembe zgoraj opisanih periglacialnih pojavov v delih citiranih avtorjev nismo zasledili (Slike 46, 47, 48).

Slika 46:

*Skalovje blokmera,
detajl.
(Foto J. Kunaver,
1972)*



Slika 47:

*Skalovje blokmera
na levi strani čelne
kotanje nad bočnimi
morenami.
(Foto J. Kunaver,
1972)*



Slika 48:

*Blokmer,
periglacialno
skalovje iz
razpadlega
pasovitega
biotitnega gnajsa.
(Foto J. Kunaver,
1972)*



7 Pregled pomembnejših rezultatov raziskovanja kvartarnih in recentnih poledenitev v Himalaji s posebnim ozirom na dolino Baruna po letu 1972

Literature o kvartarni zgodovini in obsegu poledenitev v dolini Baruna pod Makalujem je razmeroma veliko, vendar vseeno manj kot za sosednje območje Kumbuja, južno od Everesta. Opaziti je mogoče, da doline Baruna marsikateri pomemben raziskovalec himalajske poledenitve ni obiskal, morda zaradi težje dostopnosti tega območja. Lahko pa da se zaradi zatišnosti in manjše razčlenjenosti v primerjavi s sosednjim Kumbujem zdi nekoliko manj relevantna za rekonstrukcije. Tudi kvartarni inventar je pod Makalujem nekoliko skromnejši od sosedstva (Slika 49).

Kljub zgornjim ugotovitvam je dolina Baruna sprva vzbujala precej pozornosti, kar dokazujejo naslednje ugotovitve. Med prvimi so ponesli vest o njej predvsem Francozi, ki so že leta 1955 osvojili vrh Makaluja in jih je spremljala močna strokovna ekipa na čelu z geologom Bordetom.

V novejšemu poznavanju kvartarnega razvoja doline in pripadajočih pobočij je dolgo prednjačil Kalvoda, čeprav je razmeroma redko citiran. V tem območju je pri razlagi reliefa pogosto segal v sam nastanek himalajskega orogena, kar je dokaj izvirna metoda. Zlasti opozarja na tektonsko dinamiko Himalaje, ki pospešuje denudacijo in erozijo. Na poseben način to vpliva na razvoj poledenitve, ki je v srednjem in starejšem pleistocenu ni moglo biti zaradi premajhnih višin gorskih območij. Te so zaradi izostazije in epirogeneze narasle do današnjih vrednosti ali blizu njih šele v mlajšem pleistocenu. Kalvoda se posledično ni toliko poglobljal v drobnejšo morfologijo dolinskega dna in pobočij.

V literaturi o poledenitvi Himalaje večkrat beremo, kako je intenzivnost raziskovanja in sama raziskanost od območja do območja lahko zelo različna. Pod naslovi o kvartarni poledenitvi Himalaje in Tibeta so objavljene razprave, ki v resnici obravnavajo le izbrana območja. Take so na primer objave francoske raziskovalke Monique Fort (2004), podobno je z nekaterimi objavami Owena in sod. (1998). Dostopnost in dosegljivost je lahko ovirana tudi povsem administrativno. Zato posamezna območja Nepala še vedno niso enako lahko dosegljiva. Poseben problem je pripadnost različnim klimatskim območjem, njihova spremenljivost in zlasti različna izpostavljenost monsunskim padavinam, kar je veliko odvisno od višine in usmerjenosti gorskih verig. Posledica vsega tega so nekoliko različni scenariji kvartarne poledenitve. Tudi ni vseeno, kakšen strmec imajo doline, ker sta bili tudi od tega odvisni hitrost gibanja ledu in razdalja, ki so jo ledeniki lahko dosegli. Velike višinske razlike so povzročile tudi katastrofalne dogodke, kot so podori, zemeljski plazovi, poplave, kar vse ovira rekonstrukcijo. Poledenela so bila tudi nekatera izolirana območja.

V obsežni razpravi Wismanna (1959) o današnji poledenitvi in snežnih ločnicah v Visoki Aziji, ki je temeljno delo za ta vprašanja, podatkov iz doline Baruna oziroma jugovzhodne okolice Makaluja še ni bilo.

Bordet (1961) je v dolini Baruna razlikoval samo med pleistocensko in recentno poledenitvijo. Kalvoda (1979a, str. 20–24) na osnovi razvoja poledenitve v sosednjem ob-

močju Kumbu pod Everestom razlikuje naslednjih pet značilnih obdobij kvartarnega morfogenetskega razvoja:

- 0,5–0,1 (m. let, 500–100 Ka): zastoj tipa Dusa, srednji do zgornji pleistocen, v katerem sta bila oba ledenika združena. To naj bi bilo največje ledeniško napredovanje, ko naj bi združena barunska ledenika dosegla debelino 250 m. Kalvoda se ne izjasni, do kod bi največ segel ta enotni ledenik, le da se je ob koncu pleistocena umaknil do podnožja Makalujskega masiva. Glavni zastoj v tem obdobju naj bi bil prav tu, na širšem območju baznega taborišča;
- 0,1–0,01 (100–10 Ka): zastoj Changri, zgornji pleistocen do mlajši holocen, najprej umikanje, nato napredovanje. Kalvoda ta zastoj primerja s sistemom čelnih moren med Šeršonom in jezerom Barun (Dud) Pokri, oziroma na Budovem vrtu;
- 0,01–0,004 (10–0,4 Ka): zastoj Kumbu, zgodnji holocen, nazadovanje, hipno napredovanje;
- 0,004–0,001 (0,4–0,1 Ka): zastoj Lingten, pozni holocen, nazadovanje, napredovanje.

Slika 49: Poledenitve v dolini Baruna po avtorjih.

| Bordet (1961) | Kunaver (1974) | Kalvoda (1979a; 2013, str. 324) | Kuhle (2005) | Büchler (2019) | Richards (2014), (Khumbu) |
|---------------------------|--------------------------------|---|---|--|---------------------------|
| holocenska poledenitev | mala ledena doba | 0,1-0,01 Ka, subrecentno obdobje | recentne morene, XI-XII, | pozni holocen (~ 3 ka) | Lobuche (ca. 1–2 ka) |
| pleistocenska poledenitev | LGM | 0,4-0,1 Ka, pozni holocen zastoj Lingten | 1820-1900, mala ledena doba, morene VIII-X, šest faz, | zgodnji holocen (~ 8 ka) | Chukung (ca. 10 ka) |
| | starejši würm, ali še starejše | 10-0,4 Ka, zgodnji holocen, zastoj Khumbu | neoglaciacija, morene V-VII, tri faze, | pozni pleistocen (~ 12 ka) | Periche (ca 18-25 ka) |
| | | 100-10 Ka, zgornji pleistocen do mlajši holocen | 13000-13500 let p.s. pozni pleistocen, I-IV, štiri faze | morene LGM (19-23 ka pred sedanostjo, MIS2) in morene, starejše od LGM, manjkajo | |
| | | zastoj Changri | 80-18.000 let, MIA, O | | |
| | | 500-100 Ka, srednji do zgornji pleistocen | | | |
| | | zastoj Dusa | | | |

Velikopotezno se je doline Baruna, vse do njenih najvišjih pobočij, lotil Kuhle v okviru razprave o največji poledenitvi Tibeta in Himalaje (2005). V dolino Baruna je prišel s predpostavko o izjemno veliki poledenitvi (ali celo poledenitvah) v starejšem würmu (ali še prej), katere (-ih) sledove je našel v različnih območjih vzhodne Himalaje in Tibeta. Na pregledni karti (str. 194) je njegovih raziskovalnih območij kar 32. Obsežna razprava kaže, kolikšen pomen avtor posveča pojavu »maksimalne« poledenitve (Maximum Ice Age, MIA), katere učinki naj bi bili na terenu mnogo bolj zastopani, kot se je mislilo prej. Dolini Baruna namenja 33 strani razprave in kar 22 črno-belih fotografij (str. 207–240). Njegova metoda je zanimiva zaradi množične uporabe fotografij, na katerih s posebnimi znaki kaže in opozarja na sledove različno starih poledenitev.

Od številnih opisanih in evidentiranih starejših in mlajših poledenitev in njihovih sledov omenjamo le izbrane. Kuhle je v dolini Baruna odkrival ostanke starejših moren, s pomočjo razlike med bolj in manj obrušeni pobočji je ugotavljal največjo višino ledu v času LGM (trimline). Trdi, da so sledovi ledeniške abrazije in poliranja okoli Makaluja v poprečju 6200 m visoko, maksimalno celo 6450 m. Kuhleju (2005, str. 208) so dokaz o ledeniški abraziji v obdobju največje poledenitve tudi trikotno oblikovane stene (triangle shaped slopes), skalni roglji (rock bars, riegels), polirane pobočne pregrade (polished mountain spurs) in ledeniške grbine, ki pa jih poblizje ne predstavi. Bralec, še posebej nepoučen, iz tega ne more spoznati, za kakšne reliefne oblike v rešnici gre. Hkrati Kuhle opisuje tudi sledove mlajših poledenitev. Pri tem se poslužuje velikih panoramskih fotografij.

Panoramska slika 7 (Kuhle, 2005, str. 224 in 214) na primer kaže območje, do kamor smo raziskovali tudi sami, in sicer dno doline z dvojnimi jezerom Barun (Dud) Pokri ter morene LIA (Little Ice Age) in višje ležeče bočne morene pozne pleistocenske ali pozno würmske poledenitve. Kaže tudi viseč pobočni ledenik pod Makalujem, ki je segel do dna še v obdobju 1920–1950, v zadnjih desetletjih pa se je že močno umaknil navzgor in se še umika. Na sliki je čelna morena male ledene dobe (LIA), označena kot zastoj X, na spodnji strani jezera. Jezero je po Kuhleju dejansko dvojno, ker so med obema ostanki zastoja XI.

Bočne morene v okolici baze, oziroma približno 200 nad njo in na obeh straneh doline ter hkrati nad jezerom Barun (Dud) Pokri so po Kuhleju iz obdobja IV. V dnu doline pa so iz obdobja X, ki ustreza mali ledeni dobi v obdobju 1820–1900.

Kuhle (2005, str. 213) po Kalvodi povzema geološko zgradbo Makalujeve piramide, katere jugozahodno steno v najvišjem delu, nad višino 6250 m, gradi miocenski leukokraski makalujev granit. Pod njim pa goro sestavlja predkambrijski paragnajs. Ne soglaša pa z njegovim datiranjem ledeniškega razvoja.

Na strani 214 piše o bočnih morenah (Budov vrt), ki so po njegovem 120 do 150 m nad dnem doline in predstavljajo stadij IV, kar je enako poznemu würmu (13.000–13.500 let pr. n. št. Drugače kot Kalvoda vidi genetsko povezanost teh s čelnimi morenami nad Šeršonom, čeprav na geomorfološki karti (1 : 140.000, podlaga E. Schneider) pa tudi na fotografijah, to ni povsem jasno označeno, niti povedano. Kuhle (2005, str. 214) drugače kot Kalvoda genetsko povezuje bočne morene na desnem (Budov vrt) in levem bregu, ki jih uvršča v stadij IV (LGM, zadnja pleistocenska poledenitev) s čelnimi morenami nad Šeršonom.

Na panoramski fotografiji na str. 327–328, ki jasno kaže zaključen, a od sedanjega ledeniškega odtoka Baruna predrt morenski lok, oznake IV, ki bi jo pričakovali, ni, pač pa VII. Prej omenjene bočne morene na obeh straneh doline, ki naj bi bile istodobne, iz stadija IV (LGA), Kuhle (slika 8) na desni strani doline označuje z V, na levi strani (slika 7) pa s IV. Tako kot pri Kalvodi smo se o sklenjenosti in genetski istodobnosti omenjenih višjih bočnih in 4 km nižjih čelnih moren ponovno prepričali s pomočjo Google Eartha. Zato si upamo podvomiti v pravilnost Kuhlejevih oznak za starost moren na omenjeni fotografiji. Če imamo opravka z enotnim in istodobnim sistemom bočnih in čelnih moren, bi vse morale nositi starostno oznako IV.

Na strani 223 Kuhle sproža vprašanje stika Zgornjega in Spodnjega barunskega ledenika, oziroma kakšno je bilo stanje enega in drugega v istem času. Stik obeh ledenikov je torej zaposloval že dva raziskovalca, Kalvodo in Kuhleja, zdaj pa tudi nas. V čem je težava? V tem, da so se v neposredni bližini znašle čelne morene Zgornjega ledenika iz obdobja LGA (4800 m), katerih površje, tako kot tudi površje pripadajočih bočnih moren, jasno kaže večjo starost na eni strani, in komaj dobrih 500 m oddaljena, mnogo mlajša, grobo skalnata, skoraj 100 m visoka bočna morena Spodnjega ledenika (4600–4700 m). Slednja je po starosti lahko holocenska, najbrž iz male ledene dobe.

Lahko se vprašamo, kako velik je bil Spodnji barunski ledenik v stadiju IV (LGA), če so že njegove mlajše morene tako mogočne in kakšen je torej primerjalno bil takrat Zgornji barunski ledenik in do kam je segal. Najenostavnejši odgovor bi bil, da je vsa morenska zapolnitev doline Baruna, ki smo jo skupaj z velikimi balvani ugotavljali od tu, od nedavnega čela Spodnjega barunskega ledenika pa vse do planine Ne v dolžini cca 5 km nasutje Spodnjega v stadiju IV. Pri tem naj bi sodeloval tudi Zgornji ledenik in ko sta bila oba ledenika združena. Kuhle (2005, str. 223) meni, da je najdlje segal Spodnji barunski ledenik, skoraj do Mera Kharke.

Ko je to maksimalno stanje minilo, sta se oba ledenika najbrž umaknila daleč navzgor, a se nato precej zmanjšana vrnila v nov položaj, ki ga v primeru Zgornjega kažejo čelne in bočne morene nad Šeršonom. Pri tem je zanimivo, da podobnih oziroma podobno lepo izoblikovanih moren, ki bi jih odložil Spodnji, ni mogoče videti ali najti, razen če mu pripišemo razgibano, z morenskim gradivom na debelo zasuto območje omenjene stopnje nad planino Ne. Nekaj čelnim morenam podobnih nasipov tu je mogoče zaznati, celo nekakšen dolg, s smerjo ledenika vzporedno potekajoč nasip. Ne smemo pozabiti, da so se v prostor pod Spodnjim ledenikom, ki je celo nekoliko zožen, iz več smeri zgrinjale ledene mase. Če je to res, ali bi v tem stadiju moral ta ledenik biti daljši in debelejši, oziroma višji od Zgornjega?

Tu se morda pokaže, da je bil in je morda še Spodnji barunski ledenik bolj izpostavljen vlažnim vetrovom in obilnejšim padavinam z juga, saj sicer ne bi mogel imeti svojega današnjega zaključka kar 600 m nižje od Zgornjega. Spodnji barunski ledenik ima v zaledju obsežno akumulacijsko območje med vrhovi Čamlang, Baruntse in Pik 4. Medtem pa se Zgornji barunski ledenik hrani z manj leda iz precej sušnejših območij najvišjega dela doline Baruna. Zgodba o ledeniškem stanju v času MGA, katere avtor je M. Kuhle, ko sta oba ledenika imela po kilometer debeline, je kajpada povsem nekaj drugega.

Kuhle omenja tudi obstoj talne morene iz stadija III 20 km nižje. Takega materiala sami nismo zasledili.

V območjih dolinskih razširitev (po Kuhleju valey chambers), kot je npr. okolica baze, je imel ledenik debelino do 1200 m, na stiku med obema ledenikoma 1300 in v nižjem delu doline 1150 m. Pri določanju izvora ledeniškega gradiva si je Kuhle pomagal z analizo kremenovih zrn iz mlajših moren, pri čemer je bilo 57–71 % mehanično zdrobljenih, 25 % fluvialno poliranih in največ do 18 % eolsko obdelanih. Kuhle (glej sliko 13, str. 334) omenja tudi »riegel-like rock pillars«, ki jih je najprej brusil glavni ledenik v stadiju O, pozneje pa so jih obrusili in priostrili pod pravim kotom na glavno dolino stranski bočni ledeniki v času LGA, oziroma stadiju IV. To so že omenjene, kaninskim skednjem (Kunaver, 1983) zelo podobne, genetsko pa identične pobočne pregrade. V podnapisu k sliki 13 jih imenuje drugače, »separating crests«, oziroma »mountain spurs«. K njim se še vrnemo. Avtor te razprave je v tem delu doline, ki je blizu prave ledeniške U-doline, postal pozoren na številne druge, že omenjene dokaze o ledeniški abraziji, kot so školjkasto oblikovane spodjede in spodmoli, iz katerih so padli veliki skalnati bloki. Mimogrede, omenili smo že njihov verjetni nastanek, ki ni možen samo kot ledeniški mlin, ampak se ponuja tudi luščenje kamnine zaradi podzemnega zamakanja in učinkovanja zmrzali. Kuhle je našel tudi vodoravno usmerjene ledeniške raze (strie) v vertikalnih obrusih. V tem delu doline Baruna je določil »trimline« na 5800 m, kar se nam zdi zelo visoko.

Spodnja dolina Baruna je po Kuhleju v višinah od 3550 do 2710 m bolj rahlo ledeniško obrušena V-dolina. Barun Bazar je sotočje z Arunom na 1100 m. Pred njim je dolina najstrmejša in V oblike. V tem spodnjem delu se pojavljajo celo ledeniški mlini. Tu naj bi barunski ledenik dosegel Arun Nadi z debelino 800 m, kjer bi ga zajezil Arunski ledenik. Pomemben, a nekoliko vprašljiv se nam zdi tudi Kuhlejev (2006) povzetek o starosti in številu ledeniških napredovanj v poznem pleistocenu, v katerem ponavlja svoje prejšnje navedbe, da naj bi jih bilo skupno celo 14. V tej zvezi samo opomba, da po njem kaže na predzadnji ledeniški zastoj tudi delno poplavljen ledeniško gradivo na jugovzhodnem delu jezera Barun (Dud) Pokri, ki je bolj videti kot nepravilno razmetana talna morena, v obliki številnih nepravilno razporejenih nizkih gričev. Videti je, kot bi bila ta odložena v čelni kotanji zadnjega ledeniškega napredovanja Zgornjega barunskega ledenika v času male ledene dobe LIA. V celoti in v primerjavi z lastnimi opažanji imamo vtis, da Kuhle nekoliko pretirava v številu poznopleistocenskih ledeniških napredovanj in proglašja za ostanek zastoja tudi tisto, kar to ni (Sliki 50, 51).



Slika 50:

Ledeniško zaobljeno pobočje na Šeršontamu kaže na starejšo würmsko poledenitev, kar je opazil tudi Kuhle (2005). (Foto T. Goslar, 2014)

Slika 51:

*Ledeniško izravnani
hrbet domnevno
starejše morene,
na desnem bregu
doline nad čelno
kotanjo Zgornjega
barunskega ledenika
(5200–5300 m).
(Foto J. Kunaver,
1972)*



Ena najnovejših raziskovalk obravnavane tematike v dolini zgornjega Baruna je Laura Büchler (2019) s svojo magistrsko nalogo o določanju starosti bočnih moren barunskega ledenika s pomočjo kozmogennih radionuklidov. Iz povzetka (str. 57–58) na kratko predstavljamo glavne rezultate, saj omogočajo primerjave in jasnejše ter realnejše predstave. Gre za eno novejših in natančnejših geokronoloških metod za vpogled v klimatska in ledeniška dogajanja in razvoj v mlajšem pleistocenu. Z njeno pomočjo je določevanje časa odložitve ledeniških moren zanesljivejše. S tem so se bolj jasno pokazale na primer razlike med časom in intenzivnostjo poledenitev ne samo v posameznih delih Himalaje, ampak celo v neposrednem sosedstvu. Avtorica si je za rešitev svoje naloge izbrala zelo omejen prostor, ki pa izstopa s svojimi jasno izraženimi in dobro ohranjenimi reliefnimi oblikami ter sedimenti. To je t. i. Budov vrt in njegove bočne morene, cca 150 do 200 m tik nad bazo. V istem območju smo se zadrževali tudi sami in se tu še najbolj in najdlje ukvarjali s pojavi, ki kažejo na nekoliko večjo starost poledenitve. Izbira tega območja za podrobnejšo analizo ni presenetljiva, bolj to, da smo nanj postali pozorni že zgodaj, za nami pa delno tudi drugi. Büchlerjeva si je za analizo izbrala iz makalujskega granita zgrajene ledeniške balvane, odložene v eni od poledenitev na robu Zgornjega barunskega ledenika. Iz pridobljenih vzorcev je laboratorijsko izmerila čas, v katerem so bili izpostavljeni kozmičnemu bombardiranju. Ugotovila je, da so v dolini zgornjega Baruna ohranjene morene treh poledenitev (glacial advances): prvo je pozno pleistocensko (~ 12 ka), zgodnje holocensko (~ 8 ka) in pozno holocensko (~ 3 ka). Poleg tega je uporabila tudi metodo s pomočjo kladiva Schmidt-Hammer ter metodo določanja relativne starosti s pomočjo debeline preperelinskega kolobarja na prodnikih. Primerjave rezultatov posamičnih metod se časovno ujemajo.

Rezultate raziskovanja je primerjala s sosednjim območjem Kumbuja in ugotavlja, da v dolini Baruna manjkajo morene LGM (19–23 ka pred sedanostjo, MIS2) in morene, starejše od LGM. Avtorica omenja še šest drugih moren v bližini baze, ki pa niso bile datirane. Veliko število odloženih morenskih nasipov kaže na občutljivost ledenika na kli-

matska nihanja v smislu poletne snežne akumulacije in monsunske variabilnosti, kar je drugače kot v srednjih širinah. Višje temperature zaradi insolacije povzročijo večje izhlapevanje in posledično močnejše padavine ter sneg, s tem pa povečanje ledeniške mase in napredovanje ledenika. Za dolino zgornjega Baruna so bile v geološki preteklosti značilne nezasnežene stene in strma pobočja. Od tod večje mehanično razpadanje, kar je vidno v množini in grobosti morenskega gradiva. Raziskovane morene ne kažejo starosti LGM, pač pa mlajšo, kar je nekoliko nenavadno in težko razložljivo v primerjavi s Kumbujem. Možno je, da so bile starejše morene erozijsko odstranjene in celo da so bile poškodovane zaradi tektonskega narivanja (thrusting). Zato bo potrebno datiranje še drugih morenskih ostankov. Datirane morene so vse mlajše od LGM.

O razvoju in temeljnih vprašanih pleistocenske poledenitve Himalaje govori še cela vrsta razprav, med katerimi smo izbrali nekatere, ki obravnavajo različno število pomembnih območij. Med njimi ni doline Baruna, ki je, kot že omenjeno, manj razčlenjena in nekaj manj bogata s kvartarjem ter je malo »na robu«. Razprava Owena (Owen in sod., 1998) z naslovom *Kvartarna ledeniška zgodovina Himalaje* obravnava enajst območij, med njimi tudi pogorje Bararate Himal s Šiptong La s prelazom na 4200 m (napačna, a precej pogosta raba je Šipton La), čez katerega vodi pot v Barun. Owen opisuje enajst območij, enkrat citira tudi Kalvodo, a dolina Baruna ostane neomenjena.

Monique Fort (2004, str. 262, 275–276) obravnava 14 območij, enako kot prejšnja tudi Šiptong La. Dolina Baruna pa tudi v tem primeru ni predmet obravnave in primerjave, razen omembe njene geografske lege in usmerjenosti. Avtorica na sintetičen način opozarja na vrsto dejstev, dejavnikov in ugotovitev, ki jih je mogoče primerjati tudi z dolino Baruna. Eden ključnih problemov raziskovanja nepalskih ledenikov je zlasti oteženo ločevanje med ledeniški in neledeniški sedimenti. Dalje, noben od nepalskih ledenikov tudi ni posebno dolg, največ do 20 km. Tisti, obrnjeni proti jugu, so krajši, oni, vzporedni z gorskimi grebeni, pa daljši. Srednje- in zlasti vzhodnonepalski ledeniki dobivajo največ monsunskih padavin, od tega v obliki snega le v najvišjih delih.

Prav Monique Fort opozarja, da je v tem delu sveta še veliko neznank, povezanih z nezadostno pokritostjo vseh pomembnejših območij z raziskovalnimi rezultati, ki bi jih dobili s sodobnimi datacijskimi metodami. Pri določanju absolutne starosti je neobhodna uporaba metode kozmogennih radionuklidov ter metode optično stimulirane luminiscence. Opozarja na posledice površnosti, če ne upoštevamo značilnosti lokacije vsakega od vzorcev. Zanimiva je tudi njena osvetlitev problema ekspozicije, zaradi česar so na južno stran obrnjene doline zaradi monsunske cirkulacije bolj obdarene s padavinami, kot tiste z vzporedniško smerjo (npr. dolina Spodnjega barunskega ledenika) ali pa smerjo jugovzhod–severozahod, kakršno ima najvišji del doline Baruna. Dalje se ji zdi še vedno nedorečeno, ali zadnja poledenitev odgovarja starosti morskemu kisikovega izotopa (MIS) 2, 3, ali 4. Več je indikacij, da v Himalaji višek zadnje poledenitve (LGM) sovpada z MIS 3 in ne MIS 2. Tudi ni vseeno, da je vzhodni Nepal močnejše izpostavljen indijskemu monsunu, ki prinaša najvišjim goram poletni sneg, zahodni (mediteranski) vetrovi pa zimskega. Med vzhodnim in zahodnim Nepalom so v tem pogledu razlike, še bolj med vzhodnim Nepalom in Karakorumom. Slednji ima poleti sušo, sicer pa bistveno daljše ledenike. Kar zadeva razmere v kvartarju, je zanimivo, da so bile najvišje gore (Everest itd.) takrat manj obdarene s snegom (zaradi višinske sušnosti) kot nekoliko nižji in južneje ležeči masivi (npr. Gorka Himal).

Fortova slednjič opozarja na pomembnost hierarhije učinkovitosti dejavnikov, ki je še nimamo in ne poznamo.

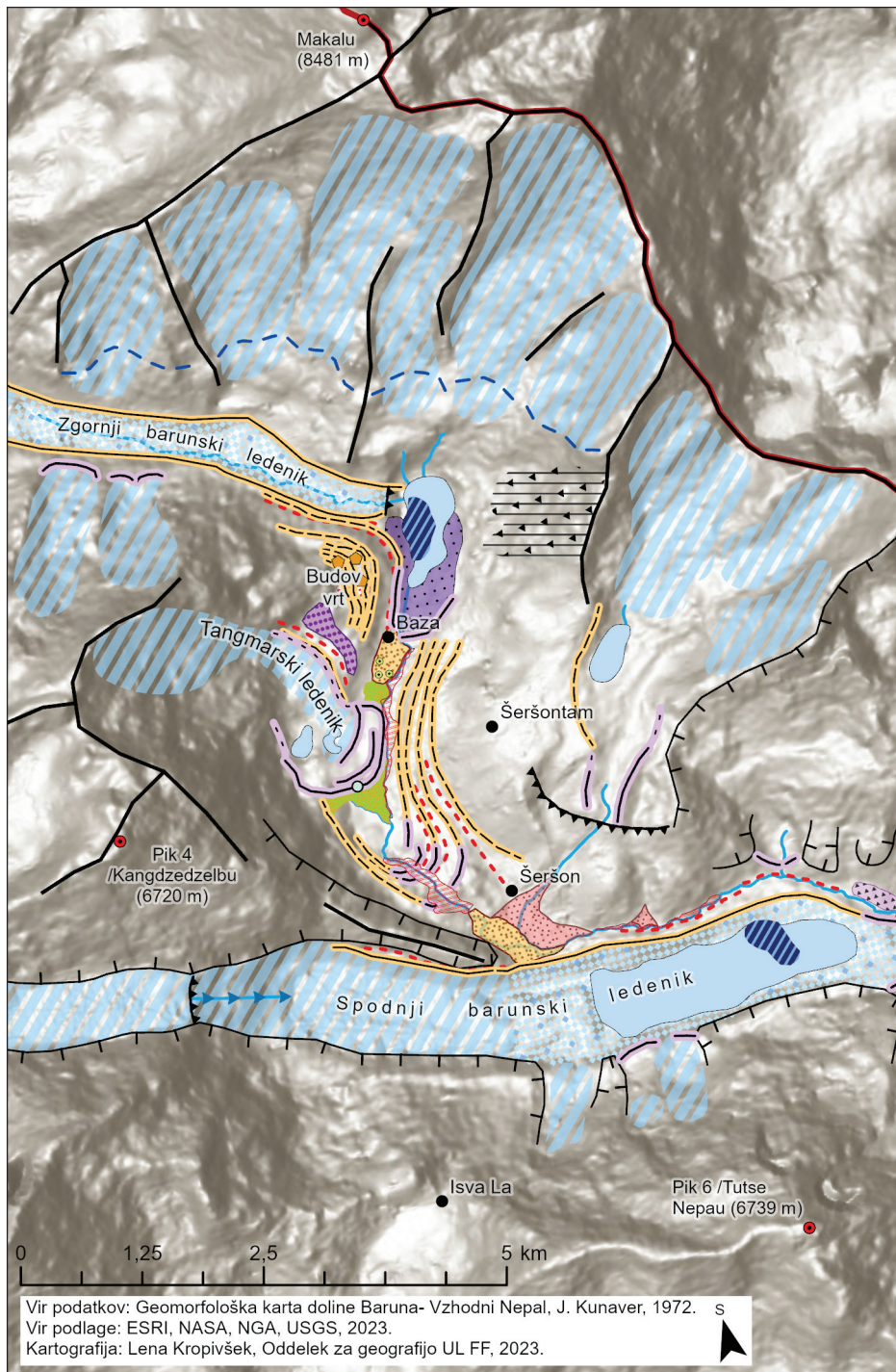
Richards in sod. (2014), obravnava zlasti območje Kumbuja, kjer s pomočjo termoluminiscenčne metode razlikuje naslednji razvoj poledenitve v mlajšem pleistocenu, oziroma tri ledeniška napredovanja: najstarejši je ledeniški stadij Periche (cca 18–25 ka) drugi je ledeniški stadij Chukung (ca. 10 ka) in tretji ledeniški stadij Lobuche (ca. 1–2 ka). Periche stadij odgovarja MIS 2 oziroma zadnjemu pleistocenskemu ledenišskemu napredovanju. Chukung stadij odgovarja poznemu glacialu ali zgodnjeholocenskemu ledenišskemu napredovanju, stadij Lobuche pa ledenišskemu napredovanju v poznem holocenu, pred malo ledeno dobo.

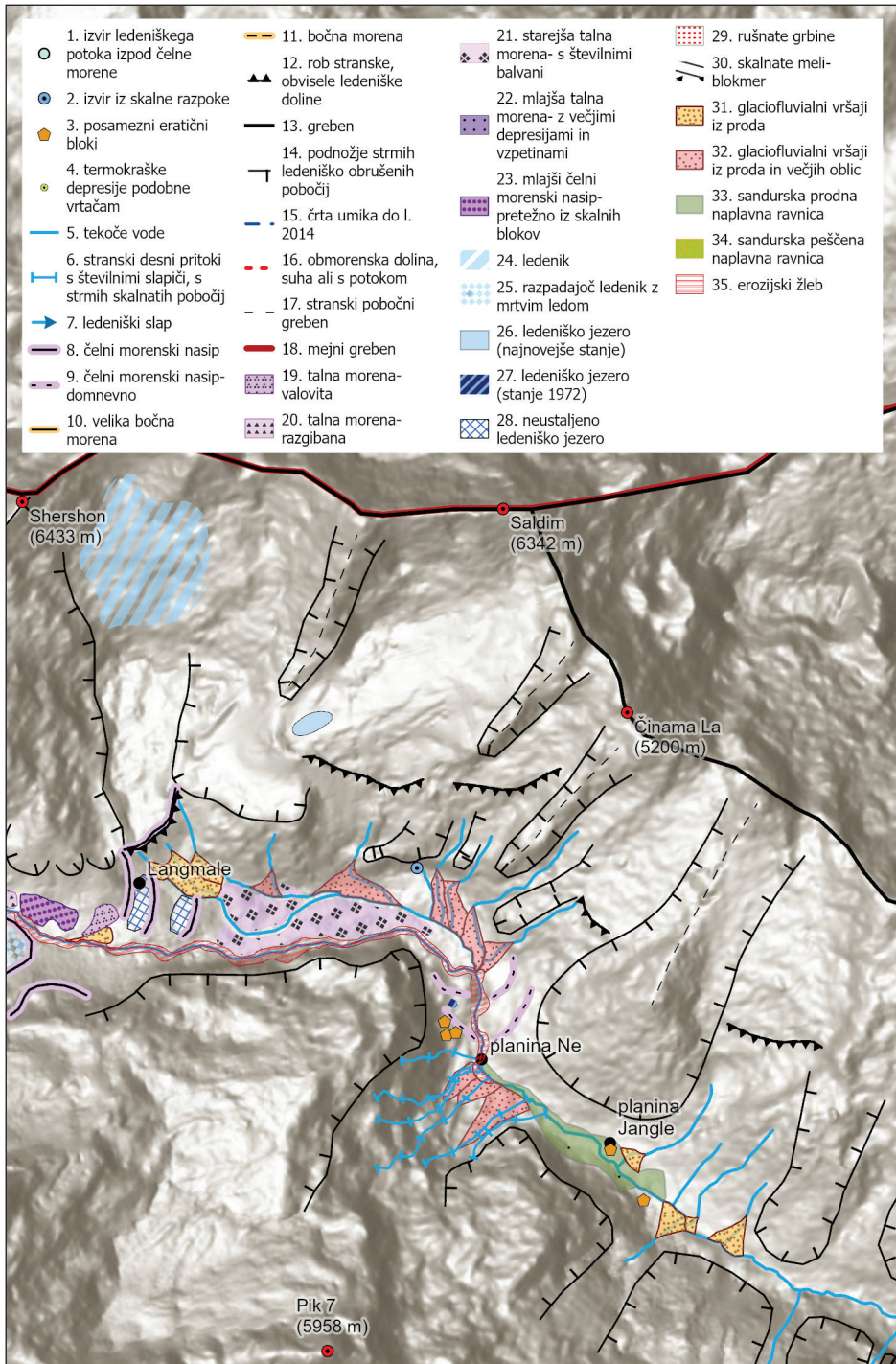
8 Geomorfološko kartiranje doline Baruna leta 1972 in kasneje

Neobjavljena geomorfološka karta iz leta 1974 (Kunaver, 1974, priloga) je bila izdelana na osnovi terenskega dela v dolini zgornjega Baruna v drugi polovici septembra in oktobra 1972. Kolikor je znano, je bil to prvi poskus te vrste v tem območju. V istem območju je v letih 1973–1977 geomorfološko kartiral tudi Kalvoda, ki za naša prizadevanja in delo, kot kaže, ni veliko vedel, in obratno. V njegovi razpravi (1979) na kratko omenja dve jugoslovanski odpravi na Makalu, vendar brez kakršnihkoli podrobnosti. Navaja tudi vir te informacije, in sicer knjigo Makalu (MK, 1974). V njej smo na straneh 101–104 zapisali, da smo geomorfološko raziskovali dolino Baruna, celo o pojavu različno starih moren, a Kalvoda o tem molči (Slika 52).

Pozornost smo izrazito usmerili v sledove ledeniških in periglacialnih, deloma tudi glaciofluvialnih procesov v dnu doline Baruna in to še precej kilometrov pod današnjimi ledeniki in njihovimi sedanji ali preteklimi ledeniški zastoji. Najrazličnejših pojavov tega ali drugega nastanka smo na terenu našli zelo veliko. Geomorfološke posebnosti, kot smo jih v dolini Baruna zaznali sami, se zrcalijo v kar 49 znakih, skupaj z antropogenimi pojavi kar 54 znakov oziroma 55 (znak 48). Od tega je znakov za makroreliefne erozijske oblike osem (1–6, 26 in 50), en znak za mikroreliefno obliko ledeniške erozijskega nastanka (živoskalni ledeniški obrus v dolinskem dnu, 7), deset znakov za različne ledeniške akumulacijske oblike in druge obmorenske pojave (8–17), šest znakov za glaciofluvialne akumulacijske pojave (18–23), dva znaka za drobno morfologijo morenskih nasipov (24–25), dva znaka za akumulacijske pojave gravitacijskega nastanka (27–28), znak za periglacialno skalovje (blokmer, 29), znak za posebne pojave na uravnjenem morenskem terenu (buttes gazones, 30), znak za posebne pojave na površju sandurja (termokraške depresije, 31), dva znaka za ledenike (32–33), sedem znakov za vodne pojave (34–40), dva znaka za zgornjo gozdno in drevesno mejo (41–42), pet znakov za antropogene pojave (43–47), znak za lokacijo z nedokončanim raziskovanjem (48), znak za lokacijo pedološkega profila (49) in pet znakov za starost sledov posameznih poledenitev (50–55). V tej razpravi objavljamo prvotno manuskriptno geomorfološko karto v vsebinsko in teritorialno nekoliko zmanjšanjem obsegu.

Slika 52: Geomorfološka karta zgornje doline Baruna (po manuskriptni geomorfološki karti iz leta 1972).





Kakšen je namen in pomen geomorfološke karte doline zgornjega Baruna? To ni samo enostavna kartografska ilustracija zgornjega geomorfološkega opisa reliefa dna te doline, temveč mnogo več. Z geomorfološko karto želimo pojasniti več pojavov, katerih lokacija pojasnjuje vzroke nastanka. Brez tega bi to ostalo nepojasnjeno. Tudi kombinacija, oziroma prostorska bližina posameznih pojavov je pomembna. Pojav sandurja je na primer izrazito navezan na bližino recentnega čela Zgornjega barunskega ledenika. Značilno in zanimivo je, da Spodnji ledenik takega sandurja nima. Lahko pa bi kot takega proglasili širšo ravnico med planinama Jangle in Ne (Sliki 53, 54).



Slika 53:

Sandur, pogled od spodaj proti čelnemu nasipu holocenske starosti, za katerim je ledeniško jezero Barun (Dud) Pokri. (Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 54:

Pogled na Sandur s termokraškimi vdolbinami in baznim taborom leta 1972. (Foto J. Kunaver, 1972)

8.1 Primerjava dveh geomorfoloških kart

Kalvodov pristop h geomorfološki problematiki (1979) je precej drugačen od našega, a nekaj stvari je vseeno skupnih. Tudi ta avtor se je na primer odločil na karti prikazati antropogene elemente v pokrajini, kakor tudi nekatere vegetacijske posebnosti, kot v našem primeru. V osnovi pa izhaja iz temeljne geološke situacije, to je nastanka in razvoja himalajskega orogena ter njegovega vpliva na današnji izgled reliefa. To je rdeča nit, ki se vleče skozi skoraj vse Kalvodove razprave o dolini Baruna in drugih himalajskih območij. Odkritje njegove geomorfološke karte je bilo neke vrste presenečenje, že zato, ker odpira vprašanje načina predstavitve geomorfološke problematike tega območja. Kalvodova geomorfološka karta, ki ima naslov »Geomorphological map of the Barun area« in je v precejšnji meri sintetična, prikazuje samo najvišji del doline Baruna, od Šeršona navzgor pa vse do zadnjih krnic in vrhov. Po našem mnenju manjka označba, da gre za območje zgornjega ali celo najvišjega dela doline Barun. Samo za tisti del te doline je bila takrat na voljo tudi topografska karta Schneiderja. Karta obsega 36 znakov, od katerih je sedem kategorij znakov (endogenic forms) namenjenih prikazu tektonsko vplivanih vrst reliefa. Med njimi so na primer pobočja, ki bi jih po naše imenovali skladna. Kalvoda jih imenuje strukturne platforme z naklonom 10°. Enajst znakov (exogenic destructional forms) je namenjenih kamninski zgradbi in mega reliefnim oblikam, eksogenim akumulacijskim oblikam (npr. morenam različne starosti) namenja devet znakov, ledeniškim in hidrološkim pojavom šest znakov (npr. meja stalne poledenitve) ter organogenim in antropogenim pojavom tri znake (npr. zgornja meja sklenjene vegetacije in skeletnih tal).

Primerjava Kalvodove in naše geomorfološke karte sicer nima kakšnega posebnega smisla, čeprav je potrebna. Kajti pogledi na geomorfološki inventar in geomorfološko interpretacijo so od avtorja do avtorja različni. Geomorfološko kartiranje še zdaleč ni tako enotno in univerzalno in tudi zdaleč ni tako dognano, kot je geološko. Je pa nujno potrebno zaradi spoznavanja reliefne in morfo-genetske raznolikosti (Slike 55, 56, 57, 58).

9 Geomorfološki razvoj pobočij in obviselih dolin nad srednjo dolino Baruna

Po tolikem času bi bilo primerno isto pokrajino ponovno obiskati in preveriti, spremeniti ali podkrepiti ugotovitve in trditve. Geomorfološka karta, ki je bila narisana kmalu po vrnitvi iz terena, je neke vrste nadomestilo za to. Kajti na njej z nekaterimi znaki opozarjamo tudi na pojave, ki jim ni bilo mogoče posvetiti dovolj pozornosti. Taka so na primer pobočja na levem bregu Baruna med Langmale in Pengmala, v katerih prevladujejo stranske obvisеле doline in že nekajkrat omenjeni vmesni, v smeri strmca potekajoči pobočni grebeni. Od prvotno bolj bežnih ugotovitev je temeljitejše opazovanje in sklepe omogočila uporaba satelitskih posnetkov v aplikaciji Google Earth. Že omenjene premočrtne štrline ali pobočni grebeni, neke vrste pobočni arête (Kunaver, 2016, 50, arête de pente, spur, ridge), so najbrž lahko nastali ne samo v eni, temveč v več poledenitvenih fazah in to s pomočjo ledeniške erozije. O slednjem, na-



Slika 55:

Pobočni ledenik nad Barun (Dud) Pokri, spredaj zaradi limonitizacije značilno rdečkasto obarvan balvan iz gnajsa (pasoviti biotitni gnajs. (Foto J. Kunaver, 1972)

Slika 56:

Ledeniško obrušeno površje v podlagi iz gnajsa, tik pod enim od Makalujevih pobočnih ledenikov, leta 1972.
(Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 57:

Ledeniška politura s polmesečnimi iztrganinami.
(Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 58:

Ledeniško jezero Barun (Dud) Pokri leta 1972.
(Foto J. Kunaver, 1972)



mreč o ledeniškem nastanku, ne more biti dvoma, saj so jasni sledovi tega ohranjeni v navpičnih stenah zlasti dveh grebenov, med njima enega, ki smo ga lahko opazovali na poti na sedlo Činama La. Stena je ponekod celo nekoliko izpodjedena v spodnjem delu, podobno kot ponekod na Kaninu (Sliki 59, 60).



Slika 59:

Pobočna pregrada tipa skedenj pod sedlom Činama La z ledeniško obrušenim podnožjem. Morenski nasipi so lahko poznawürmske starosti. (Foto J. Kunaver, 1972)



Slika 60:

Tone Wraber in Jurij Kunaver na sedlu Činama La, 5200 m; zadaj v daljavi masiv Kangčendzenge. (Foto J. Kunaver, 1972)

Na tej severni strani doline Baruna smo našli približno enajst pobočnih grebenov in nekako dvanajst stranskih obviselih dolin med njimi. Kar je značilno in vredno pozornosti, so spremembe v obliki in obsežnosti omenjenih grebenov, ki jih lahko zaznamo pri vsakem od njih, kakor tudi spremembe v povprečni višini dna obviselih dolin. Doline so poprečno dolge 2 km, največ 4 km. Njihovi najvišji deli z ne posebno izrazitimi krnicami so v najnižje ležečih pobočnih dolinah v višini 4200 m, nato pa se postopoma dvigajo, dokler njihova največja višina ne doseže približno 4800 do 5200 m. Omenja jih tudi Kalvoda (2013, str. 324, »ledeniške oblike nastopajo tudi v bočnih, obviselih dolinah in na pregradah med njimi«).

Pri vmesnih pobočnih grebenih smo opazili, da vsi niso enako oblikovani, niso enako obsežni. Nižje ležeči so precej bolj zajetni, debelejši v podnožju, višje ležeči pa so tanjši, bolj vitki. Izrazito ozka in nizka grebena sta samo dva, in prav ta dva dokazujeta, da sta doživela najmočnejše erozijo, ki ju je že skoraj povsem uničila. V tem pojavu bi lahko videli učinek z višino stopnjevanje ledeniške erozije. Z drugimi besedami, v višjih območjih je bila ledena odeja debelejša, trajnejša in morda tudi pogostejša ter erozijsko učinkovitejša, in obratno.

Pobočni grebeni terjajo še dodatno obravnavo. Satelitski posnetki kažejo, da se grebeni na pobočjih začnejo od spodaj pojavljati kot strmejši deli. Nato pa se njihovo teme postopoma oži in precej izravna. Izravnave temen večine pobočnih grebenov so presenetljivo podobne, čeprav postajajo postopoma višja. V tem je zagotovo videti ostanek nekega starega površja oziroma paleoreliefa, ki se vleče kot blago nagnjena polica od najnižjih do najvišjih stranskih dolin. Če bi bilo mogoče dokazati, da ves ta paleorelief pripada enemu samemu obdobju nastanka, potem je postopno večanje njegove višine v smeri Makaluja in najvišjih himalajskih vrhov jasna posledica pleistocenskega epirogenetskega dviganja celotnega himalajskega orogena. Nekaj podobnega omenja Kalvoda (1979a), ki govori o »dveh glacialnih denudacijskih nivojih, 4600–5100 in 5650–6050 m »v Zgornji dolini Baruna«. Ne pove pa natančno, kje sta razvita.

S pomočjo digitalne karte My Maps je mogoče ugotoviti, da je srednja višina zgornjega uravnanelega dela pobočnega grebena med enim in drugim različna za približno 100 m. Na enem od najnižje ležečih grebenov je srednja višina približno 4200 m, na enem najvišje ležečih pa je med 5300 in 5400 m. Na razdalji približno 10 km je višinska razlika med dvema pobočnima grebenoma, ki bi bila lahko ostanek istega erozijskega površja, predvidoma predpleistocenske starosti, danes več kot 1000 m.

Pravkar obravnavano pogorje je v svojem srednjem delu nekoliko višje in širše od pogorja na južni strani doline. Na južni strani (Bararate Himal) ni tako pravilnega zaporedja obviselih dolin, ki so zaradi manjše gorske gmote tudi za pol krajše. A na območju Pika 6 se pod njim širi obsežna nagnjena polica, ki izkazuje podobno višino kot pobočni pregibi in srednje višine pobočnih grebenov na nasprotni strani doline. Najbrž ta podobnost ni slučajna (Slika 61).



Slika 61:

Pogled iz Budovega vrta, z leve na: Lotse Šar, Lotse in Mount Everest. Spredaj Zgornji barunski ledenik, tipa »debris covered glacier«, v stanju zastoja, taljenja, zniževanja in umikanja že leta 1972. (Foto J. Kunaver, 1972)

10 Razprava in sklep

V tem delu na kratko ugotavljamo, kaj je v doslejšnjih interpretacijah spornega ali nedorečenega, kje so še odprta vprašanja.

Kalvodova (1979b, str. 20–23) rekonstrukcija poledenitve zgornje doline Baruna ima po našem mnenju naslednje pomanjkljivosti. Prvič, njegova geomorfološka karta (1979), ki ji je kot podlaga služila Schneiderjeva karta, ima vzhodni rob komaj 4 km od jezera Barun (Dud) Pokri. Tik nad Šeršonom je Kalvodove geomorfološke karte konec in nižji predeli navzdol do Jangmaleja v njegovih opisih niso zastopani. V opisu in na karti na območju med Šeršonom s čelnimi morenami in ledeniškim jezerom Barun (Dud) Pokri oziroma baznim taboriščem, kar predstavlja razdaljo nekaj nad 5 km, razlikuje sledove ne samo dveh, ampak celo treh poledenitev. Zlasti je sporno, da so po njegovem bočne morene levo in desno (Budov vrt) od jezera oziroma nad sandursko ravnico z baznim taboriščem, s približno višino 5000 m, najstarejšega nastanka. 4 km oddaljene čelne morene pri Šeršonu s približno višino 4800 m pa naj bi nastale v mlajši poledenitvi, z imenom zastoj Changri. Tak vtis sicer daje prekinitiv bočnih moren pod t. i. Budovim vrtom na desnem bregu zaradi kasnejšega, holocenskega vdora Tangmarskega ledenika, ki jih je uničil. A med značilnostmi površja čelnih, oziroma bočnih moren nad Šeršonom in onimi na Budovem vrtu ni bistvene razlike. Situacija postane veliko in dokončno jasnejša, če sledimo bočnim morenam iste poledenitve na levem bregu. Začnejo se tik nad spodnjim koncem jezera Barun (Dud) Pokri in se brez prekinitve vlečejo vse do čelnih nasipov nad Šeršonom. Iz tega sledi, da je enaka situacija tudi na desnem bregu. Še več, tako na eni kot na drugi strani je enako število bočnih moren, približno, ali največ pet, medtem ko so najmlajše, morda tri, zabrisane, ker so bile odložene na strmejših pobočjih. Vsaka od bočnih moren se zaključi v lepo oblikovanem loku čelnega morenskega nasipa. To pomembno spoznanje sta omo-

gočila ogled in analiza površja s pomočjo aplikacije Google Earth. Površje značilne, več kilometrov dolge dolinske kotanje pod Makalujem si je bilo mogoče ogledati iz poljubne višine in perspektive, kar je v tem primeru pokazalo, da jo je Zgornji barunski ledenik v tej poledenitveni fazi v celoti zapolnjeval, a ni segel prek Šeršona do Spodnjega barunskega ledenika in se z njim ni združil. Sami smo domnevali, da je to poledenitveno fazo povzročila zadnja würmska ohladitev.

Navedbe Kuhleja o najrazličnejših sledovih t. i. poledenitve MIA visoko v pobočjih bi bile lahko tudi problematične, saj temeljijo na pogledih iz doline, od daleč, tudi zelo daleč. Reliefne oblike lahko izgledajo z ene perspektive tako, z druge drugače, kar še bolj velja za različno osvetljenost. Kuhlejeva dokumentacija v obliki panoramskih črno-belih fotografij z neobičajno dolgim podnapisom oziroma pojasnilom je dokaj originalna in izvirna, priznamo, tudi prepričljiva metoda. Pri navajanju in razlagi posameznih pojavov je avtor, kljub komaj vidnim podrobnostim, presenetljivo suveren. To je mogoče razumeti kot izraz izkušnosti in znanja, kot rezultat dolgoletnega študija številnih podobnih pokrajin. Vprašamo pa se, komu vse je to namenjeno, saj je zainteresiranega avditorija vseeno malo. Kuhleju težko sledi celo poznavalec doline Baruna. Ko se bo našel nov raziskovalec, morda Kuhlejevega formata, bo z drugačnim pogledom in novimi metodami morda sposoben oceniti vrednost njegovih dognanj, jih potrditi ali ovreči.

Glede Kuhlejevega dokazovanja o obstoju poledenitve MIA obstajajo tudi bolj ali manj apriorna zavračanja (Owen, 1998, str. 96). Iz Kalvodove opazke (2013, str. 322) je mogoče razumeti, da Kuhlejevih trditev in opažanj ni mogoče v celoti preveriti. V delih obeh avtorjev je mogoče zaznati sicer medsebojno upoštevanje, a ne na povsem enaki ravni. Na poledenitveno datacijo gledata po svoje, vendar Kalvoda v novejšem času svojo že primerja z novejšo, Kuhlejevo (2013, str. 324). Na splošno je mogoče opaziti, da avtorji različnih interpretacij razvoja himalajskih poledenitev med seboj kar tekmujejo, kdo se bo bolj in prej približal resnici. Pojavljajo se nove in nove razlage, tudi zaradi novih datacijskih metod, svežih idej in na novo raziskanih območij.

Geomorfologija je v primerjavi z geologijo mnogo bolj odvisna od avtopsije, od terestričnega pregledovanja terena, pri čemer je pravilnost interpretacije v celoti odvisna od izurjenosti posameznika, pa še od cele vrste dejavnikov. Zato lahko z zanimanjem pričakujemo nova geomorfološka odkritja v tem delu sveta, oziroma nove in drugačne interpretacije. Tudi zato se nam zdi koristno, da smo s to razpravo vsaj malo osvetlili himalajsko geomorfološko problematiko, a dovolj, da se lahko v slehernem trenutku vanjo bolj poglobimo.

Zahvala

Udeležbo na 4. JAHO in geomorfološko raziskovanje pod Makalujem je avtor med drugim doživel kot uresničitev načrtov in želja, zlasti tistih iz leta 1956, ko je spodlete-la izvedba 1. jugoslovanske odprave na maloazijski Ararat. Usmeritev v raziskovanje gorskega sveta, posebej Julijskih Alp, se je dodatno osmislila v oddaljeni Himalaji, v sanjskem svetu doline Baruna, po katerem hrepenijo ne samo mnogi občudovalci narave in plezalci vsega sveta, pač pa tudi nepalski domačini. Himalajske gore jim pomenijo duhovnost, odrešitev in izpolnitev želja. Velika hvala za možnost, da sem se

približal temu veličastnemu svetu: moji družini, pokojnemu bratu Alešu, ki je bil vodja 4. JAHO in mu posvečam to študijo, staršem, ki so mi bili najboljši vzorniki, Oddelku za geografijo Filozofske fakultete, ki mi je stal ob strani v času odprave in po njej ter je omogočil to objavo. Zahvalo dolgujem tudi prijatelju upok. prof. geogr. Radovanu Lipuščku iz Tolmina za digitalizacijo prvotnega tipkopisa, še posebej financerjem, ki so leta 1972 omogočili odpravo. Hvala tudi obema urednikoma za potrpežljivo usmerjanje priprave rokopisa za objavo v monografiji.

Literatura in viri

- Bordet, P., 1961. *Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région du Makalu*. Pariz: Editions du CNRS.
- Bordet, P., 1970. La structure de l'Himalaya. *Bulletin de l'Association de Geographes Francais*, 379–380, 47, str. 59–66.
- Büchler, L., 2019. *Age Determination of the Outer Lateral Moraines of Barun Glacier in Nepal. Cosmogenic Radionuclide Surface Exposure Dating of Moraines with ¹⁰Be and Former ELA and Glacial Extent Reconstructions of Barun Glacier*. GEO 511 Master Thesis, Department of Geography, University of Zurich, str. 74.
- Byers, A. C., Byers E. A., Thapa, D., 2014. *Conservation and Restoration of Alpine Ecosystems in the Upper Barun Valley, Makalu-Barun National Park, Nepal. Final Report: National Geographic Society Conservation Trust Grant C259-13*, oktober 2014. The Mountain Institute Technical Report št. 2014.11.
- Byers, A. C., Rounce, D. R., Skugar, D. H., Lala, J. M., Byers, E. A., Regmi, D., 2019. A rockfall-induced glacial lake outburst flood, Upper Barun Valley, Nepal. *Land-slides*, 16, str. 533–549.
- Byers, A. C., Byers, E. A., Shresta, M., Thapa, D., 2020. Impacts of Yartsa Gunbu Harvesting on Alpine Ecosystems in the Barun Valley, Makalu-Barun National Park, Nepal. *Himalaya, the Journal of the Association for Nepal and Himalaya Studies*, 39, 2, str. 44–59.
- Chomolangma – Mount Everest, Mahalangur Himal*. Top. karta 1 : 25.000. Herausgegeben vom Deutschen Alpenverein und vom Osterreichischen Alpenverein und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, 1957.
- Carpenter, C., 2017. Barun Valley Glacier Lake Outburst Flood, april 20, 2017. *The SubHimalayan*, 29. maj 2017. URL: <http://www.subhimalayan.com/barun-valley-glacier-lake-outburst-flood-may-20-2017/> (citirano 7. 7. 2023).
- Embleton C., King C., A., M., 1968. *Glacial and periglacial Geomorphology*. London.
- Fairbridge R. W., 1963. *The Encyclopedia of Geomorphology*, III. zvezek. New York.
- Fort, M., 2004. Quaternary glaciation in the Nepal Himalaya. *Developments in Quaternary Science-Extent and Chronology*, III. zvezek, str. 261–278. Elsevier.

- Gavrilovič D., 1965. Kamenice na magmatskim stenama Jugoslavije. Zbornik radova Geografskog instituta PMF, sv. XII, str. 23–39. Beograd.
- Gregori, J., B., Petrov, B., 1976. *Scientific results of the Yugoslav Himalaya expedition, 1972: Mammalia = Znanstveni rezultati jugoslovanske himalajske odprave 1972: Mammalia. Razprave*, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, razred za prirodoslovne vede, str. 1–20. Ljubljana.
- Hafner, W., 1965. Nepal Himalaya: Bericht einer Reise nach Ostnepal im Jahre 1963. *Erdkunde*, 2, str. 89–103.
- Hagen, T., 1963. The evolution of the highest mountain in the world. V: Hagen T., Dyhrenfurth, G.O., Ch. von Fürer-Heimendorf, Schneider, E. (ur.). *Mount Everest. Formation, Population and Exploration of the Everest Region*. London, str. 1–96.
- Hellmich, W. (ur.), 1964. *Khumbu Himal: Ergebnisse des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya*. 1. zvezek, 1. del, Springer-Verlag.
- Kalvoda, J., 1976. The relief of the Himalayas and its recent modellation. *Rozpr. Čs. Akad. Věd, Ř. mat. přír. Věd*, 86, 1, str. 52 in nadalj.
- Kalvoda, J., 1979a. The Quaternary history of the Barun glacier, Nepal Himalayas. *Věstník Ústředního ústavu geologického*, 54, 1, str. 11–23.
- Kalvoda, J., 1979b. Geomorphological map of the Barun glacier region, Khumbakarna Himal. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 14, 1, str. 3–38.
- Kalvoda, J., Košler, J., Svojtka, M., 2004. Morphotectonic evidence for chronodynamics of uplift in the Eastern Nepal Himalayas. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, XXXIX, 1, str. 149–162.
- Kalvoda, J., 2007. Dynamics of landform evolution in the Makalu – Barun region, Nepal 5 Himalaya. *Geografický časopis (Bratislava)*, 59, 2, str. 85–106.
- Kalvoda, J., Košler, J., Svojtka, M., 2013. *Landform evolution of the Makalu – Barun region in the East Nepal Himalaya*. V: M. Kuhle (ur.). *Tibet and High Asia*, št. VIII. Aachen: Shaker Verlag, str. 309–333.
- Kalvoda, J., 2020. *The Dynamics of Geomorphic Evolution in the Makalu Barun Area of the Nepal Himalaya*. Praga: P3K Publishers.
- Kalvoda, J., A., Emmer, 2021. *Mass wasting and erosion in different morphoclimatic zones of the Makalu Barun region, Nepal Himalaya*. *Geografiska Annaler: Series A Physical Geography*, 103, 4, str. 368–396.
- Kuhle, M., 2005. Maximum Ice Age (Würmian, Last Ice Age, The LGM) Glaciation of the Himalaya – A Glaciogeomorphological Investigation of Glacier Trim-lines, Ice Thicknesses and Lowest Former Ice Margin Positions in the Mt. Everest–Makalu–Cho Oyu Massifs (Kumbu and Khumbakarna Himal) Including Informations on Late-glacial, Neoglacial, and Historical Glacier Stages, their Snow-line Depressions and Ages, *Geojournal*, 62, str. 193–650.

- Kuhle, M., 2006a. Reconstruction of the Ice Age glaciation in the southern slopes of Mt. Everest, Cho Oyu, Lhotse and Makalu (Himalaya) (part 1). *Journal of Mountain Science*, 3, str. 91–124.
- Kuhle, M., 2006b. Reconstruction of the ice age glaciation in the southern slopes of Mt. Everest, Cho Oyu, Lhotse and Makalu (Himalaya) (part 2). *Journal of Mountain Science*, 3, str. 191–227.
- Kuhle, M., 2006c. The Ice Age glaciation (Isotope Stage 4-2) in the southern slopes of Mt. Everest, Cho Oyu, Lhotse and Makalu (Himalaya). *Geophysical Research Abstracts*, 8, 01279.
- Kunaver, J., 1974. *Prispevek h glacialni geomorfologiji doline Baruna v Khumbakarna Himalu – Vzhodni Nepal*. Ljubljana: Planinska zveza Slovenije.
- Kunaver, J., 1974. Če geograf potuje. S kladivom in kompasom po dolini Baruna. Vreme v bazi. V: Kunaver, A. (ur.). *Makalu*. Ljubljana: Mladinska knjiga.
- Kunaver, J., 1974. O geološkem razvoju nepalske Himalaje. *Proteus*, 5, str. 232–239.
- Kunaver, J., 1976. O geografiji nepalskih pokrajin. *Geografski obzornik*, 1976, 23, 1-2, str. 23–31.
- Kunaver, J., 1983. Geomorfološki razvoj Kaninskega pogorja s posebnim ozirom na glaciokraške pojave. *Geografski zbornik*, 22, str. 197–346.
- Kunaver, J., 2012. Pod Makalujem s Tonetom Wraberjem in Janezom Gregorijem pred štiridesetimi leti. *Proteus* 1/75, str. 7–15.
- Kunaver, J., 2016. Origine et distribution des arêtes de pente (skedenj), des chaudrons à neige (kotlich) et des puits à neige: versant sud-est du massif du Kanin (Slovénie). *Karstologia*. 1er sem. 2016, no. 67, str. 43–52.
- Müller, F., 1958. Acht Monate Gletscher- und Bodenforchung im Everestgebiet. V: *Schweizerische Stiftung für alpine Forschungen*. Berge der Welt 1958/59. Zürich: Büchergilde Gutenberg, str. 199–216.
- Nepal 1 : 506.880*, East Scheet, Second edition GSGS, 1967. Published by D Survey, Ministry of Defence, United Kingdom. London.
- Novak, M., 2023. *Geološke značilnosti Nepalske Himalaje s poudarkom na dolini Baruna pod Makalujem*. Rokopis.
- Owen, L. A., E., Derbyshire, M., Fort, 1998. The Quaternary glaciation history of Himalaya. *Quaternary Proceeding*, 6, str. 91–120.
- Reinhard, J., 1978. Khemalung. The hidden valey. *Kailash – Journal of Himalayan Studies Kathmandu*, 6, 1, str. 5–35.
- Richards, B. W. M., Benn, D. I., Owen, L. A., Rhodes, E. J., Spencer, J. Q., 2014. Timing of late Quaternary glaciations south of Mount Everest in the Khumbu Himal, Nepal. *Geological Society of America Bulletin*, 112, 10, str. 1621–1632.
- Schneider, E., 1955–1963. *Topografska karta 1 : 50.000, Khumbu Himal (Nepal)*. Forschungsunternehmen Nepal Himalaya.

Schneider, E., 1964. *Begleitworte zur Karte Khumbu Himal I und zur Namensgebung. Khumbu Himal. Ergebnisse des Forschungs-unternehmens Nepal Himalaya, Bd.1 (5), V: Khumbu Himal: Ergebnisse des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya.* Prev. Walter Hellmich, 1. zvezek, 1. del, 1964, str. 430–445.

Wager, L. R., 1937. The Arun river drainage pattern and the rise of the Himalayas. *The Geographical Journal*, 89, 3, str. 239–249.

Wissmann, H. v., 1959. *Die heutige Vergletscherung und Schneegrenze in Hochasien, mit Hinweisen auf die vergletscherung der letzten Eiszeit*, Akademie der Wiss. und der Lit. Abhandl. der Mat.-Naturwiss. Kl., Akad. Wiss. Lit. Mainz, 14, str. 1101–1407.

Wissmann H. v., 1961. Stufen und Gürtel der Vegetation und des Klimas in Hochasien und seinen Randgebieten: A. Hygrische Raumgliederung und Exposition (Vertical and Horizontal Zones of Vegetation and of Climate in Tibet and Its Surroundings. A. Hygric (Humidity-) Zonation and Exposition of Slopes). *Erdkunde XIV*, 4, str. 249–273.

Terensko raziskovanje avtorja v dolini Baruna od 11. 9. do 28. 10. 1972 (s prekinitvami).

Spremembe obsega ledenikov na širšem območju Himalaje – primer preučevanja južnega ostenja Makaluja s pomočjo slikovnega gradiva iz let 1972 in 2014

Irena Mrak, Tomaž Goslar

I Uvod

Najobsežnejši ledeniki na Zemlji so danes v polarnih območjih, izven njih pa na širšem območju Himalaje. Za dinamiko obsega poledenitve so pomembne dolgoročne meritve in opazovanja, s katerimi to spremljamo – ne le obseg, ampak tudi možne razloge, ki na obseg poledenitve vplivajo. Tovrstna spremljanja so na terenu precej redka, so pa pomembna, saj predstavljajo dodaten vir podatkov za interpretacijo dogajanja (Schmidt, Nusser, 2009).

Na širšem območju Himalaje se je največji obseg poledenitve med različnimi predeli razlikoval. Nekateri med njimi so največjo poledenitev doživeli pred zadnjim glaciaciom (> 100 ka), nekateri v začetku zadnjega glaciaciala (~ 30–70 ka), v nekaterih predelih pa je največji obseg poledenitve sovpadal z zadnjim ledeniškim maksimumom (LGM ~ 18–24 ka). Napredovanje ledenikov po LGM je bilo omejeno na nekaj kilometrov nad sedanjo lego v večini regij, pri čemer je bilo njihovo največje napredovanje v začetku holocena (~ 9–8 ka). Zadnje obsežnejše napredovanje ledenikov je bilo pred nekaj stoletji v obdobju male ledene dobe in se je zaključilo na začetku 20. stoletja. Med letoma 1915 in 2015 se je obseg poledenitve na večini območja zmanjšal, ne pa povsod. V tem obdobju se je na primer obseg ledenikov v Karakorumu le malo spremenil (Owen, 2017).

Ledeniki na širšem območju Himalaje vplivajo na hidrologijo rek, jezer in mokrišč. Spremembe obsega poledenitve ter dinamika gibanja ledenikov povzročajo pomembne okoljske in biotske spremembe. Obseg ledenikov se je v kvartarju precej spreminjal (~ zadnjih 2,6 milijona let), kar je imelo velik vpliv na razvoj površja. Opredelitev nekdanjega obsega poledenitve zahteva podrobne geološke in geomorfološke raziskave, ki vključujejo daljinsko zaznavanje, terensko kartiranje, analizo reliefnih oblik ter določanje starosti nekaterih reliefnih oblik (npr. morenskih nasipov). Natančna opredelitev obsega ledenikov je v Himalaji danes kljub razvoju daljinskega zaznavanja še vedno izziv. Razlog za to je relativno zahtevna dostopnost območij in

posledično zahtevno terensko delo, med drugim pa tudi težavno določanje obsega ledenikov, saj so nekateri, vsaj v Karakorumu, prekriti s krovno moreno, kar otežuje določanje njihovega obsega ter posledično spremljanje dinamike njihovega gibanja (Racoviteanu in sod., 2014; Owen, 2017; Pelto, 2019).

Najnižje nadmorske višine, do kamor danes segajo ledeniki, so na širšem območju Himalaje različne. Povezane so predvsem s podnebnimi razmerami v posameznih predelih, pri čemer je lahko zaradi lokalnih reliefnih razmer nadmorska višina, do katere sežejo, tudi v posameznih območjih različna.

Primer spremljanja recentne poledenitve je npr. območje Nanga Parbata v severnem Pakistanu. Kartograf in glaciolog R. Finsterwalder je na tem območju raziskoval dinamiko ledenikov v tridesetih letih prejšnjega stoletja, odtlej pa je spremembe dokumentiralo še več drugih študij, ki se osredotočajo na ledenik Raikot (Slika 1) in primerjajo njegovo dinamiko v času sedmih desetletij opazovanja. Pri tem so uporabili pristop, ki temelji na ponavljajočih se posnetkih z enakih lokacij na terenu (Schmidt, Nusser, 2009).

Slika 1: Ledenik Raikot, Nanga Parbat, Himalaja, Pakistan leta 1934 in 1994. (Vir: Schmidt, Nusser, 2009)



Razvoj daljinskega zaznavanja danes omogoča veččasovni pristop zajemanja podatkov in je ključen za sprotno spremljanje procesov, torej tudi obsega poledenitve, kljub temu pa so posnetki s terena dodaten vir informacij, ki pripomorejo k interpretaciji dogajanja. S sprotnim spremljanjem dinamike ledenikov lahko ugotavljamo tako njihov obseg, dolžino in tudi debeline ledu.

Tako npr. analize ledenika Raikot kažejo, da se je ledenik med letoma 1934 in 2007 (torej v 73 letih) skrajšal za 200 m, vendar se je njegov umik prekinil med letoma 1950 in 1980. Zanimivo je, da se v celotnem obdobju opazovanja njegova debelina ni bistveno zmanjšala, kar je lahko tudi posledica pokritosti ledu z gruščem (krovno moreno), to pa preprečuje intenzivnejše taljenje ledu (Schmidt, Nusser, 2009).

2 Metodologija

Pri opazovanju poledenitve južnega ostenja Makaluja smo uporabili pristop »ponavljajočega fotografiranja«, ki je vizualen način prikaza določenih pojavov v okolju. Pri tem so pomembni viri fotografij iz preteklosti, ki so ohranjene v zbirkah različnih ustanov in ali osebnih zbirkah posameznikov. Ponavljajoče fotografiranje pokrajine

pomembno prispeva k razumevanju dinamike procesov ter posledično spreminjanja njenega videza skozi čas (Butler, 1999).

Čeprav je pristop v novejših geomorfoloških študijah redko uporabljen, pa je vreden pozornosti, saj dolgoročno pripomore k pridobivanju podatkov o procesih, ki oblikujejo površje. Predstavlja podporo drugim tehnikam in pristopom, kot je npr. daljinsko zaznavanje. Serije fotografij so uporabne pri preučevanju različnih geomorfnihi pojavov in procesov (Cerney, 2010) prav tako pa so primeren pripomoček pri predstavitvah rezultatov raziskav širši javnosti oz. tudi kot pristop pri preučevanjih, kjer vključujemo splošno javnost (angl. *citizens science*).

V pričujoči raziskavi smo izbrali nekaj fotografij alpinistično-raziskovalne odprave na Makalu iz leta 1972 ter na terenu leta 2014 ponovili fotografiranje južnega ostenja Makaluja, pobočij okoliških gora ter nekaterih reliefnih oblik v dolinskem delu. Fotografsko gradivo iz leta 1972 je bilo vezano na takratno geomorfološko raziskovanje območja ter rezultate tega in je obsegalo tako posnetke poledenitve kot tudi oblik površja v dolinskem delu. Pri terenski raziskavi leta 2014 je bilo najtežavnejše iskanje mikro lokacij fotografiranja iz leta 1972. V večini primerov so bile lokacije najdene na nekaj metrov do nekaj deset metrov natančno, pri kasnejši primerjavi fotografij pa smo se v nekaterih primerih morali osredotočiti na primerjave le dela fotografij (Slika 2 – Slika 12). Na podlagi pridobljenih fotografij je bila opravljena primerjava obsega poledenitve ter oblik površja v dolinskem delu, na kateri sloni tudi interpretacija opaženih (ne)razlik.

3 Rezultati in razprava

Za območje Makaluja (Slika 1, str. 58) je značilno vertikalno spreminjanje reliefa, ki je povezano z nadmorsko višino, reliefno energijo ter posledično različnimi značilnostmi vremena ter podnebja. Vertikalna hierarhija spreminjanja visokogorskega reliefa sega od izjemno hladnih pobočij in grebenov, preko močno poledenelih in periglacialnih območij, do dolin rek Barun in Arun, za katere so značilne večja sezonska temperaturna dinamika ter variabilnost padavin ter posledično tudi vlažnost. Površje na območju Makalu Baruna kaže na izjemno visoke stopnje denudacije in prenosa sedimentov, kar je povezano z litološkimi razmerami in podnebnimi značilnostmi. Slednje vplivajo na obseg poledenitve in permafrosta. Najintenzivnejši učinki geomorfnihi procesov na območju Makaluja so (Kalvoda, Emmer, 2021; Gurung in sod., 2021):

- v dolinskih predelih: zmanjševanje obsega poledenitve, intenzivno prepeprevanje kamnin, pogosti snežni plazovi, skalni podori in drobirski tokovi, vetrna erozija;
- na pobočjih: zmanjševanje obsega ledenikov, širjenje periglaciala;
- v periglacialnem območju: intenzivni procesi, povezani s sezonskim zmrzovanjem in taljenjem ter fluvialna erozija in posledično odnašanje kvartarnih sedimentov, pogosti pobočni premiki, zlasti kamniti in zemeljski plazovi;
- na sezonsko hladnem/toplem vlažnem območju: zmanjševanje območja s periglacialnimi značilnostmi, pogosti pobočni premiki različnih vrst in velikosti ter intenzivna rečna erozija.

Fotografsko gradivo, ki je bilo uporabljeno za primerjavo obsega poledenitve južnega ostenja Makaluja ter nekaterih drugih oblik površja v dolini reke Barun, je bilo posneto septembra in oktobra 1972 in 2014. Vremenski pogoji kot tudi snežne razmere (morebitni novozapadli sneg) so bili v obeh obdobjih primerljivi – redka so bila obdobja popolnoma jasnega vremena. Na fotografijah tako primerjave otežujejo meglice in oblaki. Prav zaradi tega se je nabor primernih posnetkov zmanjšal na tiste, kjer je bila primerjava najbolj optimalna.

Primerjava slikovnega gradiva alpinističnih raziskovalnih odprav leta 1972 in 2014 je podprla vse prej navedene razmere in učinke naštetih geomorfni procesov. Pri primerjavi fotografij (Slika 2 – Slika 12) smo ugotovili manjše spremembe v vršnih delih južne stene Makaluja z vidika obsega poledenitve. Spremembe debeline ledu je zgolj s primerjavo fotografij težko ugotoviti, bolj pa so opazne spremembe v terminalnih delih ledenikov. To območje, ki je tudi območje periglacialnih pojavov, je prav zaradi večjih temperaturnih nihanj preko leta bolj dinamično. Na fotografijah (Slika 2 – Slika 7) je mogoče opazovati zmanjšanje obsega ledenikov ter posledično večje površine na površju vidne matične kamnine, ki je zdaj neposredno izpostavljena vremenskim vplivom ter intenzivnejšemu prepelevanju. Slednje pripomore k povečani pojavnosti skalnih podorov in drobirskih tokov (Hewitt, 2014).

V spodnjih delih je prej sklenjena poledenitev tedaj večinoma fragmentirana na posamezne »jezike«, na to pa bistveno vpliva morfologija matične podlage, ki je posledica geološke sestave ter procesov, ki so površje oblikovali pred poledenitvijo. Poledenitev leta 2014 je v povprečju segala do približno 5000 m n. v.

Slika 2: Obseg poledenitve južnega ostenja Makaluja v letih 1972 in 2014. (Foto J. Kunaver, 1972; I. Mrak, 2014)



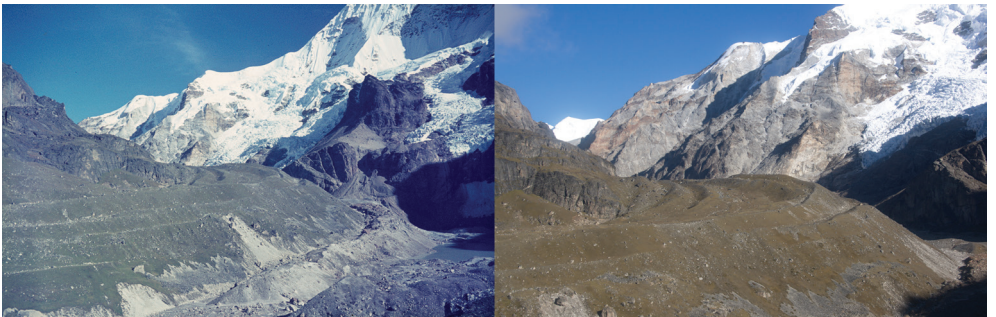
Lokacija fotografiranja: 27°49'42.35"N 87° 4'22.99"E (4830 m).

Slika 3: Pogled z grebena vzhodno od baze pod Makalujem proti zahodu – Pik 4 (Kangdzedzelbu 6720 m – 27°49'36.45"N 87° 2'56.30"E) (Foto J. Kunaver, 1972; I. Mrak, 2014)



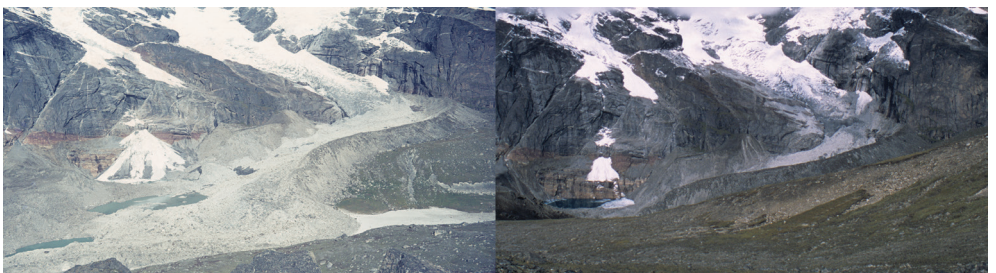
Lokacija fotografiranja: 27°50'13.19"N 87° 5'40.96"E (5602 m)

Slika 4 : Morenski nasipi v območju baznega tabora in del južnega ostenja Makaluja (Foto J. Kunaver, 1972; T. Goslar, 2014)



Lokacija fotografiranja: 27°49'58.76"N 87° 4'54.00"E (4972 m)

Slika 5: Pogled z grebena vzhodno od baze pod Makalujem proti zahodu in jezeru pod Pikom 4 (Foto J. Kunaver, 1972; T. Goslar, 2014)



Lokacija fotografiranja: 27°50'13.19"N 87° 5'40.96"E (5314 m)

Slika 6: Tutse (Pik 6 – $27^{\circ}46'19.22''\text{N}$ $87^{\circ}5'58.47''\text{E}$), pogled južno iz baznega tabora pod Makalujem (Foto J. Kunaver, 1972; T. Goslar, 2014)



Lokacija fotografiranja: $27^{\circ}50'14.66''\text{N}$ $87^{\circ}4'25.13''\text{E}$ (4990 m)

Slika 7: Del južne stene in jugovzhodni greben Makaluja (Foto J. Kunaver, 1972; I. Mrak, 2014)



Lokacija fotografiranja: $27^{\circ}50'48.24''\text{N}$ $87^{\circ}4'31.73''\text{E}$ (4998 m)

Dinamičnost procesov v dolini Barun (na območju baznega tabora) smo prav tako primerjali s pomočjo fotografij iz leta 1972. Slike 8–10 kažejo, da so stranski morenski nasipi do leta 2014 ostali nespremenjeni, v strugi pa nekaterih oblik ni več ali pa so nastale nove. Na pobočjih je ponekod mogoče opaziti melišča, skalne podore, ki jih leta 1972 ni bilo. Na zgornjem delu Zgornjega barunskega ledenika (Slika 10) pa je opazna večja prekritost ledu z gruščem.

Slika 8: Pogled z grebena zahodno nad bazo pod Makalujem proti jugu (Foto J. Kunaver, 1972; I. Mrak, 2014)



Lokacija fotografiranja: 27°50'16.64"N 87° 4'28.50"E (4963 m)

Slika 9: Zgornji barunski ledenik, v ozadju Everest in Lotse (Foto J. Kunaver, 1972; I. Mrak, 2014)



Lokacija fotografiranja: 27°51'21.89"N 87° 3'34.10"E (5160 m)

Slika 10: Pogled proti ledeniku Pika 4 (Foto J. Kunaver, 1972; I. Mrak, 2014)



Lokacija fotografiranja: 27°49'37.75"N 87° 4'13.03"E (4820 m)

Slika 11: Morene barunskega ledenika (Foto J. Kunaver, 1972; I. Mrak, 2014)



Lokacija fotografiranja: 27°49'21.48"N 87° 3'59.38"E (5037 m)

4 Sklep

Preveritev obsega poledenitve na območju južnega ostenja Makaluja, ki je temeljila na fotografskem gradivu iz leta 1972, je v letu 2014 pokazala, da so spremembe opazne v terminalnih delih, niso pa znatne. V višjih predelih so razlike še bistveno manjše ali pa jih s prostim očesom niti ne zaznamo. Vezane so največ na dejansko dinamično premikanja ledenikov, kot so na primer odlomi serakov in ledeniške razpoke.

Tovrstno spremljanje dinamike poledenitve skupaj z zajemanjem podatkov s pomočjo daljinskega zaznavanja vsekakor lahko pripomore k razumevanju procesov, ki oblikujejo ne le ta del Himalaje, ampak območja povsod v visokogorju.

Slika 12: Južna stena Makaluja kot primer spremljanja dinamike recentne poledenitve (Foto J. Kunaver, 1972; T. Goslar, 2014)



Lokacija fotografiranja: 27°50'10.7"N 87° 5'24.10"E (4955 m)

Glede na globalno zviševanje temperatur ledeniki tudi v zadnjih desetletjih (Owen, 2017) odražajo hitrejšo spremembo, kar pomeni, da je sprotno spremljanje njihovega stanja še toliko bolj pomembno.

Posredno prav tovrstna dognanja in znanja lahko pripomorejo pri odločitvah lokalnih skupnosti v vsakdanjem življenju, še bolj pa pri razvoju gorskega turizma, ki se prav na območju najvišjih vrhov sveta pospešeno razvija.

Literatura in viri

- Butler, D. R., 1999. Repeat Photography as a Tool for Emphasizing Movement in Physical Geography. *Journal of Geography*, 93, 3, str. 141–151. <http://dx.doi.org/10.1080/00221349408979710>
- Cerney, D. L., 2010. The Use of Repeat Photography in Contemporary Geomorphic Studies: An Evolving Approach to Understanding Landscape Change. *Geography Compass*, 4, 9, str. 1339–1357. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00376.x>
- Gurung, N., Thakuri, S., Chauhan, R., Ghimire, N. P., Ghimire, M. L., 2021. *Dynamics of Lower-Barun Glacier and Glacial Lake and its GLOF Susceptibility Using Geospatial Analysis and Modelling*, JALAWAAYU, 1, 2, str. 57–78. <https://doi.org/10.3126/jalawaayu.v1i2.41012>
- Hewitt, K. (2014). *Glaciers of the Karakoram Himalaya: Glacial Environments, Processes, Hazards and Resources*. *Glaciers of the Karakoram Himalaya*. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6311-1>
- Kalvoda, J., Emmer, A., 2021. Mass wasting and erosion in different morphoclimatic zones of the Makalu Barun region, Nepal Himalaya. *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, 103, 4, str. 368–396.
- Kunaver, A., Cedilnik, D., Belak, S., Maležič, M., Jerin, Z., Kunaver, J. 1974. *Makalu*. Mladinska knjiga.
- Owen, L. A., 2017. *Late Quaternary Glacier Fluctuations in the Himalayas and Adjacent Mountains*. V: Prins H.T., Namgail, T. (ur.). *Bird Migration Across the Himalayas*. Cambridge University Press., str. 155–174.
- Pelto, M., 2019. *Retreat of West Barun Glacier and Barun Tsho expansion, Nepal 1994–2018*. URL: [HTTPS://BLOGS.AGU.ORG/FROMAGLACIERSPERSPECTIVE/2019/09/09/RETREAT-OF-WEST-BARUN-GLACIER-AND-BARUN-TSHO-EXPANSION-NEPAL-1994-2018/](https://blogs.agu.org/fromaglaciersperspective/2019/09/09/retreat-of-west-barun-glacier-and-barun-tsho-expansion-nepal-1994-2018/) (citirano 1. 2. 2023).
- Racoviteanu, A. E., Arnaud, Y., Baghuna, I. M., Bajracharya, S. R., Berthier, E., Bhambri, R., Bolch, T., Byrne, M., Chaujar, R. K., Frauenfelder, R., Kääb, A., Kamp, U., Kargel, J. S., Kulkarni, A. V., Leonard, G. J., Mool, P. K., Sossna, I., 2014. Himalayan glaciers (India, Bhutan, Nepal): satellite observations of thinning and retreat. V: Kargel, J. S., Leonard, G. J., Bishop, M. P., Kääb, A., Raup, B. H. (ur.). *Global Land Ice Measurements from Space*. Heidelberg: Springer Praxis Books, str. 549–582. https://doi.org/10.1007/978-3-540-79818-7_24

Schmidt, S., Nusser, M., 2009. Fluctuations of Raikot Glacier during the past 70 years: a case study from the Nanga Parbat massif, northern Pakistan. *Journal of Glaciology*, 55, 194, str. 949–959.

Značilnost rastlinstva v Nepal s poudarkom na dolini Baruna pod Makalujem

Matej Blatnik

I Uvod

Za Nepal je značilna velika rastlinska pestrost, ki je posledica več dejavnikov. Najpomembnejši so geografski položaj, relief, podnebje, geološka sestava in prsti. Nepal leži približno na 28° severne geografske širine, ki ustreza meji med subtropskim in zmernim pasom. Za celotno državo je značilen zelo visok razpon nadmorskih višin (izjemna reliefna energija) z nižavji in najvišjimi gorami sveta. Tu so se oblikovali številni podnebni tipi, od vročega in vlažnega tropskega v nižavjih do hladnega in sušnejšega gorskega v najvišjih predelih. Geološka sestava je prav tako pestra z mlajšimi sedimenti v nižavjih in vse starejšimi sedimentnimi, magmatskimi in metamorfnimi kamninami v visokogorju. Tudi odeja prsti je zelo pestra, njihova debelina pa je z naraščajočo nadmorsko višino vse manjša. Vse to vpliva na rastlinstvo, ki je z različnimi prilagoditvami na dane razmere oblikovalo več tipov in tvorijo prav posebno višinsko pasovitost. Pomemben delež zavzemajo endemične vrste, ki jih je skupno okoli 5 % vseh poznanih vrst, njihov delež pa z višino izrazito narašča. Vse naštetu velja tudi za dolino Baruna, ki se tik pod Makalujem začne s pasom večnega snega in ledu, zaključí pa z izlivom v reko Arun v skoraj povsem tropskih razmerah.

2 Geomorfološke in podnebne značilnosti, ki vplivajo na rastlinstvo v Nepal

Nepal po svoji velikosti (približno 150.000 km²) spada med manjše države sveta, je pa zelo raznolik po nadmorskih višinah. Najnižja točka je na okoli 60 m (nižavje Kechana Kalan), najvišja pa predstavlja najvišji vrh sveta (nep. *Sagarmāthā*, kit. *Čumulangma*, ang. *Mount Everest*) z 8848 m nadmorske višine. Nadmorske višine naraščajo od juga proti severu države. Na celotni južni meji z Indijo se razprostira nižavje Terai z nadmorskimi višinami do okoli 300 m, ki je zaradi debelih plasti sedimentov za kmetijstvo ugodno in zato tudi najgosteje poseljeno. Nižavje proti severu najprej prehaja v hribovje Siwalik (tudi Churia Hills, do okoli 1900 m nadmorske višine), še nekoliko bolj severno pa je gorovje Mahabharat Lekh (do okoli 2400 m) (Kunaver, 1976). Kljub reliefni pestrosti je to območje razmeroma gosto poseljeno.

Vzdolž celotne meje s Kitajsko poteka greben Himalaje, ki se deli na Nizko in Visoko Himalajo. Za Nizko Himalajo je značilno prepletanje gorovij in vmesnih gosto poseljenih dolin in kotlin, severno od nje pa je Visoka Himalaja, ki predstavlja najvišje vrhove sveta z globoko vrezanimi ledenišskimi dolinami (Kunaver, 1976).

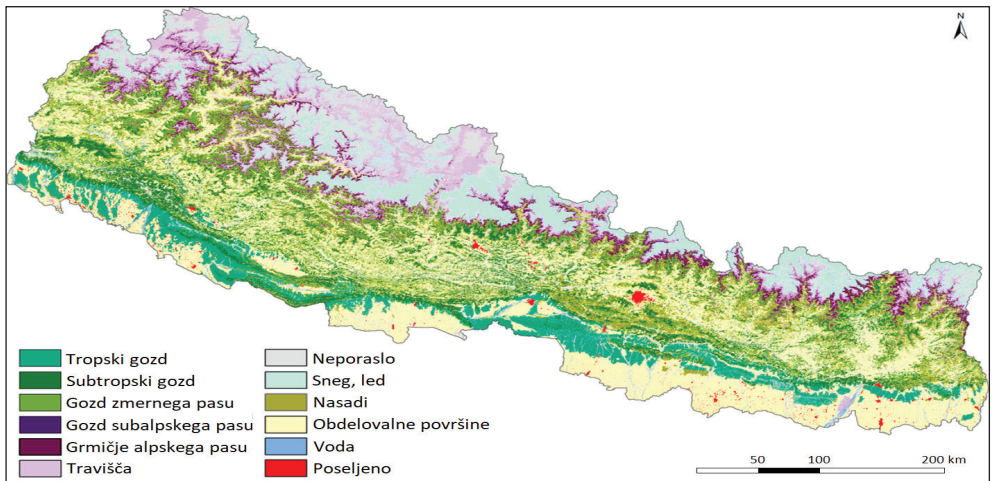
Podobno kot relief je pestra tudi geološka sestava. V najvišjih predelih Himalaje so prisotne sedimentne in metamorfne kamnine, v nižjih predelih Himalaje so poleg omenjenih tudi magmatske. Sredogorje večinoma sestavljajo sedimentne kamnine, medtem ko nižavje Terai tvorijo recentni aluvialni nanosi. Večina kamnin je nekarbonatnih, karbonatne (marmor, apnenec in dolomit) pa večinoma tvorijo visokogorje (Dhital, 2015; Mojzeš in sod., 2020).

Prsti so rezultat součinkovanja geološke sestave, reliefa in podnebja in imajo prav tako zelo pomembno vlogo pri nastanku rastlinskega pokrova. Na severu države v najvišjih nadmorskih višinah Himalaje prevladujejo siromašni Gelični Leptosoli, v nižjih predelih Himalaje pa prav tako plitvi, vendar s humusom bogatejši Evtrični Regosoli. V osrednjem delu Nepala so najbolj razširjeni za kmetijstvo zelo primerni Evtrični Kambisoli, v nižavju na jugu pa so globoki Distrični Kambisoli in Phaeozemi. V nižinah so prisotni še Evtrični Glejsoli, ob rekah pa Kalkarični Fluvisoli (Gurung, 2020).

Večina države leži v pasu med 26,3–30,4° severne geografske širine. Tako je v nižjih predelih države (do 500 m nadmorske višine) tropsko podnebje. Območja do 1200 m nadmorske višine imajo subtropsko podnebje. Zanje je značilno, da v zimskem času še niso izpostavljeni zmrzali. Za območja med 1200 in 2400 m nadmorske višine je značilno zmerno toplo podnebje, kjer občasno tudi zapade sneg. Za območja med 2400 in 3600 m nadmorske višine je značilno hladno podnebje, zgornji del tega pasu pa predstavlja tudi zgornjo drevesno mejo. Za območja nad 3600 m je značilno gorsko podnebje, ki se nadalje deli na subarktično (3600–4400 m) in arktično (nad 4400 m) podnebje (Raskoti, Ale, 2012).

Z vidika rastlinstva sta pomembni tudi količina in razporeditev padavin. Leto je povprečno razdeljeno na vlažno (monsunsko) in sušno obdobje (Chhetri, Cairns, 2015). Povprečna letna količina padavin ima prav tako zelo velik razpon, in sicer med 160 mm na območjih s padavinsko senco severno od Himalaje do 5500 mm na privetrnih južnih pobočjih. Količina padavin upada od vzhoda (2500 mm letno) proti zahodu (1000 mm letno). Predmonsunsko obdobje se pojavi aprila in maja s sezonsko suhim vremenom. Hribovje Siwalik temu primerno porašča na sušo odporen tropski grmičasti gozd. Med junijem in avgustom je obdobje z najbolj intenzivnim monsunom, za katerega so značilne intenzivne padavine. Septembra sledi pomonsunsko obdobje, ko padavine oslabijo, za oktober in november pa je značilno sušno jesensko obdobje. To se nadaljuje s pretežno sušno zimo, ko so prisotni tudi močni severovzhodni vetrovi. Ti prinašajo šibko deževje v nižinah ter sneženje v predelih nad 2000 m nadmorske višine. Februarja in marca je pretežno sončno obdobje z zmernimi temperaturami (Carpenter, Zomer, 1996; Raskoti, Ale, 2012).

Slika 1: Pokrovnost in raba tal v Nepalu. (Vir: Sudhakar Reddy in sod., 2018)



3 Splošne značilnosti rastlinstva v Nepalu

Razporeditev rastlinstva je odraz medsebojnega součinkovanja geografskega položaja, reliefa, geološke sestave, prsti in podnebja. Ker ima Nepal še posebej širok razpon v nadmorskih višinah in raznoliko podnebje, si od nižjih proti višjim predelom sledijo naslednji rastlinski pasovi: tropski pas, subtropski pas, zmerni pas, subalpski pas, alpski pas in neporasli nivalni pas (Slika 1; Shrestha, 1989; Carpenter, Zomer, 1996; Shrestha, 2008, Raskoti, Ale, 2012).

Gozd in grmičevje skupaj prekrivata okoli 45 % ozemlja države (Govil, 1999). Delež gozda se je v 80. in 90. letih 20. stoletja zaradi krčenja za potrebe pridobivanja obdelovalnih površin in koriščenja lesa za kurjavo zmanjšal na le 25 % (Govil, 1999). Izrazito razgaljanje površin je povzročilo resne težave, predvsem v obliki pogostejših in intenzivnejših zemeljskih plazov ter hudourniških poplav. Vlada se je na to odzvala z načrtnim pogozdovanjem in do leta 2016 ponovno dvignila delež gozda na prvotnih 45 % površine države (Cassidy, 23023).

Fitogeografsko Nepal pripada 6 florističnim regijam, ki pomembno vplivajo na vrstno sestavo posameznih rastlinskih pasov. To so srednjeazijska na severu, kitajsko-japonska na severovzhodu, jugovzhodno azijsko-malezijska na jugovzhodu, indijska na jugu, sudansko-zambijska na jugozahodu, iransko-turanska na zahodu (Raskoti, Ale, 2012; Tiwari in sod., 2019).



Slika 2:

Osrednji del Nepala v bližini glavnega mesta Katmandu. Območje je primer velike razčlenjenosti površja z gozdnatimi dolinami, medtem ko so vmesna slemena izrazito preoblikovana za potrebe poljedelstva in poselitve. (Foto M. Blatnik, 2014)

Tropski pas obsega območja do 1000 m nadmorske višine, kjer povprečna mesečna temperatura ne pade pod 18 °C. Ta tip je značilen za uravnavo Terai in vzhodje gorovja Siwalik, ki skupaj pokrivajo skoraj 30 % površine države (Govil, 1999). V tem pasu se prepleta predvsem rastlinstvo, ki je značilno za indijsko in jugovzhodno azijsko-malezijsko fitogeografsko regijo. Najbolj značilni tipi rastlinstva so gozdovi salovca (*Shorea robusta*) (Wraber, 1971), tropski listnati obrečni gozdovi in tropski vednozeleni gozdovi. Za salovec je značilna bujna rast do višine 45 m, podvržen pa je bil precejšnjem izsekavanju v vzhodnem in osrednjem delu države (Slika 2; Wraber, 1971; Karki, 2020). Je tudi izrazito družabna drevesna vrsta, tako da so mu v različnih območjih pridruženi mandljevci (*Terminalia belliraca*, *T. chebula*), dilenija (*Dillenia pentagyna*), butea (*Butea monosperma*) in mimoza (*Mimosa rubricaulis*, *M. pudica*). Tropski listnati obrečni gozdovi preraščajo bregove rek v dolinah Bhabar in Dun. Najznačilnejše drevesne vrste na teh območjih so akacija catechu (*Acacia catechu*) in severnoindijski palisander (*Dalbergia sissoo*) (Karki, 2020). Tropski vednozeleni gozd prekriva osojna pobočja vzpetin v tropskih predelih vzhodnega Nepala. Najznačilnejša vrsta je magnolija champaca (*Michelia champaca*), ki so ji pridruženi lovorovci (*Litsea polyantha*, *L. doshia*, *Persea duthei*) in oranžni jasmin (*Murraya paniculata*) (Karki, 2020). V tropskem pasu je poznanih okoli 1500 različnih cvetočih vrst, med katerimi je okoli 30 endemičnih (Raskoti, Ale, 2012).

Subtropski pas predstavlja območja med 1000 in 2000 m nadmorske višine, ki obsegajo sredogorja ter vzhodna gorovja Mahabharat Lekh in Nizke Himalaje. Najbolj razširjeno rastlinstvo so gozdovi *Schima-Castanopsis*, borovi in jelševi gozdovi. Gozdove *Schima-Castanopsis* tvorita iglavec (*Schima wallichii*) iz družine čajevcev ter indijski kostanjevec (*Castanopsis indica*) (Wraber, 1971). Ti gozdovi preraščajo tako južna kot severna pobočja vzhodnega in srednjega Nepala. Večina naravnega gozda je bila v preteklosti izkrčenega zaradi poljedelstva (Slika 2). Nekatero pridružene vrste so engelhardia (*Engelhardtia spicata*), javor (*Acer oblongum*), magnolija (*Michelia kiso-pa*), avokadovec (*Persea odoratissima*), tropska verbena (*Litsea doshia*) in fikus (*Ficus nerrifolius*, *F. auriculate*) (Karki, 2020). V borovih gozdovih subtropskega pasu prevla-

duje čir bor (*Pinus roxburghii*). Ti gozdovi so razširjeni na severnih in južnih pobočjih v zahodnem Nepal, ki so podvržena nekoliko bolj suhemu podnebjju. Drevesno plast gozda sestavlja izključno bor, nižje plasti pa so prav tako vrstno siromašne. V vlažnih dolinah in jarkih se borovi gozdovi izmenjujejo s hrastovim gozdom (Karki, 2020). Najbolj razširjena jelša v Nepal je poznana pod imenom utis (*Alnus nepalensis*). Jelševi gozdovi so razprostranjeni v obliki manjših zaplat vzdolž rek in polj ter na nestabilnih pobočjih, ki so neugodna za poljedelstvo. Na posameznih območjih se izmenjuje s hrastovimi gozdovi in gozdovi Schima-Castanopsis vse do 2700 m nadmorske višine (Slika 3). Podrast je skromna (Karki, 2020). V tem pasu je poznanih okoli 2000 cvetočih vrst, med katerimi je preko 50 endemičnih (Raskoti, Ale, 2012).

Slika 3:

Bujno rastlinstvo s številnimi drevesnimi, grmovnimi in zeliščnimi rastlinskimi vrstami ter epifiti v subtropskem višinskem pasu. (Foto M. Blatnik, 2014)



Zmerna območja ustrezajo nadmorskim višinam med 2000 in 3000 m, to so osrednji del gorovja Mahabarat Lekh in južna pobočja Himalaje. Najznačilnejši tipi rastlinstva so nižje ležeči zmerni mešani listnati gozdovi, zmerni mešani vednozeleni gozdovi in višje ležeči zmerni mešani listnati gozdovi. Nižje ležeči zmerni mešani listnati gozdovi prekrivajo proti severu in zahodu usmerjena pobočja med 1700 in 2200 m nadmorske višine. Ti gozdovi so največkrat v obliki manjših zaplat, in sicer na vlažnih območjih sredogorij, kot so doline reke Arun in Tamur na vzhodu države ter južno od pogorja Anapurne ter Himalchulija v osrednjem Nepal. Najbolj zastopane drevesne vrste so vednozeleni lovorovci (*Persia duthiei*, *P. odoratissima*, *P. pallida*, *Neolitsea pallens*) (Karki, 2020). Zmerne mešane vednozeleno gozdove v največji meri sestavljajo hrasti (*Quercus lamellose*, *Q. glauca*, *Q. semecarpifolia*) in iglavci, razširjeni pa so na nadmorskih višinah med 2100 in 2700 m. Gozdovi hrasta so bili v preteklosti močno izkrčeni za pripravo drv in krme. Iglasti gozdovi so bolj značilni za zahodni Nepal, najbolj zastopane v njem pa so smreka morinda (*Picea smithiana*), zahodnohimalajska jelka (*Abies pindrow*), himalajska cipresa (*Cupressus torulosa*) in himalajska cedra (*Cedrus deodara*). V hrastovih in iglastih gozdovih pridružene vrste pogosto predstavljajo breza, bršljan in resovke (Karki, 2020). Višje ležeči zmerni mešani listnati gozdovi so večinoma sestavljeni iz listavcev in preraščajo proti severu in zahodu usmerjena

pobočja med 2400 in 3000 m nadmorske višine. V zahodnem Nepalju je precej zastopana združba z divjim kostanjem (*Aesculus indica*), orehom (*Juglans regia*) in javorom (*Acer caesium*), ki so jim pridruženi leska, brest, himalajski lila in himalajska murva. V osrednjem delu Nepala in na vzhodu je razširjena združba z magnolijo (*Magnolia campbellii*), javorom (*Acer campbellii*), osmantusom (*Osmanthus suavis*) in lesko (*Corylus ferox*). Tem so pridružene še jerebika, bodika, lilije, astre in različne vrste slečev, med katerimi je zaradi bujnih cvetov najbolj prepoznaven *Rhododendron arboreum* (Karki, 2020). V zmernem pasu je popisanih okoli 2000 vrst, med katerimi je okoli 115 endemičnih (Raskoti, Ale, 2012).



Slika 4:

Dolina Baruna na okoli 4200 m nadmorske višine. V ozadju so jelke (*Abies spectabilis*), ki predstavljajo zgornjo drevesno mejo. V ospredju prevladujejo visokogorski travniki in grmovna oblika sleča.

(Foto M. Blatnik, 2014)

Subalpski pas obsega osrednja območja Himalaje med 3000 in 4000 m nadmorske višine. Najbolj zastopani so gozdovi jelke ter gozdovi breze in sleča. Gozdovi vzhodnohimalajske jelke (*Abies spectabilis*) so najbolj razširjeni na nadmorski višini med 2900 in okoli 3850 m, kar predstavlja zgornjo drevesno mejo. Ta je v vzhodnem Nepalju na okoli 4000 m nadmorske višine in se spušča proti 3800 m v osrednjem Nepalju do 3650 m v zahodnem delu države. V gozdovih jelke drevesni sloj zastopa izključno vzhodnohimalajska jelka, ki zraste do okoli 30 m višine. V nižjih plasteh so prisotne različne vrste slečev (*Rhododendron barbatum*, *R. campanulatum*). Na skrajnem vzhodu ter v srednjem delu države (okoli pogorja Langtang) so jelovim in javorovim gozdovom pridruženi še macesni (*Larix griffithiana*, *L. himalaica*) (Karki, 2020). Breza (*Betula utilis*) tvori gozdove na območjih med 3300 in 3800 m nadmorske višine. Drevesa redko dosežejo višino 10 m, nižje sloje pa pogosto sestavlja sleč (*Rhododendron campanulatum*) (Slika 4). Na zahodnem delu države je breza pogosto pomešana z jelko in hrastom, v dolinah tudi z brinom in drugim grmičjem, plezalkami ter zeliščnimi vrstami. V vzhodnem delu Nepala nad brezo prevladuje sleč (*Rhododendron barbatum*, *R. cowanianum*, *R. falconeri*), ki je bolj prilagojen na izrazito namočenost (Karki, 2020). Subalpski pas v celoti pripada srednjeazijski regiji. V tem pasu je poznanih okoli 1600 rastlinskih vrst, med katerimi je okoli 180 endemičnih (Raskoti, Ale, 2012).

Slika 5:

Dve vrsti s prilagoditvami za rast v zahtevnih razmerah na visokih nadmorskih višinah: maku podoben mekonopsis (*Meconopsis* sp.) na levi in kosmatulja (*Saussurea* sp.) na desni. (Foto M. Blatnik, 2014)



Alpski in nivalni pas sta nad 4000 m nadmorske višine. Alpski pas (4000–5000 m) sestavljajo združbe z brinom, slečem, karagano in kosteničevjem ter alpski travniki. Travišča z brinom in slečem preraščajo območja med 4000 in 4300 m nadmorske višine, najznačilnejše pa so različne vrste brina (*Juniperus recurva*, *J. indica*) in pritlikave oblike sleča (*Rhododendron anthopogon*, *R. lepidotum*). Druge pridružene vrste so kosteničevje (*Lonicera myrtillus*, *L. obovata*), efedra (*Ephedra gerardiana*) in medvejka (*Spiraea arcuate*). Prisotne so tudi številne vrste, ki so se po svetu uveljavile kot dekorativne, kot so vetrnice, zvončice, petelinčki, ostrožniki, svišči, maharange, mekonopsis, jegličiči itd. (Karki, 2020). Travišča s karagano in kosteničevjem so razširjena v nekoliko bolj sušnih območjih severno od verige Dhaulagiri-Anapurna, kjer razmere že nekoliko spominjajo na Tibetansko planoto. Karagana (*Caragana versicolor*) in kosteničevje (*Lonicera spinosa*) prevladujeta na višinah med 4100 in 4800 m, pridruženi so jima še šipek, petoprstnik, myricaria, sofora in druge (Karki, 2020). Alpski travniki so lokalno poimenovani kot kharka in se v poletnih in deževnih obdobjih koristijo kot pašniki. V največji meri jih sestavljajo šašem podobne kobrezije (*Kobresia seliculmus*, *K. trivenis*), trava šopolja (*Agrostis munroana*), šaši (*Carex atrofusca*, *C. microglochin*) in zlatičevka *Caltha palustris*. Nad 4800 m vrstna sestava in pokrovnost upadeta, tako da so rastline vse bolj na redko razpršene po meliščih in kamnitih stenah. Tam so najbolj značilni jegličiči (*Primula minutissima*, *P. walshii*), oklepi (*Androsace lehmannii*, *A. tapete*, *A. muscoidea*), petoprstniki (*Potentilla biflora*) in kosmatulje (*Saussurea simponiana*, *S. tridactyle*, *S. gossypiphora*) (Slika 5; Karki, 2020). Območje nad 5000 m nadmorske višine predstavlja nivalni (snežni) pas, ki je običajno stalno prekrit s snegom in ledom. Vseeno se na skalovju najdejo nekatere rastlinske vrste, ki so prilagojene na malo hranil in nizke temperature. Nekatere vrste, kot so *Stellaria decumbens* in *Parry lanuginosa*, so bile opažene tudi na 6100 m nadmorske višine. Alpski in nivalni pas fitogeografsko pripadata srednjeazijski regiji, v teh pasovih pa je opisanih preko 1000 različnih rastlinskih vrst, med katerimi je 190 endemičnih (Raskoti, Ale, 2012).

Skupno je v Nepalju poznanih več kot 6000 cvetočih rastlinskih vrst (Press in sod., 2000), ko bodo podrobno popisana vsa območja, pa se jih pričakuje okoli 7000 (Tiwari in sod., 2019). Rastlinske vrste pripadajo preko 200 družinam in 1500 rodovom (Koba in sod., 1994). Največje družine so nebinovke (Asteraceae; 111 rodov in prek 400 vrst), trave (Poaceae; 113 rodov in okoli 350 vrst), kukavičevke (Orchidaceae; 100 rodov in prek 400 vrst) in metuljnice (Fabaceae; 90 rodov in okoli 300 vrst). Poznanih

je tudi preko 4000 necvetočih vrst, ki zajemajo alge, glive, lišaje, mahove in praprotnice (Raskoti, Ale, 2012).

V Nepalu je 312 endemičnih vrst (5 % vseh vrst), ki pripadajo 46 družinam (Tiwari in sod., 2019). Družine z največ endemičnimi vrstami so kobulnice (Apiaceae), nebinovke (Asteraceae), metuljnice (Fabaceae), kamnokrečevke (Saxifragaceae) in makovke (Papaveraceae). Delež endemičnih vrst z nadmorsko višino narašča, saj je v tropskem pasu takih vrst okoli 2 %, v alpskem in nivalnem pa skoraj 20 %. Največja številnost endemičnih vrst je v višinskem pasu med 3800 in 4200 m (Raskoti, Ale, 2012; Tiwari in sod., 2019). Najbolj poznana endemična vrsta je drevesasta oblika sleča *Rhododendron arboreum*, ki je izbrano za nacionalno drevo.

4 Značilnosti rastlinstva v dolini Baruna

Dolina Baruna leži v vzhodnem delu Nepala, natančneje v vzhodni Himalaji (Slika 1, str. 58). Je del Narodnega parka Makalu Barun, ki je z okoli 1500 km² tretji največji med 12 narodnimi parki v Nepal. Na zahodu meji na Narodni park Sagarmatha (Mount Everest), na vzhodu pa na dolino Aruna, kamor teče Barun (Shrestha, 1989; Carpenter, Zomer, 1996).

Ker se dolina Baruna razteza od približno 1100 m nadmorske višine (sotočje z reko Arun) do 8463 m nadmorske višine (vrh Makaluja), je to območje kljub svoji majhnosti reliefno in podnebno izjemno pestro (Slika 6). Gre za enega izmed najbolj namočenih predelov Nepala, ki ima zaradi tropskega vpliva monsunki padavinski režim. To pomeni, da okoli 80 % vseh padavin pade v poletnih mesecih od junija do avgusta (Chhetri, Cairns, 2015). Količina padavin z višino (do okoli 3000 m) sprva narašča, nato pa upada. Značilen je tudi učinek padavinske sence zaradi južnih vetrov, katere rezultat je majhna količina padavin severno od glavnega grebena Himalaje na planoti Tibet. Temperatura z višino enakomerno upada, tako da je meja večnega snega in ledu na okoli 6000 m nadmorske višine, v zimskem obdobju pa se meja sneženja običajno spusti do okoli 2000 m nadmorske višine. Zaradi velike pestrosti v rastiščnih pogojih je pestra tudi rastlinska sestava (Carpenter, Zomer, 1996).



Slika 6:

Pogled na zgornji del doline Baruna pri baznem taboru, v smeri rečnega toka. Na obzorju Tutse (6600 m). Na morenskem gradivu prevladuje subalpsko sušovzdržno travnato rastlinstvo.

(Foto M. Blatnik, 2014)

Tropskemu pasu (do 1000 m n. v.) pripada ozko območje vzdolž najnižjega dela doline Baruna ob sotočju z Arunom, sicer pa znotraj Narodnega parka Makalu Barun k temu pasu spada še del doline Aruna dolvodno od sotočja z Barunom, ter spodnji tok ostalih pritokov Aruna (Kasuwa, Isuwa, Apsuwa in Sankuwa). Zaradi relativno visoke geografske širine (okoli 28° s. g. š.) naj bi bilo to območje geografsko že zunaj tropskega pasu, a so tropski vplivi zaradi učinkovanja gorske pregrade Himalaje podaljšani nekoliko severneje, kot bi bili sicer. Tropski pas v dolini Baruna prejme okoli 1000–2000 mm padavin v monsunskem obdobju in le 20–40 mm v sušnem obdobju (november–marec). Pri tropskem rastlinstvu prevladuje salovec, kateremu je pridružen čir bor. Precej značilna sta še dipterokarp in *Schima wallichii*, v bližini naselij pa kot kulturne rastline mango in nangka (ang. *jackfruit*) (Carpenter, Zomer, 1996). Za subtropski pas (1000–2000 m n. v.) je značilno, da je klimatsko ugoden za poselitev, zaradi česar so gozdovi pogosto izkrčeni in preurejeni v obdelovalne površine. To je značilno tudi za območje v Narodnem parku Makalu Barun, vseeno pa je še vedno veliko nedotaknjene gozda. Tu gre običajno za območja, ki so zaradi naklona (strmi bregovi dolin) ali oddaljenosti težko dostopna, lahko pa tudi zaščiteni zaradi verskih ali katerih drugih razlogov. V dolini Baruna sta najznačilnejši vrsti *Schima wallichii* ter indijski kostanjevec (*Castanopsis indica*), ki ju spremljajo pridružene vrste, kot so albicija (*Albizzia procera*, *A. mollis*), avokadovec (*Persea odoratissima*) in *lindera sp.* (Shrestha, 1989; Carpenter, Zomer, 1996). Za območja zmernega pasu (2000–3000 m n. v.) je v topli polovici leta značilno, da ob popoldnevih nastaja oblačnost s padavinami, tako da ta območja niso več tako privlačna za poljedelstvo. Značilni so vednozeleni listnati gozdovi, ki z višino postopoma prehajajo v listopadne. Ti gozdovi po sukcesiji predstavljajo najbolj razvito stopnjo, ki se odraža z veliko lesno maso in visoko vrstno pestrostjo. Zmerni pas v dolini Baruna je mogoče razdeliti v dve podenoti: spodnji zmerni pas (najznačilnejši hrast, avokadovec, lovor in druge vednozelenne vrste) in zgornji zmerni pas (najznačilnejši javor in magnolije, pridruženi sleč, tisa in čuga). Značilni sta tudi visoka zastopanost in vrstna pestrost epifitov (Slika 3), kar je najverjetneje posledica pogoste popoldanske oblačnosti in padavin, ki epifitom predstavlja dodaten vir vode (Shrestha, 1989; Carpenter, Zomer, 1996). Za subalpski pas (3000–4000 m n. v.) v dolini Baruna je prav tako značilno, da se v toplem delu leta zrak dviguje in ohlaja, pri čemer nastajajo oblačnost in padavine. Količina padavin je tu manjša, a ker je manjše tudi izhlapevanje, je razpoložljiva količina vode še vedno izdatna. Značilni so tudi precej močni vetrovi, kar se na rastlinah odraža v obliki zastavnih krošenj (nesimetrična oblika dreves z izrazito daljšimi vejami na zavetrni strani debla). V spodnjem delu subalpskega pasu prevladujejo listavci (predvsem breza), z naraščanjem višine pa iglavci (jelka). Pridružene vrste so večinoma grmovnate, in sicer sleč, brin, šipek, češmin, vrba in manjša drevesa jerebike. Številčnost in vrstna pestrost epifitov je nižja, med njimi pa so najznačilnejši lišaji. Zgornja drevesna meja je v dolini Baruna precej jasno začrtana s 3900–4000 m nadmorske višine. Jelko tu zamenja brin (Slika 4), za katerega je značilna zelo počasna rast (60–80 let za 4 cm debeline) (Carpenter, Zomer, 1996; Chhetri, Cairns, 2015).



Slika 7:

Prepletanje grmičastega brina in visokogorskih pašnikov med jezerom Kalo Pokri in sedlom Šiptong La nad dolino Baruna. (Foto M. Blatnik, 2014)

Območja med 4000 in 5000 m nadmorske višine ustrezajo alpskemu pasu, za katerega je značilna odsotnost drevesnih vrst. Prevladujejo grmičje in visokogorska travišča (Slika 7). Vrstna pestrost je velika, saj je samo v porečju Aruna preko 450 vrst (Shrestha, 1989). V poletnem monsunskem obdobju je ta pas koriščen za pašo živine, predvsem ovc in goveda (jakov). Med grmovnimi vrstami prevladujejo različne vrste slečev, med zeliščnimi vrstami visokogorskih travnikov pa prevladuje travnato rastlinstvo: šaši, šašuljice, šopulje in bilnice. Med cvetnicami so najbolj pogoste jegličiči, petoprstniki, svišči, oklepi in druge (Shrestha, 1989). Med alpinistično odpravo leta 1972 je T. Wraber med popisom rastlinstva v zgornjem delu doline Baruna določil nekatere vzporednice z rastlinstvom v Alpah (Wraber, 1975). Nekatere izmed teh vrst so planike (*Leontopodium*), svišči (*Gentiana*) (Slika 8), jegličiči (*Primula*) kamnokreči (*Saxifraga*), kosmatulje (*Saussurea*), oklepi (*Androsace*), ostrožniki (*Delphinium*) in šaši (*Carex*). Te vrste so se lahko iz Azije proti Evropi postopoma razširile ali pa so se že pred poledenitvijo podobno razvijale na obeh območjih (Wraber, 1971, 1975).



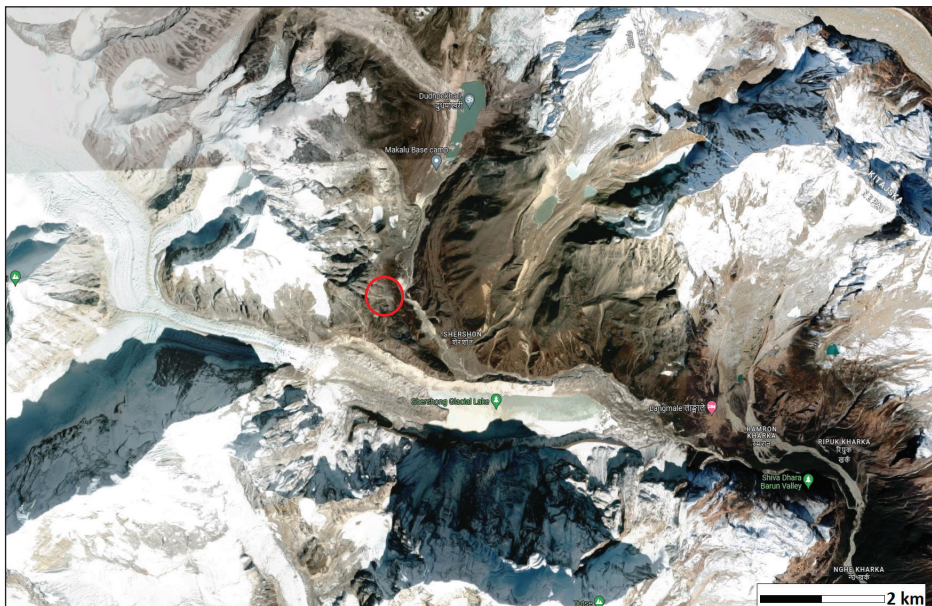
Slika 8:

Dve vrsti rastlin, ki spominjajo na tiste v Alpah in so sicer značilne za Himalajo. Levo planika (*Leontopodium monocephala*), najdena nad 5000 m nadmorske višine, desno svišč (*Gentiana ornata*). (Foto M. Blatnik, 2014)

5 Rastlinstvo na meliških v dolini Baruna

Septembra 2014 smo med alpinistično odpravo na Makalu opravili raziskovalno delo nad zgornjo drevesno mejo, in sicer smo pregledali rastlinstvo v okolici planine Šeršon na okoli 4800–4900 m nadmorske višine. Večji poudarek je bil na pregledu melišč (Sliki 9 in 10), za katere je znano, da na njih uspevajo rastlinske vrste, ki niso prilagojene samo zahtevnim vremenskim razmeram (nizke temperature, izpostavljenost vetru, kratko rastno obdobje), ampak tudi neugodnim geomorfnim pobočnim procesom (padajoče kamenje, snežni plazovi, premikanje kamnite podlage) ter posledično nizki razpoložljivi količini prsti in vode v gruščnati podlagi (Komac, Zorn, 2007; Blatnik, Repe, 2012). Ob koncu septembra je bilo že veliko rastlinskih vrst odcvetelih, a smo na dveh meliških skupne velikosti okoli 3 ha vseeno našli okoli 20 različnih rastlinskih vrst. Ker je celotno območje nad zgornjo gozdno in drevesno mejo, drevesnih vrst ni. Od grmovnih vrst smo opazili nekatere pritlikave oblike slečev (npr. *Rhododendron setosum*). Ostale vrste so zeliščne, med katerimi je bilo več vrst trav, prepoznati pa je bilo mogoče še ušivec (*Pedicularis sp.*), petoprstnik (najverjetneje *Potentilla atrosanguine* in *P. fruticosa*), kamnokreč (*Saxifraga brachypoda*), rožni koren (*Rhodiola himalensis*), bistorto (*Bistorta affinis*), bisere (*Anaphalis triplinervis var monocephala*), swertio (*Swertia cuneata*) in waldhemio (*Waldhemia tomentosa*). Večina teh rastlin je na zahtevne razmere prilagojenih z globokim koreninskim sistemom in usnjatimi listi, ki so pogosto prekriti z dlačicami, pri nekaterih vrstah tudi z bodicami. Za nekatere vrste je značilna tudi gosta blazinasta razrast. S tem rastline bolje zadržujejo majhno količino razpoložljive vode in obstanejo na nestabilni podlagi.

Slika 9: Zgornji del doline Baruna z lokacijo dveh popisanih melišč, označeno z rdečim krogom (Vir: Google Maps 2023).





Slika 10:

Eno od dveh proučevanih melišč v bližini planine Šeršon, na katerem smo popisali rastlinstvo. (Foto M. Blatnik, 2014)

6 Spremembe v rastlinstvu zaradi človeka in podnebnih sprememb

Rastlinstvo v dolini Baruna je podvrženo tudi problemom, ki jih največkrat povzročata človek in podnebje. Zaradi naraščanja temperature (okoli 2 °C/100 let) se spreminjajo rastiščne razmere, zaradi katerih se rastlinski pasovi postopoma pomikajo vse višje. Pri vzhodnohimalajski jelki (*Abies spectabilis*), ki označuje zgornjo drevesno mejo, je bil v dolini Baruna opažen okoli 22 m dvig drevesne meje v zadnjih 130 letih, kar je sicer manj kot na nekaterih drugih območjih, a še vedno zaskrbljujoče (Chhetri, Cairns, 2015; Thapa in sod., 2016). Naraščajoče temperature vplivajo tudi posredno, saj je zaradi višjih temperatur izrazitejša taljenje snega in ledenikov. Večja količina vode v talilni dobi se odraža na spremembi pretočnega režima ledeniških rek in v nastajanju novih ledeniških jezer, to pa nadalje vpliva na premeščanje sedimenta in okoliškega rastlinstva (Byers, Byers, Thapa, 2014; Byers in sod., 2018). Precejšen problem v dolini Baruna predstavlja človek, v največji meri zaradi turizma in romarstva (Byers, 1996). Zaradi oskrbovanja velikega števila popotnikov se za ogrevanje postojank prekomerno seka grmovje zelo počasi rastočega brina. Pomemben vpliv na rastlinsko sestavo ima tudi paša gorskih travnikov, ki siromaši rastlinstvo zaradi teptanja živali in paše preden nekatere rastline uspejo zacveteti (Slika 11; Byers, Byers, Thapa, 2014). Manj običajen, a ne povsem nepomemben vpliv na okolje ima tudi sezonsko intenzivno nabiranje gliv jartsa gunbu (*Ophiocordyceps sinensis*), ki v nekaj mesecih v dolino Baruna privabi več tisoč obiskovalcev, kar predstavlja negativen vpliv tako na rastlinstvo zaradi obsežnega teptanja in žaganja ob ustvarjanju novih poti, kot tudi sicer na pokrajino zaradi onesnaževanja z odpadki (Byers in sod., 2020).

Slika 11:

Primer preoblikovanja
rastlinstva zaradi
paše. V ospredju
visokogorski travniki,
v ozadju pa grmovna
oblika sleča.
(Foto M. Blatnik, 2014)



7 Sklep

Nepal je primer države z izjemno pestrostjo, še posebej z vidika reliefne energije in podnebja ter z njimi povezano geološko sestavo, prstmi in rastlinstvom. Porečje Baruna zaradi svoje višinske razlike zajame skoraj vse višinske pasove, ki jih je mogoče najti v Nepalju. Najnižje predele doline predstavlja tropski pas z bujnim rastlinstvom, zmerni pas je zaradi ugodnejšega podnebja zelo primeren za poljedelstvo, najvišji nivalni pas pa je povsem neporasel zaradi trajne prisotnosti snega in ledu. V letu 2014 smo imeli med alpinistično odpravo priložnost od bližje spoznati dolino Baruna, ki ni zanimiva samo zaradi rastlinske pestrosti, ampak tudi zaradi izjemnih geomorfoloških oblik, ki so nastale zaradi ledeniškega delovanja. Med odpravo smo podrobneje pregledali več takšnih oblik, med njimi tudi dve melišči v bližini planine Šeršon, ki kljub zahtevnim razmeram na skoraj 5000 m nadmorske višine nudijo življenjski prostor za okoli 20 rastlinskih vrst. Žal se območje doline Baruna sooča tudi s težavami, ki so v največji meri povezane s človekom. Delno preko podnebnih sprememb, ko se zaradi naraščajočih temperatur višinski pasovi premeščajo višje, delno pa tudi neposredno s sečnjo za pripravo drv in širjenja obdelovalnih površin.

Literatura in viri

- Blatnik, M., Repe, B., 2010. Vegetacijski pasovi na meliščih v slovenskih Alpah. *Dela*, 37, str. 45–63. DOI: 10.4312/dela.37.3.45-63
- Byers, A. C., 1996. Historical and Contemporary Human Disturbance in the Upper Barun Valley, Makalu-Barun National Park and Conservation Area, East Nepal. *Mountain Research and Development*, 16, 3, str. 235–247. DOI: 10.2307/3673946

- Byers, A. C., Byers, E. A., Shrestha, M., Thapa, D., Sharma, B., 2018. Impact of Yartsa Gunbu Harvesting on Alpine Ecosystems in the Barun Valley, Makalu-Barun National Park, Nepal. *HIMALAYA, the Journal of the Association for Nepal and Himalayan Studies*, 39, 2, str. 44–59. DOI: 10.2218/himalaya.2019.7850
- Byers, A. C., Byers, E. A., Thapa, D., 2014. *Conservation and Restoration of Alpine Ecosystems in the Upper Barun Valley, Makalu-Barun National Park, Nepal*. The Mountain Institute Technical Report No. 2014.11. DOI: 10.13140/2.1.1129.2967
- Byers, A. C., Rounce, D. R., Shugar, D. H., Lala, J. M., Byers, E. A., Regmi, D., 2020. A rockfall induced glacial lake outburst flood, Upper Barun Valley, Nepal, *Landslides*, 16, str. 533–549. DOI: 10.1007/s10346-018-1079-9
- Carpenter, C., Zomer, R., 1996. Forest Ecology of the Makalu-Barun National Park and Conservation Area, Nepal. *Mountain Research and Development*, 16, 2, str. 135–148. DOI: 10.2307/3674007
- Cassidy, E., 2023. *How Nepal Regenerated Its Forests*. URL: <https://translate.google.com/?sl=en&tl=sl&text=How%20Nepal%20Regenerated%20Its%20Forests%0AHow%20Nepal%20Regenerated%20Its%20Forests&op=translate> (Citirano 5. 4. 2023).
- Chhetri, P. K., Cairns, D. M., 2015. Contemporary and historic population structure of *Abies spectabilis* at treeline in Barun valley, eastern Nepal Himalaya. *Journal of Mountain Science*, 12, str. 558–570. DOI: 10.1007/s11629-015-3454-5
- Dhital, M. R., 2015. *Geology of the Nepal Himalaya - Regional Perspective of the Classic Collided Orogen*. Springer Link.
- Google Maps, 2023. *Sloj satelitskih posnetkov*. URL: <https://www.google.si/maps/@27.8268756,87.0895446,11239m/data=!3m1!1e3?hl=sl> (Citirano 5. 4. 2023).
- Govil, K., 1999. *Forest Resources in Nepal – country report*. URL: <https://www.fao.org/3/ae154e/AE154E00.htm> (Citirano 10. 1. 2023).
- Gurung, S. B., 2020. Soil Distribution in Nepal. *Nuta Journal*, 7, 1–2, str. 79–89. DOI: 10.3126/nutaj.v7i1-2.39936
- Karki, G. 2020. *Online Biology – Types of Forest in Nepal*. URL: <https://www.onlinebiologynotes.com/types-of-forest-in-nepal/> (Citirano 10. 1. 2023)
- Koba, H., Akiyama, S., Endo, Y., Ohba, H., 1994. *Name List of the Flowering Plants and Gymnosperms of Nepal*. Tokio, University Museum.
- Komac, B., Zorn, M., 2007. *Pobočni procesi in človek*. Ljubljana, Založba ZRC.
- Kunaver, J., 1976. Geografija nepalskih pokrajin. *Geografski obzornik*, 23, 1–2, str. 23–31.
- Mojzeš, A., Bielik, M., Marko, F., Madaras, J., Fekete, K., Siman, P., Papčo, J., Sigdel, A., Acharya, S., 2020. Ambient radioactivity on a reconnaissance study tour of Bratislava – Dubai – Kathmandu – Nepal Himalaya. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 50, 2, str. 201–221. DOI: 10.31577/congeo.2020.50.2.2

- Press, J. R., Shrestha, K. K., Sutton, D. A., 2000. *Annotated Checklist of the Flowering Plants of Nepal*. London, Natural History Museum.
- Raskoti, B. B., Ale, R., 2012. *A Pictorial Guide to Himalayan Flowers of Nepal*. Basantapur, Himalayan Map House.
- Shrestha, T. B., 1989. *Development Ecology of the Arun Basin in Nepal*. Kathmandu, International Centre for Integrated Mountain Development. URL: <https://lib.icimod.org/record/7555/files/Development%20Ecology%20of%20the%20arun%20river%20Basin%20in%20Nepal.pdf> (Citirano 5. 4. 2023).
- Shrestha, T. B., 2008. Classification of Nepalese Forests and Their Distribution in Protected Areas. *The Initiation*, 2, 1, str. 1–9. DOI: 10.3126/init.v2i1.2512
- Sudhakar Reddy, C., Vazeed Pasha, S., Satish K. V., Saranya, K. R. L., Jha, C. S., Krishna Murthy, Y. V. N., 2018. Quantifying nationwide land cover and historical changes in forests of Nepal (1930–2014): implications on forest fragmentation. *Biodiversity and Conservation*, 27, 1, str. 91–107. DOI: 10.1007/s10531-017-1423-8
- Thapa, G. J., Wikramanayake, E., Jnawali, S. R., Oglethorpe, J., Adhikari, R., 2016. Assessing Climate Change Impacts on forest Ecosystems for Landscape-Scale Spatial Planning in Nepal. *Current Science*, 110, 3, str. 345–352. DOI: 10.18520/cs/v110/i3/345-352
- Tiwari, A., Uprety, Y., Kumar Rana, S., 2019. Plant endemism in the Nepal Himalayas and phytogeographical implications. *Plant Diversity*, 41, 3, str. 174–182. DOI: 10.1016/j.pld.2019.04.004.
- Wraber, T., 1971. Utrinki z botanične poti na Himalajo. *Proteus*, 33, 8, str. 350–358
- Wraber, T., 1975. Nekaj rastlin z visoke Himalaje. *Proteus*, 37, 9–10, str. 467–471.

Rastlinstvo Himalaje skozi zapise prof. dr. Toneta Wraberja

Jože Bavcon, Blanka Ravnjak

I Uvod

Profesor dr. Tone Wraber je bil eden pomembnejših botanikov novejšega časa, ki je kot odlični profesor marsikaterega študenta navdušil za botaniko. Čeprav je na Biotehniški fakulteti na Oddelku za biologijo predaval sistematsko botaniko, ki se mnogim študentom zdi suhoparna, je svoja predavanja obogatil s številnimi zanimivostmi rastlinskega sveta in vanje vpletel tudi znanja drugih področij. Njegova predavanja so bila tako zanimiva, da smo si študentje nemalokrat pozabili zapisovati informacije in ga le odprtih ust poslušali.

Prof. Wraber se je rodil v Ljubljani leta 1938. Na Biotehniški fakulteti je diplomiral leta 1961 in nato leta 1972 doktoriral v Trstu. Svoje znanje je izpopolnjeval na Mednarodni postaji za sredozemsko in alpsko geobotaniko v Montpellieru v Franciji ter na botaničnem inštitutu v Trstu. Še pred opravljanjem profesorskega poklica na Biotehniški fakulteti je služboval kot kustos v Prirodoslovnem muzeju Slovenije. Redni profesor za sistematsko botaniko in fitocenologijo je postal leta 1990 (Praprotnik, Seliškar, 2001). K raziskovanju sta ga pritegnila predvsem alpska in balkanska flora, vedno pa je izkoristil tudi priložnost za preučevanje še kakšnih bolj oddaljenih koticov. Zato ne preseneča dejstvo, da je bil član himalajskih odprav.

Prof. dr. Tone Wraber se je večkrat odpravil na Himalajo. Bil je član tretje in četrte jugoslovanske himalajske odprave. Tretja odprava v Himalajo je bila leta 1969 in je imela za cilj doseči Kangbačen, česar nepalske oblasti niso dovolile. Dobili pa so dovoljenje za vzpon na Anapurno II. Pod vodstvom Aleša Kunaverja jim je uspel drugi pristop na 7937 m visoko Anapurno II, ki sta ga opravila prof. dr. Kazimir Drašler in Matija Maležič, ter tretji pristop na 7540 m visoko Anapurno IV, na katero so se povzpeli Jože Andlovič, Lojze Golob in Aleš Kunaver. Oba vrhova so dosegli v klasični tehniki. Kot že omenjeno, se je te odprave udeležil tudi prof. dr. Tone Wraber in poleg njega še en botanik, prof. dr. Andrej Martinčič (Ogrin, 2019). Četrta odprava leta 1972 si je za cilj izbrala prvenstveno smer v južni steni 8485 metrov visokega Makaluja. Vrha ji sicer ni uspelo osvojiti, so pa prvič presegle višino 8000 metrov (Grošelj, 2020). Wraber je prvi dve odpravi popisal v dnevnikih, zapise pa je objavil tudi v reviji *Proteus* (od 33 do 36 letnika). V reviji je objavil kar nekaj člankov o Himalaji (Wraber, 1971a, 1971b, 1971c, 1971d, 1971 e, 1972, 1973, 1975). Ti prispevki so posebej vezani v dva zvezka o Himalaji in shranjeni v njegovi knjižni zbirki, ki jo hrani Botanični vrt Univerze v Ljubljani. Poleg tega so shranjene še tri rokopisne beležnice iz tega obdobja. V celoti so shranjeni še izrezki člankov,

objavljenih v Delovi Tedenski tribuni, ki jih je napisal novinar Zoran Jerin, prav tako udeleženec odprave na Anapurno leta 1969. Poleg knjižnega gradiva o Himalaji, ki obsega 102 knjigi, je v knjižni zbirki shranjena še obsežna diateka s 150 diapozitivi z odprave leta 1969, okrog 600 diapozitivi z odprave 1972 in okrog 560 diapozitivi z odprave iz leta 1995. Vendar se z obema odpravama Wraberjevi obiski Himalaje še zdaleč niso zaključili. Leta 1980 je obiskal Nepal in Cejlon (danes Šrilanka) in svoje popotovanje podrobneje popisal v samostojnem zvezku. Leta 1995 se je pridružil ekscurziji v Nepal, ki so jo organizirali študentje, in na njej tudi aktivno botanično sodeloval.

2 Geografska predstavitev območja odprav v dolini Baruna

Narodni park Makalu Barun je bil kot zavarovano območje opredeljen leta 1992 (Slika 1, str. 58). Obsega površino 1500 km² (Pande, Samant, 2001; Rajbhandari, 1994), kar je skoraj desetkrat več kot površina Ljubljanskega barja (163 km²). Dolina Baruna, ki jo je izdolbla istoimenska reka, je del velikega mednarodnega zaščitenege območja, ki je bilo določeno skladno s sporazumom med Nepalom in Kitajsko. Ponaša se z visokimi slapovi, padajočimi v globoke soteske, dvigajočimi se skalami, ki se pnejo nad bujnimi zelenimi gozdovi, in s pisanim rastlinstvom pod belimi snežnimi vrhovi. Mnogi trdijo, da tega območja pri svojem raziskovanju nihče ne bi smel zamuditi. Dolina Baruna leži na vznožju Makaluja v okrožju Sankhuwasabha. Makalu izhaja iz sanskrske besede Maha Kala, ki je ime hindujskega boga Šive. Ta edinstvena pokrajina skriva nekaj zadnjih neokrnjenih gorskih ekosistemov na Zemlji (Pande, Samant, 2001; Rajbhandari, 1994). Redke vrste živali in rastlin uspevajo v raznolikih podnebnih in habitatih (Byers, 2014, Government of Nepal ..., 2022). Območje Makalu-Barun se nahaja v vzhodno himalajskem podnebjju, kjer se monsun začne zgodaj (junija) in traja do konca septembra, dlje kot v zahodnem Nepal. Podnebje na splošno opisujemo kot monsunsko, kjer več kot 70 % padavin pade med junijem in septembrom. Predmonsunsko deževje je običajno v mesecu aprilu in maju, kar pomembno vpliva na oblikovanje biomov. Zaradi velikih razlik v nadmorski višini in naklonu je značilna velika prostorska spremenljivost temperature in padavin (Bajracharya in sod., 2007; Government of Nepal ... 2022). Območje je znano po izjemni raznolikosti rastlin in živali. Tam naj bi raslo več kot 3000 vrst cvetnic, vključno s 25 vrstami slečev (*Rhododendron*), 47 vrstami kukavičevk (*Orchidaceae*) in 56 vrstami redkih oz. ogroženih rastlin. Zabeleženih je bilo 440 vrst ptic in 75 vrst sesalcev, vključno z ogroženim snežnim leopardom (*Panthera uncia*), rdečo pando (*Ailurus fulgens*) in mošusnim jelenom (*Moschus chrysogaster*). Ta izjemna biotska raznovrstnost velja za svetovno pomembno in zagotavlja živi laboratorij za mednarodne znanstvene raziskave (Byers, 2014, Government of Nepal ..., 2022). Prav zaradi tega je tudi velik del raziskav potekal tukaj.

3 Pregled literature o Himalaji v zapuščini prof. Wraberja

Splošen vtis pri pregledu zapiskov prof. Wraberja je, da so ti ob prvem obisku Himalaje sicer kar zajetni, vendar so v njih rastline, ki jih je na svoji poti videl, manj natančno določene, velikokrat le do rodu ali družine. V zvezku z naslovom *Iter nepalense 1972 Observationes botanicae* so vse rastline skrbno zabeležene in oštevilčene, saj so bile nabrane tudi za herbarij, ki obsega 500 primerkov (Slika 1). To je precej več, kot so nabrali nekateri drugi raziskovalci tistega časa (Alston, Bonner, 1956; Murata, 1967; Synge, 1975). Razlog številnih nepopolnih določitev je gotovo popolna različnost nepalske flore s floro, ki jo je prof. Wraber tedaj poznal, nedostopnost določevalne literature, pa tudi časovni okvir odprave, ki je potekala jeseni, ko v višjih nadmorskih višinah cveti le še malo rastlin. To, vključno z dejstvom, da je bilo območje tedaj že marsikje prekrito s snegom, v svojih zapiskih sam tudi večkrat omeni.

Slika 1:

Prof. dr. Wraber pri vlaganju rastlin v herbarijske pole
(Foto arhiv J. Kunaver)



V splošnih dnevniških zapisih (*Iter nepalense 1972 Diarium*) je Tone Wraber veliko napisal o nabiranju rastlin ter sušenju herbariziranih primerkov. Velikokrat podrobneje opisuje potek dneva kot pa posamezne rastlinske vrste. Beležka, ki vsebuje zapise o rastlinah, se povsem spremeni, ko pot odpravo pripelje v višje predele. Tam se je rastlinstvo spremenilo, postalo je bolj podobno alpskemu. Glede na to, da so te rastline pogosteje zapisane z vrstnim imenom, je videti, da je to floro bolje poznal že od prej, saj so številni rodovi v Himalaji enaki tistim v Alpah ali na Balkanu, s tropsko in subtropsko floro nižjih predelov pa se je do takrat bolj ali manj prvič srečal. Knjige, ki bi jih lahko uporabil za določevanje rastlin, so bile slabo dosegljive, drage in pretežke, da bi jih lahko nosil s seboj. O uporabi kakršnihkoli določevalnih ključev v svojih zapiskih ne poroča.

Dnevnik in popis rastlinskih vrst, nabranih za herbarij, je pisal tudi med odpravo na Anapurno leta 1969, na trekingu pod Anapurno do baznega taborišča, v Dobang, Pokhara leta 1980 in na trekingu Manang Pokhara leta 1995. Enako bogati kot pri odpravi na Makalu so bili tudi rastlinski nabirki, saj je pri pohodu na Anapurno zbral kar 658 rastlin, 340 leta 1980 in pri zadnji odpravi v Nepal (1995) 184 rastlin (Slike 2–9). Kot že omenjeno, je s knjigami o Himalaji bogato založena njegova osebna knjižnica – 102 knjigi (danes v oskrbi Botaničnega vrta Univerze v Ljubljani). Prva knjiga, ki jo je očitno pridobil za svojo zbirko, je iz leta 1974 (Malla in sod., 1973). Vse ostale knjige iz njegove knjižnice so kasnejšega izvora ne glede na letnico izdaje. V vsaki knjigi ima namreč zabeleženo letnico njenega nakupa. Vsebinsko teh knjig predstavljajo predvsem splošne informacije o Himalaji kot npr. o geografiji, prebivalstvu, drugih odpravah ipd. Medtem ko le manjši del knjig opisuje rastlinstvo Himalaje, pa je v njegovi zapuščini obsežno število znanstvenih člankov, ki obravnavajo floro Himalaje. Nekaj med njimi je tudi poljudnih. Poleg knjig v njegovi osebni knjižnici, ki se nahaja v Botaničnem vrtu Univerze v Ljubljani, pa se v herbariju Odelka za biologijo Univerze v Ljubljani nahaja še 29 knjig o Nepal (Bačič, 2023).



Slika 2:

Aconitum balfourii
(Foto arhiv T. Wraber)

4 Wraberjevi zapisi o Himalaji v *Proteusu*

Wraber o svojih botaničnih odpravah na Himalajo ni objavil nobene knjige ali znanstvenega članka, čeprav je v njegovih potopisnih rokopisih dovolj materiala. Kar nekaj poljudnih člankov pa je objavil v reviji *Proteus*. Njegovi prvi trije članki v *Proteusu* (Wraber, 1971a, 1971b, 1971c) predstavljajo le splošne sestavke o Himalaji, šele v četrtem članku z naslovom »Utrinki z Botanične poti po Himalaji« (Wraber 1971d) pa se posveti tudi botaniki.

V *Proteusu* se zapis o rastlinstvu Himalaje začena z navedbo, da se je v Herbariju Oddelka za biologijo Univerze v Ljubljani oglasil dunajski botanik, ki se je ukvarjal s skrki (*Picris*) in še posebej so ga zanimali prav Wraberjevi primerki, nabrani v Manangu (Wraber, 1971d). Ob tem omeni, da je primerke zbral kot udeleženec tretje jugoslovanske himalajske odprave leta 1969. V kratkem opisu zgodovine raziskovanj himalajske flore zapiše, da je ob njegovem obisku Himalaje število vrst preseгло 2000, a njena celotna flora je bila tedaj slabo raziskana. Ob primerjavi števila takrat znanih vrst in števila vrst (500) v Wraberjevem herbariju z Makaluja, njegova zbirka predstavlja četrtno takrat znanih vrst. S tega vidika pa zagotovo ne gre več za samo skromno zbirko, ampak za kar že znaten prispevek. Nepalski herbarij z vseh štirih obiskov Nepala v herbariju Oddelka za biologijo Univerze v Ljubljani po oceni (Bačič, 2023) vsebuje preko 2000 pol – kar 32 kupov po 60 in več pol v kupu. To je res zajetna zbirka, ki bi si zaslužila obdelavo. Poleg višjih rastlin pa je Wraber na odpravi leta 1969 nabiral tudi alge in kačje pastirje. Alge je predal prof. Jožetu Lazarju, a so očitno ostale neobdelane (Wraber, 2005), kačje pastirje pa je obdelal prof. dr. Boštjan Kiauta (1972).

V članku Wraber (1971d) še navaja, da vse zbrano gradivo o nepalski flori pripravljajo botaniki Britanskega muzeja in za himalajsko zbirko iz Herbarija Oddelka za biologijo Univerze v Ljubljani naj bi se zanimali tudi v Britanskem muzeju (Barclay, 1993). Ali je kdaj prišlo do kakršnekoli izmenjave, iz njegovih bibliografskih zapisov žal nismo uspeli ugotoviti. Je pa v kasnejši korespondenci (Wraber, 2005) zapisano, da naj bi bili vsi dvojniki herbarijskih pol shranjeni tudi v Naravoslovnem oddelku Britanskega muzeja v Londonu. V tem zapisu še doda, da so jih v svojih raziskavah upoštevali že številni tuji botaniki. V svojih objavljenih člankih tega podatka ne navaja, le v opombi v članku v *Proteusu* (Wraber, 1971d) je navedena zahvala Dr. L. H. J. Williamsu iz Britanskega muzeja za določitev nekaterih rastlin. Del omenjenega članka posveti tudi opisu podnebnih značilnosti. Zapiše, da imajo južna pobočja himalajskega grebena zaradi vpliva monsuna iz Indijskega ocena bolj vlažno podnebje, medtem ko so severna pobočja odprta proti celinskemu Tibetu bolj suha. Tukaj poteka tudi meja med dvema flornima območjema, holoarktisom in paleotropisom. Botaniku, ki je navajen holoarktične flore, je ta svet na južnem delu povsem tuj (Wraber, 1971d), kar se vidi tudi pri njegovih zapisih rastlin. Velikokrat so določene le do rodu ali družine. Pri nekaterih je zapisana celo samo številka nabirka brez rastlinskega imena.



Slika 3:

*Meconopsis
racemosa*
(Foto arhiv T. Wraber)

V nadaljevanju članka se posveti podrobnejšemu opisu flore v povezavi s posameznimi deli poti, ki so jo opravili udeleženci odprave leta 1972. Za doline do 1000 m višine navaja gozdove salovca (*Schorea robusta*) iz družine Dipterocarpaceae. Vrsta naj bi bila tipična za tropske predele starega sveta. V podrasti je prepoznal sorodnika pojalkov (*Orobanche*), vrsto *Aeginetia indica* (Orobanchaceae). Prav tako kot pri pojalknih gre za zajedalsko rastlino brez klorofila. Opisuje dve obliki, in sicer z blede rumenkastim in s temno vijoličnim cvetom na vrhu poganjkov. V toplih rečnih soteskah je videl vilasto razraslo drevo *Pandanus furcatus* (Pandanaceae), ob rekah pa je bila pogosta ovijalka *Argyreia hookeri* iz družine slakovk (Convolvulaceae). Ta je svoj vrstni pridevek dobila po znamenitem britanskem raziskovalcu Himalaje Hookerju, ki je leta 1848 obiskal vzhodni Nepal (Desmond, 1999).

Na višini, kjer so prenehali gozdovi, bogati s salovcem, se je začel pogosteje pojavljati indijski kostanjevec (*Castanopsis indica* (Fagaceae)), ki ga je Wraber po podobnosti primerjal z našim domačim kostanjem (*Castanea sativa*). Omeni pomembno razliko, da pri indijskem kostanjevcu istočasno lahko opazujemo tako cvetoča kot plodeča drevesa, kar je značilno za trope, ki nimajo letnih časov. Med prehajanjem iz nižjih v višje predele je opazil, da je do višine 1500 m glavna kulturna rastlina riž (*Oryza sativa*). Za svoje uspevanje potrebuje vodo, zato so pobočja urejena v terase. Ob ri-

ževih poljih se kot plevelna vrsta pojavlja mimoza (*Mimosa pudica* (Fagaceae)), doma iz Amerike. Z današnjega stališča bi lahko zanjo rekli, da gre za invazivno rastlinsko vrsto, a takrat o tem še niso razpravljali. Za to območje poleg riža med kulturnimi vrstami navaja še sojo (*Glycine max*), ki takrat pri nas še ni bila množično prisotna, in neko vrsto prosa (*Eleusine coracana*). Do 2600 m n. v. so med kulturnimi rastlinami na območju smrekovih gozdov uspevale še koroza, ječmen in ajda. Ob vaseh so bili pogosti citrusi, predvsem mandarinovec (*Citrus reticulata*), in bananovci (*Musa paradisiaca*). V vrtovih so domačini gojili ricinus (*Ricinus communis*), ki sicer izhaja iz Afrike, in papriko, predvsem pekočo. Poleg tujerodne mimoze zabeleži še tujerodne vrste mlečkov, kot so *Euphorbia milii* in *E. splendens* ter kot najimunitnejšega med njimi *Euphorbia pulcherrima* (Euphorbiaceae), danes poznanega kot božična zvezda. Ob tem doda, da se slednja vrsta zadnja leta pri nas pojavlja tudi kot lončnica. Prav ta podatek je tudi zgodovinsko pomemben, saj lahko na njegovi osnovi sklepamo, kdaj so se posamezne vrste kot okrasne rastline začele pogosteje pojavljati tudi pri nas in da pojem invazivnosti v tistih časih še ni bil tako intenzivno miselno prisoten. Še nekoliko više na nadmorski višini 1600 m mu je pozornost vzbudila epifitska rastlina *Aeschynanthus parviflorus* iz tropske družine Gesneriaceae. Raste na drevesih in ima do 20 cm dolge poganjke z debelimi mesnatimi listi.

Slika 4:

*Delphinium
cashmerianum*
(Foto arhiv T. Wraber)



Na višinah okrog 2500 m, v dolini Marsiandija, opisuje zimzelene hrastove gozdove, listopadne javorje in razna lovorolistna drevesa. Za višje lege pa že navaja smrekove gozdove z vrsto *Picea smithiana* (Pinaceae), kateri je primešana čuga (*Tsuga dumosa* (Pinaceae)). Poleg njiju omeni še Wallichijevo tiso (*Taxus wallichiana* (Taxaceae)), ki je zelo podobna naši tisi. Hooker jo je imel kar za vrsto *T. baccata*, rastočo pri nas. Rod *Taxus* je z vidika določevanja posameznih vrst precej težaven. Nekateri posamezne vrste v tem rodu smatrajo le kot podvrste, saj so podobnosti med vrstami zares velike (Johnson, 1993; Spjut, 2007). Med smrekami, opaženimi na svoji poti, Wraber omenja dokaj pogost himalajski bor (*Pinus griffithii* ali *P. wallichiana*), ki potem prevladuje nad višino 3000 m. V zapisu iz leta 1974 (Wraber, 1974d) navaja, da je izredno pogost na severni strani Anapurne. Ustreza mu namreč suho podnebje, pobočja na južni strani pa so bolj namočena in ga zato tam ni. Ob tem poda še najbližje sorodstvene vezi s petigličnimi bori, kjer kot najbližjega sorodnika navaja balkansko vrsto moliko (*P. peuce*), kar pa kasneje z analizami DNA zaporedij ni bilo potrjeno (Gernandt in sod., 2005). Ekološke razlike med severno stranjo Anapurne in južno stranjo Makaluja (torej iz tretje in četrte odprave) zelo dobro popiše prav z že prej omenjenim borom. Dodaja še primerjave s tiso (*T. wallichiana*), ki je na severni strani Anapurne pogosta, pod Makalujem pa zelo redka. Medtem ko so pod Makalujem (celo do višine 4000 m) zelo pogosti tudi sleči, jih je na severni strani Anapurne bolj malo. Gre za prave gozdove. Vrsta *Rhododendron setosum* pokriva obsežna pobočja od 4500 do 5000 m, še doda v omejeni primerjavi. V dolini Marsiandija pa raste mogočna drevesasta vrsta *Rhododendron arboreum*, ki v Evropi kot okrasna vrsta dobro uspeva v atlantskem podnebjju, predvsem v Veliki Britaniji (Wraber, 1974d).

Ob omembi presvetljenih borovih gozdov te primerja z našimi svetlimi borovimi gozdovi, pri čemer navaja tudi bogato podrast s češminom (*Berberis*), šipki (*Rosa*) in navadnim brinom (*Juniperus communis*). Wallichiev brin (*J. wallichina*) pa je tam že skoraj drevo. Pozornost je namenil še grmičastemu petoprstniku (*Potentilla fruticosa*), ki je tam divje rastoča rastlina, pri nas pa je poznana kot parkovna (Wraber, 1974d). Rastoča pod borovci ga je presenetila planika. Vendar to seveda ni pri nas rastoča vrsta *Leontopodium alpinum*, ampak vrsta *Leontopodium stracheyi*, ki raste na višini med 4000 in 5000 m.



Slika 5:

Prof. dr. Wraber med
planikami
(Foto arhiv J. Kunaver)

Za dolino Sabče na severni strani Anapurnskega masiva je nad pasom bora prisotna vrsta *Betula utilis*, ki tvori zgornjo gozdno mejo na višini 4000 m. V podrasti je opazil vpliv stepsko puščavskega tibetanskega in srednjeazijskega rastlinstva, ki ga predstavlja trnata karagana (*Caragana gerardiana*). Gozdno mejo zaključujejo nizki sleči, vendar vegetacija hitro prehaja v nizka visokogorska travišča. Prekinjajo jih gruščnata mesta, ki z višino postajajo vse pogostejša. Nad gozdno mejo v Himalaji je Wraber opazil razliko z Alpami, saj tukaj ni izrazite ločnice med vegetacijo skalnih razpok in melišči, ampak rastline rastejo raztreseno med skrilastim gruščem. Navaja pa, da ima ta vegetacija mnogo skupnega z rastlinstvom v Alpah, saj so tudi tukaj predstavniki šašev (*Carex*), ločkov (*Juncus*), kamnokrečev (*Saxifraga*), sviščev (*Gentiana*), gladnic (*Draba*), oklepov (*Androsace*), planik (*Leontopodium*) in kosmatulj (*Saussurea*). Za slednje je zapisal, da so v Himalaji zelo bogato dlakave in tako so, po njegovih besedah, nastale 'nenavadne rastlinske prikazni'. Med rastlinskimi vrstami nad gozdno mejo omenja še Tilmanov svišč (*Gentiana ornata*) in sviščevko (*Lomatogonium lloydoides*), katere rod v Sloveniji ni prisoten, pač pa raste v Centralnih Alpah. Rastlinski vrsti *Swertia barunensis* (na 4200 m) in *Potentilla makaluensis* (na 4000 m), katerih nomenklatura je povezana z imenom reke Barun in goro Makalu, pa najdemo samo na tem območju. Kot pravo presenečenje navaja drobno orhidejo *Goodyera repens*, ki sicer raste tudi v Sloveniji, vendar ne na takšni nadmorski višini. Še posebej je bil navdušen nad rodom kosmatulj (*Saussurea*), od katerih nekatere predstavnice rastejo na največjih višinah. Vrsta *S. tridactyla* lahko raste namreč na višini 6038 m v vzhodnem Turkestanu (Wraber 1971d). Na severni strani Anapurne pa je Wraber našel tri vrste na višini nad 5000 m. Še višje, na višini 5400 m, pa je opazil vrsto oklepa (*Androsace*), ki pa ga žal ni uspel določiti.

Slika 6:

Gentiana sp.
(Foto arhiv T. Wraber)



5 Ovrednotenje Wraberjevih zapisov

Glede na to, da prof. Wraber samostojnega dela o flori Himalaje s svojih odprav ni objavil, so njegovi zapisi v *Proteusu* in *Planinskem vestniku* pravi zaklad (Wraber, 1972a, 1972b, 1972c, 1972d, 1974a). Je pa leta 1974 oddal poročilo za raziskovalno skupnost Slovenije, ki obsega 60 strani tipkopisa (Wraber, 1974b). Nekaterih tipičnih vrst za Himalajo v tem zapisu ne omenja, čeprav jih ima navedene v svojih zapiskih. Mednje spada npr. rod *Meconopsis*, imenovan tudi himalajski mak. V vrtovih z atlantskim podnebjem je zelo pogost, nekoliko slabše pa uspeva v našem podnebjem. Je le ena izmed rastlinskih vrst, ki jo drugi raziskovalci himalajske flore zaradi njene lepote zelo pogosto omenjajo (Synge, 1975). Pogoste v Himalaji so tudi vrste iz družine vresnic (*Ericaceae*). Značilni so predvsem rodovi, kot so *Enkianthus*, *Gaultheria* in *Arisema* (Bonner, 1952). Te omenja v svojih zapiskih, ni pa jih zapisal v svojem članku. Kljub temu, da so za prof. Wraberjem ostali njegovi dnevnik in popisi videnih rastlin, lahko seveda le avtor in raziskovalec sam oriše florne in ekološke značilnosti nekega okolja, saj jih je videl in doživel. Njegova objava v *Proteusu* (Wraber, 1971d) predstavlja le del utripa s sprehoda od tropskih do visokogorskih predelov.



Slika 7:

Anaphalis royleana
(Foto arhiv T. Wraber)

Iz njegove bibliografije (Bačič, Jogan, 2009) ni razvidno, da bi se tej flori posvetil še v kakšnem obsežnejšem članku. Kljub temu pa o njegovih potovanjih v Himalajo ostaja tudi nekaj temeljitih zapisov v *Proteusu* o drugih, nebotaničnih področjih, na primer o običajih, domačinih in splošnem orisu Himalaje. V Wraberjevi knjižnici, ki jo hrani Botanični vrt Univerze v Ljubljani in je donacija njegove družine, so vsi njegovi članki vezani v separarno knjigo. Iz njegovih rokopisnih priprav, najdenih v njegovi zapuščini, je prav tako razvidno, da je imel različna predavanja o rastlinstvu Himalaje tako na fakulteti kot drugod. Zanimivosti o rastlinah Himalaje je vključeval tudi v predavanja za študente, kar je pomenilo, da so bile tudi del izpitnih vprašanj. Velikokrat se je navezal na ekološke primerjave rastlin Himalaje s tistimi, ki rastejo pri nas. Kajti mnoge

himalajske vrste, kljub naravni razširjenosti v visokogorju, pri nas ne prezimijo. Manjka jim namreč snežna odeja, ki jih ščiti pred zmrzaljo. O flori Himalaje je predaval tudi na različnih simpozijih, med drugim v Zagrebu za Društvo ekologov Jugoslavije. O rastlinstvu Himalaje in odpravah je predaval tudi po letu 2000, npr. v predavanju z naslovom *S Kaple na Himalajo in nazaj*, kjer je predstavil himalajski odpravi leta 1969 in 1972. Takih predavanj je bilo več, vendar niso zabeležena v bibliografskih virih. Za omenjeno predavanje smo našli njegov rokopis, v katerem je zabeležil, katere diapozitive je pri tem uporabil.

Slika 8:

Waldheimia glabra
(Foto arhiv T. Wraber)



6 Sklep

Kot botaniku s srcem in dušo so Wraberju odprave v Himalajo prinesle odlično priložnost za vpogled v do takrat za marsikaterega raziskovalca še nepoznano floro. Njegova udeležba na odpravah v Himalaji je prinesla znanje in vedenje o nepalski flori tako najširši javnosti Slovenije kot strokovni javnosti. Na osnovi svojih potovanj v Himalajo je Tone Wraber zbral ogromno gradiva, obdelal veliko podatkov in svoje pridobljeno ter izkustveno znanje delil tako strokovni kot širši javnosti. Škoda je, da zbranega gradiva ni natančneje predstavil tudi v kakšnem znanstvenem članku in tako prispeval k poznavanju nepalske flore še v mednarodnem okolju. A vsaj slovenski javnosti je Nepal zelo slikovito predstavil. Svoje znanje je zelo doživeto in s celostnim pogledom na svet predal tudi številnim generacijam študentov, ki so tako dobili vpogled v floro Himalaje in svoje vedenje prenašali naprej. Avtorja sva si kot študenta, eden v začetku njegove profesorske kariere in drugi v zadnjem letu njegovih predavanj, dobro zapomnila predstavitev nepalske flore in ekologije teh rastlin. Poleg vseh njegovih rokopisov in slikovnega materiala ostaja z njegovih odprav tudi herbarijski material. Na voljo je za izmenjavo med inštitucijami in na vpogled različnim raziskovalcem. Raziskovalcem vir informacij o flori Himalaje

predstavljajo tudi njegovi rokopisi. Hranimo jih v njegovi knjižnici, ki se nahaja v Botaničnem vrtu Univerze v Ljubljani. Poleg vrst, ki jih je prof. Wraber zabeležil na svoji poti, so zanimive tudi obrobne informacije ali opombe, ki podajajo pomembne informacije o zelo bogati himalajski flori. Zagotovo bodo tudi v prihodnje še vedno bogat vir za raziskovanje.



Slika 9:

Primula capitata
(Foto arhiv T. Wraber)

Literatura in viri

- Alston, A. H. G., Bonner, C. E. B., 1956. Resultats des Expeditions scientifiques Genevoises au Nepal en 1952 et 1954 (Partie Botanique) 5. Pteridophyta. Candollea, 15, str. 193–220.
- Barclay, C., 1993. Plant collecting in the Annapurna Himal. Alpine Garden Society Bulletin, 41.
- Bačič, M., 2023. Elektronsko pismo na temo Wraberjeve osebne knjižnice (osebni vir, 6. 4. 2023), Ljubljana.

- Bačič, M, Jogan, J., 2009. Bibliografija dr. Toneta Wraberja (ob njegovi 70-letnici). *Hladnikia* (Ljubljana), 23, str. 3–52.
- Bajracharya, S. R., Mool, P. K., Shrestha, B., 2007. Impact of Climate Change on Himalayan Glaciers and Glacial Lakes: Case Studies on GLOF and Associated Hazards in Nepal and Bhutan. Kathmandu: International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD).
- Byers, A., 2014. Contemporary Human Impacts on Subalpine and Alpine Ecosystems of the Hinku Valley, Makalu-Barun National Park and Buffer Zone, Nepal. *Himalaya, the Journal of the Association for Nepal and Himalayan Studies*, 33, 1-2, str. 25–41.
- Bonner, C. E. B., 1959. Resultats des Expeditions scientifiques Genevoises au Nepal en 1952 et 1954 (Partie Botanique): 15. Ericaceae. *Candollea*, 17, str. 61–67.
- Desmond, R. 1999. Sir Joseph Dalton Hooker traveller and plant collector. London: Antique Collectors Club with The Royal Botanic Gardens Kew.
- Gernandt, D. S, López, G. G., García, S.O., Liston, A., 2005. Phylogeny and Classification of *Pinus*. *Taxon*, 54, 1, str. 29–42. DOI: [dx.doi.org/10.2307/25065300](https://doi.org/10.2307/25065300).
- Government of Nepal, Ministry of Forestry and Environment, Department of National Parks and Wildlife Conservation. Makalu National Park. URL: <https://dn-pwc.gov.np/en/conservation-area-detail/75/> (citirano 13. 10. 2022)
- Grošelj, V., 2020. Slovenci v Himalaji. National Geographic Slovenija. URL: <https://www.nationalgeographic.si/slovenci-v-himalaji/> (citirano 10. 10. 2022)
- Johnson H., 1993. The international book of Trees. London: Mitchell Beazley. str. 108–109.
- Kiauta, B., 1972. Scientific results of the Yugoslav 1969 Haimalaya expedition: Odonata. *Biološki vestnik*, 20, 1, str. 109–119.
- Malla, S. B., Shrestha, A. B., Rajbhandari, S. B., Shrestha, T. B., Adhikari, P. M., Adhikari, S. R., 1973. Flora of Nagarjun. Katmandu: His Majesty's Govi of Nepal Ministry of Forest, Department of Medicinal Plants Thapathali.
- Murata, G., 1967. List of Sympetalae (Exclude Compositae and Labiatae) Collected by M. Numata and K. Yoda, the Chiba University Rolwaling Himal Expedition 1963. *Journal of the college of arts and Science*, 5, 1, str. 87–92.
- Ogrin, M., 2019. Slovensko oranje himalajske ledine: obletnica odprav na Kangbačen in Anapurno. URL: <https://www.pzs.si/natisni.php?pid=13918&zbirka=novice&url=https://www.pzs.si/novice.php?pid=13918> (citirano 10. 10. 2022)
- Pande, P.,C., Samant, S., S., 2001. Plant Diversity of the Himalaya. Nainital: Gyandaya Prakashan.
- Praprotnik, N., Seliškar, A., 2001. Enciklopedija Slovenije. Ljubljana, Mladinska knjiga
- Rajbhandari, R., K., 1994. A Bibliography of the Plant Science od Nepal. Kathmandu Nepal: R. L. Raybhandari.

- Synge, P., 1975. A mountain walk in Nepal. *The Garden*, 8, str. 357–364.
- Spjut, R.W., 2007. Taxonomy and nomenclature of *Taxus* (Taxaceae). *Journal of the Botanical Research*, 1, str. 203–289.
- Wraber, T., 1971a. Pojdimos na Himalajo. *Proteus*, 33, 5, str. 210–216.
- Wraber, T., 1971b. Ljudje pod vrhovi Himalaje. *Proteus*, 33, 6, str. 256–261.
- Wraber, T., 1971c. Pot na himalajski vrh. *Proteus*, 33, 7, str. 294–301.
- Wraber, T., 1971d. Utrinki z botanične poti na Himalajo. *Proteus*, 33, 8, str. 350–358.
- Wraber, T., 1971e. Na obisku v Manangu. *Proteus*, 33, 9/10, str. 430–437.
- Wraber, T., 1972. Četrta jugoslovanska himalajska odprava : bazno taborišče na Makaluju, okrog 4800 m, 7. septembra 1972. *Proteus*, 35, 6, str. 131–133.
- Wraber, T., 1973. Makalu, cilj 4. jugoslovanske himalajske odprave. *Proteus*, 35, 6, str. 249–253.
- Wraber, T., 1974a. Botanične raziskave v Nepalu. (Botanik na IV. JAHO). *Planinski vestnik* 74, str. 195–198.
- Wraber, T., 1974 b. Prispevek k poznavanju flore osrednjega in vzhodnega Nepala (Poročilo o florističnih rezultatih sodelovanja na jugoslovanskih himalajskih odpravah v letih 1969 in 1972). *Za Raziskovalno skupnost Slovenije*, 60 str.
- Wraber, T., 1975. Nekaj rastlin z visoke Himalaje. *Proteus* 35, 9/10, str. 467–471.
- Wraber, T., 2005. Elektronsko pismo Dušici Kunaver na temo zbranih alg (osebni vir, 2005). Ljubljana.

Zoološke raziskave v dolini Baruna pod Makalujem

Janez Gregori

I Uvod

Himalaja je bila izziv za jugoslovanske vrhunske alpiniste. Po drugi strani pa je bila, zlasti zaradi svojega biogeografskega položaja in ekstremnih življenjskih razmer, privlačna tudi po naravoslovni plati. V okviru IV. Jugoslovanske alpinistične himalajske odprave na Makalu leta 1972 je avtor prispevka zbiral male sesalce in ptiče ter njihove ektoparazite, za raziskovalce talne favne pa tudi vzorce zgornjih plasti tal (Gregori, 1972; Slika 1). Zbrani zoološki material je bil doslej obdelan v treh prispevkih: o zunanjih zajedavcih sesalcev (Breljih, 1975), sesalcih (Gregori, Petrov, 1976) in ptičih (Gregori, Kačar, Vrezec, 2018).

2 Zoološke raziskave v okviru 4. JAHN

V času odprave je avtor zbral naslednji material: ptiči (65 primerkov), sesalci (46 primerkov), ektoparaziti ptičev in sesalcev ter vzorci zgornje plasti zemlje. Živalski material, zbran na Himalaji, ima veliko znanstveno vrednost. Na tem območju se namreč stikata palearktična in orientalska favna in se med seboj bolj ali manj mešata oziroma se tu odražajo vplivi ene in druge. Ker je tudi naša domača favna pripadnik palearktične, je himalajski material pomemben za taksonomsko primerjavo, saj v teh predelih živijo tudi vrste, ki so znane v Sloveniji.

Material je bil zbran v višjih legah, od 3700 do približno 5200 m, na območju Bararate in Kumbakarna Himala. Na poti do baznega tabora zbiranje materiala ni potekalo, ker je bilo delo otežkočeno ali onemogočeno zaradi deževja pa tudi zaradi potrebne naglice. Kasneje je delo prekinjalo občasno sneženje. Material je bil zbiran v glavnem v okolici baznega tabora in na planini Ne.

3 Metode in materiali

Avtor je sesalce lovil v pasti (mišelovke). Za njihovo postavljanje je bilo ugodnih 13 noči, zbrano je bilo 46 primerkov naslednjih vrst: *Soriculus nigrescens nigrescens*, *Epsoriculus caudatus caudatus*, *Ochotona roylei nepalensis*, *Alticola stoliczkanus bhatnagari*, *Neodon sikimensis* in *Niviventer eha*.

Ves zbrani material je bil shranjen v 70-odstotnem alkoholu, razen šest primerkov vrste *Alticola stoliczkanus*, ki so bili preparirani na meh. Z vseh primerkov so bili takoj po ulovu pobrani ektoparaziti in spravljani v 70-odstotni alkohol.

Zbiranje ptičev je potekalo s streljanjem, pričelo se je po prihodu v bazni tabor (4950 m) pod Makalujem. Terensko delo je potekalo v nižje ležečem Bararate Himal, kamor spadata planini Jangle (3650 m) in Ne (3750 m) in v višje ležečem Kumbakarna Himal, na začetku katerega je planina Šeršon (4720 m), višje ob Barunu pa je bil postavljen bazni tabor, ki je bil izhodišče za krajše izlete v okolico do višine približno 5200 m (Slika 1, str. 58). Delo je potekalo samo v času bivanja v baznem taboru in krajši čas na planini Ne (Slika 2), včasih pa je delo onemogočalo sneženje. Skupno je bil ornitološki material zbran na sedmih lokacijah.

Ustreljeni ptiči so bili preparirani na meh, kot je običajno za tovrstne študijske zbirke (Slika 3). Za vsak primerek je bila predhodno okvirno določena vrstna pripadnosti, navedena lokaliteta pridobitve, spol, datum in nekateri biometrični podatki, ki so označeni z naslednjimi okrajšavami: A = perut (lat. *alla*), C = rep (*cauda*), R = kljun (*rostrum*) in T = kračnica (*tarsus*). Mere so bile navedene v milimetrih. Vsi podatki so bili na etiketah in pritrjeni na vsak primerek. Z vsakega ptiča so bili predhodno pobrani ektoparaziti in shranjeni v 70-odstotni alkohol.

Mehovi so se že na licu mesta primerno osušili, vendar je bilo treba pripraviti za transport tudi nekaj še skoraj svežih. Kljub neugodnim vremenskim razmeram in dolgemu transportu so se vsi primerki ptičev kot tudi sesalcev in ektoparazitov dobro ohranili.

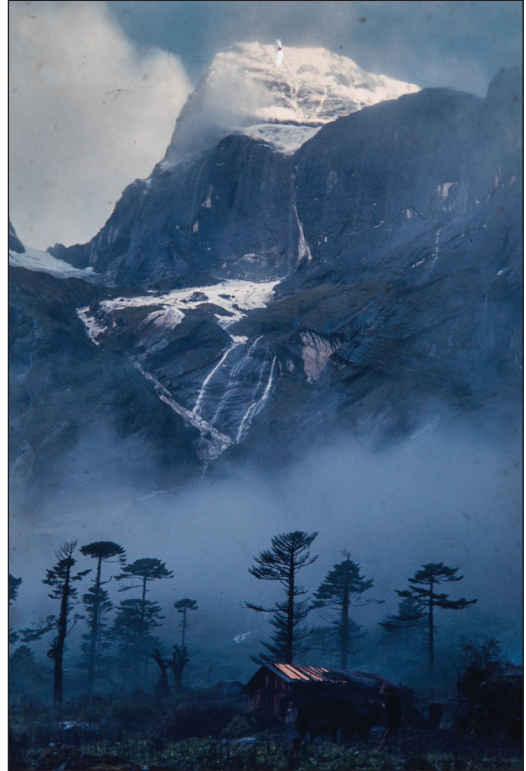


Slika 1:

Prepariranje zbranega materiala; »preparatorska delavnica« je bila v začasnem skladišču baznega tabora. (Foto T. Wraber, 1972)

Slika 2:

Planina Ne
s pastirsko kočo.
(Foto J. Gregori,
1972)



Slika 3:

Mehovi prepariranih
ptičev, pripravljeni
za sušenje.
(Foto J. Gregori,
1972)



4 Ekološke značilnosti obravnavanega območja

Spodnji del Bararate Himal z dolino Baruna sestavljajo metamorfne kamenine, ki jih predstavljajo različni gnajsi. Dolino Baruna zapolnjujejo čelne morene ledenikov, presledke med njimi zapolnjujejo talne morene in prod, sporadično tudi jezerski sedimenti.

Celoten predel pripada pasu himalajske jelke (*Abies spectabilis*), gozdovom, ki so zaradi paše ponekod močno skrčeni. Drevesna meja sega do višine 4100 m, predele med drevjem porašča trava. Robove pašnikov, kot tudi gozdov, porašča gosto grmičevje, zlasti sleči. V teh predelih je plast humusa dovolj debela, da omogoča različnim malim sesalcem delati v njem svoje rove. Zavetje najdejo tudi v morenskih razpokah pa tudi ob robovih balvanov in pod njimi.

Starejše morene v zgornjem delu Barunske doline (Kumbakarna Himal) na višini 4700 do 4900 m v celoti pokrivajo zelišča pa tudi grmovje. Najznačilnejše rastline so: *Rhododendrum setosum*, *Cassiope fastigiata*, *Juniperus indica*, *Ephedra gerardiana*, *Potentilla fruticosa* itd.

Bazni tabor na 4950 m je bil postavljen na verjetno najmlajši pleistocenski terasi, medtem ko so prostrane naplavne ravnice pod njim zanesljivo holocenske starosti. Na peščenih, več ali manj drobnozrnatih nanosih Baruna, so najpogostejše naslednje rastline: *Saxifraga punctulata*, *Waldheimia glabra*, *Anaphalis xylorhiza*, *Anaphalis nubigena* in *Tanacetum gossypinum*.

Na višini 5000 do 5100 m, pobočje nad baznim taborom, v celoti tvorijo bočne morene, balvanov je manj kot ob vznožju pobočja, kamor so se zvalili tekom časa. Na morenah je vegetacija zelo revna. Tu rastejo naslednje rastline: *Leontopodium monocephalum*, *Cremanthodium plantagineum*, *Saussurea gossipiphora*, *Gentiana urnula*, *Delphinium glaciale*, *Cortiella glacialis* in *Meconopsis horridula*.

5 Sistematski del

Okvirne ekološke in taksonomske podatke povzemamo po delih Brelih (1975), Gregori in Petrov (1976) ter Gregori, Kačar in Vrezec (2018).

MAMMALIA

Skupno število zbranih primerkov je 46.

Soricida

***Soriculus nigrescens nigrescens* (Gray, 1842)**

Zbranih je bilo pet primerkov, vsi na mestu ulova: Bararate Himal, planina Ne (3800 m). Njihov habitat so bili obronki pašnikov in tudi gozd.

***Episoriculus caudatus caudatus* (Horsfield, 1851)**

Ujet je bil en primerek, mesto ulova Bararate Himal, planina Ne, v podobnem habitatu kot prejšnja vrsta, z razliko, da je bil ulovljen v predelu z gostim grmovjem, kjer je prevladoval brin.

Ochotonidae***Ochotona roylei nepalensis* (Hodgson, 1841)**

Ulovljeni so bili trije primerki, Kumbakarna Himal, vsi v okolici baznega tabora (4950 m).

Cricetidae***Alticola stoliczkanus bhatnagari* (Biswas & Khajuria, 1955)**

Pridobljeno je bilo 18 primerkov, Kumbakarna Himal, vsi v okolici baznega tabora (4950 m).

***Neodon sikimensis* (Hodgson, 1849)**

Pridobljeno je bilo 15 primerkov, Bararate Himal, na višini od 3780 do 3950 m, v predelu gozdov himalajske jelke.

Muridae***Niviventer eha* (Wroughton, 1916)**

Pridobljeni so bili štiri primerki, Bararate Himal, na višini 3800 do 3870 m, vsi v gozdovih himalajske jelke, v predelih, ki se razprostirajo prek balvanov in moren.

En primerek vrste *Neodon sikimensis* je bil odstopljen Zoološkememu inštitutu (ZIN) v Sankt Peterburgu.

AVES**GALLIFORMES****Phasianidae*****Ithaginis cruentus cruentus* (Hardwicke, 1821)**

Krvavi fazani v Nepalju živijo v visokih nadmorskih predelih, na višinah med 3200 in 4400 m. Na planini Ne so se zadrževali v mešanem gozdu jelke in sleča z bogato podrastjo.

Za študijsko zbirko PMS so bili pridobljeni trije primerki:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3800 m, ♂, 11. 10. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3800 m, ♂, 11. 10. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3800 m, ♀, 11. 10. 1972

***Tetraogallus tibetanus aquilonifer* (Meinertzhagen & Meinertzhagen, 1926)**

Podvrsta tibetanska skalna kokoš (Slika 4) živi na območju vzhodnega Nepala. Pogosta stalnica na nadmorskih višinah med 4500 in 5500 m, na skalnih pobočjih in alpskih travnikih. Tibetanske skalne kokoši so se stalno zadrževale na moreni ob

baznem taboru. Jata je štela 30–35 osebkov. Zgodaj zjutraj so z velikim truščem zletele proti dnu morene, čez dan pa so med hranjenjem počasi pešačile nazaj proti vrhu. Umaknile se niso niti v snegu, ampak so ob skalnih previsih iskale hrano. Ker je sneg hitro kopnel, so kmalu prišle spet do obilne paše. Primerek za študijsko zbirko ni bil pridobljen, ker so Šerpe tem kuram pripisovali magično moč in bi uboj »božje kure« lahko botroval kakšni nesreči.



Slika 4:

Tibetanske skalne kokoši (*Tetraogallus tibetanus aquilonifer*), bazni tabor. (Foto J. Gregori, 1972)

ACCIPITRIFORMES

Accipitridae

***Buteo burmanicus* (Hume, 1875)**

Himalajska kanja je v Nepalju predvsem preletnik in prezimovalec, ki poleti verjetno tudi gnezdi na višinah med 3350 in 3800 m, medtem ko se v negnezditvenem obdobju pojavlja od nižin do 4300 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀, 8. 10. 1972

***Milvus migrans lineatus* (Gray, 1831)**

Črni škarnik (Slika 5) je v Nepalju in tudi širše na Indijskem podkontinentu splošno razširjena in pogosta vrsta od nižin do 4900 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀, 6. 10. 1972

Slika 5:

Črni škarnik (*Milvus migrans lineatus*)
(Gray, 1831) nad
baznim taborom.
(Foto J. Kunaver,
1972)



***Gypaetus barbatus barbatus* (Linnaeus, 1758)**

Na območju Himalaje je brkati ser pogosta in razširjena vrsta jastreba, v Nepalju zlasti na višinah med 1200 in 4100 m, pa vse tja do višine 7500 m.

Brkati ser je bil prvič opažen 15. 9. 1972, in sicer je čez bazni tabor najprej letel odrasel osebek, nekaj ur za njim pa je prišel nedorasel osebek, ki je nekaj časa krožil in nato odletel. Ob baznem taboru se je pojavil še 19. 9., 26. 9., 16. 10., 17. 10. in 20. 10. 1972. Od tega je sedel na tla samo dvakrat. Po pričevanju očitvidcev se je tam pojavil tudi ob drugih prilikah, ob avtorjevi odsotnosti. Brkati ser je bil opažen tudi na planini Ne, vendar vedno visoko, ko je letel tik ob visokih stenah.

CHARADRIIFORMES

Charadriidae

***Charadrius mongolus atrifrons* (Wagler, 1829)**

Mongolski deževnik je v Nepalju zgolj redek prezimovalček in preletnik od nižine do 3050 m. V okviru odprave v Nepal leta 1972 so bili trije opazovani precej visoko za vrsto, na nadmorski višini 4850 m, ob studenčku, ki se je malo pod baznim taborom izlival v Barun. Ob njem je bilo nekoliko proda in poraščeno z mahom. Podatek je zanimiv tudi zato, ker gre za prvi znani podatek o pojavljanju mongolskega deževnika v Nepalju v 20. stoletju, do leta 1981. Pred tem so bili mongolski deževniki opazovani v 19. stoletju.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 4850 m, ♀, 16. 9. 1972

Scolopacidae

***Scolopax rusticola* (Linnaeus, 1758)**

Sloka je splošno razširjena evrazijska vrsta, ki v Nepal, po podatkih iz literature, gnezdi in prezimuje, večinoma do višine 3900 m. V okviru odprave v Nepal leta 1972 je bila ena sama sloka opazovana na selitvi, precej visoko na nadmorski višini 4850 m, ob majhnem potočku, ki se je izlival v Barun.

COLUMBIFORMES

Columbidae

***Columba leuconota leuconota* (Vigors, 1831)**

Snežni golob je višinska vrsta goloba, v Nepal pogosta in razširjena stalnica, ki gnezdi med 3000 in 5700 m, pozimi pa se pomakne do 1500 m. 21. 9. 1972 je bila ob Spodnjem Barunskem ledeniku opažena jata okoli 30 primerkov.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Jangle ob Barunu, 3650 m, ♀, 4. 10. 1972

STRIGIFORMES

Strigidae

***Athene noctua ludlowi* (Baker, 1926)**

Največja podvrsta čuka, ki v višjih predelih poseljuje tudi Nepal do višine 4600 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, bazni tabor, 4950 m, ♀, 20. 10. 1972

BUCEROTIFORMES

Upupidae

***Upupa epops epops* (Linnaeus, 1758)**

Smrdokavra je v Nepal celoletna vrsta, ki se, vsaj na selitvi, pojavlja do nadmorske višine 5900 m, prezimuje pa od nižin do 1500 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, nad baznim tabo-rom, 5100 m, ♀, 19. 9. 1972

PASSERIFORMES

Corvidae***Corvus corax tibetanus* (Hodgson, 1849)**

Krokar je holarktična vrsta, katere največji osebki živijo na Himalaji in so bili opisani kot samostojna podvrsta. V Nepalju je dokaj pogosta vrsta, ki se pojavlja med 2500 in 8235 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, bazni tabor, 4950 m, ♂, 20. 10. 1972

***Corvus macrorhynchos intermedius* (Adams, 1859)**

Velekljuna vrana je razširjena v vzhodni Aziji, najzahodnejši krak areala pa je pogorje Himalaje, ki ga poseljuje več podvrst, na višjih nadmorskih višinah med 1200 in 5790 m.

Za študijsko zbirko PMS sta bila pridobljena dva primerka:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀, 1. 10. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 1. 10. 1972

***Pyrhacorax graculus digitatus* (Hemprich & Ehrenberg, 1833)**

Planinska kavka je v Nepalju pogosta in razširjena gnezdilka, pojavlja se od 2350 do 8235 m.

Za študijsko zbirko PMS sta bila pridobljena dva primerka:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 4950 m, ♀, 23. 10. 1972
- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 4950 m, ♂, 23. 10. 1972

***Pyrhacorax pyrrhacorax himalayanus* (Gould, 1862)**

Planinska vrana je v Nepalju pogosta stalnica, ki se večinoma pojavlja na višinah nad 2400 m pa vse do nadmorske višine 7950 m.

Za študijsko zbirko PMS so bili pridobljeni trije primerki:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 4950 m, ♀, 16. 10. 1972
- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, planina Šeršon, 4720 m, ♂, 17. 10. 1972
- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, bazni tabor, 4950 m, ♂, 16. 10. 1972

Paridae

Lophophanes dichrous dichrous (Blyth, 1845)

Siva čopasta sinica je v Nepalju pogosta na nadmorskih višinah med 2450 in 4000 m, pozimi pa se spusti nižje do 2000 m.

Za študijsko zbirko PMS sta bila pridobljena dva primerka:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 8. 10. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀, 8. 10. 1972

Periparus ater aemodius (Blyth, 1845)

Menišček je v Nepalju dokaj pogosta vrsta na nadmorskih višinah med 2440 in 4250 m, iz osrednjega Nepala pa so poznani tudi križanci s sorodnim pikastoperutim meniščkom *Periparus melanolophus*.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀ ad., 4. 10. 1972

Periparus rubidiventris beavani (Jerdon, 1863)

Rjasti menišček je v Nepalju pogosta in razširjena vrsta, ki se pojavlja pretežno v iglastih gozdovih na nadmorskih višinah med 2135 do 4270 m.

Za študijsko zbirko PMS sta bila pridobljena dva primerka:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 8. 10. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 12. 10. 1972

Alaudidae

Alauda gulgula inopinata (Bianchi, 1905)

Orientalški škrjanec je južnoazijska vrsta, v Nepalju se pojavlja do 3600 m nadmorske višine.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, bazni tabor, 4950 m, ♂, 19. 10. 1972

Calandrella brachydactyla dukhunensis (Sykes, 1832)

Kratkoprsti škrjanček je v Nepalju večinoma preletnik in prezimovalec od nižin do 5000 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, bazni tabor, 4950 m, ♂, 23. 10. 1972

***Eremophila alpestris elwesi* (Blanford, 1872)**

V Nepalu je uhati škrjanec dokaj pogosta stalnica na kamnitih pašnikih, na višinah med 2600 in 5900 m.

Za študijsko zbirko PMS sta bila pridobljena dva primerka:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 5100 m, ♂, 21. 10. 1972
- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 5100 m, ♂, 21. 10. 1972

Phylloscopidae***Phylloscopus affinis affinis* (Tickell, 1833)**

Himalajska listnica je v Nepalu pogosta in razširjena na nadmorskih višinah med 2550 in 4880 m, pozimi pa se premakne nižje pod 1190 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Spodnjega Barunskega ledenika, 4850 m, ♂, 21. 9. 1972

***Phylloscopus trochiloides trochiloides* (Sundevall, 1837)**

Zelena listnica je v Nepalu pogosta poletna vrsta na nadmorskih višinah med 3000 in 4270 m, na selitvi in pozimi pa večinoma pod 2135 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 5. 10. 1972

Leiothrichidae***Trochalopteron affine affine* (Blyth, 1843)**

Vrsta črnolicega šojarja je bila opisana po primerkih iz Nepala, kjer je pogosta gnezdilka na nadmorskih višinah med 2750 in 4600 m, pozimi pa se pomakne na nadmorske višine nad 1830 m.

Za študijsko zbirko PMS so bili pridobljeni trije primerki:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3780 m, ♀, 8. 10. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3800 m, ♂, 12. 10. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 4100 m, ♂ juv., 2. 10. 1972

Regulidae***Regulus regulus sikkimensis* (Meinertzhagen R. & Meinertzhagen A., 1926)**

Rumenoglavi kraljiček je v Nepalu pogosta stalnica, razširjena na nadmorskih višinah med 2200 in 4000 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 12. 10. 1972

Tichodromidae

***Tichodroma muraria nepalensis* (Bonaparte, 1850)**

Skalni plezalček je v Nepalju dokaj pogost in razširjen, v negnezditvenem obdobju se pojavlja na od 2450 do 5730 m.

Posamezni skalni plezalčki so se redno pojavljali v okolici baznega tabora. Opaženi so bili tudi nižje ob Barunu, na poti do planine Ne. Najvišje je bil opažen na višini okoli 5300 metrov, pogosto se je oglašal.

Certhiidae

***Certhia nipalensis* (Blyth, 1845)**

Nepalski plezalček je stalnica, ki je v Nepalju dokaj pogosta in razširjena na nadmorskih višinah med 1800 in 3660 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀ ad., 5. 10. 1972

Muscicapidae

***Myiophonus caeruleus temminckii* (Vigors, 1831)**

Modri drozgovc se pojavlja v širokem višinskem razponu med 470 do 4800 m, prežimuje pa navadno pod 2745 m.

Za študijsko zbirko PMS sta bila pridobljena dva primerka:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀ 8. 10. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 1. 10. 1972

***Phoenicurus erythrogastrus grandis* (Gould, 1850)**

Beloglavi pogorelec v Nepalju ni pogosta gnezdilka, pogostejši pa je na selitvi in v zimskem obdobju, zlasti na nadmorskih višinah med 2650 in 3965 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 5100 m, ♂, 19. 9. 1972

***Phoenicurus hodgsoni* (Moore, 1854)**

Tibetanski pogorelec (Slika 6) je bil sicer opisan po primerkih iz Nepala, vendar tu ne gnezdi. Pozimi je dokaj pogost na nadmorskih višinah med 760 in 2800 m, na selitvi pa vse tja do 5030 m visoko.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Jangle ob Barunu, 3650 m, ♂, 10. 10. 1972

Slika 6:

Tibetanski
pogorelček
(*Phoenicurus
hodgsoni*) na
planini Ne.
(Foto J. Gregori,
1972)



***Phoenicurus leucocephalus* (Vigors, 1831)**

Ob gorskih potokih in rekah Nepala je rečni pogorelček pogost, gnezdi na nadmorskih višinah med 1830 in 5100 m, pozimi pa se pomakne nižje na nadmorske višine med 75 in 3500 m.

Za študijsko zbirko PMS sta bila pridobljena dva primerka:

- Bararate Himal, planina Jangle ob Barunu, 3650 m, ♀, 10. 10. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 4100 m, ♀, 2. 10. 1972

***Phoenicurus ochruros rufiventris* (Vieillot, 1818)**

Šmarnica je v Nepalju pogosta gnezdilka na nadmorskih višinah med 2560 in 5700 m, pozimi pa se večinoma premakne na nadmorske višine pod 700 m.

Za študijsko zbirko PMS sta bila pridobljena dva primerka:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 4. 10. 1972
- Kumbakarna Himal, dolina Spodnjega Barunskega ledenika, 4800 m, ♂, 16. 9. 1972

***Saxicola maurus indicus* (Blyth, 1847)**

Sibirski prosnik je v Nepalju pogosta in razširjena vrsta, ki se pojavlja prek celega leta na nadmorskih višinah med 3650 in 4800 m. Pridobljeni primerek na selitvi je z dokaj visoke nadmorske višine 5050.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 5050 m, ♂, 19. 9. 1972

Cinclidae

***Cinclus pallasii tenuirostris* (Bonaparte, 1850)**

Rjavi povodni kos je stalnica, ki se v Nepalju pojavlja na nadmorskih višinah med 800 in 4960 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀, 4. 10. 1972

Passeridae

***Pyrgilauda ruficollis ruficollis* (Blanford, 1871)**

Večji del areala rjavovratega planinskega vrabca leži v Tibetu, na južnem robu pa sega tudi na Himalajo. Status vrste v Nepalju ni jasen, verjetno pa gre za redko stalnico, ki se pojavlja na nadmorskih višinah med 3290 in 4850 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, bazni tabor, 4950 m, 16. 10. 1972

Prunellidae

***Prunella collaris nepalensis* (Blyth, 1843)**

Planinska pevka (Slika 7) se v Nepalju pojavlja na nadmorskih višinah med 4200 in 5500 m, prezimuje pa na 2440 do 3795 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 5100 m, ♂, 19.9. 1972



Slika 7:

Nepalska planinska
pevka (*Prunella
collaris nepalensis*),
bazni tabor.
(Foto J. Gregori, 1972)

***Prunella rubeculoides rubeculoides* (Moore, 1854)**

Taščična pevka je bila opisana po primerkih iz Nepala, kjer je na višjih legah, med 4200 in 5000 m., dokaj pogosta, pozimi pa se pomakne na nižje lege med 2655 in 3960 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 4950 m, ♀, 19. 10. 1972

Motacillidae***Anthus godlewskii* (Taczanowski, 1876)**

V Nepalju je mongolska cipa zgolj preletnik v vzhodnem delu države, na selitvi se, po navedbah v literaturi, pojavlja do nadmorske višine 4250 m. V zbirki PMS so shranjeni kar trije nepalski primerki z obdobja selitve iz za vrsto visokih nadmorskih višin med 3750 in 5050 m.

Za študijsko zbirko PMS so bil pridobljeni trije primerki:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, 5050 m, ♀, 19.9. 1972
- Kumbakarna Himal, dolina Spodnjega Barunskega ledenika, 4850 m, ♀, 21.9. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 1. 10. 1972

***Anthus hodgsoni hodgsoni* (Richmond, 1907)**

Gozdna cipa je pogosta in razširjena gnezdilka v Nepalju in tu tudi prezimuje.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀, 7. 10. 1972

***Anthus hodgsoni yunnanensis* (Uchida & Kuroda, 1916)**

Severna podvrsta gozdne cipe je tudi pogosta in razširjena gnezdilka v Nepalju in tu tudi prezimuje.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀, 5. 10. 1972

***Anthus roseatus* (Blyth, 1847)**

V Nepalju so rožnate cipe dokaj pogoste in razširjene na nadmorskih višinah med 4000 in 5050 m, pozimi pa se spustijo nižje na 75 do 1500 m.

Za študijsko zbirko PMS so bili pridobljeni trije primerki:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 7. 10. 1972
- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂, 8. 10. 1972

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, bazni tabor, 4950 m, ♂, 21. 10. 1972

***Motacilla alba leucopsis* (Gould, 1838)**

Bela pastirica je vrsta s široko evrazijsko razširjenostjo od zahodne severne Afrike preko Azije do Aljaske. Takšna razširjenost pa botruje izjemno kompleksni geografski različnosti s trenutno prepoznanimi devetimi podvrstami. Na območju Himalaje in Nepala sicer gnezdi le podvrsta *M. a. alboides*, vendar se na selitvi in v obdobju prezimovanja tukaj pojavlja še vsaj pet do šest podvrst. Primerek, ki je bil zbran v okviru jesenskega vzorčenja za zbirko PMS, ne ustreza gnezdeči podvrsti *M. a. alboides*, pač pa najverjetneje pripada samici podvrste *M. a. leucopsis*. Gnezditveni areal te podvrste je sicer vzhodna Kitajska.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♀, 12. 10. 1972

Fringillidae

***Carpodacus puniceus puniceus* (Blyth, 1845)**

Rdečelici škrlatec je srednjeazijska višinska vrsta, ki je v severnem Nepalju pogosta stalnica in se pojavlja na nadmorskih višinah med 2745 in 5490 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Spodnjega Barunskega ledenika, 4850 m, ♂ juv., 16. 9. 1972

***Carpodacus thura thura* (Bonaparte & Schlegel, 1850)**

Rododendronov škrlatec je himalajsko-tibetanska vrsta z več prepoznanimi podvrstami, iz Nepala pa je znana le nominotipska podvrsta. V Nepalju je dokaj pogosta vrsta na alpskih travnikih in grmiščih, ki se poleti pojavlja na nadmorskih višinah med 3800 in 4200 m, pozimi pa med 1830 in 3660 m.

Za študijsko zbirko PMS sta bila pridobljena dva primerka:

- Bararate Himal, nad planino Ne ob Barunu, 4100 m, ♂, 2. 10. 1972
- Bararate Himal, nad planino Ne ob Barunu, 3900 m, ♀, 12. 10. 1972

***Leucosticte brandti haematopygia* (Gould, 1851)**

Sajasti snežni ščinkavec je centralno azijska vrsta z več opisanimi podvrstami, pri čemer populacije v Nepalju najverjetneje pripadajo le eni. Tu je pogosta stalna vrsta, ki se pojavlja na nadmorskih višinah med 2350 in 6000 m.

Za študijsko zbirko PMS so bili pridobljeni trije primerki:

- Kumbakarna Himal, nad baznim taborom, 5100 m, ♂, 18. 9. 1972
- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, planina Šeršon, 4700 m, ♂, 17. 10. 1972
- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, planina Šeršon, 4700 m, 17. 10. 1972

***Leucosticte nemoricola nemoricola* (Hodgson, 1836)**

V Nepalu je snežni ščinkavec pogosta in razširjena vrsta med 4200 in 5200 m., v ne-nezditvenem obdobju pa se pojavlja na višinah med 2000 in 3650 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, planina Šeršon, 4700 m, ♂, 17. 10. 1972

***Linaria flavirostris rufostrigata* (Walton, 1905)**

Severni repnik v Nepalu ni pogost, pojavlja se na nadmorskih višinah med 3965 in 4575 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Kumbakarna Himal, dolina Zgornjega Barunskega ledenika, bazni tabor, 4850 m, 23. 10. 1972

***Procarduelis nipalensis nipalensis* (Hodgson, 1836)**

Nepalski škrlatec je v Nepalu dokaj pogosta stalnica, ki gnezdi na nadmorskih višinah med 3050 in 4270 m, pozimi pa se premakne nižje na nadmorske višine med 1370 in 2745 m.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, nad planino Ne ob Barunu, 3800 m, ♂, 12. 10. 1972

***Pyrrhula erythrocephala* (Vigors, 1832)**

Himalajski kalin se v Nepalu pojavlja na nadmorskih višinah med 1830 in 4000 m, kjer je dokaj pogost in razširjen.

Za študijsko zbirko PMS je bil pridobljen en primerek:

- Bararate Himal, planina Ne ob Barunu, 3750 m, ♂ juv., 6. 10. 1972

INSECTA

SIPHONAPTERA

Pulicidae

***Pulex irritans* (Linnaeus, 1758)**

Zbrani material: 1 ♂, 1 ♀, Kumbakarna Himal, bazni tabor, 4950 m, gostitelj: *Homo sapiens*

Hystrihopsyllidae

***Stenoponia himalayana* (Breljih, 1975)**

Tipski material: samec holotip in samica alotip, Bararate Himal, planina Ne, 3780 m, 2. 10. 1972, gostitelj: *Neodon sikimensis*; paratipi: 4 ♂♂, 5 ♀♀ ostali podatki enaki kot pri holotipu.

***Peusipsylla* (Breljih, 1975)**

V materialu iz vzhodne Himalaje je bilo tudi 11 primerkov (4 ♂♂, 7 ♀♀), ki so predstavljali novo vrsto. Ker jih ni mogoče uvrstiti v noben poznani rod, jih je bilo treba imenovati v novega, *Peusipsylla*.

***Peusipsylla kunaveri* (Breljih, 1975)**

Tipski material: samec holotip in samica alotip, Kumbakarna Himal, bazni tabor, 4950 m, 20. 9. 1972, gostitelj: *Ochotona roylei*; paratipi: 1 ♂, 2 ♀♀, enaki podatki kot holotip; za nekaj zbranih primerkov je gostitelj *Alticola stoliczkanus*.

***Doratopsylla ? coreana* (Darskaya, 1949)**

Zbrani material: 1 ♀, Bararate Himal, planina Ne, 3850 m, 11. 10. 1972, gostitelj: *Soriculus nigrescens*; zaradi premajhnega vzorca primerkov, determinacija ni zanesljiva.

***Palaeopsylla makaluensis* (Breljih, 1975)**

Tipski material: dva samca (holotip in paratip), Bararate Himal, planina Ne, 3850 m, 11. 10. 1972, gostitelj: *Soriculus nigrescens*; samica alotip, Bararate Himal, planina Ne, 3780 m, 10. 10. 1972, gostitelj isti.

Leptopsyllidae

***Ctenophyllus (Geusibia) triangularis* (Lewis, 1972)**

Pregledani material: 1 ♂, 2 ♀♀, Kumbakarna Himal, bazni tabor, 4950 m, gostitelj: *Ochotona roylei*; 1 ♀, 20. 9. 1972.

***Frontopsylla (Frontopsylla) spadix nepalensis* (Breljih, 1975)**

Tipski material: samec holotip in samica alotip, Bararate Himal, planina Ne, 3780 m, 12. 10. 1972, gostitelj: *Niviventer eha*; samec paratip 3900 m, 11. 10. 1972, gostitelj: *Neodon sikimensis*.

***Amphipsylla gregorii* (Breljih, 1975)**

Tipski material: samec holotip, samica alotip in samica paratip, Bararate Himal, planina Ne, 3780 m, 2. 10. 1972, gostitelj: *Neodon sikimensis*; samica paratip, 3900 m, 11. 10. 1972, ostali podatki kot zgoraj.

Nekateri paratipi novo opisanih taksonov sifonapterov, so bili odstopljeni Rothschildovi zbirki v Tringu (Natural History Museum, London),

6 Sklep

Avtor se je udeležil IV. Jugoslovanske alpinistične himalajske odprave (4. JAHO), ki je imela cilj osvojiti himalajski vrh Makalu, potekala pa je od 15. avgusta do 18. novembra 1972. Njegova naloga je bila zbirati male sesalce in ptiče ter njihove zajedavce, za raziskovalce talne favne pa zbrati vzorce zgornjih plasti tal. Zbrani zoološki material, sesalci, ptiči in ekto paraziti, ki ga hrani PMS, je bil do zdaj obdelan in objavljen v strokovni literaturi v treh prispevkih (Breljih, 1975; Gregori, Petrov, 1976; Gregori, Kačar, Vrezec, 2018).

Živalski material, zbran na Himalaji, ima veliko znanstveno vrednost. Na tem območju se namreč stikata palearktična in orientalska favna, ki se med seboj bolj ali manj mešata, oziroma se odražajo vplivi ene in druge. Ker je naša domača favna pripadnik palearktične, je himalajski material pomemben tudi za taksonomske primerjave, saj v teh predelih živijo tudi vrste, znane v Sloveniji.

V prispevku smo želeli predstaviti potek zbiranja zoološkega materiala in rezultate, na tej nadmorski višini v ne ravno ugodnih razmerah, svoje je napravilo tudi občasno sneženje.

Sesalce smo lovili v pasti (mišelovke), za njihovo postavljanje je bilo ugodnih 13 noči. Zbranih je bilo 46 primerkov, ki so pripadali 7 vrstam. Ves zbrani material je bil shranjen v 70-odstotnem alkoholu, razen šestih primerkov vrste *Alticola stoliczkanus*, ki so bili preparirani na meh. Z vseh primerkov so bili takoj po ulovu pobrani ekto paraziti in spravljani v 70-odstotni alkohol.

Zbiranje ptičev je potekalo s streljanjem, zbranih je bilo 65 primerkov, ki pripadajo 43 vrstam, skupaj z opazovanimi pa je bilo 47 vrst. Vsi primerki ustreljenih ptičev so bili preparirani na meh, kot je običajno za tovrstne študijske zbirke. Za vsak primerek je bila predhodno okvirno določena vrstna pripadnost, navedena lokaliteta pridobitve, spol, datum in nekateri biometrični podatki. Vsi podatki so bili na primernih etiketah in pritrjeni k vsakemu primerku. Z vsakega ptiča so bili predhodno pobrani ekto paraziti in shranjeni v 70-odstotni alkohol.

Od sesalskih ekto parazitov je bilo zbranih 54 odraslih primerkov sifonapterov, ki pripadajo štirim družinam, devetim rodovom in devetim vrstam. Od tega so bili na novo opisani nov rod: *Peusipsylla*, štiri nove vrste: *Stenoponia himalayana*, *Peusipsylla kunaveri*, *Palaeopsylla makaluensis* (Breljih, 1975) in *Amphipsylla gregorii*. Nova podvrsta je *Frontopsylla (Frontopsylla) spadix nepalensis*.

Tako veliko število novih ekto parazitskih taksonov dokazuje, da je himalajsko pogorje, ki je del palearktične regije, glede sifonapter šele na začetku raziskovanj, vendar že prvi rezultati kažejo na močno povezanost zlasti s sibirsko in mandžursko subregijo.

Nekateri paratipi novo opisanih taksonov sifonapterov so bili odstopljeni Rothschildovi zbirki v Tringu (Natural History Museum, London), en primerek sesalčje vrste *Neodon sikimensis* pa Zoološkemu inštitutu (ZIN) v Sankt Peterburgu.

Literatura in viri

Brelj, S., 1975. *Scientific results of the Yugoslav 1972 Himalaya Expedition – Siphonaptera*. Ljubljana: Slovenska akademija znanosti in umetnosti.

Gregori, J., 1972. *Poročilo: Zoološke raziskave doline Baruna (Nepal) v času IV. JAHN na Makalu*. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije.

Gregori, J., Petrov, B., 1976. *Scientific results of the Yugoslav 1972 Himalaya Expedition – Mammalia*. Ljubljana: Slovenska akademija znanosti in umetnosti.

Gregori, J., Kačar, U., Vrezec, A., 2018. Katalog ptičev Nepala v zbirki Prirodoslovnega muzeja Slovenije. *Scopolia*, 94, str. 1–104.

Alpinistična zgodovina Makaluja

Viki Grošelj

I Mogočni Makalu

Makalu je s svojimi 8481 metri peta najvišja gora sveta. Nahaja se med Everestom in Kančendzengo ter se strmo pne nad dolino Baruna (Slika 1, str. 58). Njegova samostojna lega na vzhodu Nepala mu upravičeno daje pridih veličine in nedostopnosti, zrcali pa se tudi v njegovem imenu. V jeziku domačinov Maha Kala (kot imenujejo Makalu) pomeni veliko vreme, saj gora močno vpliva na vremenska dogajanja, in je tako pomembna za ljudi, ki na jugu naseljujejo doline pod njo. Tibetanci ga imenujejo Veliki črni, kar je pravi opis za mogočno črno piramido, ki jo gledajo s severa, največkrat povsem brez snega, saj ga sproti odnašajo močni vetrovi (Cleare, Sale, 2000).

2 Prvi poizkusi osvojitve Makaluja

Prve posnetke gore je v Evropo prinesla Howard-Burryjeva odprava na Everest leta 1921. Takoj je pritegnila pozornost francoskih plezalcev, ki so Tibetance zaprosili za dovoljenje za poskus vzpona na vrh, a jim ga niso dali. Tako se je plezalna zgodovina Makaluja začela šele po drugi svetovni vojni, natančneje leto po osvojitvi Everesta. Spomladi 1954 sta se ga lotili kar dve odpravi. Američani po zahtevnem jugovzhodnem grebenu. Odehali so na višini 7150 metrov. Novozelandska odprava pod vodstvom Edmunda Hillaryja je poskušala z jugozahoda. Zmagovalec Everesta leto poprej na Makaluju ni imel sreče. Med reševanjem enega od članov odprave je tudi sam padel v ledeniško razpoko in si polomil nekaj reber. Po nekaj tednih počitka se je ponovno pridružil ostalim plezalcem na gori, a je tako resno zbolel, da so ga komaj rešili. Po uspešni evakuaciji legendarnega vodje z gore so nadaljnje poskuse opustili.

Jeseni istega leta so pod goro prišli Francozi. Majhna raziskovalna odprava je bila predhodnica glavne, ki so jo načrtovali za pomlad 1955. Sledili so poskusu Novozelancev in se prebili na sedlo Makalu La. Z njega so opravili prvi pristop na 7640 metrov visoki Makalu II in še na 7790 metrov visoki Čomo Lenzo. Z obeh vrhov so imeli lepe razglede na zahodna pobočja Makaluja, po katerih naj bi naslednjo pomlad potekal glavni poskus.

Odpravo leta 1955 je vodil Jean Franco, v njej pa je bilo še deset vrhunskih plezalcev, med njimi veterana z odprave na Anapurno leta 1950, ko je bil preplezan prvi himalajski osemtisočak, Jean Couzy in Lionel Terray. Triindvajset višinskih nosačev, šerp, pod vodstvom Gyalzena Norbuja jih je idealno dopolnjevalo. Dokaj hitro so dosegli sedlo Makalu La, potem pa so se usmerili proti glavnemu vrhu. Tabor šest so postavili na višini 7800 metrov. 15. maja sta Couzy in Terray iz njega v idealnem

vremenu odšla proti vrhu. Za zadnjih 680 višinskih metrov sta potrebovala le štiri ure in ob enajstih dopoldan stopila na najvišjo točko gore. V naslednjih dveh dneh so vrh dosegli še Franco, Magnone, šerpa Gyalzen Norbu, Bouvier, Coupe, Leroux in Vialate. Vsekakor veličasten dosežek. Ob odlični organizaciji odprave in neverjetno lepem vremenu v ključnih dneh jim je bilo na koncu žal le, da gora ni štiristo metrov višja ...



Slika 1:

Odprava na Makalu leta 1975 in vrisana prvenstvena smer preko južne stene. (Foto arhiv V. Grošelj, 1975)

Franco je vrh opisal takole: »Vrh Makaluja je snežna piramida, tako ostra, da jo pokriješ z eno roko in en prst usmeriš proti Tibetu, drugega v smeri Nepala, tretjega proti Everestu. Čiste linije treh robov so tako trde, da se s težavo držimo na vrvicah treh naših cepinov, zasajenih vse do držaja. Morje negibnih oblakov širi svoje s soncem obrobijene valove. Prebadajo ga le veliki bližnji in daljni vrhovi, posejani kot otoki. V edinem vidnem delčku zemlje okoli baznega tabora se pod našimi nogami, štiri tisoč metrov niže, v čudežni odprtini vijuga tanka nit Baruna, kot bi služila za merilo. Pik 6 in Čamlang sta kot majhna otoka kamena in ledu, ki ju obdaja morska pena. V daljavi proti vzhodu, več kot sto kilometrov daleč je Kangčendzenga, razgled pa sega še dlje. Presega nas samo Everest, ki je skoraj na dosegu roke« (Kalvoda, 1979, str. 9).

Leta 1961 je Hillary z mednarodno odpravo poskusil znova. Kar osem mesecev trajajoča odprava, na kateri so proučevali vpliv višine na človeški organizem, se je izkazala za odločno predolgo. Več mesecev so se zadrževali na višinah okoli 5700 metrov in na koncu drug za drugim začeli zbolevati. Vseeno pa so prinesli dragocena spoznanja v zvezi s človekovim prilagajanjem na višino ter se na gori prebili do višine 8350 metrov.

Japoncem je z veliko odpravo pod vodstvom Masaa Kumazave spomladi 1970 uspelo preplezati jugovzhodni greben gore. To je bila druga nova smer na Makalu, sledili pa so ameriškemu poskusu iz leta 1954.

Samo leto kasneje je Robert Paragot pod elegantni zahodni raz gore pripeljal novo, močno francosko odpravo. Zahteven raz, »navpičen in raven kot črka i«, je skoraj dva meseca zaposloval najboljše francoske plezalce tistega časa, dokler se Seigneur in Mellet 23. maja nista prebila na vrh. S tem je bila preplezana tretja nova smer na goro.

Slika 2:

Proti taboru V na
višini 7500 metrov.
(Foto V. Grošelj,
1975)



3 V boj za vrh Makaluja se vmešajo slovenski alpinisti

Slovenci smo se z Makalujem prvič srečali leta 1972. V himalajsko dogajanja smo se vključili relativno pozno. Šele leta 1960 smo organizirali prvo himalajsko odpravo na sedemtisočak Trisul v indijski Himalaji, leta 1965 drugo na 7902 metra visoki Kangbačen v pogorju Kangčendzenge in tretjo leta 1969 na 7937 metrov visoko Anapurno II. Tedaj pa je prišel čas za poskus vzpona na prvi osemtisočak – Makalu.

Odpravo je vodil legendarni Aleš Kunaver. V njej je bilo osem plezalcev, Janko Ažman, Stane Belak - Šrauf, Janez Brojan, Danilo Cedilnik - Den, Janez Kunstelj, Matija Maležič, Marjan Manfreda - Marjon in Franc Štupnik - Cicko. Spremljali so jih zdravnik dr. Borut Pirc, novinar Zoran Jerin in trije znanstveniki, Janez Gregori, Jurij Kunaver in Tone Wraber.

Po 11 dni dolgem pristopnem pohodu od letališča Tumlingtar so bazni so bazni tabor postavili na višini 4950 metrov, nedaleč od prepadne in še nedotaknjene južne stene gore. Skupaj z vodjem so člani odprave sprejeli odločitev, da ne bodo poskušali v kateri od že preplezanih smeri, temveč se bodo lotili še ne preplezane južne stene. Glede na dotedanje skromne himalajske izkušnje neverjetno drzna odločitev, ki takrat žal ni prinesla tako zelenega in zasluženega uspeha, je pa slovenski himalajizem utirila v pravo smer. To je plezanje novih smeri v najbolj zahtevnih himalajskih stenah, kar je bila v tistem času tudi med himalajskimi velesilami še prava redkost.

Več kot dva meseca so oblegali steno. Zaradi zahtevnega plezanja so šerpe, neva-jeni takih težav in strmine, povsem odpovedali. Dodatne težave jim je tisto jesen

povzročalo izjemno slabo vreme z neobičajno nizkimi temperaturami, orkanskih vetrovi in ponavljajočimi se silovitimi snežnimi viharji. Relativno neizkušeni, saj je bila večina od njih prvič v Himalaji, a izjemno motivirani, so kljub temu najvišjo doseženo točko potiskali vse višje. Eden od njih, Danilo Cedilnik - Den je povedal, da so bili prepričani, da so tako ekstremno vreme in taki pogoji pač nekaj povsem običajnega za Himalajo.

Ko jim je že začelo primanjkovati tudi osnovne hrane, kot sta sladkor in moka, sta Janko Ažman in Matija Maležič kot prva Slovenca uspela preseči magično mejo 8000 metrov in tam postaviti peti višinski tabor. Za zadnje dejanje, poskus prodora proti vrhu, pa jima je preprosto zmanjkalo moči.

Povsem izčrpani, ozeblji in praktično brez hrane so se po dolgih dneh plezanja končno spet vsi zbrali v bazi in se odločili za vrnitev domov. A njihove kalvarije še zdaleč ni bilo konec. Med vračanjem čez več kot 4000 metrov visoko sedlo Barun La jih je zajel nov snežni vihar. Zapadlo je meter novega snega, bosji nosači so odmetavali tovore in začeli reševati sebe, lačni in izčrpani člani pa so se, po vseh prestanih naporih, skupaj z njimi, s skrajnimi napori prebili čez sedlo in do prve hrane (Kunaver in sod., 1974).

Tudi nekaj naslednjih odprav na Makalu ni bilo uspešnih. Češki poskus vzpona v južnem stebru leta 1973 se je s smrtjo Jana Kounickega tragično končal. Spomladi 1974 je bila pod južno steno močna avstrijska odprava pod vodstvom Wolfganga Nairza. Messner in Markl sta dosegla višino 7500 metrov, potem pa so odnehali. Messnerjeva izjava, da se čudi, kako so v tako težki steni do tedaj skoraj neznanim Jugoslovani prišli tako visoko, je bila med nekaterimi novinarji razumljena, kot da ne verjame v slovenski dosežek in so jo tako tudi zapisali. Nam, ki smo takrat že organizirali novo odpravo v južno steno, ki naj bi šla na pot jeseni 1975, pa so bila takšna pisanja in namigovanja le še dodatna vzpodbuda in motivacija (Nairz, 2008).



Slika 3:

Na francoskem grebenu 8300 metrov visoko. (Foto V. Grošelj, 1975)

Jeseni 1974 je avstrijski sledila še mednarodna odprava, ki jo je vodil Američan Fritz Stammberger. Njen član je bil tudi naš Matija Maležič, ki je dve leti prej v steni že presegel višino 8000 metrov. Tokrat pa niso bili tako uspešni. Stammberger in Maležič sta se prebila do višine 7800 metrov, potem pa so odnehali.

Šesta jugoslovanska himalajska odprava je odšla na pot sredi avgusta 1975 (Slike 1–6). Štela je 21 članov, vodil nas je Aleš Kunaver. Dobro organizirano in pripravljeno moštvo je imelo eno samo nalogo. V južni steni Makaluja dokončati delo iz leta 1972. Zaradi treh neuspešnih poskusov in narobe razumljene Messnerjeve izjave je južna stena Makaluja v alpinističnem svetu predstavljala enega največjih problemov takratnega plezanja v velikih stenah Himalaje.

Poznavanje pristopa do baze in večjega dela stene nam je bilo v veliko pomoč in nam je prihranilo veliko časa. 5. septembra smo postavili bazo in se v več navezah, ki so se na gori nenehno menjavale, lotili stene. Vsako od navez je vodil eden od veteranov z odprave leta 1972. Napeli smo več kot štiri kilometre vrvi in postavili pet višinskih taborov, zadnjega na višini 8050 metrov. Kljub orkanskem sneženju, ki nam je v bazo naneslo meter in pol novega snega, smo v obdobju lepega vremena, ki je sledilo viharju, odšli v končni naskok. 6. oktobra sta vrh dosegla Stane Belak - Šrauf in Marjan Manfreda. Slednji celo brez uporabe dodatnega kisika. Pokvaril se mu je namreč ventil na aparaturi za kisik. Tedaj, leta 1975, je bil to najvišji vrh na svetu, osvojen na tak način. 8. oktobra sta bila na vrhu Janko Ažman in Nejc Zaplotnik, 10. oktobra Viki Grošelj in Ivč Kotnik, 11. oktobra pa še Janez Dovžan.

Stane Belak - Šrauf, prvi Slovenec na vrhu osemtisočaka, ga je doživel takole: »Z nekaj metrov sem gledal v vrh in prav nič si nisem mislil. Potem sem naredil nekaj naglih gibov in ratišče ‚bajle‘ zapičil v tisti beli skupek snežnih robov, ki so se stikali v beli konici. Še zadnji poteg in oči preplavi čudovita panorama severnega obzorja. Vrh! Prvi jugoslovanski osemtisočak je osvojen! Pozabljeni so trdni sklepi o dostojanstvu na vrhu, pozabljen strah in razočaranje v orjaški steni, preko katere smo napeli štiri kilometre vrvi, pozabljena vročina in deževje pristopnega marša, pozabljeni kaotični dnevi mrzličnih priprav na ta veliki trenutek. Na trebuhu ležim v snegu. Grabim sneg, kot bi se hotel prepričati. Res sem na vrhu. Prav na konici gore, ki je posvečena boginji Kali!« (Belak, 1997, str. 108).

Zadnji vzpon bi se kmalu končal tragično. Dovžanov soplezalec Zoran Bešlin je odnehal le nekaj metrov pod najvišjo točko, na sestopu pa ga je 8400 metrov visoko zajela noč. Bivakiral je in Dovžan ga je zaman čakal v taboru pet. Možnost, da bi Zoran v tistem mrazu preživel noč brez opreme za bivakiranje, je bila minimalna. Zjutraj se je Janez kljub izčrpanosti znova odpravil navzgor, skoraj do roba stene, da bi našel kako sled za Zoranom. Našel ni ničesar. Vrnil se je v tabor in sklenil počakati še eno noč, potem pa sestopiti. Pozno popoldan je le zaslišal slabotne klice na pomoč. Zoranu je uspelo nekaj neverjetnega. Preživel je bivak in kljub ozeblinam in izčrpanosti počasi sestopal. Janez je še tretjič odšel navzgor in mu pomagal do šotora, v naslednjih dveh dneh pa še čez steno, do tabora dve, kamor jima je naproti prišlo nekaj članov odprave. Izjemna Zoranova volja do preživetja in Janezova visoka etična odgovornost, da se je kljub skrbi za svojo varnost odločil počakati še en dan, sta botrovali temu, da smo goro zapustili brez žrtev. Če seveda odštejem Bešlinove amputacije. Po vrnitvi domov so mu v bolnišnici odrezali vse prste na obeh nogah in še dela obeh stopal (Grošelj, 2013).



Slika 4:

*Lotse in Everest z vršnega grebena Makaluja.
(Foto V. Grošelj, 1975)*

Sami smo uspeh na gori doživljali predvsem kot dokončanje drzne zamisli iz leta 1972, ki je dala smer in vzpodbudo našim prihodnjim ciljem v Himalaji. To je bil prvi osemtisočak za Slovenijo in Jugoslavijo ter dokončni stik s svetovnim himalajskim vrhom. Uspeh je močno odmeval. Takratni predsednik Tito nas je odlikoval z redom zaslug za narod, kot ekipa smo prejeli Bloudkovo nagrado in še nekaj drugih priznanj. Svetovni himalajizem pa je v svoj krog s simpatijami uvrstil tudi Jugoslavijo.

Leto po našem uspehu sta se na enem od gorniških festivalov srečala Reinhold Messner in Aleš Kunaver. Messner je pristopil k njemu, se mu opravičil, zatrdil, da nikoli ni dvomil o našem dosežku iz leta 1972, ter poudaril, da so ga nekateri namenoma narobe citirali. Kunaver je opravičilo džentelmsko sprejel, Messner pa je odtlej in vse do danes ohranil zelo visoko mnenje o slovenskih himalajskih dosežkih (Grošelj, 2013).

4 Nadaljnje odprave na Makalu

Leta 1976 je močni češkoslovaški odpravi, ki se ji je pridružil Španec Jordi Camprubi, uspelo preplezati novo smer preko jugovzhodnega stebra. 24. maja so vrh dosegli Milan Krissak, Karl Schubert in Španec Camprubi.

Vsakič, ko se reši en himalajski problem, se kmalu pojavi nov. Tako je bilo tudi na Makaluju. Po preplezani južni steni so se svetovni plezalci usmerili v še nedotaknjeno zahodno steno gore, ki se je zaradi previsne skalne pregrade na višini med 7700 in 8300 metri nihče ni upal lotiti. Tudi tu smo bili ob prvem poskusu leta 1977 zraven Slovenci. V mednarodni odpravi pod vodstvom Jeffa Lowa sta sodelovala Boris Krivic in Matija Maležič, ki sta tudi dosegla najvišjo točko v steni, 7000 metrov. Potem so zaradi prevelikih tehničnih težav in močnega vetra odnehali.

Leta 1981 je pod zahodno steno Makaluja prišla trojica takrat verjetno najmočnejših himalajskih plezalcev na svetu. Poljaka Wojcieh Kurtyka in Jerzy Kukuczka ter Anglež Alex MacIntyre. Stene so se lotili točno v vpadnici vrha. Prebili so se do previsne skalne pregrade na višini 7800 metrov. V naslednjih izčrpavajočih poskusih v zahtevni previsni steni so se prebili le kakih sto metrov više, potem pa zaradi prevelikih težav morali odnehati (Messner, 2001).

MacIntyre je odšel domov, Kurtyka in Kukuczka pa sta ostala. Predvsem slednji se ni mogel sprijazniti z neuspehom. V solo vzponu se je lotil najbolj levega dela zahodne stene. Mimo previsne pregrade se je prebil na severozahodni greben in po njem 15. oktobra dosegel vrh, kar je bilo izjemno dejanje solo plezalca.

Spomladi 1982 je korejskim plezalcem uspelo preplezati prvenstveno smer v vzhodni steni gore. Z jugovzhodnega grebena oziroma japonske smeri iz leta 1970 so se preko zgornjega dela vzhodne stene prebili v smer prvopristopnikov. Vrh je 20. maja dosegel Young Ho Heo skupaj s šerpama Angom Phurbo in Pasangom Norbujem. Jeseni istega leta se je zahodne stene lotila nova mednarodna odprava, v kateri so prevladovali poljski plezalci. Plezali so levo, tik ob previsni pregradi v zgornjem delu stene. Na koncu se je le Andrzej Czoku uspelo prebiti do vrha.

Slika 5:

*Viki Grošelj na vrhu
Makaluja
(10. oktober, 1975).
(Foto I. Kotnik, 1975)*



Dve leti kasneje, leta 1984, je novo smer, ki poteka med Kukuczko in Czokovo smerjo v zahodni steni, uspelo preplezati Švicarju Romolu Nottarisu. Vrh je dosegel 29. septembra.

Francozu Marcu Battardu je leta 1988 uspelo prvo prečenje Makaluja. 27. maja je vrh dosegel preko zahodnega grebena, potem pa sestopil po smeri prvopristopnikov. Jeseni istega leta je, prav tako Francozu, Pierru Beghinu, tudi uspelo prečenje gore. Po delno prvenstveni smeri v južni steni je 6. oktobra dosegel vrh, potem pa podobno kot Battard sestopil po smeri prvopristopnikov.

Leta 1993 se je mednarodne odprave v zahodno steno Makaluja udeležil tudi eden takrat najboljših slovenskih plezalcev Slavko Svetičič. Prebili so se nekoliko više, do višine 7800 metrov, a tudi morali odnehati (Škarja, 2004).

Spomladi 1995 je pod goro s tibetanske strani prišla močna japonska odprava. Njihov cilj je bil prvenstveni vzpon po vzhodnem grebenu in severni steni. 21. maja so novo smer malo pod vrhom priključili na smer prvopristopnikov. Na najvišjo točko pa so stopili Toshiro Arai, Masajuki Matsubara, Osamu Tanabe in Atshushi Jamamoto.

Po številnih poskusih različnih odprav je Rusom leta 1997 uspelo preplezati še eno novo smer v desnem delu zahodne stene, vendar so se največjim težavam izognili tako, da so desno smer na višini 8200 metrov priključili k francoski po zahodnem grebenu. Vrh so 24. maja dosegli Aleksej Bolotov, Igor Bugačevski, Jurij Ermančuk, Dimitrij Pavlenko in Nikolaj Žilin.

Previsna skalna pregrada v vršnem delu, glavni problem zahodne stene, je ostala nedotaknjena tudi leta 2008, ko so se je lotili takrat eni najboljših plezalcev na svetu, Američana Vince Anderson in Steve House ter Slovenec Marko Prezelj. Čeprav so dobra dva meseca vztrajali pod goro, jim orkanski vetrovi in težavno plezanje v skali niso pustili više od 7500 metrov.

2. februarja leta 2009 je bil opravljen prvi zimski vzpon na Makalu. Nanj sta se povzpela Kazahstanec Denis Urubko in Italijan Simone Moro (Sale in sod., 2012).

Leta 2011 se je Marko Prezelj s Stevom Housom spet vrnil pod Makalu. Tokrat s podobnimi cilji kot tri leta prej. Z njima so bili še trije izvrstni slovenski alpinisti, Rok Blagus, Luka Lindič in Boris Lorenčič. A tudi tokrat niso imeli sreče z vremenom in razmerami, ki so za vzpone v alpskem slogu še toliko bolj pomembne. Najvišje, 8200 metrov visoko, sta v smeri prvopristopnikov prišla Blagus in Lindič.

Leta 2014 se je Makaluja lotila mini slovenska odprava pod vodstvom Irene Mrak. Njena člana pa sta bila še Mojca Švajger in Tomaž Goslar. Osnovni cilj trojice je bil vzpon po smeri prvopristopnikov, imeli pa so tudi več znanstveno raziskovalnih ciljev. Dosegli so višino 7100 metrov, potem pa morali zaradi težavnih razmer in boleznih Mrakove odnehati.



Slika 6:

Zaradi hudih omrzlin smo morali Zorana zadnjih nekaj dni sestopnega pohoda nositi. (Foto V. Grošelj, 1975)

Do leta 2022 je bilo na Makaluju preplezanih dvanajst prvenstvenih smeri ali variant. Med njimi ima prav naša smer (Jugoslovanska) preko južne stene še danes izjemno veljavo in ugled. Problem centralnega dela Makalujeve zahodne stene pa še danes predstavlja enega največjih izzivov Himalaje.

5 Sklep

Makalu je zaradi svoje višine, mogočnosti in nedostopnosti od nekdaj predstavljal izziv za nekatere največje alpiniste sveta, zato ne preseneča, da so bile prve odprave nanj, kljub zvonečim imenom tedanjega časa, neuspešne. Prvi so ga leta 1955 osvojili Francozi pod vodstvom Jean Franca. V prihodnjih letih so jim sledile številne druge odprave, v okviru katerih so člani odprav pogosto poskušali preplezati tudi nove smeri.

V boj za osvojitve vrha smo se leta 1972 vmešali tudi Slovenci, ki smo v nadaljevanju na Makalu skušali splezati na kar sedmih različnih odpravah. Na vseh je bila v ospredju želja na gori opraviti nekaj novega, bodisi prvenstvene smeri, vzpone v alpskem slogu, smučanje z vrha ipd. To je bil eden glavnih razlogov, da smo bili le enkrat uspešni. A slovensko himalajsko plezanje je z Makalujem povezano bolj kot s katerim koli drugim osemtisočakom. Pod njim, v njegovi južni steni, leta 1975 pa tudi na vrhu, sta se rodili vizija in usmeritev, ki sta v naslednjih letih Slovenijo odločno postavili na himalajski zemljevid sveta, sčasoma pa jo v svetovnem himalajskem vrhu utrdili kot eno vodilnih držav.

Literatura in viri

Belak, S., 1997. *Veliki dnevi*. Ljubljana: Siddharta.

Cleare, J., Sale, R., 2000. *Climbing the World's 14 highest mountains – The History of the 8,000-Meter Peaks*. Seattle: The Mountaineers book.

Grošelj, V., 2013. *Velikani Himalaje*. Ljubljana: Planinska založba.

Kalvoda, J., 1979. Geomorphological map of the Barun glacier region, Khumbakarna Himal. *Acta Universitatis Carolinae Geographica*, 14, 1, str. 3–38.

Kunaver, A., Cedilnik, D., Belak, S., Maležič, M., Jerin, Z., Kunaver, J. 1974. *Makalu*. Mladinska knjiga.

Messner, R., 2001. *The Big Walls*. Seattle: The Mountaineers book.

Nairz, W., 2008. *Die wilden siebziger Jahre in Himalaya*. Dunaj: Egoth verlag.

Sale, R., Rodway, G., Jurgalski, E., 2012. *On top of the world – The New Millenium*. VB: Coberley Snowfinch Publishing.

Škarja, T., 2004. *Slovenci v Himalaji*. Ljubljana: Planinska založba.

Vpliv visoke nadmorske višine na človeka in prilagoditve nanjo

Tomaž Goslar, Irena Mrak

1 Uvod

Visokogorska območja so zaradi manjše vsebnosti kisika v zraku, nizkih temperatur in močnega sončnega obsevanja človeku negostoljubno okolje. Kljub vsem človeku nenaklonjenim dejavnikom okolja pa so nekatera visokogorska območja stalno poseljena že mnogo let: Etiopsko višavje vsaj 70.000 let, Tibetanska planota vsaj 25.000 let in Andsko višavje vsaj 12.000 let. V tisočletjih stalne poselitve visokogorskih območji so tam živeči prebivalci razvili edinstvene genetske in fiziološke prilagoditve negostoljubnemu okolju (Goslar, 2017; Simonson, 2015). Vsi tisti, ki v visokogorska območja zahajamo le občasno, pa se vsakič znova srečamo z nevšečnostmi, ki jih prinaša višina.

2 Vpliv nadmorske višine na delovanje človeškega telesa

Večina težav, ki se pojavijo na visoki nadmorski višini, je posledica nižjega parcialnega tlaka kisika v atmosferi, kar je posledica nižanja barometričnega tlaka z naraščajočo višino. Barometrični tlak se z višjo nadmorsko višino znižuje približno eksponentno. Čeprav je delež kisika v atmosferi na različnih višinah konstanten, se z višjo nadmorsko višino in posledično nižjim barometričnim tlakom nižajo tudi parcialni tlaki posameznih plinov v atmosferi, kar pomeni manjšo gostoto oziroma razpoložljivost kisika. To se v organizmu kaže kot pomanjkanje kisika oziroma hipoksija. Na višini Mount Everesta je v primerjavi z morsko gladino na razpolago le še 28 % kisika. Pomanjkanje kisika vodi v upočasnjeno delovanje celic in organov in upočasnjuje regeneracijo. Nad določeno nadmorsko višino tako telo zaradi pomanjkanja kisika ne zmore več zadostiti energetskim potrebam in začne propadati (Milledge, West, Schoene, 2007).

Poleg manjše razpoložljivosti kisika z višino upada tudi temperatura, ki se na vsakih 150 m nadmorske višine zniža za približno 1 °C. Z močnim vetrom, ki je pogost na visokih nadmorskih višinah, je občutek mraza še hujši in hitro lahko pride do ozeblin ali omrzlin. Zmanjšuje se tudi absolutna vlažnost – količina vodne pare v volumnu zraka ob določeni temperaturi, kar povzroča povečano izgubo vode z dihanjem in lahko hitro vodi v dehidracijo. Zaradi manjše gostote zraka na višjih nadmorskih višinah se povečuje tudi sončno sevanje, ki je na višini 4000 m za 100 % večje kot na morsk

gladini. Sončno sevanje je še močnejše zaradi odboja s snega, ki lahko odbije tudi do 90 % sončnega sevanja. Večja je tudi izpostavljenost ionizirajočemu sevanju iz vesolja (Milledge, West, Schoene, 2007).

Hiter vzpon na višino preko 2000–2500 m pri neaklimatiziranih, a sicer zdravih ljudeh lahko povzroči akutno višinsko bolezen. Težave se pojavijo v prvih 24 urah po prihodu na višino, lahko pa že v nekaj urah po vzponu. Kažejo se kot glavobol, slabost, bruhanje, slabši apetit, slabo počutje in nespečnost. Ob počitku in prenehanju vzpenjanja težave brez zdravljenja običajno same izzvenijo v petih dneh. Hujši, življenjsko ogrožajoči obliki višinske bolezni sta višinski možganski edem in višinski pljučni edem. O akutnem možganskem edemu govorimo, ko akutna višinska bolezen napreduje z glavobolom, oslabelostjo, moteno koordinacijo, izgubo zavesti, komo in smrtjo. Višinski pljučni edem se lahko v nekaj urah razvije iz akutne višinske bolezni z vse težjim dihanjem, sprva suhim, kasneje pa produktivnim kašljem s penasto krvavkastim izmečkom in lahko v kratkem povzroči zadušitev ter smrt. Napredovanje tako višinskega možganskega edema kot višinskega pljučnega edema lahko upočasnimo z zdravitimi, ključen za ozdravitev pa je spust na nižjo nadmorsko višino (Milledge, West, Schoene, 2007).

Akutno višinsko bolezen relativno dobro poznamo, razumemo mehanizme, ki do nje pripeljejo in jo znamo zdraviti. Slabo pa razumemo postopno propadanje organizma ob dolgotrajnem bivanju na visoki nadmorski višini. Postopno propadanje organizma ob dolgotrajni izpostavljenosti visoki nadmorski višini se prične med 5000 in 6000 m in je posledica hipoksije, mraza, dehidracije, stradanja in izčrpanosti. Z višino povzročeno propadanje organizma se pokaže kot: postopna izguba telesne teže, slabši apetit, počasnejša regeneracija, razdražljivost, pomanjkanje volje ... Upočasnijo se miselni procesi, zmanjšajo kognitivne sposobnosti in zniža arterijski tlak. Ob dolgotrajni izpostavljenosti visoki nadmorski višini bi tako kljub ustrezni aklimatizaciji prišlo do smrti organizma, saj se zaradi hipoksije in posledičnega pomanjkanja energije telo ne more obnavljati in hira.

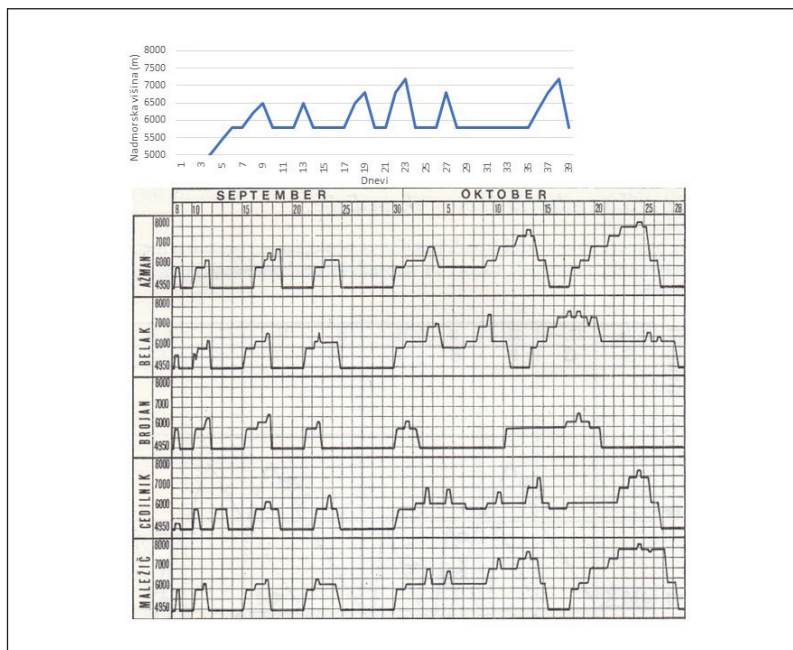
Kljub vse večjemu poznavanju vplivov visoke nadmorske višine na človeka in razumevanju delovanja organizma v okolju z nižjo razpoložljivostjo kisika še zdaleč ne vemo vsega. Predvsem slabo razumemo dolgotrajno bivanje na zelo visokih nadmorskih višinah.

Kljub temu, da na visoki nadmorski višini nad 2500 m stalno živi kar 63 milijonov ljudi (Goslar, 2017) in da obisk visokogorja narašča, je naše razumevanje vpliva visoke nadmorske višine na človeka in z višino povezanih bolezenskih procesov precej omejeno. Izvajanje raziskav je zaradi slabše dostopnosti, negostoljubnega okolja in pomanjkanja finančnega interesa težavno, vendar izjemno pomembno, če želimo izboljšati varnost obiskovalcev in tistih, ki stalno živijo na visoki nadmorski višini. Ker so visokogorska območja večinoma v revnejših državah, je interesa in finančne podpore tovrstnim raziskavam malo. Ravno zaradi tega so vsakršne raziskave življenja človeka na višini dobrodošle, pa tudi če so narejene na manjšem vzorcu preiskovancev. Alpinisti, ki zahajamo v ekstremne višine, lahko z medicinskimi raziskavami najbolj pripomoremo k boljšemu poznavanju vpliva višine na človeka in v prihodnje izboljšamo tudi lastno varnost.

3 Zdravstvene težave slovenskih odprav na Makalu

Člani odprave na Makalu leta 1972 so imeli kar nekaj težav z višinsko boleznijo in omrzlinami, vendar se je k sreči za udeležence odprave vse dobro končalo (Kunaver in sod., 1974). Zaradi bolezni ene izmed udeleženk pa se je skoraj tragično končala alpinistična raziskovalna odprava na Makalu jeseni 2014. Bolezen je bila najverjetneje posledica ravno dolgotrajnega bivanja na visoki nadmorski višini (več kot 35 dni nad 5800 m) (Slika 1), ekstremnega vremena s temperaturo pod $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ter močnim vetrom in velikih naporov (Slika 2). Zdravstvene težave so se pričele 47. dan odprave, dan po sestopu v bazni tabor (5700 m). Alpinistko je zbudilo hitro in globoko dihanje ter občutek pomanjkanja zraka. Težave so se v naslednjih urah hitro stopnjevale z bledenjem vida in postopno izgubo zavesti. Na srečo je bilo na območju Makaluja lepo vreme in v bližini helikoptera, ki je alpinistko v uri po klicu že odpeljal do najbližje zdravstvene postaje v Lukli (2860 m), kamor je prispela pet ur po pričetku težav. V Lukli so se po 20 minutah začetnega zdravljenja (diuretik, kortikosteroid, antibiotik in kisik) odločili za premestitev v bolnišnico v Katmanduju (1400 m). Ob prihodu v bolnišnico je bila nezavestna in neodzivna, s širokimi in nereaktivnimi zenicami, podhlajena s frekvenco srca 45 utripov na minuto in frekvenco dihanja 28 vdihov na minuto. Ker ob prihodu v bolnišnico niso tipali pulzov, so pričeli z zunanjo masažo srca, ki je trajala 10 minut.

Slika 1: Primerjava profila vzpona na Makalu odprave leta 2014 in nekaterih članov odprave leta 1972. (Vir: Avtorja raziskave, 2014; Kunaver in sod., 1974).





Slika 2:

Vzpon proti drugemu višinskemu taboru na višini 7100 m z več kot 20 kilogramov opreme (Foto I. Mrak, 2014).

Sprejemni izvidi so bili komaj še združljivi z življenjem: pH 6,71 (7,37–7,45), $p\text{CO}_2$ 4,1 kPa (4,3–5,7), HCO_3 3,7 mmol/l (21–26), $p\text{O}_2$ 56,4 kPa (9,5–13,9), laktat 9 mmol/l (0,5–2,2). Po krajšem oživljanju je prejela infuzijo tekočine, vazoaktivna zdravila, bikarbonatant, antibiotike, kortikosteroide in vitamine. Po začetnem zdravljenju se je stanje pričelo hitro popravljati, s povrnitvijo zavesti v osmih urah po prihodu v bolnišnico. Kljub normalizaciji stanja pa je ostala okvara vida, ki se je v naslednjih dneh stopnjevala prek izgube barvnega vida do skoraj popolne slepote. Kasneje opravljene preiskave niso pokazale znakov možganskega edema ali krvavitv v mrežnico, ki sta značilna za višinsko bolezen. Ugotovljena je bila le okvara centralnih vlaken optičnega živca, ki jih običajno vidimo ob pomanjkanju kisika. Vid se je sicer sčasoma delno popravil, ostala pa je trajna okvara predvsem centralnega vida. Bolezen na drugih organskih sistemih ni pustila posledic (Mashkovskiy in sod., 2016).

Kljub obširnimi opravljenim preiskavam z današnjim poznavanjem delovanja človeškega telesa na visoki nadmorski višini primera ne moremo povsem pojasniti. Vsekakor je k bolezni pripomoglo dolgotrajno bivanje na visokih nadmorskih višinah in v ekstremnih vremenskih razmerah, ni pa šlo za klasično višinsko bolezen, saj so se težave pojavile ob spustu in ob evakuaciji na nižjo nadmorsko višino niso takoj izzvenele. Popolno sesutje presnove organizma, kot v opisanem primeru, bi lahko bilo posledica pomanjkanja vitaminov, o presnovi katerih, na visoki nadmorski višini, ne vemo veliko.

Podobnega primera v dostopni literaturi še niso opisali, kljub temu, da vsako leto lahko zasledimo več novic o alpinistih, katerih zdravstveno stanje se je ob sestopu hitro poslabšalo s težkim dihanjem in izgubo vida (IANS, 2016; Tapper, 2018; Guzman, 2021). Okvaro vida napačno pripišejo snežni slepoti, težko dihanje višinskemu pljučnemu edemu in višinski bolezni. V večini primerov zaradi pozne prepoznavne resnosti

zdravstvenega stanja, slabih vremenskih razmer in visoke nadmorske višine ni časa ali možnosti za pravočasno evakuacijo. Možno je, da gre za še ne prepoznani medicinski fenomen ali obliko višinske bolezni.

4 Medicinske raziskave slovenskih odprav na Makalu

Ker v visokogorje zahaja vedno več ljudi, so medicinske raziskave vpliva visoke nadmorske višine na delovanje človeškega organizma še toliko bolj pomembne, raziskave pa zaradi oteženega dostopa, ekstremnih vremenskih razmer in omejenega števila prostovoljcev zahtevne in redke.

Pogosto so tudi zdravniki slovenskih odprav v Himalajo s skromnimi razpoložljivimi sredstvi raziskovali vpliv nadmorske višine na človeka. Že na odpravi leta 1972 je zdravnik odprave Borut Pirc opravil meritve krvnega tlaka, srčnega utripa in čas zadrževanja sape ter rezultate alpinistov primerjal z domačini – šerpami, ki so se skozi generacije odlično prilagodili višini. Meritve je večkrat ponovil in ugotavljal, kako se rezultati z aklimatizacijo spreminjajo. V prvem tednu po prihodu v bazni tabor je med alpinisti izmeril povprečno frekvenco 88,6 utripa srca na minuto in krvni tlak 145/95 mm Hg, na višjo nadmorsko višino prilagojeni domačini pa so imeli povprečno frekvenco nižjo (77,4 utripa na minuto) in prav tako krvni tlak (105/75 mm Hg). Znanstveni del odprave, po predvidevanju zdravnika Pirca fizično slabše pripravljen, pa je imel najvišjo frekvenco srca 99,8 utripa na minuto in v povprečju ustrezno višji krvni tlak 155/105 mm Hg. Po dvotedenski aklimatizaciji sta tako srčna frekvenca kot krvni tlak alpinistov postopno upadla na 82,6 utripa na minuto in 130/95 mm Hg (Kunaver in sod., 1974).

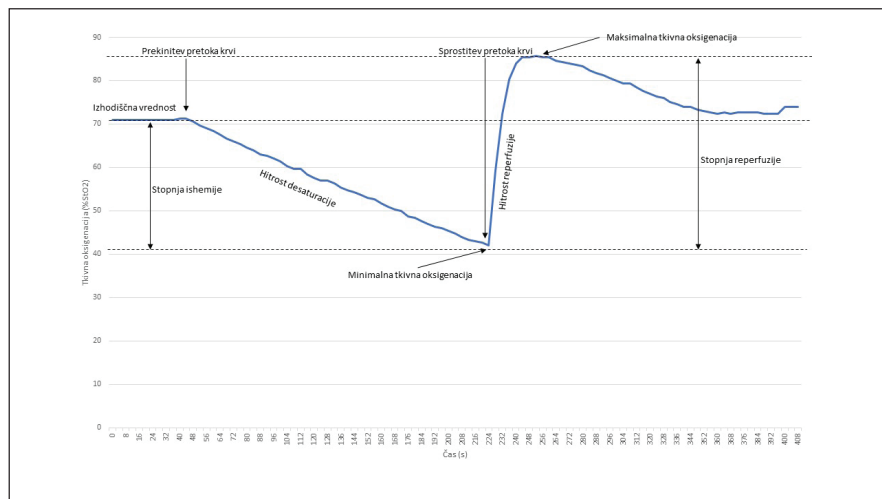
Tudi na odpravi leta 2014 smo pristopili k medicinskim raziskavam. Poleg snemanja visokoločljivostnih elektrokardiogramov – spremljanja električne aktivnosti srca (Slika 3) – smo spremljali spremembe porabe kisika, regeneracijo in prekrvavitve skeletnih mišic z metodo bližnje infrardeče spektroskopije med prekinitvijo prekrvavitve (Slika 4). Z bližnjo infrardečo spektroskopijo lahko izmerimo količino kisika v skeletni mišici, izračunamo hitrost porabe kisika, hitrost regeneracije zaloga kisika in reaktivnost (avtoregulacijo) žilja (Slika 5). Meritev tkivne oksigenacije s prekinitvijo prekrvavitve traja približno pet minut. Na kožo podlakti in dlan se namesti senzor, ki v globini približno 2 centimetrov izmeri delež zasičenosti hemoglobina s kisikom. Z napihovanjem manšete, nameščene na nadlaket, začasno prekinemo pretok krvi preko mišic roke za obdobje treh minut in spremljamo hitrost porabe kisika in regeneracijo ob ponovni vzpostavitvi prekrvavitve.



Slika 3:

Snemanje visokoločljivostnega elektrokardiograma na odpravi na Makalu leta 2014 v višinskem taboru 2 na nadmorski višini 7100 m (Foto I. Mrak, 2014)

Slika 4: Primer posnetka tkivne oksigenacije (StO_2) skeletne mišice z bližnjo-infrardečo spektroskopijo med prekinitvijo pretoka krvi članov odprave Makalu 2014



Legenda: Izhodiščna vrednost – vsebnost kisika v skeletni mišici v mirovanju; Prekinitvev pretoka krvi – trenutek, ko se napihne manšeta, nameščena na nadlaket do pritiska 200 mm Hg in prekine pretok krvi v mišice roke; Hitrost desaturacije – naklon krivulje je odvisen od hitrost porabe kisika v skeletni mišici ob prekinjenem pretoku krvi in odraža presnovno zdravje skeletne mišice; Sprostitev pretoka krvi – trenutek sprostitve manšete na nadlakti in ponovna vzpostavitev pretoka krvi skozi mišice roke; Hitrost reperfuzije – naklon krivulje odraža odzivnost in zdravje mikrocirkulacije; Stopnja reperfuzije – odraža rezervo ožilja (Gerovasili in sod., 2010; Rogers, Banks, Jenkins, 2022).

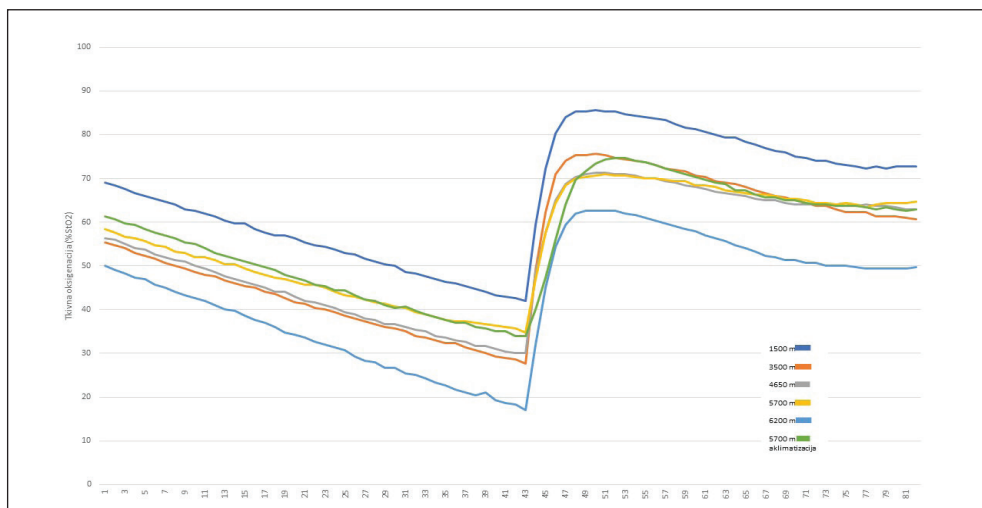
Slika 5:

*Izvajanje meritev
tkivne oksigenacije
s pomočjo
bližnje-infrardeče
spektroskopije
(Foto I. Mrak, 2014)*



Kot večina raziskovalcev vpliva visoke nadmorske višine na človeka smo se tudi mi srečali z glavno težavo takih raziskav – majhen vzorec le treh preiskovancev, kar otežuje interpretacijo rezultatov. V trenutno dostopni objavljeni literaturi so bile meritve tkivne oksigenacije dotlej opravljene na višini 5600 m. Najvišja višina naših meritev je bila 6200 m. Kljub majhnemu številu meritev lahko potrdimo doslej znane ugotovitve (Martin in sod., 2013), da visoka nadmorska višina in aklimatizacija ne vplivata na hitrost porabe kisika v skeletni mišici, kar je razvidno iz enakomerne hitrosti desaturacije ne glede na doseženo nadmorsko višino ali čas bivanja na višini. Še bolj kot v preteklih raziskavah pa smo zaznali slabšanje odzivnosti in avtoregulacijskih mehanizmov ožilja na višjih nadmorskih višinah in ob daljši izpostavljenosti višini, kar je razvidno iz nižje hitrosti reperfuzije ob daljšem bivanju na višini (Slika 6).

Slika 6: Povprečne vrednosti tkivne oksigenacije med testom okluzije žilja, opravljene na različnih nadmorskih višinah in ob različnem trajanju aklimatizacije enega od članov odprave Makalu 2014.



5 Sklep

Visoka nadmorska višina, z manjšo razpoložljivostjo kisika, močnejšim sončnim obsevanjem in nižjimi temperaturami predstavlja pomembno omejitev za človekovo delovanje in življenje. Zdravstvene težave, ki nastopijo ob izpostavljenosti visoki nadmorski višini, imenujemo višinska bolezen.

Tudi slovenske alpinistično-raziskovalne odprave na Makalu so se srečale z zdravstvenimi težavami. Na odpravi leta 2014 je prišlo celo doslej neopisane oblike višinske bolezni, ki je z dosedanjim razumevanjem vpliva višine na človeka ne znamo povsem pojasniti.

Zaradi slabega poznavanja vplivov visoke nadmorske višine na človeka so medicinske raziskave pomemben del alpinističnih odprav v visokogorje. Pri tem smo v okviru možnosti sodelovali tudi slovenski raziskovalci in alpinisti.

Literatura in viri

Gerovasili, V., Dimopoulos, S., Tzanis, G., Anastasiou-Nana, M., Nanas, S., 2010. Utilizing the vascular occlusion technique with NIRS technology. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40, 2, str. 218-222. DOI: 10.1016/j.ergon.2009.02.004.

Goslar, T., 2017. Stalna poselitev na veliki nadmorski višini. *Geografski Obzornik*, 64, 3/4, str. 48–52.

- Guzman, J. 2021. American climber is one of two who have died on Mount Everest after snow blindness, exhaustion. *Changing America*. URL: <https://thehill.com/changing-america/well-being/553396-american-climber-is-one-of-two-who-have-died-on-mount-everest/> (citirano 16. 4. 2023)
- IANS (Indio-Asian news service). 2016. Indian climber Rajib Bhattacharya dies while descending Nepal peak. *The Indian express*. URL: <https://indianexpress.com/article/india/india-news-india/indian-climber-rajib-bhattacharya-while-descending-mount-dhaulagiri-in-nepal-2810286/> (citirano 16. 4. 2023).
- Kunaver, A., Cedilnik, D., Belak, S., Maležič, M., Jerin, Z., Kunaver, J. 1974. *Makalu*. Mladinska knjiga.
- Martin, D. S., Levett, D. Z. H., Bezemer, R., Montgomery, H. E., Grocott, M. P. W., 2013. The use of skeletal muscle near infrared spectroscopy and a vascular occlusion test at high altitude. *High Altitude Medicine and Biology*, 14, 3, str. 256–262. DOI: 10.1089/ham.2012.1109.
- Mashkovskiy, E., Szawarski, P., Ryzhkov, P., Goslar, T., Mrak, I., 2016. Fulminant high altitude blindness. *Journal of Travel Medicine*, 23, 6. DOI: 10.1093/jtm/taw057.
- Milledge, J., West, J., Schoene, R., 2007. *High Altitude Medicine and Physiology. Wilderness & Environmental Medicine* (4. izdaja). London: CRC Press. DOI: 10.1201/b13371.
- Rogers, E. M., Banks, N. F., Jenkins, N. D. M., 2022. Metabolic and microvascular function assessed using near-infrared spectroscopy with vascular occlusion in women: age differences and reliability. *Experimental Physiology*, 108, 1, str. 123–134. DOI: 10.1113/EP090540.
- Simonson, T. S., 2015. Altitude Adaptation: A Glimpse Through Various Lenses. *High Altitude Medicine & Biology*, 16, 2, str. 125–137. DOI: 10.1089/ham.2015.0033.
- Tapper, J. 2018. French mountaineer rescued from Pakistan's »Killer Mountain«. *The Guardian*. URL: <https://www.theguardian.com/world/2018/jan/28/nanga-parbat-climbers-rescue-french-woman> (citirano 16. 4. 2023).

Povzetek

Jurij Kunaver

Monografija *Dolina Baruna pod Makalujem. Znanstvene raziskave v okviru alpinističnih himalajskih odprav leta 1972 in 2014* je zaradi interdisciplinarnosti domala edinstvena pri nas. Vsaj doslej ne poznamo publikacije, ki bi bila odsev ene ali več alpinističnih odprav v Himalajo, v okviru katerih je bilo izvedeno terensko znanstveno raziskovanje na področju več naravoslovnih ved, vključno z medicinsko. Takega raziskovanja in v tolikšnem obsegu kot leta 1972 ni bilo na slovenskih oz. takrat jugoslovanskih odpravah v tuja gorstva ne prej ne pozneje. Ker je leta 1972 v okviru 4. JAHO (4. jugoslovanske alpinistične odprave v Himalajo) raziskovanje na treh naravoslovnih področjih potekalo hkrati v istih pogojih in v isti pokrajini, se zato spodobi, da so rezultati objavljeni v isti publikaciji. Hkrati pa je to tudi priložnost za objavo raziskav, ki so bile na istem geografskem območju izvedene v času alpinistične odprave leta 2014. Za monografijo smo pridobili devet avtorjev. Trije so geografi, trije biologi, en geolog, en zdravnik in en alpinist ter poznavalec alpinistične zgodovine, udeleženec odprave na Makalu leta 1975 in eden od slovenskih prvopristopnikov na vrh Makaluja čez južno steno.

Monografija nudi priložnost za spoznavanje specifične visokogorske pokrajine iz zelo različnih zornih kotov, kar omogoča celosten pogled na naravne pogoje in njihovo spreminjanje.

Geološke značilnosti Nepalske Himalaje s poudarkom na dolini Baruna pod Makalujem je naslov pregledne študije **Matevža Novaka**. Nepalska Himalaja igra ključno vlogo pri razumevanju tektonike litosferskih plošč, procesov nastanka gora, povratnih procesov med kolizijo celin, tektonskim dvigom, litosfersko deformacijo, metamorfozo, ekshumacijo, erozijo ter tektonsko-podnebnih interakcij, skozi geološko zgodovino do danes. Arhitektura te 2000 km dolge gorske verige je razmeroma preprosta in primerljiva s strukturami prvega reda. Zaradi prečne usmerjenosti večine globokih rečnih dolin na smer orogena je v Himalaji možen tridimenzionalni pogled na sestavo celotne srednje in zgornje Zemljine skorje, predrte z granitnimi magmami, od njihovega izvora v srednji skorji, do zgornjih strukturnih horizontov, vidnih v vrhovih najvišjih gora na svetu. Avtor v prispevku opisuje litološke in strukturne enote na poti iz doline reke Arun, vzdolž celotne doline Baruna do Zgornjega barunskega ledenika pod Makalujem. To je enako prečenju celotnega Himalajskega metamorfnege čela, od spodnjih delov Nižje Himalaje do najvišjih delov Visoke Himalaje. V zadnjih 50 letih je opazen jasen razvoj vede, od klasičnega geološkega kartiranja, do nove generacije geoloških kart, ki temeljijo na multidisciplinarnem pristopu. Klasičnemu terenskemu kartiranju se pridružujejo daljinsko zaznavanje in druge naj sodobnejše tehnike, kot so mezo- in mikrostrukturna analiza, petrologija, mineralna kemija, termobarometrični izračuni in geokronologija. Fokus raziskav se je premaknil s površja v globino, iz opazovanj v interpretacije, od kartiranja do modeliranja. V slovenščini je to doslej najboljše geološki prikaz nepalske Himalaje, še posebej doline Baruna,

ki ima velik pomen za razumevanje tektonike in litologije, pa tudi reliefa tega izjemno zanimivega visokogorskega sveta.

Leta 1972 so se trije raziskovalci pridružili alpinistom in dva meseca spremljali pionirsko in ekstremno alpinistično utiranje poti čez južno steno Makaluja na eni strani in se intenzivno ukvarjali vsak s svojim raziskovalnim področjem na drugi strani. Geograf, geomorfolog **Jurij Kunaver** je prispeval razpravo *Pregled geomorfološkega raziskovanja zgornjega dela doline Baruna pod Makalujem, s poudarkom na letu 1972*. Ta vsebuje rezultate proučevanja izjemno pestro in bogato oblikovanega reliefa visoke himalajske pokrajine, katerega začetki segajo nekaj deset milijonov let v geološko preteklost. Današnje podobo je himalajski visokogorski relief dobil v nekaj zadnjih desetih stotisočletjih, ko so pod težo himalajskih ledenikov nastajale današnje himalajske visokogorske ledeniške doline, tudi dolina Baruna. V razpravi je poleg podrobnejšega opisa reliefnih značilnosti dna doline predstavljena zlasti problematika terenskega razpoznavanja ledeniško nastalih reliefnih oblik. Še posebej izstopa problematika njihovega datiranja. Metodologija absolutnega določanja starosti ledeniških sedimentov je bila v zadnjih desetletjih uporabljena tudi v dolini Baruna, s čimer se uvršča med bolj raziskana območja Himalaje. V geografskem smislu spada ta dolina, skupaj z Makalujem, v območje najvišjih gora na svetu, z Mount Everestom na čelu. Avtor je pred petdesetimi leti stal pred izjemnim izzivom, raziskati in razložiti relief, ki ga pred njim razen francoskega geologa Bordeta še ni nihče. Pozneje se je raziskovanje močno intenziviralo, čemur so sledile številne objave. Avtor v geomorfološki razpravi, ki je v monografiji najobsežnejša in napisana na osnovi neobjavljenega elaborata iz leta 1974, podaja pregled pomembnejših dosežkov iz tega obdobja, iz česar je razviden zanimiv razvoj geomorfološke metodologije. Nekaj temeljnih terenskih najdb iz leta 1972, ki jih tudi pozneje niso omenjali, ostaja pomemben in originalni raziskovalni dosežek. Besedilo dopolnjujeta dve preglednici, šestdeset fotografij in geomorfološka karta. Fotografije imajo velik dokumentacijski pomen, saj v primerjavi z današnjim stanjem pričajo, kakšna je bila dinamika razvoja reliefa in poledenitve, kot posledica segrevanja ozračja in kasnejših, tudi katastrofalnih sprememb v dolini Baruna v zadnjih petdesetih letih. Podoben pomen ima tudi geomorfološka karta, ki služi razumevanju razporeditve in nastanka geomorfoloških pojavov.

Irena Mrak in **Tomaž Goslar** v svojem prispevku obravnavata *Spremembe obsega ledenikov na širšem območju Himalaje – primer proučevanja južnega ostenja Makaluja s pomočjo slikovnega gradiva iz let 1972 in 2014*. Poudarek je na pregledu literature in virov o dinamiki poledenitve na širšem območju Himalaje in na študiju primera. To je južna stena Makaluja: primerjava obsega ledenikov leta 1972 in 2014, s pomočjo fotografij in terenskih opazovanj. Prispevek predstavlja južno ostenje Makaluja, kjer je bila leta 1972 izpeljana Jugoslovanska alpinistična odprava, ki je del svojega delovanja namenila tudi raziskovalnemu delu na področju naravoslovja. Odprava na Makalu leta 2014 je bila prav tako alpinistično-raziskovalna in se je med drugim posvetila preveritvi obsega ledenikov s primerjavo ponavljajočih se fotografiranj in fotografij iz obeh obdobj.

Matej Blatnik je avtor razprave *Značilnosti rastlinstva v Nepalu s poudarkom na dolini Baruna pod Makalujem*. Leta 2014 je bilo vzporedno z alpinistično odpravo na Makalu opravljenega tudi nekaj raziskovalnega dela nad zgornjo drevesno mejo, v okoli-

ci planine Šeršon, na višinah med 4800–4900 m, s poudarkom na meliščih. Na njih uspevajo rastlinske vrste, ki so prilagojene zahtevnim vremenskim razmeram (nizke temperature, izpostavljenost vetru, kratko rastno obdobje) kakor tudi neugodnim geomorfnim pobočnim procesom (padajoče kamenje, pojav snežnih plazov, soliflikcijsko premikanje kamnite podlage). V tem okolju je avtor na dveh meliščih velikosti okoli 3 ha našel 20 različnih rastlinskih vrst. Večina teh rastlin je na zahtevne pogoje prilagojena z globokim koreninskim sistemom in usnjatimi listi, pogosto prekritimi z dlačicami, pri nekaterih vrstah tudi z bodicami. Značilna je gosta blazinasta razrast, ki pomaga zadrževati vodo in obstanek na nestabilni podlagi. V dolini Baruna postaja človek vse pomembnejši neposredni in posredni povzročitelj sprememb v naravi. Splošne podnebne spremembe vplivajo na rastiščne pogoje, konkretno na dviganje rastlinskih pasov, zlasti na dviganje zgornje drevesne meje. Naraščajoče temperature spreminjajo pretočni režim ledeniških rek in nastajanje novih ledeniških jezer.

Rastlinstvo Himalaje skozi zapise prof. dr. Toneta Wraberja je naslov prispevka **Jožeta Bavcon**a in **Blanke Ravnjak** o dr. Tonetu Wraberju in njegovem raziskovalnem delu v Himalaji, zlasti leta 1972. Wraber je za seboj pustil bogato strokovno zapuščino, kot so dnevniki, objave v reviji *Proteus* (od 33 do 36 oziroma 1971 a, b, c, d, e, 1972, 1973, 1975). Shranjene so še tri rokopisne beležnice, obsežna diateka s 150 diapozitivi z odprave leta 1969, okrog 600 diapozitivi z odprave leta 1972 in okrog 560 diapozitivi iz leta 1995. Leta 1980 je Wraber obiskal Nepal in Cejlon in svoje popotovanje podrobneje opisal v samostojnem zvezku.

Janez Gregori je prispeval razpravo *Zoološke raziskave v dolini Baruna pod Makalu-jem*. Zaradi svojega biogeografskega položaja in ekstremnih življenjskih pogojev je območje Baruna zanimivo tudi za spoznavanje živalskega sveta. Avtor je zbral manjšo zbirko sesalcev (46 primerkov) in ptic (65 primerkov) ter njihovih ektoparazitov. Živalski material, zbran na Himalaji, ima veliko znanstveno vrednost. Tu se stikata palearktična in orientalska favna in se med seboj bolj ali manj mešata, oziroma se odražajo vplivi ene in druge. Ker favna Slovenije pripada palearktičnemu območju, je himalajski material pomemben za primerjave. Material je bil zbiran med 3700 do približno 5200 m, na območju Bararate Himal in Kumbakarna Himal.

Viktor Grošelj je avtor prispevka *Alpinistična zgodovina Makaluja*. Makalu je s svojimi 8481 metri peta najvišja gora sveta. Njegova samostojna lega na vzhodu Nepala, med Everestom in Kančendzengo, mu upravičeno daje pridih veličine in nedostopnosti. Prve posnetke gore je v Evropo prinesla Howard-Burrijeva odprava na Everest leta 1921. Makalu je takrat najbolj pritegnil pozornost francoskih plezalcev, ki so Tibetance zaprosili za dovoljenje za poskus vzpona na vrh, a ga niso dobili. Plezalna zgodovina Makaluja se je začela šele po drugi svetovni vojni, leto po osvojitvi Everesta. Vrh so leta 1955 v odmevni odpravi osvojili francoski alpinisti pod vodstvom Jeana Francoja. Do leta 2022 je bilo na Makaluju preplezanih dvanajst prvenstvenih smeri ali variant. Med njimi ima prav naša (Jugoslovanska) smer preko južne stene izjemno veljavo in ugled. Problem centralnega dela zahodne stene tudi danes predstavlja enega največjih izzivov Himalaje. Slovenci smo na Makalu skušali splezati v kar sedmih različnih odpravah. Na vseh je bila v ospredju želja na gori opraviti nekaj novega. To je bil eden glavnih razlogov, da smo bili le enkrat uspešni. A slovensko himalajsko plezanje je z Makalujem povezano bolj kot s katerim koli drugim osemtisočakom. Pod njim, v

njegovi južni steni, leta 1975 pa tudi na vrhu, sta se rodili vizija in usmeritev, ki sta v naslednjih letih Slovenijo odločno postavili na himalajski zemljevid sveta. Sčasoma pa jo v svetovnem himalajskem vrhu utrdili kot eno vodilnih držav na tem področju.

Vpliv visoke nadmorske višine na človeka in prilagoditve nanjo je naslov razprave **Tomaza Goslarja** in **Irene Mrak**. Na alpinistični odpravi na Makalu leta 2014 je bila priložnost za nekatere medicinske raziskave, na primer snemanje visokoločljivostnih elektrokardiogramov, spremljanje sprememb porabe kisika, regeneracije in prekrvavitve skeletnih mišic. Glavna težava je bila majhen vzorec, kar omejuje interpretacijo rezultatov. Kljub majhnemu številu meritev lahko potrdimo doslej znane ugotovitve, da visoka nadmorska višina in aklimatizacija ne vplivata na hitrost porabe kisika v skeletni mišici. Na večjih nadmorskih višinah in ob daljši izpostavljenosti višini smo zaznali slabšanje odzivnosti in avtoregulacijskih mehanizmov ožilja. Naše razumevanje vpliva visoke nadmorske višine na človeka in z višino povezanih bolezenskih procesov je še vedno precej omejeno. Poznavanje tega je izjemno pomembno, če želimo izboljšati varnost obiskovalcev in tistih, ki stalno živijo na visoki nadmorski višini.

Summary

Jurij Kunaver

The monograph *The Barun valley beneath Makalu. Scientific field research within the framework of the Himalayan climbing expeditions in 1972 and 2014* is almost one of a kind in Slovenia due to its interdisciplinarity. To date, we are not aware of a publication that represents one or more mountaineering expeditions in the Himalaya during which scholarly field research was carried out in various branches of the natural sciences, including medicine. This kind of research, and on the scale on which it was conducted in 1972, was not done on Slovene (or, at the time, Yugoslav) expeditions in mountains abroad, neither before nor after. In 1972, within the framework of the 4th JAHO (4th Yugoslav Mountaineering Expedition in the Himalaya), research was conducted simultaneously in three disciplines in the natural sciences under the same conditions and in the same landscape. It is therefore fitting that this research appears in the same publication. This is also an opportunity to publish research carried out in the same geographic area during the 2014 mountaineering expedition. For this monograph, we have gathered nine authors. Three authors are geographers, three biologists, one a geologist, one a medical doctor, and one mountaineer and an expert in the history of mountaineering, a participant in the 1975 Makalu expedition and one of the first Slovenian climbers to reach the summit of Makalu via the southern face.

The monograph offers the opportunity to learn about a specific high-altitude landscape from a wide variety of perspectives, providing a holistic view of environmental conditions and how they are changing.

“Geological Features of the Nepal Himalaya with Emphasis on the Barun Valley below Makalu” is the title of a survey study by **Matevž Novak**. The Nepal Himalaya plays a key role in understanding lithospheric plate tectonics, mountain-building processes, reciprocal processes during continental collision, tectonic uplift, lithospheric deformation, metamorphism, exhumation, erosion, and tectonic-climatic interactions through geological history to the present. The architecture of this 2000-kilometer-long mountain chain is relatively simple and comparable to first-order structures. The transverse orientation of most deep river valleys on the direction of the orogen in the Himalayas provides a three-dimensional view of the composition of the entire middle and upper crust of the Earth, permeated by granitic magmas, from their origin in the middle crust to the upper structural layers visible in the summits of the world’s highest mountains. The author describes the lithological and structural units along the path from the Arun River valley, along the entire Barun Valley, and to the Upper Barun glacier below Makalu. This is equivalent to traversing the entire Himalayan metamorphic front, from the lower parts of the Lower Himalaya to the highest parts of the High Himalaya. Over the last fifty years, the field has clearly been evolving, from classic geological mapping to a new generation of geological maps using a multidisciplinary approach. Traditional field mapping is combined with remote sensing and other state-of-the-art techniques such as meso- and microstructural analysis,

petrology, mineral chemistry, thermobarometric calculations, and geochronology. The focus of research has shifted from surface to depth, from observations to interpretations, from mapping to modeling. This is the most comprehensive geological account of the Nepal Himalaya, especially the Barun Valley, in Slovenian to date and is of great importance for understanding the tectonics and lithology of this fascinating high-altitude world.

In 1972 three researchers joined the mountaineers and spent two months following the trailblazing and extreme climbing route across the south face of Makalu while at the same time working intensively on their individual areas of research. The geographer and geomorphologist **Jurij Kunaver** published a paper entitled “*Overview of the Geomorphological Survey of the Upper Barun Valley below Makalu, with Emphasis on the Year 1972*” It contains the results of the study of the extremely varied and richly shaped relief of the high Himalayan landscape, which dates back tens of millions of years in geologic history. The Himalayan high relief developed its present form over the last tens to hundreds of thousands of years, when the present-day Himalayan high-altitude glacial valleys, including the Barun Valley, were formed under the weight of Himalayan glaciers. In addition to a more detailed description of the relief features of the valley floor, the paper mainly deals with the problem of field identification of glacially formed relief features. The issue of their dating is particularly prominent. The methodology for determining the absolute age of glacial sediments has also been applied in the Barun Valley in recent decades, making it one of the better-studied areas of the Himalaya. Geographically, this valley, together with Makalu, is among the highest mountains in the world, with Mt. Everest at the top. Fifty years ago, the author was faced with the extraordinary challenge of exploring and describing a terrain that had never been explained before, except by the French geologist Bordet. This research intensified thereafter and was followed by numerous publications. In the article on geomorphology, which is the most extensive in the monograph and is based on an unpublished paper from 1974, the author gives an overview of the most important achievements of this period, which shows an interesting development of geomorphological methodology. Some fundamental findings in the field research from 1972 (which have not been mentioned since) remain an important and original research achievement. The text is accompanied by two tables, sixty photographs, and a geomorphological map. The photographs are of great documentary value because they show, in comparison with present conditions, the dynamics of the development of relief and glaciation as a result of atmospheric warming and the subsequent, even catastrophic, changes in the Barun Valley over the last fifty years. The geomorphological map is similarly important in understanding the distribution and origin of geomorphological phenomena.

Irena Mrak and **Tomaž Goslar’s** contribution discusses “*Changes in the Extent of Glaciers in the Wider Himalaya – A Case Study of the Southern Face of Makalu Using Imagery from 1972 and 2014.*” This article focuses on a review of literature and sources on glaciation dynamics in the Greater Himalayan Region along with a case study. This example is the south face of Makalu: a comparison of glacier volume in 1972 and 2014 using photographs and field observations. Paper examines the south face of Makalu, where the 1972 Yugoslav mountaineering expedition was carried out, part of which was devoted to research in the natural sciences. The 2014 expedition to Makalu was

also a mountaineering and research expedition, and in the latter part of the expedition, it focused, among other things, on investigating the extent of the glaciers by comparing recurrent photography and images from the two periods.

Matej Blatnik is the author of the paper "*Characteristics of Vegetation in Nepal, with Emphasis on the Barun Valley below Makalu.*" In 2014, in parallel with the Makalu mountaineering expedition, research was carried out above the tree line, near Mt. Shershong, at altitudes ranging from 4800 to 4900 meters, with a focus on scree slopes. They support plant species that are adapted to both harsh weather conditions (low temperatures, exposure to wind, short growing season) and adverse geomorphic slope processes (falling rocks, the occurrence of avalanches, shifting bedrock). In this environment, the author found twenty different plant species on two scree slopes of about 3 hectares. Most of these plants are adapted to the harsh conditions with deep root systems and leathery leaves, often covered with trichomes and, in some species, spines. They are characterized by dense, cushion-like growth, which helps to retain water and to persist in unstable ground. In the Barun Valley, humans are becoming an important direct as well as indirect factor, influencing the growing conditions by increasing air temperature and, consequently, raising vegetation belts, in particular raising the upper tree line. Rising temperatures alter the flow regime of glacial rivers and the formation of new glacial lakes.

"*The Flora of the Himalaya through the Writings of Prof. Dr. Tone Wraber*" is the title of a contribution by **Jože Bavcon** and **Blanka Ravnjak** on Dr. Tone Wraber and his research work in the Himalaya, especially in 1972. Wraber left behind a rich professional legacy, including diaries and publications in the journal *Proteus* (from volumes 33 to 36 or 1971 a, b, c, d, and e; 1972; 1973; 1975). There are also three handwritten notebooks and a large slide library with 150 slides from the 1969 expedition, about 600 slides from the 1972 expedition, and about 560 slides from the 1995 expedition. In 1980 Wraber visited Nepal and Sri Lanka and described his journey in detail in a separate notebook.

Janez Gregori contributed an article entitled "*Zoological Research in the Barun Valley below Makalu*" Due to its biogeographical position and extreme living conditions, the Barun area was also appealing from a scientific point of view. The author assembled a small collection of mammals, 46 specimens, and 65 bird specimens and collected ectoparasites from them. The animal material collected in the Himalaya is of great scientific value. Palearctic and Oriental fauna meet here and essentially mix with one another, or, rather, the influences of both are evident. Since the fauna of Slovenia belongs to the Palaearctic zone, the Himalayan material is important for drawing comparisons. The material was collected between 3700 and about 5200 m.a.s.l., in the Bhararate Himal and Khumbakarna Himal.

Viktor Grošelj is the author of the article "*The Mountaineering History of Makalu*" At 8481 meters, Makalu is the fifth highest mountain in the world. Its isolated location in eastern Nepal, between Everest and Kanchenjunga, justifiably gives it an air of grandeur and inaccessibility. The first images of the mountain were brought to Europe by the Howard-Bury Everest Expedition in 1921. At that time, Makalu particularly attracted the attention of French climbers, who asked the Tibetans for permission to attempt the summit but were refused. The climbing history of Makalu did not begin

until after the World War II, one year after Everest was conquered. In 1955 the peak was ascended in a high-profile expedition of French mountaineers led by Jean Franco. By 2022 twelve new routes or variants had been climbed on Makalu. Among them, our (Yugoslav) route over the south face still has a high reputation and standing. The difficulty of the central part of the west face still poses one of the greatest challenges in the Himalaya today. Slovenians have attempted to climb Makalu on seven different expeditions. On all of them, the central aim was to accomplish something new on the mountain. This was one of the main reasons we were only successful once. But Slovenian Himalayan climbing is more closely linked to Makalu than to any other eight-thousanders. Under Makalu, on its south face, and then on its summit in 1975, a vision and trajectory were born that in the following years firmly put Slovenia on the world map of Himalayan expeditions. Eventually, this vision and trajectory established Slovenia as one of the leading countries in summiting the Himalaya.

"The Impact of High Altitude on Humans and Adaptations to It" is the title of the essay by **Tomaž Goslar** and **Irena Mrak**. The 2014 Makalu mountaineering expedition provided an opportunity for medical research, such as recording high-resolution electrocardiograms, monitoring changes in oxygen consumption, and the regeneration of and blood circulation in skeletal muscles. The main problem was the small sample size, which limits the interpretation of the results. Despite the low number of measurements, we can confirm the previously reported findings that high altitude and acclimatization do not affect the rate of oxygen consumption in skeletal muscle. At higher altitudes and with prolonged altitude exposure, we detected a deterioration of vascular responsiveness and autoregulatory mechanisms. Our understanding of the impact of high altitude on humans and altitude-related disease processes is still quite limited. Knowledge of this is crucial if we are to improve the safety of visitors and those who live permanently at high altitude.

Stvarno kazalo

A

Afrika 157
 Aljaska 180
 Alpe 65, 81, 144, 153, 159
 Ama Bučung 62, 79
 Amerika 157
 Anapurna 141, 151, 152, 154, 158, 159,
 185, 187
 Apsuva Kola 74
 Ararat 9, 119
 Arun 11, 17, 19, 20, 22, 24–26, 43, 66,
 69, 71–74, 77, 106, 127, 135, 139,
 142–145
 Arun Nadi 106
 Azija 13, 46, 64, 102, 144, 173, 180

B

Bagare 28
 Balkan 153
 Baluwabesi 25
 Bararata Himal 70, 72, 80, 108, 117, 165,
 166, 168–170, 172–182
 Barun 9–11, 13, 18, 20, 22, 28, 33, 41,
 42, 57, 58, 60, 61, 64–81, 83, 85–87,
 89, 96, 100, 102, 104–109, 112, 113,
 117–119, 123, 127, 128, 135, 142,
 143, 146, 147, 152, 159, 165, 166,
 168–170, 172–181, 185, 186
 Barun Bazar 72, 106
 Barun Kola Kuhle (Barun Nadi) 70, 71,
 74
 Barun La 66, 68, 72, 76, 94, 188
 Barun (Dud) Pokri 34, 64, 70–72, 76, 79,
 87, 94, 103, 104, 106, 118
 Baruntse 22, 34, 67, 68, 105
 Berner Oberland 81
 Bihar 19
 Bližnji vzhod 11
 Bote Kosi 71
 Budov vrt 68, 87, 89–91, 93–96, 100,
 103, 104, 107, 118
 Butan 14, 28

C

Cejlon (Šrilanka) 152
 Chainpur 9
 Chomolonz 37
 Cho Oyu 22, 37

Č

Čago 34, 68
 Čamlang 72, 74, 105, 186
 Činama La 65, 66, 94, 116
 Čo Polu 37
 Čo jang Kola 72
 Čola Kola 60
 Čomolungma/Čumulangma (nep.
 Sagarmāthā, ang. Mount Everest)
 68
 Čomo Lenzo 185

D

Darjeeling 19
 Dhaulagiri 141
 Djak 62, 83
 Dobang 154
 Dolpa 10
 Dud Kosi 71
 Dusa 103

E

Evrazija 15, 16
 Evropa 11, 67, 144, 158, 185

F

Francija 151

G

Ganges 22
 Gondvana 16
 Goričane 9
 Gorka Himal 108

H

Himalaja 9, 11, 13–20, 22, 36, 41–43, 45,
46, 59, 64, 67, 68, 73, 78, 81, 102, 104,
108, 119, 125, 132, 136, 138–140, 142,
143, 151–156, 159–161, 165, 171, 173,
178, 180, 182, 183, 187–190, 193, 199

Hongu 66

Hunku 69

I

Imja 69

Imja Khole 20

Indija 14, 46, 135

Indravati 71

Indsko-Gangeško nižavje 15, 17

Irkhua Khola 25

Isva Kola 66, 72, 74

Isva La 72

J

Jangle 60, 61, 65, 75, 78, 79, 81, 82, 112,
166, 172, 177

Japonska 10

Japonsko sedlo 79

Jugoslavija 11, 190

Julijske Alpe 119

Južna Koreja 10, 11

K

Kalo Pokri 72,

Kangbačen 9, 151

Kangchung 37

Kangčungtse 68

Kančendzenga 185, 186, 187

Kanin 116

Karakorum 59, 60, 108, 126

Kasuva Kola 72

Katmandu 66, 197

Kechana Kalan 135

Khandbari 24

Kharta 25

Khumbutse 37

Kikuto Katok 69

Kitajska 10, 136, 152, 180

Kumbakarna Himal 20, 57, 64, 68, 72,
165, 166, 168, 169, 171–182

Kumbu 60, 66, 67, 69, 94, 96, 102, 103,
107–109

Kumbu Himal 69

L

Langmale 60, 76, 85, 93, 113

Lauterbrunnen 81

Lingten 103

Ljubljana 151

Lobu 96

Lotse 20, 41, 90

Lukla 197

M

Mahabharat Lekh 135, 138, 139

Mahalangur Himal 71

Makalu (Maha Kala) 9, 10, 13, 18–20, 22,
24, 26, 34, 37, 38, 41–43, 45, 46, 57,
58, 60, 64–69, 71–74, 79, 86, 102, 104,
109, 117, 119, 125–128, 132, 135,
142, 143, 145, 151, 152, 154, 155,
158, 159, 165, 166, 183, 185–193,
197, 199, 202

Makalu La 68, 185

Malezija 11

Manang 9, 11, 154, 155

Manaslu 37

Marsiandi 158

Matterhorn 67

Mera Kharka 105

Mombuk 65, 71, 72, 75, 76, 78–80

Montpellieru 151

Mount Everest 16, 18, 19, 20, 22, 28, 34,
37, 41, 45, 66–69, 71, 72, 90, 96, 102,
103, 108, 142, 185, 186, 195

N

Namche Bajar 33

Nanga Parbat 126

Narodni park Sagarmatha 10

Ne 61, 64, 65, 70, 75, 79–83, 93, 105,
112, 165, 166, 168–171, 173–182

Nepal 9, 10, 11, 13, 14, 16–20, 22, 26,
28, 34, 37, 46, 60, 64, 66, 67, 69, 71,
72, 102, 108, 135–142, 147, 152, 154,
155, 156, 161, 169, 170, 171, 173–
181, 185, 186

Nghe Kharka (Nhe Kharka) 70
 Num 46, 73
 Nuptse 20, 37, 90

P

Pakistan 126
 Parbati 61
 Pemmi 18
 Pengmala 113
 Pethangtse 71
 Podhimalaja 15
 Pokhara 154

R

Ramron 75, 76
 Rapiu La 68
 Ripu 83, 93
 Rongbuk (tudi Rongphu) 19

S

Sadema (Dhara Kharka) 28
 Sagarmatha 68
 Saldima Kola 74
 Sankt Peterburg 169, 183
 Sankuwasabha 10, 71, 152
 Sapt Kosi-Sedmerorečje 71
 Sedua 66, 68
 Shishapangma 18
 Sikkim 19, 22, 28
 Siwalik (tudi Churia Hills) 17, 135, 136,
 138
 Slovenija 11, 159, 165, 183, 190, 193
 Solo Kumbu 68
 Sunkosi 71

Š

Šeršon 32, 76, 85, 86, 89, 90, 93, 94,
 103–105, 118, 119, 147, 166, 173, 181
 Šeršontam 96, 100
 Šiptong La 46, 108
 Šiva Dara 61

T

Tamba Kosi 71
 Tamor (Tambar) 17–19
 Tamur 71, 139
 Terai 135, 138

Tetida 15, 17, 22
 Tibet 13, 25, 37, 68, 71, 102, 104, 142,
 155, 178, 186
 Transhimalaja 15
 Tring 183
 Trisul 187
 Trst 151
 Tumlingtar 24, 46, 187
 Turkestan 159
 Tutse 80

V

Velika Britanija 158

W

West Barun 10

Y

Yarlung Tsangpo 19

Z

Zagreb 161
 Zemlja 16, 20, 45, 72, 73, 125

Imensko kazalo

A

Adhikari, D. 15, 17, 18
 Adlakha, V. 17
 Ale, R. 136–142
 Alston, A. H. G. 152
 Anderson, V. 192
 Andlovič, J. 151
 Arai, T. 192
 Arita, K. 26, 43
 Asami, M. 69
 Auden, J. 19
 Ažman, J. 187–189

B

Bačič, M. 154, 155, 160
 Barclay, C. 155
 Batard, M. 191
 Bajracharya, S. R. 152
 Beaumont, C. 43, 44
 Beghin, P. 191
 Belak, Stane (Šrauf) 187, 189
 Benna, P. 17, 22, 24–26, 29, 34
 Bešlin, Z. 189
 Bishop, B. C. 69
 Blacker, L. V. S. 68
 Blagus, R. 192
 Blatnik, M. 145
 Bollinger, L. 43
 Bolotov, A. 192
 Bonner, C. E. B. 152
 Bordet, P. 16, 17, 20, 22, 24–26, 28, 33,
 34, 37, 41, 42, 57, 66, 69, 86, 94, 102,
 103
 Bortolami, G. 20, 34, 41
 Brelih, S. 165, 168, 183
 Brojan, J. 187
 Broz, J. (Tito) 190
 Brunel, M. 26, 29
 Büchler, L. 68, 103, 107
 Bugačevski, I. 192
 Burchfiel, B. C. 16, 41, 43
 Burg, J. P. 22

Butler, D. R. 127

Byers, A. C. 10, 59, 61, 68, 146, 152

C

Cairns, D. M. 136, 142, 143, 146
 Camprubi, J. 190
 Carosi, R. 14, 16, 18, 20, 22, 24, 34, 37
 Carpenter, C. 59–61, 136, 137, 142, 143
 Cassidy, E. 137
 Cedilnik, D. 187, 188
 Cerney, D. L. 127
 Chhetri, P. K. 136, 142, 143, 146
 Cleare, J. 185
 Corrie, S. L. 22
 Cottle, J. M. 14
 Couzy, J. 185
 Czok, A. 191

D

Daniel, M. 69
 DeCelles, P. G. 26
 Desmond, R. 156
 Dhital, M. R. 17, 24, 41, 136
 DiPietro, J. A. 15
 Dovžan, J. 189
 Dow, D. 68
 Drašler, K. 151
 Dunmire, W. 68

E

Embleton, C. 100
 Emmer, A. 22, 127
 Ermančuk, J. 192
 Evans, C. 68

F

Fairbridge, R. W. 100
 Ferrero, S. 22
 Finsterwalder, R. 126
 Fort, M. 68, 102, 108, 109
 Foster, D. A.,
 Franco, J. 68, 69, 185, 186, 193

G

Gansser, A. 15, 16, 19, 20, 27, 29, 37
 Garzanti, E. 16
 Gavrilovič, D. 96
 Gernandt, D. S. 158
 Gill, M. B. 69
 Godin, L. 15, 44, 45
 Golob, L. 151
 Goscombe, B. 14, 16, 22, 24, 26–29, 34, 41, 43
 Goslar, T. 192, 195, 196
 Govil, K. 137, 138
 Gray, D. 168, 170
 Gregori, J. 9, 63, 165, 168, 183, 187
 Groppo, C. 16, 17, 22, 26, 29, 43
 Grošelj, V. 151, 189, 190
 Grujic, D. 44
 Gurung, N. 127
 Gurung, S. B. 137
 Guzman, J. 198

H

Hagen, T. 20, 60, 72
 Hand, M. 22, 26, 28, 29
 Hara, M. 69
 Harrison, J. 43, 69
 Heim, A. 16, 19, 27
 Heo, Y. H. 191
 Heron, A. M. 18, 19
 Hewitt, K. 128
 Hillary, E. 66, 68, 185, 186
 Hodges, K. V. 17, 24, 26, 37
 Högbom, B. 100
 Hooker, J. 18, 156, 158
 House, S. 192
 Howard-Burry, C. 185

I

Imayama, T. 26, 29

J

Jamamoto, A. 192
 Jaroš, J. 20
 Jayal, N. 68
 Jerin, Z. 9, 152, 187
 Jessup, M. J. 13, 16, 26, 41, 43–45

Jogan, J. 160
 Johnson H. 158

K

Kačar, U. 165, 168, 183
 Kalvoda, J. 20, 22, 26, 29, 34, 41, 66–69, 71, 79, 102–105, 108, 109, 113, 117–119, 127, 186
 Karki, G. 138, 139, 140, 141
 Kiauta, B. 155
 Kienast, J. R. 26, 29
 King, C. A. M. 100
 Koba, H. 141
 Kohn, M. J. 13
 Komac, B. 145
 Kotnik, I. 189
 Kounický, J. 188
 Krissak, M. 190
 Krivic, B. 190
 Kuhle, M. 59, 66, 68, 70, 85, 103–106, 119
 Kukuczka, J. 191
 Kumzava, M. 186
 Kunaver, A. 9, 11, 67, 69, 120, 187, 189, 190, 197, 199
 Kunaver, J. 9, 11, 41, 42, 60, 64, 95, 103, 109, 113, 135, 136, 151, 187, 188
 Kunstelj, J. 187
 Kuo, S. T. 22
 Kurtyka, W. 191

L

Langille, J. 17, 37, 44
 Larson, K. 14
 Latreille, M. 20, 41, 42, 69
 Lazar, J. 155
 Le Fort, P. 20, 26, 37, 43
 Lindič, L. 192
 Lipušček, R. 120
 Lombard, A. 16, 20, 22, 33
 Lombardo, B. 16, 17, 22, 24–26, 28, 29, 34, 37, 38
 Lorenc, J. 69
 Lorenčič, B. 192
 Love, G. 68
 Lowe, J. 190

M

MacIntyre, A. 191
 Maležič, M. 151, 187–190
 Malla, S. B. 154
 Mallory, G. H. L. 68
 Manfreda, M. 187, 189
 Martin, A. J. 26, 201
 Martinčič, A. 151
 Mashkovskiy, E. 198
 Matsubara, M. 192
 Messner, R. 188–191
 Milledge, J. 195, 196
 Mojzeš, A. 136
 Montomoli, C. 14
 Moro, S. 192
 Mosca, P. 14, 16, 17, 22, 26, 29
 Mrak, I. 42, 192
 Müller, F. 60, 96, 100
 Murata, G. 152

N

Nairz, W. 188
 Norbu, G. 185, 186
 Norbu, P. 191
 Nottaris, R. 191
 Nusser, M. 125, 126

O

Odell, N. 19, 37
 Ogrin, M. 151
 Owen, L. A. 68, 102, 108, 119, 125, 126,
 133

P

Palivcova, M. 20
 Pande, P. 152
 Paragot, R. 69, 187
 Pavlenko, D. 192
 Pelto, M. 126
 Petrov, B. 165, 168, 183
 Phurba, A. 191
 Pirc, B. 187, 199
 Pognante, U. 17, 22, 24–26, 29, 34
 Pogue K. R. 15
 Polino, R. 20
 Praprotnik, N. 151
 Press, J. R. 141

Prezelj, M. 192
 Pugh, L. G. C. E. 69

R

Racoviteanu, A. E. 126
 Rajbhandari, R. K. 152
 Raskoti, B. B. 136–142
 Repe, B. 145
 Richards, B. W. M. 68, 103, 109
 Rolfo, F. 16, 22, 26, 29

S

Sain, K. 17
 Sale, R. 185, 192
 Samant, S. S. 152
 Schelling, D. 15, 17, 22, 24
 Schmidt, S. 125, 126
 Schneider, E. 65–67, 69, 104, 113, 118
 Schoene, R. 195, 196
 Schubert, K. 190
 Searle, M. P. 14–16, 18, 19, 22, 24–26, 28,
 37, 38, 41, 45
 Seliškar, A. 151
 Shipton, R. 68
 Shrestha, A. K. 11
 Shrestha, T. B. 10, 24, 28, 137, 142–144
 Simonson, T. S. 195
 Siri, W. 68
 Sorkhabi, R. 15–17
 Spjut, R. W. 158
 Stammberger, F. 189
 Stöcklin 18, 19
 Streule, M. J. 22, 26, 29, 37
 Strmole, D. 42
 Svetičič, S. 191
 Synge, P. 152, 160

Š

Škarja, T. 191
 Štupnik, F. 187
 Švajger, M. 192

T

Tanabe, O. 192
 Tapper, J. 198
 Terray, L. 69, 185
 Thapa, G. J. 146

Tiwari, A. 137, 141, 142
Treloar, P. J. 14, 18, 19, 37, 45

U

Unsoeld, W. 68
Upreti, B. N. 24, 25, 44
Urubko, D. 192

V

Viallate, A. 69, 186
Viskupic, K. 24
Visonà, D. 17, 22, 29, 37, 38
Volk, J. 69
Vrezec, A. 165, 168, 183

W

Wager, L. R. 18, 73
Wang, E. 14, 45
Wang, J. M. 14–17, 43, 45, 47
Ward, M. 69
Waters, D. 17
Webb, A. G. 43–45
West, J. 195, 196
Williams, L. H. J. 155
Wissmann, H. von 67, 102
Wraber, T. 9, 63, 138, 144, 151, 153, 155,
156, 158–162, 187

Y

Yin, C. H. 22, 26
Yin, A. 15, 17
Yoshida, M. 22

Z

Zaplotnik, N. 189
Zomer, R. 136, 137, 142, 143
Zorn, M. 145

Ž

Žilin, N. 192

Avtorji

Dr. Jože Bavcon, vodja Botaničnega vrta Univerze v Ljubljani, Biotehnična fakulteta, e-pošta: joze.bavcon@bf.uni-lj.si

Dr. Matej Blatnik, Inštitut za raziskovanje krasa, ZRC SAZU, udeleženec alpinistične odprave na Makalu 2014, e-pošta: matej.blatnik@zrc-sazu.si

Janez Gregori, kustos Prirodoslovnega muzeja Slovenije v pok., udeleženec 4. JAHO 1972 na Makalu, e-pošta: janez.gregori@gmail.com

Dr. Tomaž Goslar, Univerzitetni klinični center Ljubljana in Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, udeleženec alpinistične odprave na Makalu 2014, e-pošta: tomaz.goslar@kclj.si

Viktor Grošelj, udeleženec 6. JAHO 1972 in eden od slovenskih alpinistov, ki je leta 1975 dosegel vrh Makaluja, e-pošta: viktor.groselj@guest.arnes.si

Dr. Jurij Kunaver, upok. red. in zaslužni profesor, Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, udeleženec 4. JAHO 1972 na Makalu, e-pošta: jurij.kunaver@siol.net

Dr. Irena Mrak, Fakulteta za varstvo okolja, vodja alpinistične odprave na Makalu 2014, e-pošta: irena.mrak@siol.net

Dr. Matevž Novak, Geološki zavod Slovenije, e-pošta: matevz.novak@geo-zs.si

Dr. Blanka Ravnjak, raziskovalka Botaničnega vrta Univerze v Ljubljani, Biotehnična fakulteta, e-pošta: blanka.ravnjak@bf.uni-lj.si

Doslej izdane publikacije iz zbirke GeograFF

GeograFF 1 – 2008

Matej Ogrin: Prometno onesnaževanje ozračja z dušikovim dioksidom v Ljubljani

GeograFF 2 – 2008

Barbara Lampič: Kmetijstvo v Mestni občini Ljubljana: relikv ali razvojni potencial

GeograFF 3 – 2008

Marijan M. Klemenčič, Barbara Lampič, Irma Potočnik Slavič: Življenjska (ne)moč obrobni podoželskih območij v Sloveniji

GeograFF 4 – 2009

Katja Vintar Mally: Države v razvoju – med okoljevarstvom in razvojnimi težavami

GeograFF 5 – 2009

Več avtorjev: Okoljski učinki prometa in turizma v Sloveniji

GeograFF 6 – 2010

Andrej Černe, Simon Kušar: The System of Indicators for Regional Development, Structure and Potentials

GeograFF 7 – 2010

Irma Potočnik Slavič: Endogeni razvojni potenciali slovenskega podoželja

GeograFF 8 – 2010

Marko Krevs, Dejan Djordjevič, Nataša Pichler-Milanović (ur.): Challenges of spatial development of Ljubljana and Belgrade

GeograFF 9 – 2010

Barbara Lampič, Dejan Rebernik (ur.): Spodnje Podravje pred izzivi trajnostnega razvoja

GeograFF 10 – 2011

Karel Natek (ur.): Mali vodni tokovi in njihovo poplavno ogrožanje Ljubljane

GeograFF 11 – 2011

Irena Mrak: High Mountain Areas and Their Resilience to Tourism Development

GeograFF 12 – 2012

Darko Ogrin (ur.): Geografija stika Slovenske Istre in Tržaškega zaliva

GeograFF 13 – 2014

Dušan Plut: Sonaravni razvoj Slovenije – priložnosti in pasti

GeograFF 14 – 2014

Matej Ogrin, Katja Vintar Mally, Anton Planinšek, Griša Močnik, Luka Drinovec, Asta Gregorič, Ivan Iskra: Onesnaženost zraka v Ljubljani

GeograFF 15 – 2014

Dejan Cigale, Barbara Lampič, Irma Potočnik Slavič, Blaž Repe (ur.): Geografsko raziskovanje turizma in rekreacije v Sloveniji

GeograFF 16 – 2015

Renata Slabe Erker, Barbara Lampič, Tomaž Cunder, Matej Bedrač: Opredelitev in merjenje trajnosti v kmetijstvu

GeograFF 17 – 2015

Tatjana Resnik Planinc, Matej Ogrin, Mojca Ilc Klun: Trajnostna mobilnost v procesu izobraževanja

GeograFF 18 – 2016

Matej Ogrin, Katja Vintar Mally, Anton Planinšek, Asta Gregorič, Luka Drinovec and Griša Močnik: Nitrogen Dioxide and Black Carbon Concentrations in Ljubljana

GeograFF 19 – 2016

Irma Potočnik Slavič, Dejan Cigale, Barbara Lampič, Anton Perpar, Andrej Udovč: (Ne) raba razpoložljivih virov na kmetijah v Sloveniji

GeograFF 20 – 2016

Barbara Lampič, Matej Bedrač, Tomaž Cunder, Maja Klun, Irena Mrak, Renata Slabe Erker: Trajnostna naravnost kmetijstva v slovenskih regijah

GeograFF 21 – 2017

Barbara Lampič, Darko Ogrin (ur.): Ljudje in okoljske spremembe skozi čas

GeograFF 22 – 2017

Darko Ogrin (ur.): Kamniška Bistrica – geografska podoba gorske doline

GeograFF 23 – 2017

Tatjana Resnik Planinc, Matej Ogrin, Mojca Ilc Klun, Kristina Glojek: Implementation of Sustainable Mobility in Education

GeograFF 24 – 2019

Blaž Repe (ur.): Fizična geografija Jezerskega z dolino Kokre

GeograFF 25 – 2022

Matej Ogrin (ur.): Geografski oris občine Loški Potok

GeograFF 26 – 2022

Irma Potočnik Slavič, Tomaž Cunder, Eva Šabec Korbar, Matej Bedrač, Goran Šoster:
Izvajanje pristopa LEADER/CLLD v Sloveniji

GeograFF 27 – 2023

Dušan Plut: Ekosistemska družbena ureditev. Prvi zvezek: podstati in gradniki
ekosistemske družbene ureditve

GeograFF 28 – 2023

Dušan Plut: Ekosistemska družbena ureditev. Drugi zvezek: Slovenija in Evropa

