

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 geomorfnih pojavov in procesov (Cerney, 2010) prav tako pa so primeren pripomoček pri predstavitev 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 geomorfnih 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)



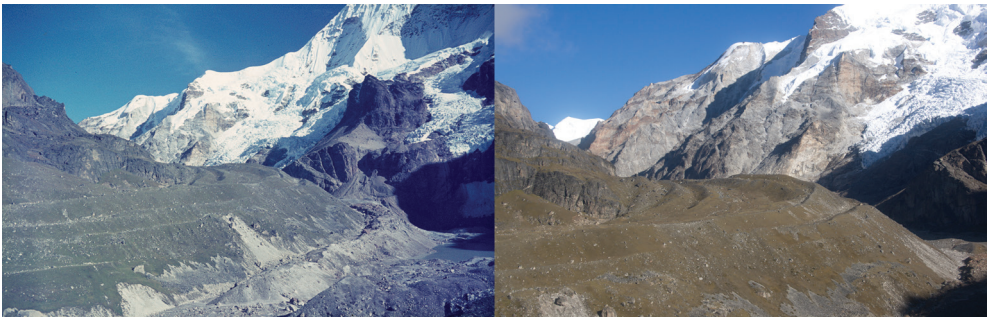
Lokacija fotografiranja: 27°49'42.35"N 87° 4'22.99"E (4830 m).

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)



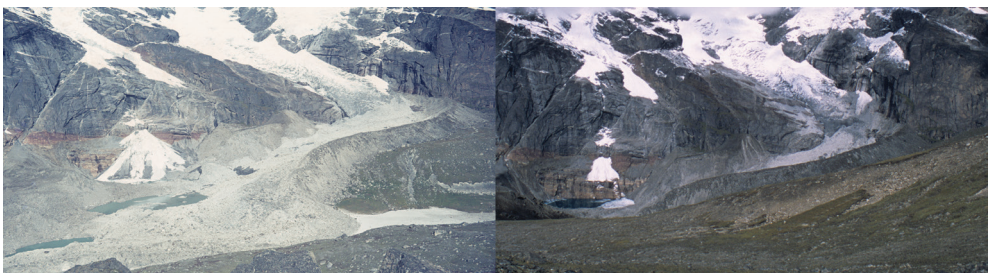
Lokacija fotografiranja: 27°50'13.19"N 87° 5'40.96"E (5602 m)

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)



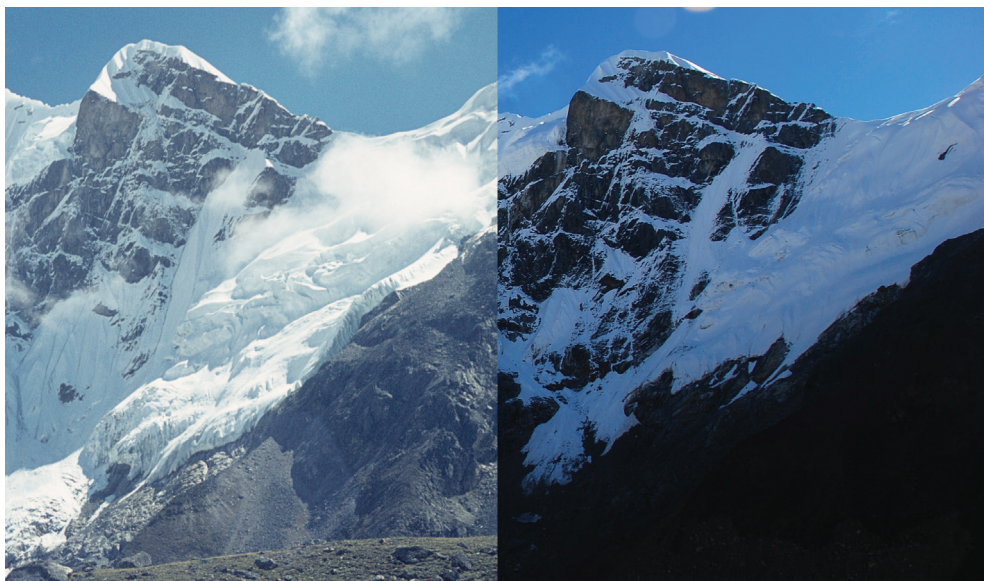
Lokacija fotografiranja: 27°50'13.19"N 87° 5'40.96"E (5314 m)

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)

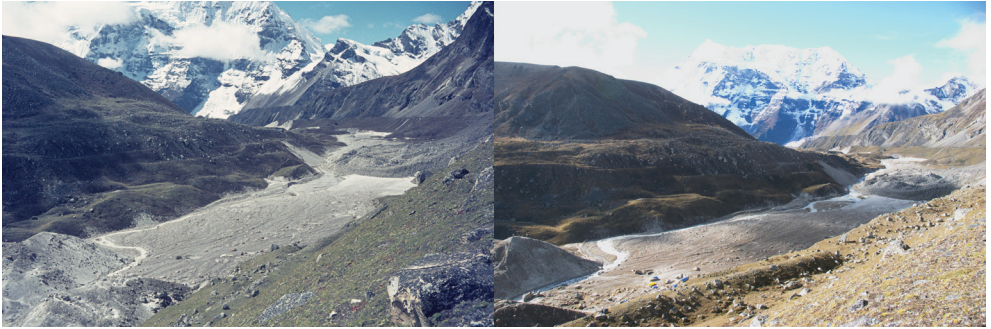
Slika 7: Del južne stene in jugovzhodni greben Makaluja (Foto J. Kunaver, 1972; I. Mrak, 2014)



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.