



Ryhmäkuva ekskursionporukastamme ja intialaisista järjestäjistä. Kuva: Sauli Herva.

Our excursion group and the Indian organizers. Photograph by Sauli Herva.

Kahden mantereen törmäyskurssilla

SGS:n ekskursio Intian Himalajalle 8.–20.6.2012

ELINA LEHTONEN

Aurinkoisena kesäkuun perjantai-iltana Helsinki–Vantaan lentokentän lähtöterminaalista huokui jännitys, kun 37 suomalaista geologia ja geologiasta kiinnostunutta odotteli Delhiin suuntautuvaa lentoa. Olimme aloittamassa Suomen Geologisen Seuran järjestämää ekskursion kohti Himalajan vuoristoa Jammu ja Kashmirin osavaltiossa, Pohjois-Intiassa.

Itse geologinen jännitysnäytelmä, jota

olimme matkalla havainnoimaan, on alkanut 180 miljoonaa vuotta sitten supermanner Gondwanan hajoamisesta. Tapahtumasarja jatkuu nykypäivänä Intian litosfäärilaatan yhä painautuessa Euraasian litosfäärilaataan, jonka seurauksena laaja Himalajan vuoristoryhmä on muodostunut. Himalaja ulottuu Intian, Bhutanin, Kiinan, Nepalín ja Pakistanin alueille. Kuvassa 1 on esitetty ekskursion pääkohteet. Himalajan vuoriston kehityskaari on ollut pitkä ja monimuotoinen, minkä voi päätellä myös

Kuva 1. Kartassa merkittynä ekskursioiden pääkohteet:

1) Gulmarg; 2) Sonamarg; 3) Kargil; 4) Nubra-laakso ja 5) Tso Morari. Kaupungeista Srinagar ja Leh on merkitty karttaan punaisilla palloilla. Lisäksi kartassa näkyy Indus- ja Zaskar-joet. Jammu ja Kashmirin osavaltio on merkitty oranssilla pienemmän karttaan. Ryhmämme lensi Delhistä Srinagariin ja Lehistä takaisin Delhiin ja muutoin liikuimme autoilla. Kartan pohjana käytetty Google Maps -palvelua.



Figure 1. Main destinations of the excursion are plotted on to the map: 1) Gulmarg; 2) Sonamarg; 3) Kargil; 4) Nubra Valley and 5) Tso Morari. Towns of Srinagar and

Leh are marked by red dots. Map also shows position of Indus and Zaskar rivers. The state of Jammu and Kashmir is marked with orange color in the smaller map. Our group flew from Delhi to Srinagar and from Leh back to Delhi, but otherwise travelled by cars. Map modified after Google Maps.

ekskursio-ohjelmastamme: vajaan kahden viikon aikana saimme kattavan perehdytksen mm. sedimenttimuodostumiin, sedimentti-, magma- ja metamorfiisiin kiviin, rakennegeologiaan, kuumiin lähteisiin ja jäätiköihin.

Himalaja on yksi nuorimmista vuorijonoista maapallolla ja sen kehitys jatkuu edelleen. Intian litosfäärilaatan vauhti on vaihdellut geologisessa historiassa useasti (White ja Lister 2012) ja tällä hetkellä Intian litosfäärilaatan on arvioitu matkaavan koilliseen kohti Euraasian litosfäärilaattaa noin 4 cm vuosivauhdilla. Vauhdin vaihteluun on esitetty monia syitä, mutta yksi mielenkiintoinen ehdotus osasyyksi litosfäärilaattojen nopeuden vaihteluun ja Himalajan seismiseen aktiivisuuteen on monsuunisateet ja niiden aiheuttaman eroosion vaikutus (Iaffaldo et al. 2011). Esimerkiksi talvisin Himalajan seisminen aktiivisuus on miltei kaksinkertainen kesään verrattuna (Bettinelli et al. 2008).

Yli 140 miljoonaa vuotta sitten nykyinen

Intia oli itsenäinen manner. Tämän ja Euraasian mantereiden välissä lainehti Tethysmeri. Tethysmeri sulkeutui hiljalleen ja alueen kehitys huipentui noin 70 Ma alkaneeeseen varsinaiseen Intian mantereiden ja Euraasian mantereiden törmäykseen. Tethyksen sedimenttipatjoja pilkistääkin edelleen Himalajan huipulta. Himalajalta ei ole juurikaan tehty isotooppigeokemiallisia töitä tai ikämäärityksiä. Sen sijaan monia tapahtumia on voitu ajoittaa sedimenttikivien fossiiliaineiston perusteella. Esimerkiksi maapallon suurimmaksi joukkotuhoksi arvioitu permi-triaskauden ”suuri kuolema” on havaittavissa Knuhamuhin muodostumassa, joka on yksi harvoja sellaisia paikkoja maailmassa, jossa sedimentaatio on jatkunut tämän tapahtuman läpi häiriöttä (kuva 2).

Himalajan valtaisan koon mahdollistaa se, että tällä hetkellä toisiinsa törmää kaksi mantereista litosfäärilaatan osaa. Mantereinen kuori on kevyempää kuin merellinen kuori, eikä näin ollen subduktoidu vaippaan. Kuvassa 3

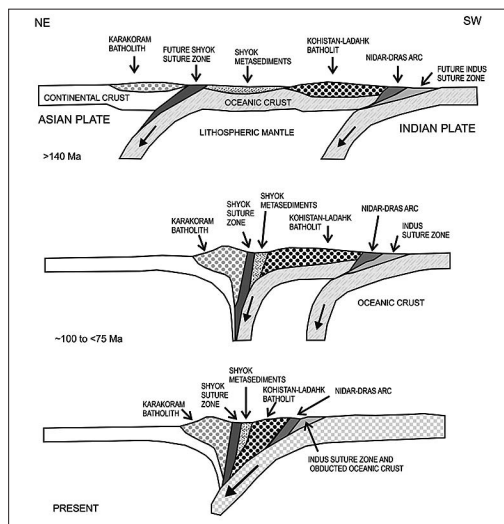


Kuva 2. Geologit kirjaimellisesti seisomassa joukkotuhoon päällä. Permi-triaskauden joukkotuho "suuri kuolema" on havaittavissa Knuhamuhin muodostumassa. Kuva: Elina Lehtonen.

Figure 2. Geologists literally standing on an extinction. The Permian-Triassic extinction event "the Great Dying" can be observed in the Knuhamuh formation. Picture by Elina Lehtonen.

on esitetty tektoninen malli Ladakh-Kohistan alueen synnylle. Mallin mukaan nykyinen Himalaja on kahden erilaisen törmäysvaiheen lopputulos. Näissä tapahtumissa muinaisen Tethys-meren kuori on subdukoitunut ja synnyttänyt vulkaanisia kiviä, jotka ovat lohkoutuneet ja ylityöntyneet meren sulkeutuessa vuoriston huipulle. Vuoriston muokkausprosesseissa kivet ovat myös metamorfoituneet ja hiertyneet. Nämä deformaattiorakenteet tuottivat ryhmässämme ihastelevia huokauksia useaan otteeseen ekskursioiden aikana (kuva 4).

Yksi geologisesti mielenkiintoisimmista paikoista oli ekskursioiden loppupuolella näkemämme Tso Moriri eklogiittipaljastuma (kuva 5). Paljastuma sijaitsee noin 40 kilometrin päässä Tso Moriri-järvestä (joka on muuten yksi maailman korkeimmalla sijaitsevista järvistä, kuva 6). Paljastuman kivilajeina ovat tummat granaattipitoiset eklogiitit, jotka esiintyvät budinoituneita juonia muistuttavina pahkuina raidallisen Puga-gneissin sisällä.



Kuva 3. Tektoninen malli Ladakh-Kohistan alueelle Himalajalla. Sen mukaan Himalaja on syntynyt kahden eri törmäysvaiheen lopputuloksena. Kuva mukailen Ahmad et al. 2008.

Figure 3. Tectonic model for the Ladakh-Kohistan area, Himalaya. The model proposes that Himalaya is a product of collision of phases. Figure modified from Ahmad et al. 2008.

Kuva 4. Himalajalla deformaatio-rakenteet näkyvät paikoin erittäin selkeästi. Kaunis esimerkki tästä on Indus-muodostuman poimutus. Kuva: Elina Lehtonen.

Figure 4. Deformation structures are clearly seen in many places in Himalaya. A beautiful example is the folding of the Indus formation. Picture by Elina Lehtonen.



Kuva 5. Tso Moriri -eglokiitit (tummat kivet) ovat hyvin erikoisia, sillä ne sisältävän kvartsin korkean paineen muunnosta, koesiittia, sulkeumina granaateissa. Isäntäkivenä oleva Puga-gneissi (vaalea raidallinen kivi) sisältää mikrotimantteja sulkeumina korkean paineen pyrokseeneissa. Näiden mineraalien syntyhetkellä kivet ovat olleet noin sadan kilometrin syvyydessä. Kuva: Elina Lehtonen.

Figure 5. Tso Moriri eglocites (dark rocks) are special, because they contain high pressure polymorph of quartz, coesite, as inclusions in garnet. The host rock, Puga gneiss (light brown striped rock), contain microdiamonds as inclusions in high-pressure pyroxenes. During the growth of these minerals, the rocks have been in depths of ~100 kilometers. Picture by Elina Lehtonen.



Kuva 6. Tso Moriri on yksi maailman korkeimmalla (4595 m) sijaitsevista järvistä. Järvi tarjosi upeiden maisemien lisäksi ekskursioporukkamme reippaimmille virkistytymishetken uimisen muodossa. Kuva: Elina Lehtonen.

Figure 6. Tso Moriri lake is one of the highest lakes (4595 m) in the world. The lake offered great views and refreshing swimming break for the most brisk people in our group. Picture by Elina Lehtonen.

Mielenkiintoista ekologiiteissä on se, että ne sisältävät coesiittia (kvartsin korkean paineen muoto) sulkeumina granaateissa. Lisäksi Puga-gneissi sisältää mikrotimantteja sulkeumina korkean paineen pyrokseeneissa. Noin 100 kilometrin syvyydessä (yli 27 kbar ja 690 °C) syntyneiden mineraalien säilyminen kuoren kivissä aiheuttaa keskustelua siitä, mikä on näiden korkean paineen ekologiittien säilymisen ja paljastumisen syy.

Ekskursiomme oli geologisen annin lisäksi mielenkiintoinen myös kulttuurillisesti. Himalajan laaja maantieteellinen ulottuvuus on vaikuttanut suuresti sen ympärillä eläviin ihmisiin. Useissa Himalajan alueiden uskonnoissa vuorenhuiput koetaan pyhinä ja vuoristo on toiminut luonnollisena esteenä ihmisten kululle ja kulttuurien sekoittumiselle. Näin ollen Himalajan vuoriston alueella esiintyviä monia eri kielisiä ja tapoja. Pääuskonnot Jammu ja Kashmirin osavaltiossa ovat islam (eniten osavaltion länsi- ja pohjoisosissa), buddhalaisuus (eniten osavaltion itäosassa) ja hin-

dulaisuus (eniten osavaltion eteläosassa). Lehdissä saimme nauttia ladakhilaisista kansantansseista ja musiikkiesityksistä (kuva 7). Delhissä pääsimme tutustumaan 1500-luvun arkkitehtuuriin vieraillessamme hiekkakivestä, marmorista ja kvartsiitista rakennetussa Humayun mausoleumissa. Humayun mausoleumista ja muista Delhissä sijaitsevista UNESCO:n maailmanperintökohteista löytyy lisätietoa Geologi-lehden kevään numerosta (Halla, 3/2012).

Ekskursio Himalajalle oli kaiken kaikkiaan mieltä avartava. Tällä kertaa piti mennä lähelle, jotta voi nähdä ”kauas” ja ymmärtää paremmin isoja mittakaavoja. Himalajan geologinen vaihtelevuus oli jotain, mitä oli vaikea kuvitella ennakkoon. Lisäksi matka loi reippaasti uusia tutkimusideoita ja yhteistyömahdollisuuksia suomalaisten ja intialaisten tutkijoiden välille. Mielenkiinnolla jäämekin odottamaan yhteistyön tuloksia! Matkamme herätti kiinnostusta myös paikallisella tasolla. Ensimmäisenä päivänä tekemämme vierailu Jammu ja Kashmirin osavaltion kuvernöörin Narinder Nata Vohran luona ylitti paikallislehden uutiskynnyksen ja seuraavana päivänä saimmekin ihailla itseämme Greater Kashmir-lehden sivulla (9.6.2012).

Kiitokset

Suuri kiitos matkasta Suomen Geologiselle Seuralle, Jaana Hallalle, professori Talat Ahmadille ja tohtori C. P. Dorjaylle. Matkan onnistumisen kannalta avainasemassa olivat myös muut intialaiset järjestäjät, etenkin tohtori Rakesh Chandra, professori Ghulam Mohammad Bhat ja tohtori Shakeel Ramshoo. Lämmin kiitos geologian tutkimuskeskukselle joka osallistui monin tavoin matkan järjestelyihin. Kumar Batuk Joshi ja muut intialaiset jatko-opiskelijat opastivat kärsivällisesti meitä niin geologisissa kuin kulttuurillisissa asioissa, kiitoksia! Suuri kiitos kuuluu lisäksi



Kuva 7. Lehin viimeinen ilta huipentui ladakhilaiseen musiikki- ja tanssiesitykseen. Kuvassa näkyvissä tanssiryhmä (oikealla), ekskursiovastaava Jaana Halla (kolmas vasemmalta), sekä professori Talat Ahmad ja hänen vaimonsa (vasemmalla). Kuva: Sauli Herva.

Figure 7. Last night in Leh culminated in music and dance performance typical of Ladakh culture. Dance group (in the right), excursion organizer Jaana Halla (third from the left), and professor Talat Ahmad and his wife (in the left) are seen in the picture. Picture by Sauli Herva.

ammattitaitoisille autonkuljettajillemme ja kokeille! Kiitos myös kaikille ekskursiolla osallistuneille, Jussi Heinoselle ja Jaana Hallalle tekstiin antamistaan kommentaista ja Sauli Hervalle valokuvista!

Summary

Two continents on a collision course – excursion of the Finnish Geological Society to Indian Himalayas (8.-20.6.2012)

On a sunny June evening the Helsinki-Vantaa airport was full of excitement. In total 37 Fin-

nish geologists and people interested in geology were waiting for a flight to Delhi in order to start on excursion to Indian Himalayas. Geological drama that we were about to follow started 180 million years ago when super-continent Gondwana began to broke into pieces. One of these pieces, India, collided with Eurasia and formed the vast mountain chain of Himalaya. In less than two weeks, our group got extensive guidance e. g. to sediment formations, sedimentary, igneous and metamorphic rocks, structural geology, hot springs, glaciers (figure 1), and cultural aspects as well (figure 7).

Himalaya is one of the youngest mountain chains in the world and it is still growing. Over

140 million years ago India was a separate continent and between Indian and Eurasian continents was Tethys Sea. As India approached Eurasia, the Tethys Sea closed a little by little and the evolution of the area culminated into collision of the two continents starting about 70 million years ago. Sedimentary rocks of Tethys Sea are still in exposed on the top of the Himalayas.

Evolution of Himalayas has dated mostly on the basis of fossil records. Knuhamuh Formation in the Himalayas is one of the few places, where you can observe sedimentary rocks related to the Permian-Triassic mass-extinction (figure 2). The speed of the Indian plate has varied in the past (White and Lister 2012), and today the speed of the plate is approximately 4 cm per year towards north-east. There are many models to explain the speed variation and the seismic activity in the area, but one interesting factors suggested are the monsoon rains (Iaffaldano et al. 2011, Bettinelli et al. 2008).

The vast size of the Himalayan Mountains is the result of a collision of two continental lithospheric plates. Continental crust is lighter than oceanic crust, and thus does not subduct into the mantle. The most recent model suggests a two-phase collision (figure 3). Via these processes rocks were broken into blocks, over-thrusted and deformed. These deformation structures could be beautifully seen in the mountain walls (figure 4). Tso Moriri high-pressure rocks (figure 5) were some of the most interesting things that we saw. These rocks are situated about 40 km from Tso Moriri lake (figure 6) and include dark eclogites which are entrained in banded Puga gneiss. The eclogites contain coesite (high pressure form of quartz) as inclusions in garnets. Puga gneiss contains microdiamonds as inclusions in high-pressure pyroxene. The fact that these minerals, originally formed at

~100 km depth (27 kbar and 690 °C), are found on top of the Himalays raises questions about the tectonics of continental collision.

On the behalf of our excursion group we would like to thank Geological Society of Finland and Jaana Halla, professor Talat Ahmad, doctor C. P. Dorjay, doctor Rakesh Chandra, professor Ghulam Mohammad Bhat, doctor Shakeel Ramshoo, Geological Survey of Finland, Kumar Batuk Joshi and other Ph. D. students, and of course all the other indian organizers (including our car drivers and chefs)! The language of the article was improved by Jussi Heinonen and Jaana Halla, and Sauli Herva provided some photographs, thank you! In addition, thanks to all participants!

Viitteet/References:

- Ahmad, T., Tanaka, T., Sachan, H. K., Asahara, Y., Islam, R. ja Khanna, P. P. 2008. Geochemical and isotopic constraints on the age and origin of the Nidar Ophiolitic Complex, Ladakh, India: Implications for the Neo-Tethyan subduction along the Indus suture zone. *Tectonophysics*, 451:206–224.
- Bettinelli, P., Avouac, J.-P., Flouzat, M., Bollinger, L., Ramillien, G., Rajaure, S., Sapkota, S. 2008. Seasonal variations of seismicity and geodetic strain in the Himalaya induced by surface hydrology. *Earth and Planetary Science Letters*, 266:332–344.
- Halla, J. 2012. Kivirakentamisen monumentit – UNESCO:n maailmanperintökohteet Delhissä. *Geologi*, 64:62–68.
- Iaffaldano, G., Husson L. ja Bunge H.-P. 2011. Monsoon speeds up Indian plate motion. *Earth and Planetary Science Letters*, 304:503–510, doi:10.1016/j.epsl.2011.02.026.
- White, L. T. ja Lister, G.S. 2012. The collision of India with Asia. *Journal of Geodynamics*, 56–57:7–17, doi:10.1016/j.jog.2011.06.006.

ELINA LEHTONEN

elina.lehtonen@helsinki.fi