

**MAGASHEGYI KÖRNYEZETVÁLTOZÁS-MONITORING**  
**AZ OJOS DEL SALADÓN (6893 M):**  
**MÉRÉSSOROZAT – KEZDET ÉS KILÁTÁSOK**

**Nagy Balázs (1), Mari László (1), Heiling Zsolt (2)**

(1) ELTE Természetföldrajzi Tanszék

(2) villamosmérnök, terepi mérnök

e-mail: balazs@afoldgomb.hu

## **Bevezetés**

A Földgömb az Expedíciós Kutatásért Alapítvány által 2012. januárjában indított környezeti állapotfelmérő és adatgyűjtő expedíció bolygónk legmagasabb vulkánján, a Chile és Argentína határán a „Száráz-Andokban” magasodó, 6893 méteres Ojos del Salado tűzhányón zajlik. A vállalkozás különlegességét a helyszín (az extrém környezet), valamint az a tény jelenti, hogy ilyen magasságban még nem folyt hosszú távú környezeti (klíma) mérésorozat a Földön.

A program előzménye 2008-ra nyúlik vissza, először ekkor jártuk be e területet, majd 2010-ben visszatérve, egészen a vulkán csúcsáig jutva, áttekinthettük az egyes magassági övezetek domborzati sajátosságait. Így 2012-ben a műszeres mérések kezdetekor már ismerős felszínre érkeztünk. Eközben napvilágot láttak az első, helyi felszínfejlődési különlegességeket elemző cikkek is (Milana, 2009, de Silva, 2010, Milana et al., 2010, Bridges et al., 2012), melyek a Föld itt fellelt legnagyobb eolikus üledékfodraival („megaripples”), ill. az ezek kialakulásához szükséges szélerelességgel foglalkoznak. Mindezek mellett rávilágítanak arra is, hogy e térség az egyik legkiválóbb földi Mars-analóg helyszín.

Vizsgálatsorozatunk jelentősége, hogy a kutatási helyszín olyan terep, amelynek környezeti extremitása ismert ugyan, de mindezek alapjai, kialakító fő tényezői még feltáratlanok. A hosszú távú monitoring vizsgálat a terepi adatgyűjtéssel, majd a feldolgozással az extrém helyszín olyan környezeti paramétereiről (elsősorban a periglaciális környezetről és a permafrosztról) ad alapinformációkat, amelyek változásai egyben a klímaingadozás dinamizmusának, következményeinek jelzői is.

E vizsgálatok – egyszerűbb – mintájául egy másik jégkörnyéki térségben 1998 óta alkalomszerűen végzett elemzéseink szolgálták: egy-egy nyár (olvadási szezon) teljes jégcementolvadását a helyszínen térképezve (ám folyamatosan, évekig működő adatgyűjtők alkalmazása nélkül) az antarktisi King George-szigeten létesített tundrai mintaterületeken mérjük az örökfagy degradációját, ennek következményeit, a környezet-domborzat átalakulását, azonban megközelítően sem olyan szélsőséges éghajlati körülmények között, mint az Ojos del Saladón.

## **A helyszín**

Az Andok legszárazabb része, a Puna de Atacamának nevezett magasföld és az innen kiemelkedő 6000 méternél magasabb tűzhányók a Föld egyik legerősebb környezetét alkotják.

Itt található bolygónk legmagasabb vulkánja, a 6893 m-es Ojos del Salado (27° 06' 34,6" D, 68° 32' 32,1" Ny), amely a chilei-argentin határon rendkívül hideg és

száraz területen jégsapka nélküli hegytömegként tornyosul. Ám sem a hidegről, sem a szárazságról nincsenek pontos adataink. 6000 m körül gyakran előfordulnak  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os nyári, nappali hőmérsékletek, az 5000 m fölötti területen pedig eső egyáltalán nem jellemző, ám néhány órás havazás szinte minden nyári héten várható, a hó gyors, teljes elszublimálásával. A hóviszonyokról, ill. a térség állandó, felszíni jegének előfordulásáról távérzékeléses elemzés készült (Gspurning et al., 2006), azonban az aktuális hóborítás gyakran igen rövid jelenléte miatt mind a csapadékadatok, mind az olvadékvíz-bebecslések bizonytalanok.

Földünkön itt húzódik legmagasabban az éghajlati hóhatár (7000 m körül), állandó jégborítás nincs, itt találunk legmagasabban – időszakos – tavat (6390 m), de járművel is itt jutottak eddig a legfeljebb (6650 m). Ez bolygónk legmagasabban húzódó sivataga (kb. 6200 m-es magasságig húzódik), ám a sivatag-tundra elkülönítése – mért adatok hiányában – máig bizonytalan, miközben ezek alapvetően eltérő érzékenységű-működésű tényezők által meghatározott környezettípusok.

Maga az Ojos del Salado kialudt tűzhányó, fő működési ideje mintegy 30 ezer éve zajlott. Méréseink adatait tehát a vulkán-jelleg nem befolyásolja, a kapott szignál a környezetre vonatkozik, nem pedig egy magma fűtötte testre. Viszont ez a hegy, mint vulkáni komplexum emelkedik legmagasabbra és a legextrémebb helyen, a „Száraz-Andok” puna-területén (Karátson et al., 2011).

E sós tavakkal, az édesvíz hiányával, rendkívül gyér növényzettel, ám erős széllel és nagy mennyiségű üledéket szállító viharokkal jellemezhető, lakatlan magashegyi kötörmelékes terep környezetváltozásáról, a klímaváltozás helyi hatásairól ugyanakkor nincsenek részletes adatok. A geomorfológiai felmérés is távérzékeléses módszerekkel zajlott (Kaufmann et al., 1995). Ennek oka a szélsőséges, sokszor embertelen időjárási feltételekben, a körülményes megközelíthetőségben, a nagy magasságban és a nehéz terepben is keresendő. Pedig szélsőséges szárazsága és rendkívül alacsony hőmérséklete miatt földrajzilag olyan extrém terület, amely kiváló indikátorként is működhet: mind az esetleges melegedés, mind az ezzel járó további (felszín alatti) jégolvadás és nedvesedés dinamikusan megváltoztathatja környezeti viszonyait. Ennek feltárása hosszú távú, terepi monitoring vizsgálattal végezhető el. Az általunk mérendő, fő környezeti sajátosság a regolitot cementáló örökfagy (a permafroszt) jelenléte, ill. változása.

## Célkitűzés

Célunk, hogy a Földön legmagasabban beindított adatgyűjtő vizsgálatssorozattal 4200 métertől 6893 méterig minden jellemző (felszínfejlődésében karakteres, elkülöníthető) magassági szintben elemezzük az örökfagy jelenlétét, területi elterjedését, degradációját, változásait, ezek környezeti következményeit.

A kutatás – jellegéből fakadóan – több szakaszból áll, melyek során először műszerkihelyezés, állapotfelmérés történik, majd időről időre a műszerek kiolvasását kell elvégezni a helyszínen, terepi munka keretében, itthon pedig adatértékelés következik. Mindeközben – szükség szerint – új paraméterek gyűjtésével, új mérések elkezdésével is számolunk.

Első lépésben olyan állapotfelmérésre törekszünk, amely alapot ad a mai környezetváltozást jelző örökfagy monitoring vizsgálatára. Az örökfagy helyzetet meghatározó alapvizsgálat mellett ezért minden vizsgált magassági emeleten a talajfelszíni és felszín alatti hőmérsékletet mérő, folyamatos működésű adatgyűjtőket helyeztünk el. E pontszerű (de minden magassági lépcsőn referenciaértékű terepről adatot adó) vizsgálatot –



### 2012-es kiegészítő vizsgálatok:

#### *Az eolikus aktivitás:*

Mivel a vizsgált terület a Föld legmagasabban fekvő sivataga, ill. köves hegyi tundrája, kiemelkedően fontos a szél felszínalakító szerepe.

- 4600 m-től 6300 m-es magasságig a mikro- és mezoformák kialakításában a szélnek uralkodó szerepe van (a sivatagi és a tundraterepen is!),
- a Föld eddig vizsgált, legnagyobb óriásfodrainak (a Puna argentinai oldalának megaripples-formái) méretét elérő fodrok 5500 méterig itt is előfordulnak,
- anyaguk főként kis fajsúlyú piroklaszt-anyag, magas horzsakőtartalmú ignimbrit,
- az óriásfodrok rétegződésének elkülönítése, szerkezetük meghatározása,
- 5200–5500 m magasságban a rendkívül erős szelek 3–4 cm-es, nagy fajsúlyú aprózódott andezitláva-törmelékkel halmoznak a luv-oldalakra és a gerincekre, inaktívvá téve a fodrokat,
- törmelék-mintavétel az indítósebesség, ill. a nagyszemcsés közetmozgás laboratóriumi meghatározása számára,
- 5200 m fölött a szélmarás minden sziklatömböt, sziklakibukkanást megtámad, a nyugatias oldalak szélsőségesen szélmartak,
- a régi lávafolyások lejtőjén nagyszemcsés lee-oldali dűnék (antibarkánok) képződnek,
- a kavicszemcsés maradéktakaró felszíni eróziós sérüléseit a szélmozgatta törmelék 1–2 év alatt eltünteti, nagyszemcsés, szélszállította üledékkel fedve be a mélyedéseket.

#### *A Föld legmagasabban fekvő tómedencéi:*

- 6380 m-en a már ismert, és időszakosan sekély tavat hordozó, valamint 6450 m-en egy eddig még nem vizsgált zárt mélyedést is hó töltött ki,
- e 100–200 m átmérőjű medencék a hóolvadás végén, néhány hétre állóvizet tartalmazhatnak (ehhez elengedhetetlen, hogy nagy mennyiségű hó olvadjon meg gyorsan, valamint a nappali hőmérséklet tartósan fagyponthoz felett legyen), a regolitban található permafroszt késlelteti, ill. akadályozza meg az olvadékvíz elszivárgását,
- 6450 m-en egy fumarolákat is tartalmazó mellékkráter a feltételezett tómedence helyszíne, a vízráfolyás a megfigyelési időszakban is zajlott, a medencealj hómaradvány épp átvizesedett.

### **Tervek a 2. (2014-es) terepkutatási idényre**

- A műszerek leolvasása, visszahelyezése,
- az Ojos del Salado csúcsán elhelyezett hőmérsékleti- és páratartalom-adatgyűjtő cseréje,
- szükség – és lehetőség – esetén, ha az aktív réteg még nagyobb vastagságot ér el, újabb hőmérsékleti adatgyűjtők még mélyebbre helyezése,
- törmeléknedvesség-mérő műszerek beépítése a vizsgálati helyszíneken,
- új aktív réteg hőmérséklet- és nedvesség-megfigyelő mérőállomás létesítése 4700 m-en, az Ojos del Saladóról érkező, felszín alatti nedvességáramlás útvonalán,
- léghőmérséklet mérő állomások létesítése 5260, 5830 és 6750 m-en,

- a permafroszt horizontális elterjedésének vizsgálata a mérőhelyek körül: fix. mintaterületek kijelölése, majd az elektromos vezetőképesség mérésén alapuló műszerrel a permafroszt kiterjedésének mérése (ami minden terepszezon olvadási ciklusának csúcsán megismétlődő),
- az időszakos tavak kialakulására esélyt adó medencék aljzatának vizsgálata,
- a 6450 m-es aljú, fumarolás mellékkráter fagyjelenségeinek, hőmérsékletjárásának vizsgálata, a törmelékes aljzat beműszerezése.

### Hivatkozások

- Bridges, N.T., de Silva, S.L., Zimbelman, J.R., Lorenz R.D., 2012: Formation conditions for coarse-grained megaripples on Earth and Mars: lessons from the Argentinian Puna and wind tunnel experiments - Third International Planetary Dunes Workshop
- Gspurning, J., Lazer, R., Sulzer, W., 2006: Regional climate and snow/glacier distribution in Southern Upper Atacama (Ojos del Salado) – an integrated statistical, GIS and RS based approach – *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung*, 41, 59–70.
- Karátson, D., Telbisz, T., Wörner, G., 2011: Erosion rates and erosion patterns of neogene to Quaternary stratovolcanoes in the Western Cordillera of the Central Andes: an SRTM DEM based analysis – *Geology*, doi:10.1016/j.geomorph.2011.10.010
- Kaufmann, V., Klostius, W., Benzinger, R., 1995: Topographic mapping of the Volcano Nevado Ojos del Salado using optical and microwave image data. - Proceedings of the 3rd International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, Mendoza, Argentina, 47–59.
- Milana, J.P. 2009: Largest wind ripples on Earth? – *Geology*, 37, 343–346.
- de Silva, S.L. 2010: Largest wind ripples on Earth? Comment – *Geology*, 38, 218.
- Milana, J.P., Forman, S., Kröhling, D., (2010): Largest wind ripples on Earth? Reply – *Geology*, 38, 219–220.