

Lyukak a világ végén

2013 őszén Szibéria északnyugati részén, a Jamal-félszigeten rejtélyes krátert fedeztek fel. Elsőként rénszarvaspásztorok pillantották meg szeptember 27-én, és bár a nyenyec őslakosok nyelvén Jamal a világ végét jelenti, a titokzatos kráter (majd a később felfedezett további kráterek) révén a sajtó híressé tette és közel hozta a helyszínt, a terep rendkívül nehezen, leginkább csak légi úton megközelíthető, így jó ideig rejtély maradt a felbukkant mélyedések mibenléte.

A Jamal-félsziget az Ob torkolatvidéke közelében található, a szibériai permafroszt iskolapéldája – ráadásul hatalmas szénhidrogénvagyonot rejt. A földgáznak köszönhetően ma már egyre bővülő infrastruktúrával és folyamatos beruházásokkal felszabdalt fagyos vadont az őslakos nyenyecen és rénszarvasaikon kívül bányászok, mérnökök, építőmunkások hada járja. Valószínűleg nekik is köszönhető, hogy egyáltalán fény derült a „semmitől” megjelent kráter-szerű üregekre.

A 2007–2008-as Nemzetközi Sarki Év keretein belül számos kutatást végeztek a klímaváltozás és a permafroszt kapcsolatairól, s kiderült, hogy a hidegebb, állandóan fagyos vidékeken gyorsabb ütem-

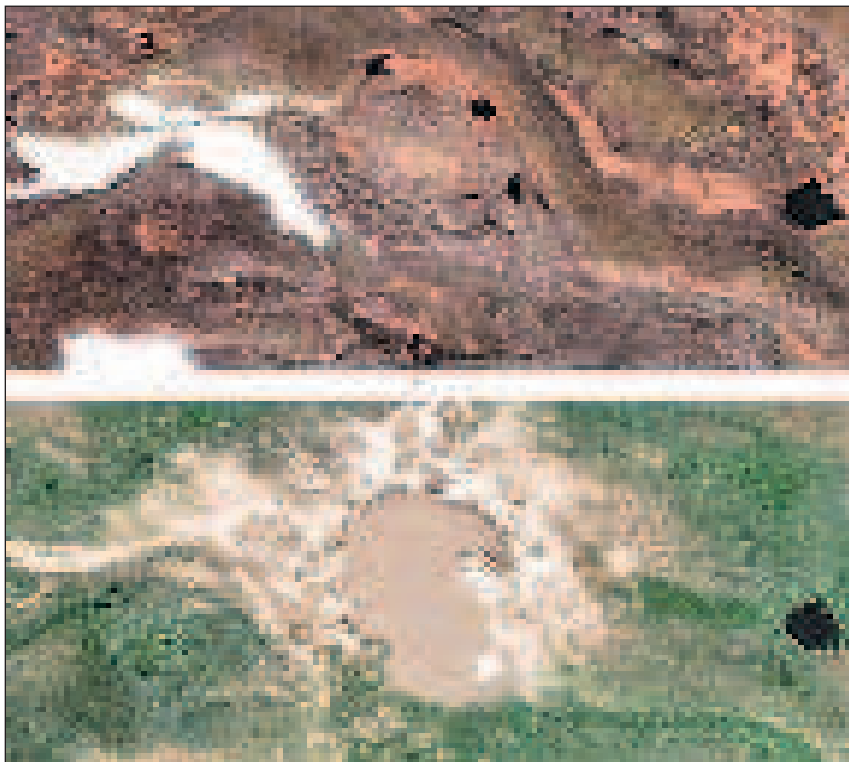


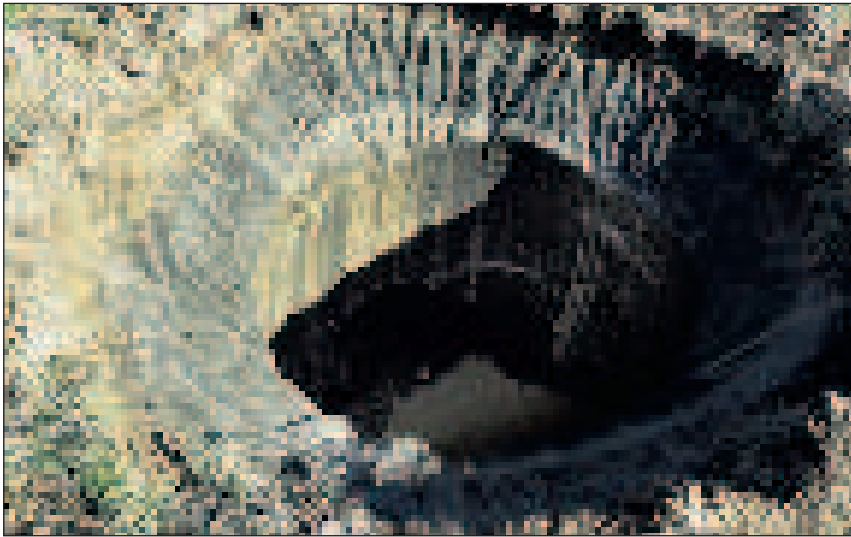
A kutatott kráterek elhelyezkedése

ben emelkedik a talajhőmérséklet, mint a részlegesen fagyos területeken. Az elmúlt évtizedek során már tapasztalt hőmérséklet-emelkedésről 2007–2009 közt közel 600 fúrás (ebből 180 volt orosz helyszínen) új méréseivel pontosabb adatokat szereztek, felmérés készült gyakorlatilag a teljes északi permafroszt régióról Alaszkától Kam-

csatkaig. Tizedfokos pontosságú, nagyrészt automatizált, távérzékeléssel nyert hőmérsékleti adatok elemzésével jutottak el a kapott áttekintő eredményekig. Jelentősen befolyásolta a talajhőmérsékletet a talaj hőborítottasága is, a növényzet jelenléte illetve hiánya, valamint a talaj kőzetösszetétele és víztartalma is. A felmérésekből egyértelműen kiderült, hogy az elmúlt 20–30 év során északabbra tolódott az a határvonal, ami a részlegesen és állandóan fagyos permafroszt területét elválasztja, azaz a korábban az egész év során fagyott talajú területeken is megjelent az időszakos olvadás. Oroszországban már 1932-től folytattak a permafroszt régióban talajhőmérsékleti méréseket, eleinte rendszertelenül, de 1969-től kezdődően sok olyan mérőhelyet alakítottak ki, ahol folyamatos adatgyűjtés volt, így egészen hosszú időszakra lehet visszatekinteni, hosszabb távú tendenciákat észrevenni. Ezek alapján a szibériai permafroszt régióban az évi átlagos talajhőmérséklet-emelkedés 0,01–0,08 °C közt volt az 1950–2009 közötti időszakban, a különbségek a környezeti körülményektől (növényzet, talajtípus stb.) függenek. Legnagyobb mértékben a tőzeget, legkisebb mértékben az agyagos talajú területeken emelkedett a hőmérséklet a fúrólukak mélyén. A meteorológiai mérések alapján ugyanitt a léghőmérséklet és a csapadékmennyiség is emelkedett az érintett évtizedek során. Az orosz kutatók során fény derült arra, hogy a fagyott felszín alatti fagymentes talajrétegek (a szakzsargonban *talik* néven találkozhatunk vele) mennyisége is megnőtt, új talikok alakultak ki, valamint sokhelyütt teljesen eltűnt a talik feletti, korábban fagyott réteg.

Egy pingó gázfeltörés előtt és utána, műholdfelvételen





A B-1 kráter 2014-ben

Az, hogy ilyen mértékben emelkedik a permafroszt hőmérséklete, együtt jár azzal is, hogy az előzőleg még fagyott rétegekből igen nagy mennyiségű metán szabadulhat ki, a klímaváltozás kutatói erre már régen felhívták a figyelmet, mivel a metán jelentős üvegházgázként tovább fokozhatja a hőmérséklet emelkedését.

A permafrosztban kialakult rejtélyes kráterek a helyszínen többször járt orosz kutatók szerint a melegedésnek köszönhetőek. A kráterek oldalfala gyakorlatilag metszeti képet ad a permafrosztról: a legfelső, gyér növényzetű talajréteg alatt már jég található. A leghíresebbé vált, a kutatók által B-1-nek elnevezett, több mint 60 méter mély kráter bő egy év alatt feltöltődött a nyaranta a peremén folyamatosan beszivárgó olvadékvízzel, ma már csupán 10 méterre van a felszíntől a vízszint. Valószínűleg egy-két évtized múlva már semmi jele sem lesz az

A kráter mostanára majdnem megtelt vízzel



itt lejátszódott különös folyamatoknak, a kráter kiemelkedő pereme eltűnik, s a feltöltődött üreg egy lesz a sok-sok kis tó közül. Az Európába szállított orosz gáz jelentős részét is adó Bovanenkovo-gázmező közelében kialakult B-1 és B-2 kráterek jelenleg a legjobban ismertek, de további hasonló kráterek tucatjáról van tudomásunk. Feltételezik, hogy ennél is jóval több lehet a még ismeretlen kráter.

Az orosz kutatók műholdfelvételeket is elemeztek a már ismert kráterek területeiről, egyik, a B-2 esetében a kráter megjelenése előtt készített felvételen egy jól látható pingó volt a kráter helyén. A felvételek alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a kráter szerű mélyedések kialakulása gázfeltörésnek köszönhető. A pingó belsejében olvadásnak indult a jég, a mélyből kőzetrepedéseken át beszivárgott és felszaporodott a gáz, ennek hatására megnőtt a nyomás és

eztán a pezsögőspalack dugójához hasonlóan kirobbant az egykori pingó. Normális folyamatok során a pingó csak kissé besüllyed, ha kiolvad a jége, itt azonban a beszivárgó gáz – feltételezések szerint a felmelegedés során a permafroszt olvadása miatt felszabadult metán – szerepe volt a legfőbb a különös alakzat kialakításában. A B-1-es kráter mélyében még 2014 nyarán mért adatok alapján a normál légköri metánkoncentrációnál nagyságrendekkel magasabb, 9,6% volt! A metán eredetéről viszont nincs információ, így ez esetben akár a közeli földgázmezőből is származhat, egyelőre nem lehet egyértelműen kijelenteni, hogy kizárólag az olvadó permafrosztból szabadulhatott fel.

A B-2 jelű kráter kissé eltér a már jobban tanulmányozott B-1 jelűtől: a középütt található nagyobb, már vízzel telt krátert körbeveszik apróbb, mindössze néhány méteres „kráterfiókák”, feltételezés szerint a fő kráter, illetve a ma ezt kitöltő tó is több kisebb kráter egyesülésével jött létre. A B-2 környezetében további pingók is találhatóak, ezek, ha az elmélet helyes, gyakorlatilag bármikor produkálhatnak gázkitörést és kráterre válhatnak, így a helyszíni vizsgálatok nem épp veszélytelenek. Egyelőre nincsenek arra vonatkozó információk, hogy a gázkitörésekre csak nyáron kerül-e sor, vagy az esztendő során bármikor bekövetkezhet, az azonban bizonyos, hogy az első kráter felfedezését megelőző két nyár kb. 5 fokkal melegebb volt a régióban az átlagosnál. Viszont pont a pingó-kitörés elméletének köszönhető, hogy jelenleg is folyamatos műholdas megfigyelés alatt áll a terület, így jó eséllyel sikerül majd elcsípní a kitörést, amennyiben a vártak szerint az bekövetkezik. A hatalmas földgázvagyon miatt az ott dolgozókat és a bányákat, azok berendezéseit is veszélyeztethetik az efféle váratlan események, ezért látták szükségesnek a megfigyelést. Egy, még 20 éve történt esetre is fény derült most: egy ismert víz alatti pingót tanulmányozott egy kutatóhajó a Pecsora-tengeren (a Barents-tenger Pecsora-torkolatnál fekvő területe), és fűrés során a pingóból hirtelen nagy mennyiségű metán tört fel, veszélyeztetve a hajó épségét is. Hasonló, tengerfenéki pingókat a Jamal-félsziget melletti sekély tengerszakaszon is találtak már, de az egyelőre nem világos, hogy a nagyméretű tenger alatti pingók és a kisebb szárazföldiek kialakulása mennyiben lehet hasonló.

A Jamal-félsziget és a környék már ismert krátereinek további kutatására van szükség, már csak a folyamatosan bővülő gázvagyon-kiaknázási beruházások biztonsága érdekében is, így várhatóan fogunk még pontosabb információkat kapni a következő évek során a kialakulásokról, s a rajtuk tapasztalt változásokról.

LANDY-GYEBNÁR MÓNIKA