

# A cseljabinszki tűzgömb és a magaslégköri jelenségek

2013. február 15-én kora reggel óriási tűzgömb suhant át az oroszországi Cseljabinszk és körzete égboltján. A tűzgömb a Napnál is fényesebbre erősödve felrobbant, számtalan darabban ért földet a közeli Cserbakul régióban. A kora reggeli nagy forgalomban számtalan autós biztonsági kamera készített felvételt az égen átszáguldó tűzgömbről. A robbanást kísérő jelenségekről a beszámolók és a sajtóhírek széles körben kaptak nyilvánosságot. A legszebb felvételeket egy profi természetfotós, Marat Ahmetvalejev készítette, február 23-án és március 2-án a nap csillagászati képeként is megcsodálhattuk két felvételét (apod.nasa.gov/).

A cseljabinszki a Tunguz-esemény óta a második legfényesebb ismert hasonló jelenség volt. Habár sok mindenben különbözött az 1908-as légköri eseménytől, mégis okkal feltételezhetjük, hogy a későbbi légköri jelenségek terén hasonló megfigyelések születhetnek. Igyekeztünk felkutatni minden olyan szabadon hozzáférhető forrást, ahol sor kerülhet a feltételezett légköri jelenségek

megfigyeléseinek leírására. Felvettük a kapcsolatot orosz megfigyelőkkel, és követtük a nemzetközi fórumokon zajló eseteleírásokat is. A munka igen hamar meghozta az eredményét, és néhány nappal a cseljabinszki tűzgömb felrobbanása után már rendelkezésünkre álltak a várt légköri jelenségekről született érdekes felvételek, a megfigyelők pontos leírásaival. Nem véletlenül hasonlítjuk össze a Tunguz-eseménnyel a cseljabinszkit, ugyanis a légkörünk általa (is) okozott bizonyos jelenségeit jól leírták a korabeli megfigyelők. Elsősorban egy alkonyat után és hajnal előtt látható jelenségre, az éjszakai világító felhőkre összpontosítunk.

Az éjszakai világító felhő (angol nevének rövidítéséből a továbbiakban NLC) jelenségét alig 130 éve ismerjük, bizonyított észlelései a Krakatau 1883-as hatalmas kitörését követő esztendőkből születtek először. A jelenség a mezoszféra felső határán, mintegy 85–90 km magasságban kialakuló leheletfinomságú, vízgézből álló felhő, amelynek láthatósága attól függ, hogy Napunk mennyivel van a



Nik N. fotója február 24-én este Moszkvában készült



Február 21-én Rigában Ivo Dinsbergs tapasztalt NLC megfigyelő örökölte meg a sávós felhőt

horizont alatt az észlelő helyszínén. Mivel a mezoszféra felső rétegének hőmérséklete a felszínivel fordított mértékű, az NLC-k megfigyelése a nyári hónapokra és a magasabb, sarkvidék-közeli szélességen elhelyezkedő területekre korlátozódik. A kutatások alapján a kialakulásuk előfeltétele a megfelelően nagy hideg, a jelen lévő víz mennyisége és a víz kicsapódását elősegítő kondenzmagok megléte. Az NLC-k kialakulását befolyásolja a napciklus is a magas légkört érő sugárzás vízbontó hatásának köszönhetően, így minimum idején gyakoribb és erősebb fényű a jelenség, maximumkor viszont ritkább és halványabb. A kondenzációs magokat a kutatások szerint elsősorban a légkört folyamatosan bombázó mikrometeorok biztosítják, de a felszínhez közeli rétegekből is feljut a mezoszférába kis mennyiségű porszemcse. Mivel a mezoszféra rendkívül száraz, ezért a víz jelenléte kulcskérdés az NLC-k kialakulásában. Az elmúlt évtizedek űrprogramjai során megfigyelték, hogy egy-egy felbocsátás során a rakéták hajtóanyagából a világító felhők kialakulásához elegendő mennyiségű víz jut fel a légkör felsőbb rétegeibe. A kezdeti megfigyelések során a Krakatau kitérés felhője révén kerülhetett kellő mennyiségű víz a légkörbe, de több, azóta bekövetkezett

nagyobb kitérés után is megfigyelték növekedést az NLC-k számában. Hasonlóképpen képes vizet juttatni a magas légkörbe egy, a világűrből a Földet megcélzó meteor is, amennyiben annak eredetétől szolgáló égitest eleve tartalmazott vizet (pl. üstökösökről napközelségekor leszakadó darabkák). A Tunguz-esemény nyár közepén, pontosan az NLC-k megjelenésének időszakában történt, ám az ekkor kialakult és dokumentált világító felhők a korábbiaknál jóval nagyobb területről és jóval délebbi szélességekről (pl. Taskent, a 41. szélességen) váltak megfigyelhetővé. Hasonló eset volt 2010 februárjában a hazánkból is megfigyelt tűzgömb, illetve 2011 októberében Németország felett tapasztalt jelenség; mindkét alkalommal születtek a légkörben felizzó nagyobb meteor észlelése után néhány órával NLC-re hasonlító világító felhők. Ezekről az eseményekről számos fénykép és webkamerás felvétel áll rendelkezésre, jól dokumentált esetek. A világ számos pontján születtek és születnek hasonló megfigyelések, s a digitális fotótechnika köszönhetően egyre több a felvétel is róluk.

A fentiekből kiindulva a cseljabinszki tűzgömböt követően is várható volt hasonló, NLC-re emlékeztető jelenség, a problémát az aktuális időjárási viszonyok jelentették:

Európa jelentős részén vastag felhőzet fedte az égboltot a tűzgömb felbukkanása utáni napokban; mindössze a nyugat-európai régióban voltak felhőtlen területek. Február 19-én alkonyatkor innen jelentkeztek az első megfigyelők, angliai és dániai helyszínekről, másnap hajnalban szintén angol, illetve norvég megfigyelés született, majd 21-én hajnalban holland is. 19-én egy dán megfigyelő az általa látott felhő horizont feletti magassága és napnyugtát követő ideje alapján azt is kiszámolta, hogy 57–60 km magasságban helyezkedett el a felhőt alkotó anyag.

Mivel számítottunk a speciális felhő megjelenésére, ezért 20-án alkonyatkor, amikor hazánkban is jelentős területen derült ki az ég, mi is megpillanthattuk a jelenséget. Magyarországról jóval halványabban látszott, mint a nyugat-európai területekről, ennek okát a felhő földrajzi elhelyezkedésében látjuk. A sztratoszférában a légáramlatok hatására fokozatosan szétterült felhőnek csupán az elvékonyodott széle jutott fölénk, így, bár szabad szemmel is kivethetőek voltak az egyébként derült égbolton a jellegzetes, világos sávok, ez csak azok számára volt nyilvánvaló, akik tudták, mit kell keresni az észlelés során. A jelenség nagyon hasonlított azokhoz a sztratoszférikus felhőkhöz, amiket az elmúlt évek során több alkalommal is láthattunk jelentősebb vulkánkitörést követően (Kaszatocsi 2008., Szaricsev 2009., Nabro 2011.) A felhőről a legszebb képeket Terry Parker angol pilóta készítette repülés közben, február 20-án, nyilvánvalóan a repülési magasságban jóval tisztább levegő és a felhőhöz való relatív közelsége miatt sikerült olyan látványosan megragadnia a jelenséget.

Ahogy a felhő sodródott a légkörben, és amint az időjárási viszonyok lehetővé tették, a következő, sokkal látványosabb megjelenése Írország felett volt, 24-én alkonyatkor, majd 25-én este. Mindkét esetben a napnyugtához közeli időpontban jelentek meg a felhősávok, korábban, mint az NLC esetében lehetséges lenne – ez is azt erősíti, hogy a felhő ezen része a sztratoszférában volt.

Moszkvában 24-én alkonyat után igen erős fényű világító felhőket észleltek. Ezek a lát-

hatóságuk időpontjában már igazán közel álltak az NLC szokványos megjelenéshez, a Nap ekkor 6–9 fokkal volt a horizont alatt! A norvégiai Andenesben működtetett mezoszféra LIDAR mérései alapján ezen a napon jelentős mennyiségű víz sodródott 70–80 km közötti magasságban, ez ugyan 5–10 km-rel alacsonyabb a nyári NLC szezonban mért felhőmagasságnál, viszont illeszkedik az oroszországi megfigyelésekhez. Ugyanezen időpontban a németországi Kühlungsbornban működő LIDAR nem mutatta ki a felhő jelenlétét, azaz a délebbi szélességek felett nem jelent meg a felhő.

A kimondottan a mezoszféra világító felhőinek kutatása céljából működő műhold, az AIM műszerei csak a nyári időszakban figyelik az északi féltekét, így ebből a forrásból sajnos nem áll rendelkezésre mérési adat. Az EOS-Aura műhold mérése alapján a mezoszféra felső régiójának hőmérséklete a moszkvai NLC észlelés idején  $-92\text{ °C}$  volt, ami távolról sem éri el az NLC kialakulásához szükséges  $-123\text{ °C}$ -ot, viszont kiugróan hidegebb volt a környező magassági szinteknél. A relatív páratartalom elérte a 0,04%-ot, a környező régió 0%-ához képest. Elégséges lehet ez a hőmérséklet és víz a világító felhők kialakulásához? A mezoszféra felső régiójában a légnyomás rendkívül alacsony, mindössze 0,001 hPa (a tengerszintinek mintegy az egy milliomod része), a relatív páratartalom gyakorlatilag 0%. Ahhoz, hogy az NLC létrejöhessen, a páratartalom emelkedésére és a kondenzmagvak jelenlétére is szükség van – esetünkben a légkörben felizzó meteorból származó vízpára és porszemcsék jelentős mennyiséggel járulhattak hozzá a megjelenéséhez. Nyári időszakban, amikor a hőmérséklet kellően alacsony, kimutathatóan megnő az NLC előfordulása egy-egy rakétafellövést követően, amikor a rakéta üzemanyagából jut a légkör felsőbb régiójába víz. Ugyancsak összefüggés áll fenn a kondenzációs magvak és az meglévő vízpára kifagyása közt, ha elegendő mikroszkopikus porszemcse áll rendelkezésre, akkor a kevésbé alacsony hőmérséklet is elegendő lehet a jégkristályok kialakulásához.

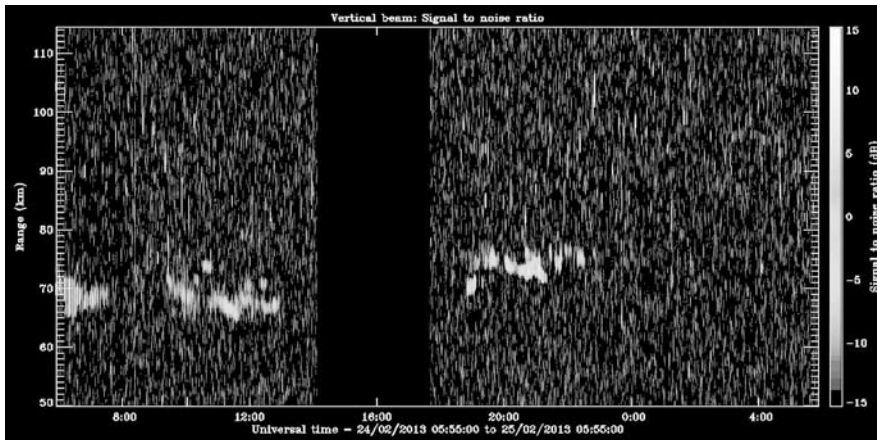


Terry Parker pilótaként a magasból, Közép-Anglia felett fotózta a sávokat február 20-án (spaceweather.com)

Ez utóbbi esetre földközeli példa is van, mégpedig az úgynevezett gyémántpor jelensége, amikor voltaképpen a felszín közeli légréteg magas páratartalma képez mikroszkopikus méretű jégkristályokat. Amennyiben nagyon tiszta, szennyeződésektől mentes a levegő, ezen kristályok kialakulásához  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , illetve ennél is alacsonyabb hőmérséklet szükséges; ha viszont jelentős mennyiségben rendelkezésre állnak a jégképző magvak, akár  $-3$ ,  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on is létrejönnek a jégkristályok. Kézzel fogható bizonyítéka a fentieknek, hogy a gyémántpor felszínhez közeli levegőben lebegő kis kristályain kialakuló légköroptikai jelenségek rendszerint a távoli sarkvidék megfigyelőit örvendeztetik, így Lappföldön, Szibériában vagy az Antarktison rendszeresen alakulnak ki a halójelenségek. Azonban például síterepeken, ahol a hóágyúk biztosítják a kondenzmagvakat, vagy a szennyezett levegőjű ipari jellegű településeken, ahol pedig a kéményekből származó korom- és porszemcsék, akár egy átlagos hőmérsékletű téli napon is kialakulhat a jelenség, amennyiben a páratartalom ideális. Ennek számos hazai és nemzetközi megfigyelés adja folyamatosan a bizonyítékát, Magyarországon Dunaújvárosban, főként a vasmű szűkebb környezetében, valamint a mátrai síterepeken alakul ki a gyémántpor olyan helyzetekben is, amikor máshol nyoma sincs a jelenségnek, és a hőmérséklet sem indokolná létrejöttét.

A mezoszférában ugyanilyen nagy szükség van a kondenzációhoz, az NLC kialakulásához a porszemcsékre. A kutatások szerint ezt nagyrészt a világuórból származó mikrometeorok biztosítják, de kisebb részben a felszínről a légköri turbulens áramlások hatására is feljuthat por, illetve a nagyobb erejű robbanásos vulkánkitörések is hozzájárulnak a magaslégköri jelenlétükhöz.

A téli mezoszféra kevésbé alacsony hőmérsékletét ellensúlyozhatja a nagy mennyiségben rendelkezésre álló víz és por. Ez történhetett a cseljabinszki tűzgömb esetében is. A kb. 90 km magasságban már felizzó égitéstről levált por és víz nagyjából ezen magasság környékén maradt. A következő légköri réteg, ahol jelentős „vesztés” érte a meteort, az a sztratoszféra alsó harmada. A meteor az infrahangos mérések alapján 20–25 km magasságban robbant szét, a robbanás során rendkívül sok por és víz került ezen légrétegbe. A cseljabinszki régióban megfigyelt felhősáv, ami a légkörben felizzó meteor nyoma volt, ennek a pornak és víznek a kondenzálódása miatt alakult ki – nevezhetnénk akár a meteor kondenzcsíkjának is. Ez a felhősík a helyi megfigyelések alapján mintegy 3–4 óra alatt fokozatosan szétterült, láthatósága megszűnt. A láthatóság megszűnését azért kell hangsúlyozni, mivel a felhőt alkotó anyag nem tűnt el, viszont elvékonyodása miatt a napfény képes volt



Az Andenesben működő mezoszféra LIDAR február 24-i felvételén a magaslégtörvi víz jól láthatóan megmutatkozik, közel olyan mennyiségben, mint a nyári NLC-k idején ( <http://www.iap-kborm.de>)

úgy átsütni rajta, hogy már a felszínről nem volt érzékelhető a jelenléte. A másik ok, hogy a sztratoszférában igen erős szelek fújnak, s ezek a szelek a felhő anyagát a helyszín feletti területről nagy távolságba sodorhatták.

A két, szakértő szemmel nézve feltűnően eltérő légköri jelenség: a mezoszféra felső régiójában kialakult világító felhő és a sztratoszféra alsó régiójában megjelent felhő eltérő helyszíneken és időpontokban tűnt fel a megfigyelők előtt. A mezoszférában jellemzően a nehézségi hullámok, míg a sztratoszférában a planetáris hullámok befolyásolják az áramlásokat. Ezen hullámok a függőleges keveredést, illetve az egyes rétegekben lévő anyagok magasabb vagy alacsonyabb régióba kerülését is biztosítják, így lehetséges az is, hogy a sztratoszférában lévő felhőt a napnyugta idejéhez mérten korábban vagy később pillantja meg a megfigyelő. A felhők időben változó, eltérő magasságú megjelenése a LIDAR mérésekkel is alátámasztott mind a sztratoszférikus (Calypso műhold), mind a mezoszférikus felhő esetében. Az említett hullámokon kívül több tényező is befolyásolja a légkör függőleges kiterjedését, ám ezek a naptevékenység hatására, illetve az árapályerők miatt tapasztalható „kilengések” a jelen esetben tárgyalt légköri jelenségekre nincsenek szignifikáns hatással.

A jelenségek utolsó ismert észlelése február 26-án született az oroszországi Brjanszkból (a fehérorosz határ közeléből). A felhő anyaga lassanként egyre nagyobb területen terült szét, egyre inkább elvékonyodott, a felhőt alkotó szemcsék lassanként kiüledtek.

A Tunguz-eseményt követő NLC-khez hasonló jelenség tél végi felbukkanása annak ritkasága, szépsége és tudományos értéke okán is izgalmas megfigyelésekre adott lehetőséget. Szerencsére a különböző országokban élő elhivatott égbolttudósok ez esetben is „szállították” az értékes adatokat, fényképeket, s a közösséget alaposan megmozgatta a „téli NLC”. Mivel az orosz tűzgömb magaslégtörvi kísérőjelenségei nem korlátozódtak egy kisebb földrajzi területre (amint egy kevésbé jelentős tűzgömb kapcsán lenni szokott), ráadásul a sűrűn lakott európai régió felett alakultak ki, sok észlelés született a jelenségről. A történelem során bizonyára sokszor előfordultak hasonló események, a tudatos és rendszeres megfigyelések azonban csak az elmúlt évtizedekben kezdődtek. Jó lenne, ha a mai technikai lehetőségek ezekből az izgalmas jelenségekből egy olyan globális megfigyelési adatbázist hoznának létre, amit későbbi tudományos kutatásokra is fel lehet használni.

*Landy-Gyebnár Mónika*