

rengést követő állapotának értékelését speciális műszerezés, gyorsulásérzékelők segítik. A gyorsulásérzékelők csupán kiegészítő műszerezésnek tekinthetők, hiszen a blokkokat bonyolult idegrendszerként behálózzák a mérések és védelmek, amelyek a megfelelő védelmi működéseket indítják, ha bármely, a biztonság szempontjából fontos rendszer sérülne.

Földrengés esetén a talplemezen elhelyezett detektorok 0,05 g vízszintes irányú gyorsulásnál jelet adnak a vezénylőkbe, illetve indítják az izolálendő armatúrák zárását. Ez a védelmi működés még nem okozza a blokkok leállítását, de azokat a rendszereket kizárja, amelyek nem lettek földrengésállóvá téve, mert az adott esetben nincs biztonsági funkciójuk. A blokkot a minden biztonsági funkcióval rendelkező rendszer működőképességét felülegyelő mérés- és irányítás-technikai, illetve védelmi rendszerek leállítják, ha a funkció sérül. Így például a buborékoltató kondenzátorban egy földrengés hatására fellépő sztingadozás, vagy gőzfejlesztő sztingadozás is, ami mellett még semmilyen sérülésnek nem kell bekövetkeznie. Egy földrengés esetén a blokk így vagy leáll, vagy ha

nincs semmilyen zavar, illetve funkcióvesztés, tovább üzemel. Arról, hogy a blokkokat le kell-e állítani egy (kis) földrengés után, ha egyébként védelmi működés nem volt, a szabad felszínen (udvartéren) lévő gyorsulásérzékelő jelének feldolgozása alapján kell dönteni. Erre meghatározott eljárás és kritériumok vannak. Abban az esetben, ha a kritérium alapján vagy védelmi működés következtében a blokk leáll, az állapot függvényében kell az üzemzavar-elhárítást és az állapotellenőrző bejárásokat szervezni és végrehajtani. Az állapot értékeléséhez a blokkok kritikus helyein gyorsulásregisztrálók vannak. Ez a koncepció a világ más, szeizmikusan mérsékeltén aktív területein lévő atomerőművek eljárásával azonos.

A program megvalósításával párhuzamosan az atomerőműben és annak ötven kilométeres körzetében kiépült egy mikroszeizmikus megfigyelő hálózat, amely a telephely és lényegében az egész régió szeizmikus aktivitását monitorozza. Nem szabad azonban azt hinni, hogy a blokkokon lévő szeizmikus műszerezés, vagy akár a mikroszeizmikus hálózat arra szolgálhat, hogy azzal földrengéseket előre jelezzenek.

NYÁRI ÉJSZAKÁK LÁTVÁNYOS LÉGKÖROPTIKAI JELENSÉGEI: AZ ÉJSZAKAI VILÁGÍTÓ FELHŐK

Farkas Alexandra

ELTE, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium

Az éjszakai égbolt látványosságai korántsem merülnek ki a csillagokban vagy a bolygókban. A kékes színű éjszakai világító felhők a nyári napforduló környékén látszanak, napnyugta után vagy napkelte előtt kereshetjük őket az északi horizont környezetében. A jelenség főként a 45–80° földrajzi szélességű régiók jellemző látványossága. A legtöbb és legfényesebb éjszakai világító felhő a 60° körüli földrajzi szélességek környezetében figyelhető meg, a közelmúlt óta azonban – eddig feltáratlan okok miatt – egyre gyakrabban érkezők észlelések alacsonyabb földrajzi szélességekről is. Június közepétől július végéig hazánkból is megfigyelhetők [1], így szerencsés esetben mi is tanúi lehetünk a szín pompás légköroptikai jelenségeknek.

Vízjégkristályokból álló felhők a mezoszférában

Annak ellenére, hogy morfológiájuk alapján ugyanolyan felhőknek tűnnek, mint bármelyik hagyományos felhő, nem tévesztendő össze semmi mással. Ezek ugyanis nem a troposzférában, hanem még a

sztratoszféránál is magasabban, a *mezoszférában* (50–90 km között) alakulnak ki. A földfelszínről akkor válnak láthatóvá, ha a Nap a látóhatár alatt -6° és -16° között járva megvilágítja azokat.

Létrejöttük azért kötődik a nyári napforduló időszakához, mert a mezoszférában nem télen, hanem ebben az időszakban uralkodik a leghidegebb, 130 K alatti hőmérséklet, amely a jelenlévő rendkívül alacsony páratartalom mellett ideális a felhők kialakulásához. Fontos megjegyezni, hogy a mezoszféra hőmérsékletének változása a troposzférához képest fordított, azaz ha a troposzférában nő a hőmérséklet, akkor a mezoszférában csökken [2]. A felhők létrejöttéhez szükséges jégképző magokat és vízpárát a troposzférában gyakorlatilag korlátlan mennyiségben megtalálhatjuk, azonban a mezoszférában, Földünk egyik legkritikább és legszárazabb légköri rétegében külön meg kell vizsgálnunk lehetséges jelenlétüket és forrásaikat.

Vízpára és jégképző magok

Az 1883-ban bekövetkező, rendkívül pusztító Krakatau-kitörés és az 1908-as Tunguz-esemény után észlelt éjszakai világító felhők kapcsán a víz természetes forrásként megemlíthetjük a ritkán előforduló nagyobb

A cikk a szerző azon dolgozatából készült, amivel I. díjat nyert 2010. december 9-én az ELTE Meteorológia TDK Konferenciáján.

vulkánkitöréseket és a világűrből érkező, nagy víztartalmú égitesteket. A vízpára egy része – szintén természetes úton – a légkörben lévő metán (CH_4) hidroxil gyökökkel (OH) történő reakciója folytán kerül a mezoszférába [3], egy másik része pedig a metán egy összetettebb reakciója miatt. A szelek által a légkörben egyre magasabbra kerülő metánmolekulák 40–70 km magasan a napfény hatására hidrogén- és szénatomokra esnek szét, majd a hidrogén légköri oxigénnel való reakciója miatt víz jön létre [4]. A vízpára ily módon történő keletkezése a légkör alsóbb rétegeiben nem jelentős, a rendkívül száraz mezoszférában viszont kulcsfontosságú. Fentiekén kívül antropogén hatások következtében is kerülhet vízpára a légkör felső rétegeibe, mégpedig az űrhajózás folytán. Az űrrakéták hajtóanyagainak égésekor egyéb anyagok mellett víz is keletkezik, ami a rakétakilövés után a mezoszférába jutva látványos világító felhőket alakíthat ki a rakéták útjának nyomvonalára mentén [3, 5].

A mezoszférában jelen lévő vízpára mennyisége a Nap ultraibolya sugárzása következtében lezajló fotodisszociáció miatt – a H_2O molekulák alkotó elemeire bomlásával – állandóan csökken. A reakció folyamatosan zajlik, intenzitása viszont erősen függ a naptevékenységtől [2]. Fokozott naptevékenység, azaz napfoltmaximum idején többször megy végbe a reakció, napfoltminimum idején pedig kevesebbszer. Napfoltminimumkor tehát akár 30–40%-kal több H_2O molekula marad a mezoszférában, s így nagyobb az esélye az éjszakai világító felhők megjelenésének és fényesebbé válásának. Ezt a megfigyelések is alátámasztják: alacsony naptevékenység idején valóban több és fényesebb éjszakai világító felhő jelenik meg. Az 1986-os napfoltminimumkor például közel 60 napon figyelték meg a tűneményt, míg az ezt követő napfoltmaximum alatt 1991-ben csak 15 napon [4]. Nagy valószínűséggel a 2009-ben (hazánkból is) észlelt nagyszámú éjszakai világító felhő összefüggésbe hozható a Nap legutóbbi, szokatlanul hosszú napfoltminimumával.

A jégképződéshez szükséges részecskék többféleképpen kerülhetnek a mezoszférába: származhatnak a földi légkörbe érkező meteoritokból, emellett lassú légcseré során szelek segítségével is feljuthatnak ebbe a zónába [2, 6], mégpedig erdőtüzek vagy vulkánkitörések aprószemcsés termékeiként. Utóbbi lehetőséget például a már említett Krakatau-kitörés után 2 évvel megjelenő – elsőként dokumentált – éjszakai világító felhők bizonyíthatják. További példaként említhetünk néhány 20. századi heves vulkánkitörést is, amelyeket 2–4 évvel később kismértékben kiugró számú éjszakai világító felhő követett. A Pinatubo 1991-ben bekövetkező kitörése után négy évvel például (az aktuális napfoltmaximum ellenére) négyszer annyiszor jelent meg a tűnemény az éjszakai égbolton, mint korábban.

Az éjszakai világító felhők gyakorisága és a vulkánkitörések előfordulása azonban nem minden esetben kapcsolható össze egyértelműen. Vannak ugyanis olyan vulkánkitörések, amelyek után nem figyelték meg többször a jelenséget (például Mount Saint Helens, 1980), emellett pedig az 1897-ben, 1924-ben,

illetve az 1975–78-ban megjelenő nagyszámú éjszakai világító felhőt nem előzte meg nagyobb vulkánkitörés [4]. Az utóbbi esetek a jégkristályok magjának űrbéli eredetét bizonyítják. Ezt támasztja alá a 2010. március 1-jei, Csehországban észlelt éjszakai világító felhő is, ami minden bizonnyal a február 28-án hazánk északi vidékei fölött felrobbant, körülbelül 1 méter átmérőjű meteor légkörben megtett útja nyomán alakult ki.

Természetes, hogy az egykori üstökösfragokból vagy kisbolygókból származó meteorrajokhoz kötődő, vagy a véletlenszerűen érkező mikrometeorok jóval gyakrabban jutnak be légkörünkbe, mint amilyen gyakran erdőtűz vagy vulkánkitörés van a felszínen. Így tehát ezen űrbéli eredetű részecskék kétségkívül hozzájárulnak a jégkristályok kialakulásához. Az 1960-as években végzett rakétakisérletek is ezt támasztják alá, de a folyamatok még nem pontosan ismertek.

Felhőképződés a mezopauza környezetében

A napjainkban csak részben ismert felhőképződési folyamat 0,03–0,15 μm átmérőjű vízjégkristályokból álló, a mezopauza környékén jelen lévő felhők létrejöttét eredményezi, amelyek néhány perctől akár több mint 2 órán keresztül látszódnak. A felhők térbeli kiterjedése 4 millió km^2 is lehet, vastagságuk pedig 0,5–2 km között változik. Ezen értékek hasonlóak a fátyolfelhő kiterjedéséhez és vastagságához, ám az éjszakai világító felhők rendkívül ritkák. Jellemző sűrűségük 0,01–0,1 jégkristály/ cm^3 , de a legsűrűbb térfogategységekben sincs köbcentiméterenként 1 jégkristálnál több. Rövid életük során viszonylag gyors formai változáson mennek keresztül. Mozgásuk átlagos sebessége 40 m/s, ám a különálló sávok gyakran más irányban és más sebességgel mozognak, mint a felhő egésze. A felhők kialakulásuktól kezdve folyamatosan süllyednek, majd egy körülbelül 200–400 méterrel alacsonyabban lévő, néhány fokkal melegebb hőmérsékletű zónába érve a felhőket alkotó jégkristályok szublimációval újra vízpárává válnak, és a felhők feloszlanak [5, 6].

Vizuális észlelések

A nyári napforduló környékén bárki végezhet egy jól megválasztott helyszínről vizuális észleléseket. Fontos, hogy teljes rálátásunk legyen a szürkületi égbolt északeletről északnyugatig tartó részére, illetve hogy a zavaró fényektől távol legyünk és a horizont sávját a lehető legkevésbé fedjük el hegyek, növények vagy épületek.

Attól kezdve, hogy a Nap horizonttól való távolsága eléri a -6° -ot (nyári időszámítás szerint 21:15 körül), elkezdhetjük keresni az éjszakai világító felhőket. Ez felhőtlen égbolt mellett egyszerűbb feladat, viszont az adott égrész valamilyen mértékű borultsága nehezítheti az észlelést. A megfigyelési ablak nyílása kor a már sötét színű alacsony- és középmagasszintű



1. *ábra.* A horizont közelében megjelenő *fátyolos* éjszakai világító felhő, általában a többi típus háttérében jelenik meg (2010. június 29. Hajdúszoboszló, a szerző felvétele). A különböző típusokat bemutató rajzok forrása: Noctilucent Clouds Observers' Homepage, <http://www.nlcnet.co.uk>.)

troposzférikus felhők eltakarhatják az éjszakai világító felhőket vagy azok egy részét. Mivel ebben az időszakban a magassintű felhőket még érheti napfény, így – főként a fátyol- és pehelyfelhők – nagymértékben hasonlíthatnak a halványabb éjszakai világító felhőkhöz. Az erős holdfény és a városi közvilágítás szintén nehezítheti az elkülönítést. A magassintű felhőket és az éjszakai világító felhőket binokulár segítségével tudjuk megkülönböztetni: a tízszeres, húszszoros nagyítás által előbbieket homályossá, utóbbiak pedig részletgazdagabbá válnak [1].

Változatos morfológia

Az éjszakai világító felhők morfológiájának nagy változatosságát számításba véve négy alaptípus és négy komplex forma ismert [5]. A négy alaptípust római I, II, III, IV számokkal, az azokon belüli alcsoportokat pedig a római szám mellé írt a, b, illetve c betűvel jelöljük. A komplex típusok jelölései (S, P, V, O) a finn elnevezések kezdőbetűi.

A *fátyol* (I) az éjszakai világító felhők legegyszerűbb formája (1. *ábra*), ami általában a többi típus háttérében van jelen. Megjelenésében legfőképp a magassintű fátyolfelhőhöz hasonlít, de sokszor csak az égbolt kékes színű fölfénylése észlelhető. Alkalmanként halvány, rostos szerkezete is lehet.

Megfigyeléseim szerint hazánkban leggyakrabban észlelhető a II típus (2. *ábra*), amelynek jellemzői a hosszú, egymással nagyjából párhuzamosan elhelyezkedő, vagy kissé összefonódó *sávok*. Gyakran a lassan mozgó, halványabb sávok az uralkodóak



2. *ábra.* *Sávok* szerkezetű éjszakai világító felhő (2009. július 21. Mogyoród, a szerző felvétele).

egy-egy adott felhő megjelenésekor, főként a kevésbé látványosaknál. Élesség szerint két altípust különböztetünk meg: a IIa sávok homályos, a IIb sávok pedig tisztán látható határvonalakkal rendelkeznek.

Éjszakai világító felhő *bullámoknak* (III) a szorosan egymás mellett elhelyezkedő, nagyjából párhuzamos, rövid vonalakat nevezzük, amelyek az undulatus felhőkhöz hasonlíthatók (3. *ábra*). A rövid vonalak keresztezhetik a hosszú sávokat, ezzel fésűszerű formát adva az éjszakai világító felhőknek. Formájuk és

3. *ábra.* *Hullámokból* álló éjszakai világító felhők (2009. július 12. Mogyoród, a szerző felvétele).





4. ábra. Éjszakai világító felhő örvények (2009. július 19. Mogyoród, a szerző felvétele).

helyzetük akár néhány perc alatt nagymértékben megváltozhat, ami sokkal gyorsabb változást jelent, mint a sávoknál. A hullámzás mértéke alapján két altípust szokás elkülöníteni: a IIIa hullámok kisebb, a IIIb hullámok pedig nagyobb mértékben fodrozódnak. Az éjszakai világító felhők gyűrűs, *örvényes szerkezetűek* (IV) is lehetnek (4. ábra).

A legtöbb esetben két vagy több típus egyszerre figyelhető meg, ekkor beszélhetünk *komplex morfológiájú* jelenségről (5. ábra). Nem ritka például, hogy egymástól távol lévő sávokat kisebb hullámok kötnek össze, fényes csomókat felerősítve a metszéspontokban. 2009 nyári időszakát több ilyen látványos morfológiájú és hosszú ideig észlelhető komplex éjszakai világító felhő jellemezte hazánkban [1]. A különböző típusok kialakulási folyamata egyelőre nem tisztázott.

5. ábra. Komplex morfológiájú éjszakai világító felhő (2009. július 22. Mogyoród, a szerző felvétele).



Lehetséges magyarázatok

Az éjszakai világító felhők 1885-ös fölfedezése óriási jelentőséggel bírt a meteorológiai kutatások szempontjából. *Otto Jesse* munkájának köszönhetően megkezdődhetett a légkör addig teljesen ismeretlen részének föltárása. A megfigyelőhálózatok munkája és a későbbi műszeres vizsgálatok nyomán számos információt tártak föl a légkör e részéről. A hosszú távú észlelések alapján

arra is fény derült, hogy az éjszakai világító felhők egyre gyakrabban jelennek meg, egyre fényesebbek és egyre délebbi pontokról észlelhetők. Ennek oka a mezoszféra hőmérsékletének változása és az ottani növekvő vízpára-koncentráció lehet. Hipotézisek alapján előbbi azért következhet be, mert az üvegházgázok mennyiségének növekedésével a troposzféra hőmérséklete emelkedik, a kölcsönhatás miatt pedig a mezoszféra hőmérséklete ezzel egyidejűleg folyamatosan csökken. Az egyre nagyobb mennyiségű vízpára pedig a különböző ipari és mezőgazdasági tevékenységek folytán növekvő metán-koncentráció eredményeképp jöhet létre. Az éjszakai világító felhők hosszú távú változásai tehát feltehetően a globális klímaváltozással és az emberi tevékenységgel is összefüggésbe hozhatók [4, 7]. Fenti indokok egyelőre bizonytalanok, a felhők kialakulásának és jelentőségének föltárására további kutatások szükségesek. A kimondottan e jelenséget vizsgáló AIM (*Aeronomy of Ice in the Mesosphere*) űrszonda vizsgálatain kívül fontos, hogy továbbra is készüljenek földfelszíni vizuális megfigyelések is, amelyek hozzásegíthetnek a nyitott kérdések megválaszolásához.

Irodalom

1. Farkas A.: *Éjszakai világító felhők és megfigyelésük Magyarországról*. Tudományos diákköri dolgozat, ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék, 2010, p. 35. Témavezetők: Kiricsi Ágnes, Tasnádi Péter.
2. Thomas, G. E.: Mesospheric clouds and the physics of the mesopause region. *Review of Geophysics* 29 (1991) 553–575.
3. Cowley, L.: *Atmospheric Optics*. <http://atoptics.co.uk>.
4. Thomas, G. E., Olivero, J. J.: Noctilucent clouds as possible indicators of global change in the atmosphere. *Advances in Space Research* 28 (2001) 937–946.
5. Gadsden, M., Parviainen, P.: *Observing noctilucent clouds*. The International Association of Geomagnetism & Aeronomy, 2006, p. 37.
6. Kokhanovsky, A. A.: Microphysical and optical properties of noctilucent clouds. *Earth-Science Reviews* 71 (2005) 127–146.
7. Thomas, G. E., Olivero, J. J., Jensen, E. J., Schröder, W., Toon, O. B.: Relation between increasing methane and the presence of ice clouds at the mesopause. *Nature* 338 (1989) 490–492.