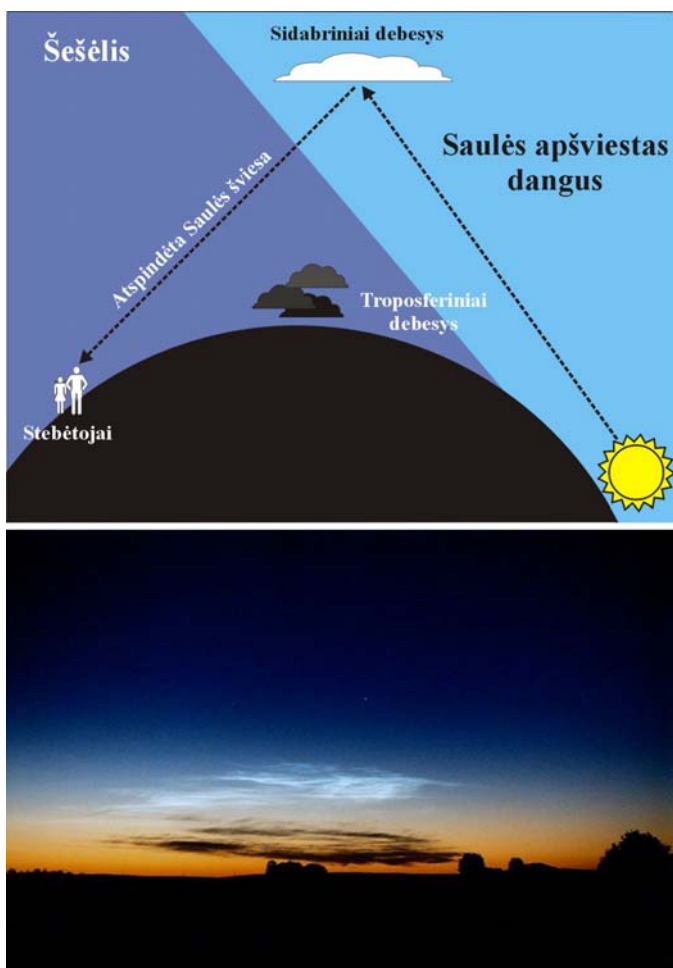


Sidabriniai debesys

R. Balčiūnas ir A. Dubietis

Dar 1831 m. Karališkoji Mokslo Draugija, numatydamą savo veiklos gaires, paskelbė, kad “viskas, kas švyti, turi būti iširta”. Nuo to laiko prabėgus bemaž pusantro šimtmečio, žymus sidabrinų debesų tyrinėjimo specialistas ir entuziastas M. Gadsdenas, prisiminęs šį posakį pajuokavo, kad šia prasme sidabriniai debesys yra verti didesnio dėmesio, nei juodosios skylės.

Lietuvoje vasaros naktys labai trumpos, Saulė nedaug tenusileidžia už horizonto, tad net ir vidurnaktį visiškai nesutemsta. Vadinamosios navigacinės sutemos tęsiasi visą naktį. Tuo metu šiaurinėje dangaus pusėje neretai galima pastebėti neįprastus balkšvai melsvus debesis, kurių švytėjimas išsiskiria tamsiame dangaus fone (1 Pav.). Tai – sidabriniai debesys (*angl. Noctilucent clouds*).



1 Pav. Viršuje – sidabrinų debesų apšvietimo geometrija, apačioje – sidabriniai debesys, nufotografuoti 0000.00.00. Žemiau matyti tamsūs troposferiniai debesys jau esantys Saulės šešėlyje (R. Balčiūno nuotr.)

Sidabriniai debesys yra labai aukštai, todėl jie vis dar atspindi nusileidusios Saulės šviesą, kai tuo metu įprastiniai debesys tėra matomi tik kaip tamsūs šešėliai temstančiame danguje. Vidurvasary geografinėse platumose, esančiose šiauriau 50 laipsnių (taip pat ir Lietuvoje) Saulė nedaug tepanyra žemiau horizonto, tad jos apšviesti sidabriniai debesys gali švytėti visą naktį. Paprastai sidabriniai debesys matomi šiaurinėje dangaus pusėje, ir būna ryškiausi, kai jų aukštis yra 10-20 laipsnių virš horizonto. Aukštai virš horizonto sidabriniai debesys išryškėja praėjus maždaug pusantros valandos po Saulės laidos ar likus tiek pat laiko iki

aušros, tačiau sunkiai įžiūrimi dėl vis dar šviesaus dangaus. Žemai virš horizonto esančių sidabrinų debesų regimasis šviesumas taip pat yra menkas dėl padidėjusio atmosferos stulpo sugerties. Beje, kadangi sidabriniai debesys yra labai dideliame aukštyje, jie matomi net iki 1000 km spinduliu. Tačiau šiauriau 65 laipsnių šiaurės platumos sidabriniai debesys jau nebestebimi. Ten Saulė tenusileidžia mažiau nei 6 laipsnius

žemiau horizonto, dangus yra per šviesus, o plonas sidabrinių debesų sluoksnis yra labai skaidrus. Sidabriniai debesys stebimi ir pietų pusrutulyje, tačiau ten jų matomumo zona apima tik gana retai apgyvendintus piečiausius Čilės ir Argentinos rajonus. Kanadoje, Didžiojoje Britanijoje, Vokietijoje, Skandinavijos šalyse bei buvusioje Sovietų Sąjungoje bendradarbiaujant mokslininkams ir astronomijos mėgėjams buvo įsteigti SD nuolat veikiantys plačios geografinės aprėpties sidabrinių debesų stebėjimo tinklai, veikiantys jau bemaž 40 metų ir užtikrinantys nenutrūkstamus šių neįprastų debesų stebėjimus.

Trumpa istorija

Sidabrinis debesis pirmą kartą 1884 m. aprašė R. Leslis. Sekančiais metais sidabriniai debesys jau buvo stebėti daugelyje Šiaurės ir Vidurio Europos šalių. Vienas sidabrinių debesų stebėjimo pionierių buvo vokiečių astronomas O. Jessė, visą savo likusį gyvenimą pašventęs šių neįprastų bei paslaptinių debesų tyrinėjimams. 1887 metais jis kartu su savo bendražygiu F. Arčenhöldu Vokietijoje netoli Berlyno įsteigė pirmąją sidabrinių debesų stebėjimų stotį, taip pradėdami sisteminius stebėjimus. Jau pirmieji šių stebėjimų rezultatai pasirodė visiškai nelaukti. Fotografiniais trianguliacijos metodais buvo nustatyta, kad sidabriniai debesys beesą neįtikėtiname, maždaug 82 km aukštyje – atmosferos sluoksnyje, kuris vadinamas mezosfera. Čia vertėtų pastebėti, kad aukščiausiai troposferiniai debesys – plunksniniai, tepakyla į maždaug 10 km aukštį. Be to buvo nustatyta, kad sidabrinių debesų sluoksnis yra labai plonas ir optiškai skaidrus, tad stebimas tik Saulei apšvietus jį tam tikru kampu.

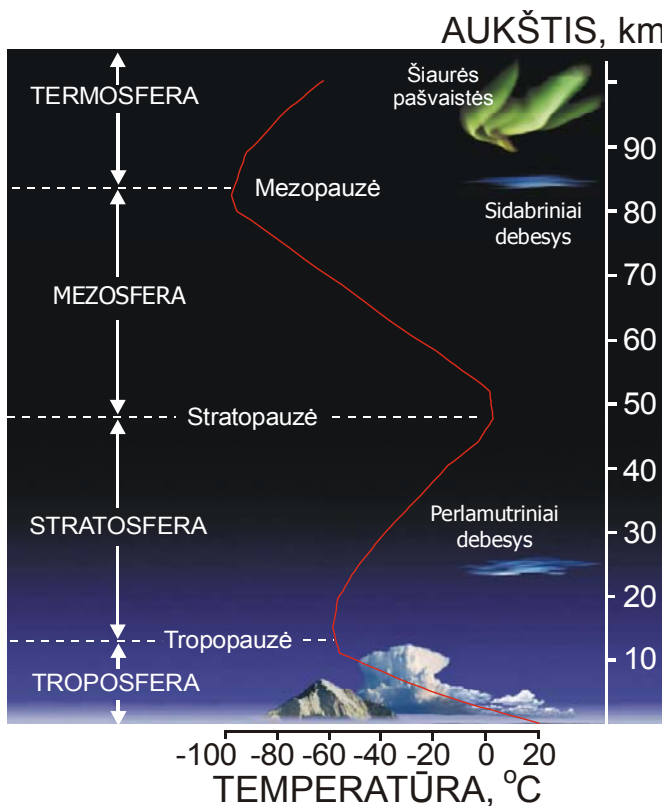
Sidabriniai debesys buvo siejami su galingiausiu pastarųjų amžių Krakatau ugnikalnio, esančio Indonezijoje, išsiveržimu 1883 m. rugpjūčio 27 d., kurio metu į atmosferą buvo išmesta milijonai tonų suodžių, dulkių, aerolių bei kitų cheminių junginių. Tuomet keletą metų paeiliui visame pasaulyje stebėta daugybė anomalių atmosferos reiškinių, susijusių su didele aukštesniųjų atmosferos sluoksnių tarša bei šviesos sklaidos reiškiniais – neįprastai spalvingi saulėlydžiai, halai, švytėjimai ir tt. Savaimė piršosi išvada, kad sidabriniai debesys taipogi yra vienas šio galingo ugnikalnio išsiveržimo padarinių. Imta manyti, kad ugnikalnio išmestos dulkės kažkoku būdu pakilo į didelį aukštį, ir būtent iš jų sudaryti sidabriniai debesys. Vienok pirmieji sukaupti duomenys bylojo ką kitą. Visų pirma, buvo nustatytas akivaizdus sidabrinių debesų matomumo sezoniškumas ir tam tikra geografija. Sidabriniai debesys buvo stebimi išimtinai vasaros mėnesiais ir tik vietovėse, esančiose šiauriau 45 laipsnių šiaurės platumos. Juolab, kad bėgant metams ugnikalnio išmestos dulkės jau seniai buvo išsisklaidę ir nusėdę, o sidabriniai debesys ne tik kad neišnyko, bet atvirkščiai, jų pasirodymai tolydžio dažnėjo.

Vėlesni bandymai sieti sidabrinis debesis su ankstesniais ar vėlesniais ugnikalnių išsiveržimais, kad ir ne tokiais galingais kaip Krakatau, taip ir neatskleidė jokių apčiuopiamų sąsajų tarp šių reiškinių. Galiausiai 1910 m. buvo atsakyta vulkaninės sidabrinių debesų kilmės aiškinimo, ir imta manyti, kad sidabriniai debesys sudaryti ne iš dulkių, bet iš ledo kristaliukų, panašiai, kaip ir plunksniniai debesys troposferoje. 1926 m. paskelbta hipotezė apie meteorinių dulkių įtaką sidabrinių susidarymui, traktuojant jas kaip potencialius kondensacijos centrus ledo kristaliukų radimuisi. 1928 m. Arčenhöldas apibendrino O. Jessės ir kitų to meto tyrinėtojų idėjas ir pateikė nepaprastai gilių

fundamentinių išvalgų (turint omenyje, kad apie pačius aukščiausius atmosferos sluoksnius tuomet beveik nieko nebuvo žinoma!), kurios didžiaja dalimi pasitvirtino jau modernių stebėjimų amžiuje. 1962 m. remiantis antžeminių radarų bei raketų perduodamais duomenimis, sidabrinių debesų susidarymas buvo susietas su itin žemomis temperatūromis, mezopauzės ypatumais, kosmine spinduliuote ir tt. ir galutinai įtvirtino ledo kristaliukų hipotezę. Stebėjimai iš kosmoso atskleidė, kad ties šiaurės ir pietų ašigaliais plyti milžiniški mezosferinių debesų masyvai, o mūsų stebimi sidabriniai debesys tėra tik regimasis šio masivo kraštas. Galiausiai buvo atskleistas sidabrinių debesų matomumo periodiškumas bei jo ryšys su Saulės aktyvumo ciklu.

Šiek tiek fizikos ir ne tik

Sidabriniai debesys nedaug ką bendro turi su meteorologija, bet kaip mokslinių tyrimų objektas ženklina nuostabiai turtingą, atrodytų visiškai skirtingų mokslo šakų – astronomijos, klimatologijos, geofizikos, plazmos bei bangų fizikos sankirtą.



2 Pav. Atmosferos sluoksniai, temperatūra ir galimos debesų formavimosi zonos.

Nors vandens garų koncentracija viršutiniuose atmosferos sluoksniuose yra itin maža, tesiekianti kelias milijonines dalis to vandens garų kiekio, kuris yra žemutiniuose atmosferos sluoksniuose, debesys gali formotis ir ten. 3 pav. pateiktas supaprastintas atmosferos sluoksnių bei temperatūros modelis. Vienok aplinkos sąlygos dideliame aukštyje yra visiškai skirtingos, nei tos, kurioms esant formuojasi troposferiniai debesys. Visų pirma, 80-90 km aukštyje atmosfera yra labai reta ir jau gali būti laikoma daliniu vakuumu – slėgis čia tėra 1.4 Pa (beveik 100 000 kartų mažesnis, nei ties Žemės

paviršiumi!). Žemiausia temperatūra yra mezosferos srityje, vadinamoje mezopauze. Kyla klausimas, kaip gi esant tokiam žemam slėgiui, gali vykti vandens garų kondensacija? Esant įprastinei mezopauzės temperatūrai (-100°C) dėl itin žemo slėgio vandens garai kondensuotis negali. Atrodytų paradoksalu, tačiau mezopauzės temperatūra yra žemiausia vasarą, o aukščiausia žiemą. Būtent vasarą mezopauzės temperatūra gali nukristi žemiau -125°C , ir tik tada gali rasti mažyčiai ledo kristaliukai, kurių sankaupas ir stebime kaip sidabrinis debesis. Beje, šių ledo kristaliukų matmenys yra neįtikėtina maži, tesiekiantys vos 100 nanometrų (dešimt tūkstantąją milimetro dalį).

Vienok pagrindinis klausimas, į kurį tenka atsakyti – tai koku būdu vandens garai pakyla į tokį didelį aukštį? Tropopauzė veikia kaip šalčio spąstai ir neleidžia vandens garams tiesiogiai pakilti į aukštesnius atmosferos sluoksnius. Tad laikoma, kad yra dvi, bemaž lygiavertės, vandens garų radimosi mezosferoje priežastys. Visų pirma, tai – dėl intensyvios ultravioletinės Saulės spinduliuotės vykstanti metano fotodisociacija (molekulių irimas, sąlygojamas šviesos spindulių). Vertėtų priminti, kad ozono sluoksnis, saugantis mus nuo pragaištingų Saulės spindulių, yra gerokai žemiau – maždaug 50 km aukštyje (tai daugmaž atitinka atmosferos sritį, vadinamą stratopauze). Metano molekulės, veikiamos ultravioletinių spindulių, dalyvauja fotocheminėse reakcijose su atominiu deguonimi bei hidroksilų radikalais, kurių pasėkoje iš vienos metano molekulės gimsta dvi vandens molekulės. Kita vandens garų radimosi mezosferoje priežastis yra vandens garų transportas iš žemutinių atmosferos sluoksnių ar stratosferos. Dinaminiai procesai viduriniuose atmosferos sluoksniuose yra be galo sudėtingi ir dar nėra iki galo suprasti. Tačiau įrodyta, kad maždaug 10 km aukštyje formuojasi vadinamosios gravitacinės ar plūdrumo bangos (angl. *gravity* ar *buoyancy waves*) kurių judėjimas yra nukreiptas tiesiai į viršų. Šias bangas sukelia audros debesys, savitas oro masių judėjimas kalnuose, troposferinės audros ir pan., ir jos geba pasiekti net mezosferą. Šių bangų nereikėtų painioti su gravitacinėmis bangomis, kurių jau daugelį metu ieško astrofizikai.



Ten, kur gستا gravitacinės bangos, smarkiai krinta temperatūra. Manoma, kad būtent dėl to mezosferoje randasi vieta, kurioje temperatūra itin žema – mezopauzė. Taip pat šios bangos atneša ir tam tikrą vandens garų kiekį į mezosferą. Oro masių judėjimas viduriniuose atmosferos sluoksniuose taip pat priklauso ir nuo daugelio kitų veiksnių – saulės radiacijos, cheminių vyskmų, kitų



dinaminių procesų ir tt., o žiūrint iš fizikinio taško yra stipriai netiesinis. Būtent gravitacinių bangų judėjimo ypatumai ir suteikia sidabriniam debesims jų savitas formas. Dažniausiai – tai juostų ir bangelių samplaika (4 Pav.). Jų kitimo dinamika leidžia nustatyti, kad mezosferos sluoksnyje, kur formuojasi sidabriniai debesys, pučia stiprūs vėjai, kurių greitis gali siekti net kelis šimtus metrų per sekundę.

Įdomu ir tai, kad pavienės bangelės iškyla iki kelių kilometrų virš plono debesų sluoksnio, kurio storis tėra apie kilometrą. Tokių pavienių bangelių judėjimas labai

primena negęstančias bangas vandens paviršiuje – solitonus, ir taip pat yra aprašomas netiesine lygtimi.

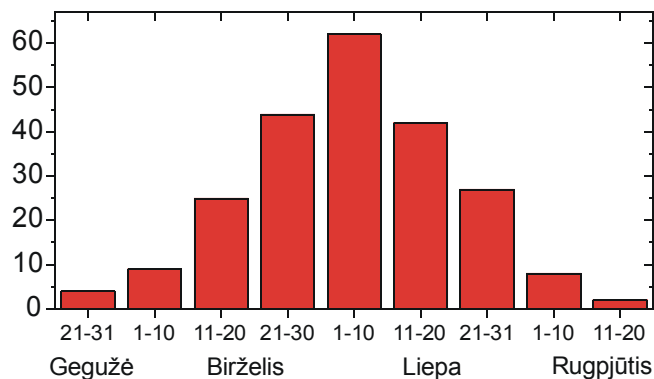
Manoma, kad yra ir trečiasis, tolydžio stiprėjantis, vandens garų radimosi mezosferoje šaltinis. Tai – kosminių raketų kuro degimo produktai, kuriuose, kaip žinia, vyrauja vandens garai. Tačiau vien vandens garų atsiradimas mezosferoje net ir itin žemų temperatūrų sąlygomis dar neužtikrina pačių debesų atsiradimo. Kaip jau minėjome, ledo kristaliukams susidaryti reikalingi kondensacijos centrai. Tokiais centrais tampa jonai, ir kai kurie mikrometeorinių dulkielių, atskriejančių iš tarpplanetinės erdvės, cheminiai komponentai (pvz. natrio hidrokarbonatas). Pakankamas jonų kiekis randasi dėl jonizuojančio Saulės spinduliuotės poveikio, o per parą į Žemės atmosferą patenka net iki 40 tonų kosminių dulkielių. Beje, dėl jau minėtos ultravioletinės spinduliuotės sąlygojamos fotodisociacijos vandens molekulės tai pat nėra stabilios, jų gyvavimo trukmė mezosferoje tėra nuo 3 iki 10 dienų. Taigi sidabrinių debesų atsiradimui turi būti patenkintos iškart visos minėtos sąlygos, o kaip byloja stebėjimų duomenys, tai atsitinka toli gražu ne visuomet.

Gilinantis į fizikinius vyksmus, buvo atrasta, kad sidabrinių debesų medžiaga yra natūrali vadinamoji dulkėtoji plazma (angl. *dusty plasma*), pastaraisiais metais tapusi įdomių tyrinėjimų objektu astrofizikoje, branduolinėje fizikoje ir net puslaidininkių technologijose. Skirtingai nei grynoji plazma, kuri sudaryta iš teigiamų jonų ir neigiamų elektronų ir yra elektriškai neutrali, elektringų dalelių ir dulkių mišinys (tai ir yra dulkėtoji plazma) pasižymi visiškai kitokiomis savybėmis, o dinaminis procesas joje lemia ne tik elektrinės, tačiau ir gravitacinės jėgos. Ryškiausi gamtiniai dulkėtosios plazmos pavyzdžiai be sidabrinių debesų yra Saturno žiedai, kosminiai ūkai, kuriuose gimsta žvaigždės ir tt.

Sidabriniai debesys Lietuvos padangėje

5 Pav. Sidabrinių debesų pasirodymų dažnis 1989-2004 metais Lietuvoje. (Autorių stebėjimų duomenimis, apibendrinant daugiau kaip 200 stebėjimų).

Lietuvos geografinė padėtis yra labai dėkinga



sidabrinių debesų stebėjimams. Šio straipsnio autoriai nuo 1989 metų sidabrinis debesis užregistravo beveik 250 kartų, jų stebėjimų duomenys apibendrinti 5 pav. Pažymėtina, kad sidabriniai debesys stebimi išimtinai tik gegužės-rugpjūčio mėnesiais. Tačiau būta ir išimčių – 2000 m. sidabriniai debesys stebėti neįprastai anksti, net kovo ir balandžio mėnesiais, o 0000 m. labai vėlai – rugpjūčio pabaigoje. Didžiausia tikimybė pamatyti

sidabrinis debesis yra pirmąjį liepos mėnesio dešimtadienį, būta atvejų, kai sidabriniai debesys buvo stebimi net 5 ar daugiau naktų paeiliui (gal kokį pavyzdį kada tai buvo). Galima įžvelgti ir kasmetines sidabrinių debesų matomumo variacijas, kurios ženklina

ryškų sidabrinių debesų matomumo sumažėjimą Saulės aktyvumo maksimumų metais (0000 ir 0000). Pati sidabrinių debesų matomumo trukmė nakties metu taip pat labai įvairi – nuo 10 minučių iki keleto ar daugiau valandų. Iš esmės šie duomenys gana tiksliai sutampa su ilgamečiais Vakarų Europos stebėjimais, apibendrintais M. Gadsdeno straipsnyje “The North-West Europe data on noctilucent clouds: a survey”, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* **60**, pp. 1163-1174.



6 Pav. Sidabriniai debesys ir šiaurės pašvaistė 2005 m. birželio 14 d. 00 val. 00 min.

2005 m. birželio 14 d. Lietuvoje vienu metu stebėtas ypatingai retas dviejų reiškinų, vykstančių aukštuosiuose

atmosferos sluoksniuose – sidabrinių debesų ir šiaurės pašvaistės derinys (6 pav.). Beje, apie panašų sutapimą 1992 m. buvo skelbė ir anglų stebėtojai.

Sidabriniai debesys ir globalūs klimato pokyčiai

XX a. stebėjimų duomenys byloja, kad sidabriniai debesys pastebimi vis dažniau (teisybės dėlei verta pridurti, kad ne visi mokslininkai su tuo sutinka). Tai nėra sietina nei su išaugusiu stebėtojų skaičiumi, nei su didėjančia stebėjimų geografine aprėptimi, kadangi statistiškai yra registruojamas sidabrinių debesų buvimo ar nebuvimo faktas, nesvarbu, kur jie pastebėti. Tačiau būta ir išimčių. Pavyzdžiui, žinoma, kad sidabrinių debesų pasirodymų dažnis buvo ženkliai sumažėjęs 1945-1964 m, o taip pat 1992-1993 m. Apibendrinus ilgamečius Vakarų Europos stebėjimus, buvo nustatytas akivaizdus sidabrinių debesų pasirodymo periodiškumas – maždaug kas 11 metų jie stebimi žymiai dažniau. Toks pat yra ir Saulės aktyvumo ciklas. Tačiau įdomu tai, kad sidabrinių debesų pasirodymų dažnis yra mažiausias didžiausio Saulės aktyvumo metu, ir atvirkščiai, ar kitaip tariant, sidabrinių debesų ir Saulės ciklai vyksta priešfaze. Vienas iš galimų paaiškinimų yra toks: suaktyvėjusi Saulė spinduliuoja daugiau elektromagnetinės energijos, kuri nors ir nežymiai, tačiau vis tik padidina temperatūrą mezosferoje. Šio mažo temperatūros pokyčio matyt pakanka, kad vandens garų kondensacija vyktų silpniau.

Ką gi reiškia nuolatinis sidabrinių debesų dažnio didėjimas? Dabar manoma, kad tai susiję su nuolat augančiu į atmosferą išmetamo metano, anglies dvideginio ir kitų dujų, sąlgojančių šiltnamio efektą, kiekiu. Vien metano kiekis, lyginant su priešindustrine era, padidėjo dvigubai. Dėl to žemiausieji atmosferos sluoksniai šyla, tačiau aukščiausieji – atvirkščiai – šąla. Šiuolaikiniai teoriniai modeliai prognozuoja, kad anglies dvideginio kiekis per artimiausią šimtmetį taip pat padvigubės, kas savo ruožtu sąlygos mezosferos atšalimą dar 10 laipsnių. Todėl visiškai tikėtina, kad padažnėję sidabriniai debesys – tai

pirmieji pastebimi ženklai, rodantys žmogaus veiklos įtaką Žemės klimatui. Kartu tai ir išankstinis perspėjimas apie jau prasidėjusius globalius pokyčius mezosferoje, kurie gali būti ir negrįžtami.

Pabaigai, norėtume atkreipti dėmesį, kad sidabriniai debesys nėra vieninteliai debesys, susidarantys už troposferos ribų. Stratosferoje, temperatūrai nukritus iki -80°C , maždaug 20-30 km aukštyje retsykliais gali susiformuoti vadinamieji perlamutriniai debesys (angl. *mother-of-pearl* ar *nacreous clouds*). Perlamutriniai debesys taip pat turi savitą struktūrą, tačiau išsiskiria savo ryškiu švytėjimu visomis vaivorykštės spalvomis, jų neįmanoma supainioti su bet kuriais kitais debesimis. Nors sidabrinių ir perlamutrininių debesų matomumo geografija yra panaši, tačiau skirtingai nei sidabriniai, šie debesys matomi išimtinai žiemos metu ir viso labo vidutiniškai tik kelis kartus per metus. Žinant, kad Lietuvoje žiemos giedrais orais nelepina, norint pamatyti perlamutrininius debesis, reikia ypatingos sėkmės.

Literatūra:

Archenhold F. S. 1928, "Noctilucent clouds and unpublished measurements of their velocity", *Monthly Weather Review* pp. 278-280.

Bone N. 2004, "Noctilucent clouds: anywhere, anytime?", *Journal of British Astronomical Association* **114**, p. 11.

Byrne G. J. 2004, "Seen from space", *Weatherwise*, October, pp. 38-41.

Gadsden M. 1986, "Noctilucent clouds", *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* **27**, pp. 351-366.

Gadsden M. 1989, "Noctilucent clouds", *Journal of British Astronomical Association* **99**, pp. 210-214.

Gadsden M. 1998, "The North-West Europe data on noctilucent clouds: a survey", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* **60**, pp. 1163-1174.

Gadsden M. 1998, "Can I see noctilucent clouds?", *Journal of British Astronomical Association* **108**, pp.35-38.

Humphreys W. J. 1933, "Nacreous and noctilucent clouds", *Monthly Weather Review*, pp. 228-229.

Kokhanovsky A. A. 2005, "Microphysical and optical properties of noctilucent clouds", *Earth-Science Reviews* **71**, pp. 127-146.

Lean J. 2005, "Living with a variable sun", *Physics Today*, pp. 32-38.

McBeath A. 2000, "Daytime Taurid complex stream activities, May-July 1999: a provisional report", *WGN Journal of the International Meteor Organization* **28**, pp. 21-29.

Merlino R. L. and Goree J. A. 2004, "Dusty plasmas in the laboratory, industry and space", *Physics Today* pp

Plane J. M. C. 2000, "The role of sodium bicarbonate in the nucleation of noctilucent clouds", *Annales Geophysicae* **18**, pp. 807-814.

Schaaf F. 2005, "Nacreous clouds- Part 2", *Sky and Telescope* **109**, p. 94.

Schroeder W. 1999, "Were noctilucent clouds caused by the Krakatoa eruption? A case study of the research problems before 1885", *Bulletin of the American Meteorological Society* **80**, pp. 2081-2085.

Schroeder W. 2001, "Otto Jesse and the investigation of noctilucent clouds 115 years ago", *Bulletin of the American Meteorological Society* **82**, pp. 2457-2468.

Toon O. B. and Farlow N. H. 1981, "Particles above the tropopause: measurements and models of stratospheric aerosols, meteoric debris, nacreous clouds and noctilucent clouds", *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences* **9**, pp. 19-58.

Tromp T. K., Shia R.-L., Allen M., Eiler J. M., and Yung Y. L. 2003, "Potential environmental impact of a hydrogen economy on the stratosphere", *Science* **300**, pp. 1740-1742.

Zalcik M. S. 1998, "A possible increase in mid-latitude sightings of noctilucent clouds?", *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* **92**, pp. 197-200.