ČESKÝ
HYDROMETEOROLOGICKÝ
ÚSTAV

RNDr. Martin Setvák, CSc.
družicové oddělení ČHMÚ
http://www.chmi.cz http://www.setvak.cz
martin.setvak@chmi.cz

NOČNÍ AIRGLOW:

POHLEDY ZE ZEMĚ A Z VESMÍRU

FEL ČVÚT Praha, 4. dubna 2019

Airglow (nightglow) … přirozený svit (noční) oblohy

Yuri Beletsky, 2015/2016, Chile, *www.facebook.com/yuribeletskyphoto*, *www.instagram.com/yuribeletsky/*

Airglow (nightglow) a VIIRS Day/Night Band

VIIRS Day/Night, rozsah 0.5 – 0.9 μm

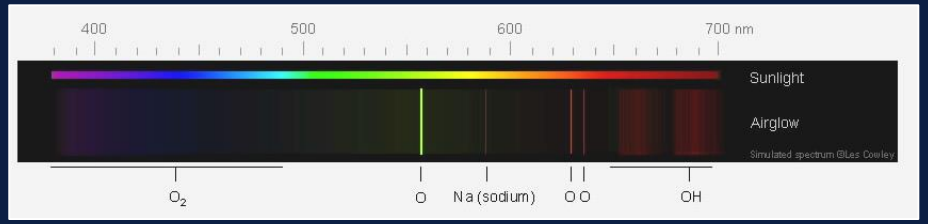


Image source: *http://www.atoptics.co.uk/highsky/airglow2.htm*

Zdroj záření airglow – chemiluminiscence (OH*) a vyzařování excitovaných atomů a molekul atmosféry, vybuzených v denních hodinách krátkovlnným UV zářením Slunce, případně kosmickým zářením; na rozdíl od polárních září globální výskyt.

- modrá – molekulární kyslík, ~ 95 km
- zelená – atomární kyslík, 90 – 100 km
- žlutá – sodík (meteorického původu), ~ 92 km
- červená – atomární kyslík, 150 – 300 km
- červená a blízké IR záření – radikál hydroxylu (OH^*), ~ 87 km

Podrobnější informace a historie pozorování viz např. http://www.iafe.uba.ar/aeronomia/airglow.html

Airglow (nightglow)

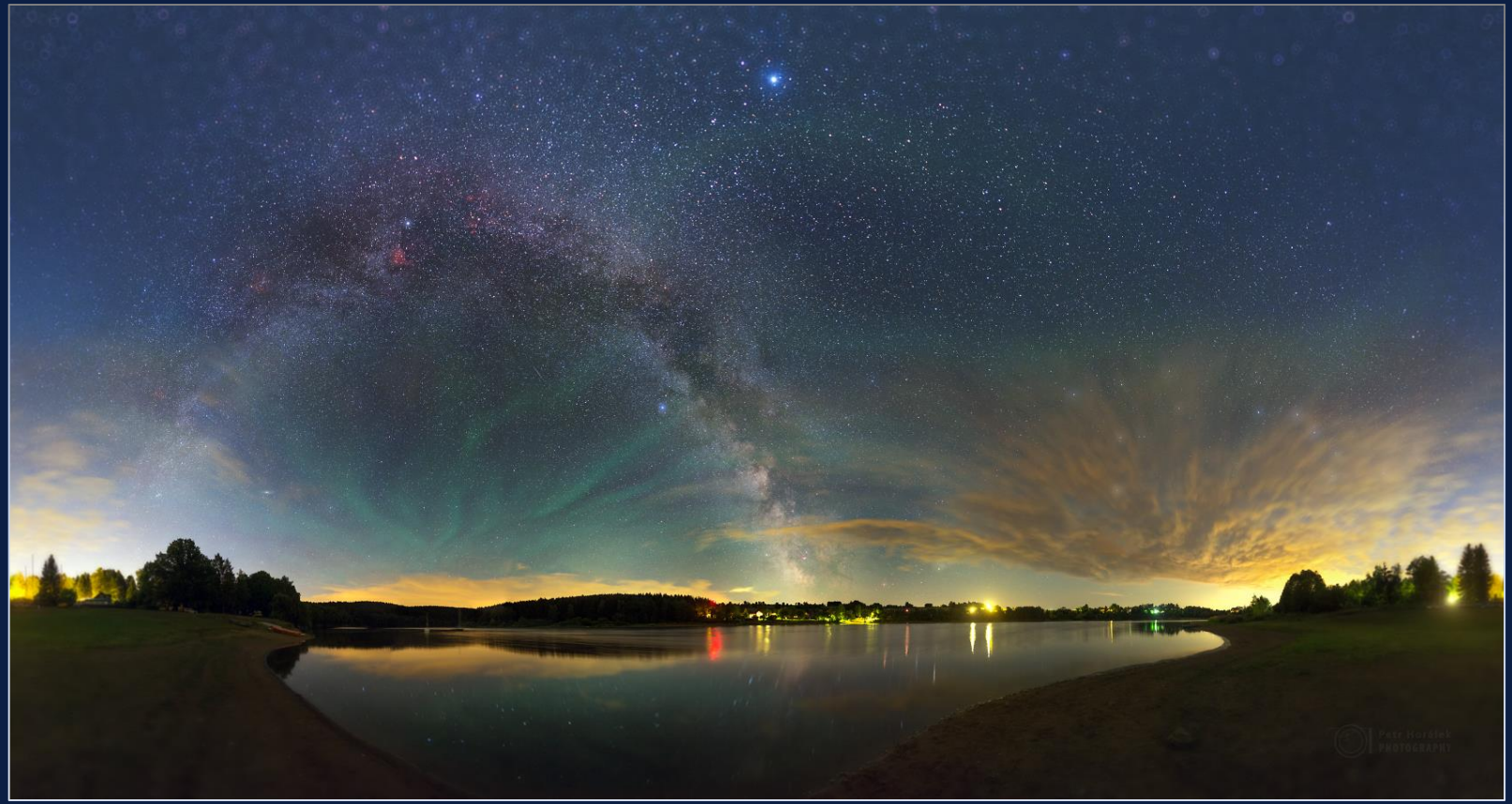
- ***airglow*** – přirozený svit oblohy (bezoblačné atmosféry), způsobený několika různými procesy
- v případě přirozeného svitu <u>noční</u> oblohy alternativně (exaktněji) označovaný jako ***nightglow*** (noční airglow)
- nightglow asi o tři řády slabší než denní airglow

- v minulosti známý především astronomům, coby jev komplikující noční astronomická pozorování vesmíru
- výrazně slabší než polární záře »»» lidské oko není schopno vnímat airglow barevně (na rozdíl od polárních září), barvy airglow (nightglow) a jeho struktura vyniknou až na fotografii.
- pozorovatelný jak ze zemského povrchu (nejvýraznější kolem 10 až 20 stupňů nad obzorem), tak z oběžné dráhy Země (především kolem okraje zemského disku)

Airglow (nightglow) fotografovaný ze zemského povrchu ...

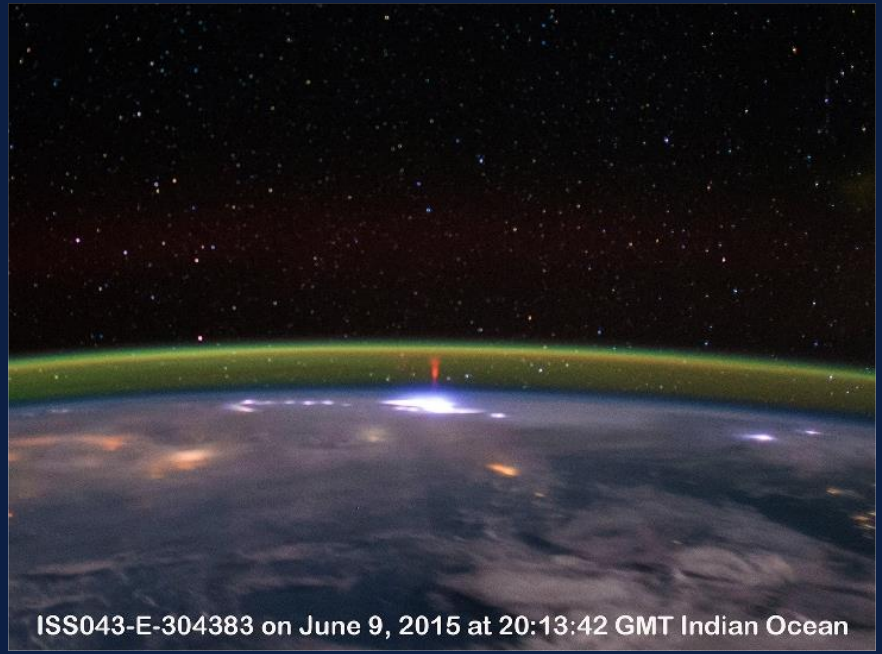
Petr Horálek (www.astronom.cz/horalek/?p=939, 2014-08-21, Ratoronga, Cook Islands)

Airglow (nightglow) fotografovaný ze zemského povrchu …



Petr Horálek (www.astronom.cz/horalek/?p=2221, 2015-06-23, Seč)

Airglow (nightglow) na snímcích z oběžné dráhy Země, z ISS („limb view“)

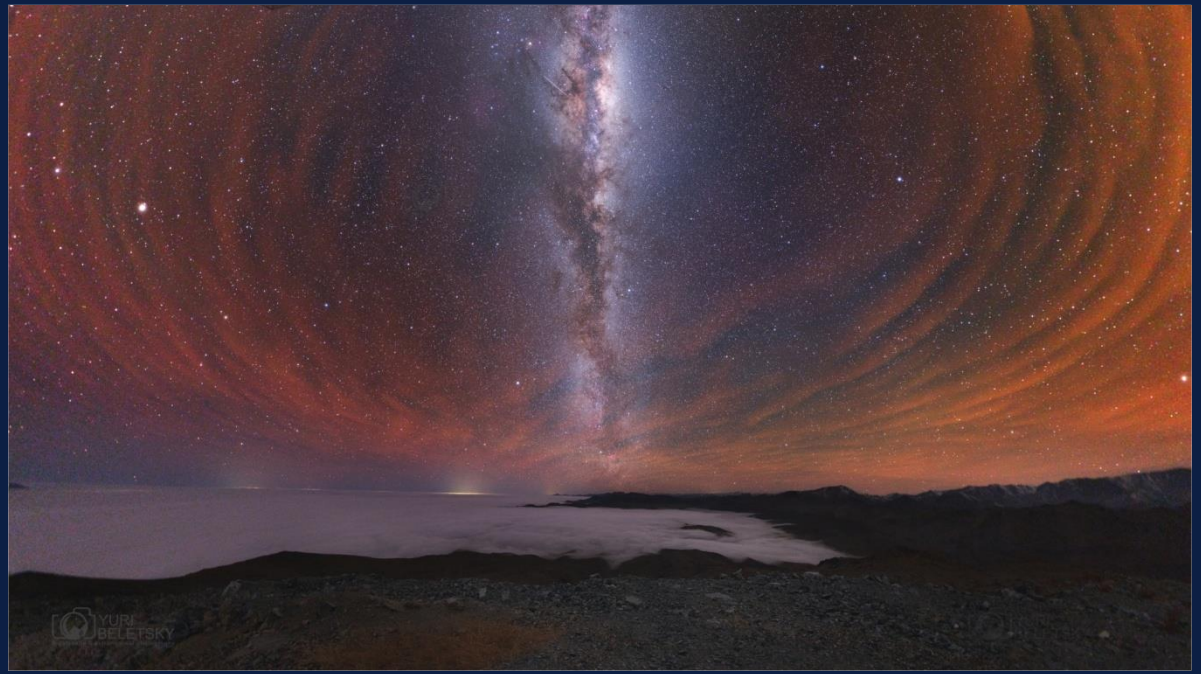


Source: *NASA Earth Observatory* (original photos) and *SpaceWeatherGallery.com*

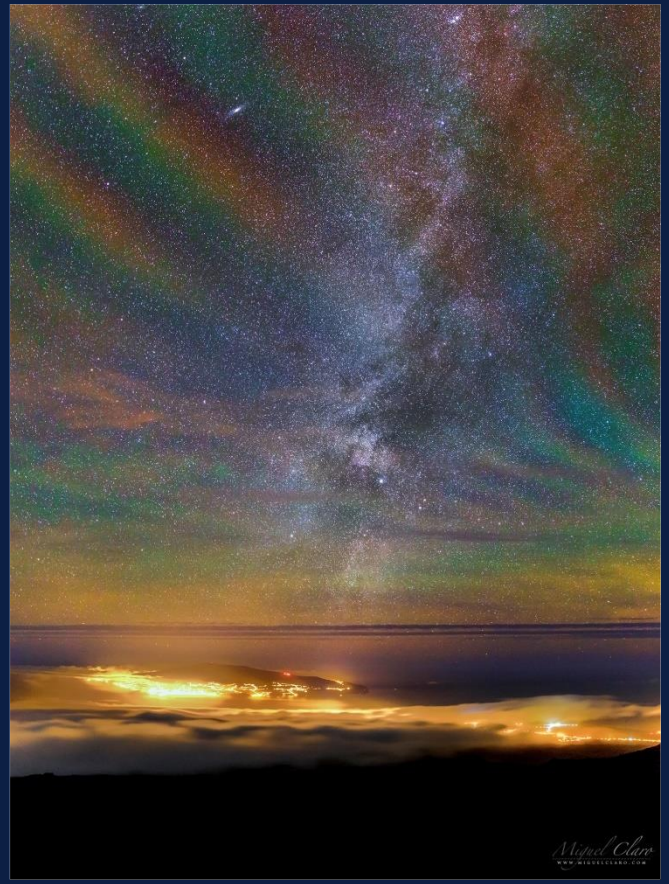
Airglow (nightglow) a polární záře na snímcích z oběžné dráhy Země, z ISS

Zdroj: NASA https://www.nasa.gov/image-feature/aurora-and-manicouagan-crater

Rozvlněný nightglow fotografovaný ze zemského povrchu



Yuri Beletsky, 2015-09-01, Chile, *twanight.org/newTWAN/photos.asp?ID=3005168*



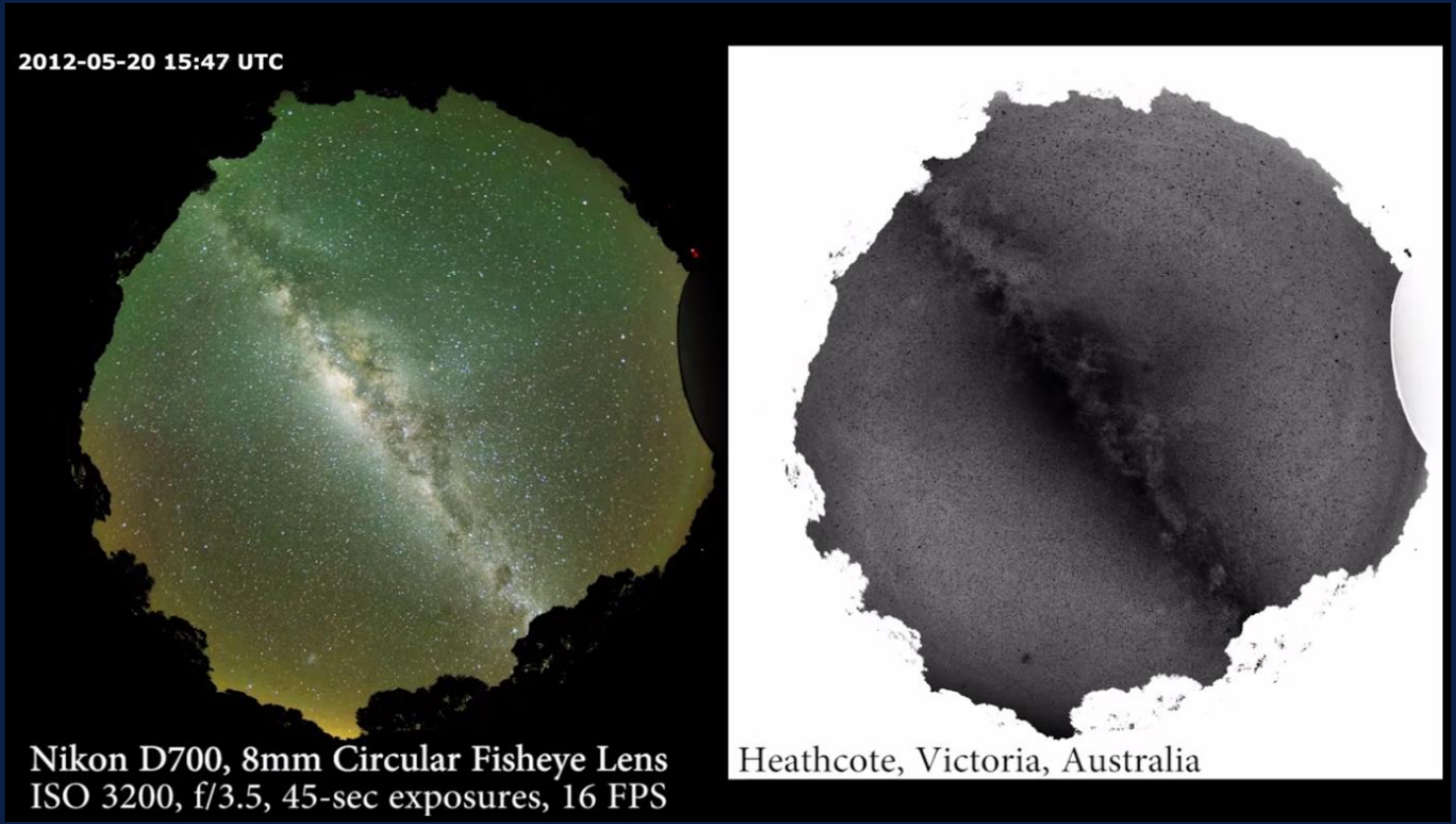
Miguel Claro, 2015-11-17, Pico island, Azores, *http://www.miguelclaro.com/wp/*
http://www.miguelclaro.com/wp/?portfolio=rainbow-bands-of-airglow-in-gravity-waves-above-pico-island

Rozvlněný nightglow fotografovaný ze zemského povrchu

2014-01-01 Petr Horálek (*www.astronom.cz/horalek/?p=477*)
Orava, Slovensko)

2014-01-01 Petr Horálek (*www.astronom.cz/horalek/?p=3300*)
Yellowstone, Wyoming, U.S.A.

Proměnlivost vzhledu nightglow v průběhu noci (změna barev, vlny)



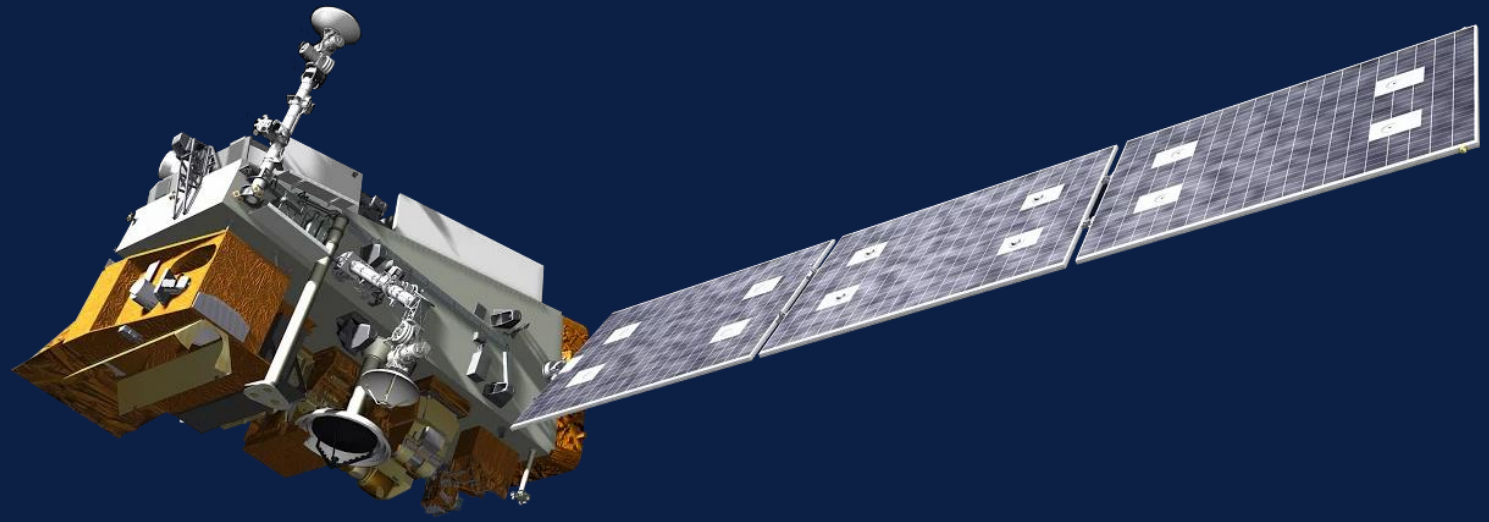
Alex Cherney, https://vimeo.com/52319627

Rozvlněný nightglow fotografovaný ze zemského povrchu – různé vlny a změny vzhledu během noci

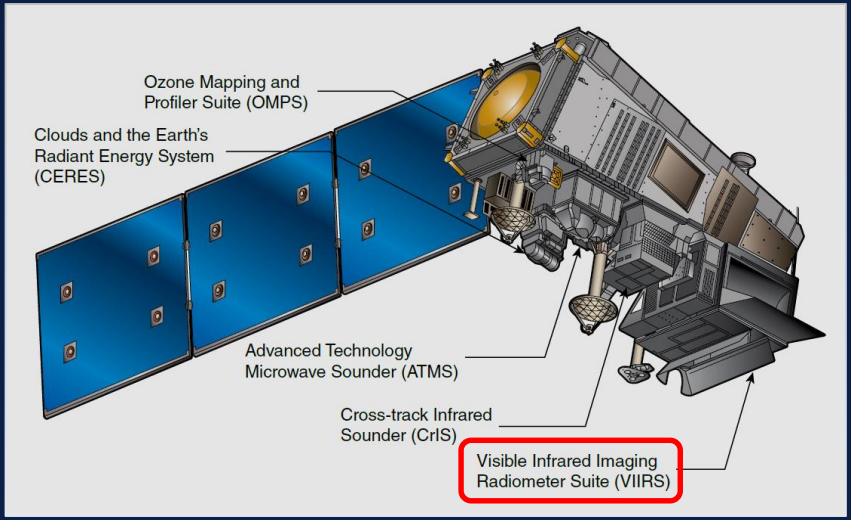
Martin Setvák (http://www.setvak.cz/timelapse/2018.html#20180812-13, 2018-08-12/13, Jankovská Lhota, Czech Rep.)

Polární družice NOAA/NASA nové generace: Suomi-NPP a JPSS-1 (NOAA-20)

jejich přístroj VIIRS a jeden z jeho spektrálních kanálů – DNB (Day/Night Band)



Družice SNPP a JPSS (Joint Polar Satellite System)



- Suomi-NPP (SNPP) – 2011-10-28
- JPSS-1 / NOAA 20 – 2017-11-18
- JPSS-2 ~ 2022
- JPSS-3 ~ 2026
- JPSS-4 ~ 2031

NOAA-20 na stejné dráze jako Suomi-NPP, o polovinu dráhy, tedy ~ 50 minutes později

- Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)
- Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS)
- Cross-track Infrared Sounder (CrIS)
- Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS)
- Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)

VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)

		Band No.	Wave-length (µm)	Horiz Sample Interval (km Downtrack x Crosstrack)		Driving EDRs	Radi-ance Range	Ltyp or Ttyp	Signal to Noise Ratio (dimensionless) or NEΔT (Kelvins)		
				Nadir	End of Scan				Required	Predicted	Margin
VIS/NIR FPA	Silicon PIN Diodes	M1	0.412	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	44.9	352	483	37%
						Aerosols	High	155	316	827	162%
		M2	0.445	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	40	380	501	32%
						Aerosols	High	146	409	774	89%
		M3	0.488	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	32	416	573	38%
						Aerosols	High	123	414	747	80%
		M4	0.555	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	21	362	482	33%
						Aerosols	High	90	315	586	86%
		I1	0.640	0.371 x 0.387	0.80 x 0.789	Imagery	Single	22	119	135	13%
		M5	0.672	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	10	242	306	26%
						Aerosols	High	68	360	450	25%
		M6	0.746	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Atmospheric Corr'n	Single	9.6	199	279	40%
		I2	0.865	0.371 x 0.387	0.80 x 0.789	NDVI	Single	25	150	212	41%
		M7	0.865	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	6.4	215	467	117%
						Aerosols	High	33.4	340	467	37%
CCD		DNB	0.7	0.742 x 0.742	0.742 x 0.742	Imagery	Var.	6.70E-05	6	6.2	3%
S/MWIR	PV HgCdTe (HCT)	M8	1.24	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Cloud Particle Size	Single	5.4	74	109	47%
		M9	1.378	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Cirrus/Cloud Cover	Single	6	83	156	88%
		I3	1.61	0.371 x 0.387	0.80 x 0.789	Binary Snow Map	Single	7.3	6.0	71	1084%
		M10	1.61	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Snow Fraction	Single	7.3	342	461	35%
		M11	2.25	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Clouds	Single	0.12	10	14	44%
		I4	3.74	0.371 x 0.387	0.80 x 0.789	Imagery Clouds	Single	270 K	2.500	0.236	68%
		M12	3.70	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	SST	Single	270 K	0.396	1.039	141%
		M13	4.05	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	SST	Low	300 K	0.107	0.051	111%
						Fires	High	380 K	0.423	0.353	20%
LWIR	PV HCT	M14	8.55	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Cloud Top Properties	Single	270 K	0.091	0.057	60%
		M15	10.763	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	SST	Single	300 K	0.070	0.034	105%
		I5	11.450	0.371 x 0.387	0.80 x 0.789	Cloud Imagery	Single	210 K	1.500	1.004	49%
		M16	12.013	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	SST	Single	300 K	0.072	0.059	23%

Celkem 22 kanálů:

rozlišení

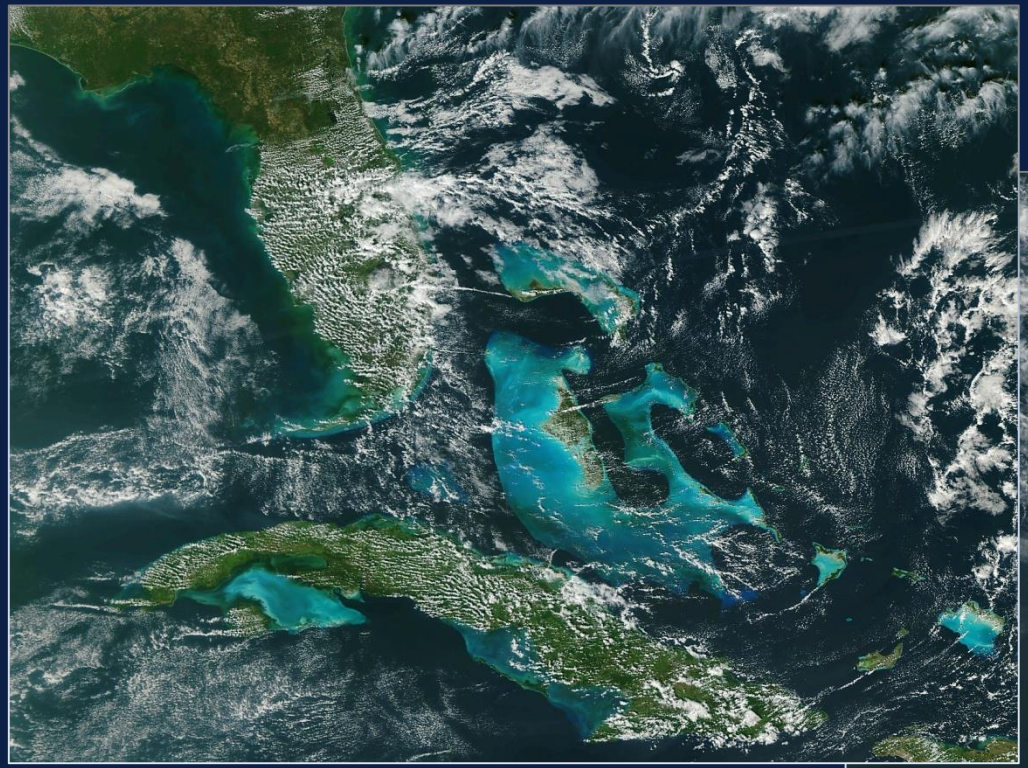
- **I** bands – 375 m (5)
- **M** bands – 750 m (16)
- DNB band – 750 m (1)

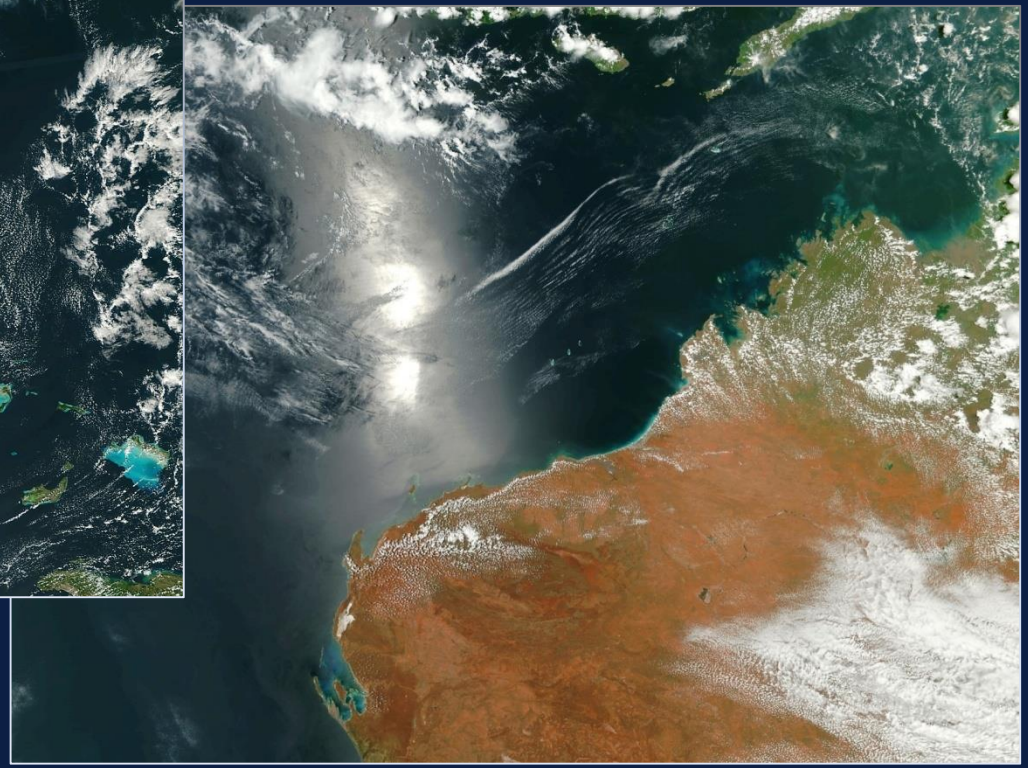
- Počet obrazových řádků zaznamenaných během jedné otočky skenovacího zrcadla:

  M bands a DNB: 16
  I bands: 32

VIIRS – první snímky ze Suomi-NPP

2011-11-21 (left) and 2011-11-22 (bottom right)





VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) – Day/Night Band (DNB)

		Band No.	Wave-length (µm)	Horiz Sample Interval (km Downtrack x Crosstrack)		Driving EDRs	Radi-ance Range	Ltyp or Ttyp	Signal to Noise Ratio (dimensionless) or NEΔT (Kelvins)		
				Nadir	End of Scan				Required	Predicted	Margin
VIS/NIR FPA	Silicon PIN Diodes	M1	0.412	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	44.9	352	483	37%
						Aerosols	High	155	316	827	162%
		M2	0.445	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	40	380	501	32%
						Aerosols	High	146	409	774	89%
		M3	0.488	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	32	416	573	38%
						Aerosols	High	123	414	747	80%
		M4	0.555	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	21	362	482	33%
						Aerosols	High	90	315	586	86%
		I1	0.640	0.371 x 0.387	0.80 x 0.789	Imagery	Single	22	119	135	13%
		M5	0.672	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	10	242	306	26%
						Aerosols	High	68	360	450	25%
		M6	0.746	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Atmospheric Corr'n	Single	9.6	199	279	40%
		I2	0.865	0.371 x 0.387	0.80 x 0.789	NDVI	Single	25	150	212	41%
		M7	0.865	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	Ocean Color	Low	6.4	215	467	117%
						Aerosols	High	33.4	340	467	37%
CCD		DNB	0.7	0.742 x 0.742	0.742 x 0.742	Imagery	Var.	6.70E-05	6	6.2	3%
S/MWIR	PV HgCdTe (HCT)	M8	1.24	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Cloud Particle Size	Single	5.4	74	109	47%
		M9	1.378	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Cirrus/Cloud Cover	Single	6	83	156	88%
		I3	1.61	0.371 x 0.387	0.80 x 0.789	Binary Snow Map	Single	7.3	6.0	71	1084%
		M10	1.61	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Snow Fraction	Single	7.3	342	461	35%
		M11	2.25	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Clouds	Single	0.12	10	14	44%
		I4	3.74	0.371 x 0.387	0.80 x 0.789	Imagery Clouds	Single	270 K	2.500	0.236	68%
		M12	3.70	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	SST	Single	270 K	0.396	1.039	141%
		M13	4.05	0.742 x 0.259	1.60 x 1.58	SST	Low	300 K	0.107	0.051	111%
						Fires	High	380 K	0.423	0.353	20%
LWIR	PV HCT	M14	8.55	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	Cloud Top Properties	Single	270 K	0.091	0.057	60%
		M15	10.763	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	SST	Single	300 K	0.070	0.034	105%
		I5	11.450	0.371 x 0.387	0.80 x 0.789	Cloud Imagery	Single	210 K	1.500	1.004	49%
		M16	12.013	0.742 x 0.776	1.60 x 1.58	SST	Single	300 K	0.072	0.059	23%

Celkem 22 kanálů:

rozlišení

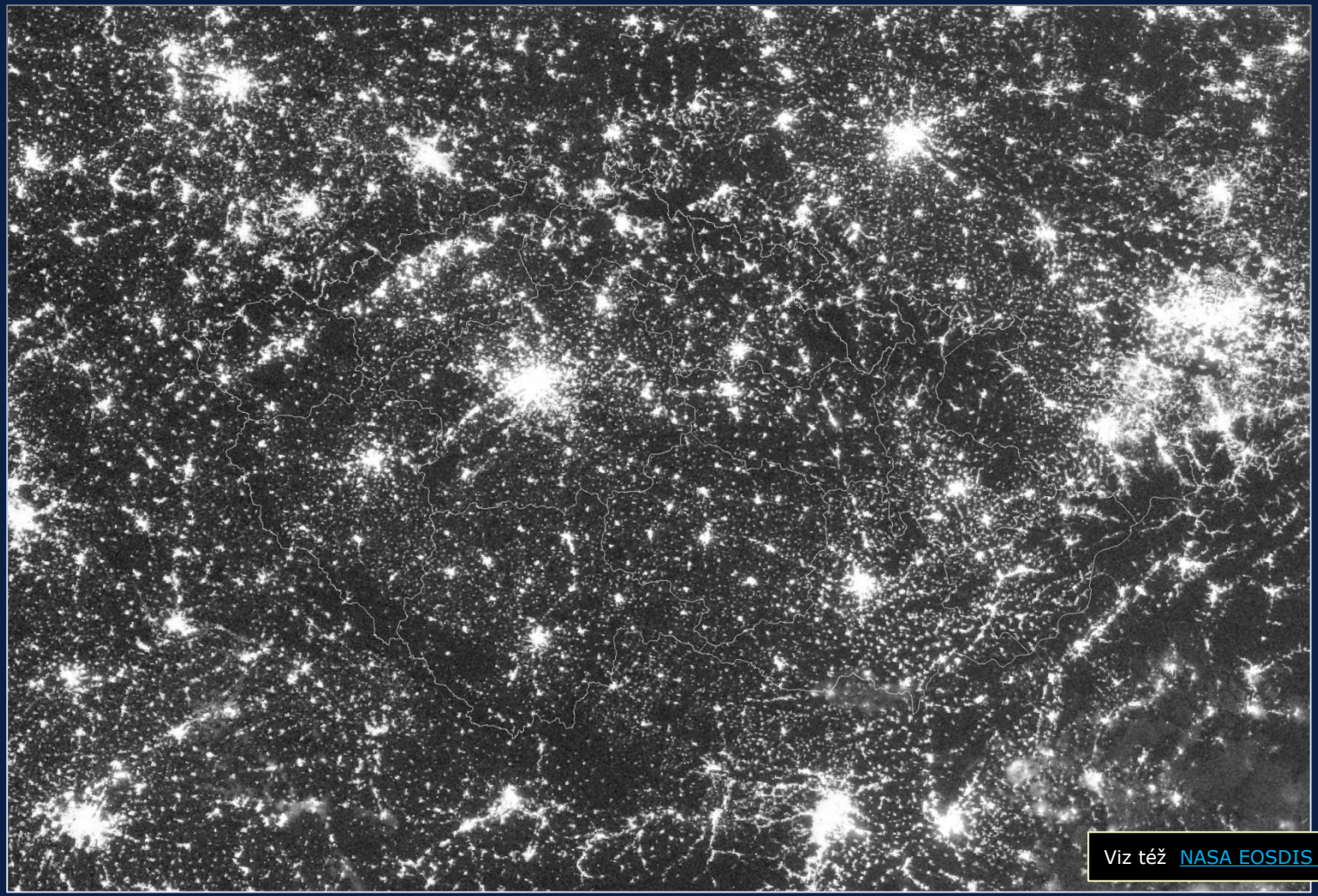
- **I** bands – 375 m (5)
- **M** bands – 750 m (16)
- DNB band – 750 m (1)

Day/Night Band (DNB)

Day/Night Band

2015-06-06 01:00 UTC

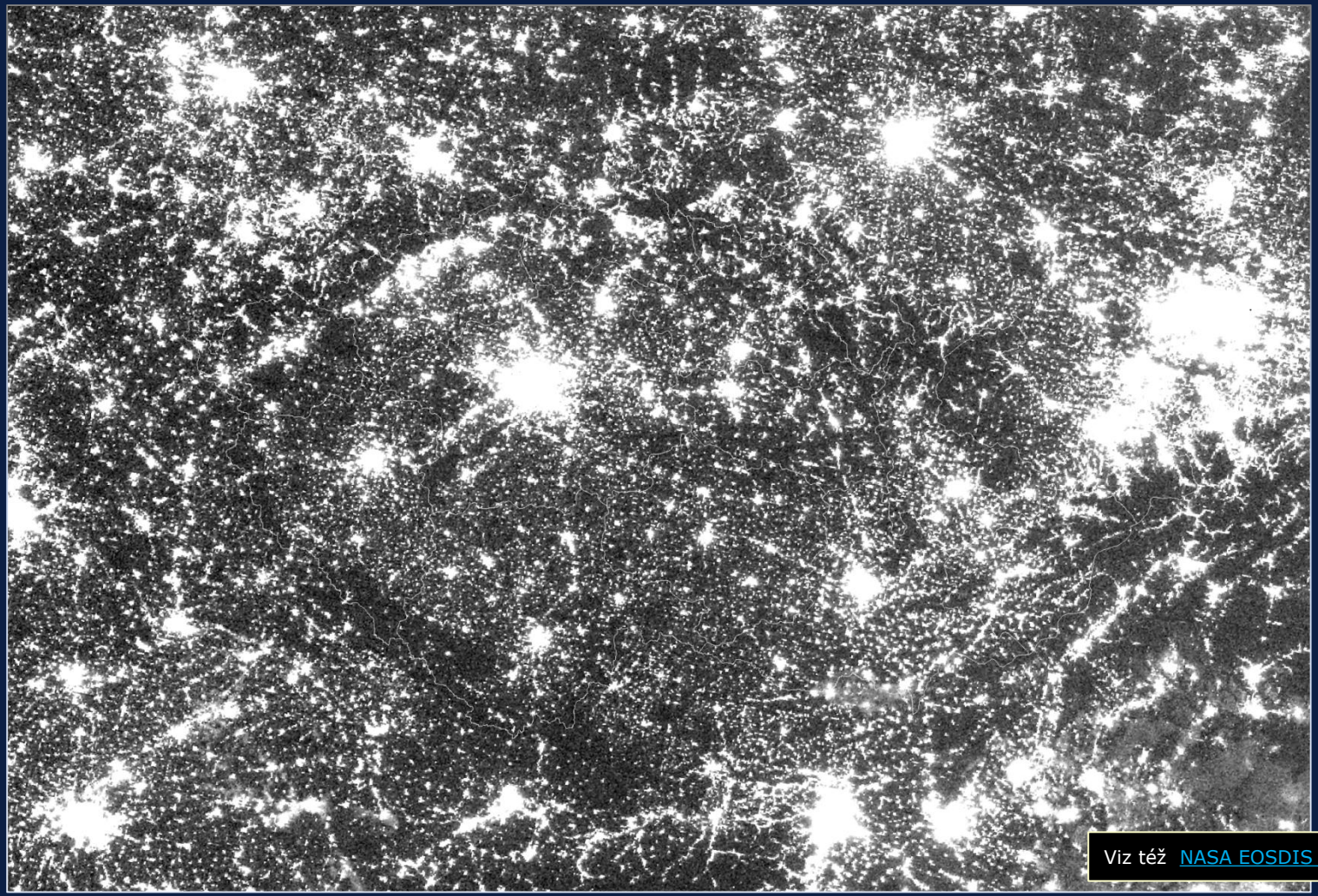
- oblačnost bouří a terén nasvíceny Měsícem
- svítání na severovýchodě
- světla měst



Day/Night Band

Suomi-NPP
2016-05-07 00:55 UTC

Viz též NASA EOSDIS Worldview (World at night)

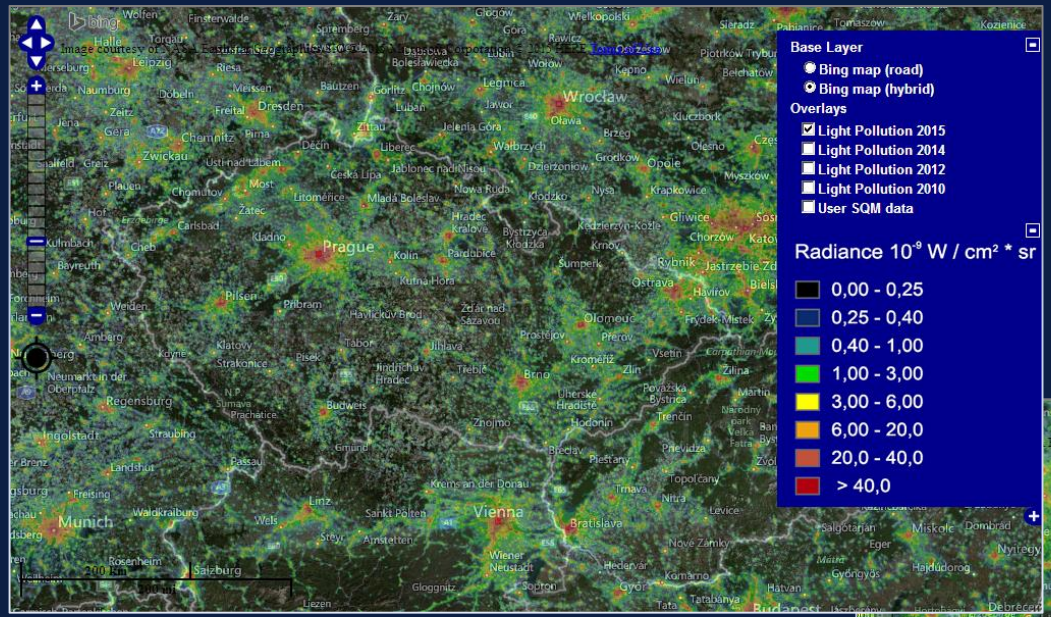


Day/Night Band

Suomi-NPP
2016-05-07 00:55 UTC

(silněji zvýrazněno)

Viz též NASA EOSDIS Worldview (World at night)

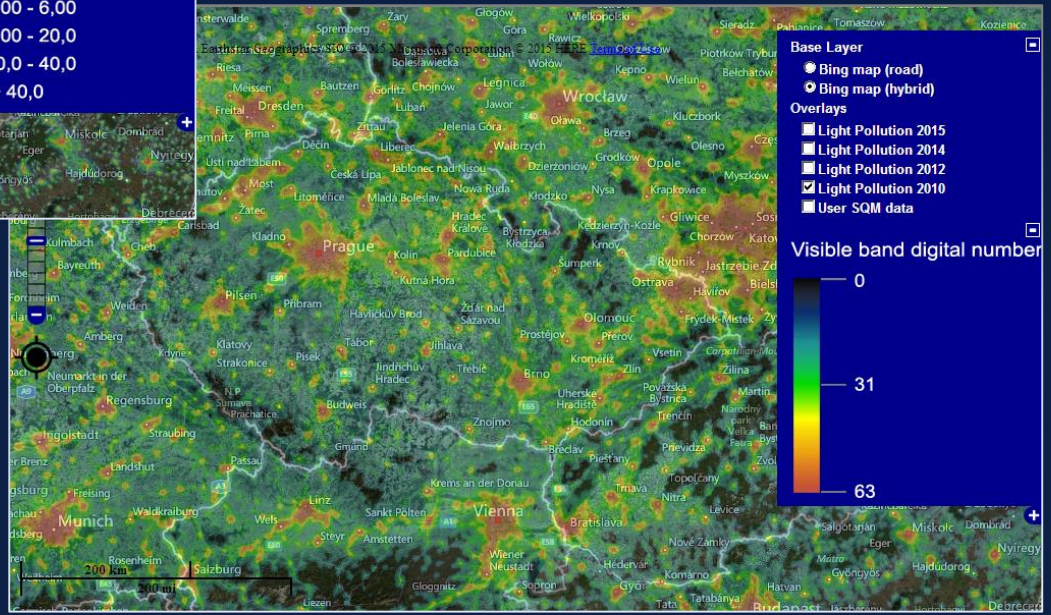


www.lightpollutionmap.info/

2012 – 2016 (vlevo)
zdrojem dat S-NPP VIIRS DNB

2010 (dole)
zdrojem dat DMSP OLS

nelze srovnávat, odlišné přístroje !!!



Podrobněji k problematice světelného znečištění oblohy:
svetelneznecisteni.cz a www.darksky.org

Oblačnost a terén v kanálu DNB za svitu Měsíce

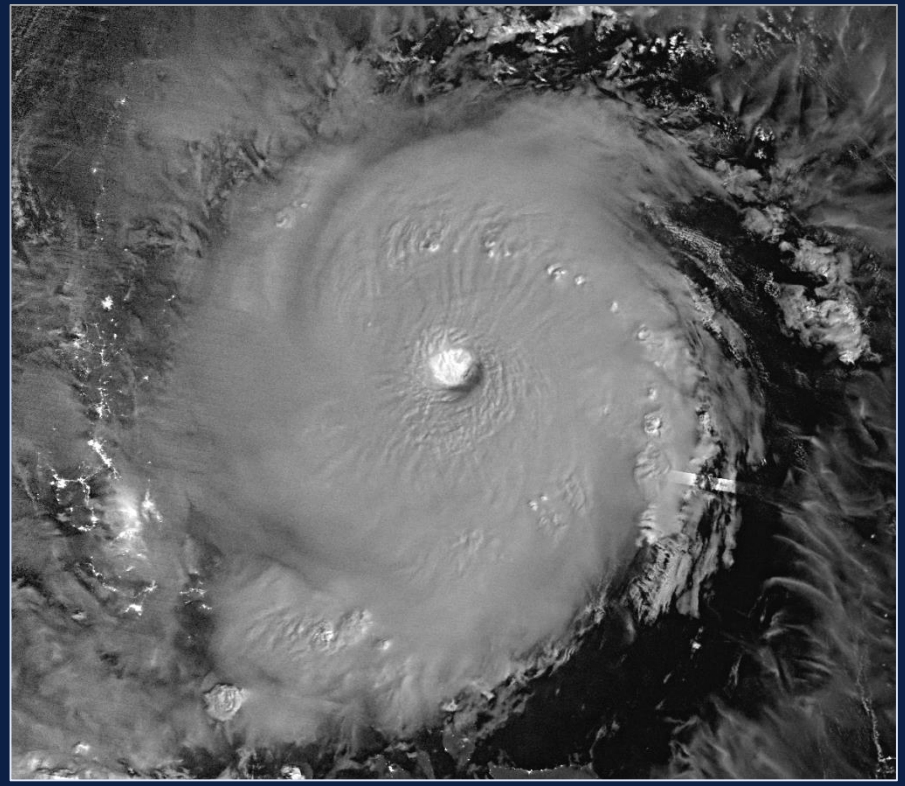
Kdy?

- Podmínkou je dostatečné nasvícení Měsícem:
  - ideální kolem úplňku
  - postačující nasvícení mezi první až poslední čtvrtí
- Měsíc musí být v době přeletu NPP (kolem 02:00 – 02:30 ráno místního času pro mírné zeměpisné šířky severní polokoule) nad místním horizontem
- Moonrise/moonset calculator:

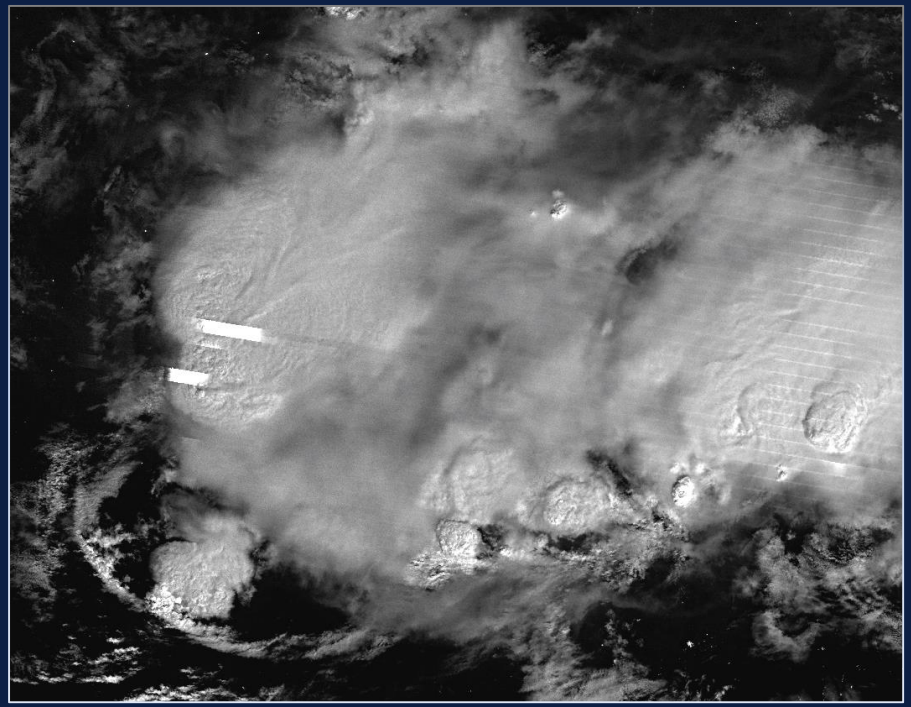
  www.timeanddate.com/worldclock/moonrise.html

  - časové údaje v místním (pásmovém) civilním čase, včetně letního času
- Přelety družice S-NPP a NOAA-20: *www.ssec.wisc.edu/datacenter/npp/*

Day/Night Band – oblačnost nasvícená Měsícem



2015-05-09 16:46 UTC, tajfun Noul (východně od Filipín), nasvícený Měsícem dva dny před poslední čtvrtí



2015-05-09 01:55 UTC, oblačnost konvektivních bouří nad Libérií a Pobřežím slonoviny Coast, nasvícené Měsícem dva dny před poslední čtvrtí

Tmavé noci bez svitu Měsíce

Detekce oblačnosti, mlhy, sněhové pokrývky, mořského ledu nebo volně plovoucích ledových ker, aj. i za bezměsíčných nocí, zdrojem světla:

- svit hvězd (včetně Mléčné dráhy), zvířetníkové světlo, jasné planety
- rozptýlené světlo z umělého osvětlení (světelné znečištění oblohy)
- polární záře, airglow …

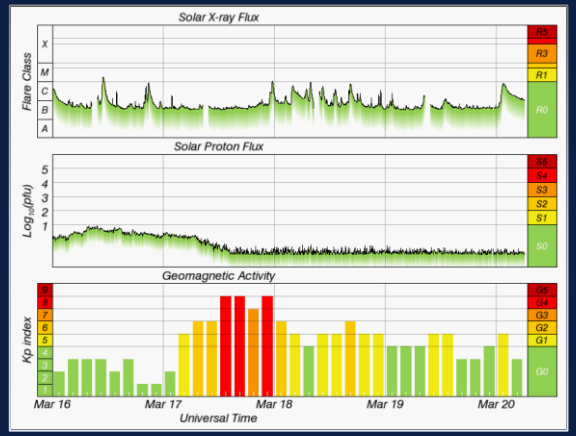
Naopak nad tmavým zemským povrchem (málo obydlené geografické oblasti, hladiny moří a oceánů, pouštní a polární oblasti) za bezměsíčných nocí možnost detekce:

- difúzního airglow, resp. nightglow (bez výraznějších struktur)
- různě rozvlněného airglow (gravitačními vlnami vygenerovaných v nižších hladinách atmosféry)

Day/Night Band, bezměsíčná noc – polární záře (17/18. března 2015)

2015-03-17 20:03 UTC. Polární záře zachycená družicí S-NPP (na dalším snímku) na fotografii Lukáše Rongeho

Polární záře této noci byly mimořádně jasné, doprovázely velmi silnou (G4) geomagnetickou bouři (St. Patrick's Day Storm).

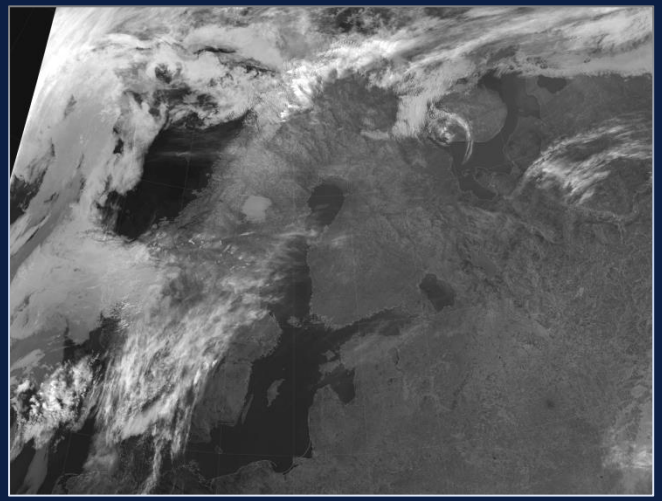


Další snímky polárních září této noci z DNB kolem zeměkoule viz:

The Aurora Seen Around The World (VIIRS Imagery and Visualization Team Blog, CIRA/RAMMB)
rammb.cira.colostate.edu/projects/npp/blog/index.php/uncategorized/the-aurora-seen-around-the-world/

Day/Night Band, bezměsíčná noc – polární záře (17/18. března 2015)

2015-03-18 00:55 UTC, Suomi-NPP

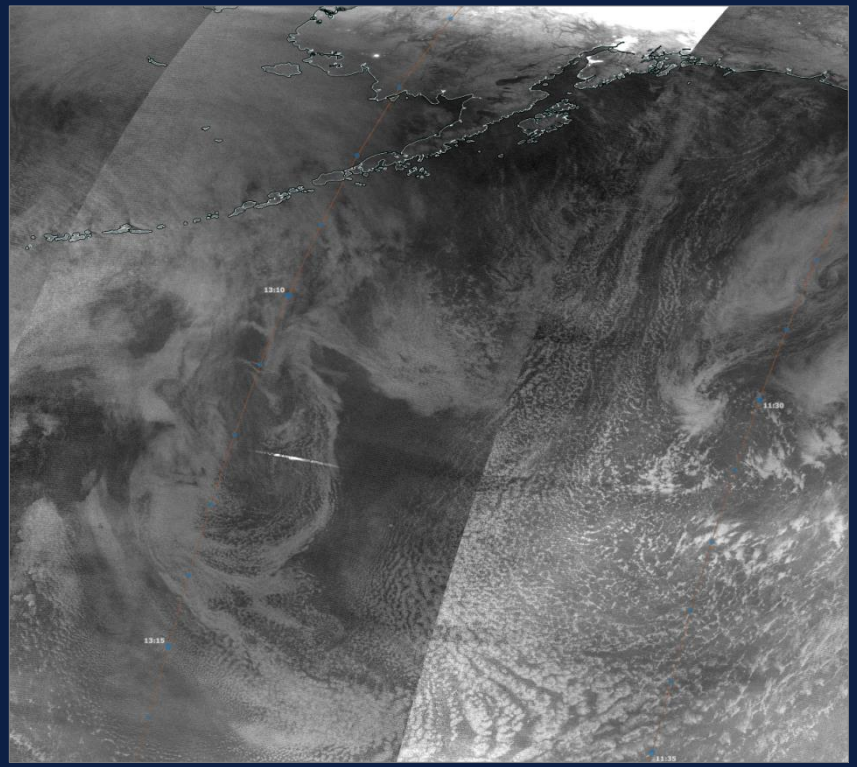


Tatáž scéna ve VIIRS kanálu M12 (IR 3.7 μm)

VIIRS DNB (HDR zpracování)

Bolid nad severovýchodním Pacifikem

Suomi-NPP, 2017-11-22 13:12 UTC

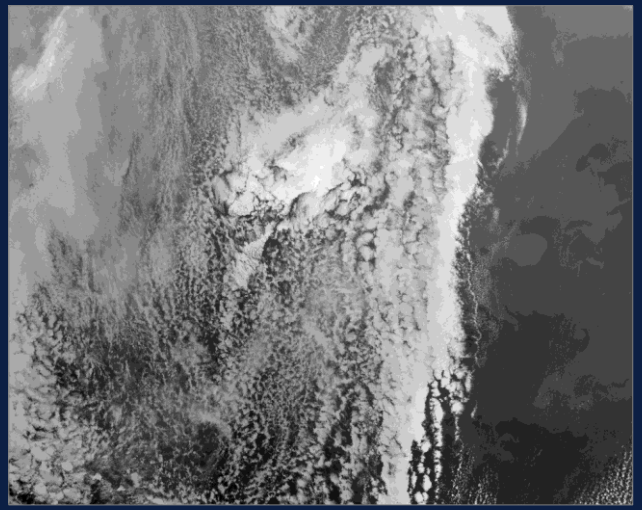


DNB (EOSDIS Worldview)

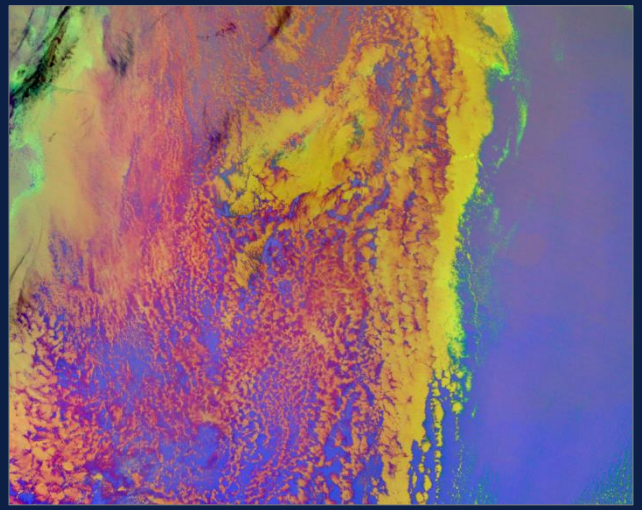
Bolid nad severovýchodním Pacifikem

Suomi-NPP, 2017-11-22 13:12 UTC

DNB



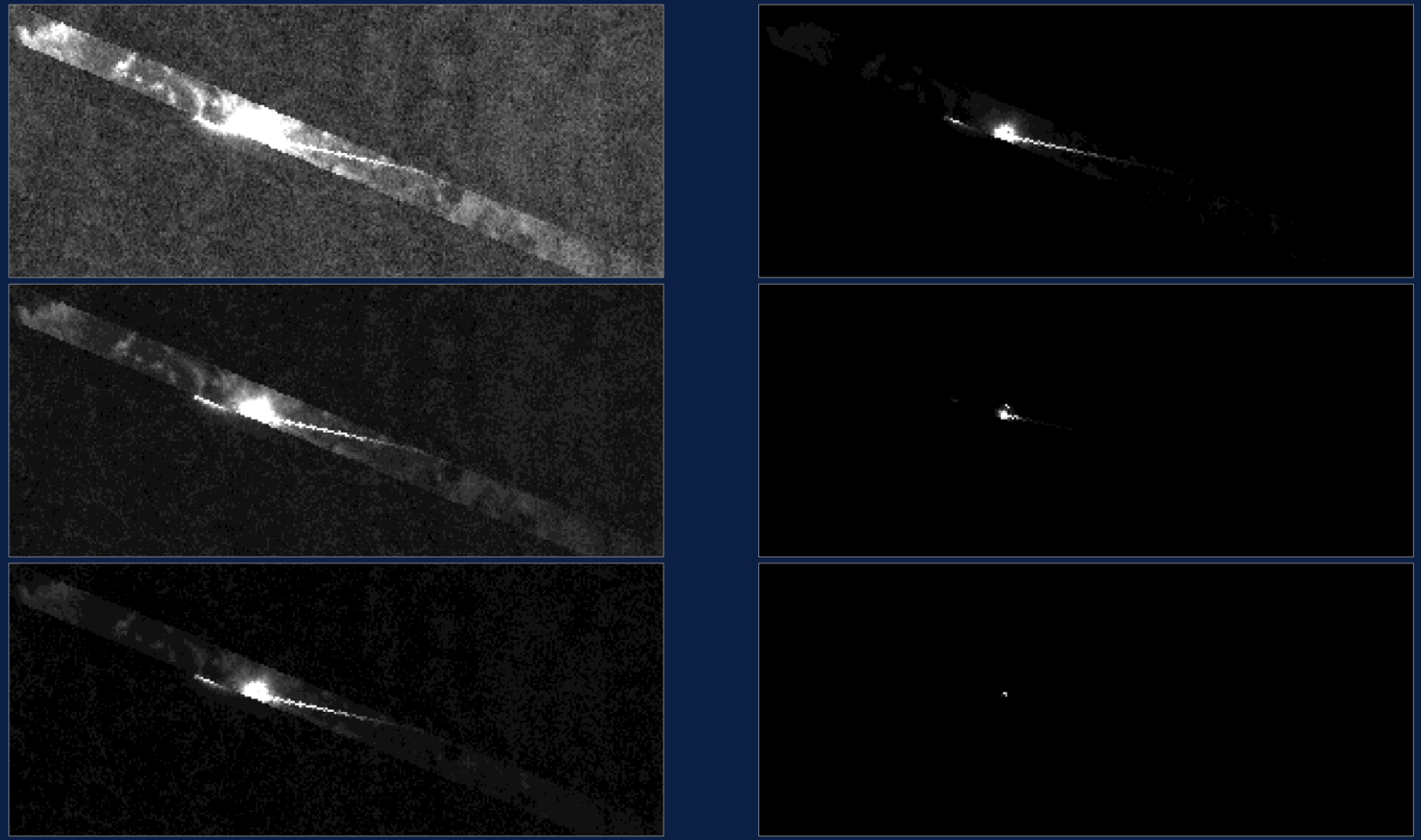
IR M15



RGB Night-M

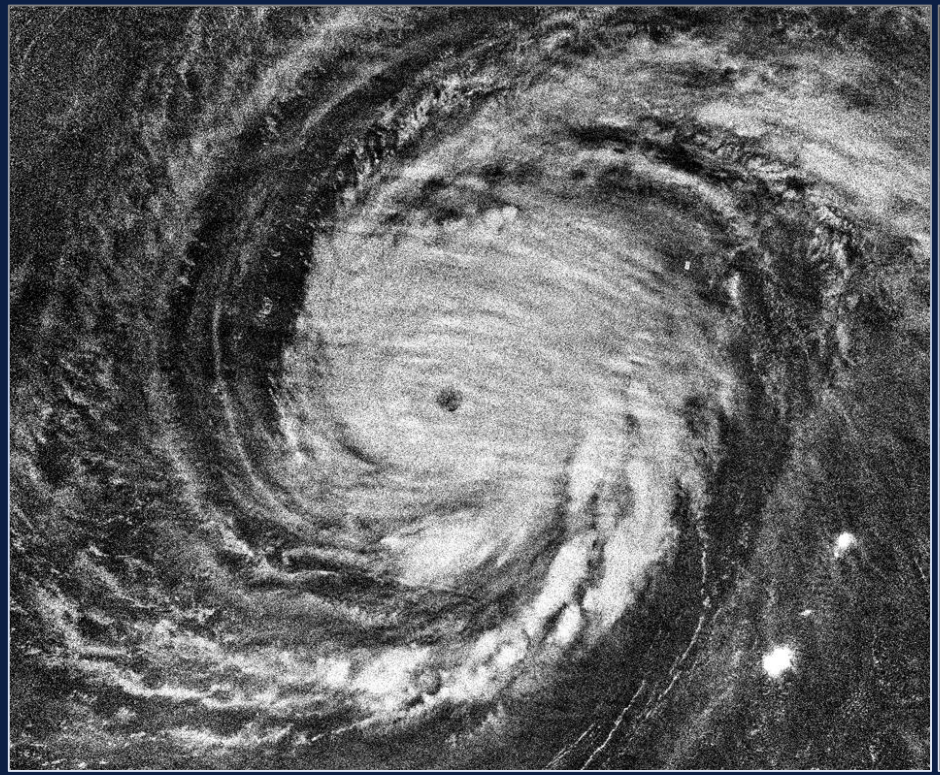
Bolid nad severovýchodním Pacifikem

Suomi-NPP, 2017-11-22 13:12 UTC



Day/Night Band – tajfun Dolphin za bezměsíčné noci

2015-05-16 16:15 UTC, Suomi-NPP, západní Pacific (východně od Filipín)

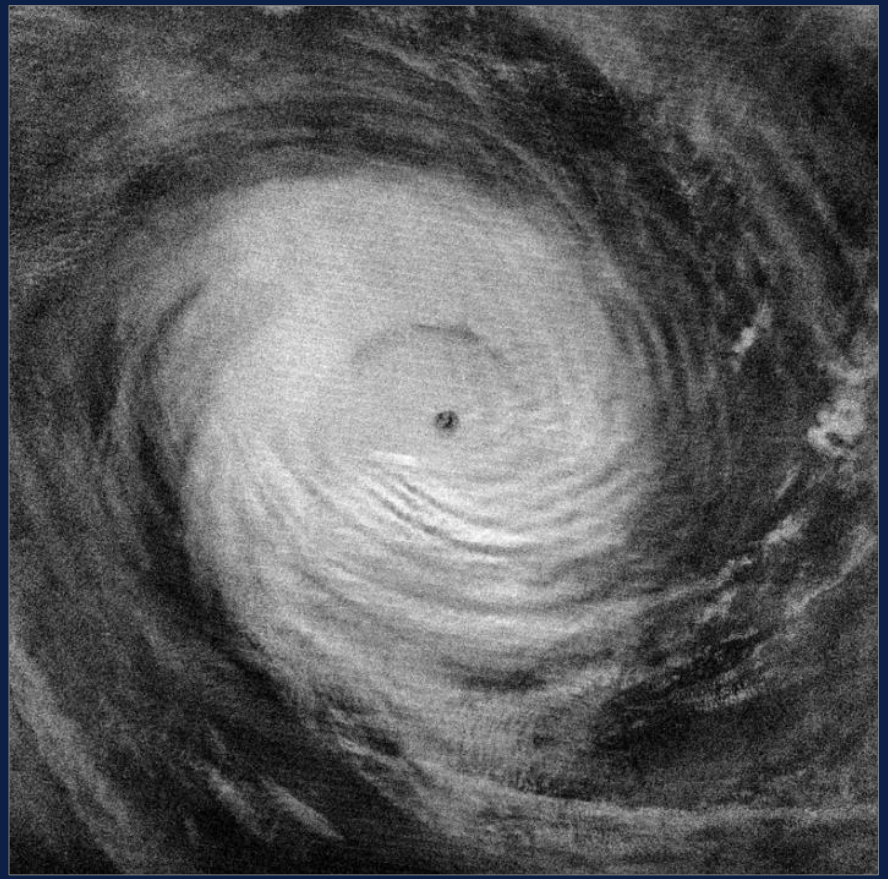


DNB – oblačnost tajfunu Dolphin nasvícená hvězdnou oblohou a airglow

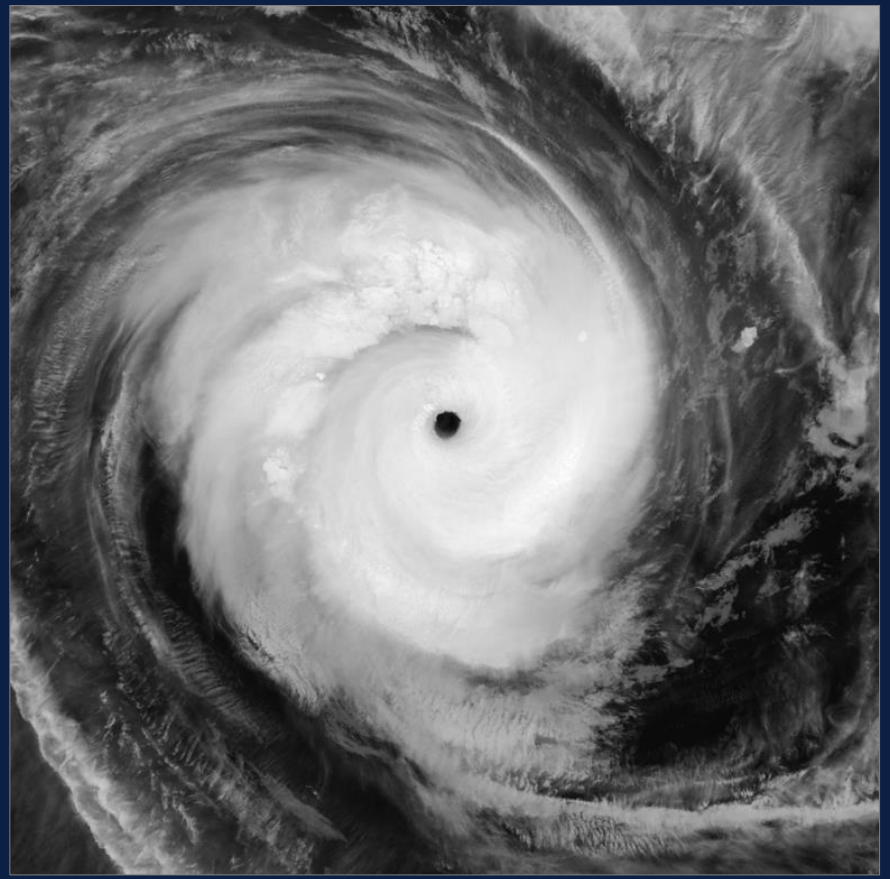
... a odpovídající snímek ve VIIRS kanálu M15 (IR 10.7 μm)

Day/Night Band – tajfun Marcus za bezměsíčné noci

2018-03-21 18:05 UTC, NOAA-20 (JPSS-1), východní Indický oceán



DNB



IR M15

Suomi-NPP VIIRS Day/Night Band – porovnání se starším DMSP/OLS

Attribute	DMSP/OLS*	VIIRS/DNB on Suomi NPP*
Orbit	Sun-synchronous, ~850 km	Sun-synchronous, 833 km
Nighttime Nodal Overpass Time	~ 19:30 UTC	~ 01:30 UTC
Swath Width	3000 km	3000 km
Spectral Response (FWHM)	Panchromatic 500-900 nm	Panchromatic 500-900 nm
Instantaneous Field of View	5 km (nadir) / ~7 km (edge)	0.740 ± 0.043 km (Scan) 0.755 ± 0.022 km (track)
Spatial Resolution (Ground Sample Distance)	2.7 km; 'smooth' data	< 0.820 km (Scan) < 0.750 km (track)
Minimum Detectable Signal	4×10^{-5} W m^{-2} sr^{-1}	3×10^{-5} W m^{-2} sr^{-1}
Noise Floor	$\sim5\times10^{-6}$ W m^{-2} sr^{-1}	$\sim5\times10^{-7}$ W m^{-2} sr^{-1}
Radiometric Quantization	6 bit	13 - 14 bit
Accompanying Spectral Bands	1	11 (night) / 21 (day)
Radiometric Calibration	None	On-Board Solar Diffuser
Saturation	In Urban Cores	None

DMSP = Defense Meteorological Satellite Program
OLS = Operational Linescan System

VIIRS = Visible/Infrared Imaging Radiometer Suite
DNB = Day/Night Band

Podrobné informace o VIIRS DNB (Day-Night Band):

Miller, Steven D., Cynthia L. Combs, Stanley Q. Kidder, Thomas F. Lee, 2012: Assessing Moonlight Availability for Nighttime Environmental Applications by Low-Light Visible Polar-Orbiting Satellite Sensors. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **29**, 538–557. doi: http://dx.doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00192.1

Miller, S.D., Mills, S.P., Elvidge, C.D., Lindsey, D.T., Lee, T.F., Hawkins, J.D., 2012: Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities. PNAS, vol. 109 no. 39, 15706–15711. doi: 10.1073/pnas.1207034109 (see also the supporting information of this paper)

Miller, S.D., Straka, W., III, Mills, S.P., Elvidge, C.D., Lee, T.F., Solbrig, J., Walther, A., Heidinger, A.K., Weiss, S.C., 2013: Illuminating the Capabilities of the Suomi National Polar-Orbiting Partnership (NPP) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Day/Night Band. *Remote Sens.* 2013, *5*, 6717-6766. doi: 10.3390/rs5126717

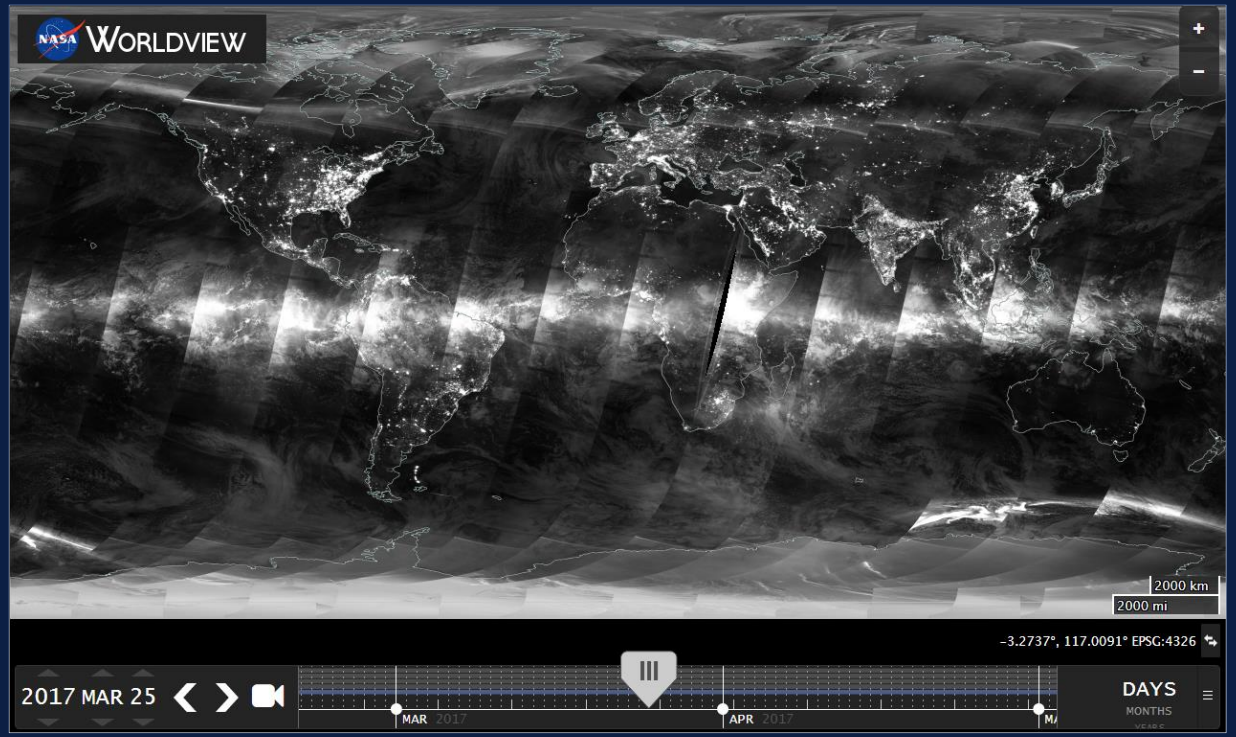
Miller, S.D., Straka W.III., Yue J., Smith, S.M., Alexander, J., Hoffmann, L., Setvák, M., and Partain, P.T., 2015: Upper atmospheric gravity wave details revealed in nightglow satellite imagery. *PNAS* 2015, vol.112, no.49, E6728–E6735. doi: 10.1073/pnas.1508084112

Zdroje dat a zpracování snímků:

- Suomi-NPP a NOAA-20 VIIRS data: NOAA CLASS archive
- ostatní data a snímky: EUMETSAT

VIIRS (DNB, I-bands and M-bands) data zpracována v softwaru ENVI a jeho VCTK pluginem (Devin White), finální zpracování a úpravy snímků: Adobe Photoshop.

Nightglow na snímcích DNB … od globálního měřítka k detailům místních jevů

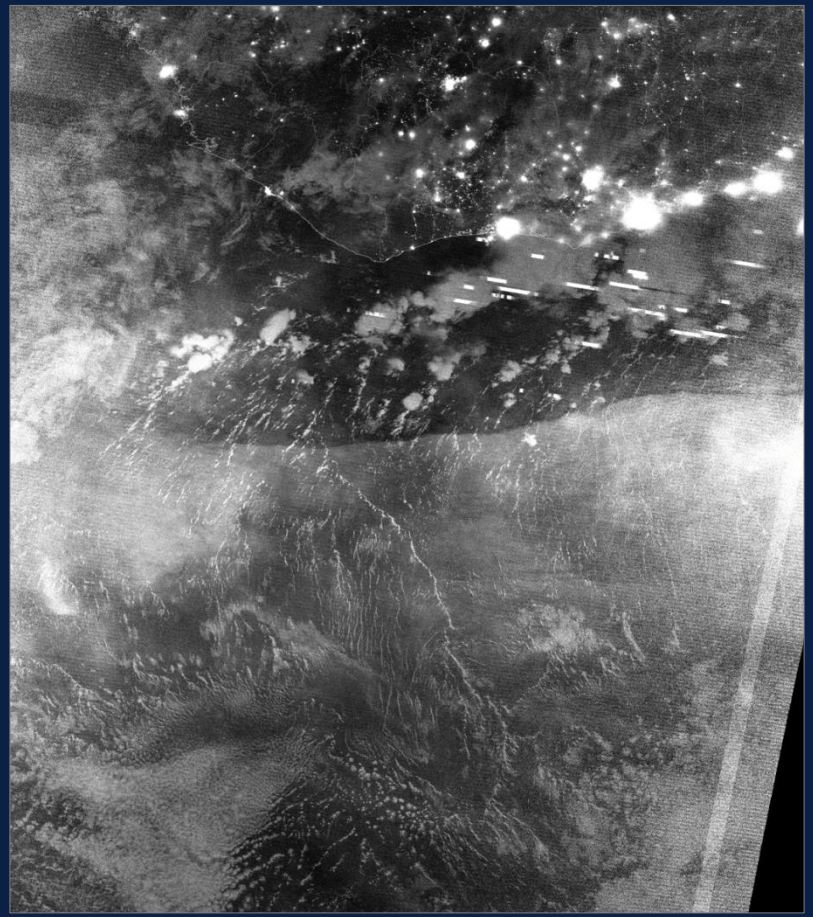


NASA Worldview: ***worldview.earthdata.nasa.gov/***

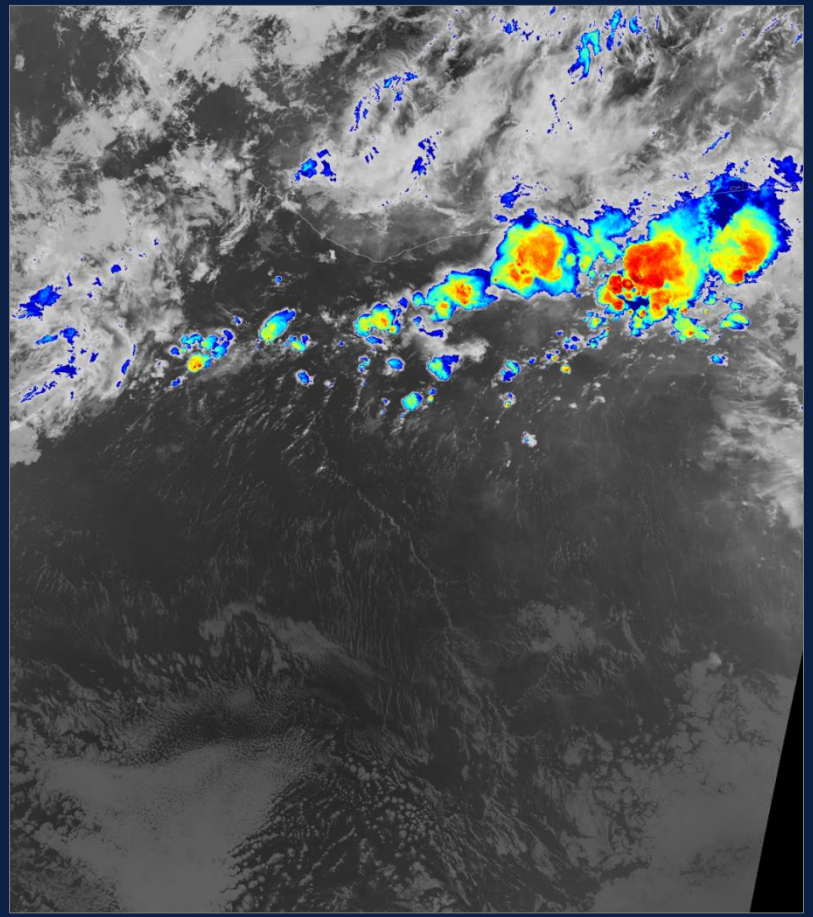
Zdroj dat: **NOAA CLASS** archive
http://www.class.ncdc.noaa.gov/

Ostré rozhraní v nightglow, Guinejský záliv

Suomi-NPP, 2017-03-31 01:58 UTC



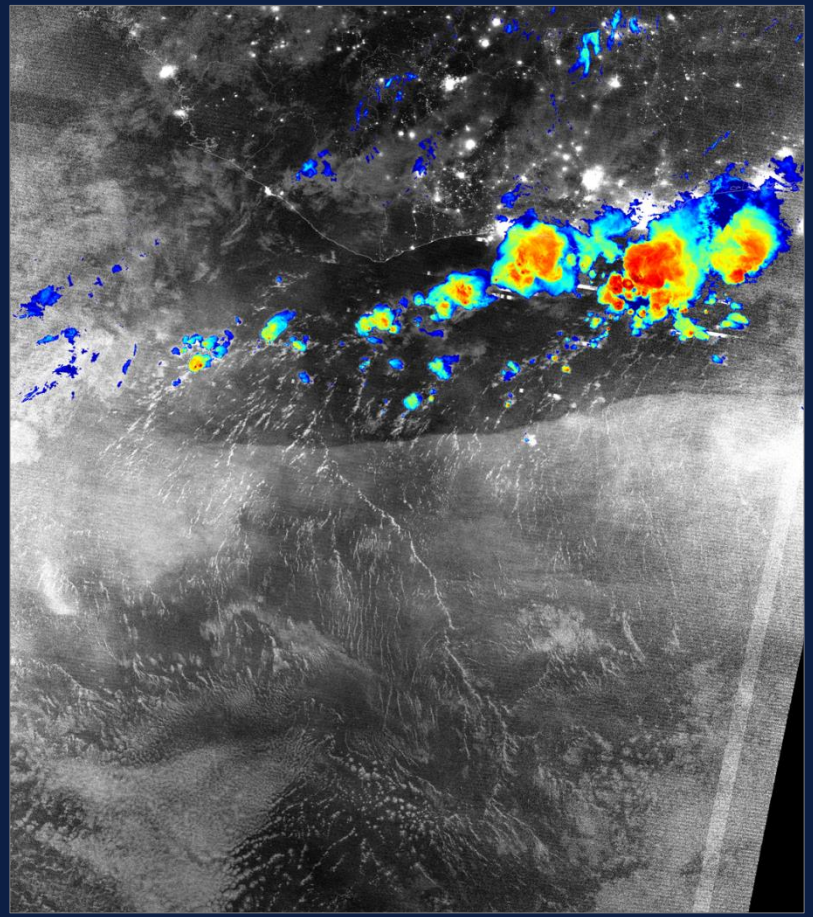
DNB



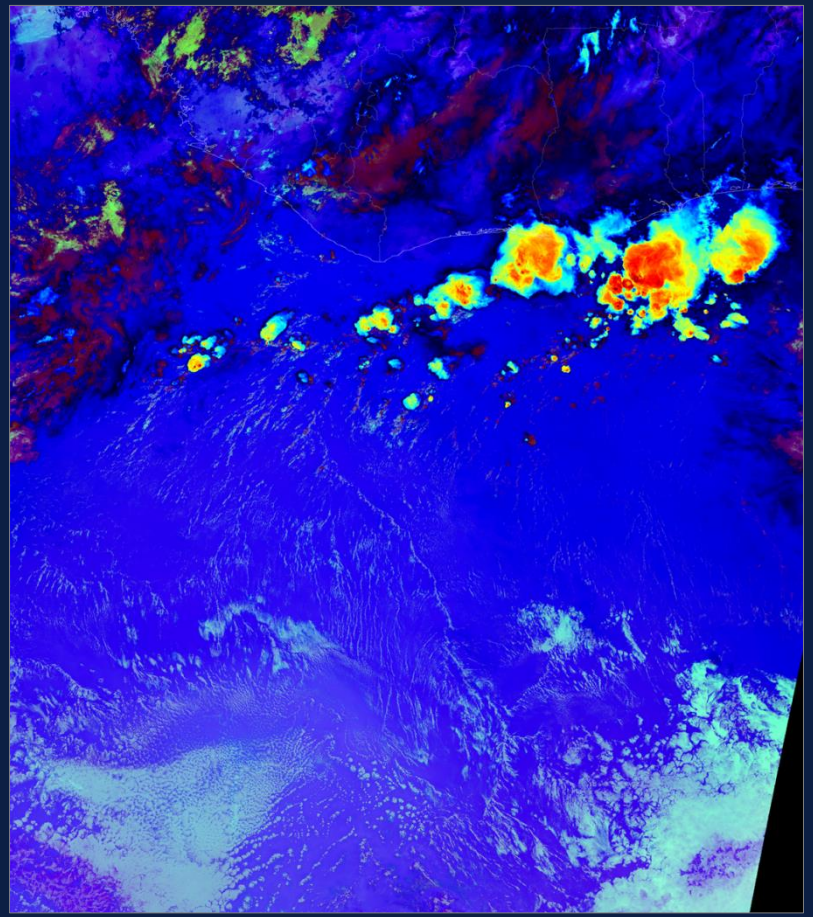
IR M15-BT 183-230K

Ostré rozhraní v nightglow, Guinejský záliv

Suomi-NPP, 2017-03-31 01:58 UTC



DNB & M15-BT 183/230K



RGB Night-M & IR M15-BT 183-230K

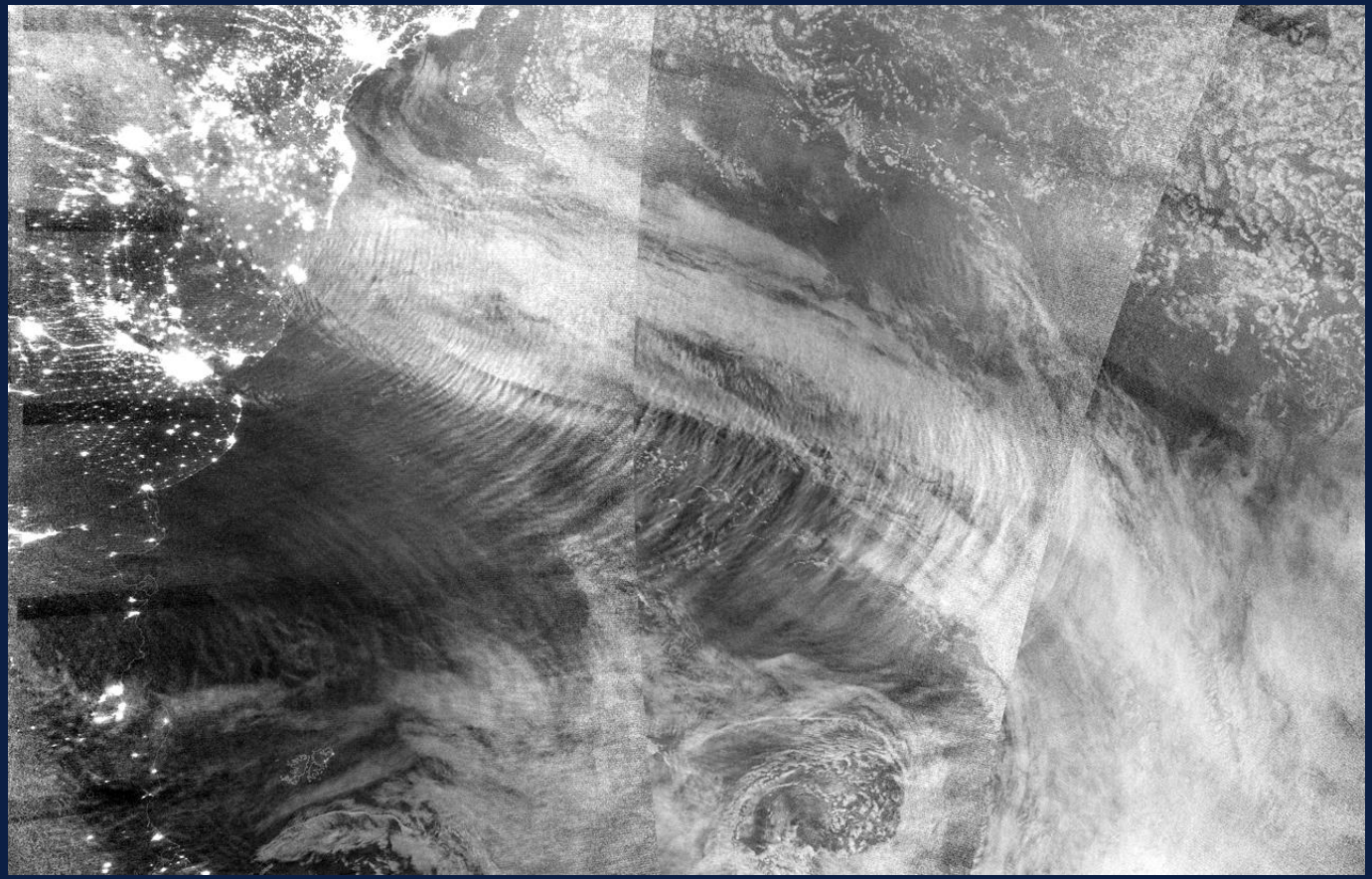
Vlny v airglow, resp. nightglow

Podmínky pozorovatelnosti vln airglow v DNB kanálu:

- **pouze bezměsíčné noci** (přibližně od třetí čtvrti, přes nov, do první čtvrti)
- menší zeměpisné šířky (tropy až mírné zeměpisné šířky) – v polárních pásmech pouze v zimním období a mimo oblasti výskytu polárních září
- ideálně proti tmavému podkladu – moře, oceány, pouště (absence umělých zdrojů světla)
- snazší za bezoblačných situací (jasná obloha)

- pro oblast Evropy a jejího bližšího okolí především Středozemní moře, přilehlý Atlantik, severní Afrika.

Nightglow na snímcích DNB ... příčné vlny vygenerované jet-streamem

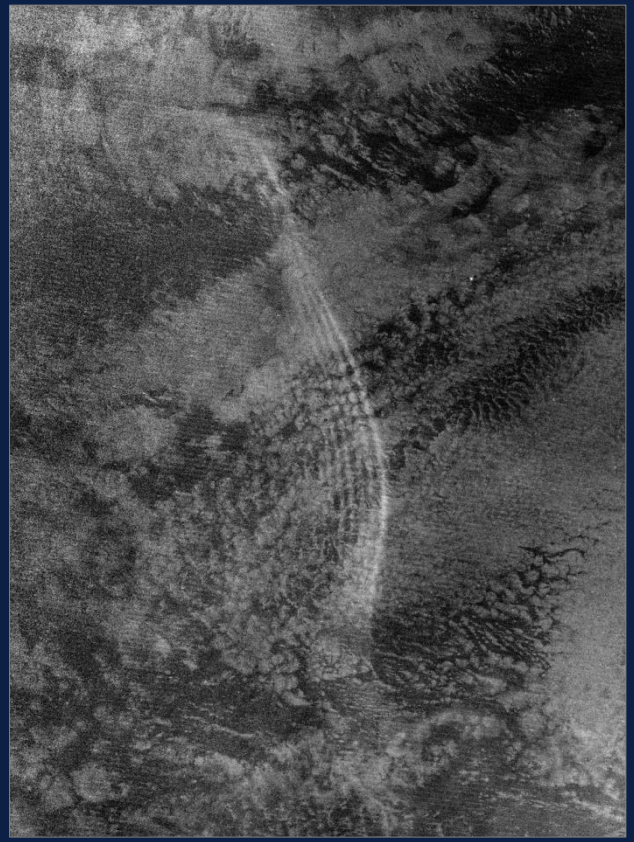


2017-09-16

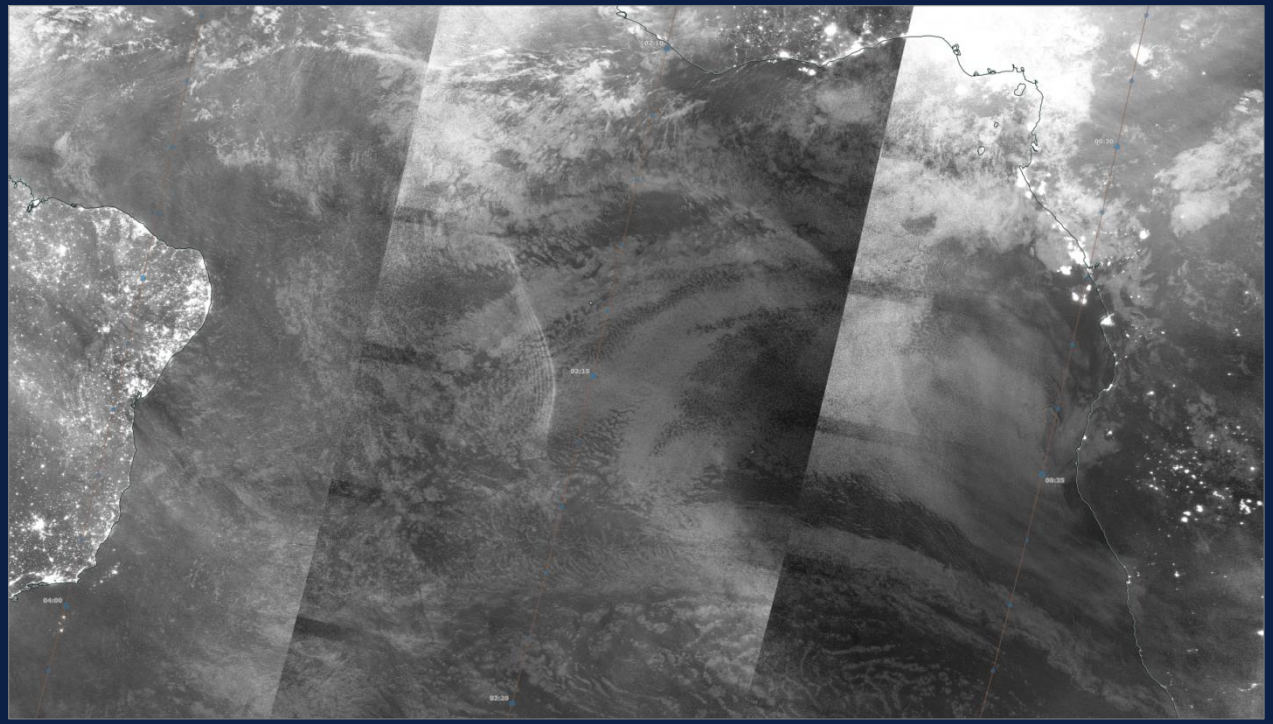
Suomi-NPP, ~ 01 - 04 UTC,
JZ Atlantik

Vlny typu „bore“ v nightglow nad Atlantikem

Suomi-NPP, 2017-10-19 02:15 UTC

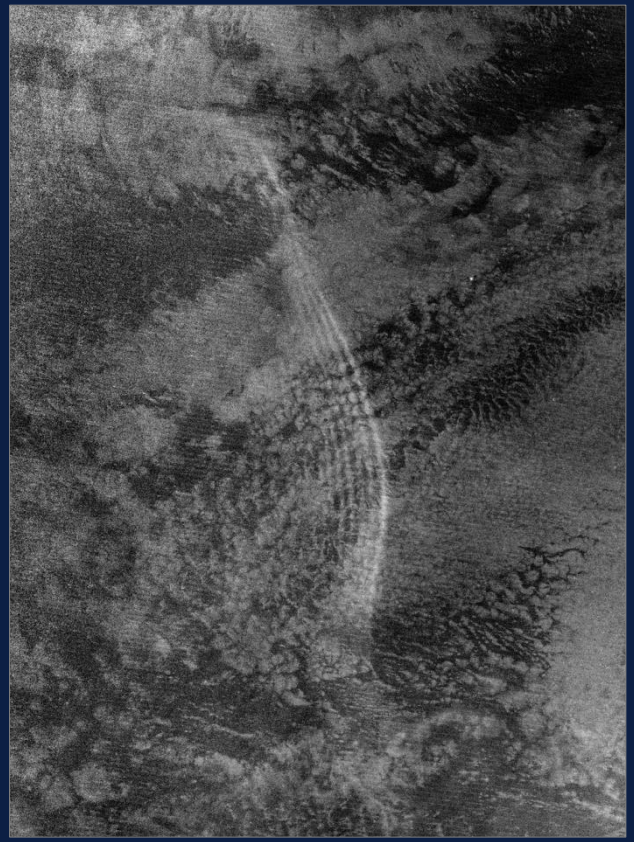


DNB

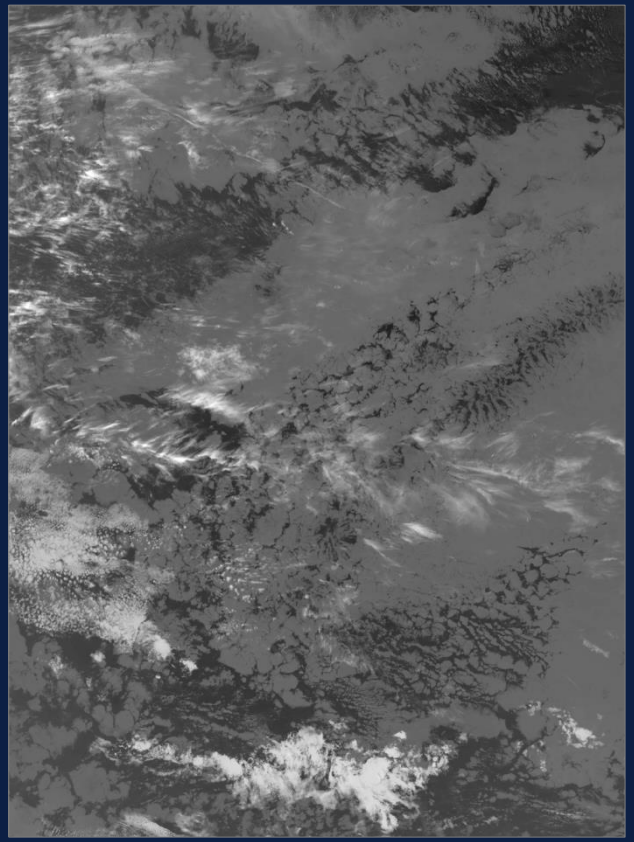


Vlny typu „bore“ v nightglow nad Atlantikem

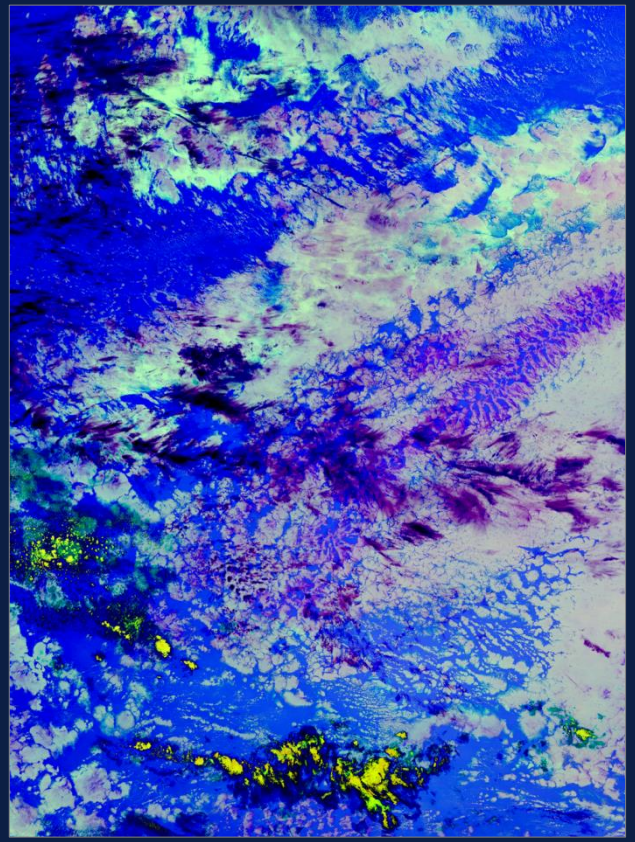
Suomi-NPP, 2017-10-19 02:15 UTC



DNB



IR M15



RGB Night-M

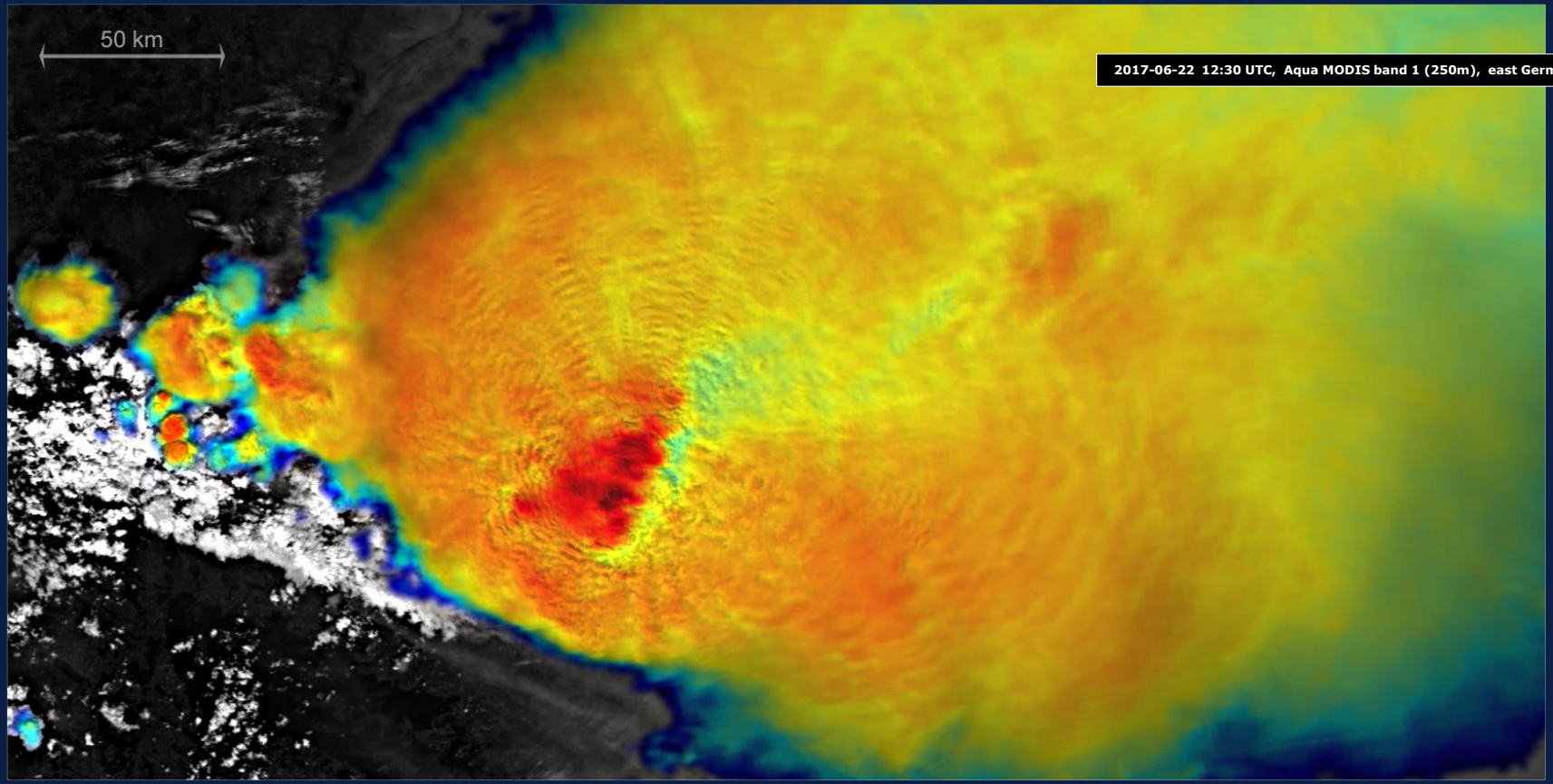
Gravitační vlny (v meteorologii, v atmosféře)

*Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický, ČMeS, 2019: http://**slovnik.cmes.cz/***

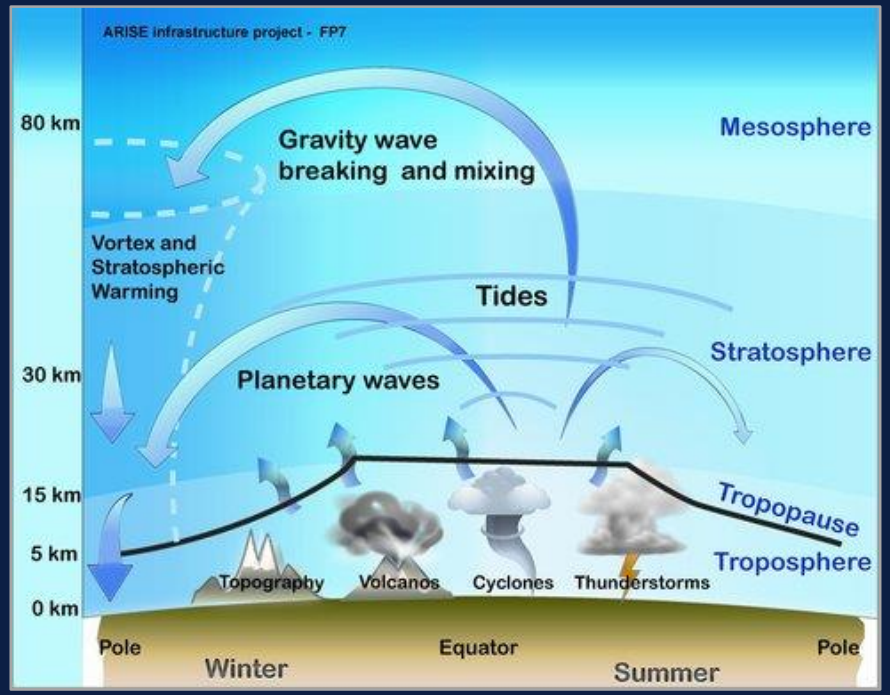
vlny gravitační

Vertikálně příčné vlnové pohyby na volném povrchu tekutiny nebo vnitřní vlny na horiz. rozhraní dvou nemísících se tekutin, popř. v samotné vrstvě tekutiny, vznikající působením síly zemské tíže a vztlakové síly v interakci s různými mechanickými rozruchy (např. při obtékání překážek proudem tekutiny). Povrchové gravitační vlny mohou být podle tloušťky vrstvy tekutiny, na níž vznikají, buď Stokesova typu (velká tloušťka vrstvy), nebo Lagrangeova typu (malá tloušťka vrstvy). Toto rozlišení se např. uplatňuje podle hloubky vody u povrchových vln na vodním povrchu. V atmosféře se spíše setkáváme s vnitřními gravitačními vlnami. Velmi známým případem jsou např. gravitační vlny na rozhraních vytvářených dolními hranicemi výškových teplotních inverzí, tzv. vlny na inverzní hladině. Za situací se zanedbatelnou rychlostí horiz. proudění vzduchu se na těchto rozhraních vytvářejí gravitační vlny v podobě dvou vlnových sledů se shodnými parametry, ale postupující proti sobě. Za vhodných podmínek se skládáním těchto dvou sledů mohou vytvořit stojaté vlny, které se obvykle projevují vznikem charakteristické oblačnosti v podobě rovnoběžných oblačných pásů odpovídajících vrchům stojatých vln. Jedná-li se v jiných případech o gravitační vlny na rozhraních vytvářených pouze prudkým vert. střihem větru, vytvářejí se Helmholtzovy vlny, uplatňuje-li se horiz. rozhraní v podobě diskontinuity jak z hlediska vektoru rychlosti větru, tak hustoty vzduchu, mohou vznikat Kelvinovy–Helmholtzovy vlny. Ke gravitačním vlnám v atmosféře patří též závětrné vlny. V těch případech vzniku gravitačních vln, kdy se významně uplatňuje vertikální střih větru, se též mluví o střižných vlnách. Gravitační vlny rovněž doprovázejí aktivitu výraznějších přestřelujících vrcholů konvektivních bouří, které tyto vlny generují. Projevují se rozvlněním horní oblačné hranice kovadliny bouře zpravidla formou koncentrických vln, šířících se od jádra bouře do jeho okolí, a jsou dále zdrojem výrazné turbulence jak nad jádrem bouře, tak v jeho širším okolí. Jsou také zodpovědné za vznik celé řady různých dalších jevů, které se vyskytují na úrovni horní hranice oblačností konvektivních bouří, nebo bezprostředně nad ní a jsou zpravidla pozorované na snímcích z meteorologických družic.

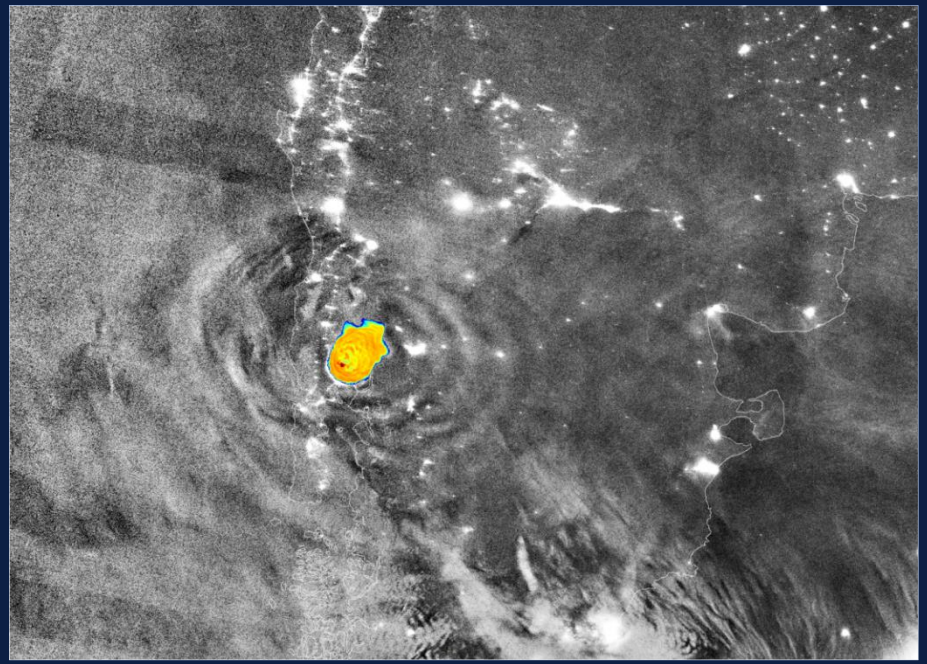
Příklad gravitačních vln na horní hranici oblačnosti konvektivní bouře (generovaných aktivitou silných vzestupných proudů uvnitř bouře, resp. přestřelujících vrcholů)



Zdroje gravitačních vln v atmosféře, interagujících s hladinami airglow

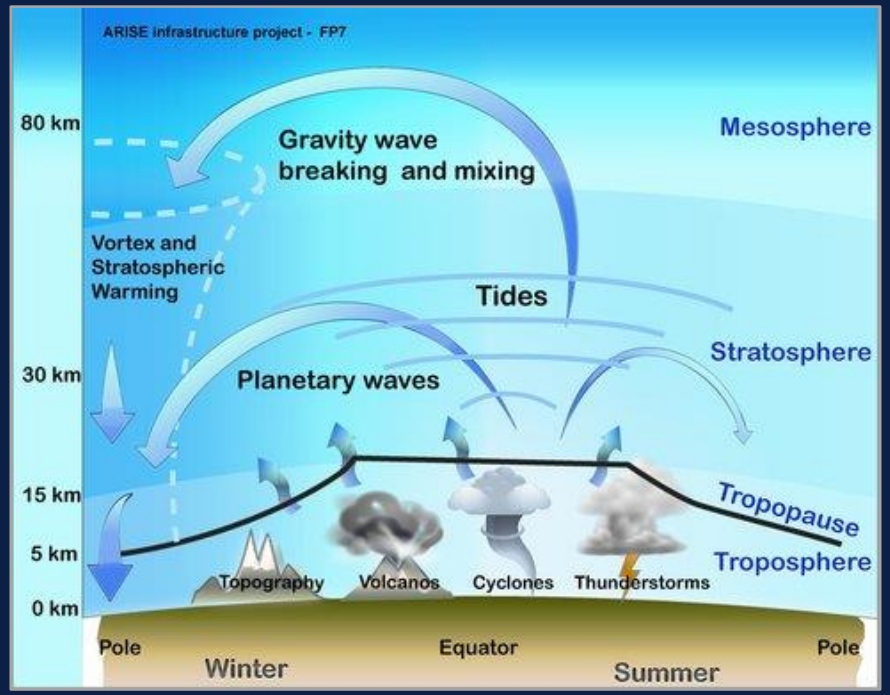


Zdroj: arise-project.eu/atmospheric-dynamics.php



2015-04-23 05:15 UTC, Suomi-NPP, erupce sopky Calbuco, Chile

Zdroje gravitačních vln v atmosféře, interagujících s hladinami airglow



Source: arise-project.eu/atmospheric-dynamics.php

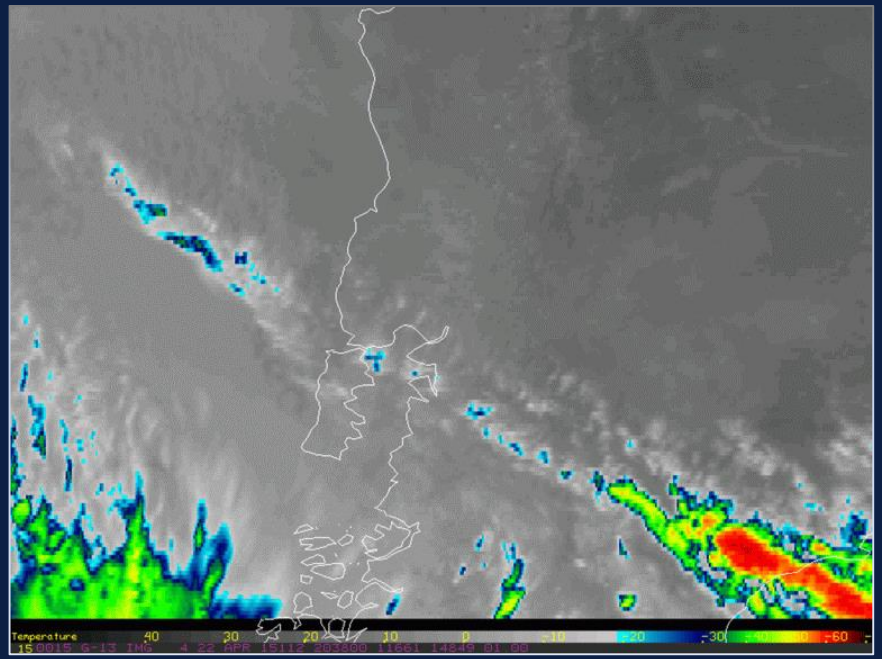
Možné zdroje vln pozorovaných v airglow:

- aktivita konvektivních bouří (silné updrafty, výrazné přestřelující vrcholy)
- orografické vlny
- jet stream, frontální rozhraní, výrazný střih větru, …
- vulkanické erupce, tsunami, zemětřesení (?)

Rázové vlny slunečního větru, ionosférické poruchy, …

Poznámka: studium atmosférických gravitačních vln je samostatnou, rozsáhlou a významnou disciplínou meteorologie, resp. fyziky atmosféry, se zaměřením na interakce spodní atmosféry (troposféra, spodní stratosféra) s vyššími hladinami atmosféry (mezosférou až termosférou), jejich vzájemných vazeb a vlivu na všeobecnou cirkulaci, klima a počasí. Rozvlnění vrstev airglow poblíž mezopauzy je tak jedním z možných projevů atmosférických gravitačních vln.

Erupce sopky Calbuco , Chile, 22 – 23. dubna 2015



GOES-13 IR, 22 April 20:38 UTC to 23 April 13:38 UTC. Source: Dan Lindsey, NOAA/CIRA.

Calbuco volcanic eruption in Chile (CIMSS Satellite Blog)
http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/blog/archives/18206

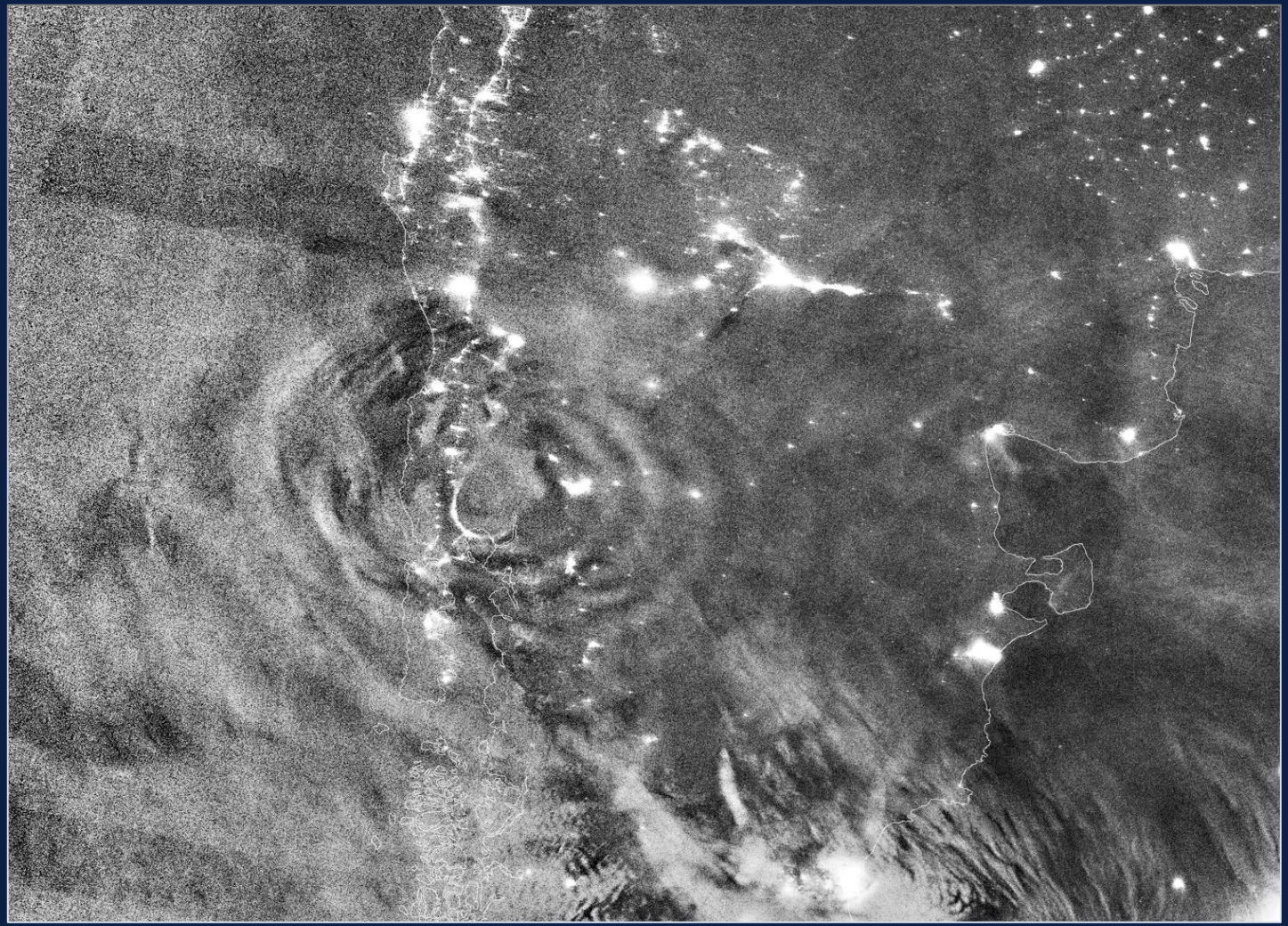
Southern Chile's Calbuco volcano unexpectedly erupted for the first time in more than 40 years on 22 April and then again early on 23 April 2015 (EUMETSAT)
http://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_2622165.html

Photo Credit: Marcelo Utreras

Photo Credit: imgur.com

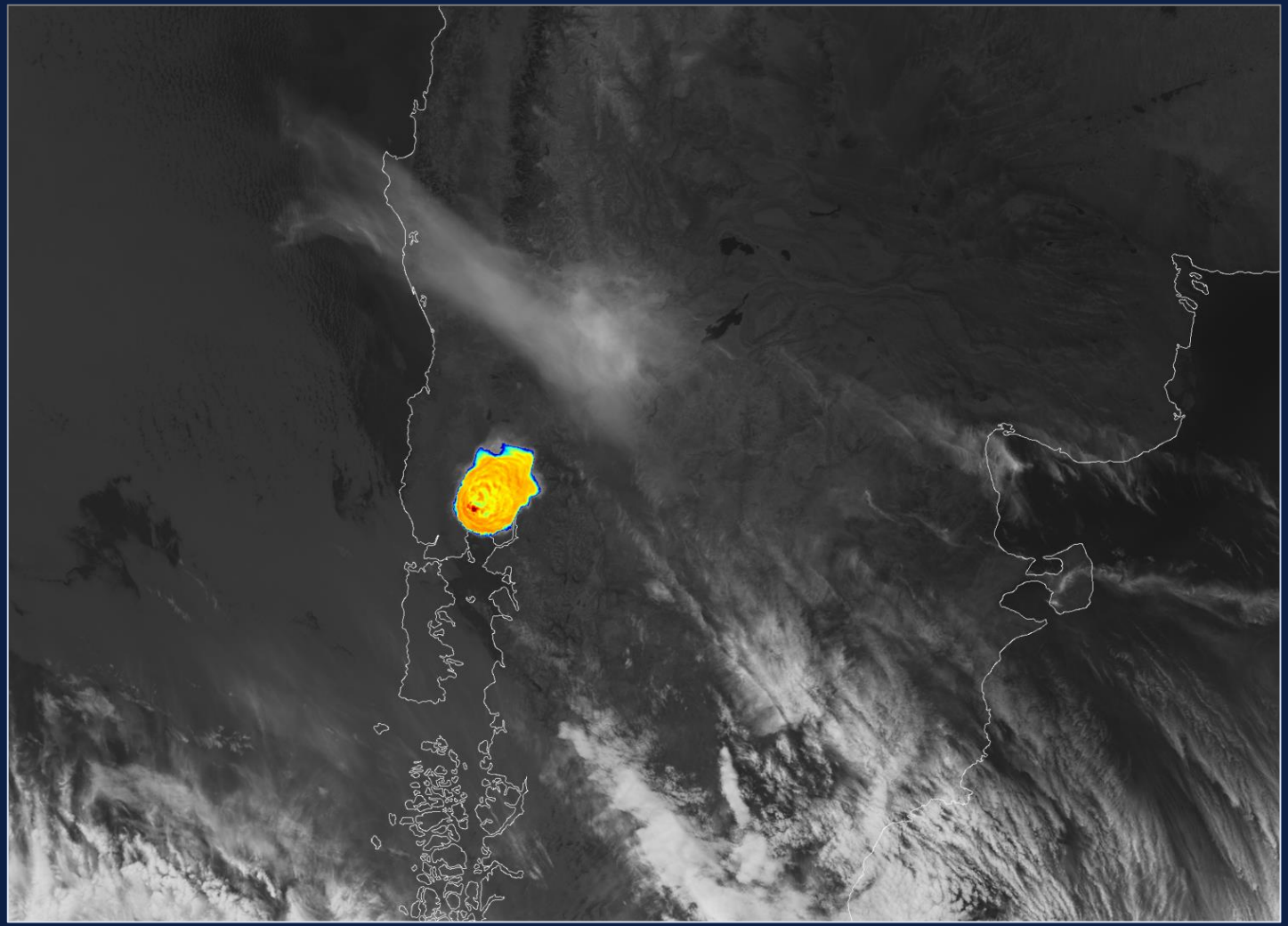
2015-04-23 05:12 UTC

VIIRS DNB



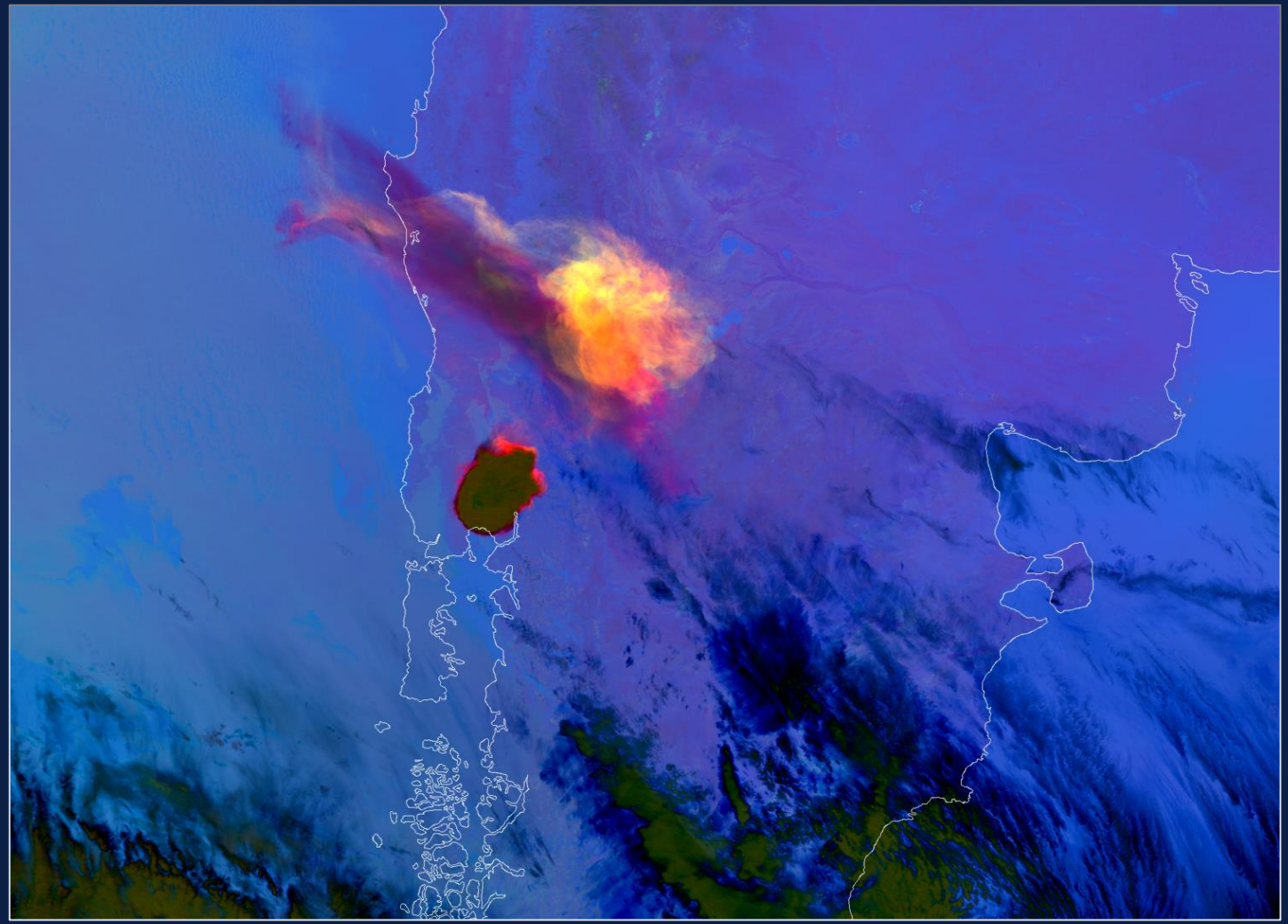
2015-04-23 05:12 UTC

M15 (190-240K)



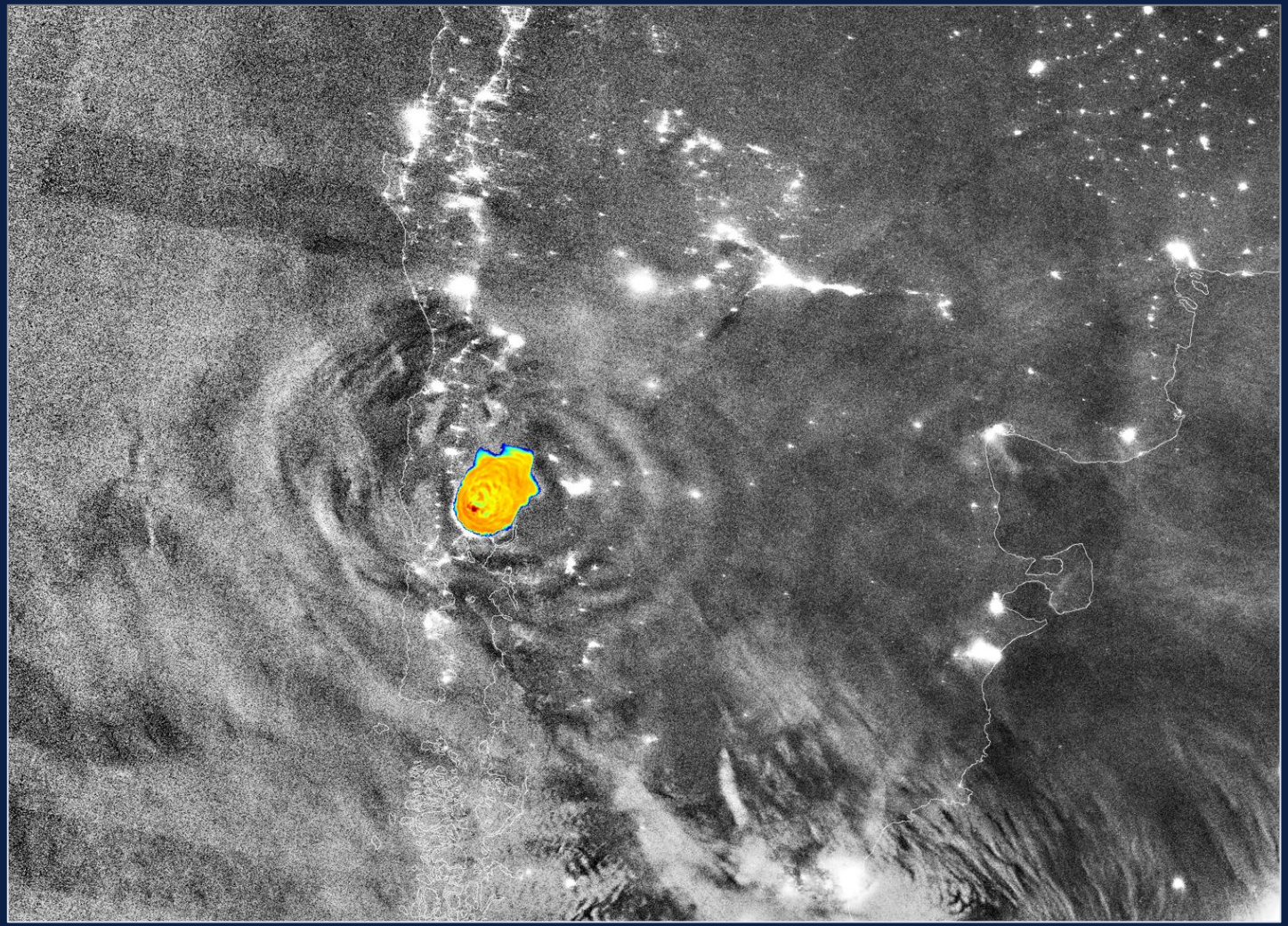
2015-04-23 05:12 UTC

M12, M15 & M16
noční mikrofyzikální RGB



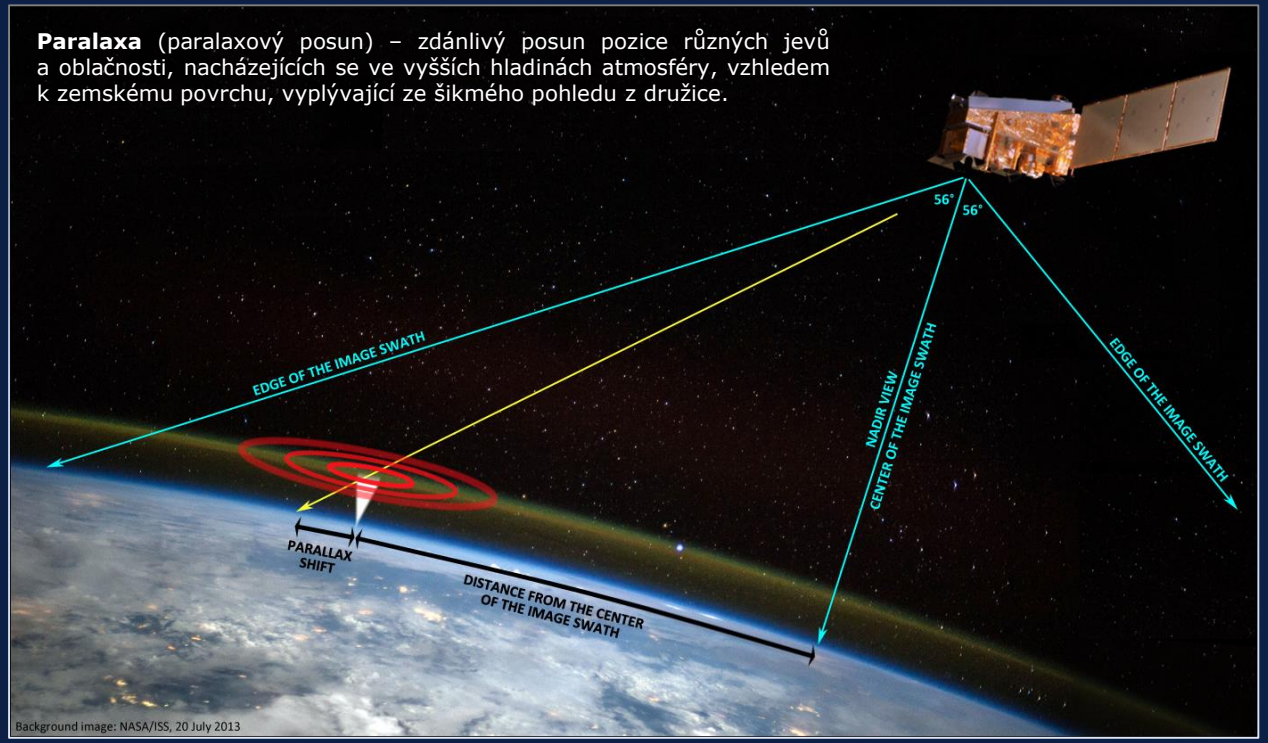
2015-04-23 05:12 UTC

DNB a M15 (190-240K)

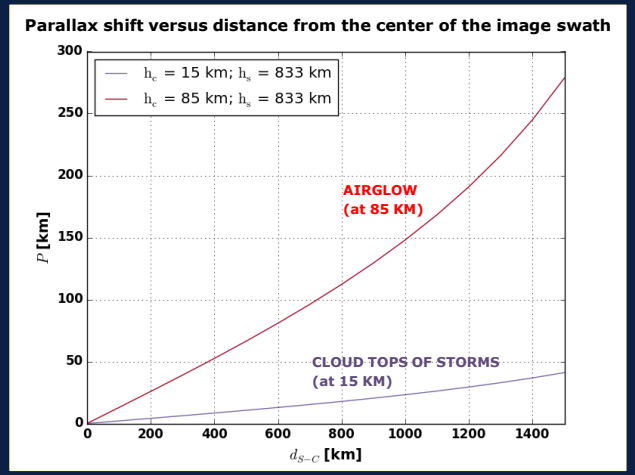


Vliv paralaxy na zdánlivou polohu jevů ve vyšších hladinách atmosféry

Paralaxa (paralaxový posun) – zdánlivý posun pozice různých jevů a oblačnosti, nacházejících se ve vyšších hladinách atmosféry, vzhledem k zemskému povrchu, vyplývající ze šikmého pohledu z družice.



Background image: NASA/ISS, 20 July 2013



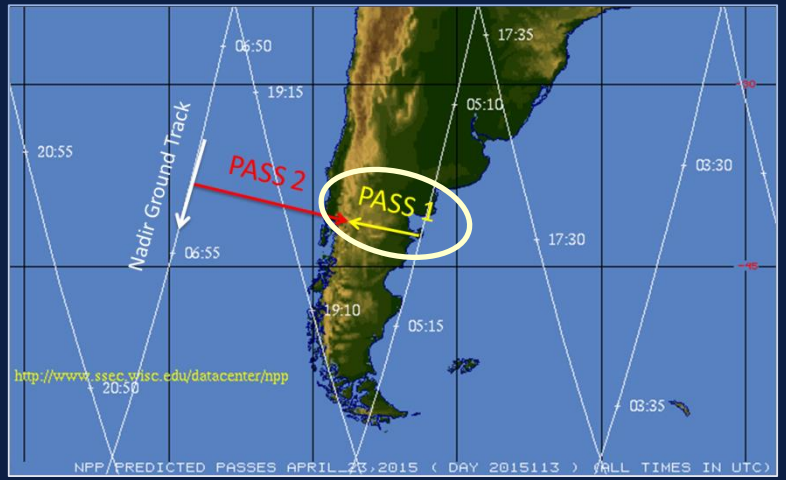
dS-C [km] / hC [km]	P [km]														
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
15	2.1	4.2	6.3	8.4	10.7	12.9	15.3	17.8	20.4	23.2	26.2	29.4	32.9	36.8	41.0
85	12.9	25.8	39.0	52.5	66.4	80.9	96.1	112.2	129.4	148.1	168.4	190.9	216.2	245.0	278.6

Paralaxa oblačnosti a airglow z družice S-NPP

Hodnota paralaxy (svislá osa) jako funkce vzdálenosti od středu přeletu (vodorovná osa), spočtená pro hladiny 15 km (vysoká oblačnost) a 85 km (airglow), pro družici na oběžné dráze ve výšce 833 km.

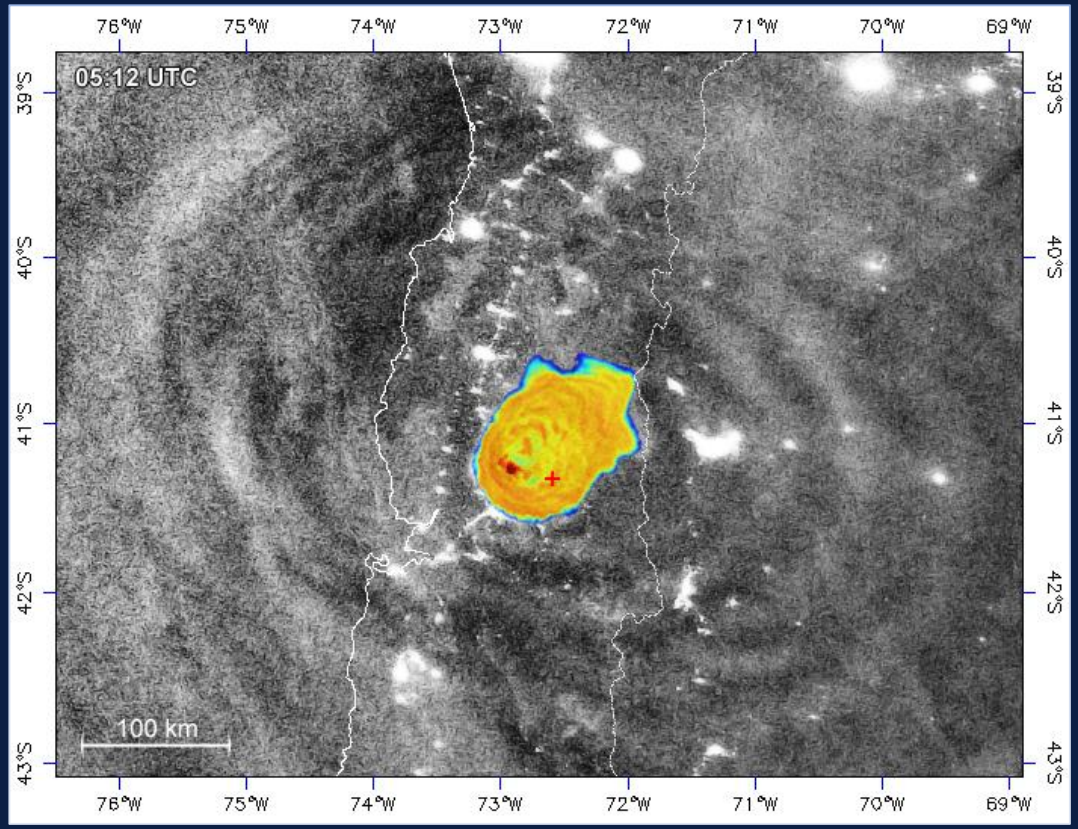
Zdroj (tabulka a graf):
Michaela Radová, michaela.radova@chmi.cz

Vliv paralaxy na zdánlivou polohu jevů ve vyšších hladinách atmosféry



Přelet 1 (#18058), 05:12 UTC

Při tomto přeletu družice Suomi-NPP byla sopka Calbuco relativně blízko stopy přeletu (nadiru družice), proto je paralaxový posun středu koncentrických vln směrem na západ pouze malý.

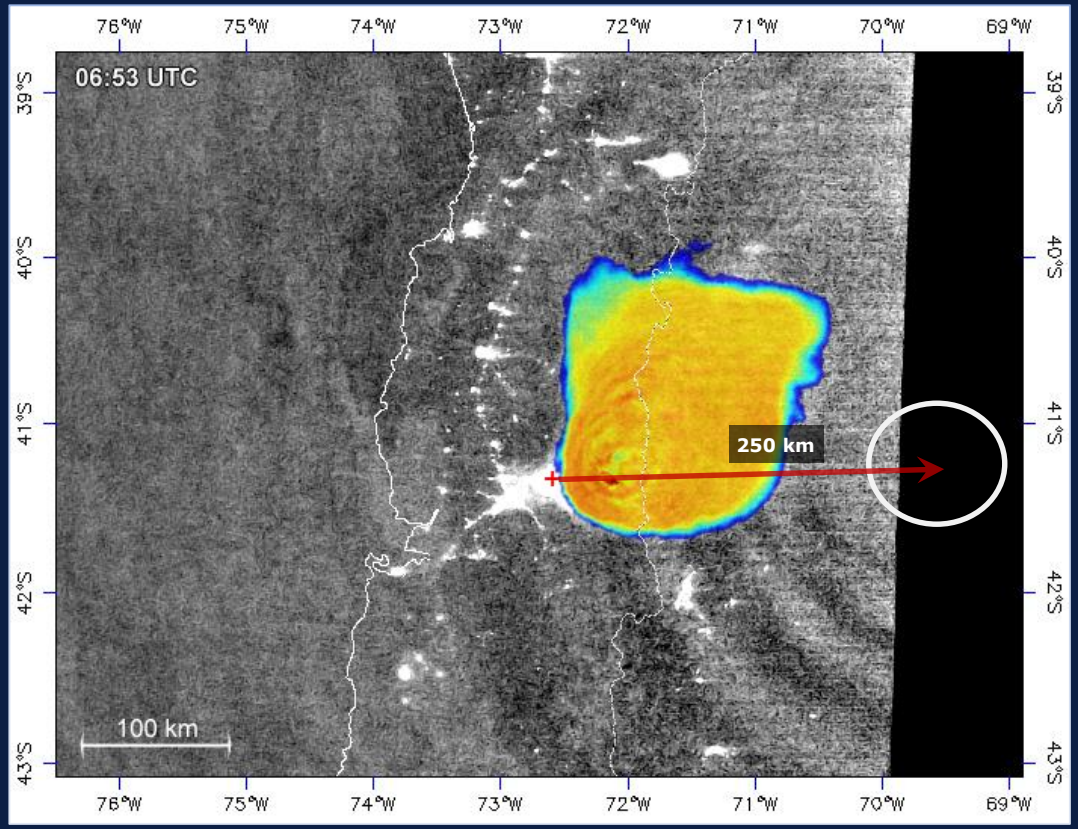


+ – poloha sopky Calbuco

Vliv paralaxy na zdánlivou polohu jevů ve vyšších hladinách atmosféry

Přelet 2 (#18059), 06:53 UTC

Při tomto následném přeletu družice Suomi-NPP byla oblast sopky Calbuco na samém východním okraji snímaného pásu území, proto i paralaxový posun je zde značný – střed koncentrických vln v airglow je posunut přibližně 250 km na východ (zcela v souladu s vypočítanými hodnotami).

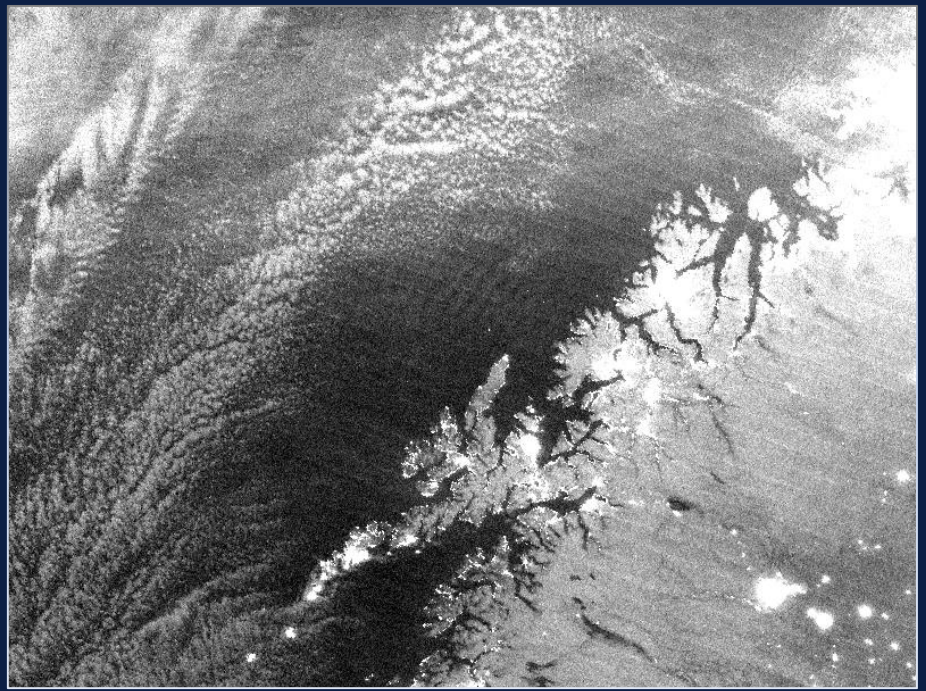


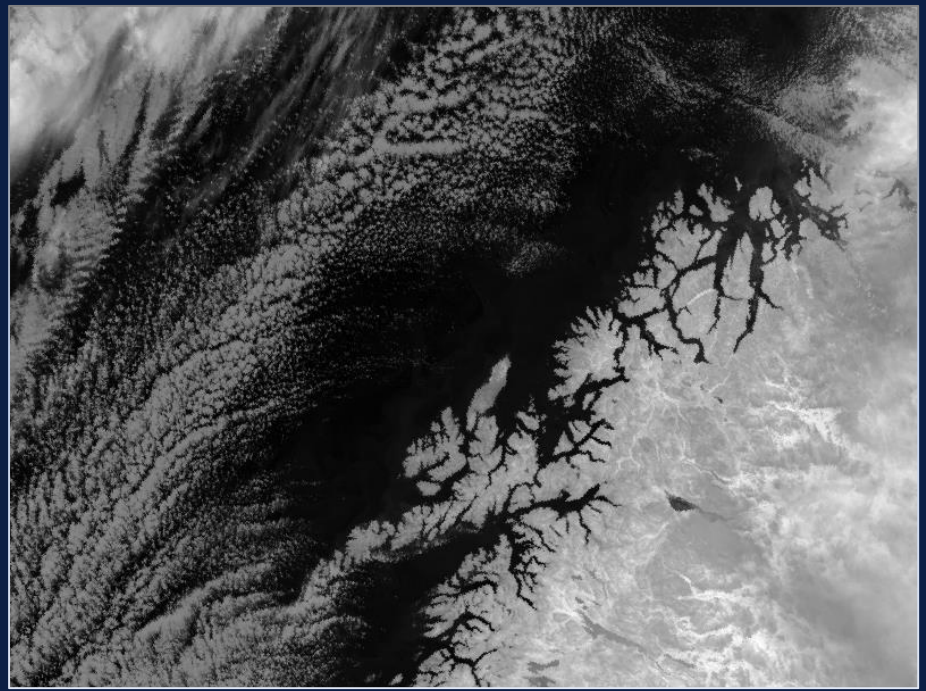
+ – poloha sopky Calbuco

Další formy atmosférických gravitačních vln pozorovaných VIIRS kanálem DNB družic Suomi-NPP a JPSS v hladinách nightglow

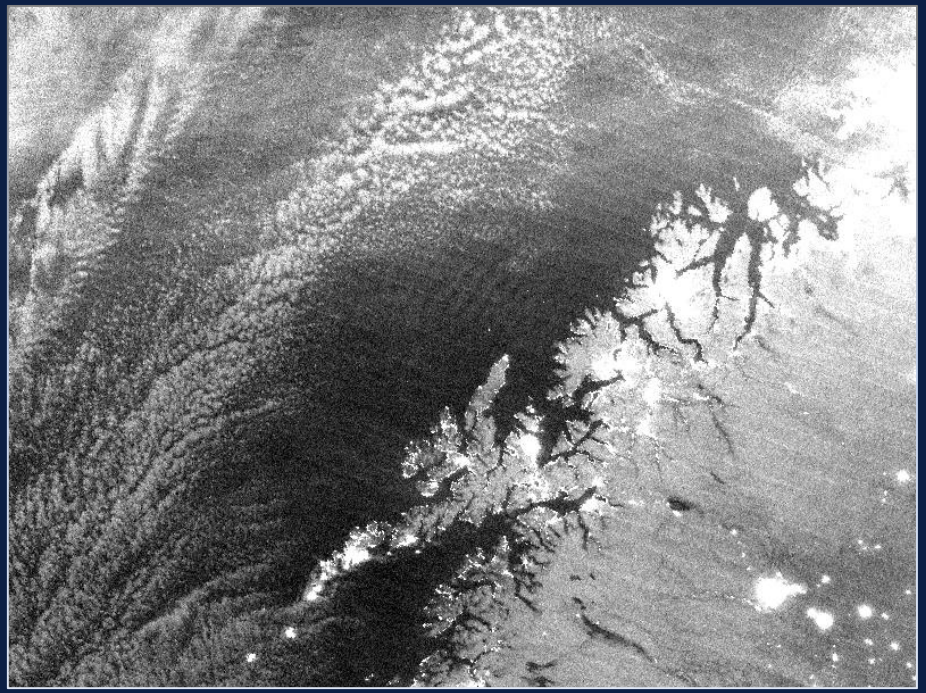
Orograficky generované vlny v airglow (Norsko, observatoř ALOMAR)

Suomi-NPP, 2016-01-08 01:42 UTC

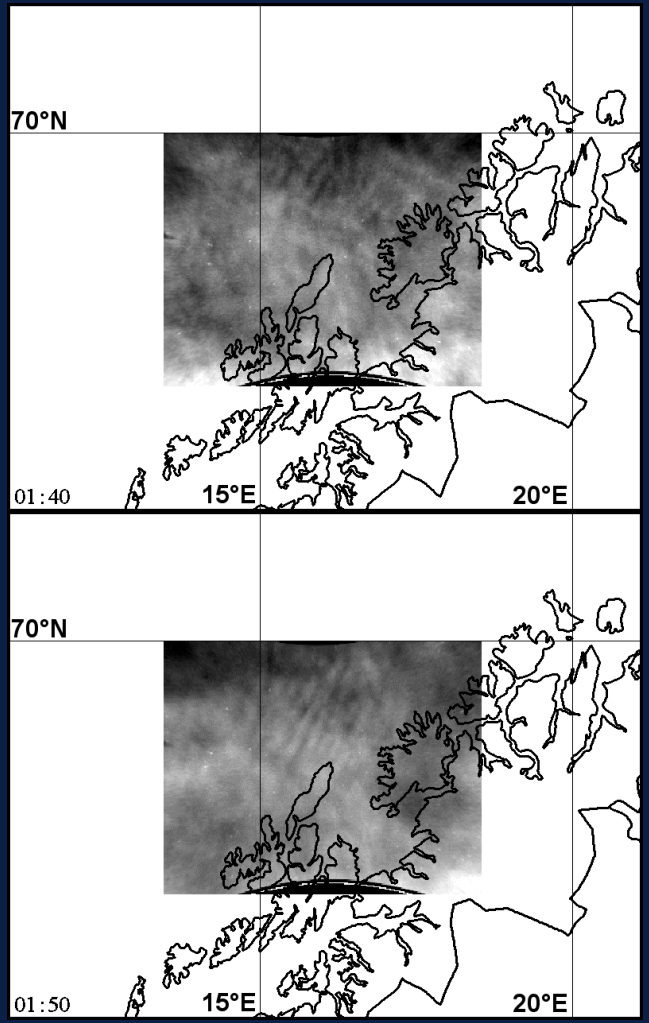




Orograficky generované vlny v airglow (Norsko, observatoř ALOMAR)



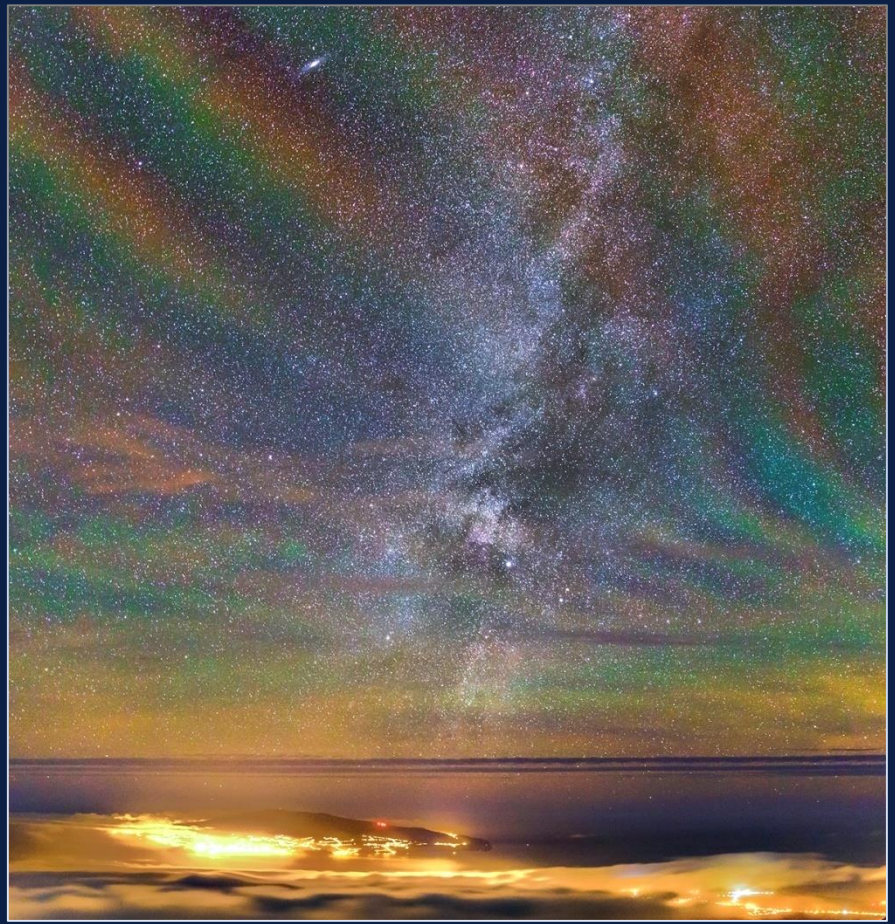
Suomi-NPP DNB 2016-01-08 01:42 UTC

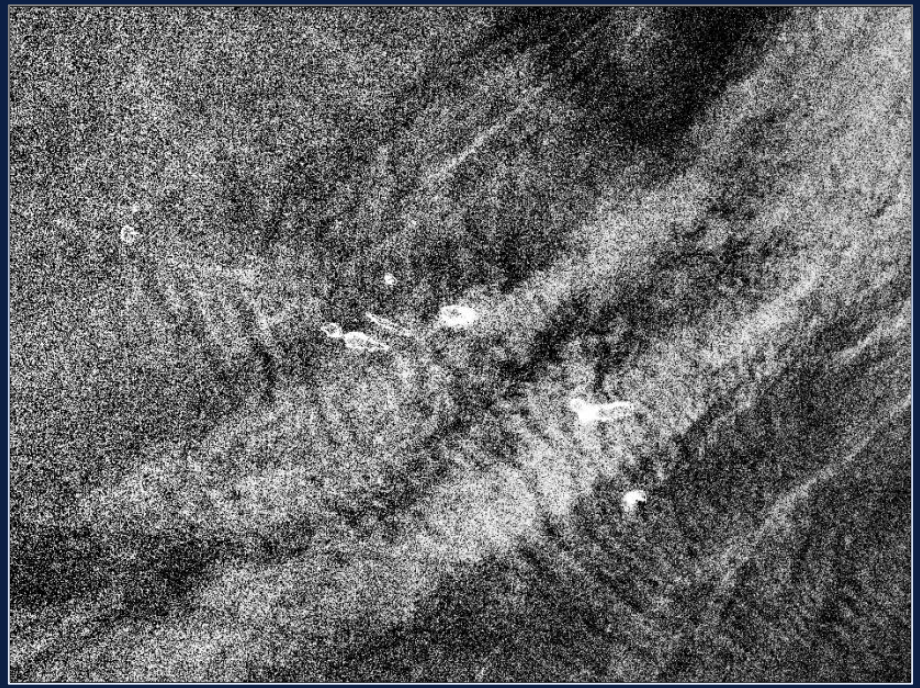


Pozemní OH pozorování z observatoře ALOMAR >>>
zdroj: © 2016, Dominique Pautet, viz též animace

Orograficky generované vlny v airglow, Azorské ostrovy

Suomi-NPP, 2015-11-17 03:05 UTC





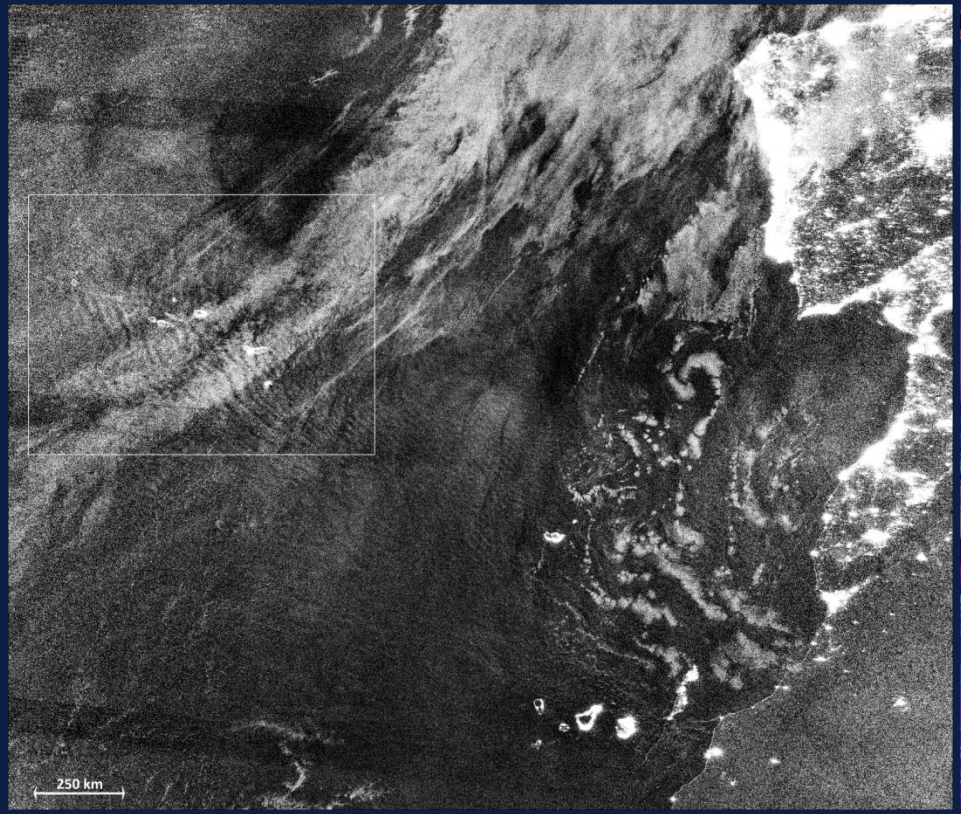
VIIRS DNB

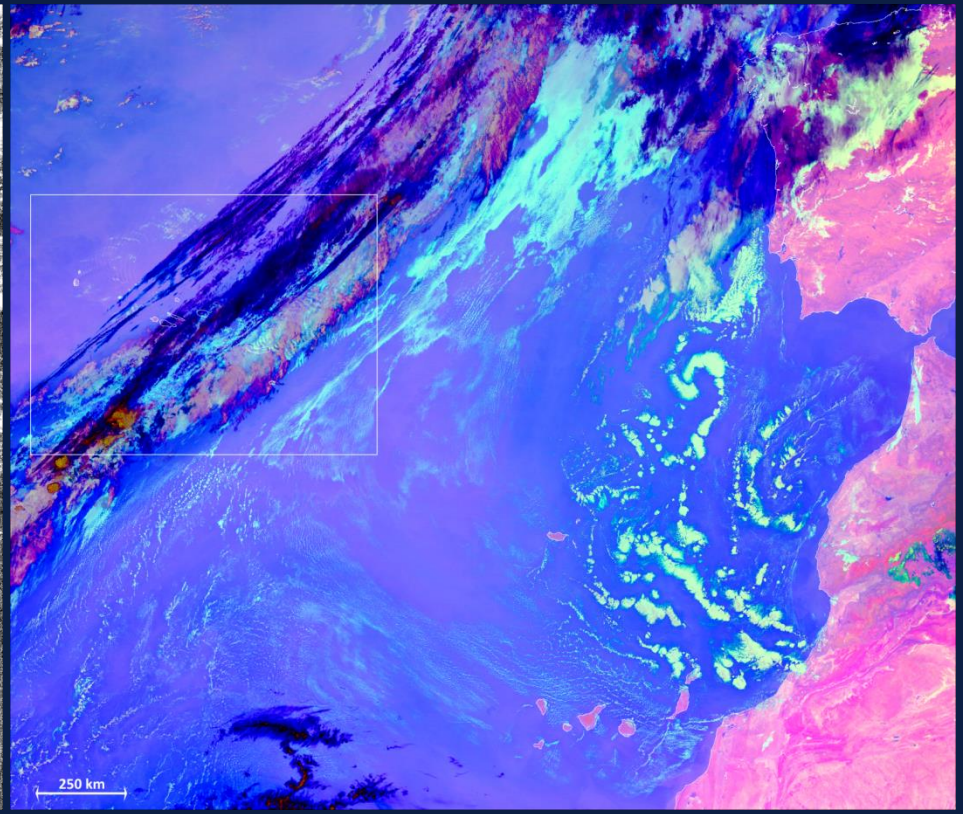
Snímek © 2015 Miguel Claro

www.miguelclaro.com/wp/

Orograficky generované vlny v airglow, Azorské ostrovy

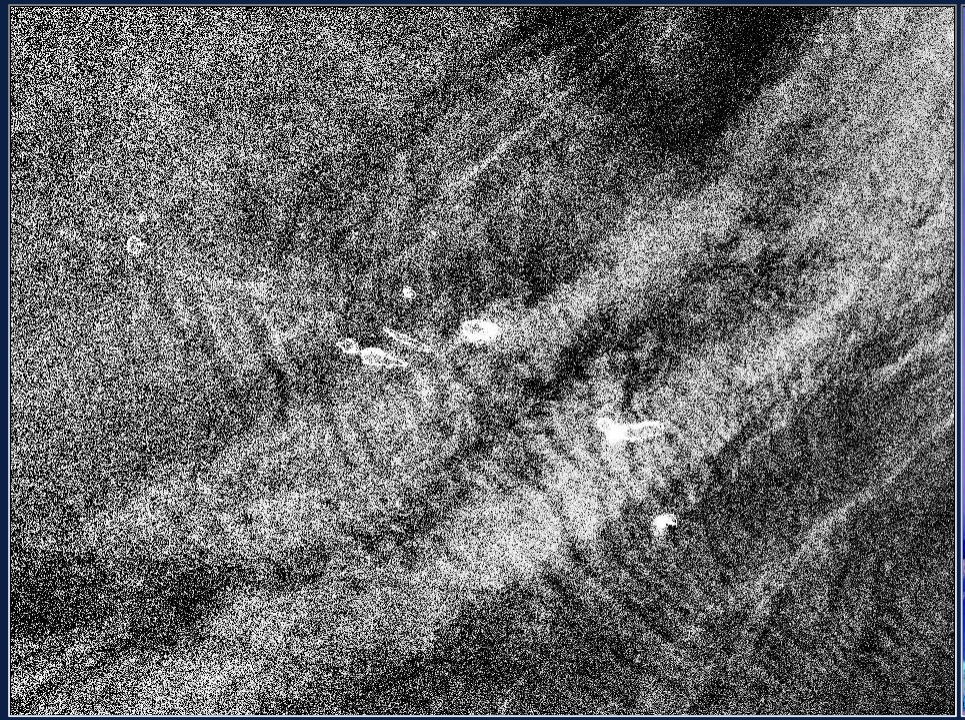
Suomi-NPP, 2015-11-17 03:05 UTC

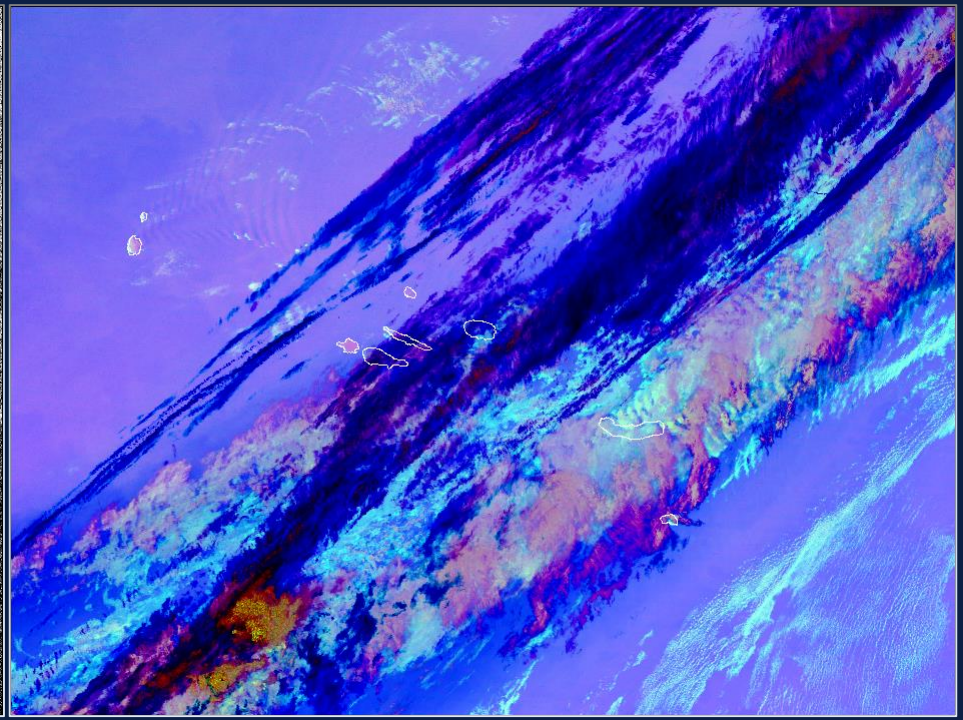




Orograficky generované vlny v airglow, Azorské ostrovy

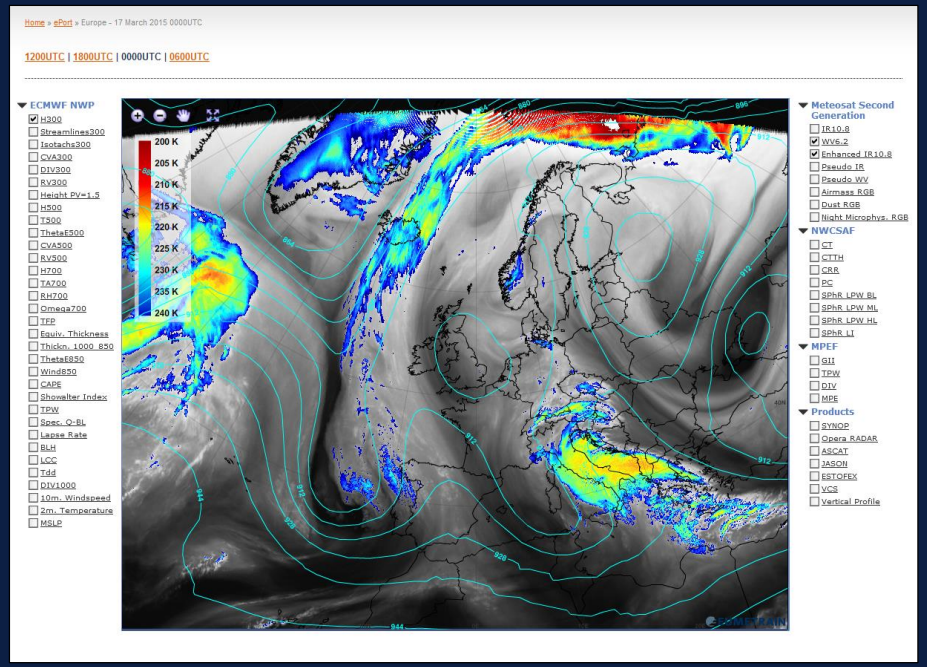
Suomi-NPP, 2015-11-17 03:05 UTC



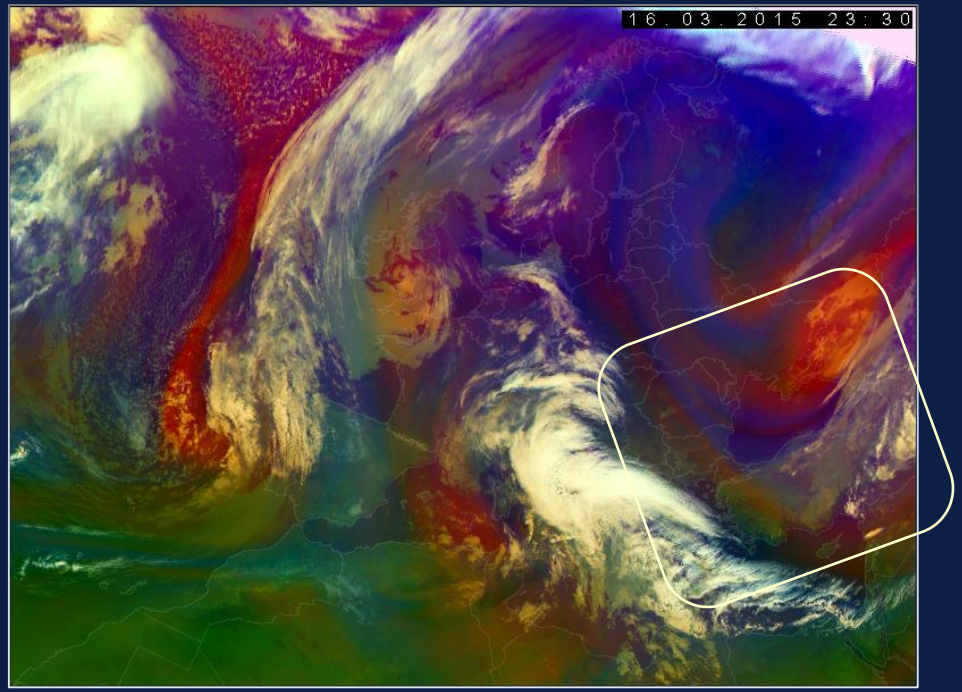


Viz též animace z MSG (WV6.2)

Vlny v nightglow nad Černým mořem (delta jet-streamu) – 16/17. března 2015



300 hPa + MSG WV6.2 zdroj: [EUMeTrain ePort]

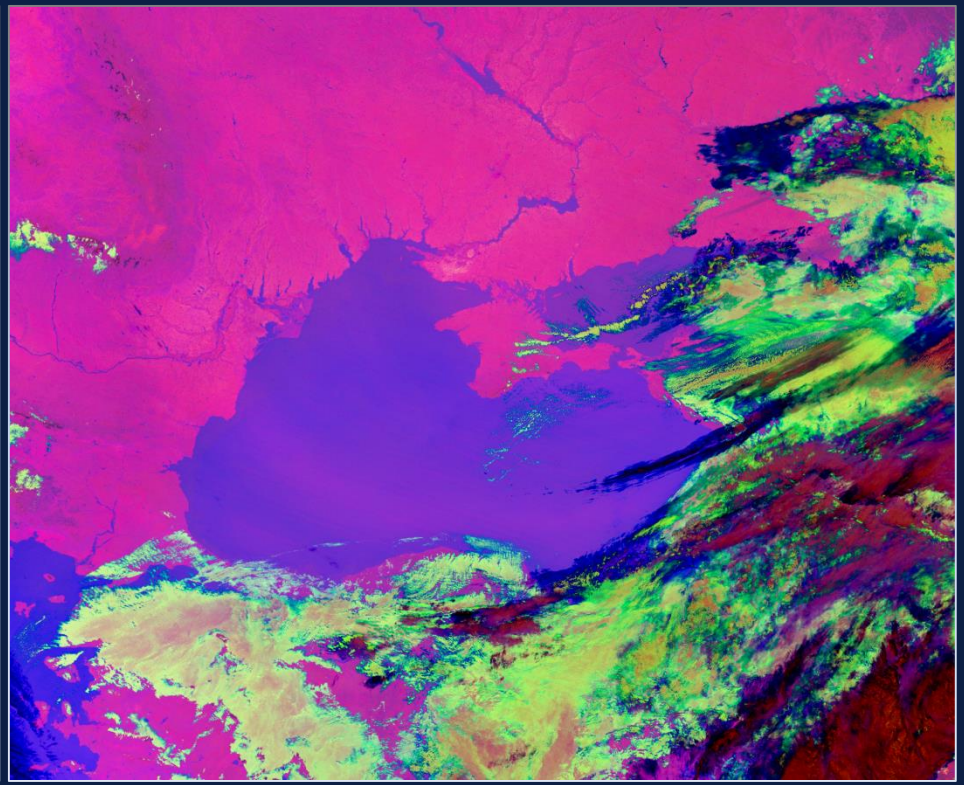


Meteosat-10 Airmass RGB, viz též [animace]

Vlny v nightglow nad Černým mořem (delta jet-streamu)

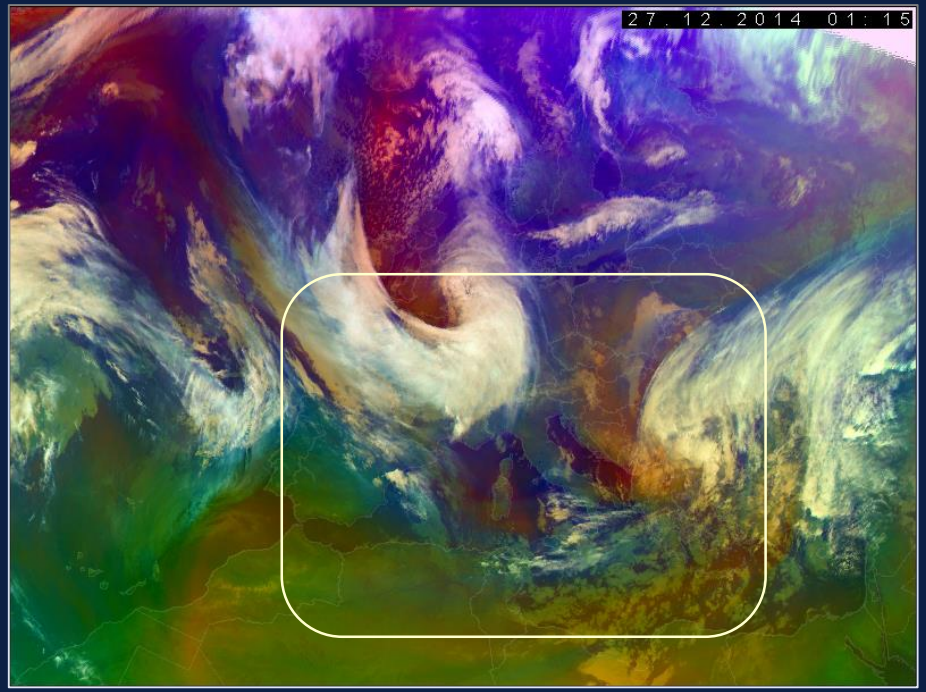
Suomi-NPP, 2015-03-16 23:40 UTC

VIIRS DNB

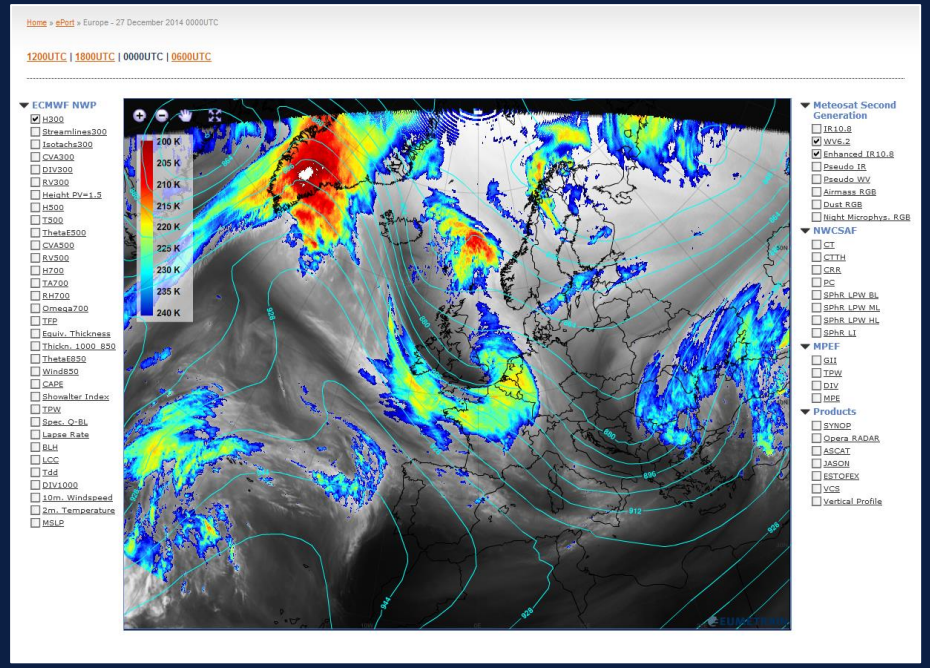


VIIRS noční mikrofyzikální RGB produkt
(M12, M15 and M16)

Vlny v nightglow nad Středozemním a Jaderským mořem – 26/27. prosince 2014



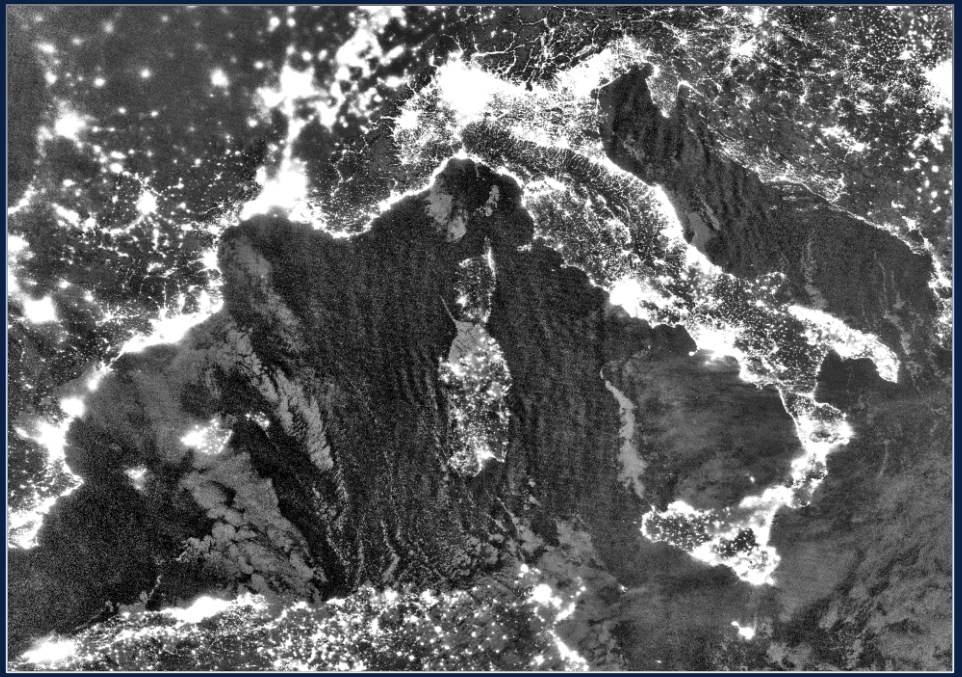
Meteosat-10 Airmass RGB, viz též Airmass RGB loop
a Night Microphysical RGB loop



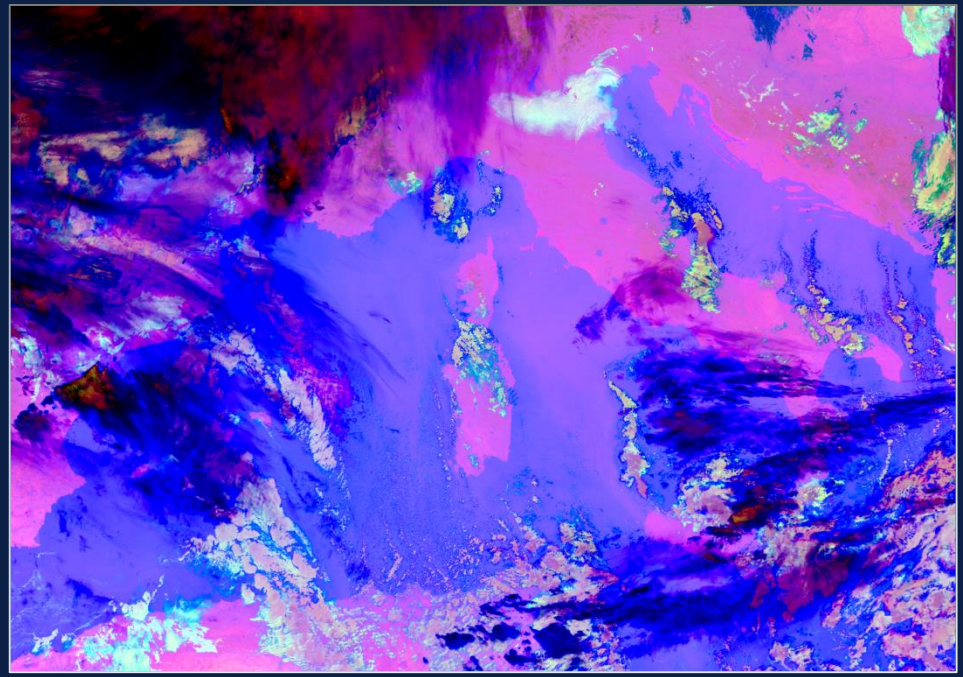
300 hPa + MSG WV6.2 zdroj: EUMeTrain ePort

Vlny v nightglow nad Středozemním a Jaderským mořem

Suomi-NPP, 2014-12-27 01:20 UTC



VIIRS DNB



VIIRS noční mikrofyzikální RGB produkt
(M12, M15 and M16)

Vlny v nightglow nad pouští Atacama, Chile, 11. března 2018 01:10 UTC (foto vlevo), a v 06:05 UTC na snímku DNB z družice NOAA-20 (JPSS-1)

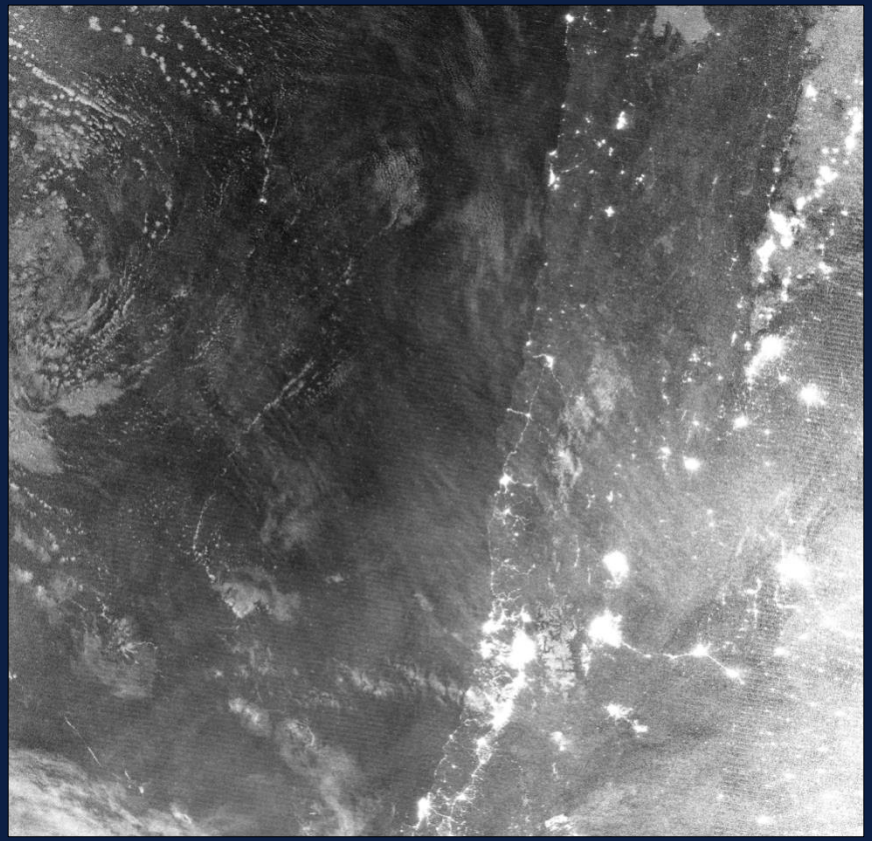
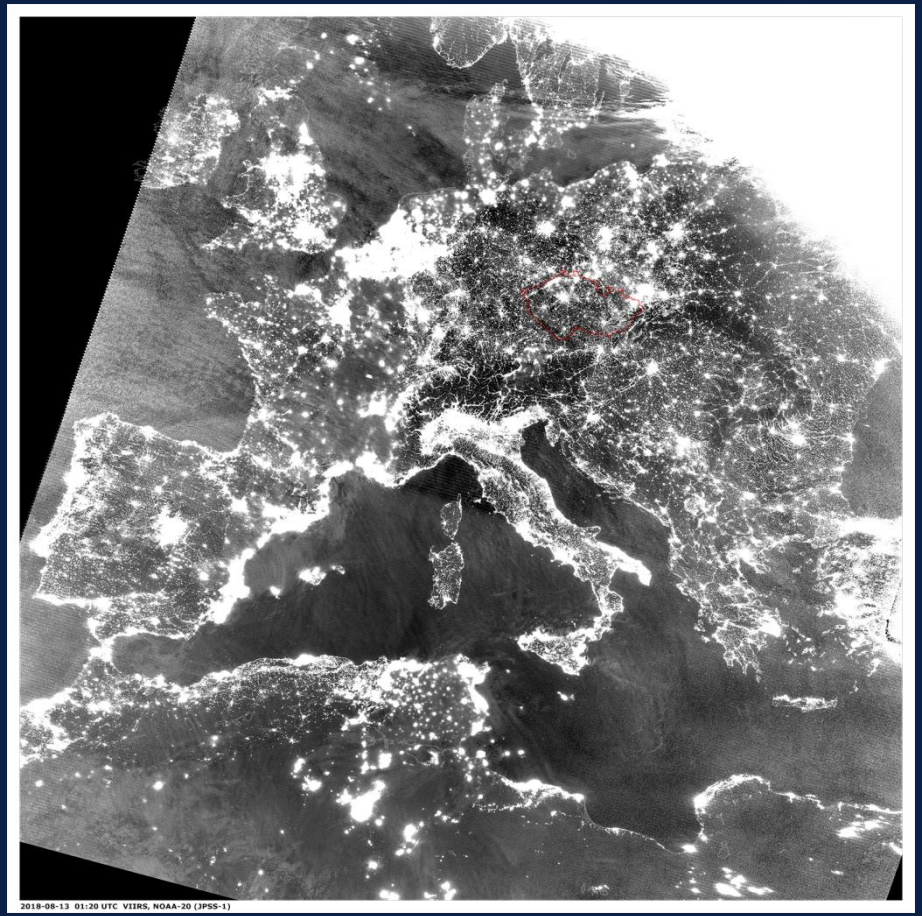


foto: Yuri Beletsky © *https://apod.nasa.gov/apod/ap180517.html*

Vlny v nightglow nad Středozemním mořem, západní a střední Evropou, pravděpodobně vygenerované bouřemi nad Španělskem

NOAA-20, 2018-08-13 01:20 UTC

Martin Setvák (http://www.setvak.cz/timelapse/2018.html#20180812-13)
2018-08-12/13, Jankovská Lhota



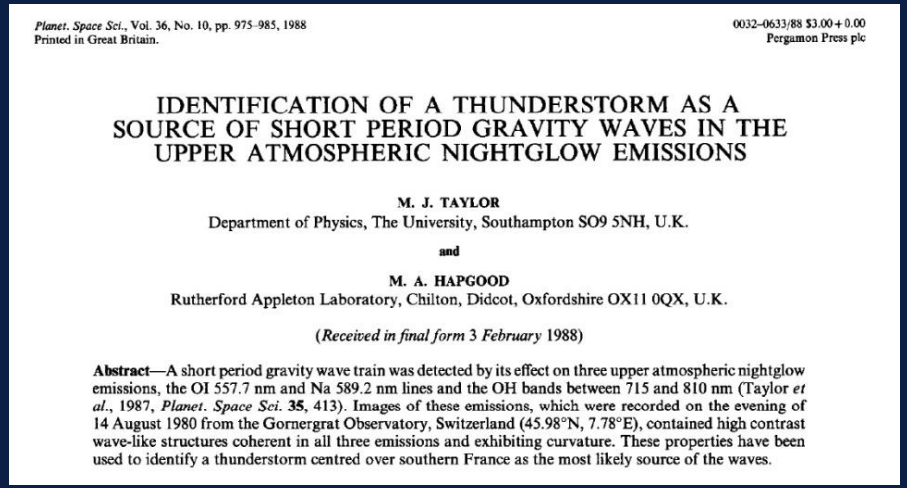
Koncentrické gravitační vlny (CGW) v nightglow, generované konvektivními bouřemi, zachycené družicemi S-NPP a NOAA-20 (JPSS-1) přístrojem VIIRS v kanálu DNB

Koncentrické gravitační vlny (CGW) generované konvektivními bouřemi v nightglow

Koncentrické gravitační vlny (Concentric Gravity Waves, CGW) pozorované v nightglow jsou ve většině případů projevem vertikálně propagujících (atmos.) gravitačních vln, generovaných silnějšími konvektivními bouřemi, konkrétně jejich silnými updrafty, resp. přestřelujícími vrcholy.

Vůbec poprvé jednoznačně doloženo:

Taylor, M. J., and M. A. Hapgood, 1988: Identification of a thunderstorm as a source of short period gravity waves in the upper atmospheric nightglow emissions, Planet. Space Sci., 36, s.975. DOI:10.1016/0032-0633(88)90035-9



Planet. Space Sci., Vol. 36, No. 10, pp. 975–985, 1988
Printed in Great Britain.

0032–0633/88 $3.00+0.00
Pergamon Press plc

IDENTIFICATION OF A THUNDERSTORM AS A SOURCE OF SHORT PERIOD GRAVITY WAVES IN THE UPPER ATMOSPHERIC NIGHTGLOW EMISSIONS

M. J. TAYLOR
Department of Physics, The University, Southampton SO9 5NH, U.K.

and

M. A. HAPGOOD
Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, Didcot, Oxfordshire OX11 0QX, U.K.

(*Received in final form* 3 *February* 1988)

Abstract—A short period gravity wave train was detected by its effect on three upper atmospheric nightglow emissions, the OI 557.7 nm and Na 589.2 nm lines and the OH bands between 715 and 810 nm (Taylor *et al.*, 1987, *Planet. Space Sci.* **35**, 413). Images of these emissions, which were recorded on the evening of 14 August 1980 from the Gornergrat Observatory, Switzerland (45.98°N, 7.78°E), contained high contrast wave-like structures coherent in all three emissions and exhibiting curvature. These properties have been used to identify a thunderstorm centred over southern France as the most likely source of the waves.

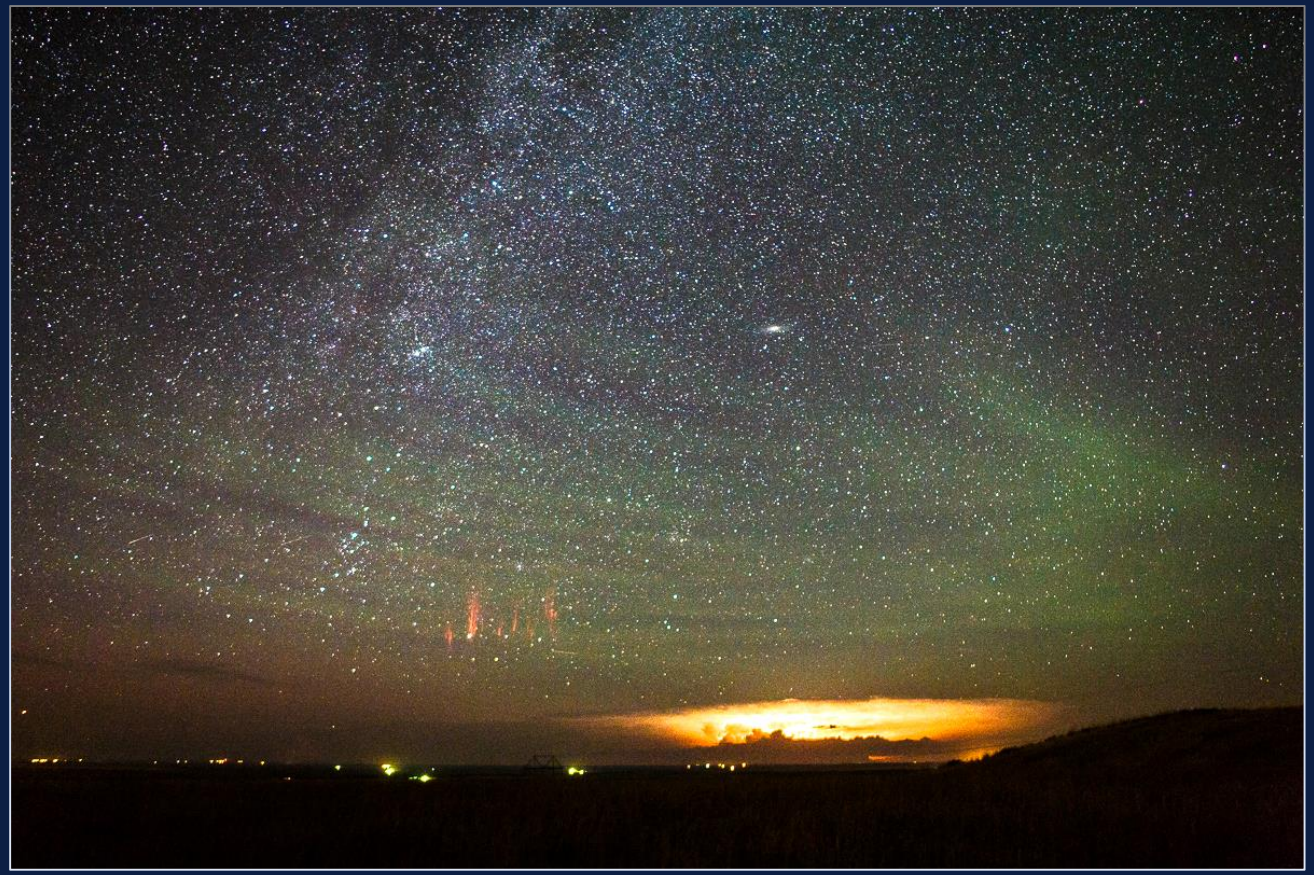
V současnosti je většinou poměrně snadné detekovat zdroje CGW v nightglow, a sice využitím IR kanálů z téže družice, případně z nich odvozených RGB produktů. Pomocí geostacionárních družic je pak možné doložit historii (vývoj) bouře.

Koncentrické gravitační vlny v nightglow nad konvektivními bouřemi – starší pozorování

www.youtube.com/watch?v=31I0op4D5-Q

www.youtube.com/watch?v=7i3HZJrv2bM

Koncentrické gravitační vlny v nightglow nad konvektivními bouřemi – 20. 8. 2014, Jižní Dakota, U.S.A

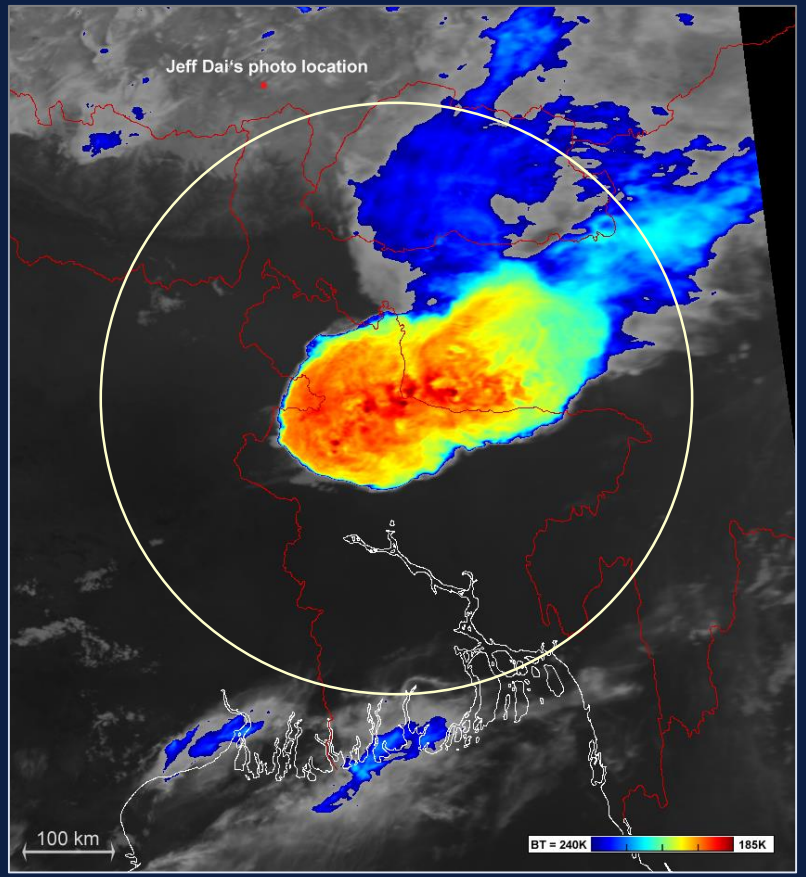


Tom A. Warner (spaceweathergallery.com/indiv_upload.php?upload_id=101211)

Koncentrické gravitační vlny v nightglow nad Bangladéšem – 27. 4. 2014, Tibetská plošina (Jeff Dai)

Jeff Dai, 2014-04-27 15:57 UTC, Tibet Plateau, China
https://www.flickr.com/photos/jeffdai/14845763849/

Koncentrické gravitační vlny v nightglow nad Bangladéšem – 27. 4. 2014



2014-04-27 15:50 UTC
Metop-2 band 4 (IR 10.5 μm)

Tento snímek z družice Metop-2 byl pořízen téměř současně jako fotografie pořízená Jeffem Daiem z Tibetské náhorní plošiny v Číně. Samotná bouře se začala vyvíjet asi o hodinu dříve, její vývoj a postup je možné sledovat na družicových animacích (viz odkazy níže).

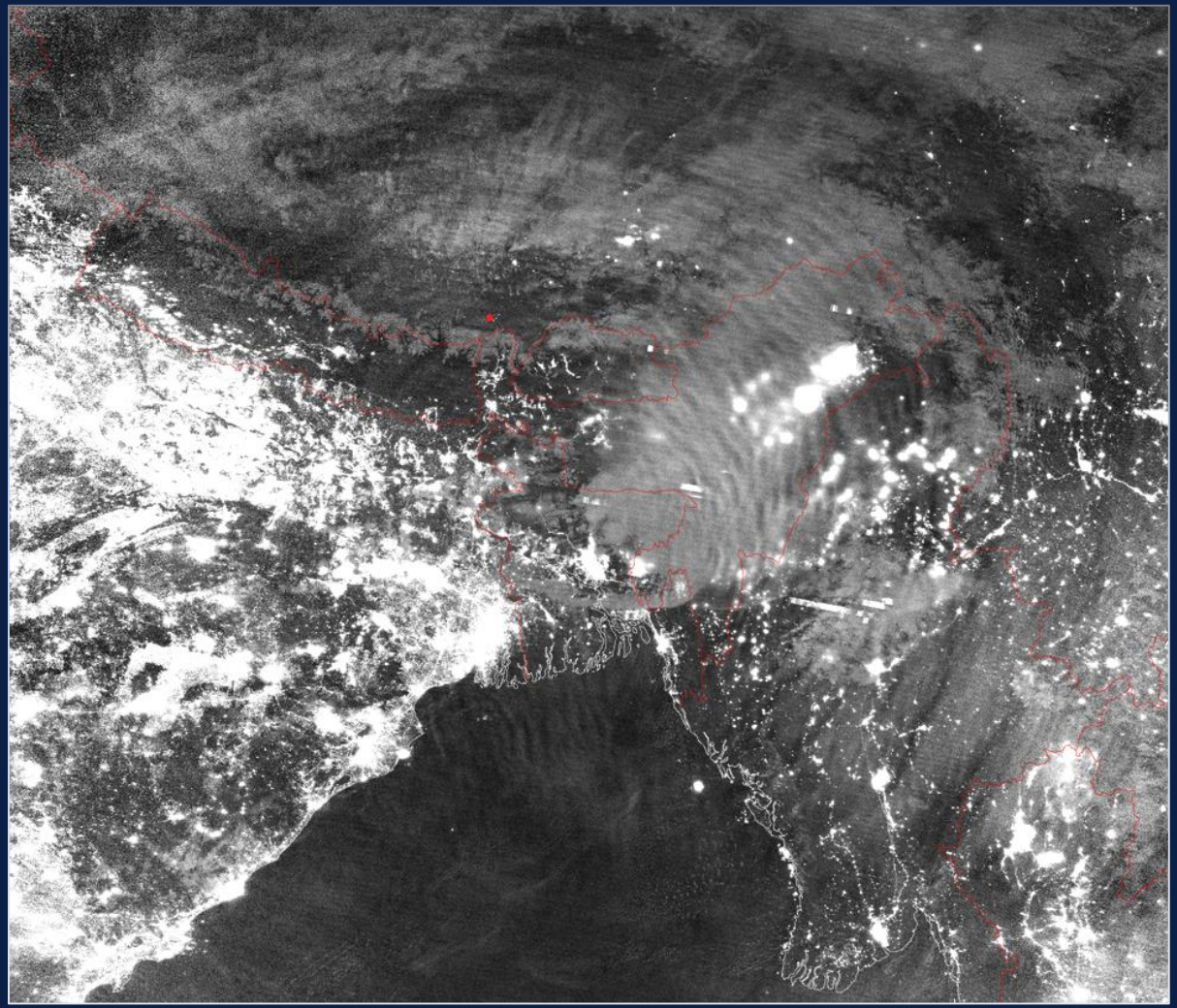
Snímky z družice Suomi-NPP VIIRS (viz dále) zachycují tyto vlny v nightglow asi o 3.5 hod později, kdy se bouře již začaly rozpadat.

A Kalboishakhi storm swept across northern Bangladesh on the evening of 27 April 2014 (EUMETSAT Image Library)
http://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_2204046.html

Rippled airglow above Bangladesh storms (EUMETSAT Image Library)
http://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_2529304.html

Suomi-NPP VIIRS

DNB

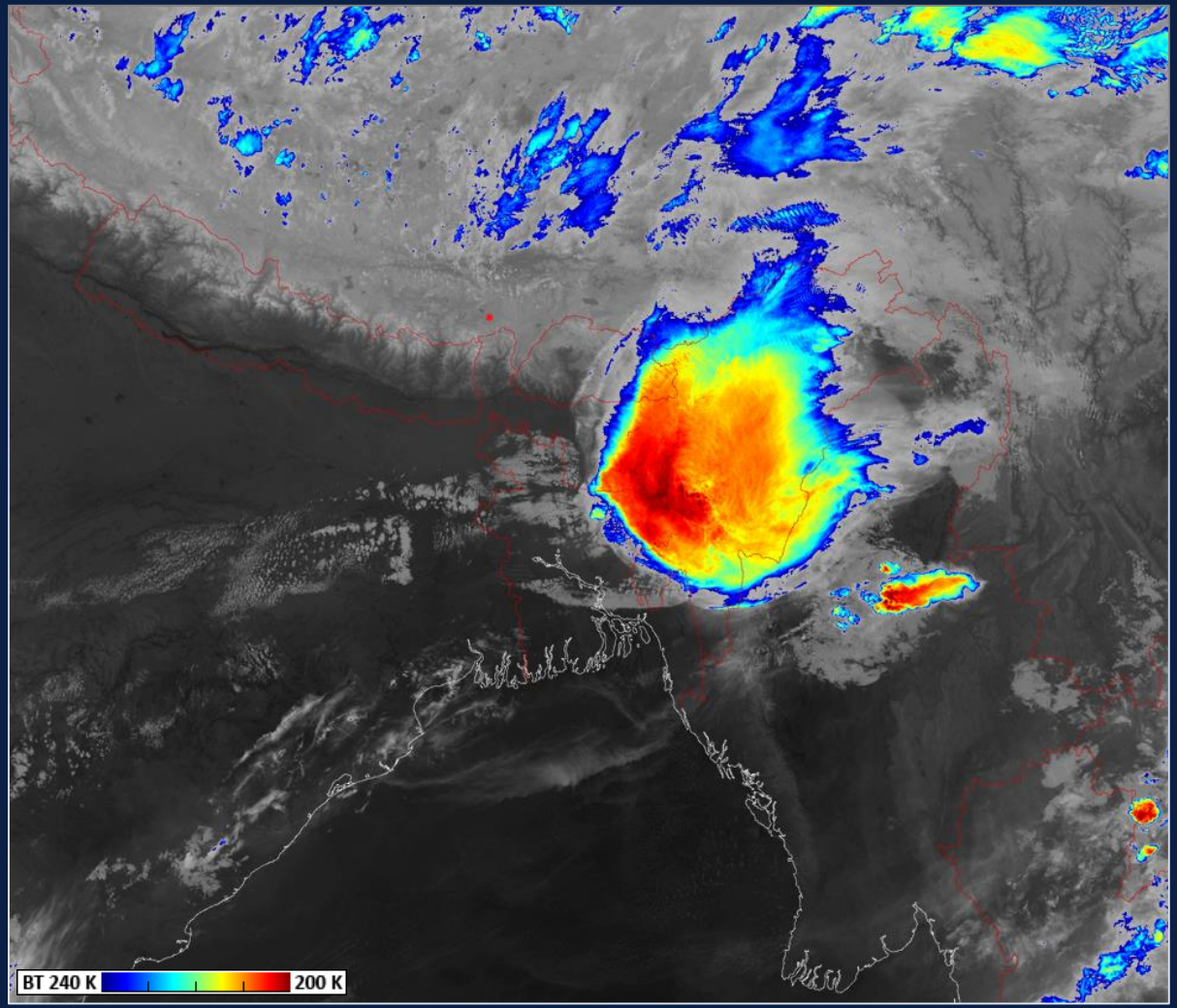


2014-04-27 19:35 UTC

Suomi-NPP VIIRS

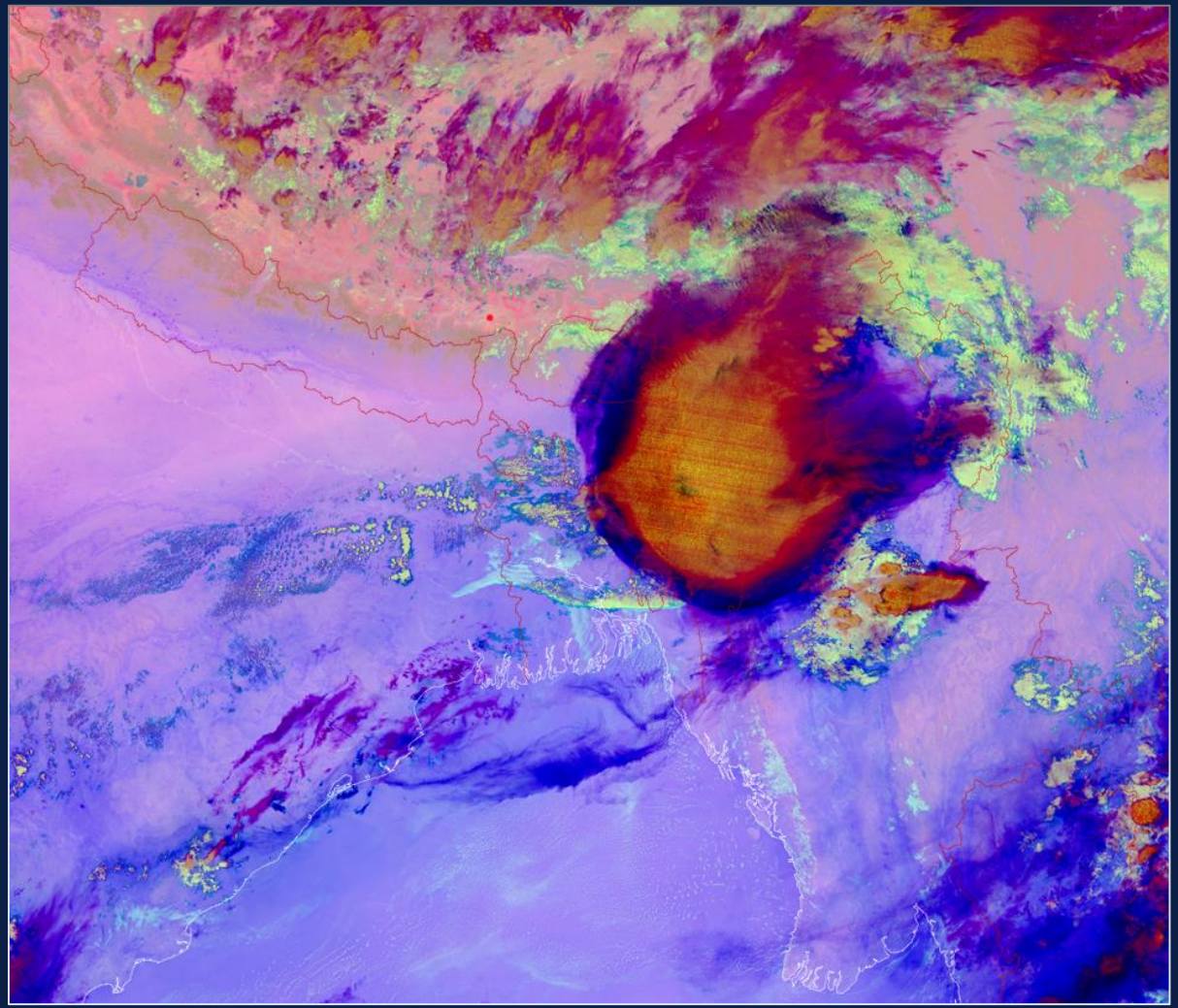
M15 (IR 10.7 μm)
BT 200 – 240 K

2014-04-27 19:35 UTC



Suomi-NPP VIIRS

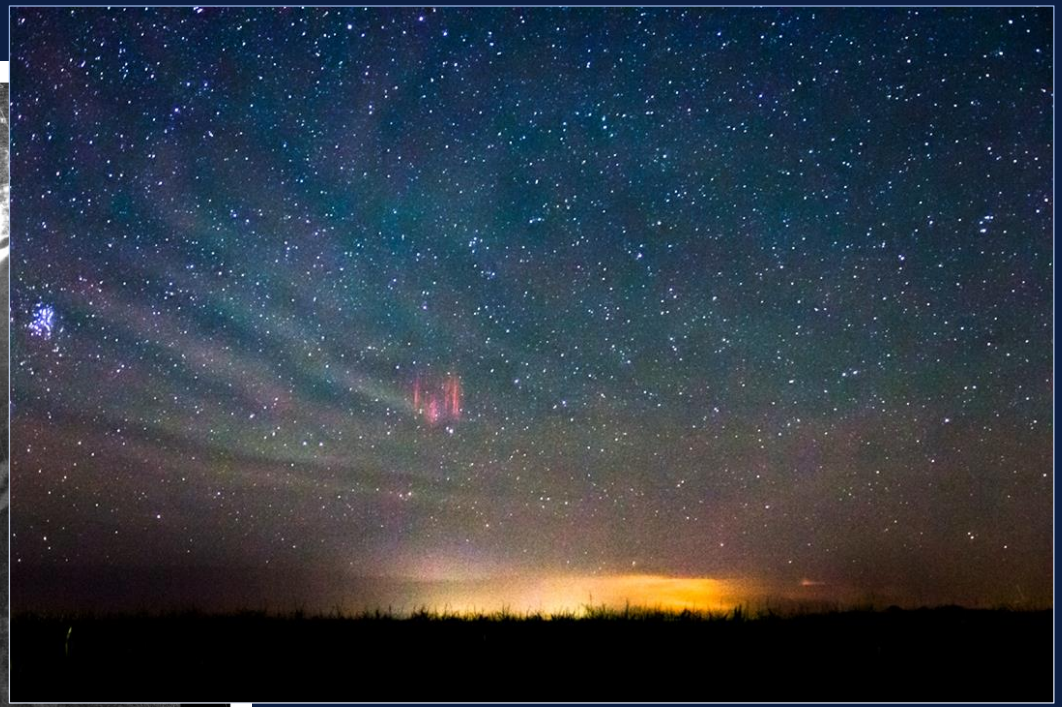
M12, M15 & M16
noční mikrofyzikální
RGB produkt



2014-04-27 19:35 UTC

20. srpna 2017 – (koncentrické) gravitační vlny nad Nebraskou, U.S.A.

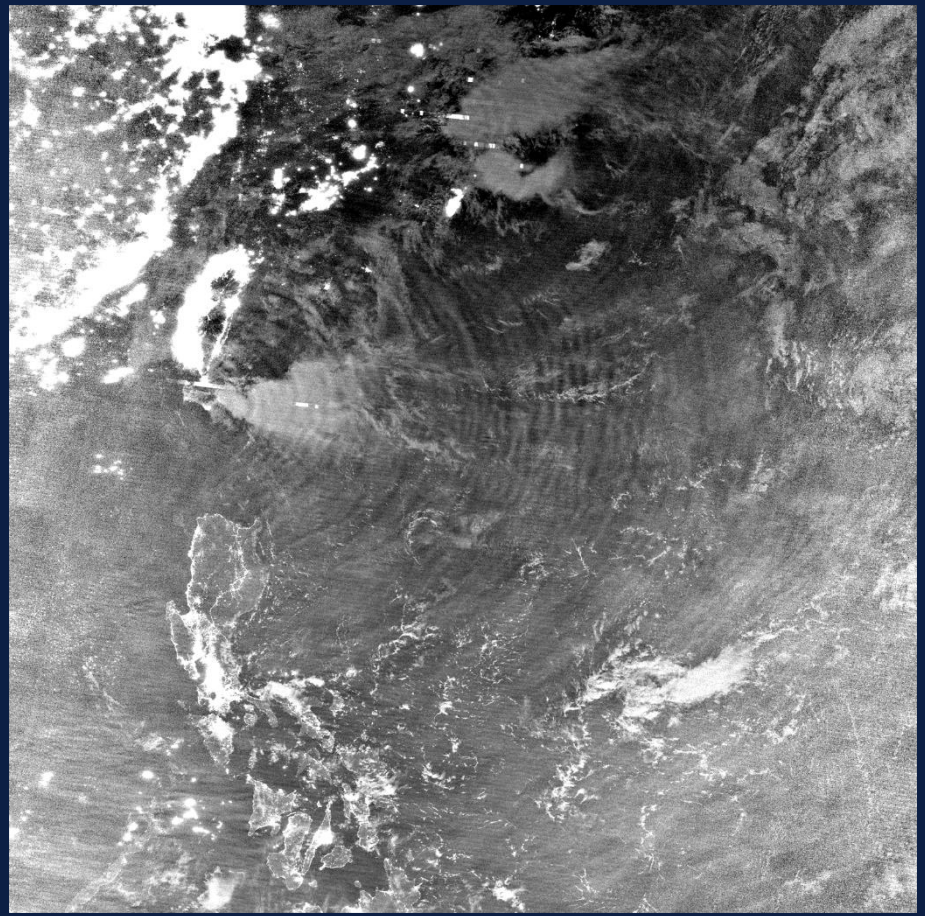
2017-08-20 07:30 UTC DNB Suomi-NPP

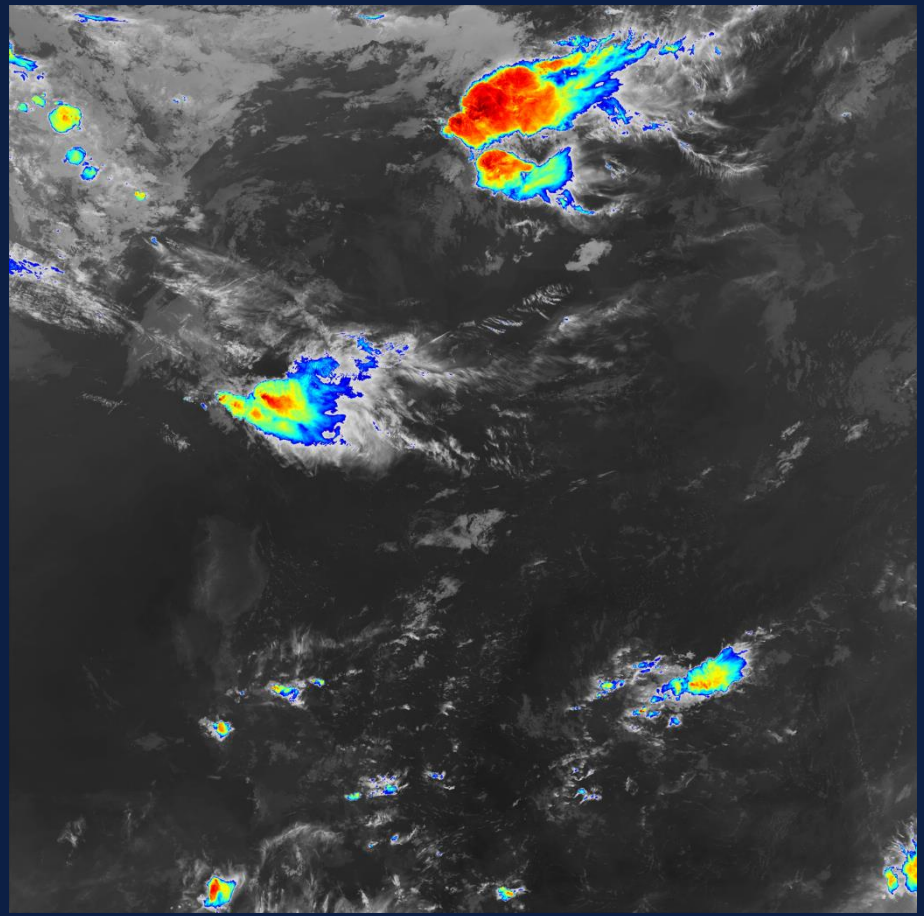


2017-08-20 06:35 UTC, photo © Kristián Molnár & Károly Jónás

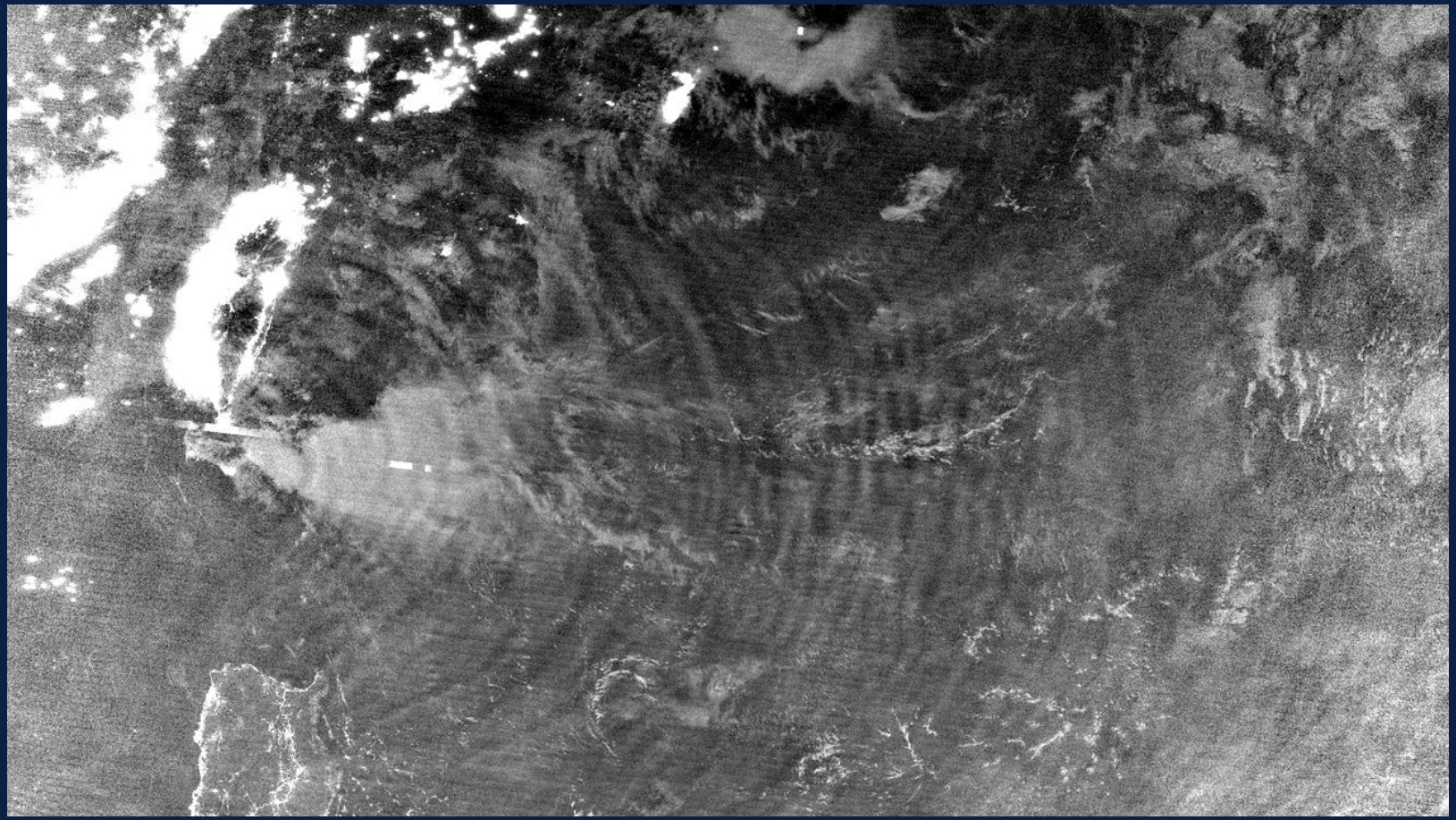
Viz též 20170820_0600-0642utc_Nebraska_Molnar-Jonas.mp4

Ukázka CGW zachycených družicí NOAA-20 (JPSS-1) DNB – 11. dubna 2018 17:05 UTC, Taiwan





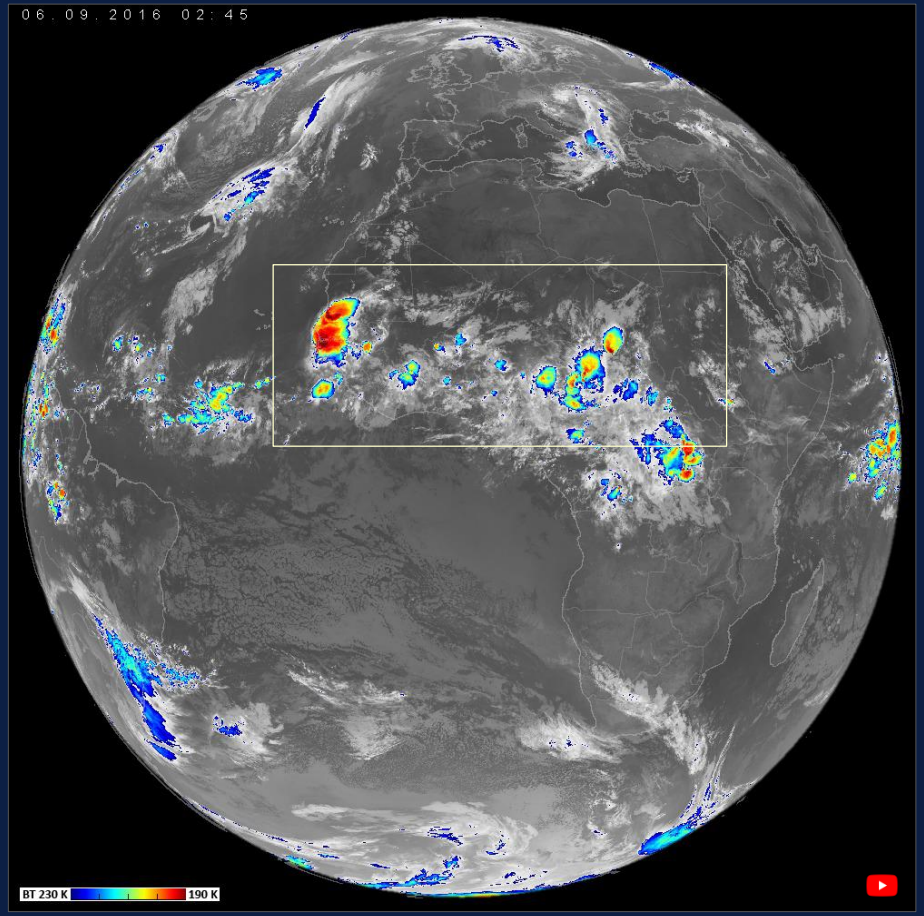
Ukázka CGW zachycených družicí NOAA-20 (JPSS-1) DNB – 11. dubna 2018 17:05 UTC, Taiwan



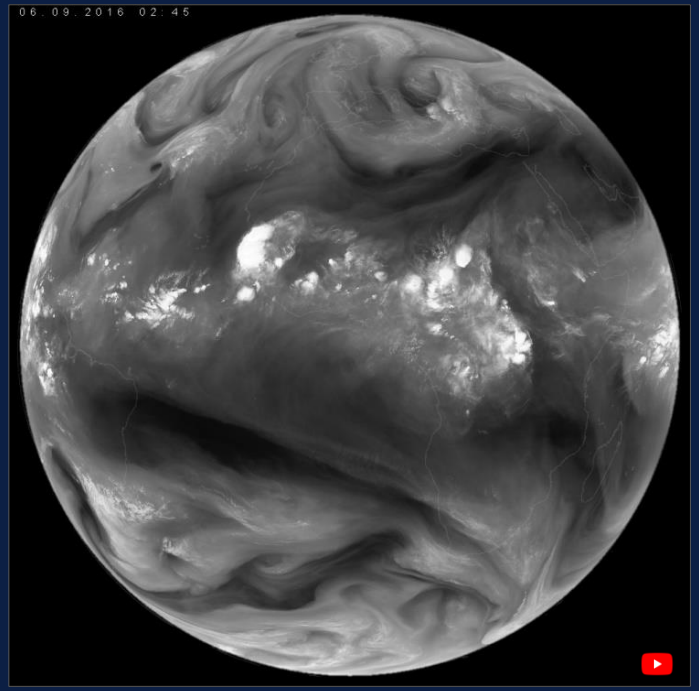
Gravitační vlny v nightglow na snímcích VIIRS DNB nad Afrikou

- západní Afrika, jižní oblasti Sahary, Sahel, až sever tropického pásma
- velmi časté (silné) konvektivní bouře, vznikající ve „východních vlnách“
- velmi tmavé pozadí, s minimálním světelným znečištěním

Gravitační vlny v nightglow na snímcích VIIRS DNB nad Afrikou

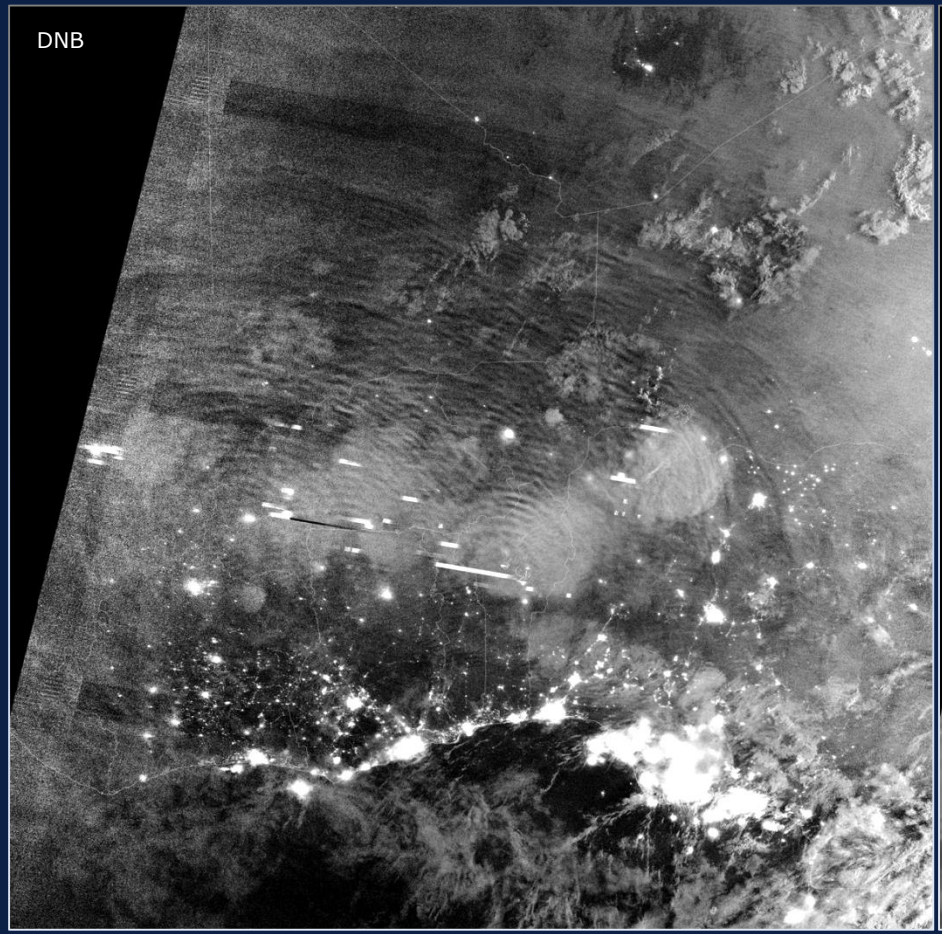


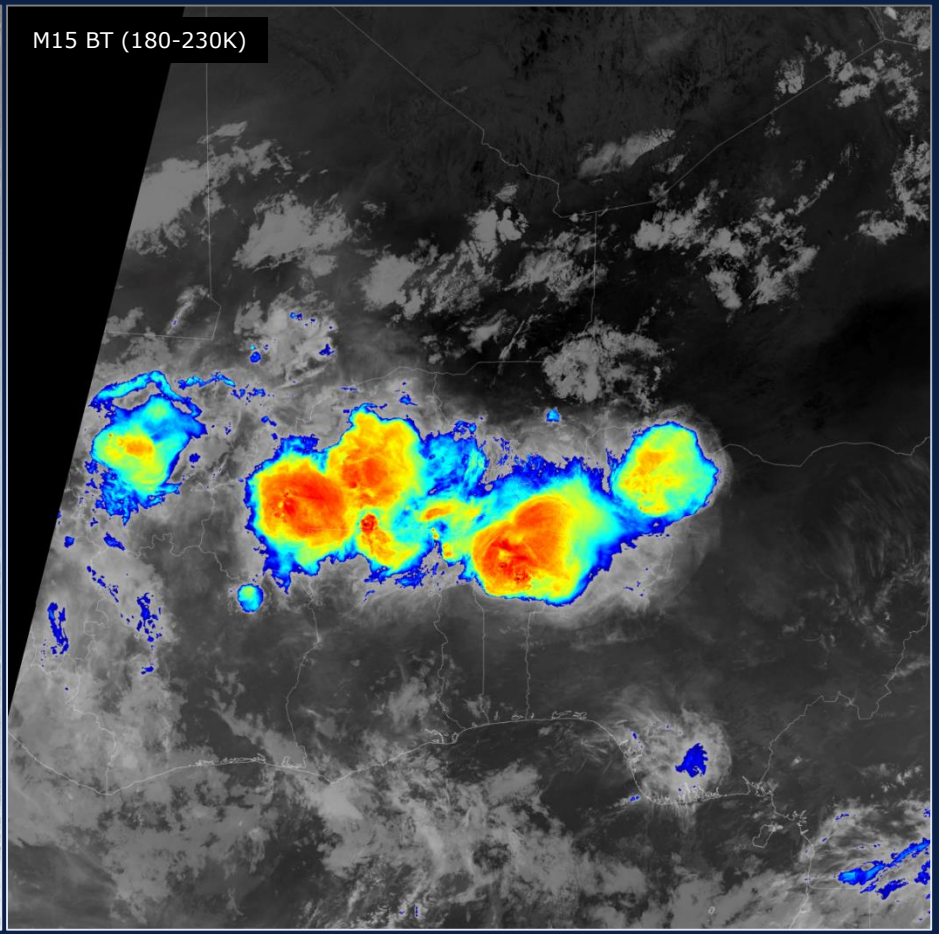
- západní Afrika, jižní oblasti Sahary, Sahel, až sever tropického pásma
- velmi časté (silné) konvektivní bouře, vznikající ve „východních vlnách"
- velmi tmavé pozadí, s minimálním světelným znečištěním



Soustava koncentrických vln v nightglow nad západní Afrikou, 11. 6. 2015

2015-06-11 01:15 UTC



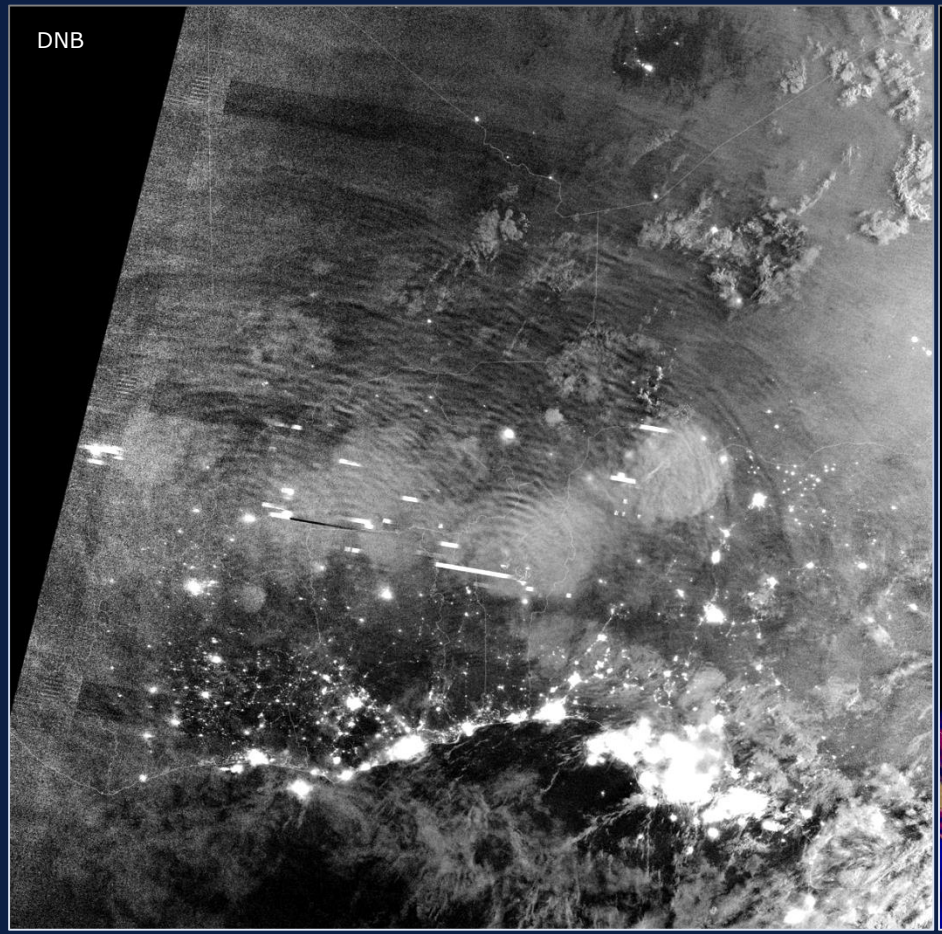


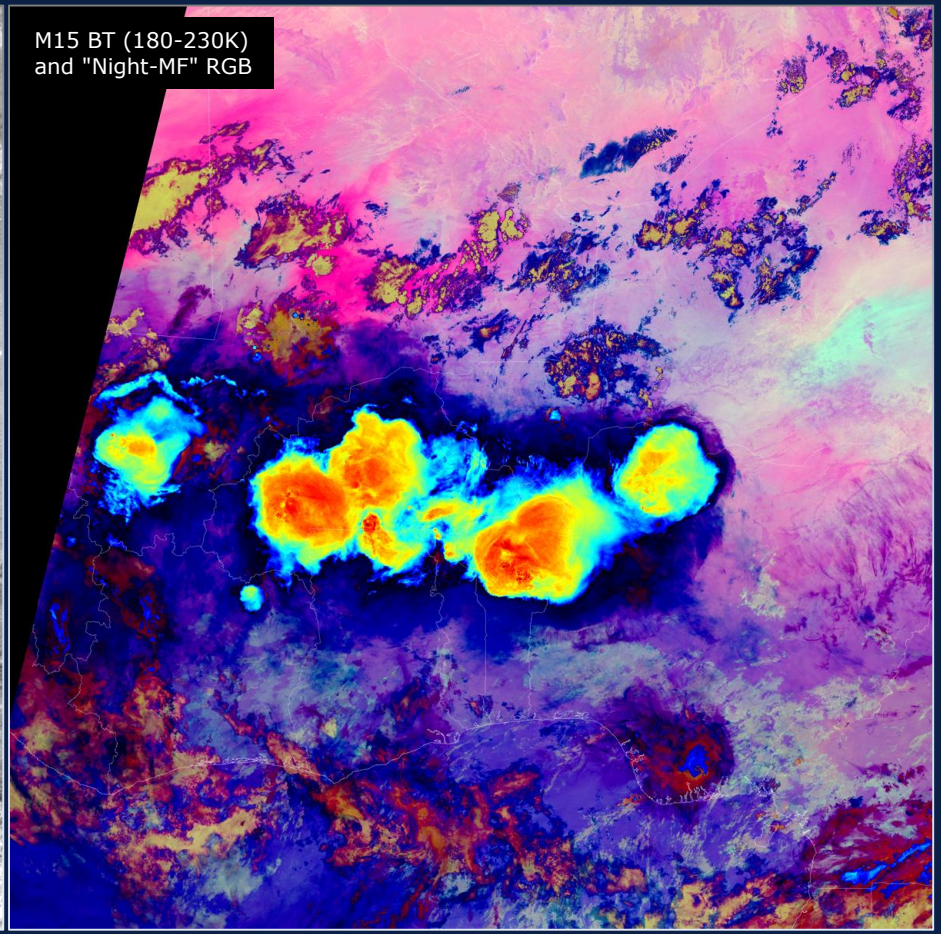
Komplex vícenásobných CGW, vyvolaných několika současně aktivními konvektivními bouřemi v oblasti.

Martin Setvák (CHMI)

Soustava koncentrických vln v nightglow nad západní Afrikou, 11. 6. 2015

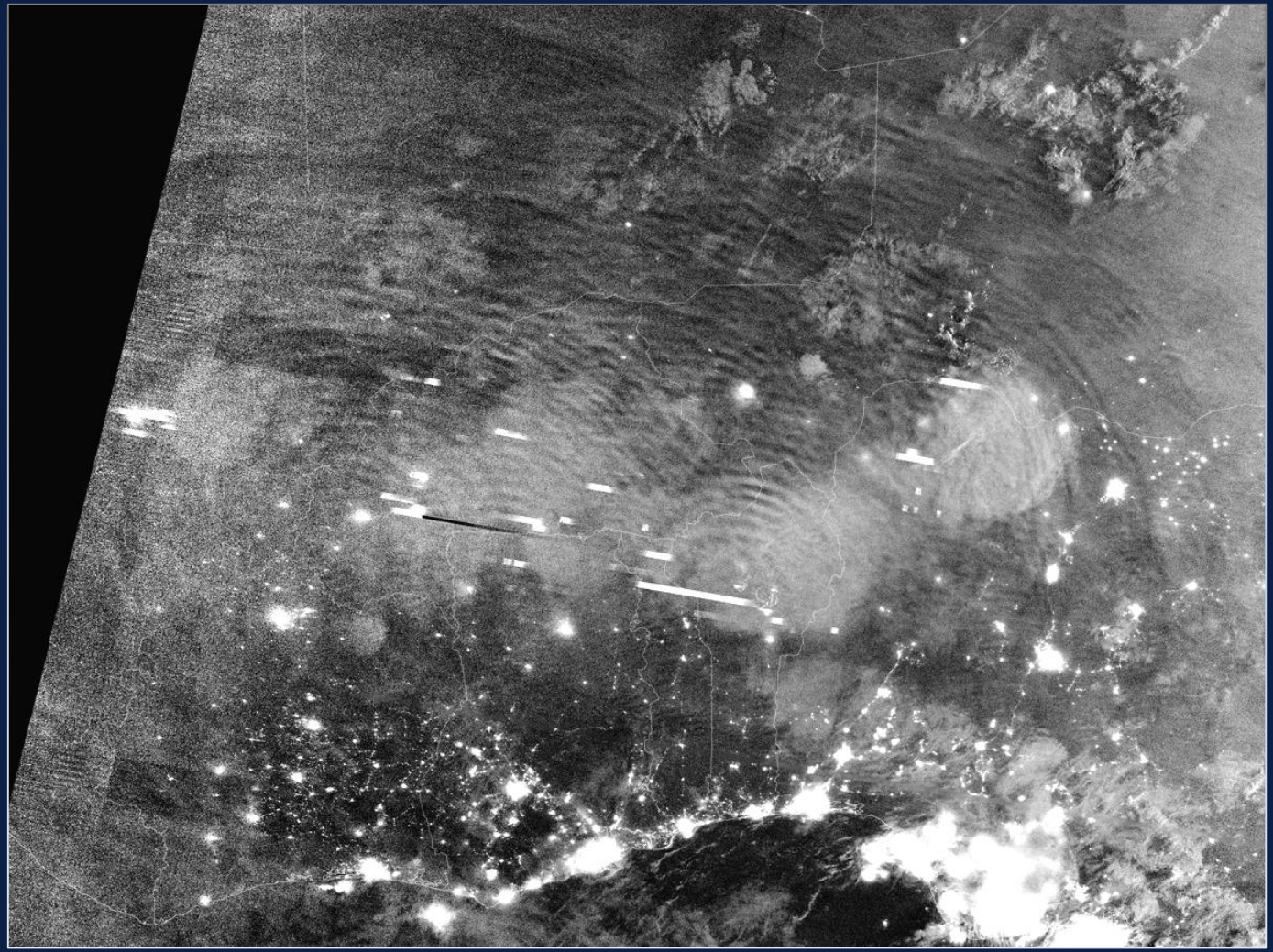
2015-06-11 01:15 UTC





Komplex vícenásobných CGW, vyvolaných několika současně aktivními konvektivními bouřemi v oblasti.

Martin Setvák (CHMI)

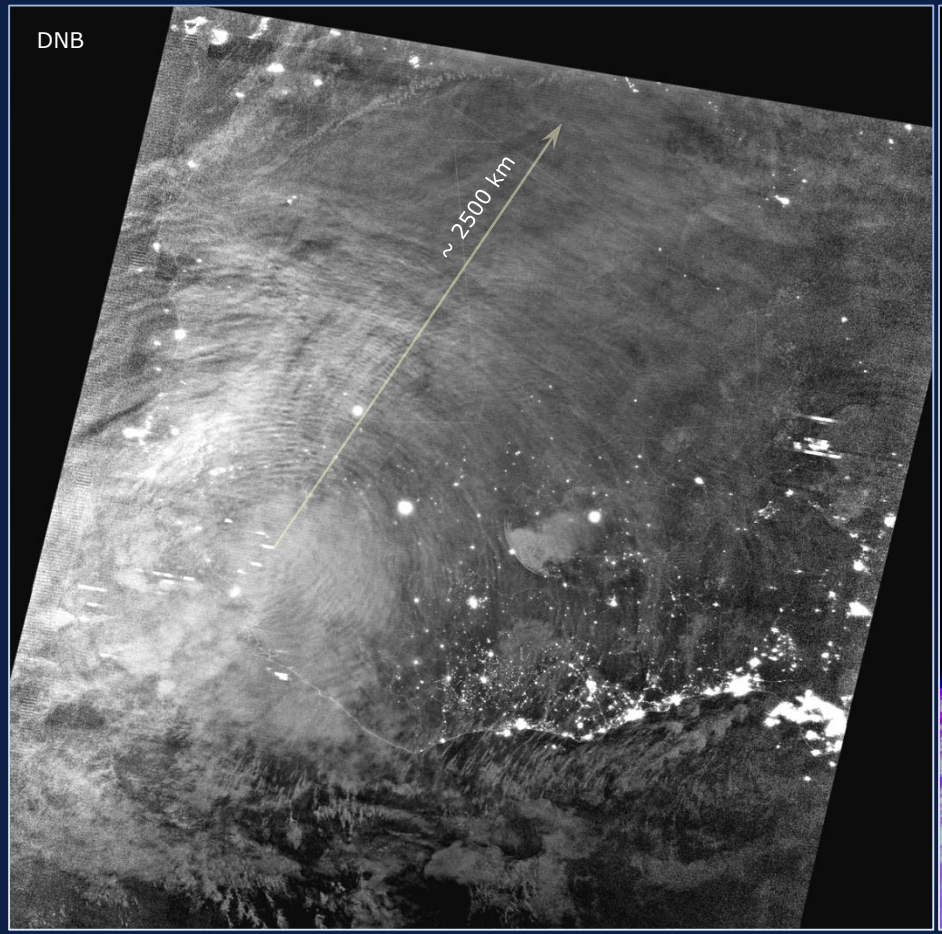


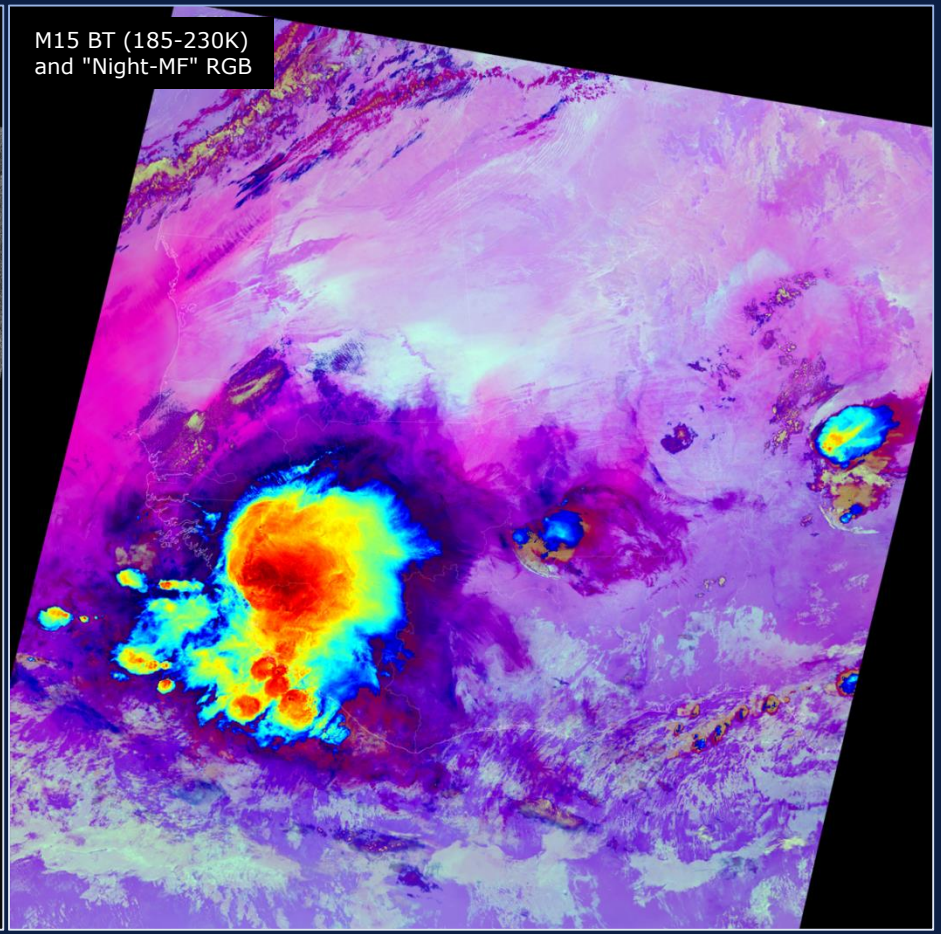
2015-06-11 01:15 UTC

DNB (detail)

Rozsáhlé koncentrické vlny v nightglow nad západní Afrikou, 14. 6. 2015

2015-06-14 02:00 UTC

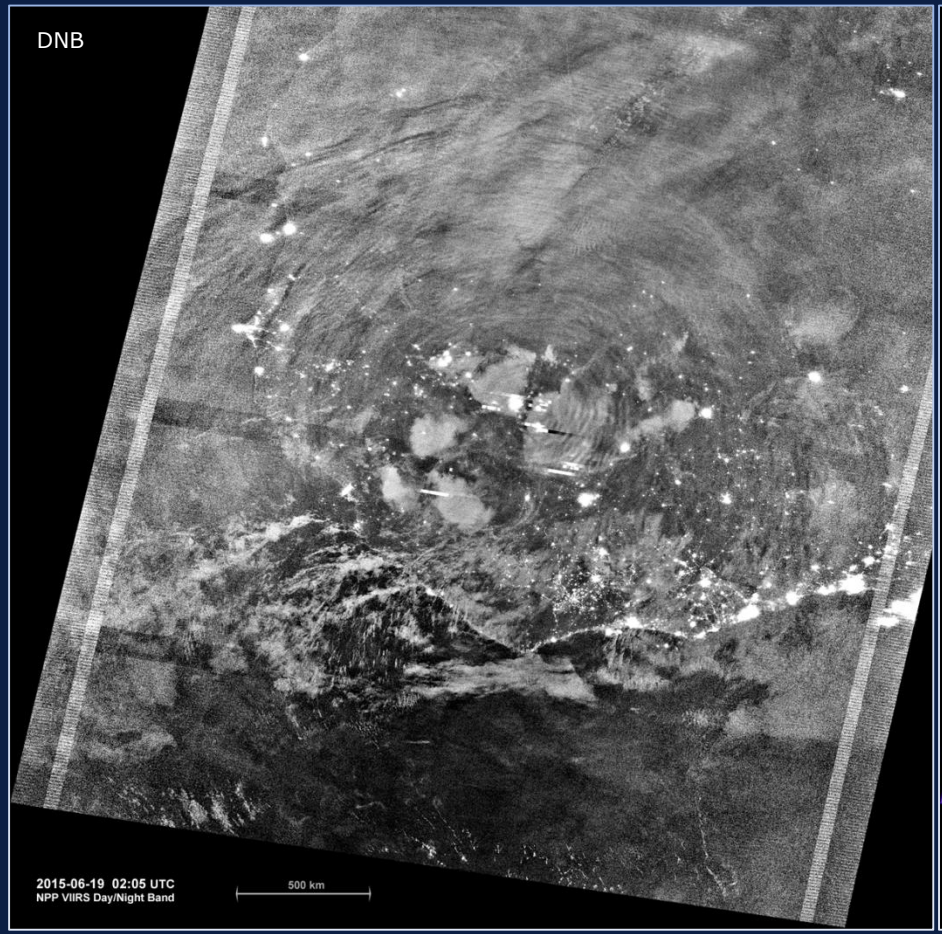


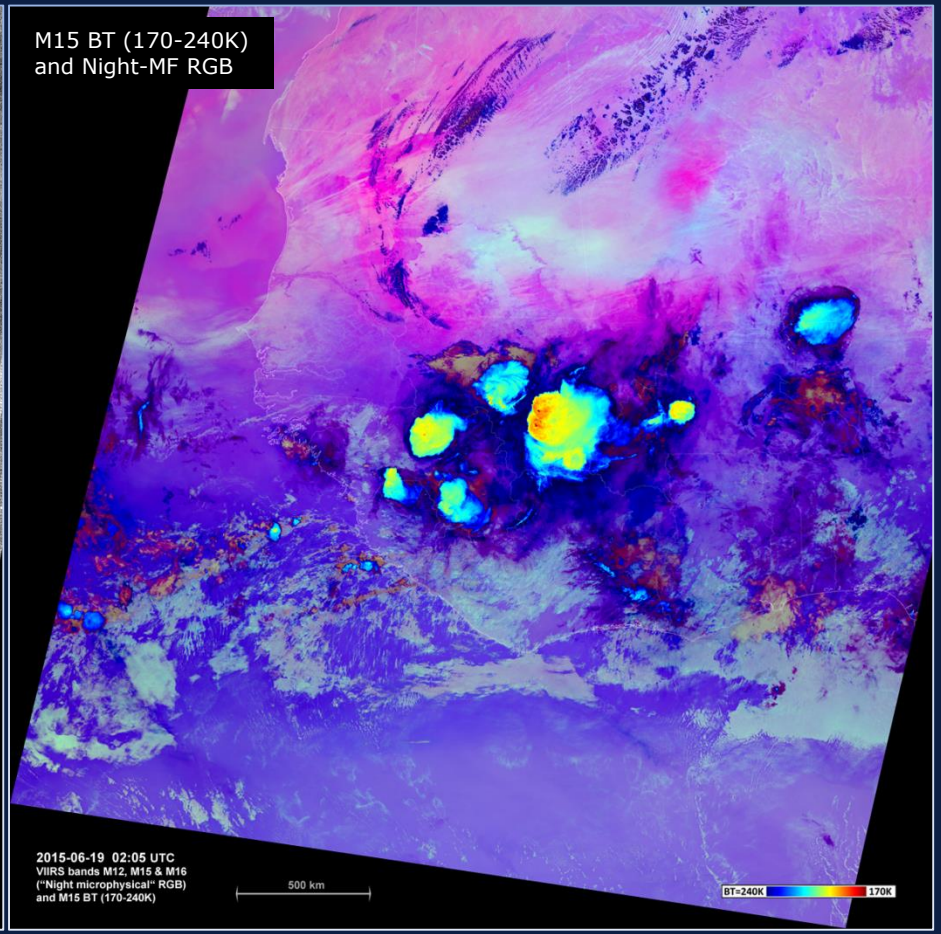


CGW vyvolané mohutnou bouří nad západní Afrikou. Zatímco severním až východním směrem pronikají až cca 2500 km daleko, směrem na jih jsou rychle utlumeny.

Rozsáhlé koncentrické vlny v nightglow nad západní Afrikou, 19. 6. 2015

2015-06-19 02:05 UTC

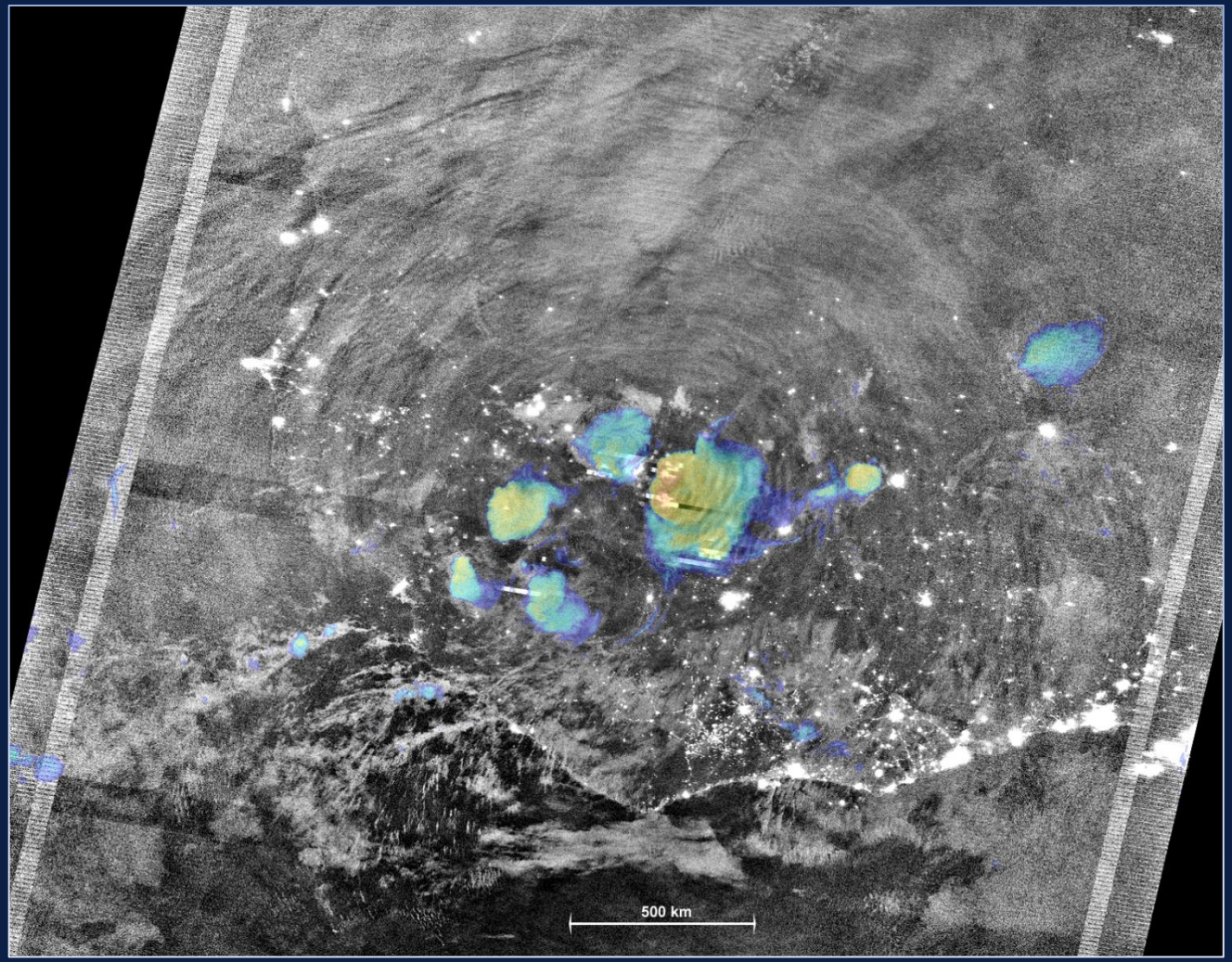




CGW generované bouřemi nad západní Afrikou, šířící se všemi směry kromě směrem na jih, k rovníku.

VIIRS DNB, and
M15 (170-240K)

2015-06-19 02:05 UTC



Možné problémy či nejistoty při interpretaci souvislostí CGW v nightglow (v DNB) a různých troposférických jevů pozorovaných v IR kanálech

- Paralaxa
- celková doba vertikální propagace gravitačních vln od jejich troposférických zdrojů do hladin nightglow – zdroj se většinou během této doby může přemístit jinam, než vlny dorazí do hladin nightglow může zeslabit či zaniknout
- vliv aktuálního stavu stratosféry a mezosféry na vertikální propagaci vln – možný útlum vln, jejich odklon od vertikálního směru, preferované směry šíření …
- nejistota ohledně perzistence vln v hladinách airglow po zániku jejich zdroje, případně jeho přesunu jinam …

Pozorování vertikálně propagujících gravitačních vln generovaných bouřemi v datech tzv. hyperspektrální družicové sondáže atmosféry

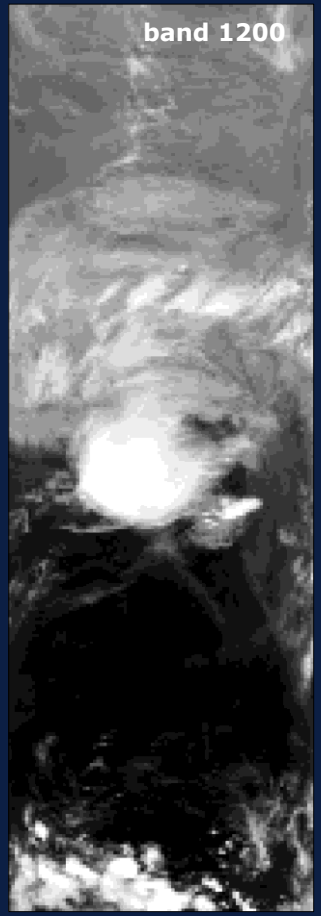
- AIRS, družice Aqua
- IASI, družice Metop (Metop 1, 2 a 3)
- CrIS, družice S-NPP a JPSS (NOAA-20 a následné)

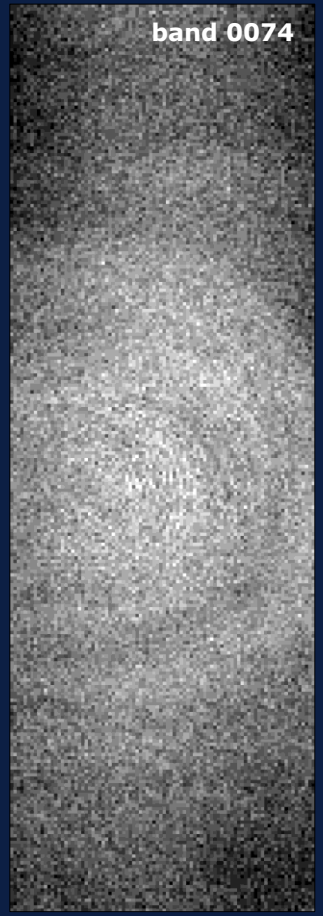
Pozorování gravitačních vln přístrojem AIRS (Atmospheric Infrared Sounder, Aqua)

Současná pozorování CGW v datech DNB (85–100 km) a v 4.3 μm kanálech AIRS (30-40 km), především nad tropickými cyklóny (bouřemi):

- Jia Yue, Steven D.Miller, Lars Hoffmann, William C. StrakaIII, 2014: Stratospheric and mesospheric concentric gravity waves over tropical cyclone Mahasen: Joint AIRS and VIIRS satellite observations. http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2014.07.003
- Gong, Jie; Yue, Jia; and Wu, Dong L., 2015: Global survey of concentric gravity waves in AIRS images and ECMWF analysis. *NASA Publications. Paper 157.* http://digitalcommons.unl.edu/nasapub/157
- L.Hoffmann, M.J.Alexander, C.Clerbaux, A.W.Grimsdell, C.I.Meyer, T.Rößler, and B.Tournier, 2014: Intercomparison of stratospheric gravity wave observations with AIRS and IASI. Atmos. Meas. Tech., 7, 4517–4537, 2014. doi:10.5194/amt-7-4517-2014

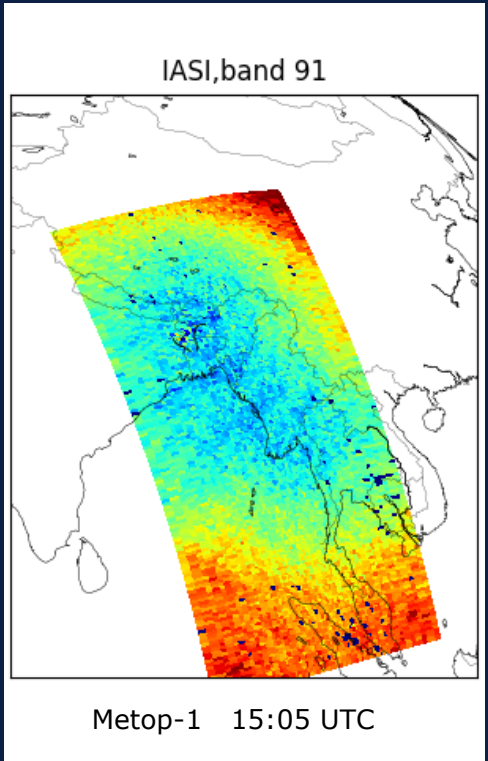
Koncentrické gravitační vlny v nightglow nad Bangladéšem – 27. 4. 2014

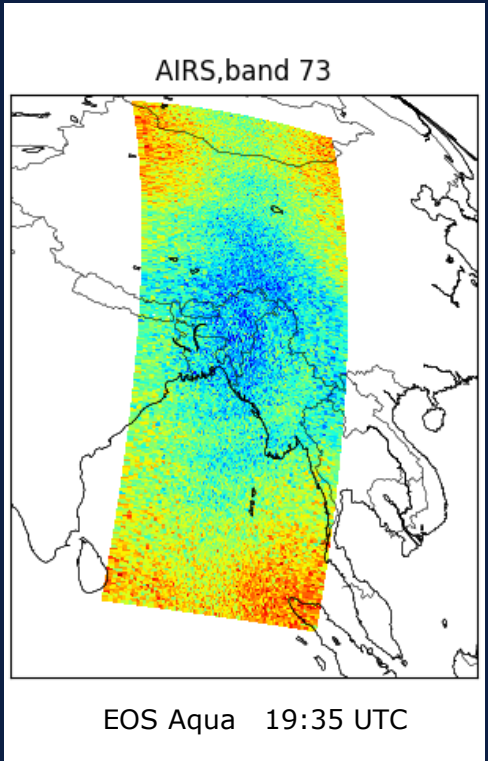


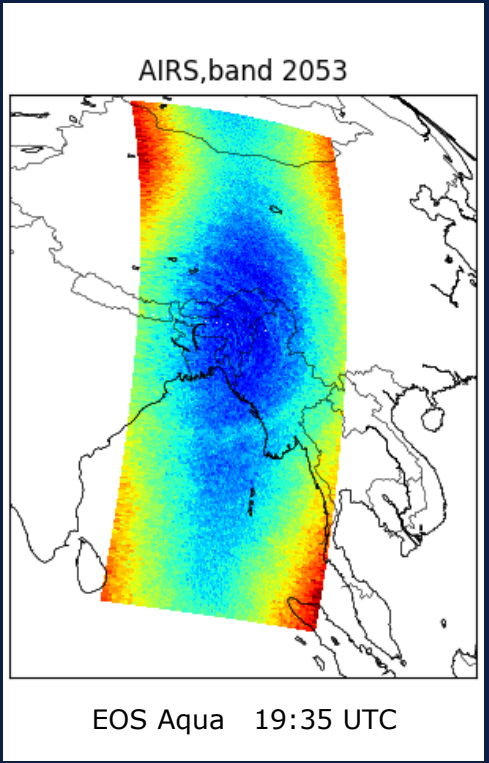


AIRS (Aqua) 19:29 – 19:41 UTC

Koncentrické gravitační vlny v nightglow nad Bangladéšem – 27. 4. 2014

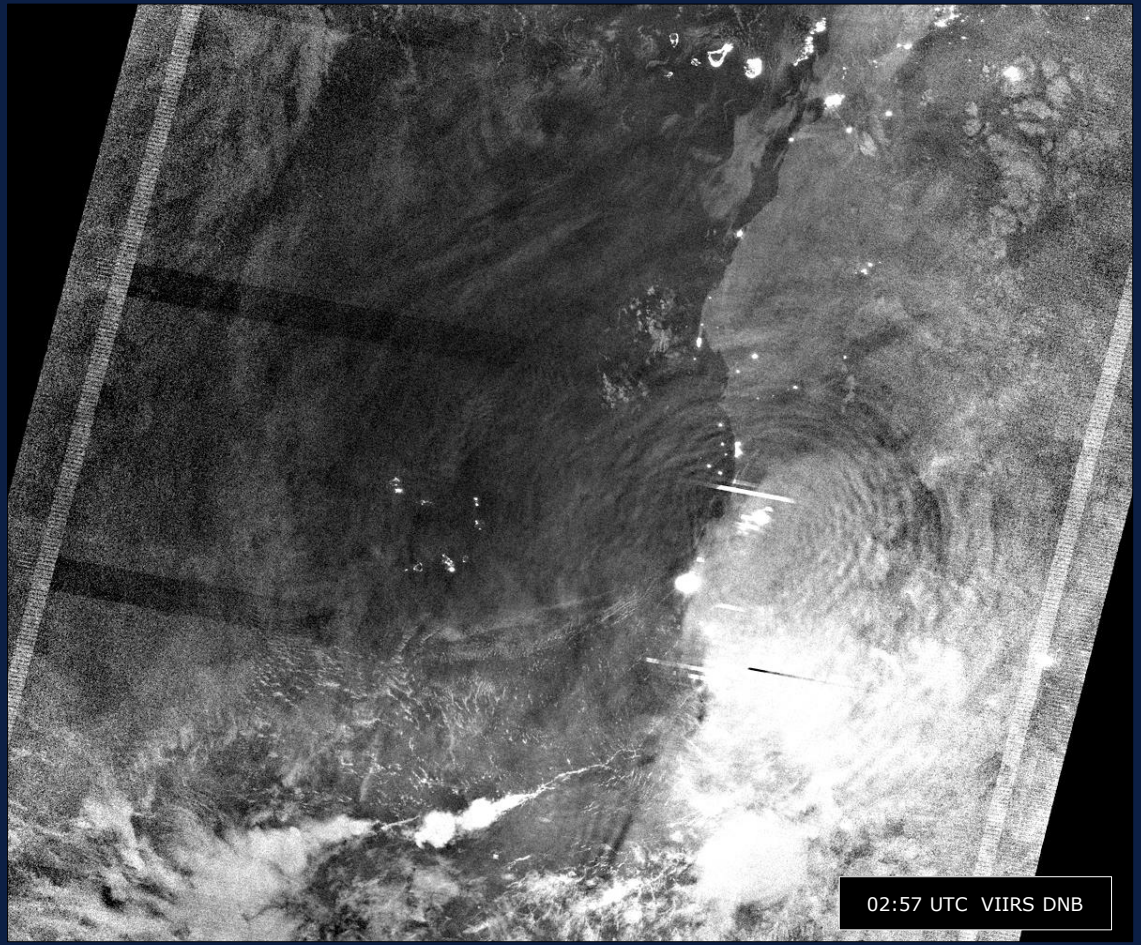


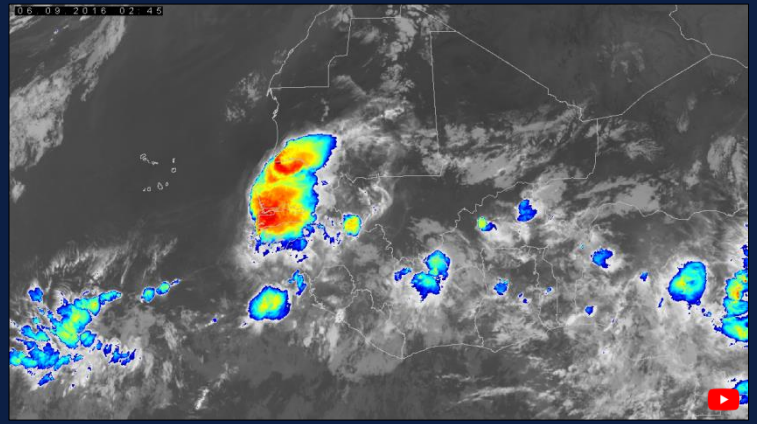


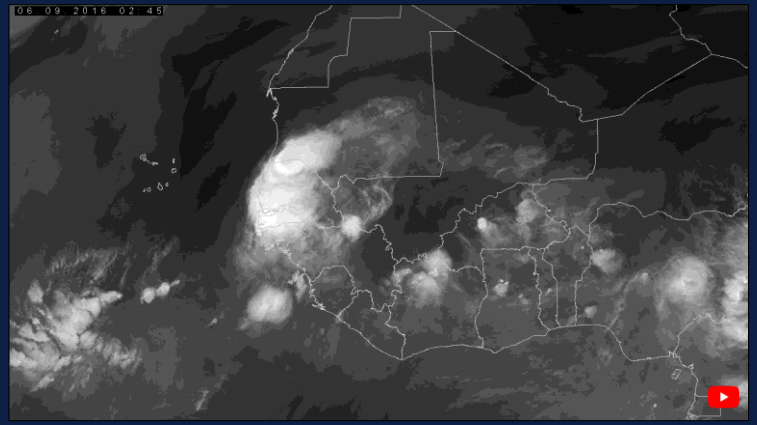


Courtesy of Xavier Calbet Álvarez, AEMET

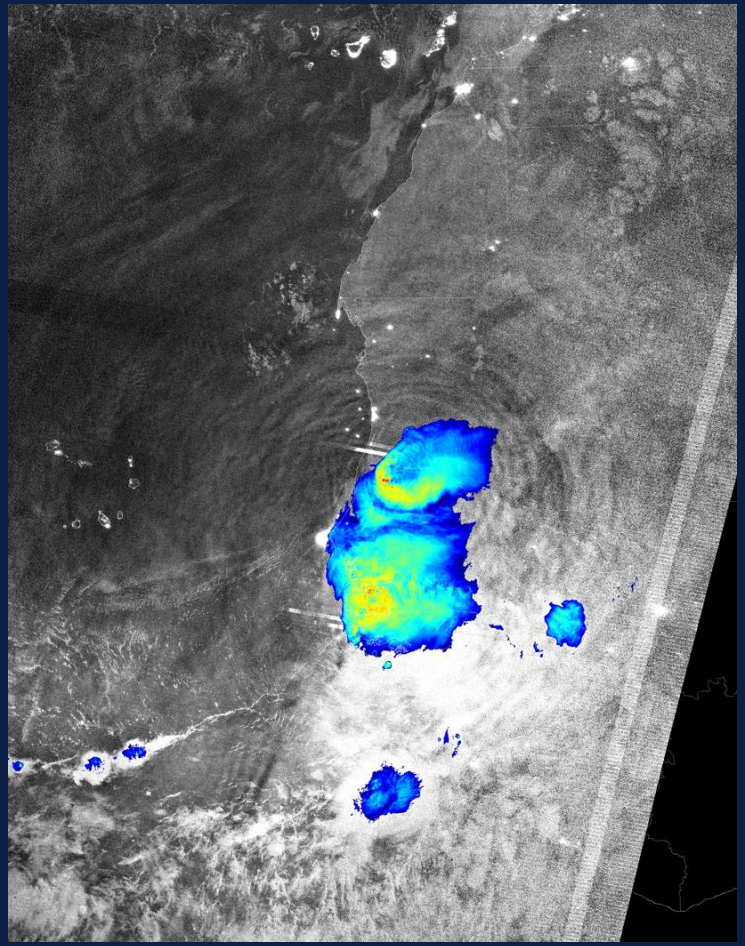
Koncentrické gravitační vlny nad Mauretánií a Senegalem – 6. září 2016

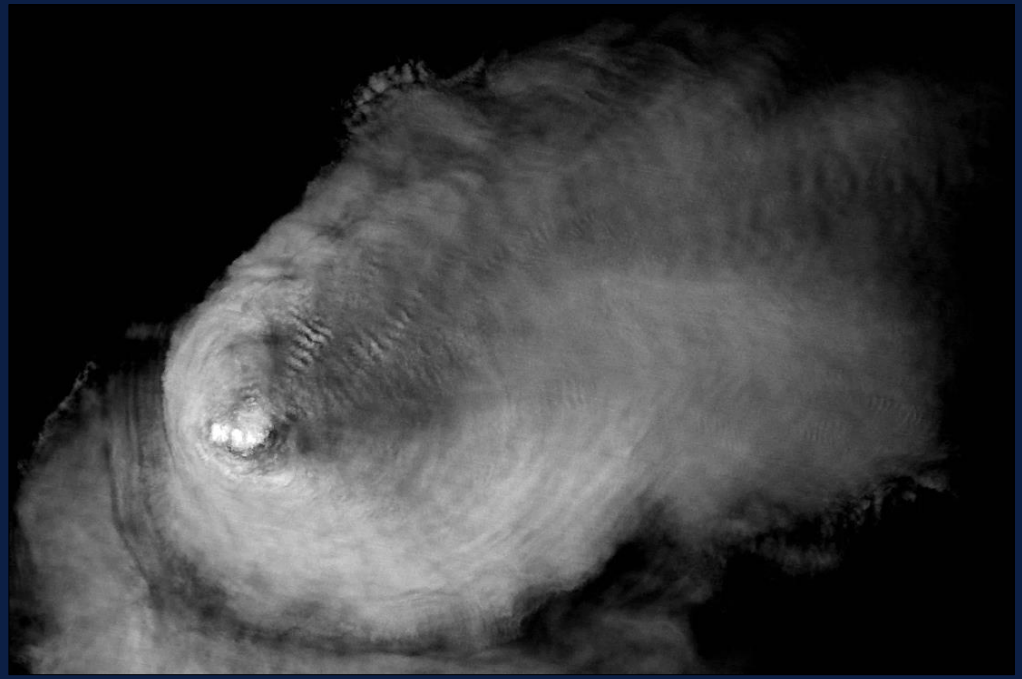






Koncentrické gravitační vlny nad Mauretánií a Senegalem – 6. září 2016



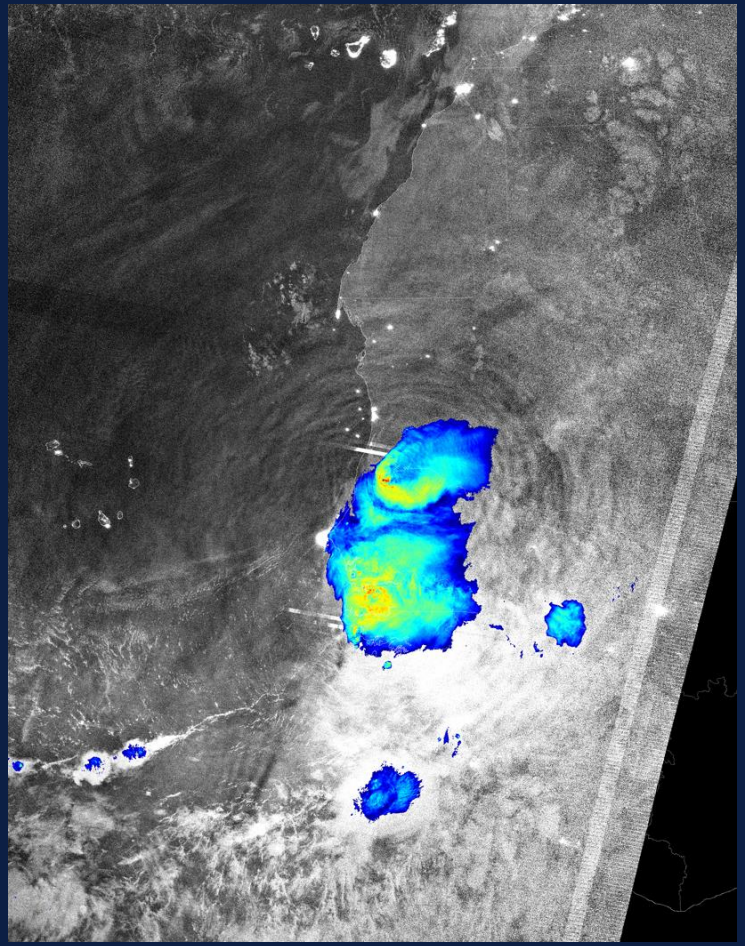


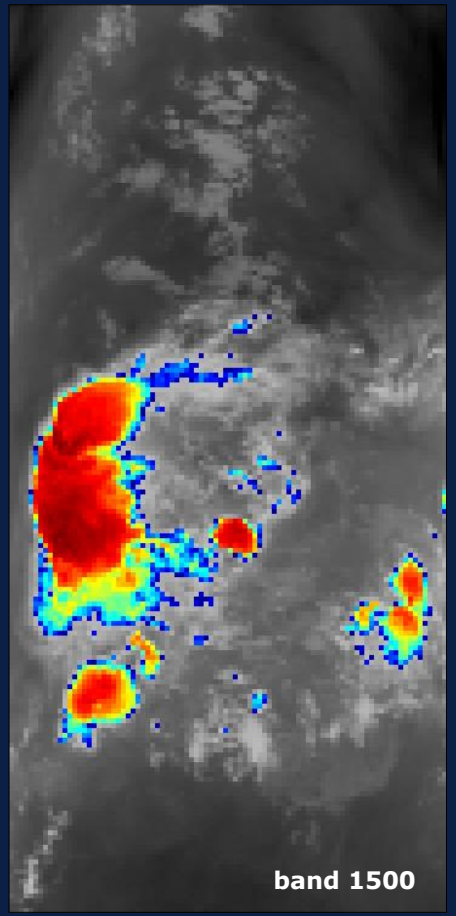
Gravitační vlny na horní hranici bouře, 02:57 UTC, VIIRS kanál I5 (BT 177-207K, 375m)

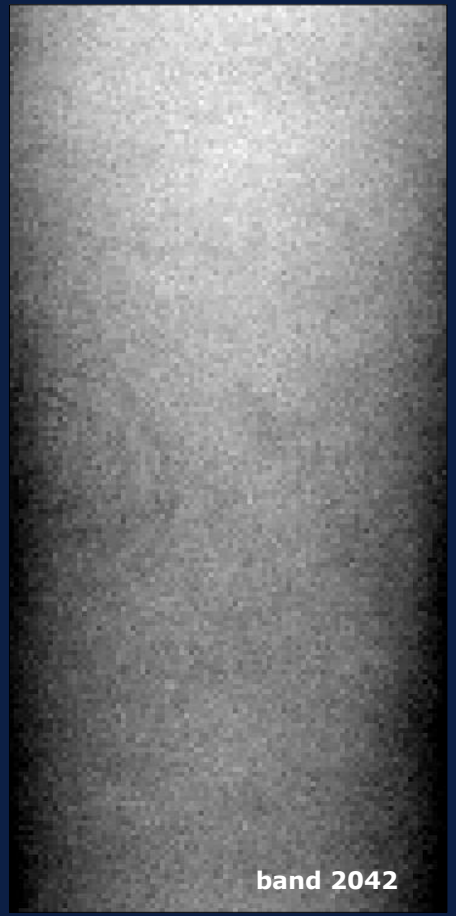
02:57 UTC, VIIRS DNB & kanál I5 (BT 177-207K)

Koncentrické gravitační vlny nad Mauretánií a Senegalem – 6. září 2016

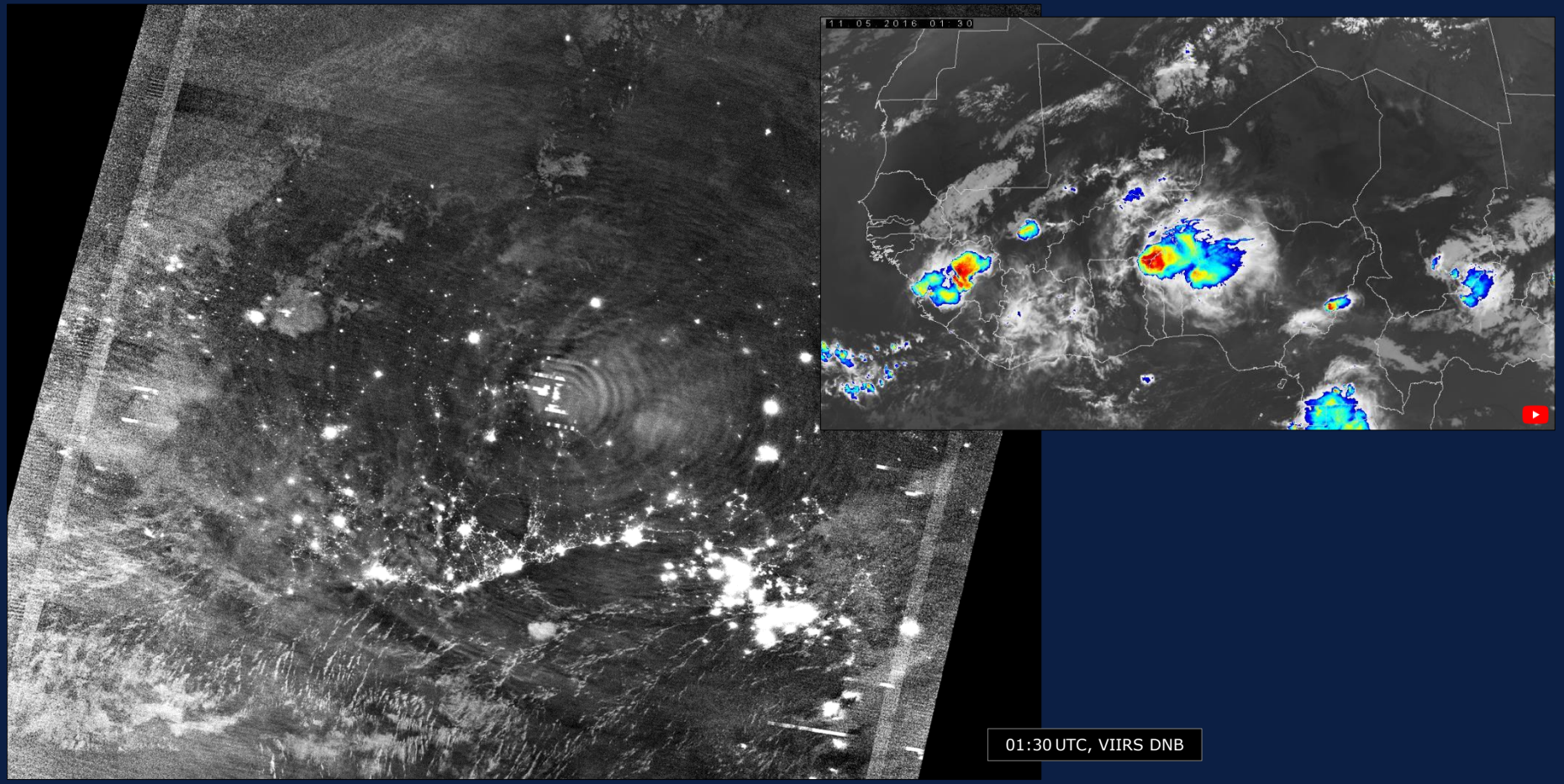
AIRS 02:20-02:30 UTC





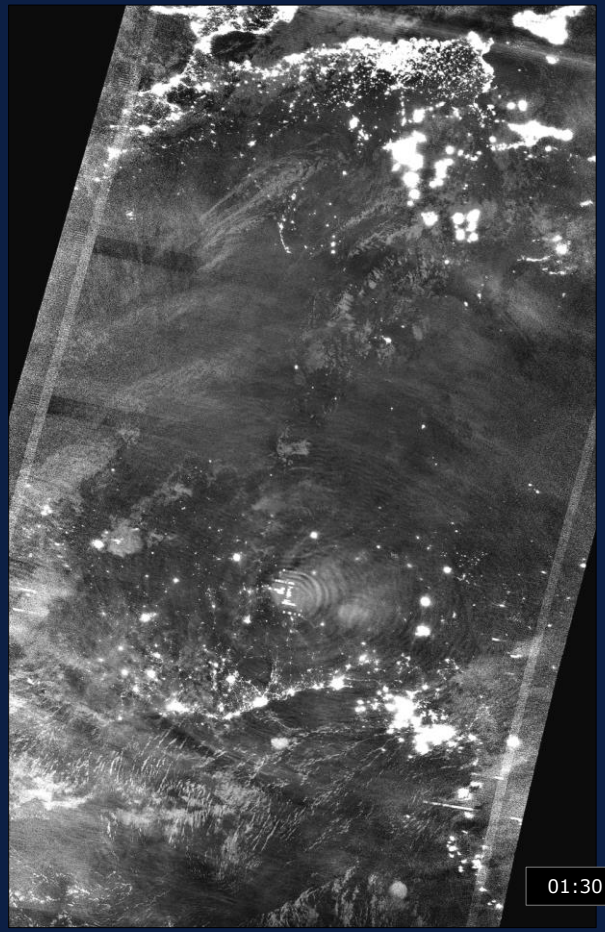


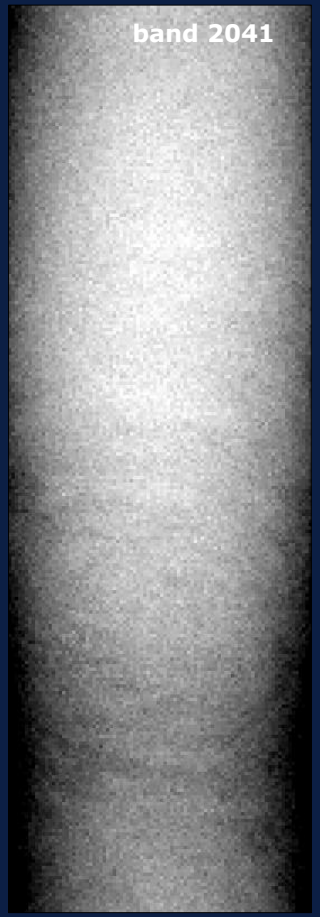
CGW v nightglow nad Ghanou, Beninem a Togem – 11. listopadu 2016



CGW v nightglow nad Ghanou, Beninem a Togem – 11. listopadu 2016

AIRS 01:25 UTC





Gravitačních vlny v nightglow – Středozemní moře

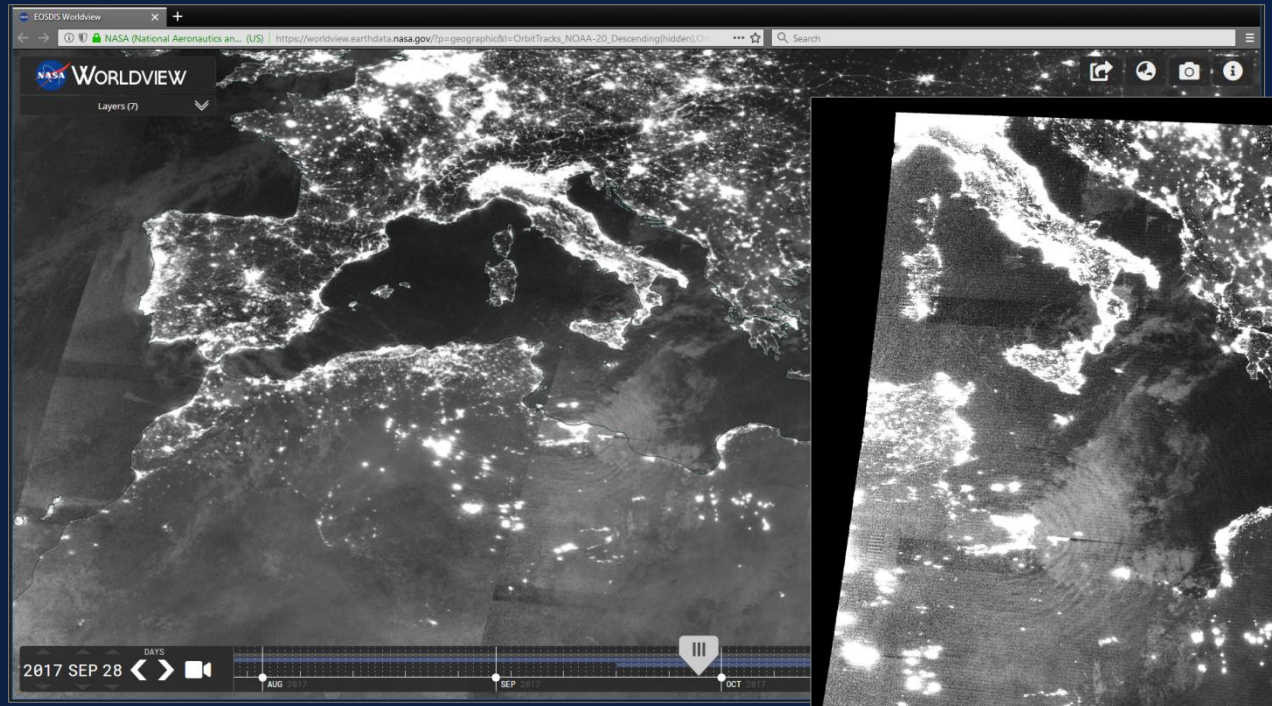
Koncentrické vlny v nightglow nad Středozemním mořem, 28. 9. 2017

2017-09-28 00:15 UTC, VIIRS NPP

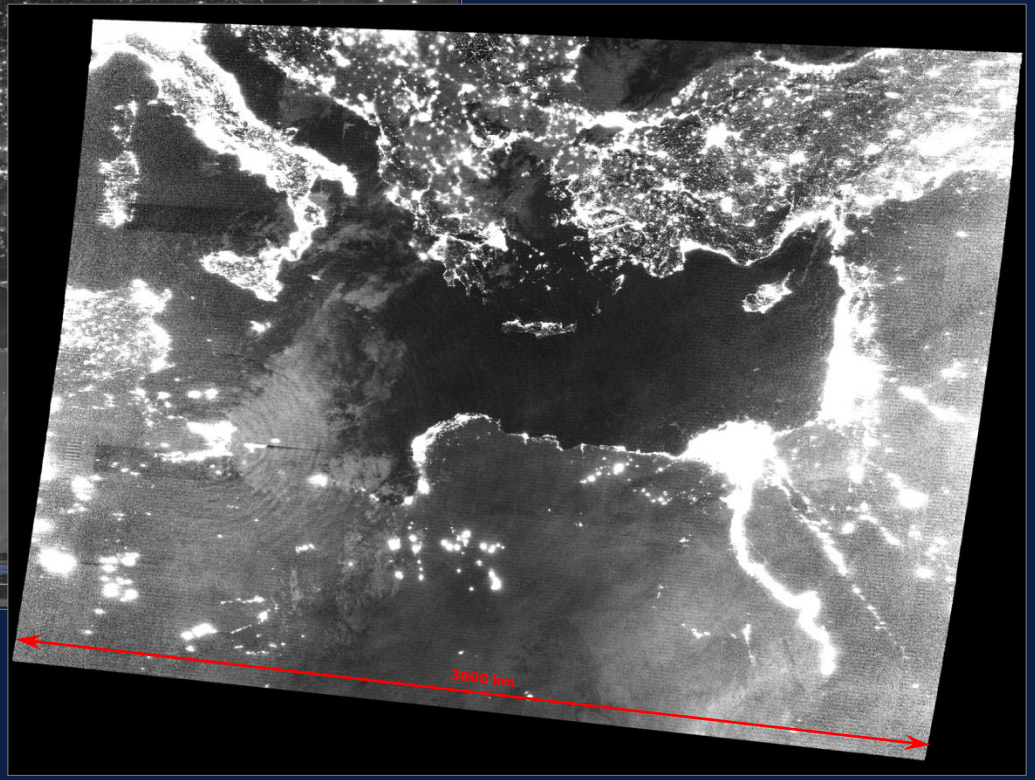
NASA EOSDIS Worldview (*worldview.earthdata.nasa.gov*)

Koncentrické vlny v nightglow nad Středozemním mořem, 28. 9. 2017

2017-09-28 00:15 UTC, VIIRS NPP



NASA EOSDIS Worldview (worldview.earthdata.nasa.gov)



NOAA CLASS Archive (www.bou.class.noaa.gov)

Koncentrické vlny v nightglow nad Středozemním mořem, 28. 9. 2017

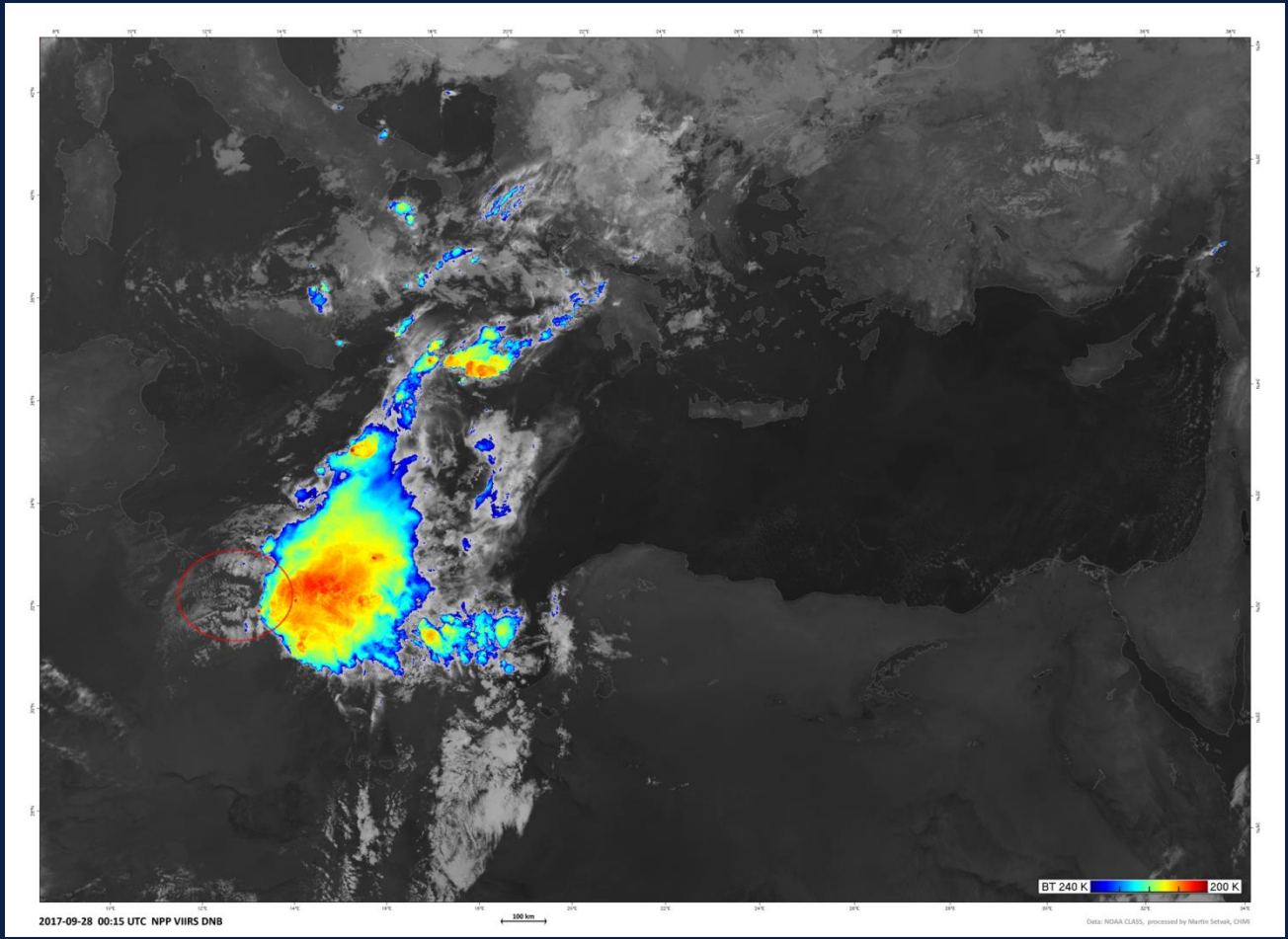
DNB

Koncentrické vlny v nightglow nad Středozemním mořem, 28. 9. 2017

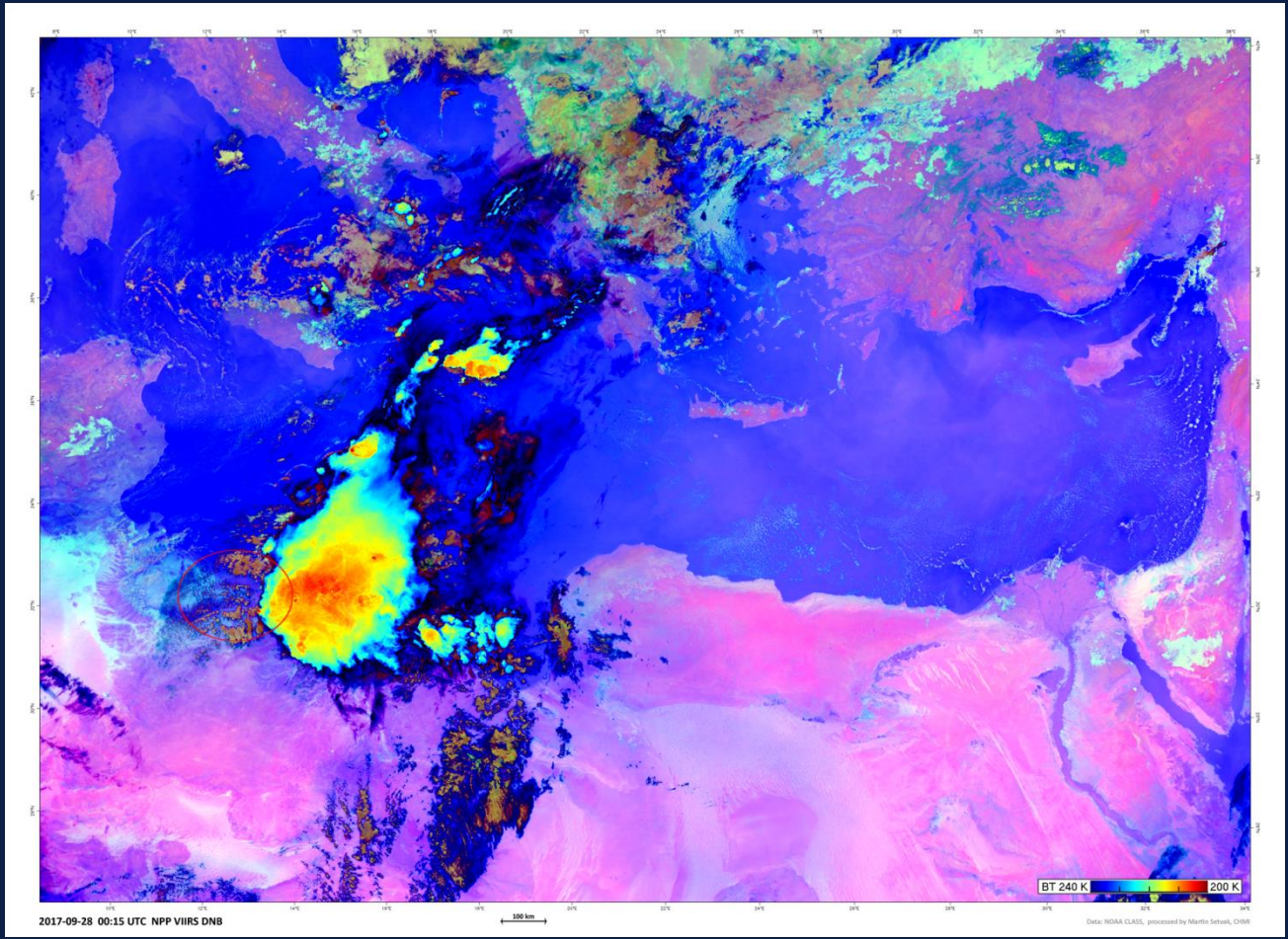
DNB

Koncentrické vlny v nightglow nad Středozemním mořem, 28. 9. 2017

IR M15 BT

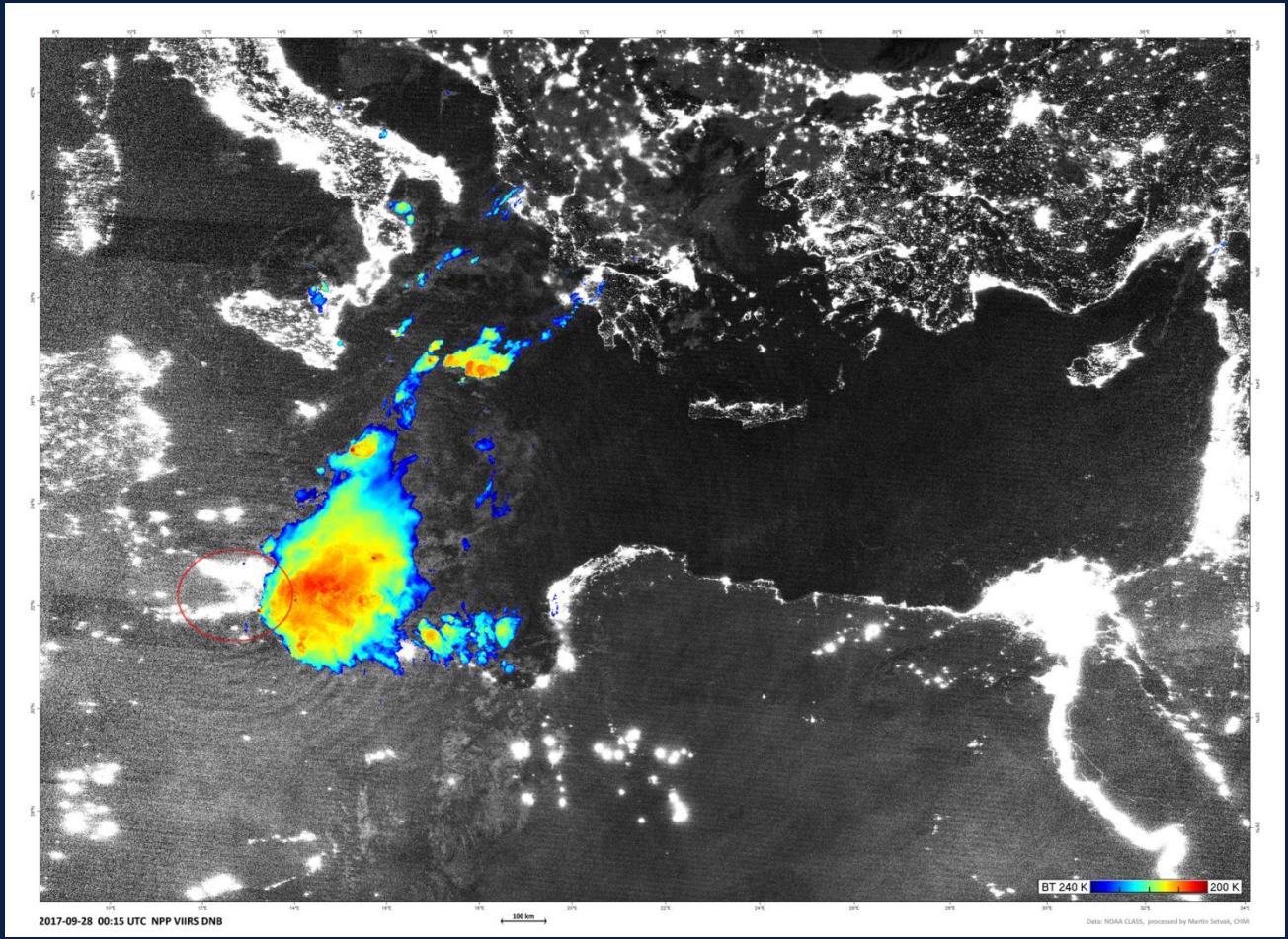


Koncentrické vlny v nightglow nad Středozemním mořem, 28. 9. 2017



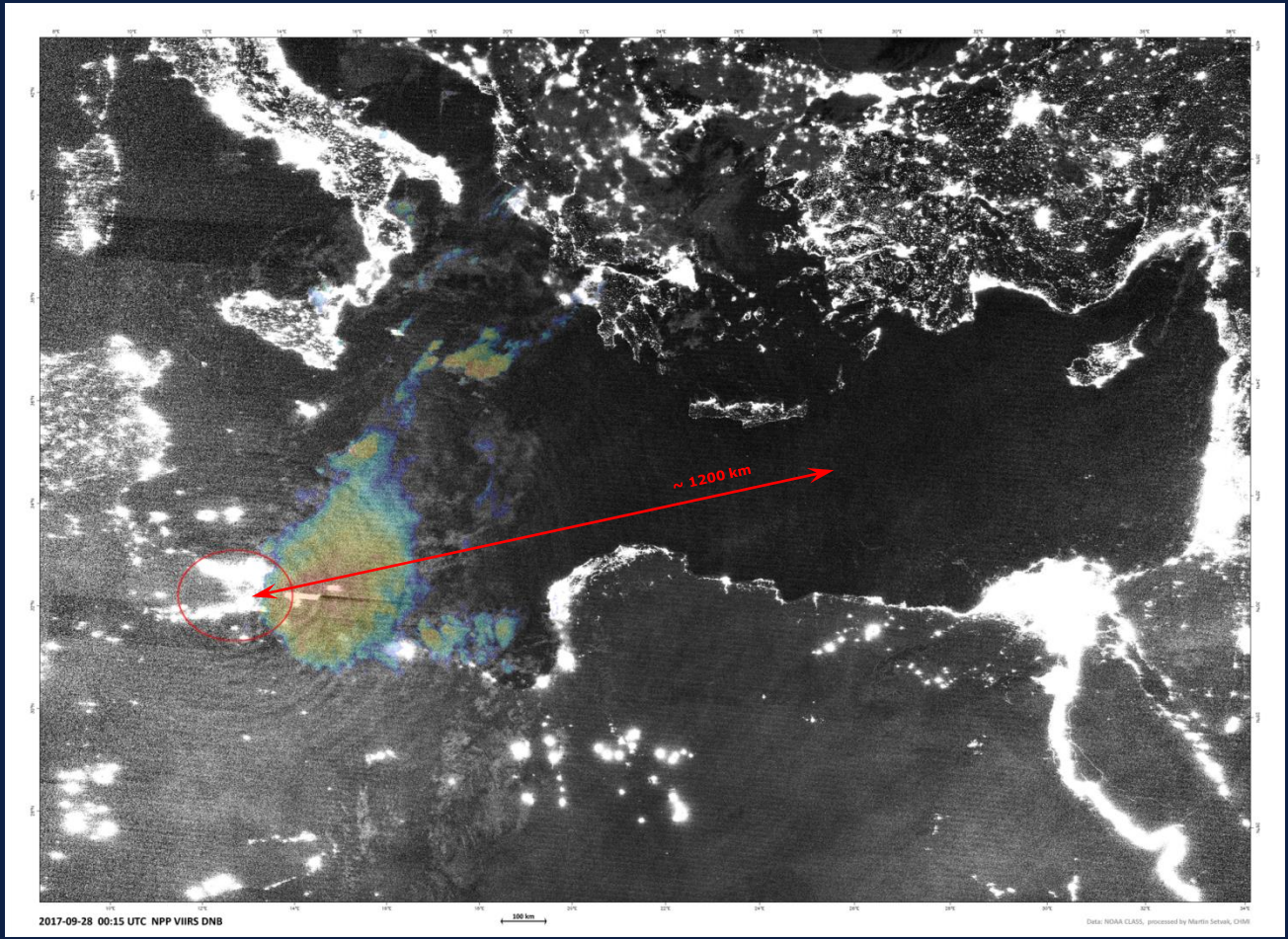
NightM RGB
& IR M15 BT

Koncentrické vlny v nightglow nad Středozemním mořem, 28. 9. 2017



DNB
& IR M15 BT

Koncentrické vlny v nightglow nad Středozemním mořem, 28. 9. 2017



DNB
& IR M15 BT

Závěrečné shrnutí, poznámky a význam

- Dokumentace různých vln čí jiných struktur v nightglow umožněno až současným pokrokem ve snímací technice – jak senzorů digitálních fotoaparátů, tak z oběžné dráhy přístrojem VIIRS DNB.

- Současná pozorování různých meteorologických jevů probíhajících v troposféře nebo oceánech a jimi generovaných vln v airglow umožňuje lepší pochopení **fyzikálních interakcí a výměny energie mezi troposférou a mezosférou**. Významné např. pro modelování počasí a klimatu.

- Nedostupnost podobného přístroje na geostacionární dráze (alespoň v současnosti) – pro výzkum dynamiky podobných vln v airglow nutné využívat pozemní pozorovací sítě. Mezinárodní spolupráce pozorování mezosféry/mezopauzy je koordinováno aktivitou Network for the Detection of Mesospheric Change (NDMC).

Bednář J., Setvák M., 2015: Přirozený svit noční oblohy a vlnové děje v atmosféře. *Meteor. zprávy*, **68**, 108-115. ISSN 0026-1173.