

Základy multispektrální interpretace

Spektrální pásma a kanály

Martin Setvák setvak@chmi.cz

***Český hydrometeorologický ústav, družicové oddělení
Praha - Libuň***

verze 2009-04-08



Obsah:

- záření v atmosféře - vymezení a definice základních pojmů, úvodní ukázky
- základní vlastnosti jednotlivých spektrálních pásem (kanálů), jejich typické zobrazení
- vzhled základních typů oblačnosti, zemského povrchu a vodní hladiny v jednotlivých spektrálních pásmech

spektrální pásmo

část elektromagnetického spektra,
vymezená krajními vlnovými délkami
(fyzikální, obecná charakteristika)

spektrální kanál

spektrálního pásmo nebo jeho část,
zachycená konkrétním přístrojem
určitého typu, resp. série družic
(specifické pro daný typ, sérii družic)

spektrální pásma - přehled:

- viditelné (~ 0.4 až $0.7 \mu\text{m}$), označováno **VIS**
- blízké infračervené (0.7 až cca $5 \mu\text{m}$), **NIR**

odražené sluneční záření,
„solární kanály“

- infračervené (od cca $5 \mu\text{m}$ do cca 1mm), **IR**
- mikrovlnné (od cca 1mm), **MW**

tepelné záření,
„emisivní kanály“

spektrální pásmo

část elektromagnetického spektra,
vymezená krajními vlnovými délkami
(fyzikální, obecná charakteristika)

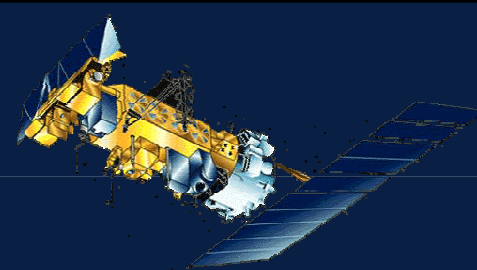
spektrální kanál

spektrálního pásmo nebo jeho část,
zachycená konkrétním přístrojem
určitého typu, resp. série družic
(specifické pro daný typ, sérii družic)

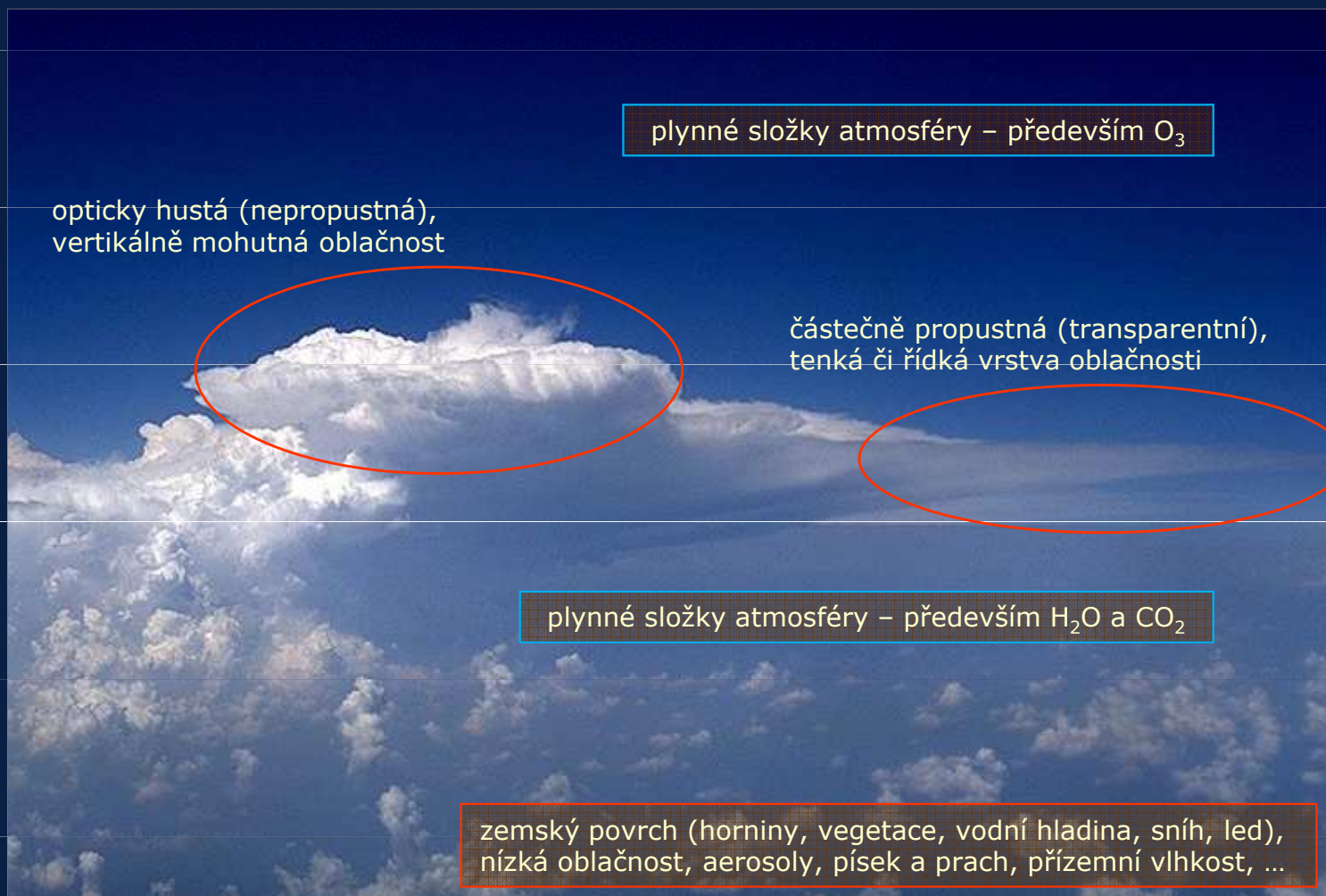
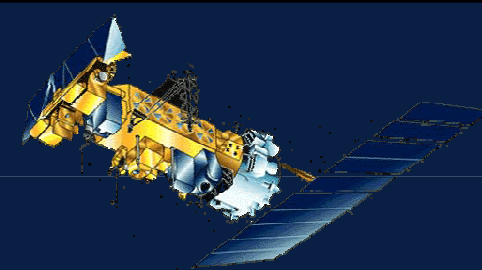
specifikace, definice, resp. názvy spektrálních kanálů:

- krajními hodnotami vlnové délky
- střední vlnovou délkou
- oficiálním číslem kanálu daného přístroje
- jménem (u družic Meteosat, resp. MSG: *VIS, NIR, IR, WV*),
vystihujícím základní fyzikální vlastnosti daného kanálu

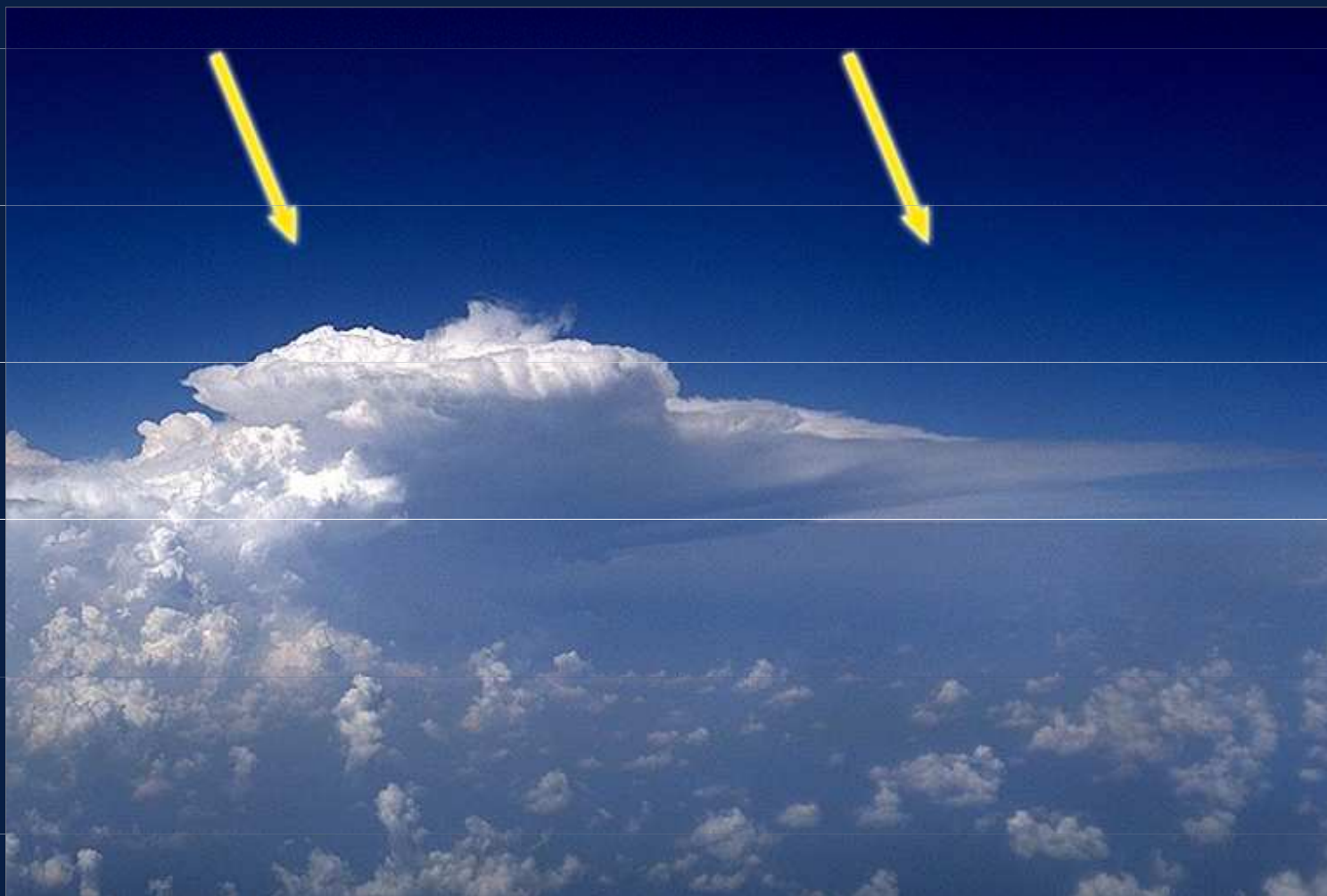
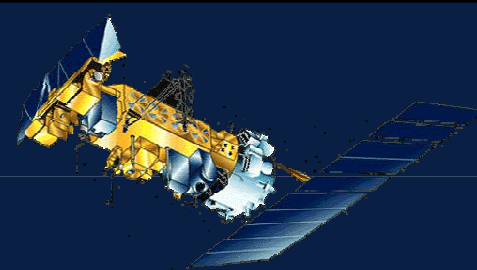
Záření v atmosféře ...



Záření v atmosféře ...

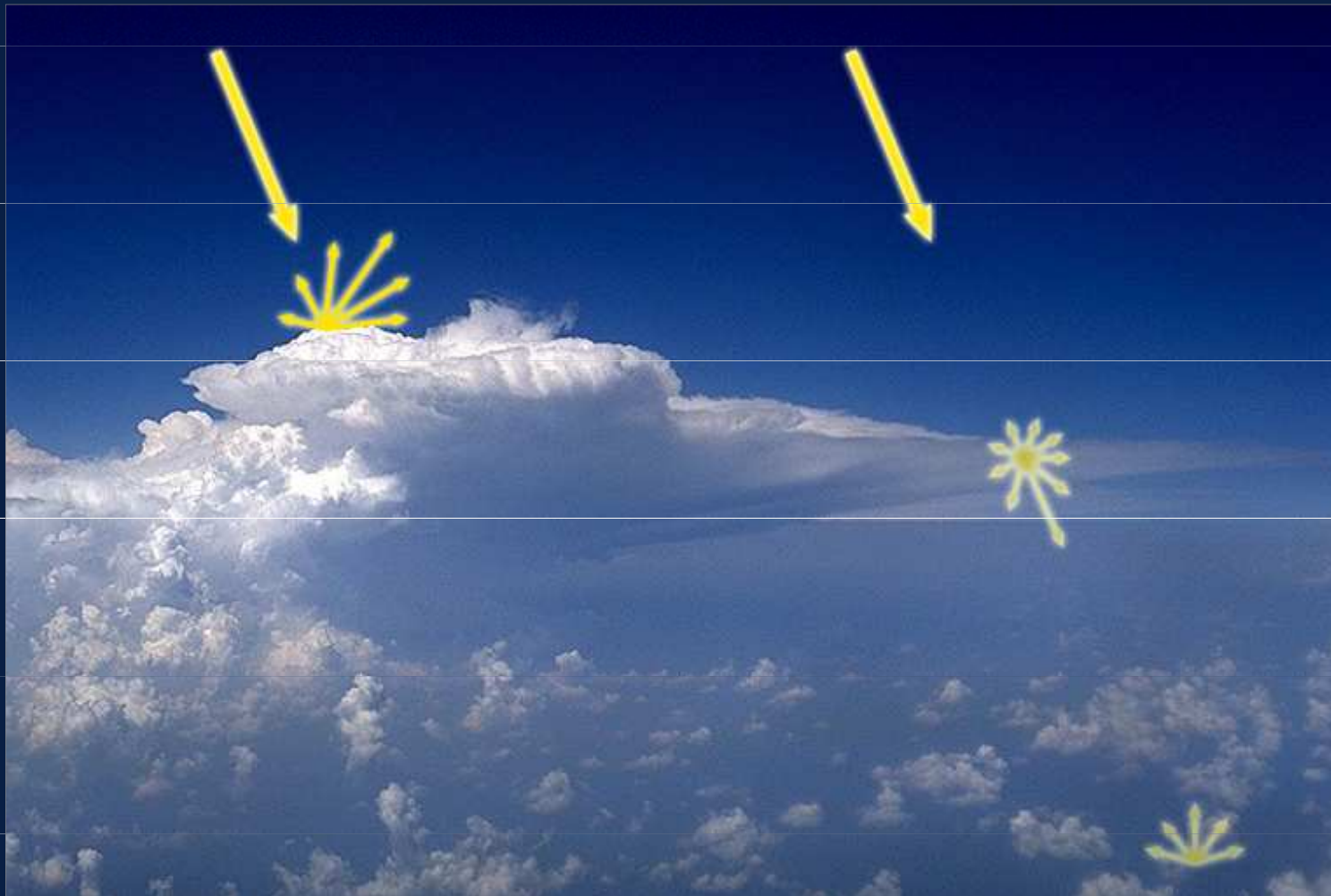
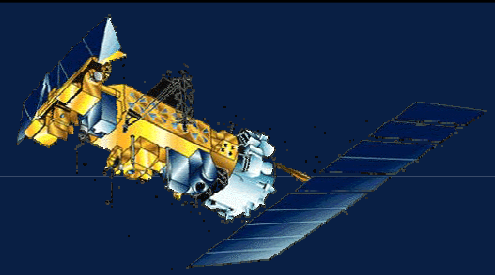


Záření v atmosféře ...



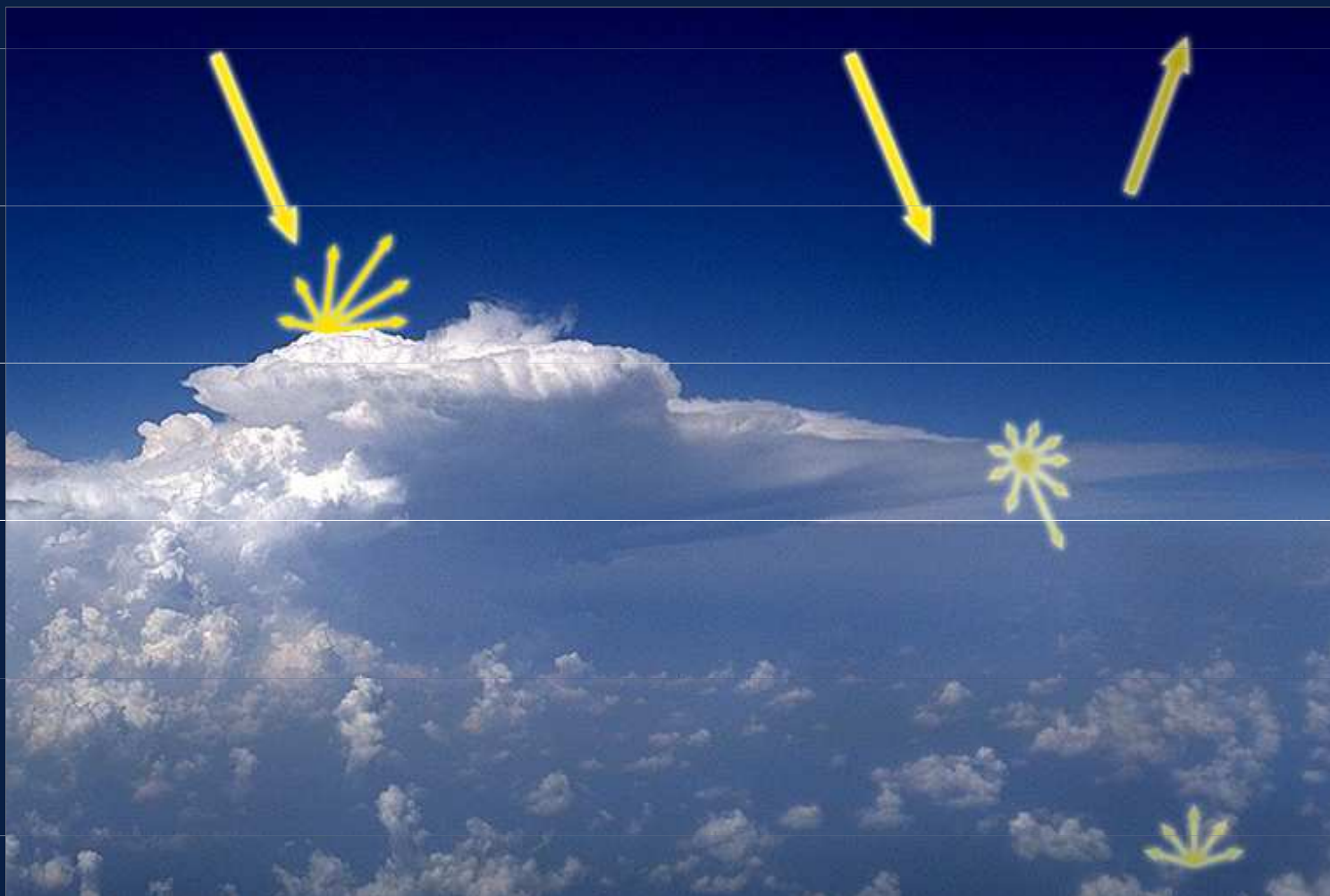
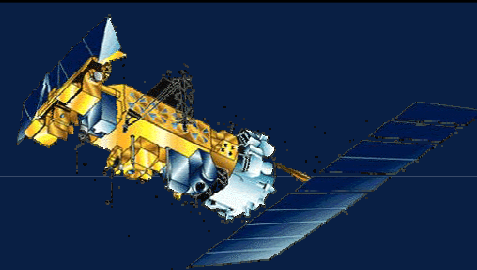
VIS a částečně NIR – odražené (rozptýlené) sluneční záření

Záření v atmosféře ...



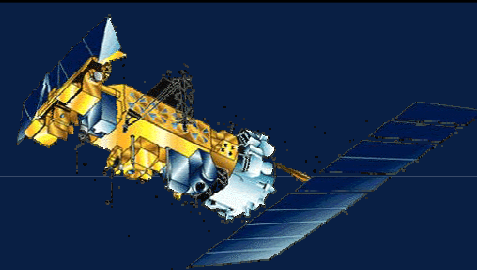
VIS a částečně NIR – odražené (rozptýlené) sluneční záření

Záření v atmosféře ...



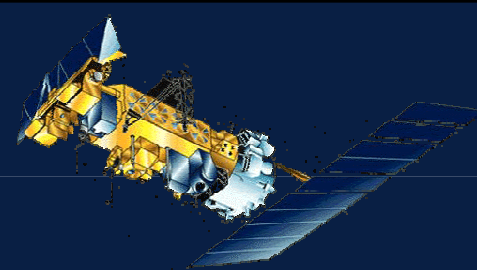
VIS a částečně NIR – odražené (rozptýlené) sluneční záření

Záření v atmosféře ...



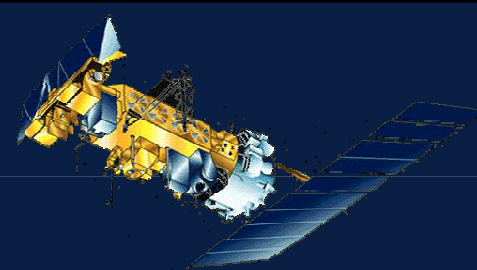
IR a MW, částečně NIR – tepelné vyzařování zemského povrchu a oblačnosti

Záření v atmosféře ...



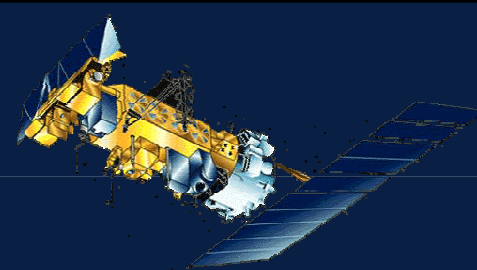
IR a MW, částečně NIR – tepelné vyzařování zemského povrchu a oblačnosti

Záření v atmosféře ...



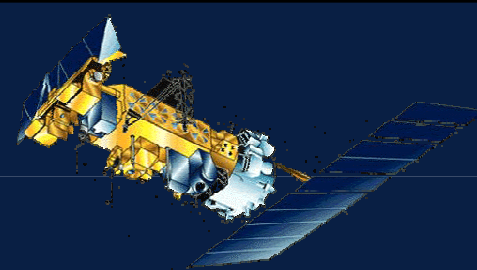
IR a MW, částečně NIR – tepelné vyzařování zemského povrchu a oblačnosti

Záření v atmosféře ...



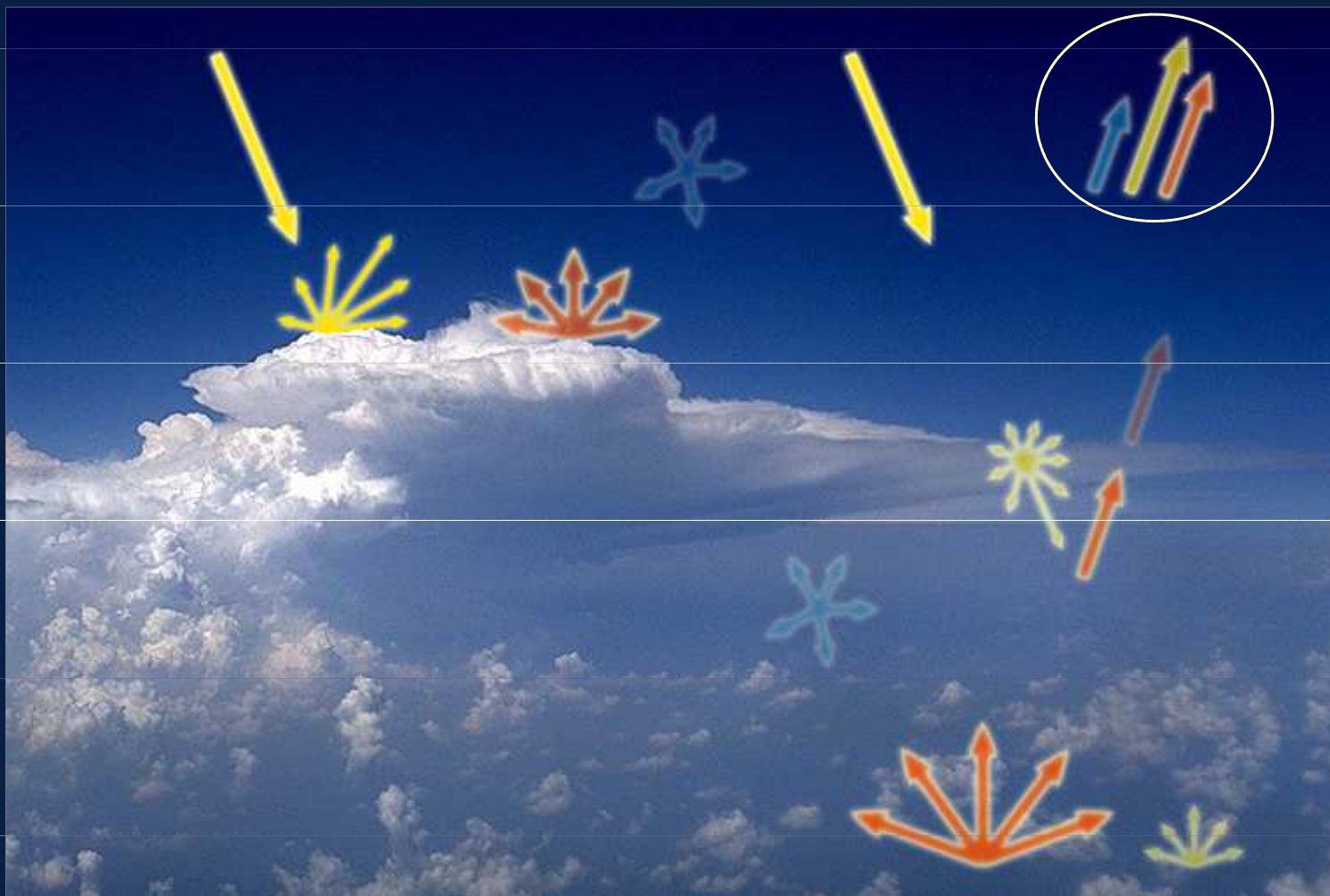
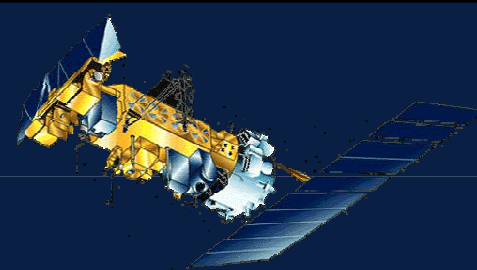
Vyzařování a absorpce plynnými složkami atmosféry, mimo tzv. atmosférická okna

Záření v atmosféře ...



Vyzařování a absorpce plynnými složkami atmosféry, mimo tzv. atmosférická okna

Záření v atmosféře ...



Celkové záření měřené družicí: souhrn všech tří typů záření, jejich poměr závisí na konkrétní vlnové délce a mnoha dalších faktorech (viz dále) ...

Celkové záření naměřené družicí je závislé na:

- výšce Slunce nad obzorem a úhlu snímání konkrétního objektu;
 - odrazivosti zemského povrchu a vodní hladiny (případně "zrcadlení");
 - (celkové) odrazivosti a propustnosti oblačnosti ve VIS/NIR pásmu
-
- teplotě zemského povrchu či vodní hladiny a jejich vyzařovací schopnosti;
 - teplotě oblačnosti, její vyzařovací schopnosti a propustnosti v NIR/IR pásmu;
-
- propustnosti a vlastním vyzařování plynných složek atmosféry a aerosolů

Značná závislost družicí naměřené intenzity záření (vzhledu různých objektů) na konkrétní vlnové délce, resp. na spektrálním pásmu, použitém kanálu ...

*... princip **MULTISPEKTRÁLNÍ INTERPRETACE DRUŽICOVÝCH SNÍMKŮ***

Základní vztahy fyziky záření - Planckův zákon (funkce):

Planckova funkce:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} \quad B_{\lambda}(T) = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1}$$

$B_{\lambda}(T)$ - spektrální hustota elmg. záření vyzářeného za jednotku času jednotkovou plochou povrchu černého tělesa o teplotě T (vyjádřené v K) do jednotkového prostorového úhlu ve vlnové délce λ [μm], pak výsledný rozměr Planckovy funkce je [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$]

c = rychlost světla ve vakuu ($2.998 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

h = Planckova konstanta ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)

k = Boltzmannova konstanta ($1.381 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$)

c_1 = první radiační konstanta ($1.191 \times 10^{-16} \text{ W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{sr}^{-1}$)

c_2 = druhá radiační konstanta ($1.439 \times 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{K}$)

Základní vztahy fyziky záření - Stefan-Boltzmannův zákon:

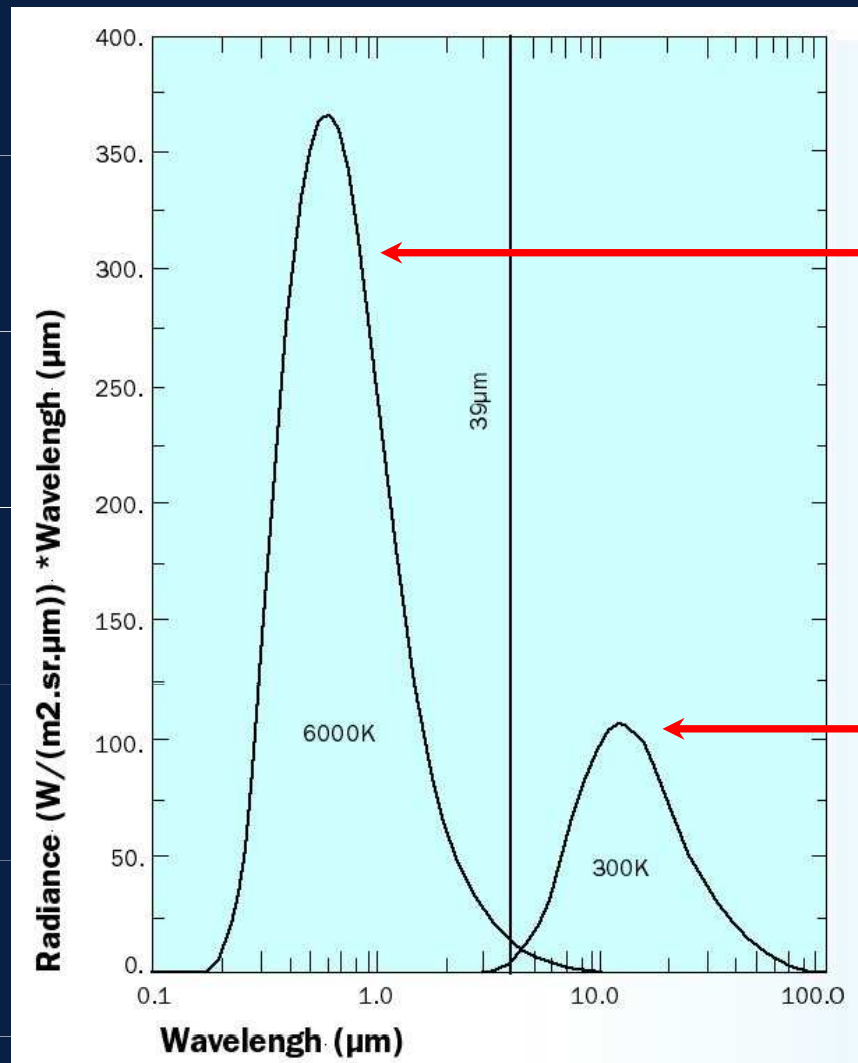
$$E = \int_0^{\infty} B_{\lambda}(T) d\lambda \quad \longrightarrow \quad E = \sigma T^4$$

- celkové množství elmg. záření vyzářeného za jednotku času jednotkovou plochou povrchu černého tělesa o teplotě T (vyjádřené v K) do jednotkového prostorového úhlu, [W.m⁻².sr⁻¹]

$$\sigma = 5.671 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4} \text{ (Stefan-Boltzmannova konstanta)}$$

Základní vztahy fyziky záření - Wienův (posunovací) zákon:

$$\lambda_{\max} = \frac{2897.9}{T}$$



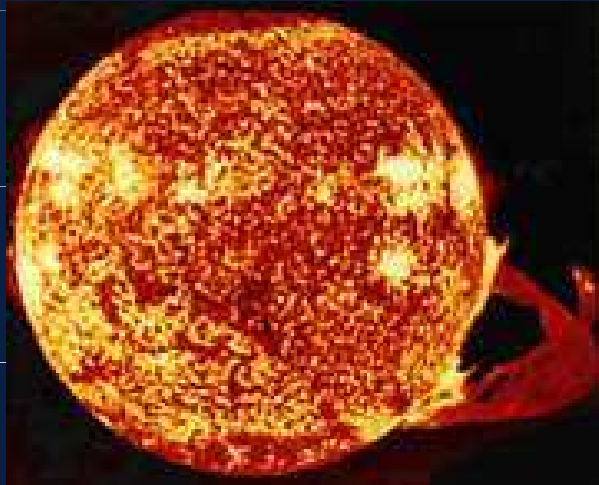
maximum záření při 6000 K
(teplota sluneční fotosféry)

$$\lambda_{\max} \cong 0.480 \mu\text{m}$$

maximum záření při 300 K
(teplota zemského povrchu)

$$\lambda_{\max} \cong 9.7 \mu\text{m}$$

Základní vztahy fyziky záření - vyzařování Slunce:



Slunce vyzaří do prostoru celkem (ve vlnové délce λ):

$$E_{\lambda} = 4\pi R^2 \cdot \pi B_{\lambda}(6000K)$$

celková plocha slunečního povrchu vyzařování jednotkové plochy slunečního povrchu do celého poloprostoru, viz fotometrie, kosinový zářič

R = poloměr Slunce

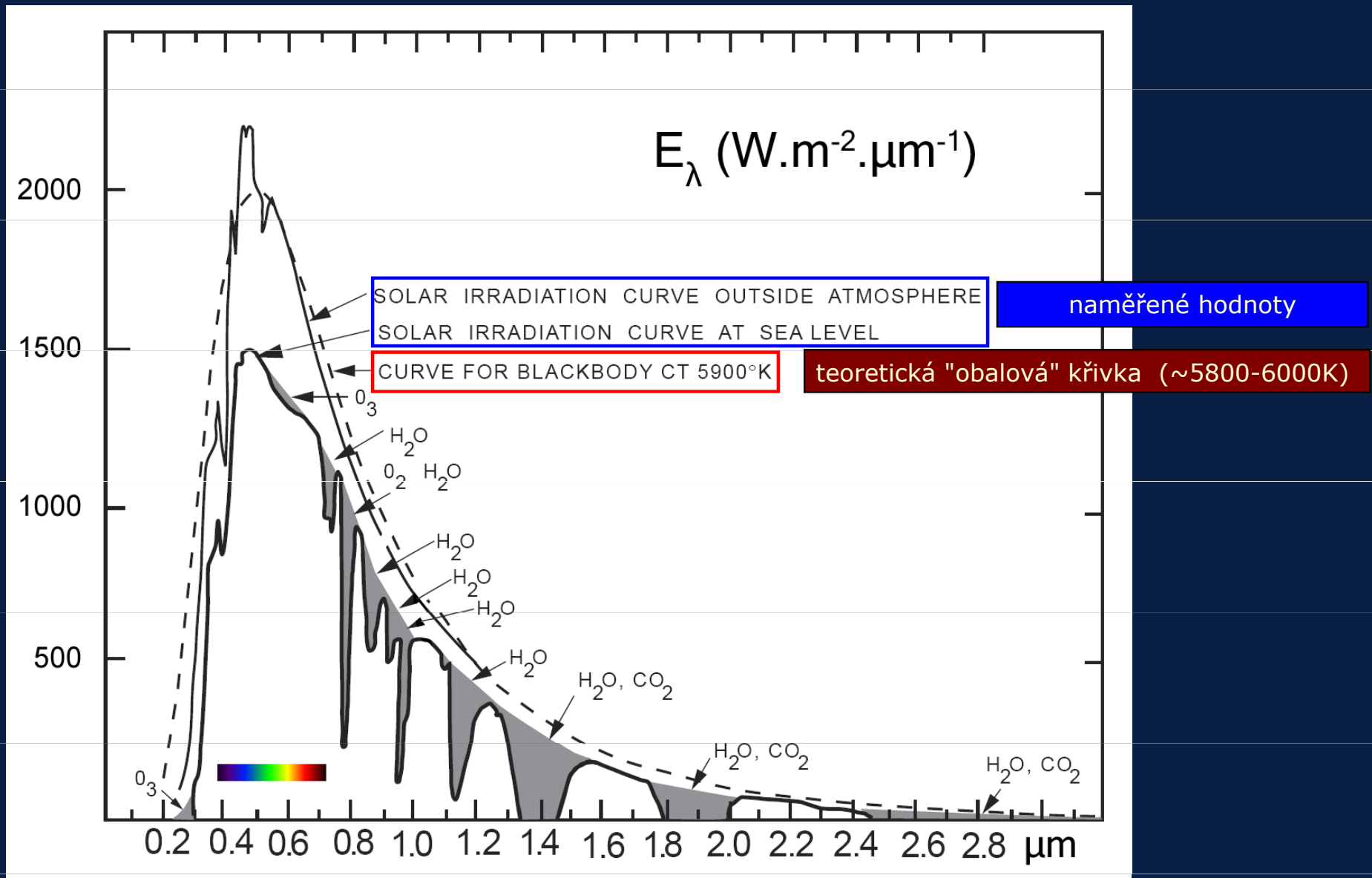
Ve vzdálenosti zemské dráhy o poloměru r (1AU) na jednotkovou plochu kolmou ke Slunci dopadá:

$$S_{\lambda} = \frac{4\pi R^2 \cdot \pi B_{\lambda}(6000K)}{4\pi r^2} = \pi B_{\lambda}(6000K) \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^2$$



$$(R/r)^2 = 2.1644 \cdot 10^{-5}$$

Sluneční záření v zemské atmosféře:



(zdroj: Handbook of Geophysics and Space Environments, McGraw-Hill Book Comp., New York 1965)

Základní vztahy fyziky záření - izotropní (difúzní) rozptyl:

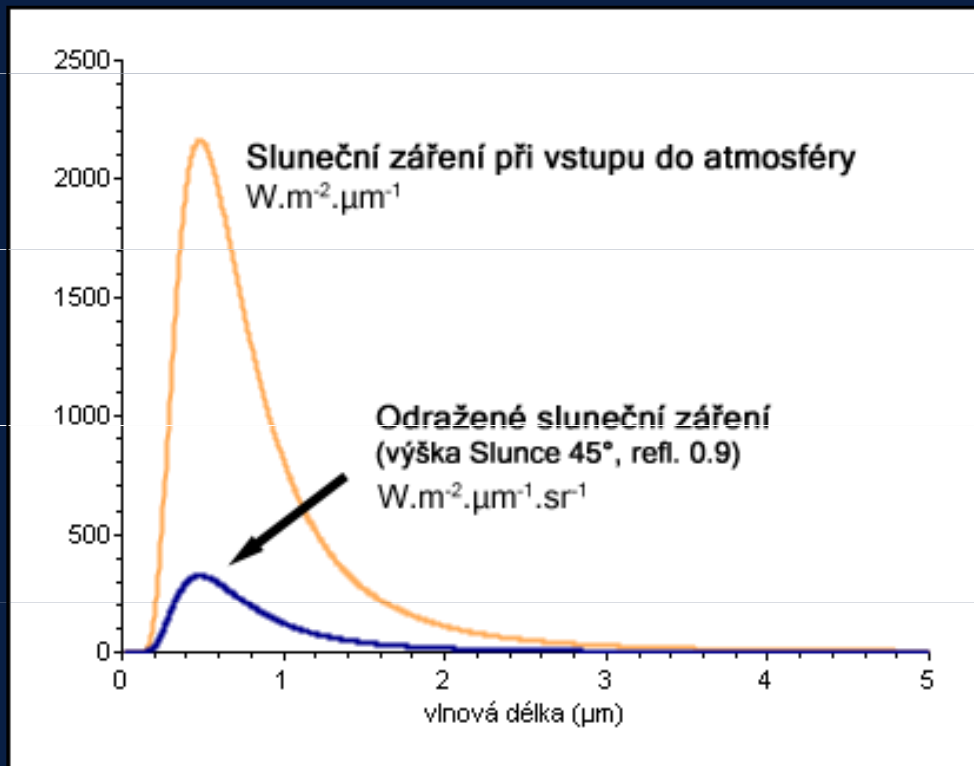
Pro izotropní, difúzní rozptyl (Lambertovský povrch, odrážející do všech směrů) bude intenzita odraženého slunečního záření do jednotkového prostorového úhlu při odrazivosti povrchu α_λ a zenitovém úhlu Slunce ξ dána vztahem:

$$I_\lambda = \alpha_\lambda \cdot \frac{S_\lambda}{\pi} \cdot \cos \xi = \alpha_\lambda \cdot B_\lambda(6000K) \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^2 \cdot \cos \xi$$

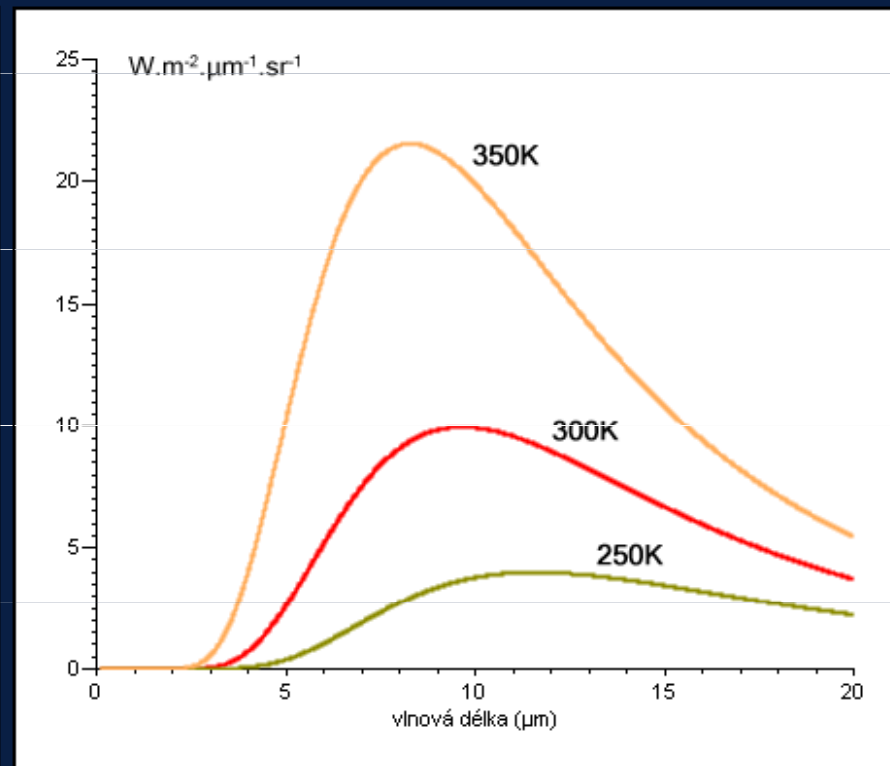
- pouhá idealizace, většina povrchů (včetně oblačnosti) „nelambertovská“

Základní vztahy fyziky záření

Porovnání intenzit dopadajícího/odraženého slunečního záření a tepelného vyzařování zemského povrchu a oblačnosti:



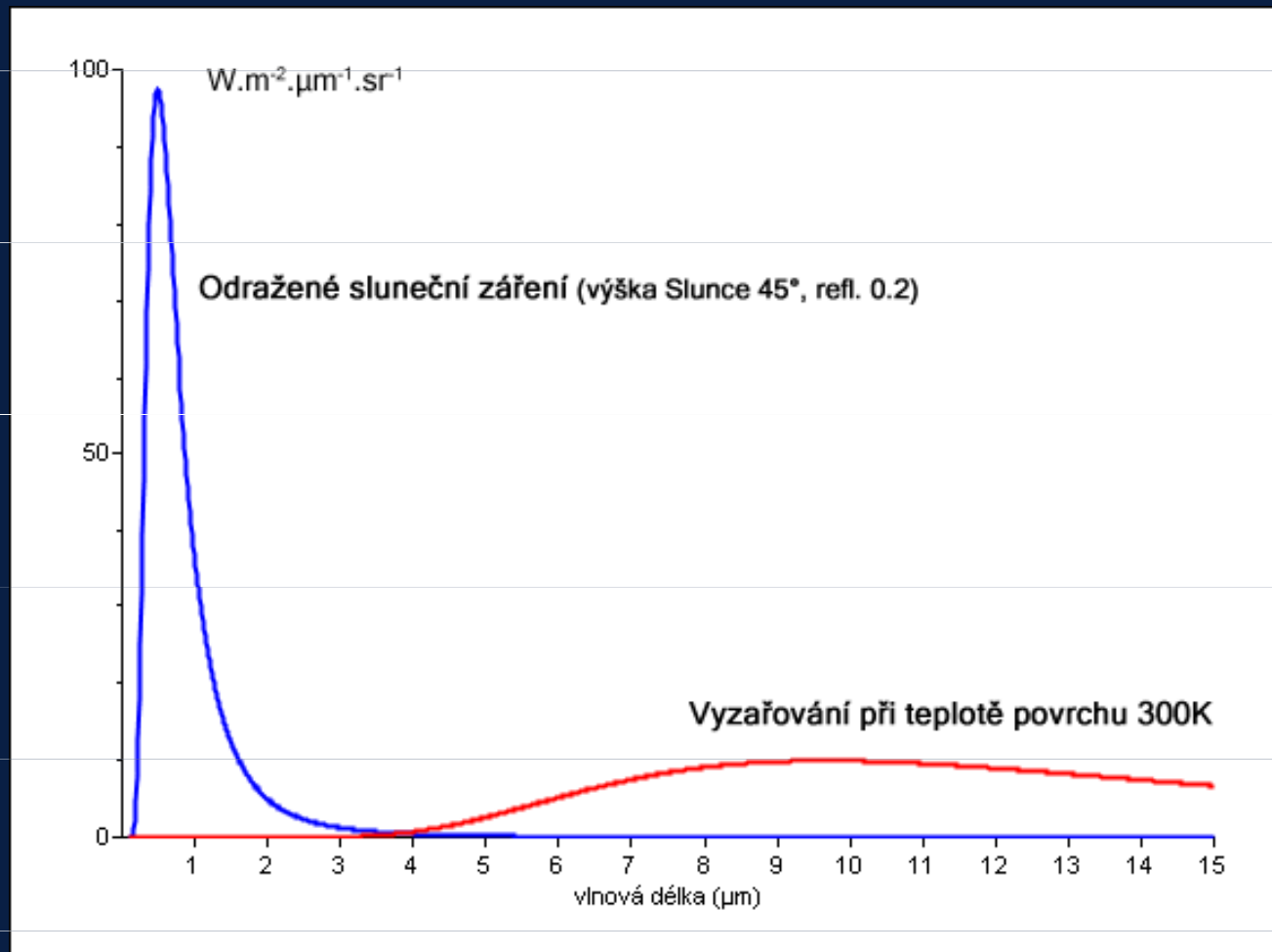
Odražené sluneční záření



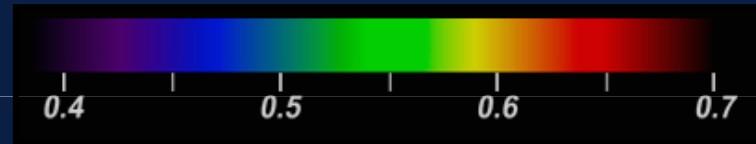
Tepelné vyzařování země / oblačnosti

Základní vztahy fyziky záření

Porovnání intenzit dopadajícího/odraženého slunečního záření a tepelného vyzařování zemského povrchu a oblačnosti:



Terminologie



Termín **viditelné záření** by správně měl být používán pouze pro rozsah vlnových délek které vnímá lidské oko – od fialové po červenou. Vše "za červenou" ($\sim 0.7 \mu\text{m}$) by správně mělo být označováno jako **infračervené záření (*infrared*, IR)** ...

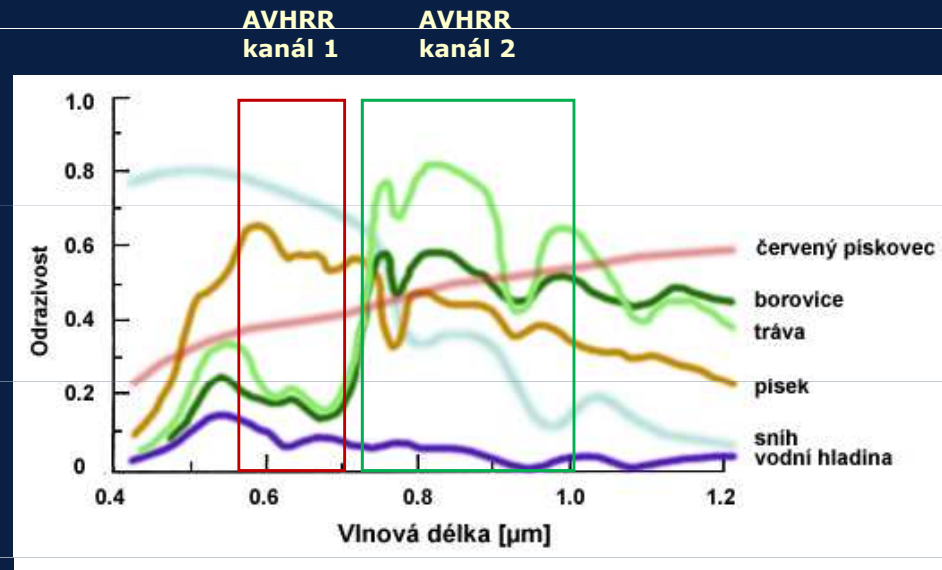
Spektrální oblast "blízko k červené" je označována jako **blízké infračervené záření (*near infrared*, NIR)**. Zpravidla se tím rozumí rozsah vlnových délek od $0.7 \mu\text{m}$ do cca $5 \mu\text{m}$; horní limit však různé zdroje uvádějí různě (chybí zde shoda autorů).

Avšak ve slangu družicové meteorologie se "visible" zpravidla používá i pro spektrální kanály, zasahující či zcela ležící již v NIR oblasti, např. pro kanál VIS 0.8 přístroje SEVIRI nebo 2. kanál přístroje AVHRR/3.

Spektrální pásma – VIS, částečně NIR

spektrální odrazivost = odrazivost daného povrchu (objektu, horní hranice oblačnosti) v určité konkrétní vlnové délce

odrazivost (albedo) v daném kanálu = spektrální odrazivost daného povrchu zprůměrovaná přes celý konkrétní kanál



Spektrální pásma – IR, MW, částečně NIR

emisivita (vyzařovací schopnost) - odchylka daného povrchu od fyzikálně ideálního černého tělesa, vyjadřována buď v rozsahu od nuly do jedné, nebo v procentech

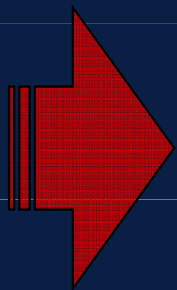
$$\epsilon_{\lambda} = \frac{\text{reálná hodnota vyzařování } (\lambda)}{B_{\lambda}(T)}$$

jasová (radiační) teplota (*brightness temperature*, BT) - teplota přiřazená danému povrchu za předpokladu emisivity rovné jedné (tedy že daný povrch vyzařuje jako černé těleso)

jasová teplota vždy nižší než „skutečná“ teplota !!!

Spektrální pásma – obecné poznámky:

- Žádný z reálných povrchů (objektů) nemá konstantní spektrální odrazivost a emisivitu, křivky spektrální odrazivosti a emisivity (tj. jejich závislost na vlnové délce) jsou do značné míry unikátní pro každý objekt (povrch, typ oblačnosti, ...);
- v případě oblačnosti jsou spektrální odrazivost a emisivita dány mikrofyzikálním složením oblačnosti - velikostí a fází oblačných částic, jejich koncentrací (optickou mohutností), případně tvarem a orientací ledových částic v horních vrstvách oblačnosti.

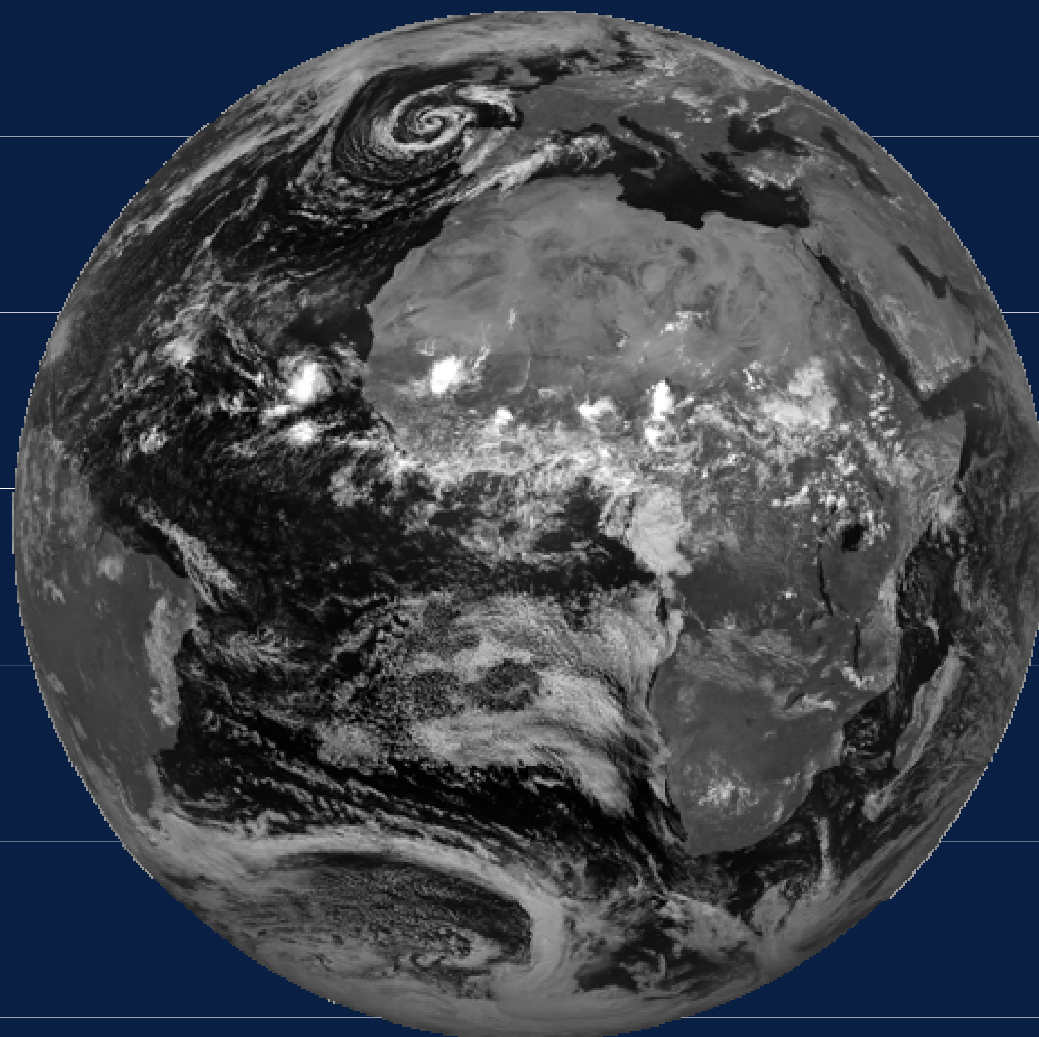


Podstata **multispektrální interpretace**, resp. metod automatické detekce a klasifikace typů oblačnosti a jejich parametrů; ve zjednodušené podobě podstata tzv. RGB kompozitních snímků (barevných „složenin“ jednotlivých kanálů a jejich matematických kombinací).

Spektrální pásma – obecná pravidla, resp. „zvyklosti“ způsobu zobrazování družicových snímků v jednotlivých spektrálních kanálech (při černobílém zobrazení):

VIS, NIR („solární kanály“)

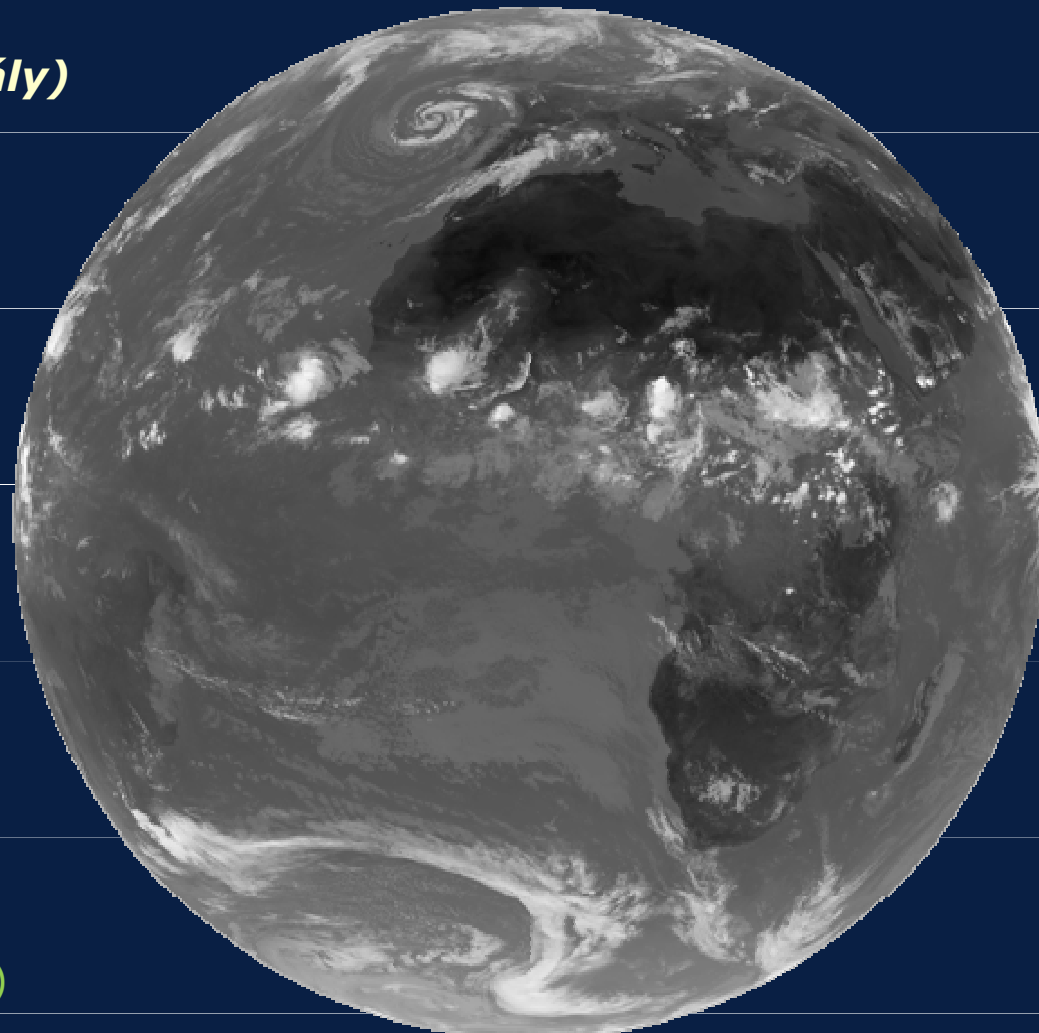
- tak, jak by scénu vidělo lidské oko, nebo jak by se jevila na černobílé fotografii
- objekty s vysokou odrazivostí světla šedě až bíle (sníh, oblačnost, ...)
- objekty s nízkou odrazivostí tmavě (především mořská hladina mimo odraz, vegetace v červeném pásmu)
- snímky v pásmu 3.5 – 4.0 μm někdy zobrazeny i „negativně“, inverzně (podrobněji později)



Spektrální pásma – obecná pravidla, resp. „zvyklosti“ způsobu zobrazování družicových snímků v jednotlivých spektrálních kanálech (při černobílém zobrazení):

IR, noční 3.5 – 4.0 μm (tepelné kanály)

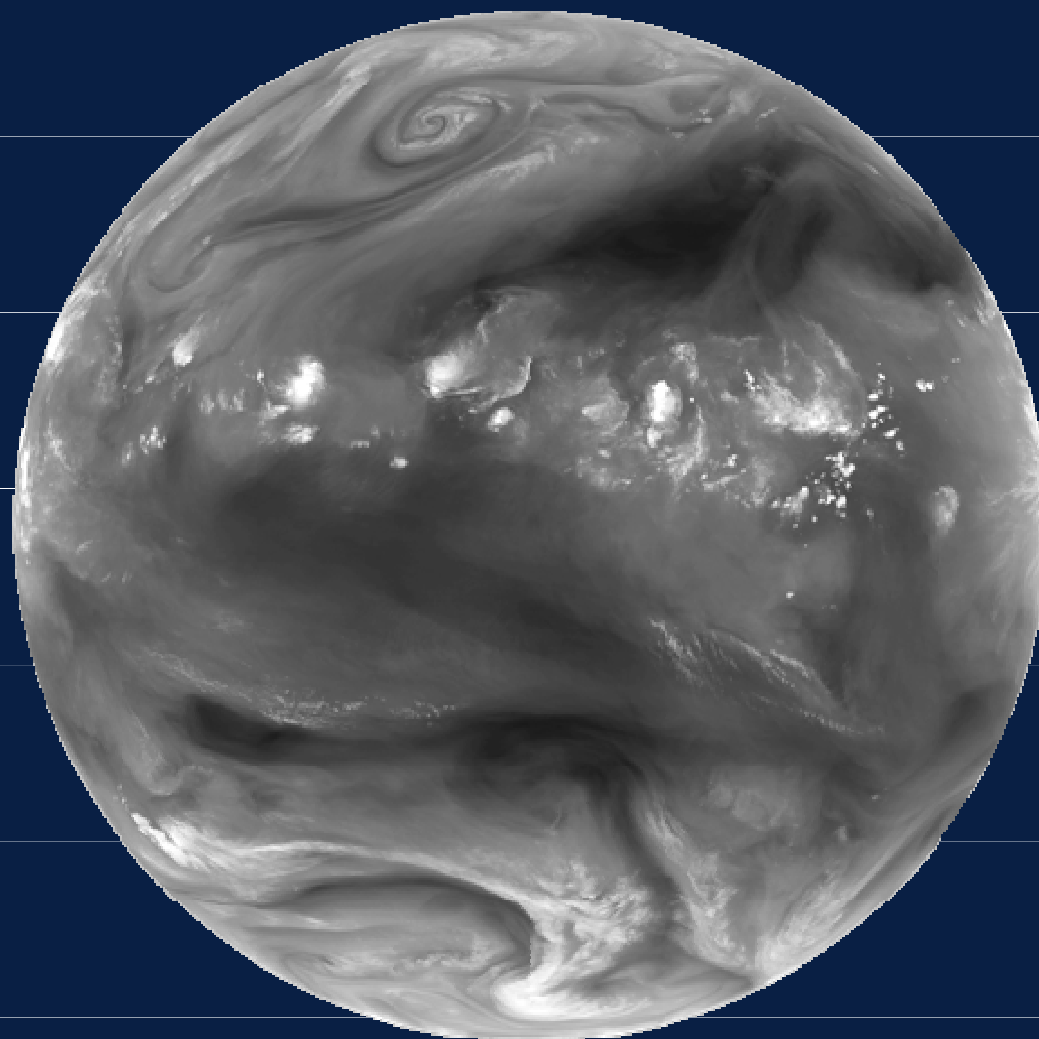
- tak, aby nejvyšší (nejchladnější) oblačnost byla zobrazena bíle
- chladné objekty světle šedě až bíle (nejvyšší oblačnost, podchlazený zemský povrch)
- teplé objekty tmavě šedě až černě (přehřátý zemský povrch, především pouště, nebo holé tmavé horniny)
- **pásma 3.5 – 4.0 μm** : pokud v denních hodinách zobrazováno jak „odrazivost“, pak platí pravidla pro VIS a NIR, pokud ale zobrazováno jako „tepelné snímky“, pak platí výše uvedené (podrobněji dále)



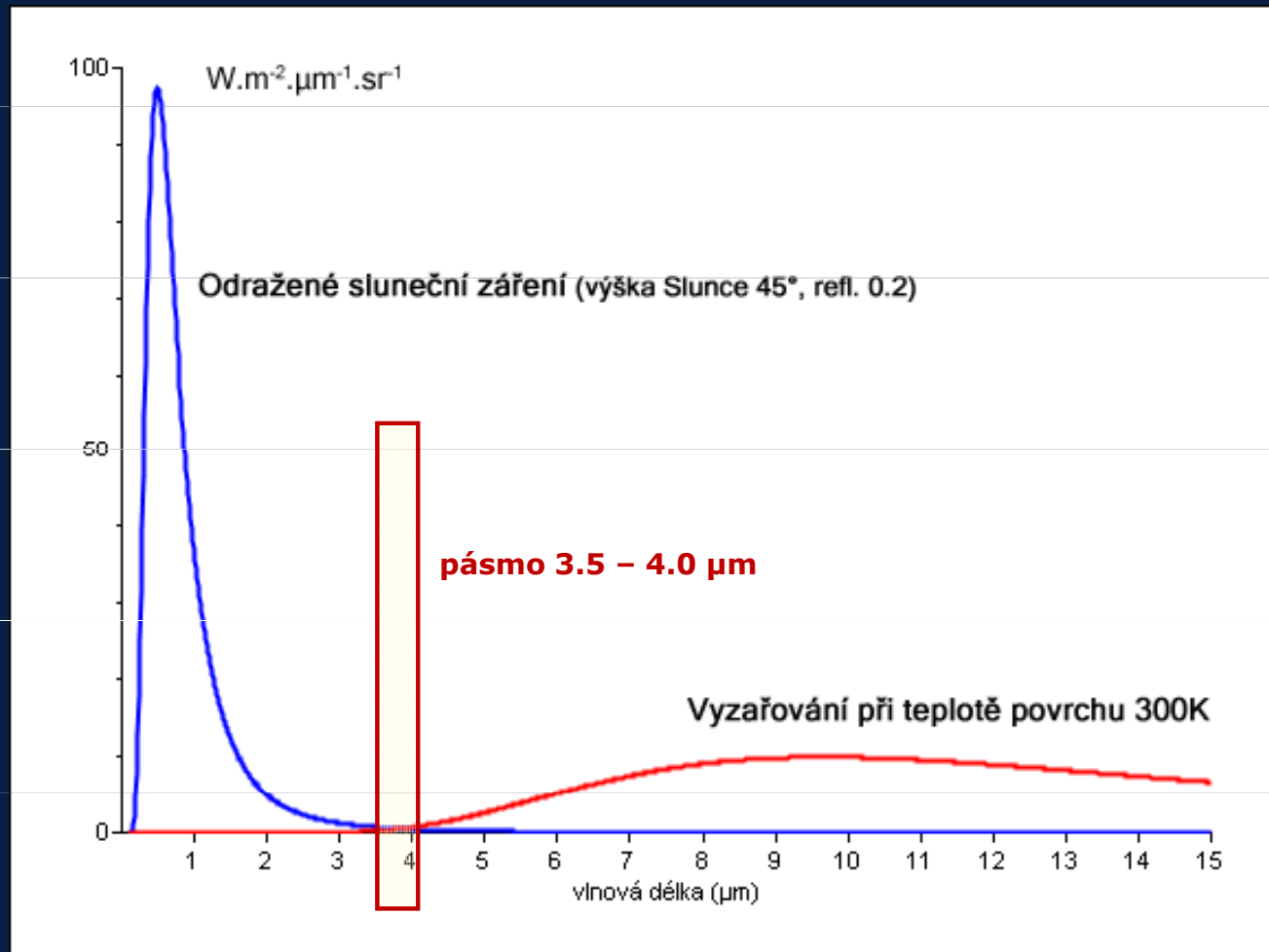
Spektrální pásma – obecná pravidla, resp. „zvyklosti“ způsobu zobrazování družicových snímků v jednotlivých spektrálních kanálech (při černobílém zobrazení):

WV (kanály „vodní páry“)

- podobně, jako snímky IR (oblasti, odkud přichází do radiometru družice vysoké hodnoty intenzity záření = teplé)
- oblasti s vysokou vlhkostí a vysoká oblačnost – světle šedě až bíle
- suché oblasti (pohled do nižších teplejších hladin) zobrazeny tmavě šedě až černě
- jednotlivé kanály v tomto pásmu se mohou lišit dle svých „váhových funkcí“ (podrobněji později)

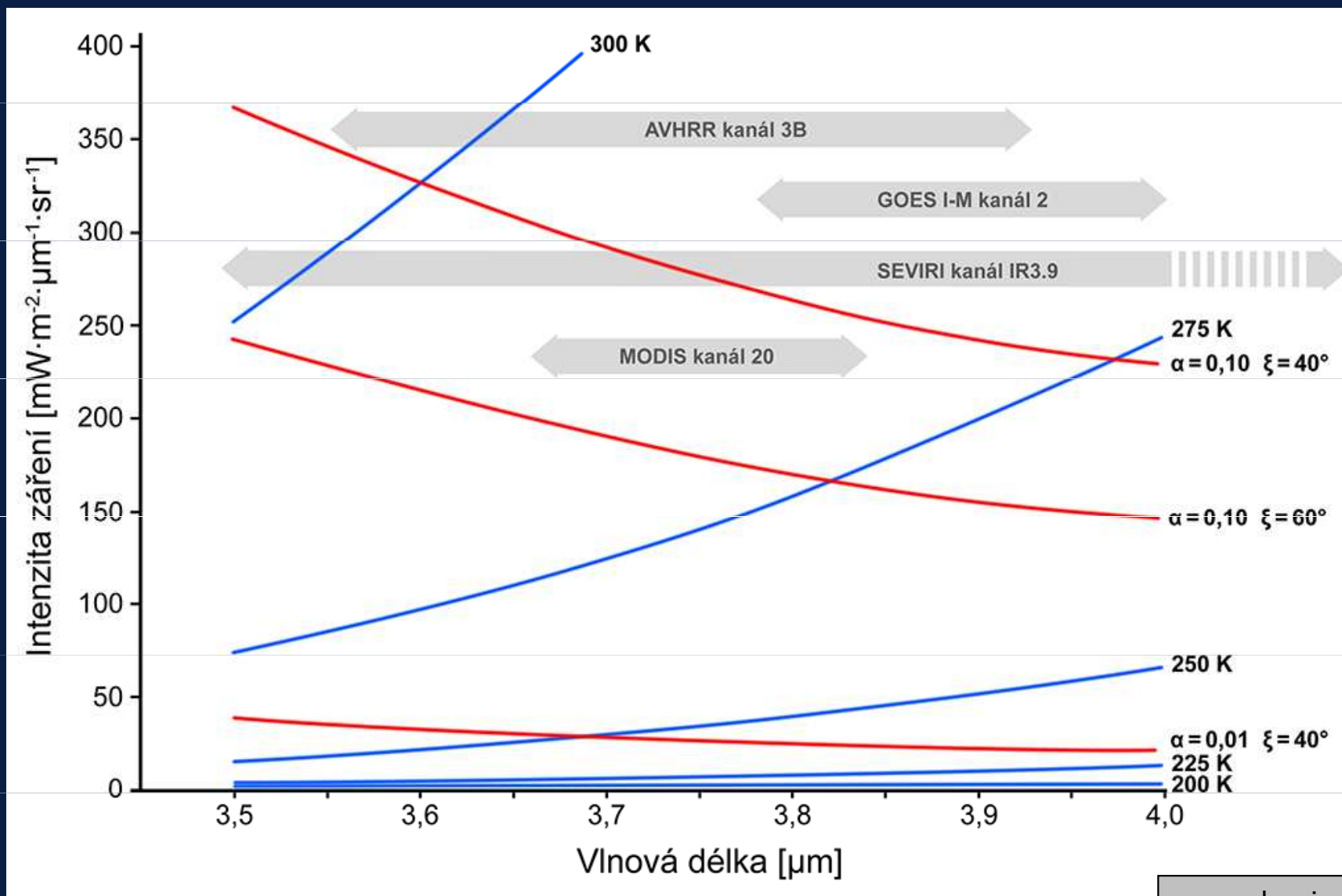


Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm



- v oblasti elektromagnetického záření, kde se v denních hodinách uplatňuje jak odražené sluneční záření, tak tepelné vyzařování (tedy „smíšený obsah“)
- v nočních hodinách pouze tepelná složka » » » klasický tepelný kanál

Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

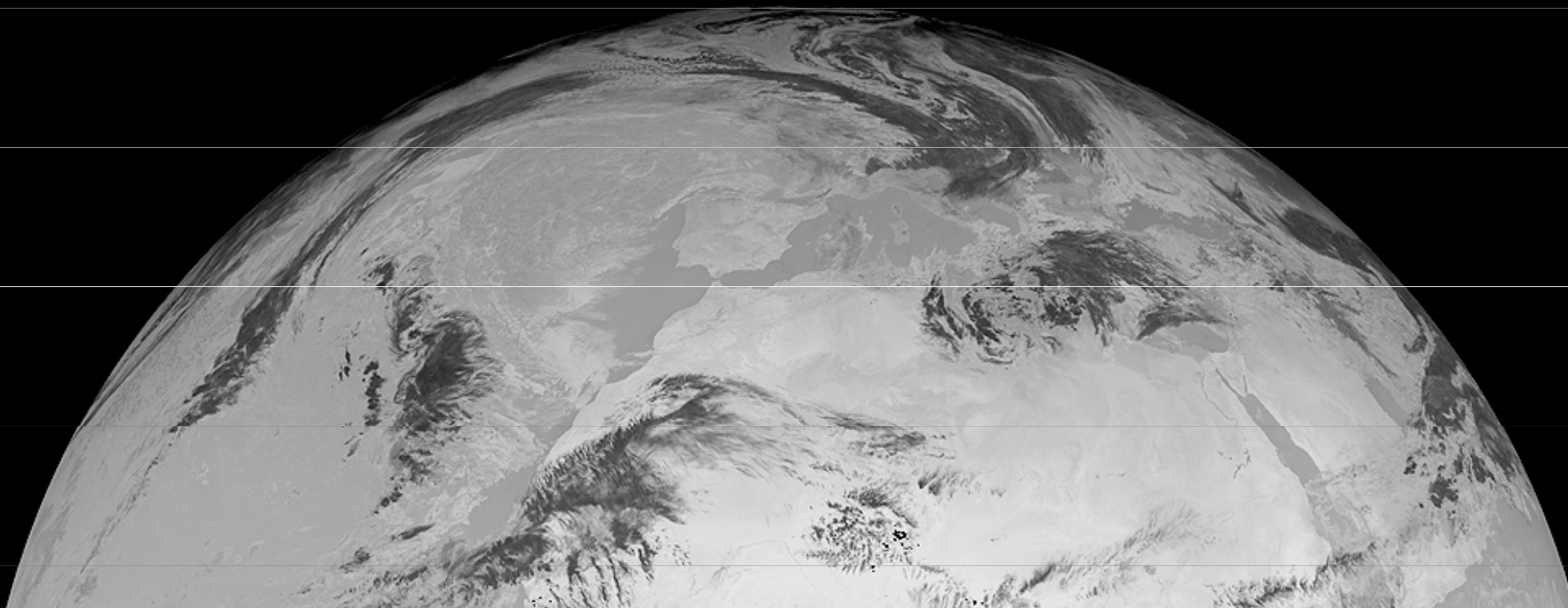


Modré křivky – tepelné vyzařování
Červené křivky – odražené sluneční záření

α ... odrazivost
 ξ ... zenitový úhel Slunce

Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

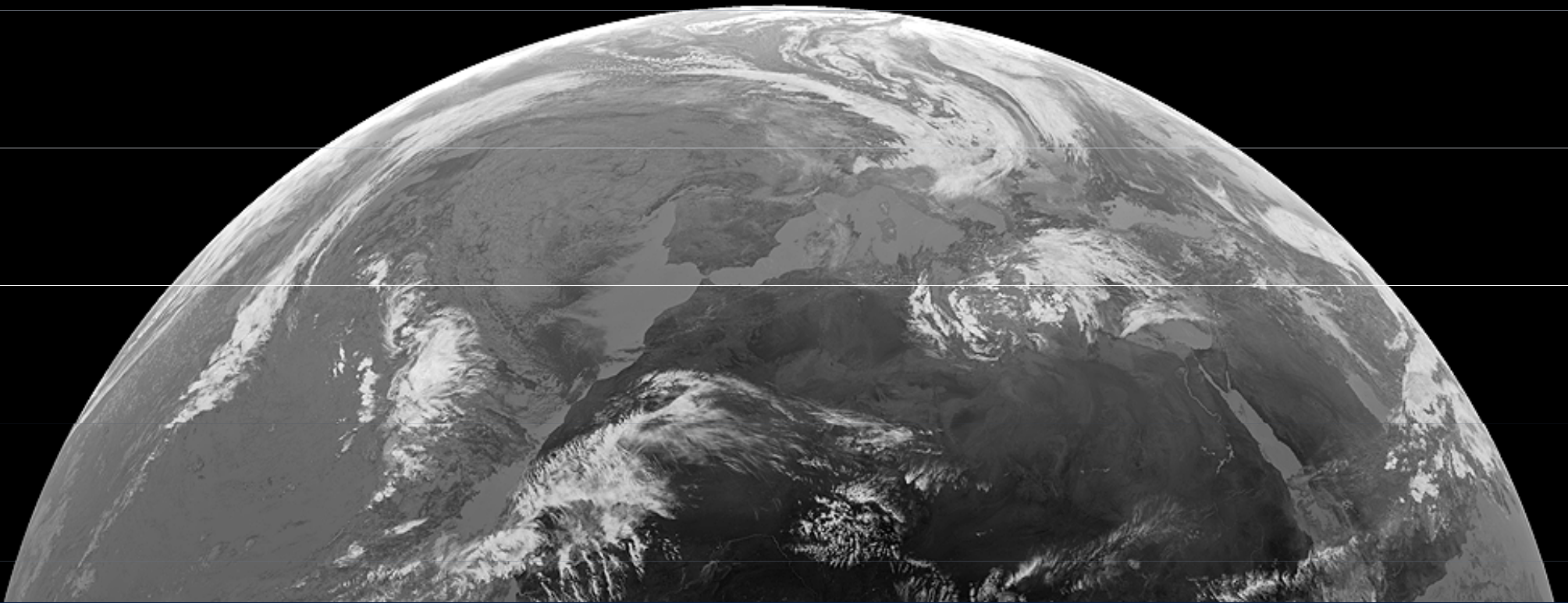
Vzhledem ke smíšené podstatě tohoto spektrálního pásma se používají dva způsoby pro jeho zobrazení:



Buď jako snímek zobrazující **odrazivost** (podobně jako VIS) ...

Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

Vzhledem ke smíšené podstatě tohoto spektrálního pásma se používají dva způsoby pro jeho zobrazení:



... nebo jako snímek zobrazující **tepelné vyzařování** (podobně jako IR).

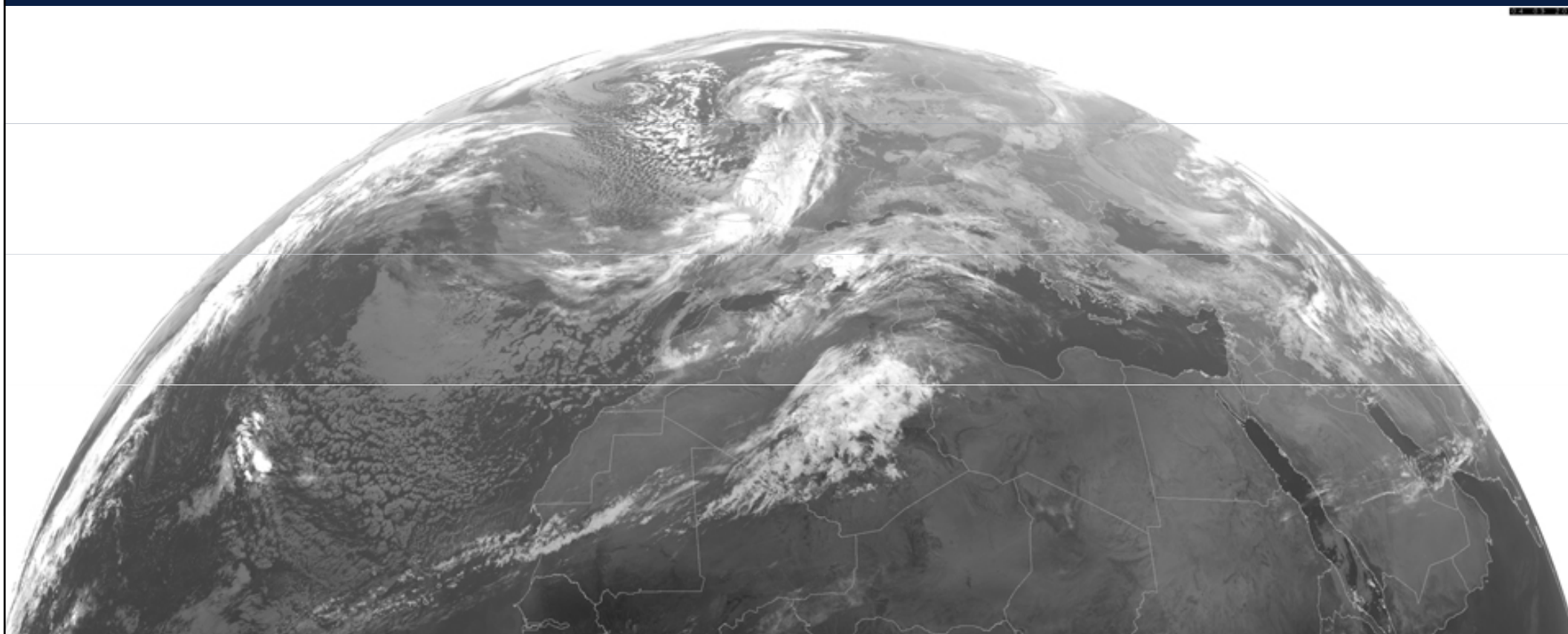
Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

noční x denní snímky v tomto pásmu:

- v noci vlastnosti standardního IR kanálu
 - v denních hodinách zpravidla převládá odražená složka záření
-
- přechod mezi dnem a nocí je značným problémem pro většinu automatických algoritmů využívajících kanály v tomto pásmu
 - čím je vyšší odrazivost nějakého objektu v tomto pásmu, tím jsou větší i rozdíly mezi denními a nočními snímky, které jej zobrazují »» především nízká oblačnost (mlha, stratus, mělká konvekce, ...)
 - i nejvyšší (ledová) oblačnost s velmi nízkou odrazivostí (*C_b*, *ciry*) vykazuje v denních hodinách určitý nárůst celkového záření v tomto pásmu

Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

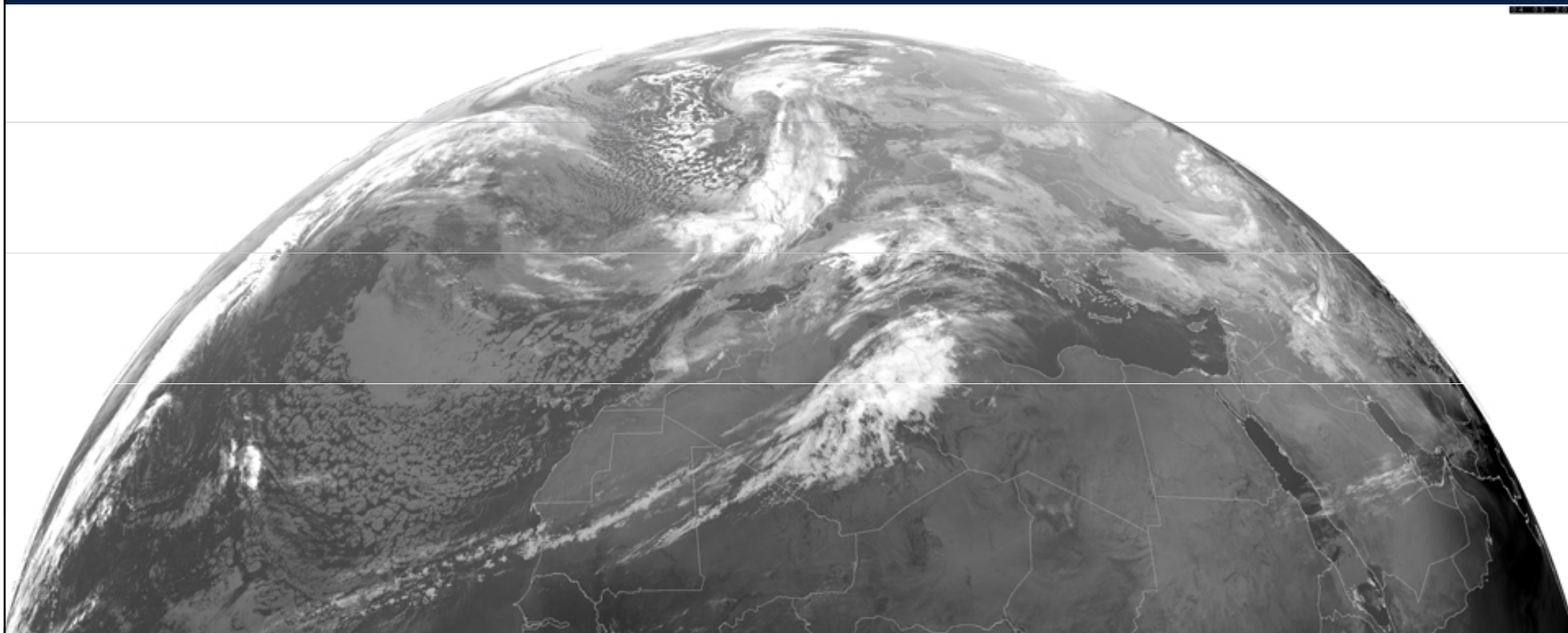
2009-03-04 00:00 UTC



Zdánlivé tmavnutí („zteplání“) mlh na následujících snímcích je důsledkem východu Slunce nad místním obzorem, a tedy „přidání“ odraženého slunečního záření k původně samotnému tepelnému vyzařování ...

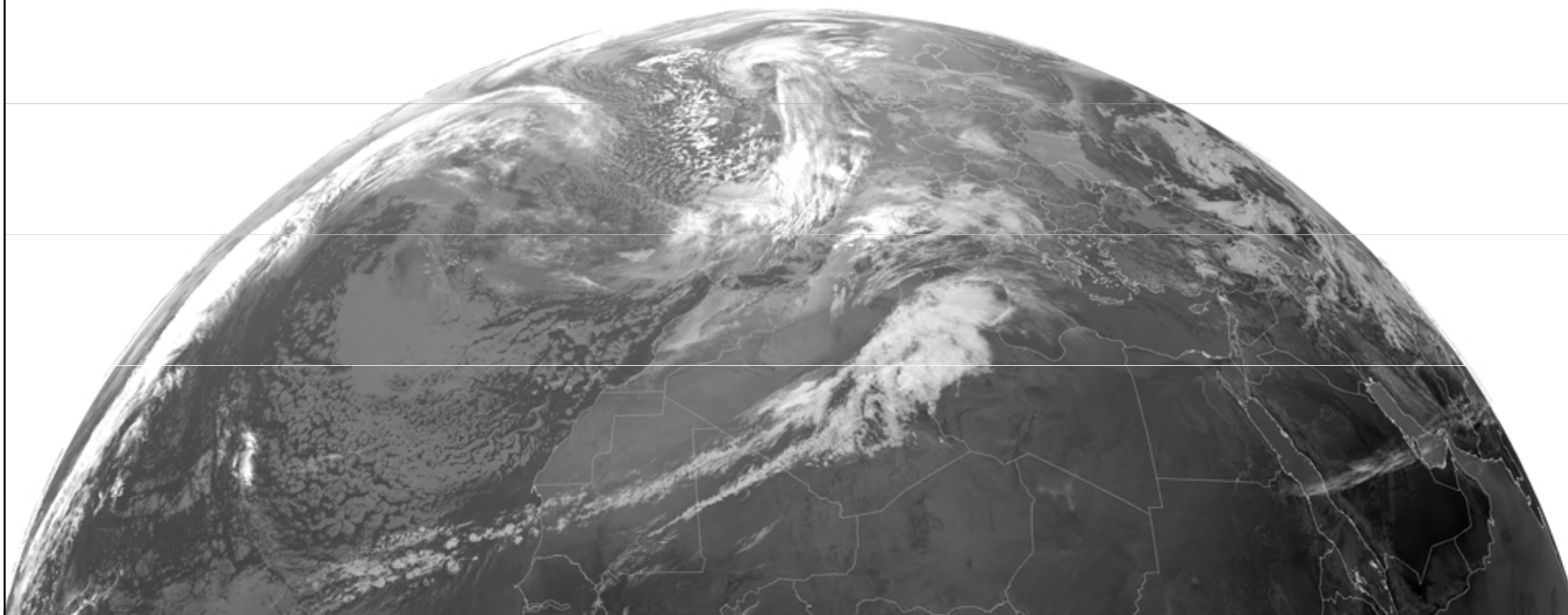
Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

2009-03-04 03:00 UTC



Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

2009-03-04 06:00 UTC



Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

2009-03-04 09:00 UTC



Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

2009-03-04 12:00 UTC



Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

2009-03-04 15:00 UTC



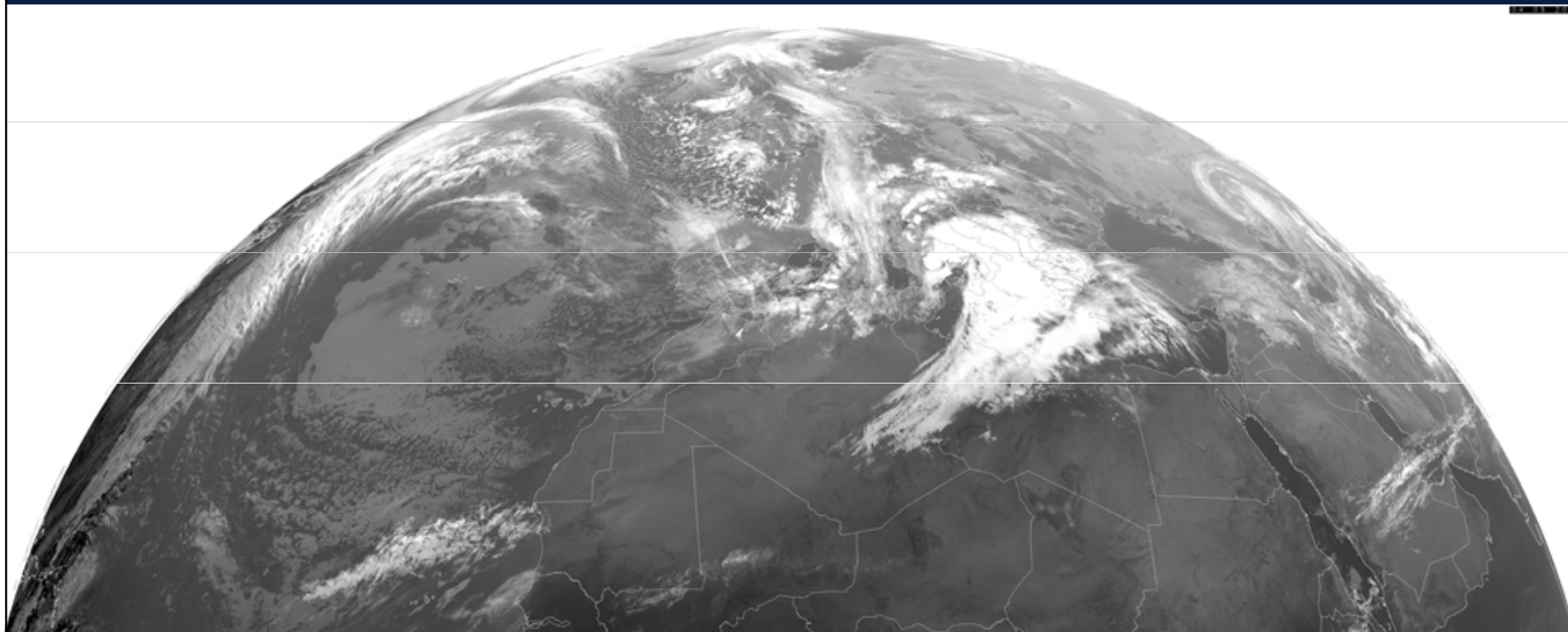
Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

2009-03-04 18:00 UTC



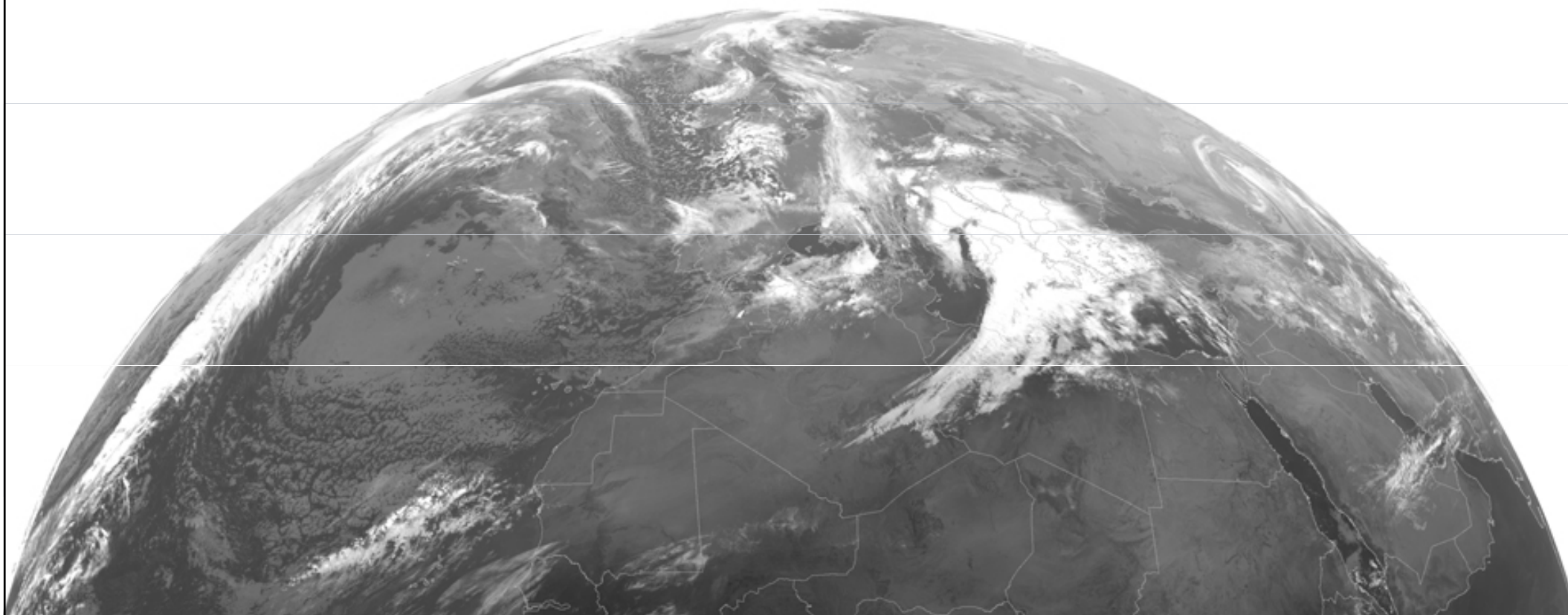
Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

2009-03-04 21:00 UTC

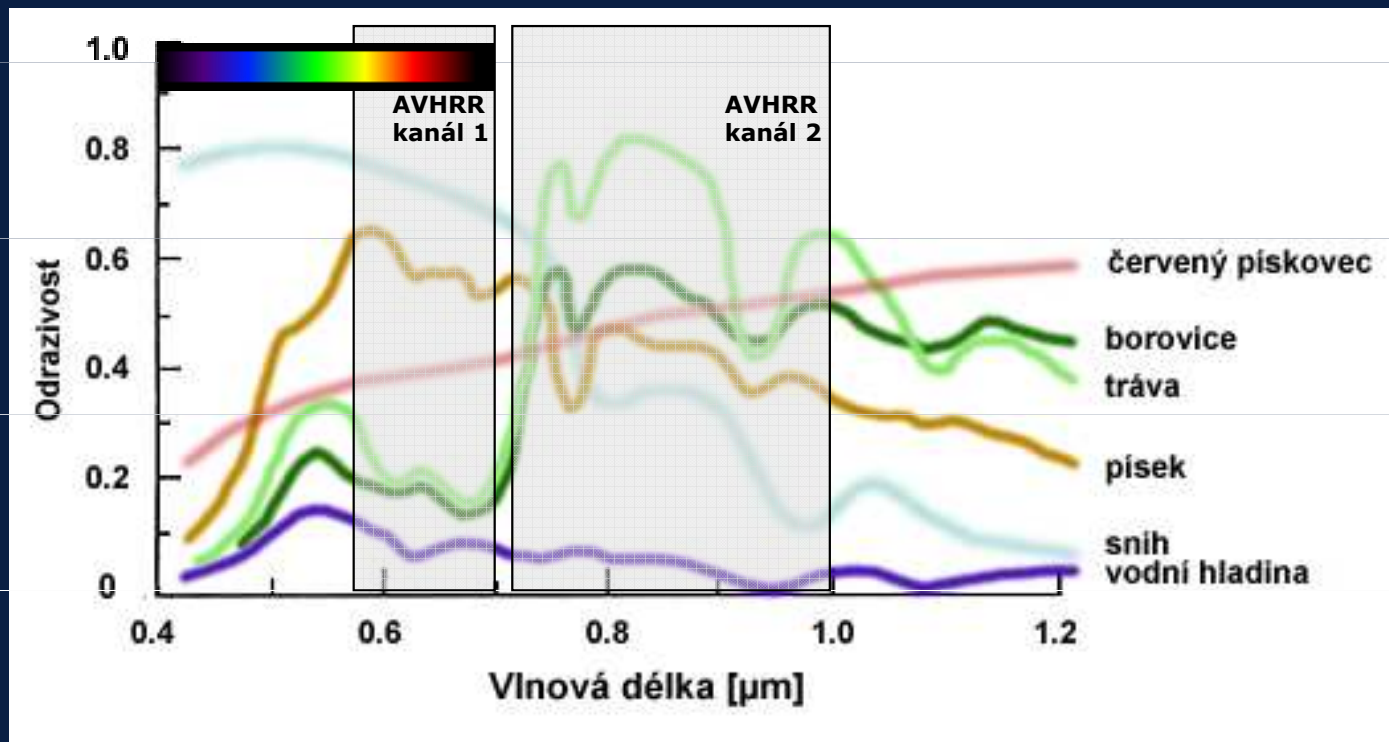


Spektrální pásmo 3.5 – 4.0 μm

2009-03-05 00:00 UTC



Spektrální odrazivost různých typů povrchů ve VIS a NIR



- značný nárůst odrazivosti vegetace na hranici VIS a NIR pásma
- podstata monitorování množství a stavu „zelené hmoty“

Tzv. „normalizovaný vegetační index“, zkratka NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*):

$$\text{NDVI} = (b2 - b1) / (b2 + b1)$$

(takto definovaný pro kanály AVHRR, obdobně lze i pro jiné přístroje)

Spektrální odrazivost různých typů povrchů ve VIS a NIR

AVHRR/3 *Advanced Very High Resolution Radiometer*

- kanál 1 0.58 - 0.68 μm
- kanál 2 0.72 - 1.10 μm
- kanál 3A 1.58 - 1.64 μm

solární kanály

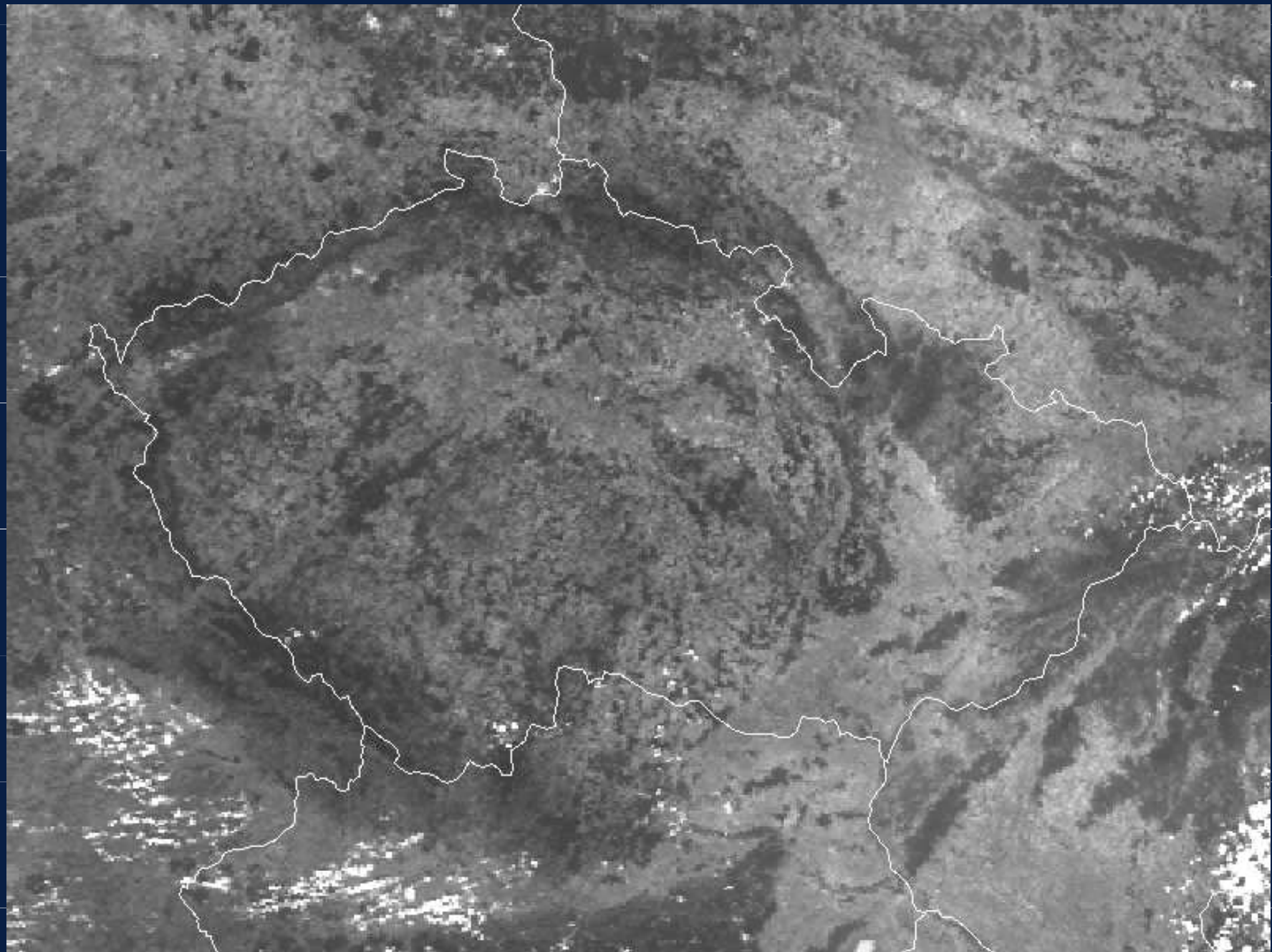
- kanál 3B 3.55 - 3.93 μm

- kanál 4 10.3 - 11.3 μm
- kanál 5 11.5 - 12.5 μm

tepelné kanály

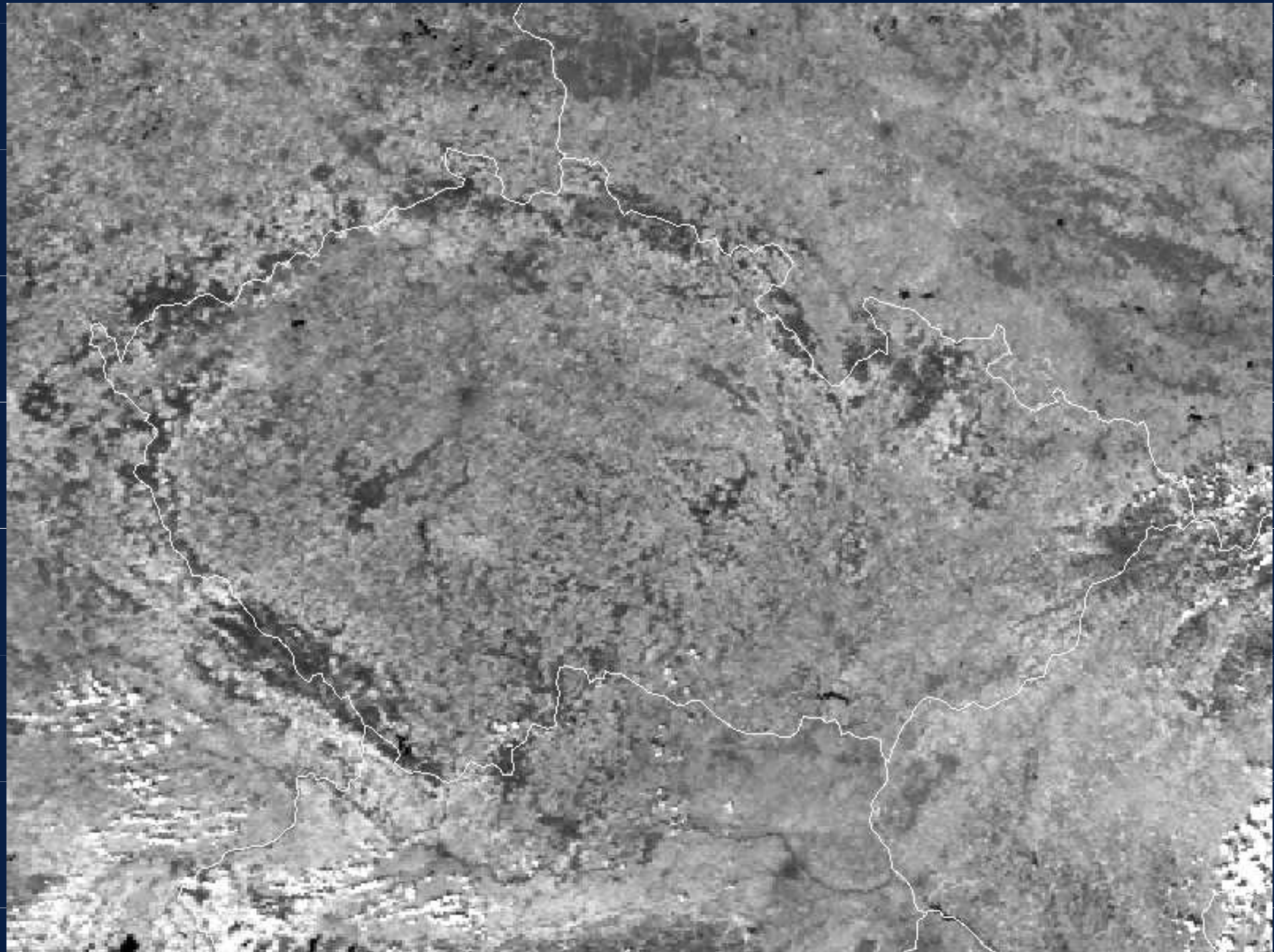
NOAA16 12.9.2002 11:40 UTC

AVHRR/3 kanál 1 (0.58-0.7 μm)



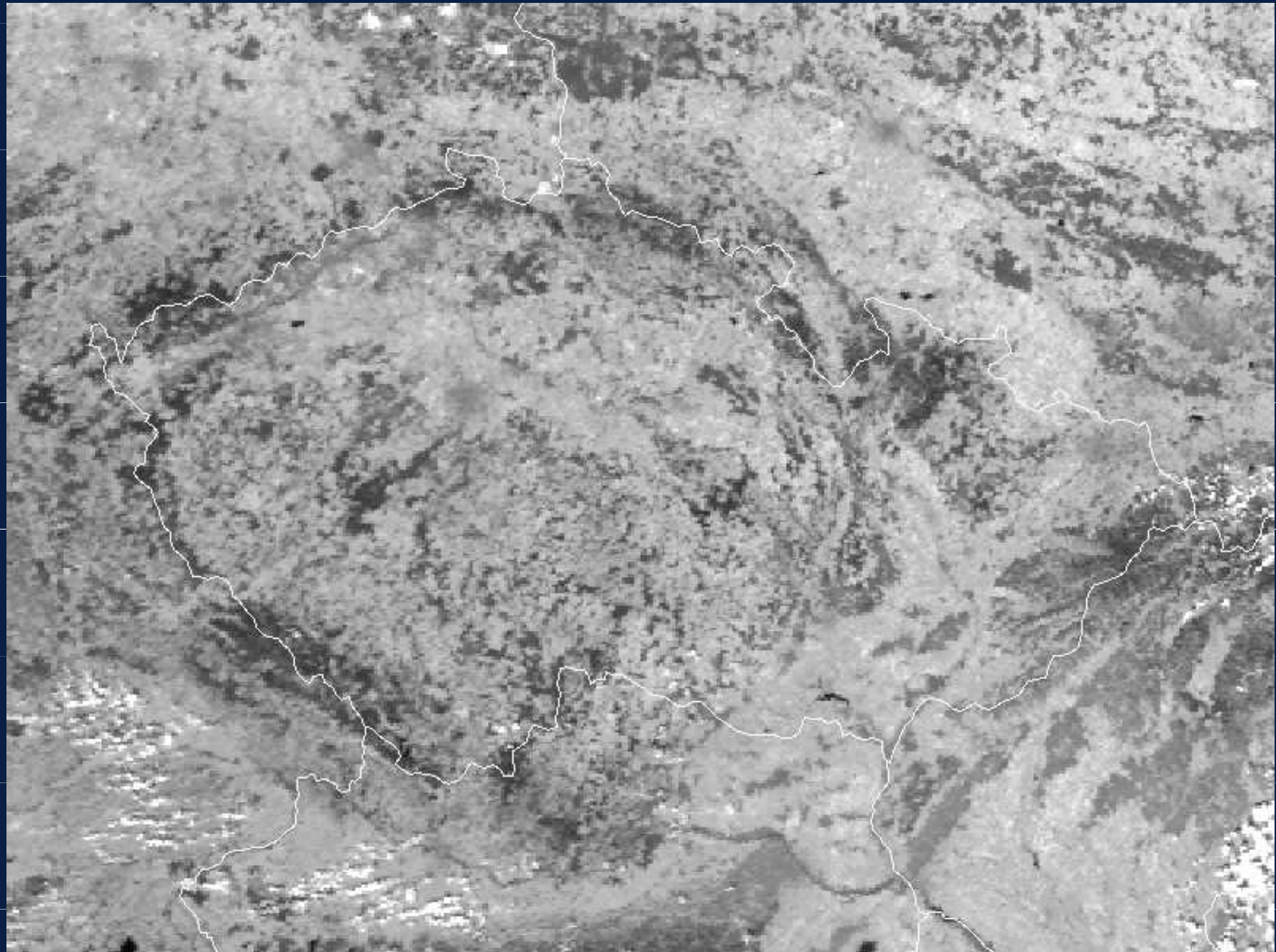
NOAA16 12.9.2002 11:40 UTC

AVHRR/3 kanál 2 (0.7-1.0 μm)



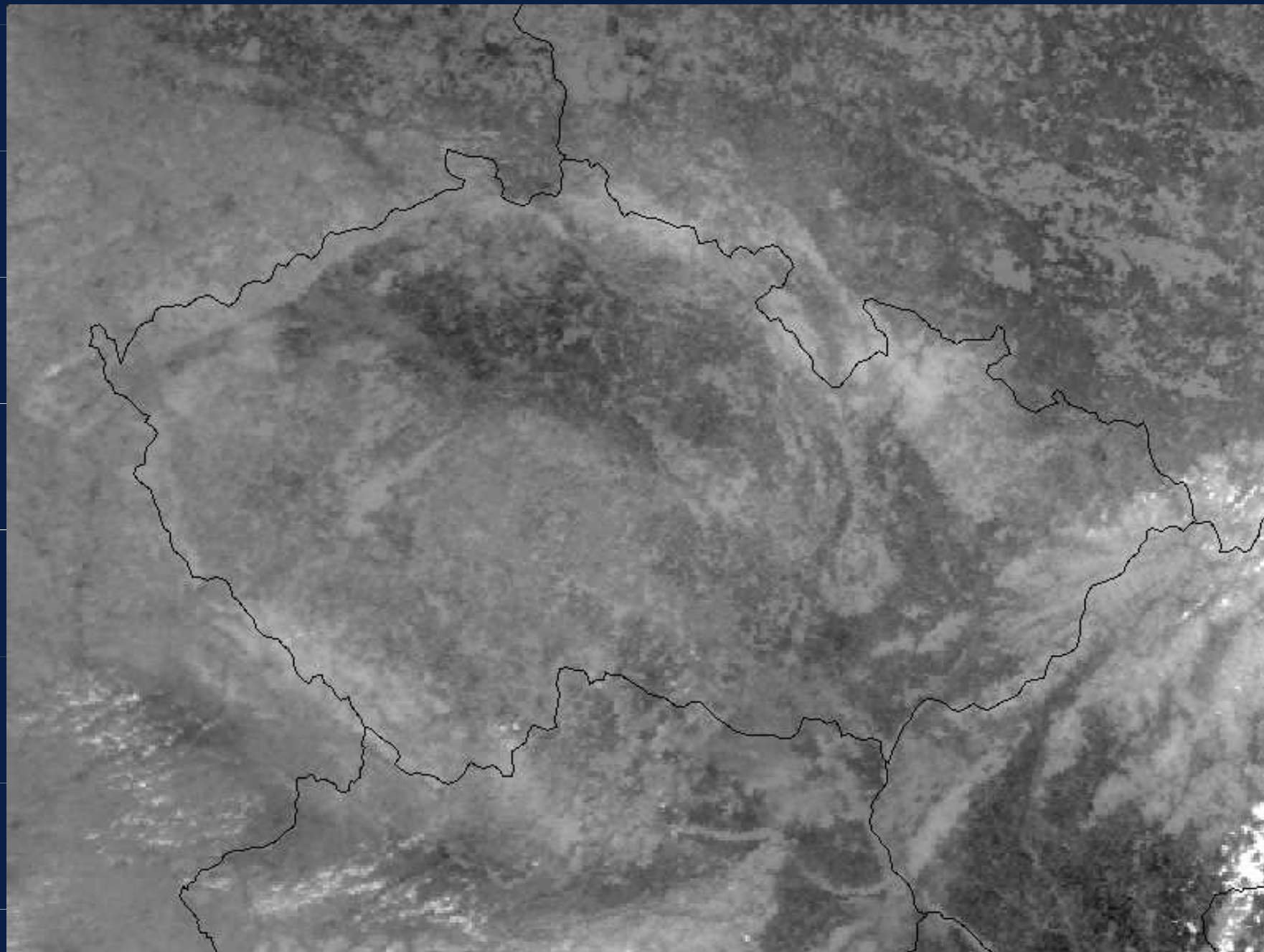
NOAA16 12.9.2002 11:40 UTC

AVHRR/3 kanál 3A (1.58-1.64 μm)



NOAA16 12.9.2002 11:40 UTC

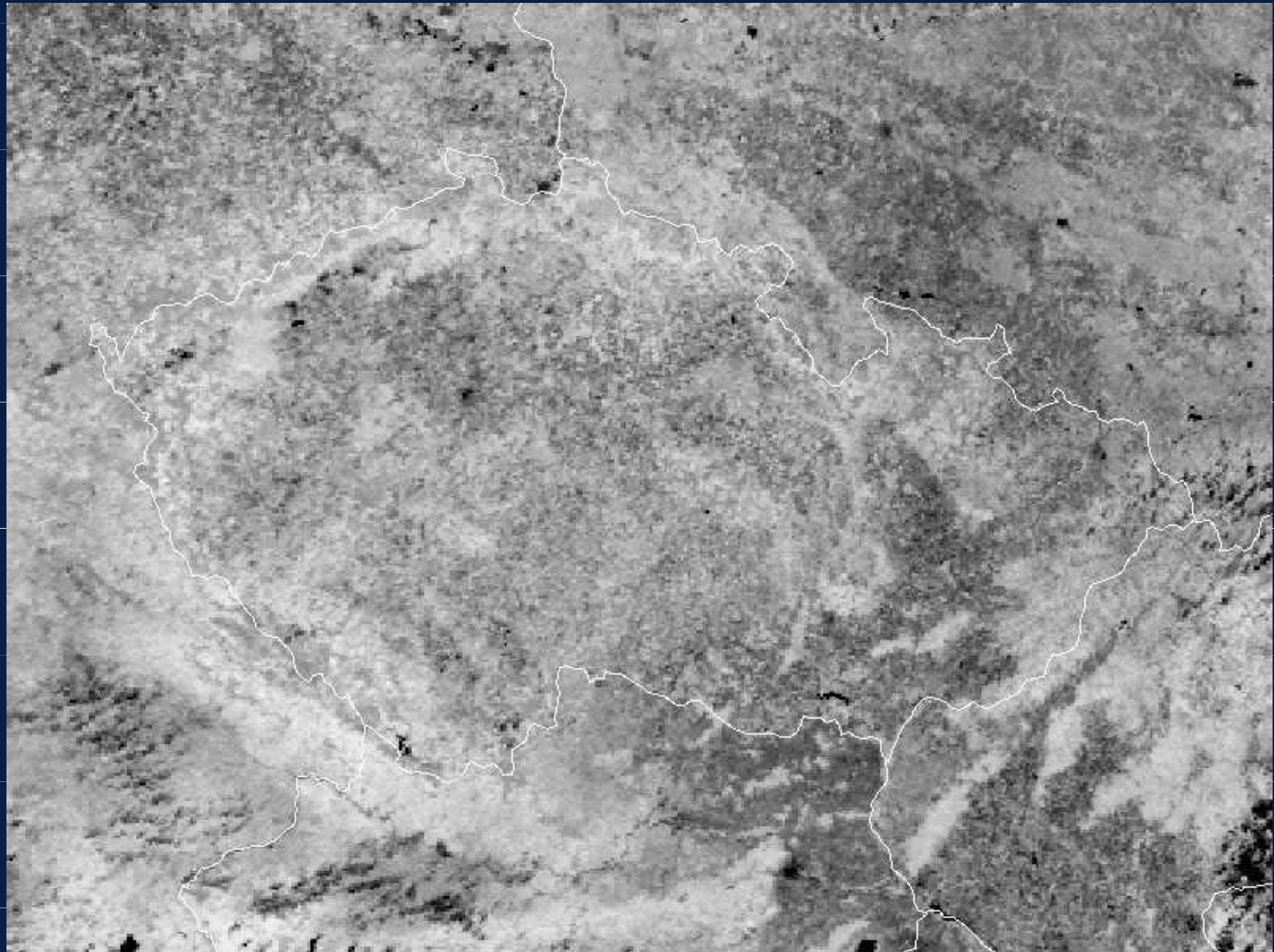
AVHRR/3 kanál 4 (10.2-11.5 μm)



NOAA16 12.9.2002 11:40 UTC

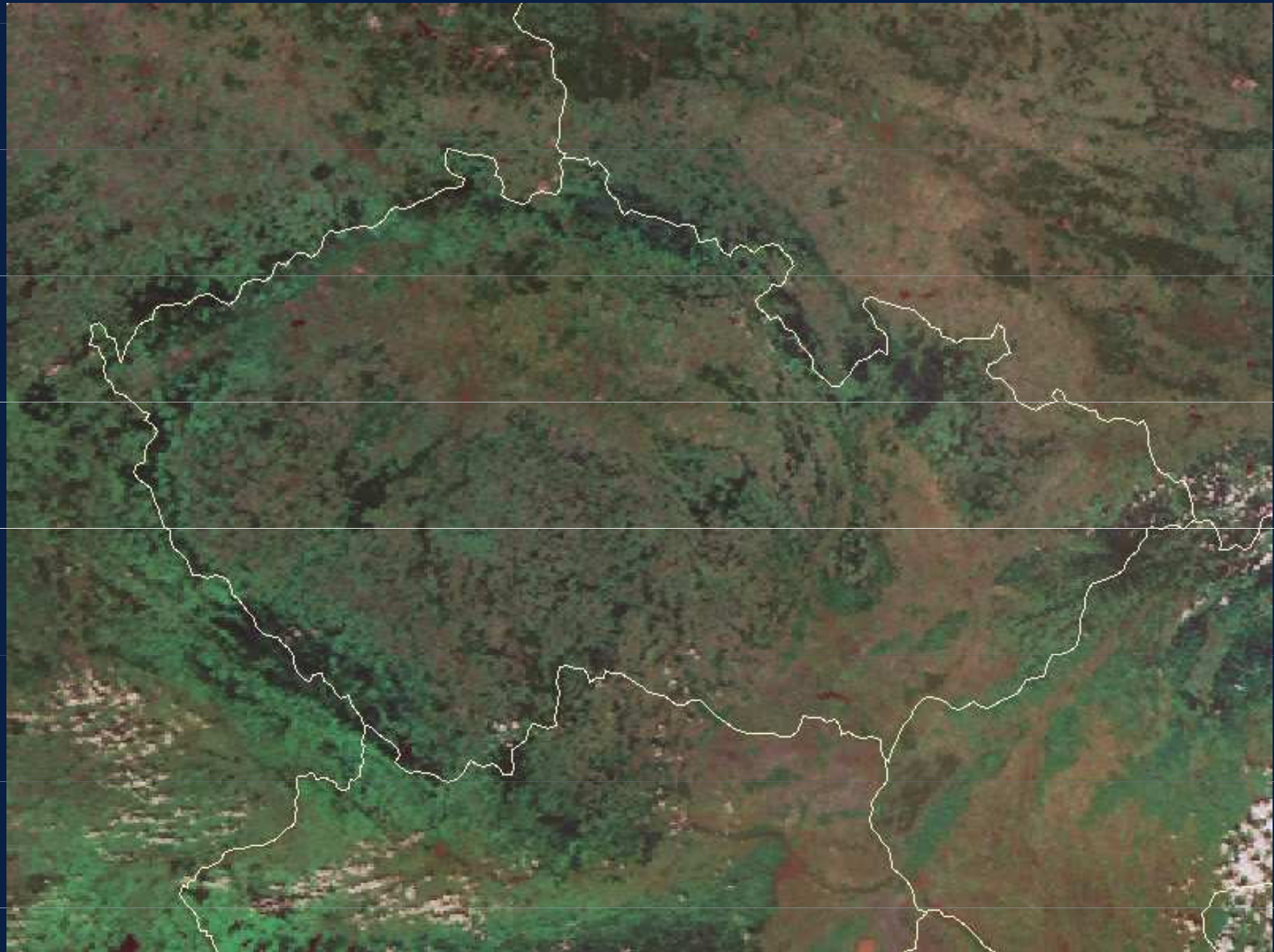
AVHRR/3

normalizovaný vegetační index (NDVI)



NOAA16 12.9.2002 11:40 UTC

AVHRR/3 RGB syntéza kanálů 1, 2, 3A a 4



Spektrální odrazivost různých typů povrchů ve VIS a NIR

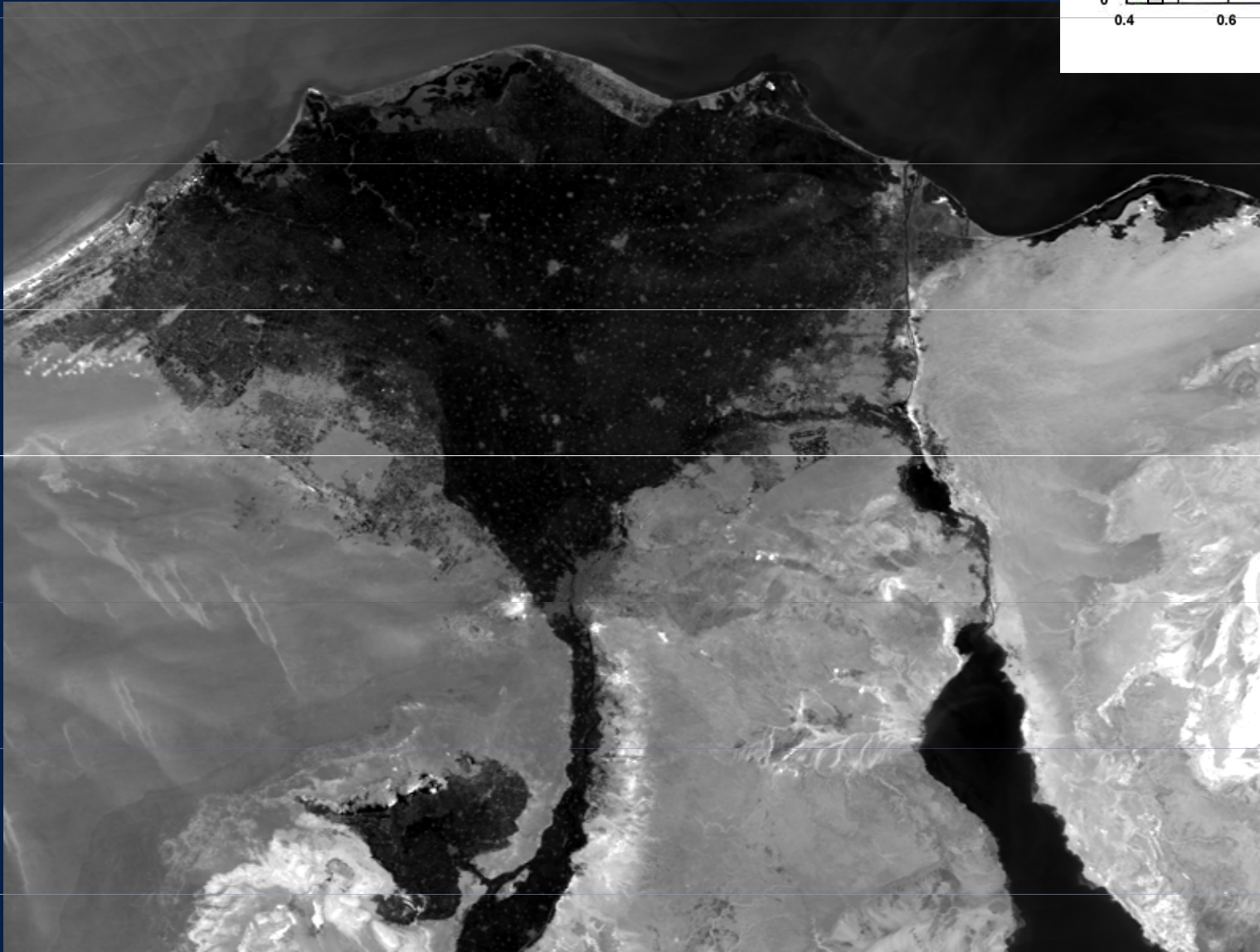
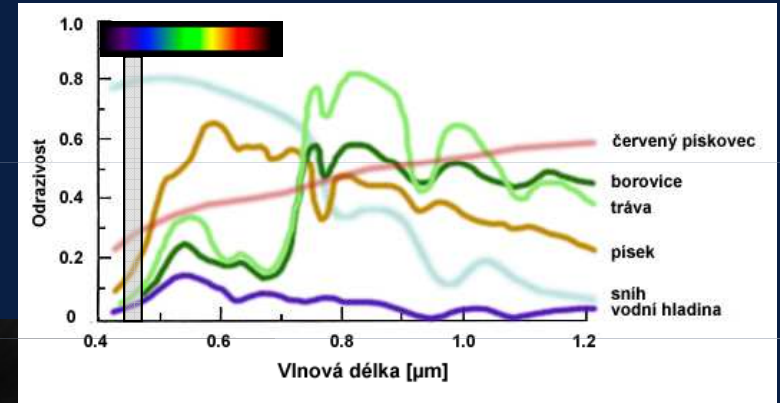
MODIS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

Reflected Solar Bands			Emissive Bands
<i>Aggregated 250 m</i>	<i>Aggregated 500 m</i>	<i>1 km</i>	<i>1 km</i>
■ Band 1 (620-670 nm)	■ Band 3 (459-479 nm)	■ Band 8 (405-420 nm)	■ Band 20 (3.660-3.840 μm)
■ Band 2 (841-876 nm)	■ Band 4 (545-565 nm)	■ Band 9 (438-448 nm)	■ Band 21 (3.929-3.989 μm)
	■ Band 5 (1230-1250 nm)	■ Band 10 (483-493 nm)	■ Band 22 (3.939-3.989 μm)
	■ Band 6 (1628-1652 nm)	■ Band 11 (526-536 nm)	■ Band 23 (4.020-4.080 μm)
	■ Band 7 (2105-2155 nm)	■ Band 12 (546-556 nm)	■ Band 24 (4.433-4.498 μm)
		■ Band 13L (662-672 nm)	■ Band 25 (4.482-4.549 μm)
		■ Band 13H (662-672 nm)	■ Band 27 (6.535-6.895 μm)
		■ Band 14L (673-683 nm)	■ Band 28 (7.175-7.475 μm)
		■ Band 14H (673-683 nm)	■ Band 29 (8.400-8.700 μm)
		■ Band 15 (743-753 nm)	■ Band 30 (9.580-9.880 μm)
		■ Band 16 (862-877 nm)	■ Band 31 (10.780-11.280 μm)
		■ Band 17 (890-920 nm)	■ Band 32 (11.770-12.270 μm)
		■ Band 18 (931-941 nm)	■ Band 33 (13.185-13.485 μm)
		■ Band 19 (915-965 nm)	■ Band 34 (13.485-13.785 μm)
		■ Band 26 (1.360-1.390 μm)	■ Band 35 (13.785-14.085 μm)
			■ Band 36 (14.085-14.385 μm)

(družice NASA EOS Terra a Aqua)

Spektrální odrazivost různých typů povrchů ve VIS a NIR – MODIS/Aqua

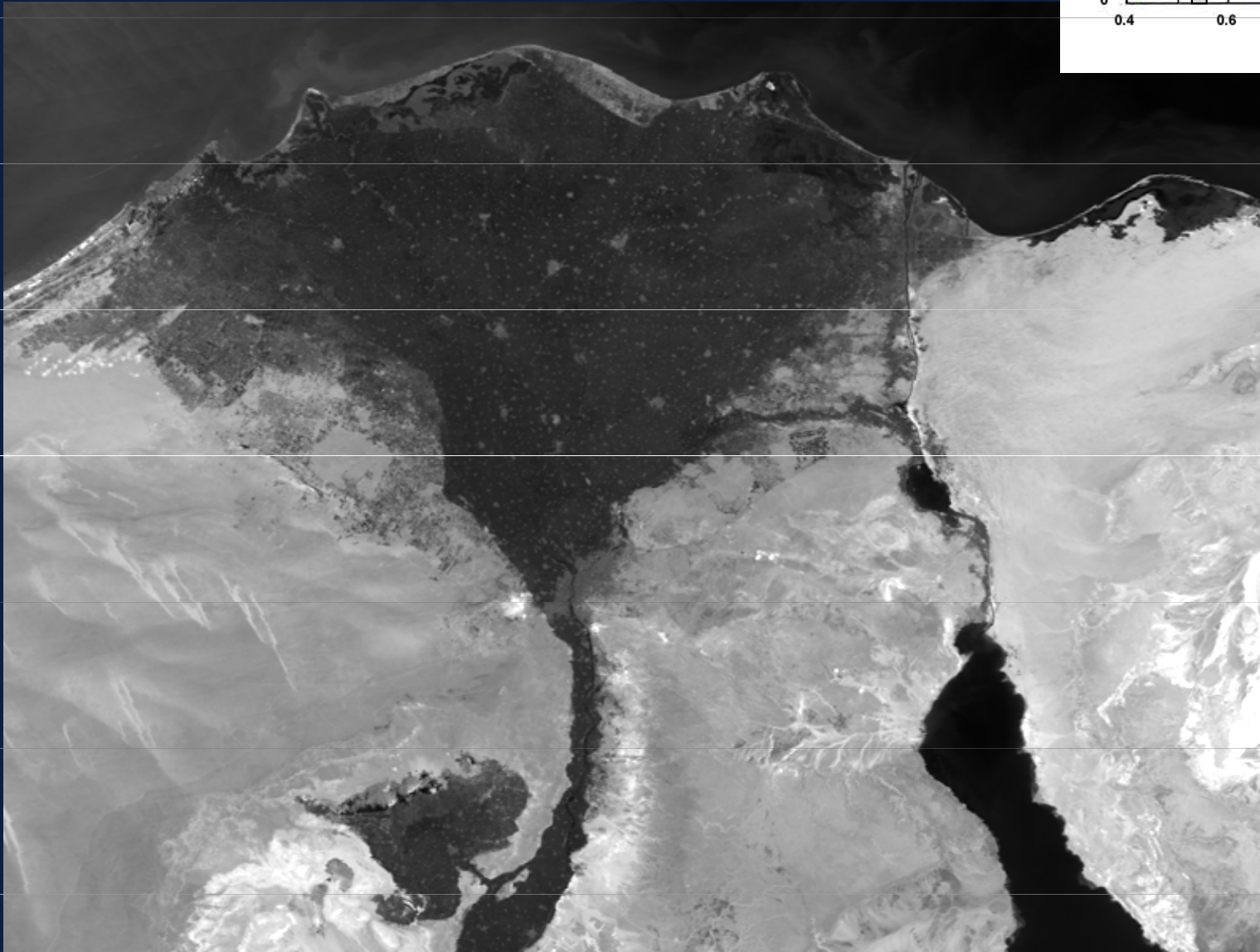
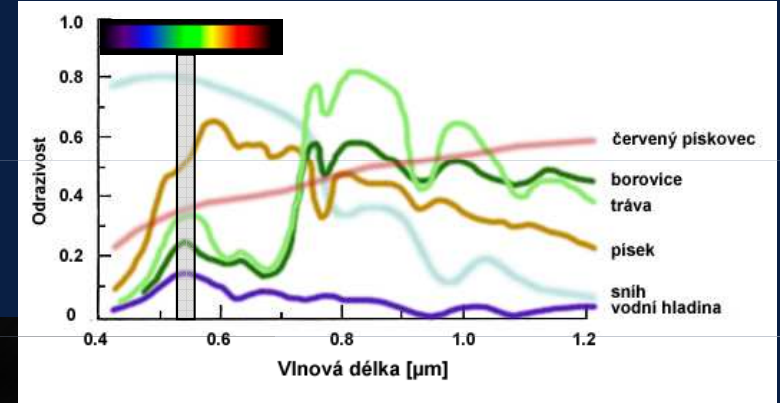
kanál 3 (0.459-0.479 μm)



2003-06-28 1105 UTC

Spektrální odrazivost různých typů povrchů ve VIS a NIR – MODIS/Aqua

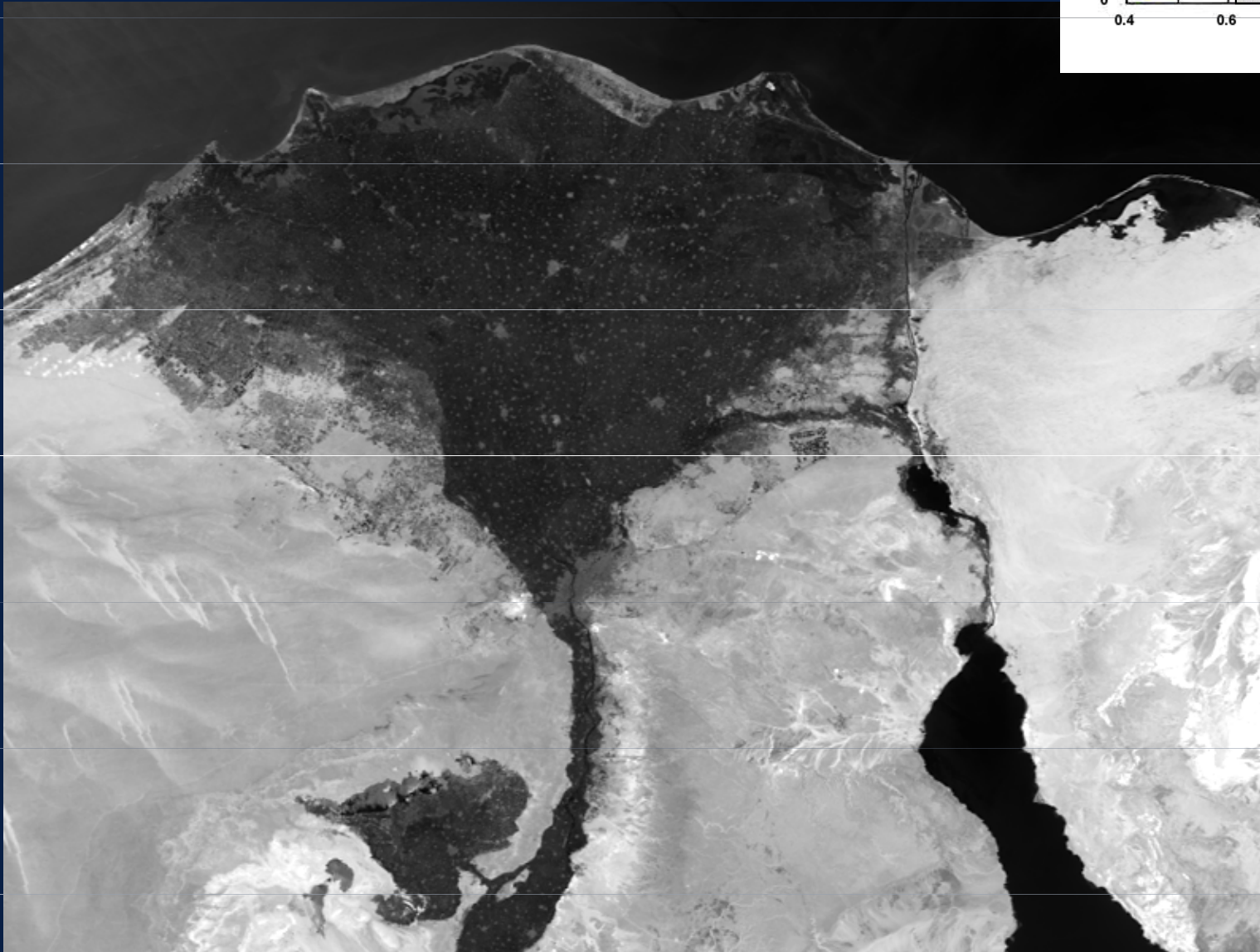
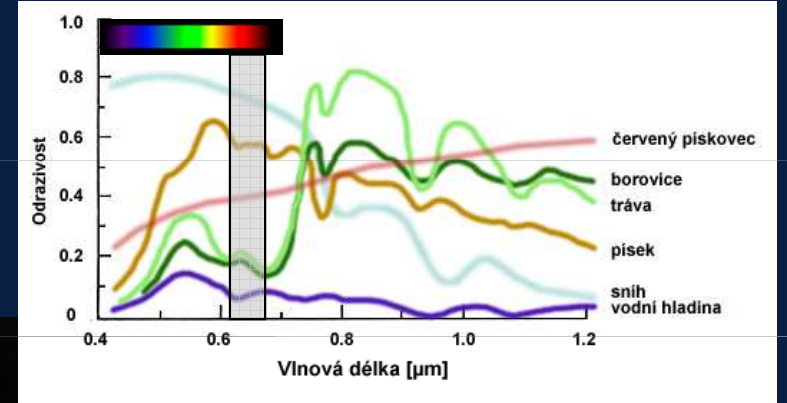
kanál 4 (0.545-0.565 μm)



2003-06-28 1105 UTC

Spektrální odrazivost různých typů povrchů ve VIS a NIR – MODIS/Aqua

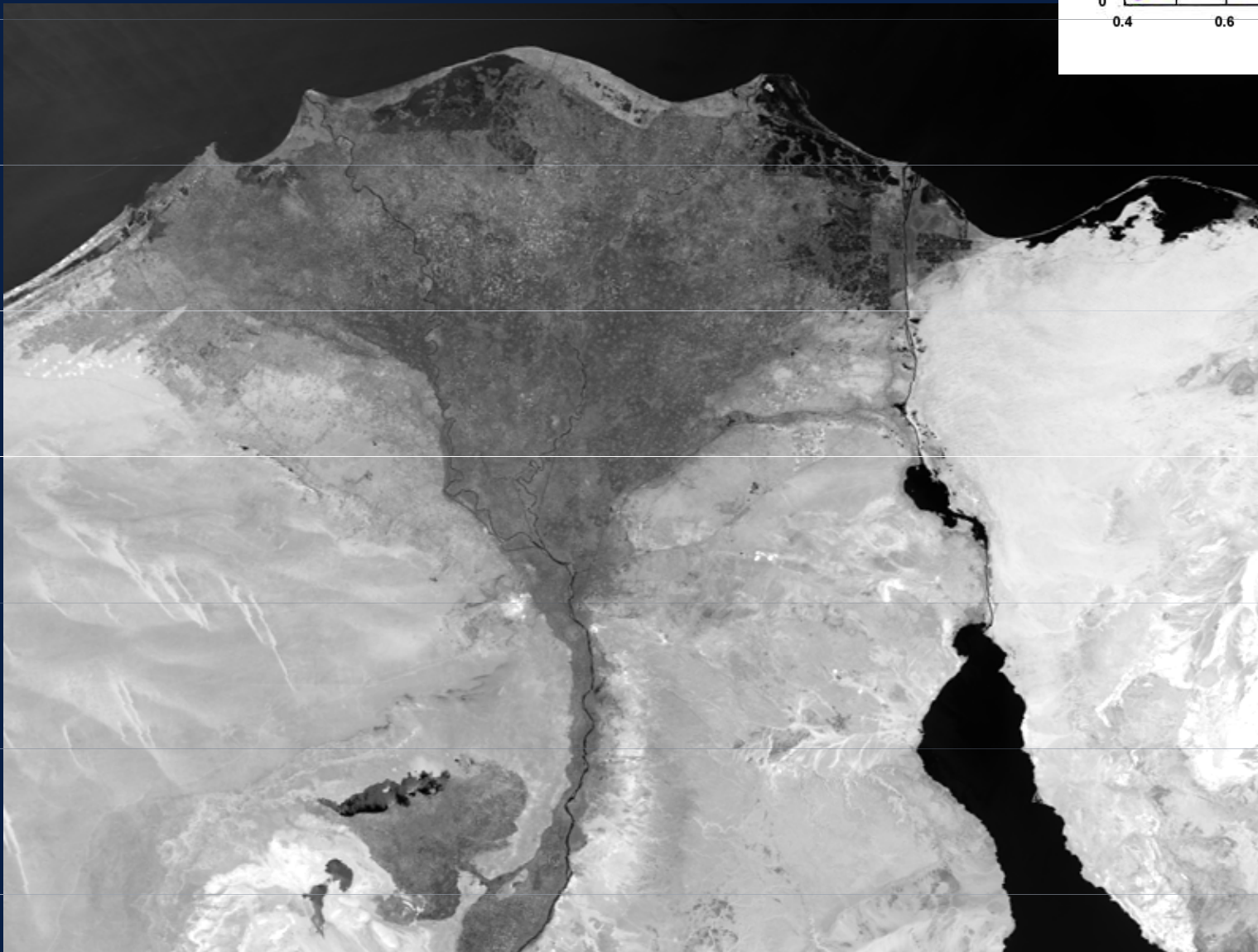
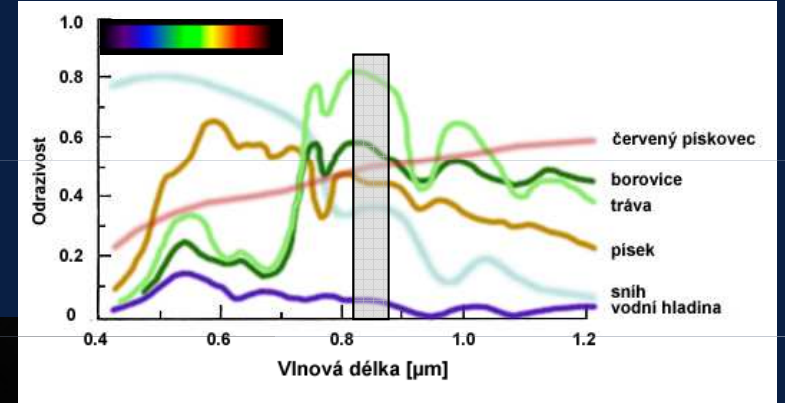
kanál 1 (0.620-0.670 μm)



2003-06-28 1105 UTC

Spektrální odrazivost různých typů povrchů ve VIS a NIR – MODIS/Aqua

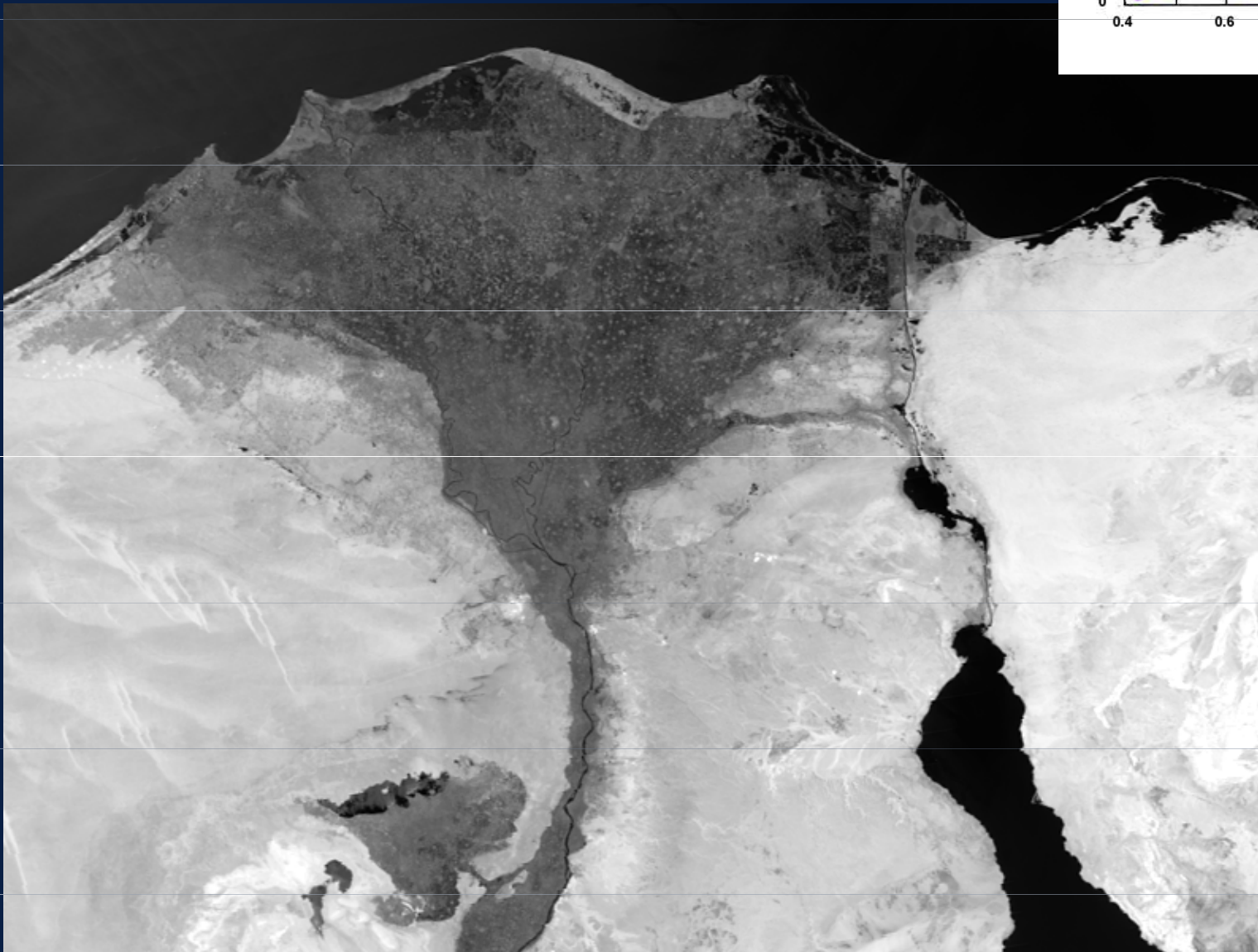
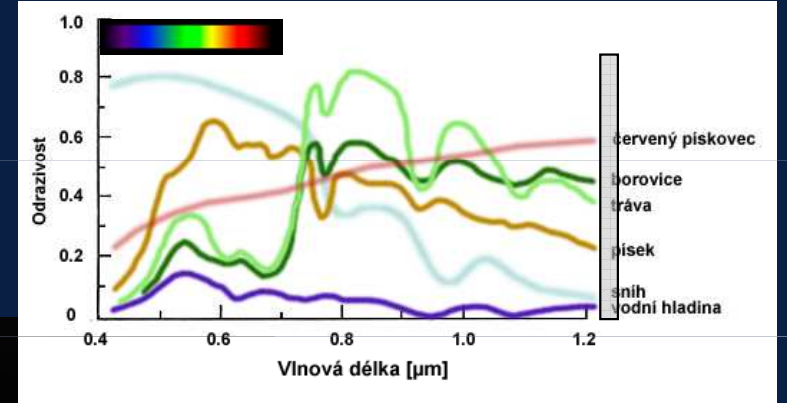
kanál 2 (0.841-0.876 μm)



2003-06-28 1105 UTC

Spektrální odrazivost různých typů povrchů ve VIS a NIR – MODIS/Aqua

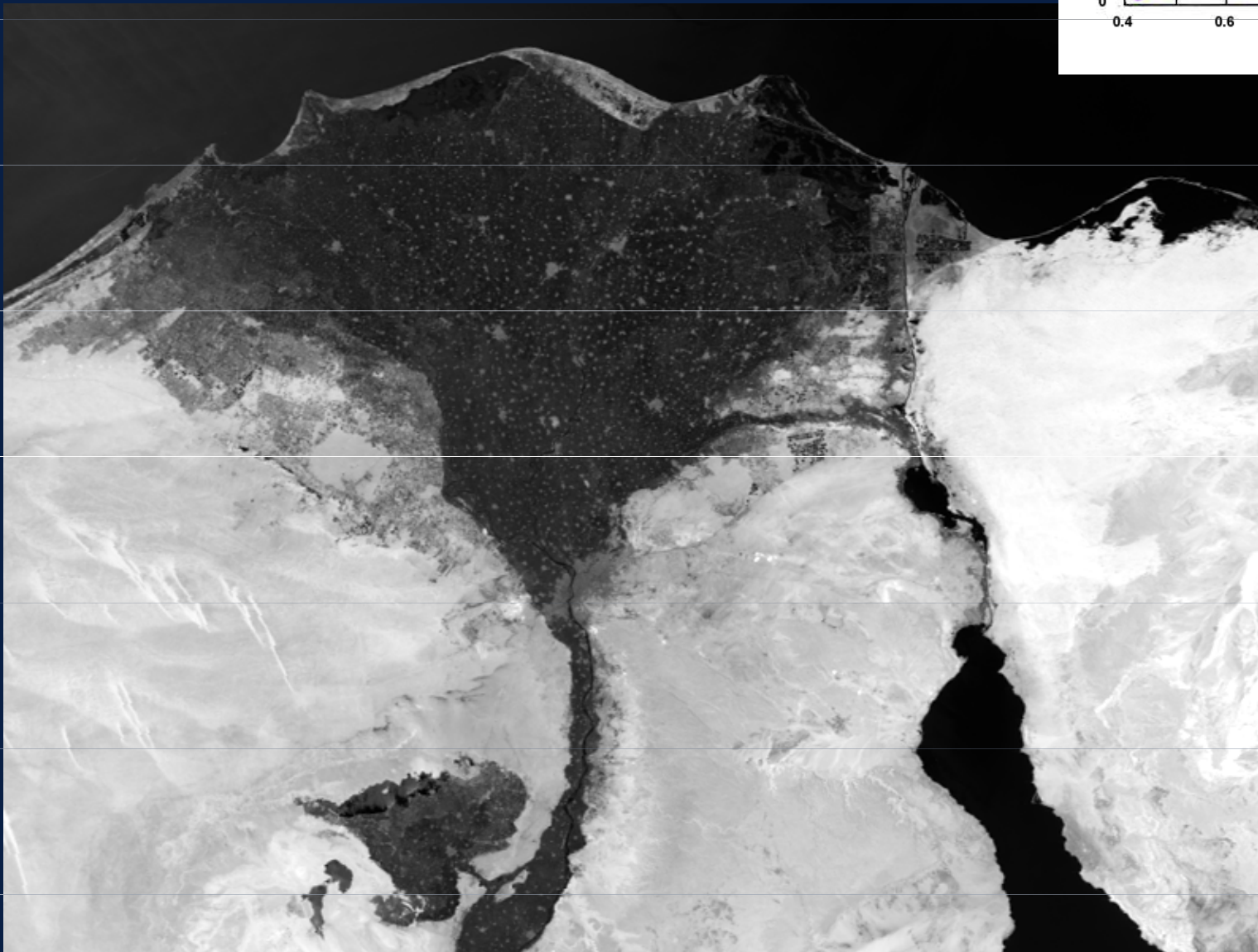
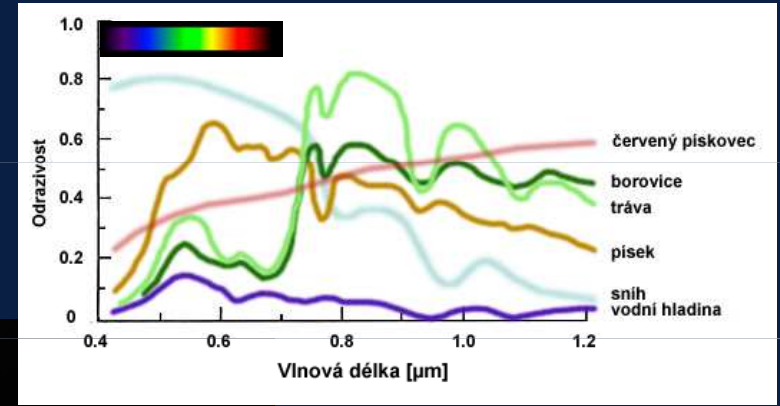
kanál 5 (1.230-1.250 μm)



2003-06-28 1105 UTC

Spektrální odrazivost různých typů povrchů ve VIS a NIR – MODIS/Aqua

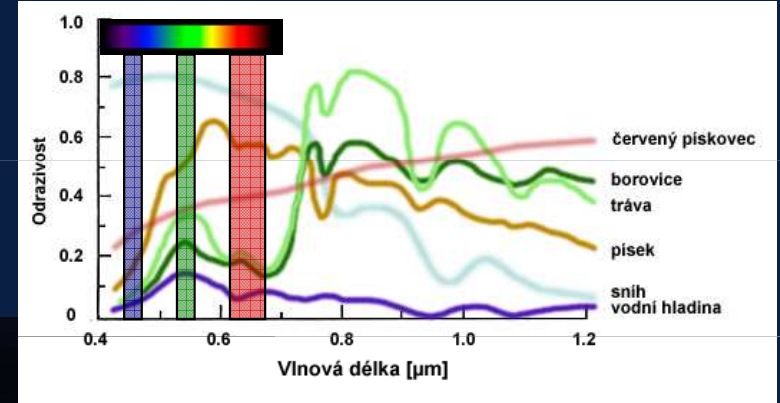
kanál 7 (2.105-2.155 μm)



2003-06-28 1105 UTC

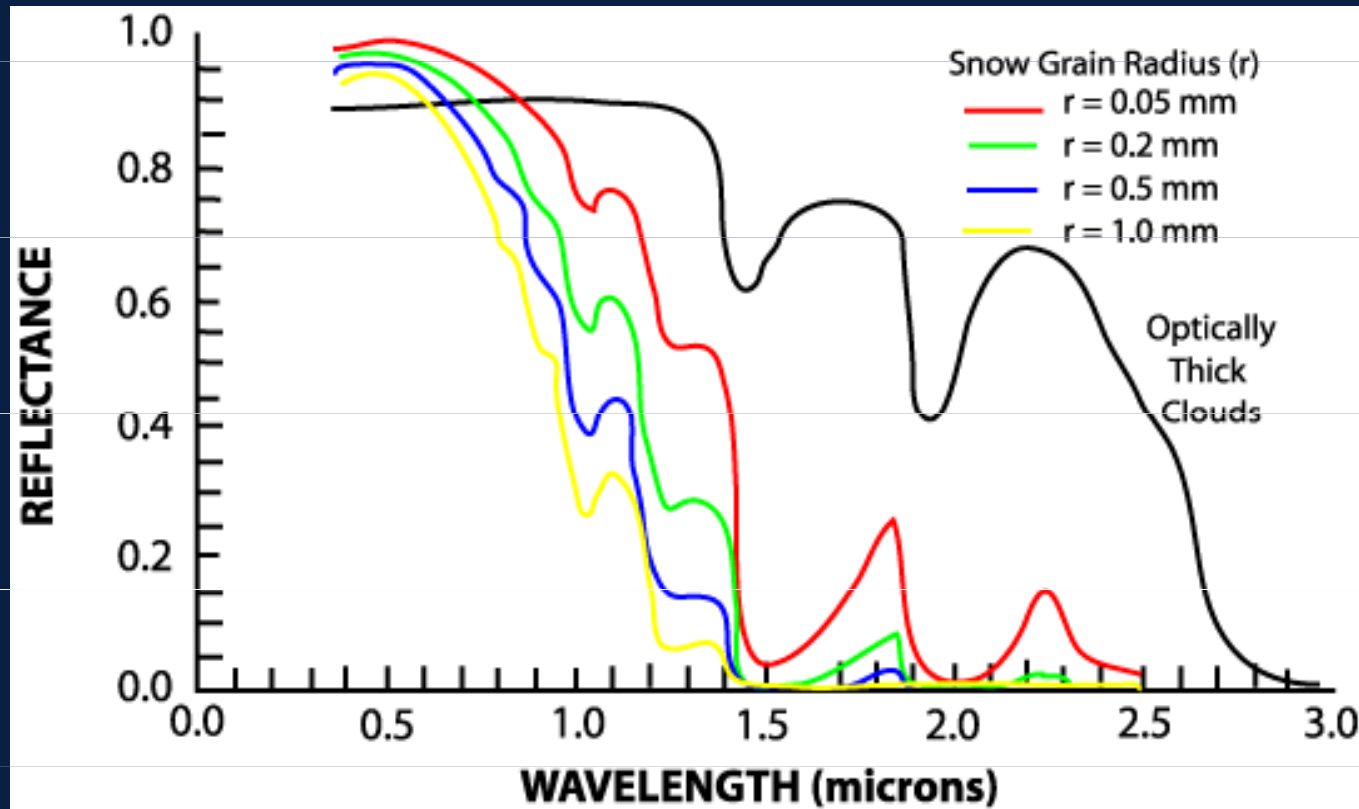
Spektrální odrazivost různých typů povrchů ve VIS a NIR – MODIS/Aqua

kanál 1 + 4 + 3 (RGB)



2003-06-28 1105 UTC

Spektrální odrazivost sněhu (a ledu) ve VIS a NIR



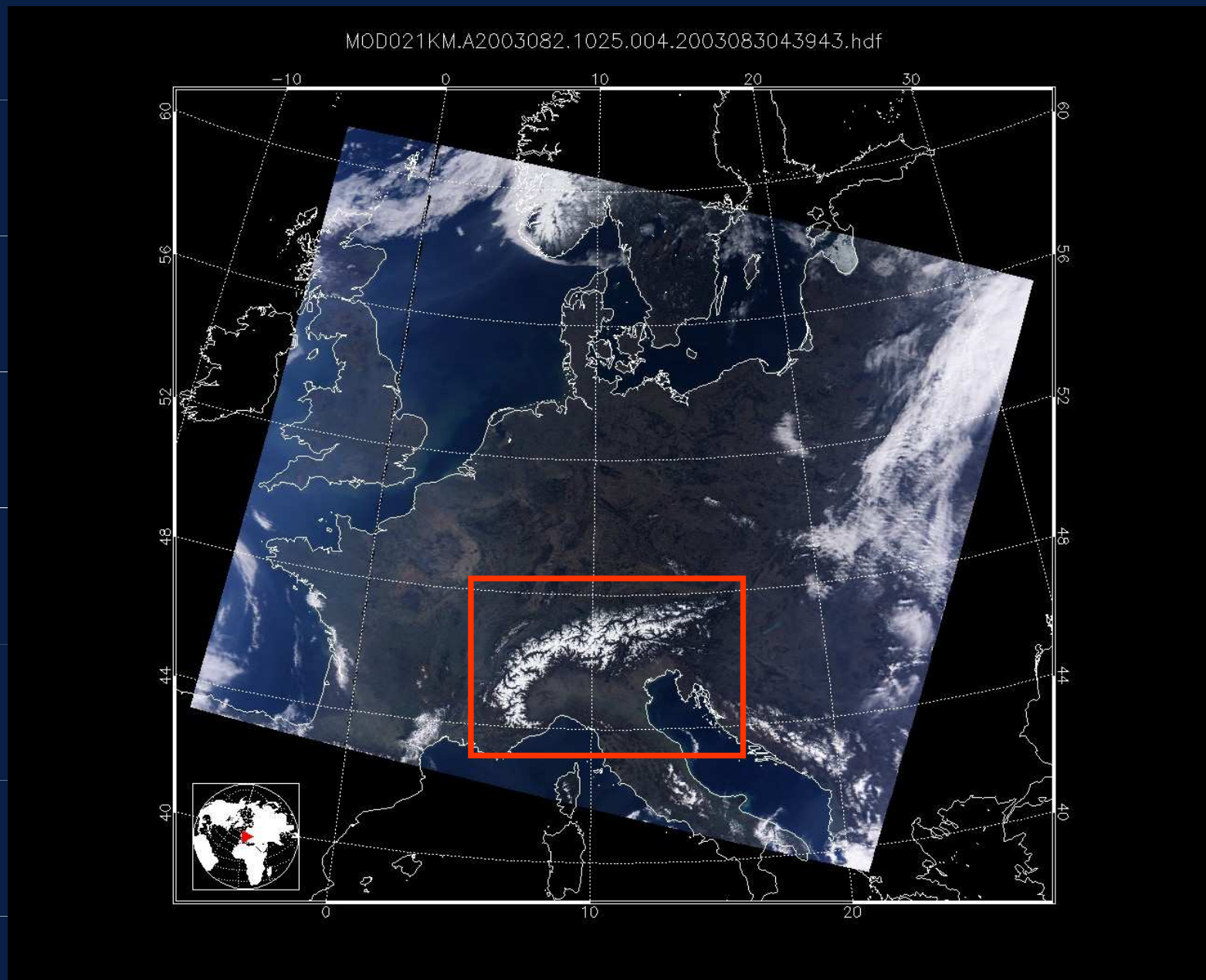
Odrazivost sněhu výrazně klesá v NIR oboru (závislost na konkrétní vlnové délce a charakteru sněhové pokrývky, není monotónní funkcí), celkově od cca $1.5 \mu\text{m}$ velmi nízká (» např. využití pro odlišení sněhové pokrývky od nízké oblačnosti).

Spektrální pásma – atmosférická okna, pásma absorpce

Kromě vlastností konkrétního povrchu (odrazivosti, emisivity, teploty, mikrofyzikálního složení oblačnosti, ...) má na vzhled snímku významný vliv i charakter spektrálního pásma (kanálu), ve kterém danou scénu pozorujeme – zda využíváme kanálu v atmosférickém okně, nebo zda se uplatňuje absorpce, resp. emise některou z plynných složek atmosféry (vodní pára, ozón, CO₂, ...).

Atmosférické okno – určitá oblast elektromagnetického záření, ve které nedochází k absorpci procházejícího záření (resp. jeho emisi) některou z plynných složek atmosféry.

Spektrální pásma – atmosférická okna, pásma absorpce

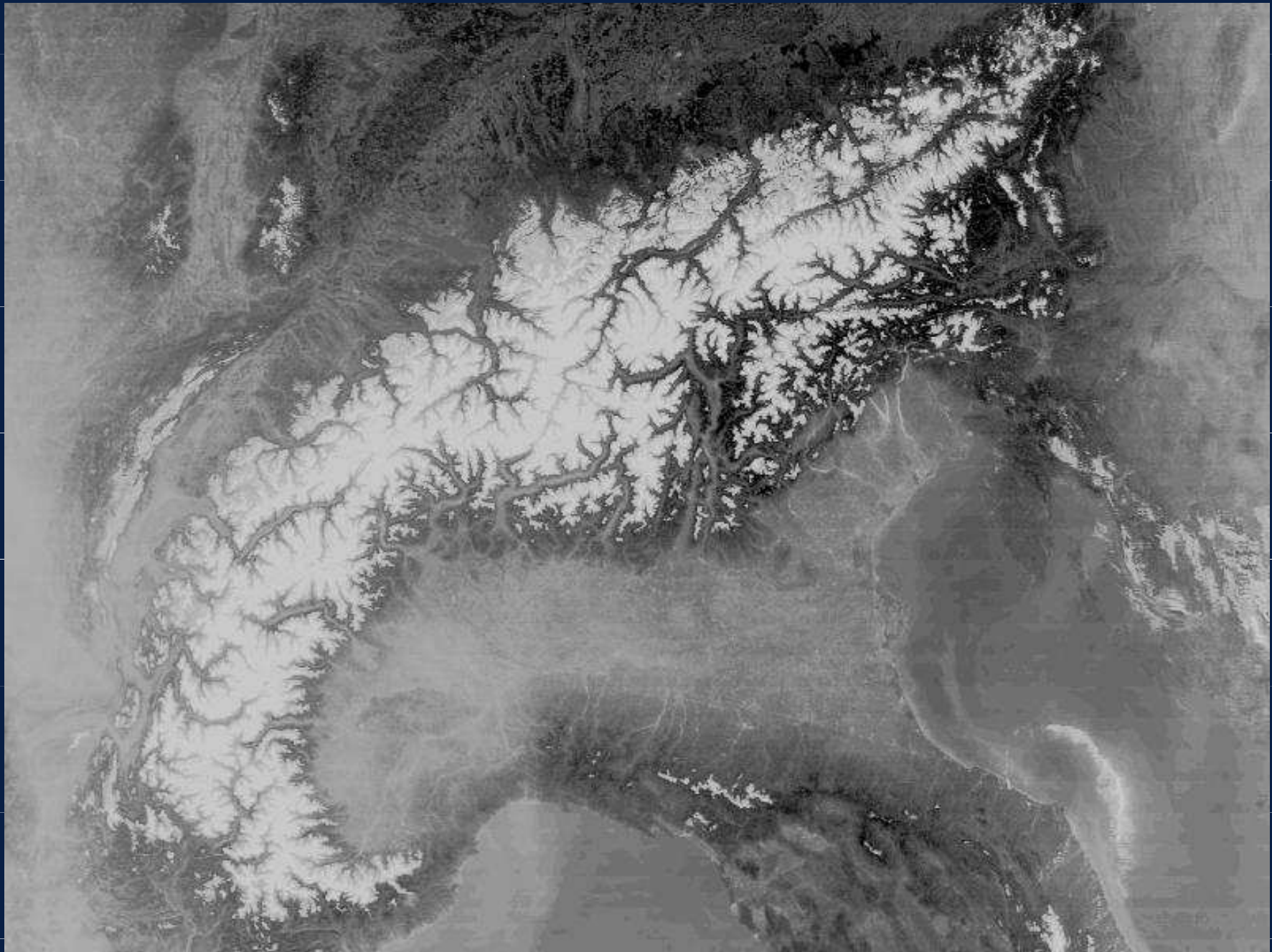


MODIS/Terra

2003-03-23

10:25 - 10:30 UTC

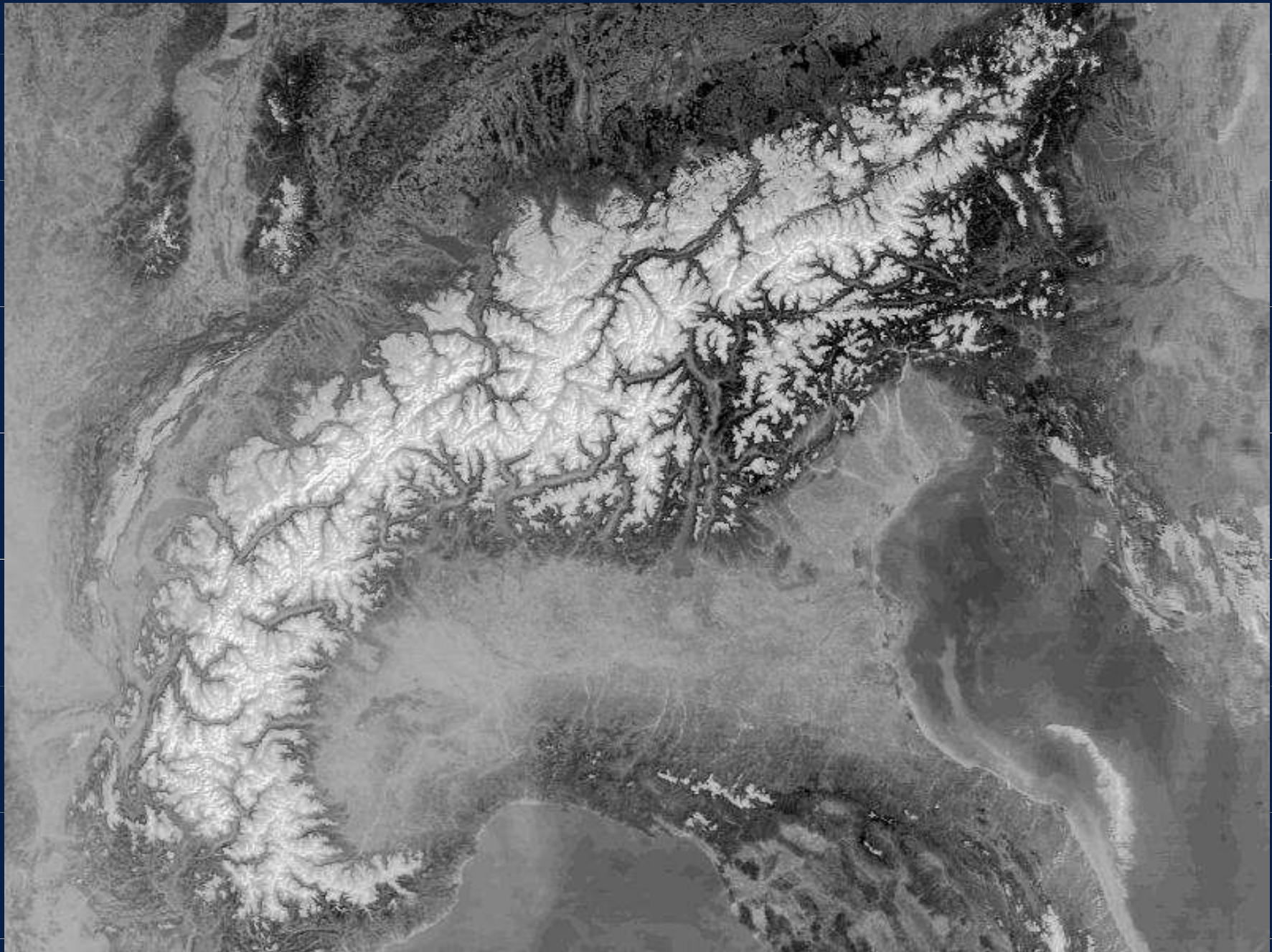
MODIS Terra, kanál 8 (0.405-0.420 μm)



MODIS Terra, kanál 9 (0.438-0.448 μm)



MODIS Terra, kanál 3 (0.459-0.479 μm)



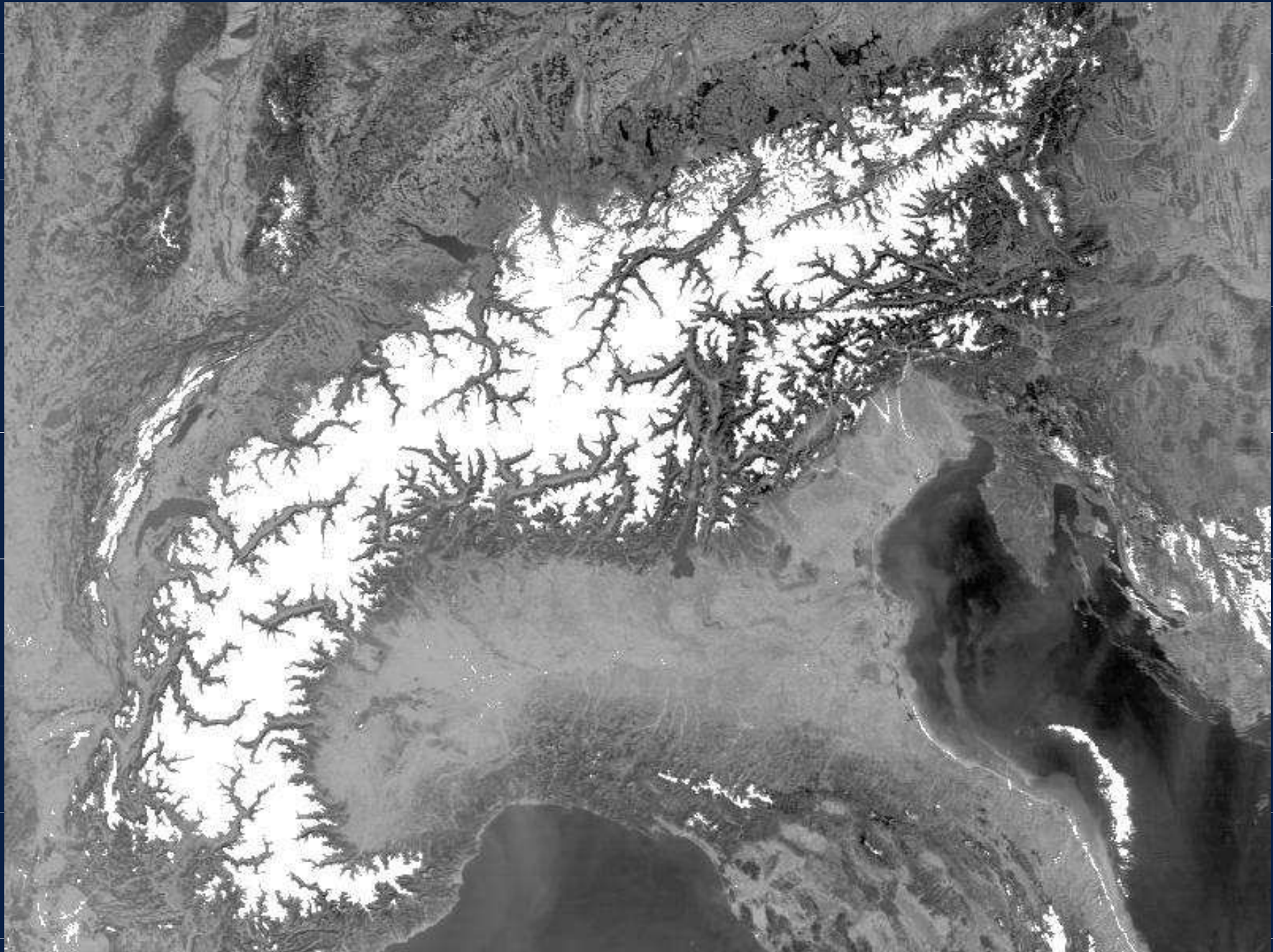
MODIS Terra, kanál 10 (0.483-0.493 μm)



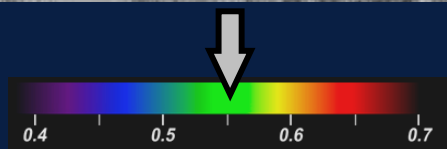
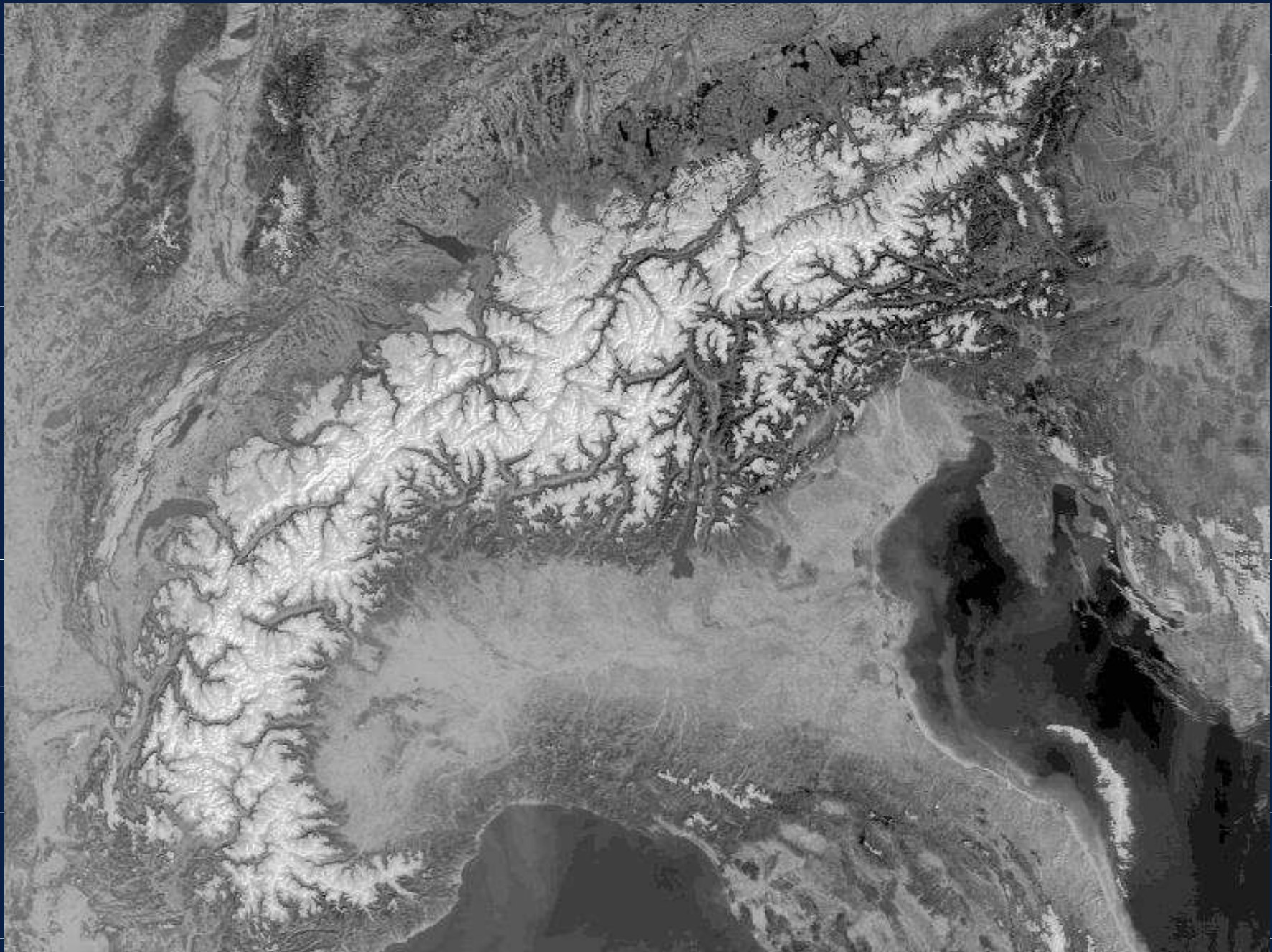
MODIS Terra, kanál 11 (0.526-0.536 μm)



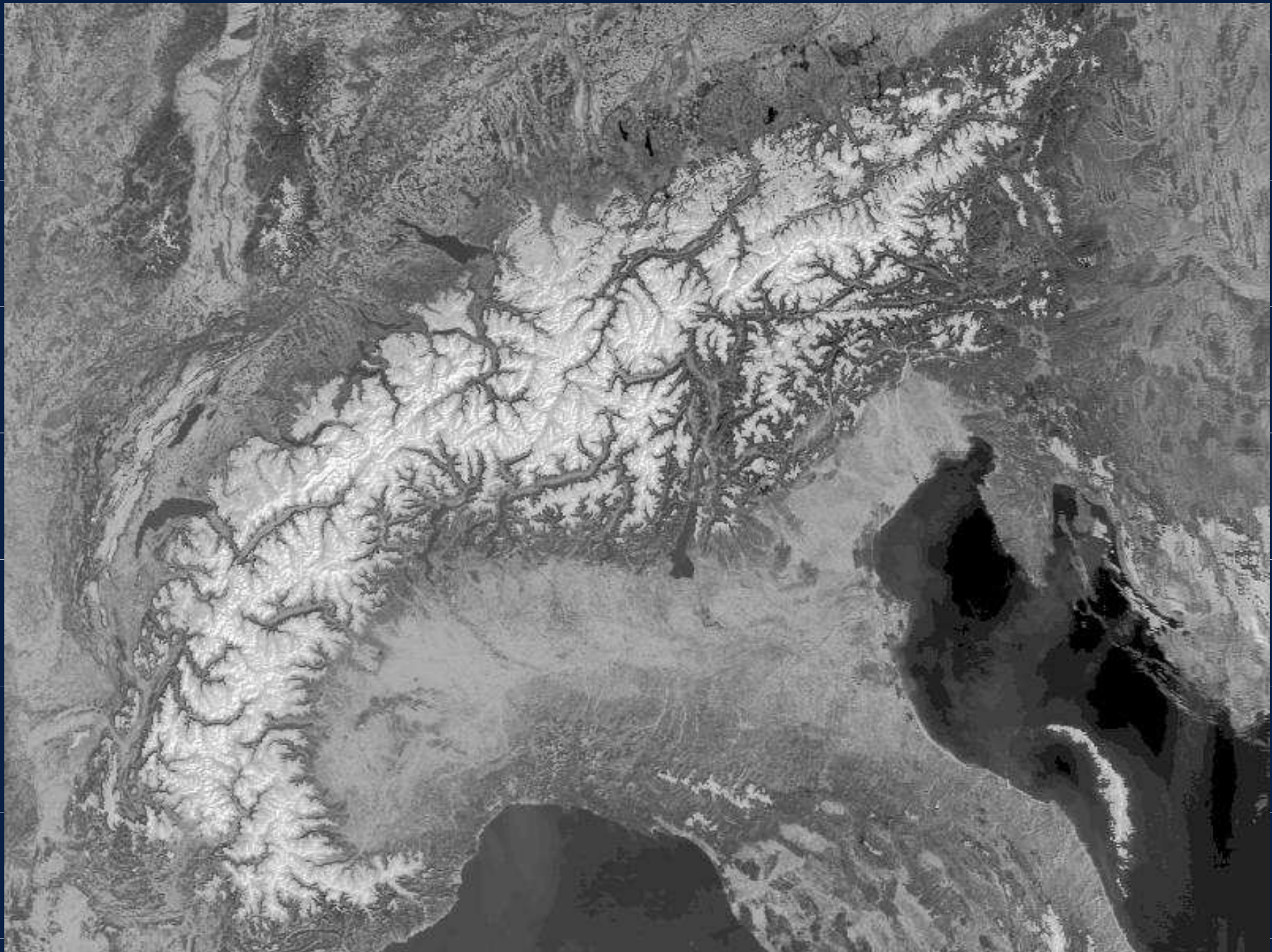
MODIS Terra, kanál 12 (0.546-0.556 μm)



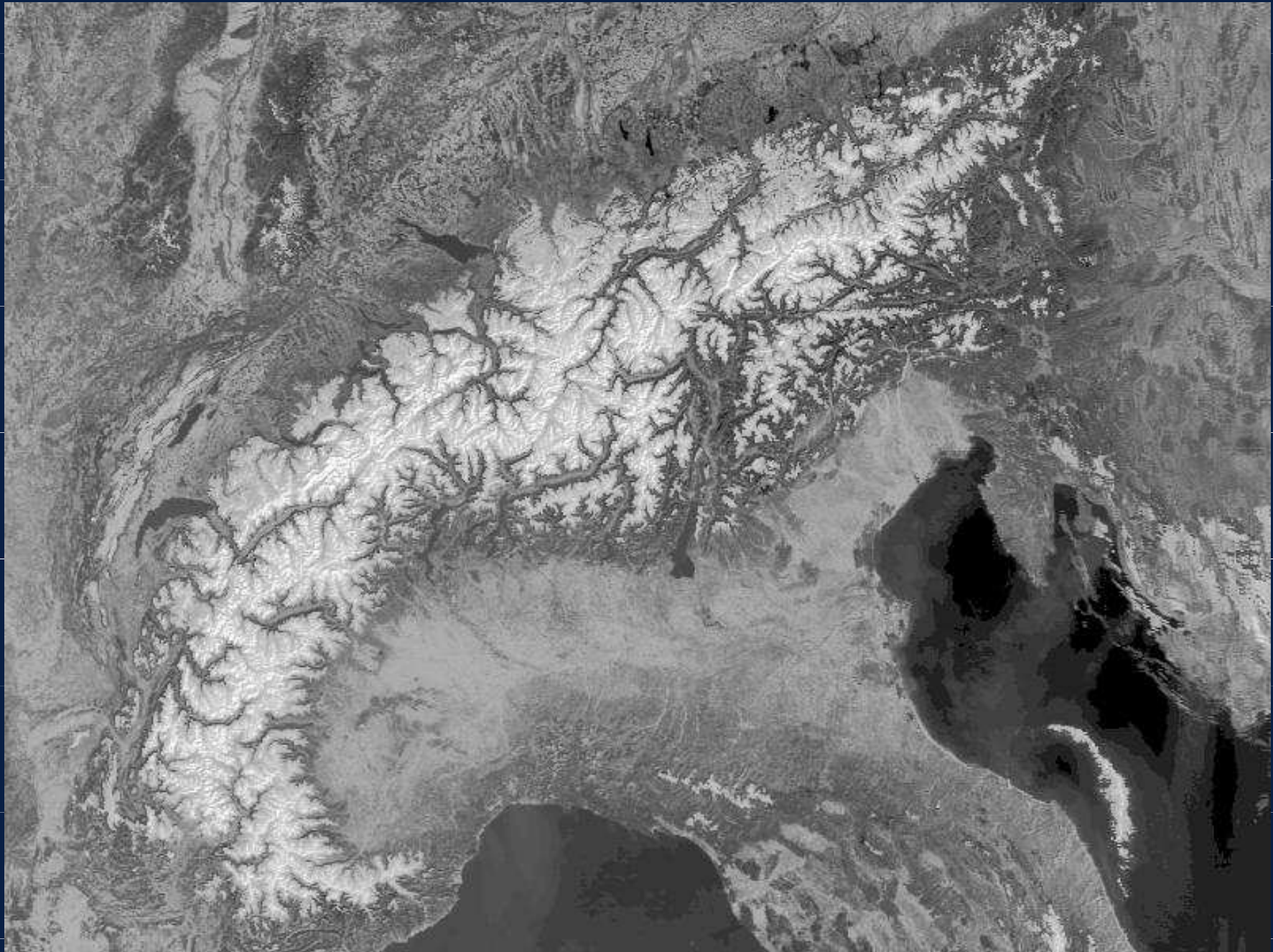
MODIS Terra, kanál 4 (0.545-0.565 μm)



MODIS Terra, kanál 1 (0.620-0.670 μm)



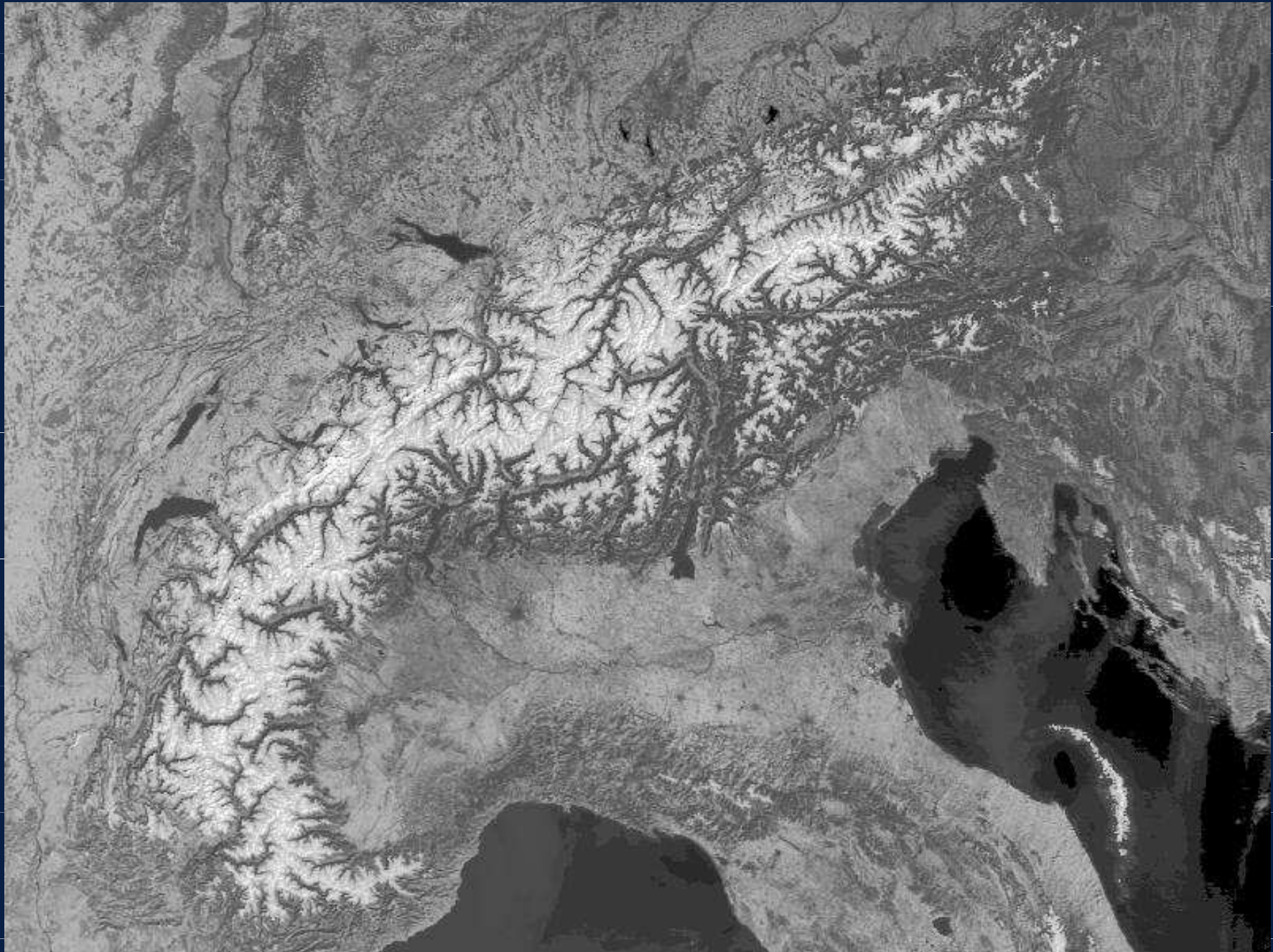
MODIS Terra, kanál 1 (0.620-0.670 μm)



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



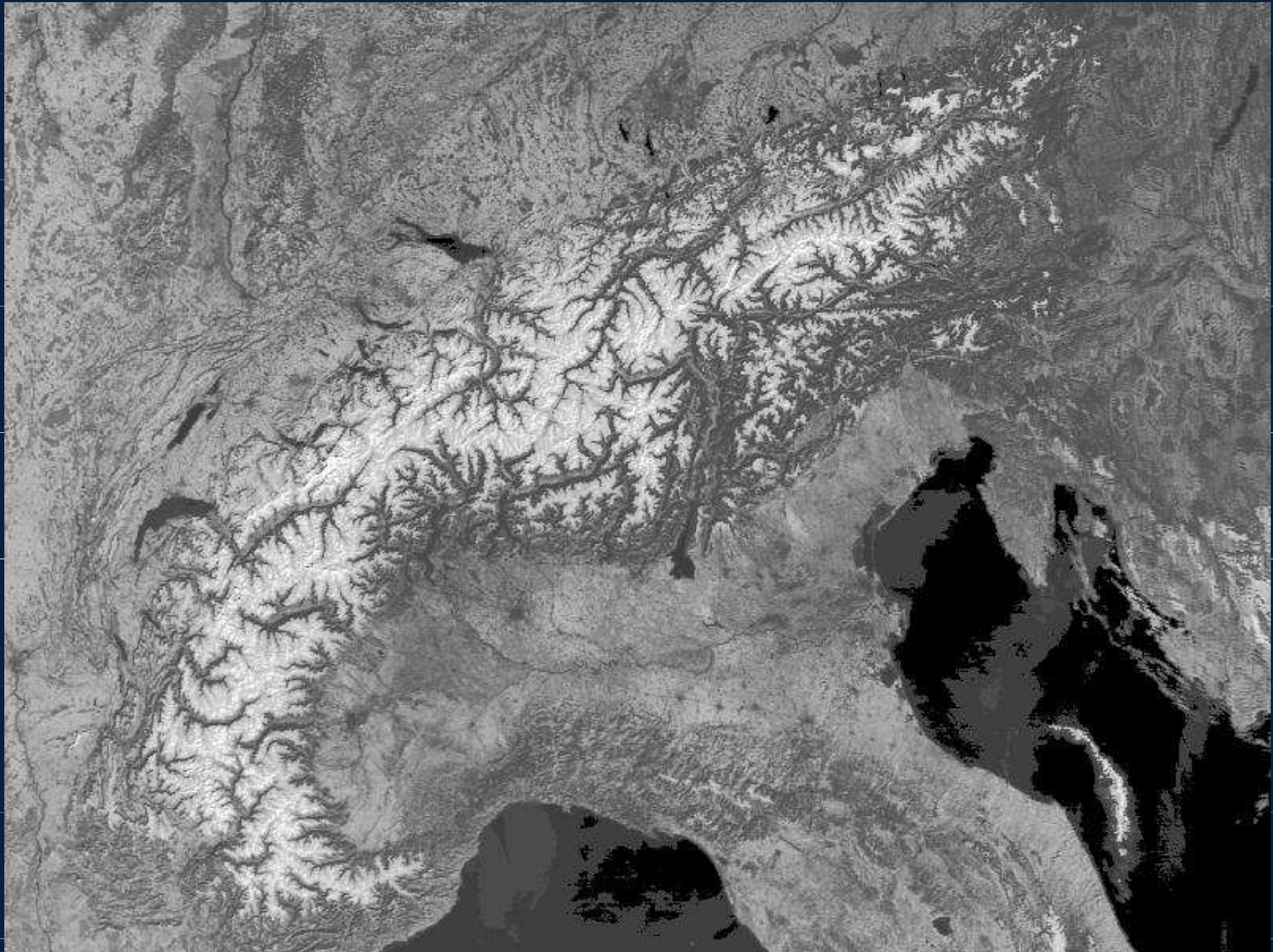
MODIS Terra, kanál 2 (0.841-0.876 μm)



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

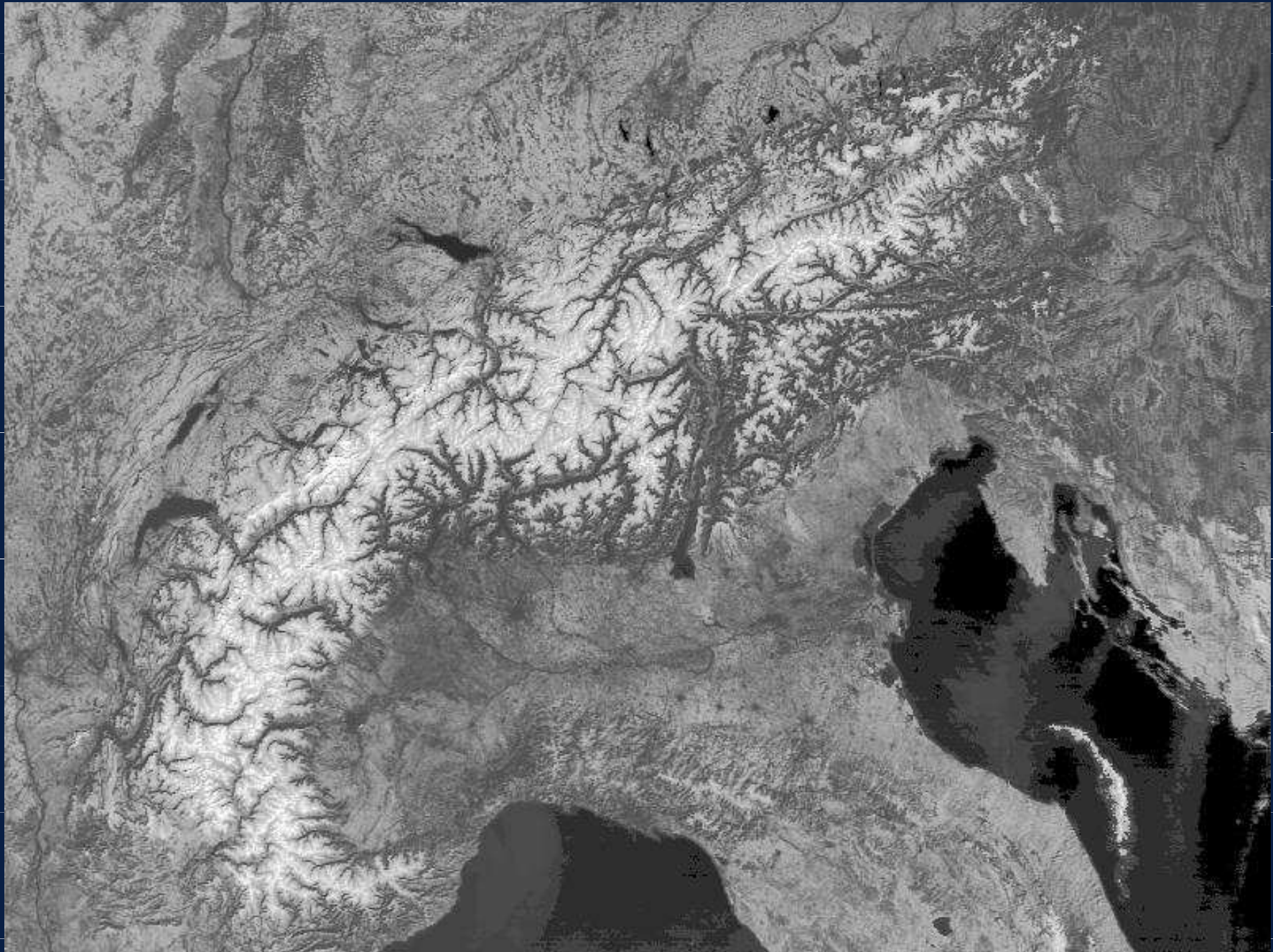


MODIS Terra, kanál 17 (0.890-0.920 μm)



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

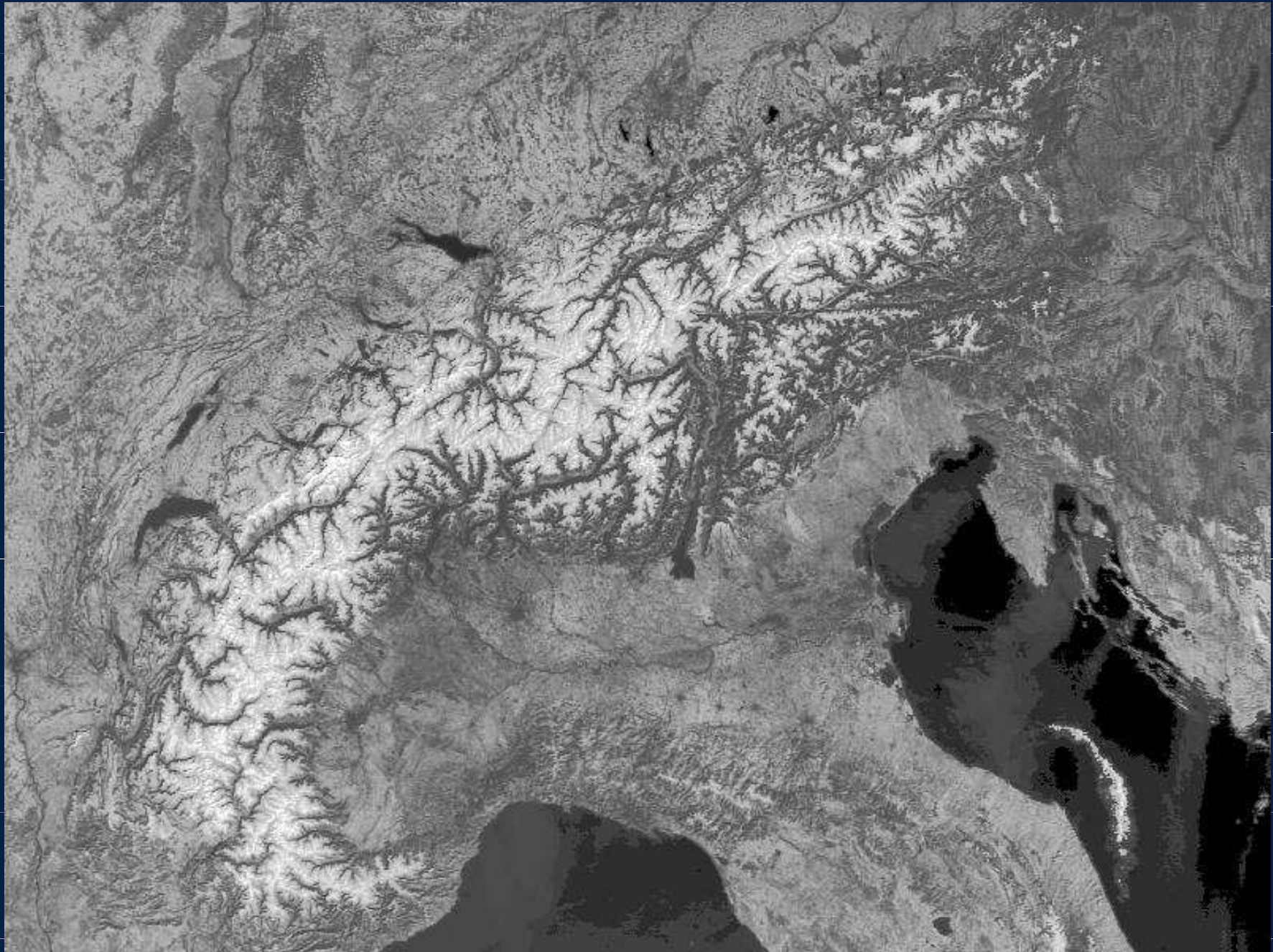
MODIS Terra, kanál 18 (0.931-0.941 μm)



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



MODIS Terra, kanál 19 (0.915-0.965 μm)



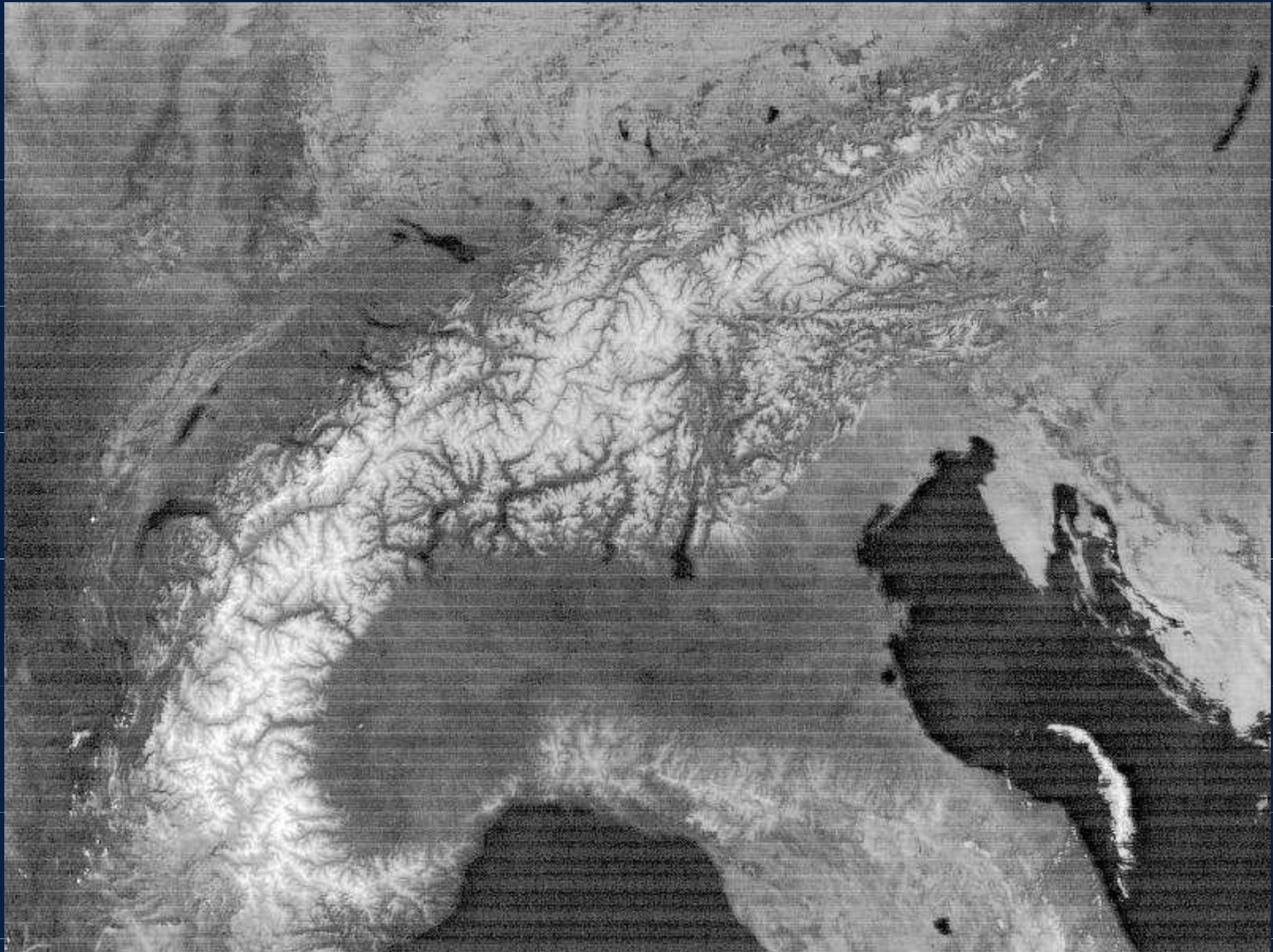
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 5 (1.230-1.250 μm)



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 26 (1.360-1.390 μm)



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 6 (1.628-1.652 μm)



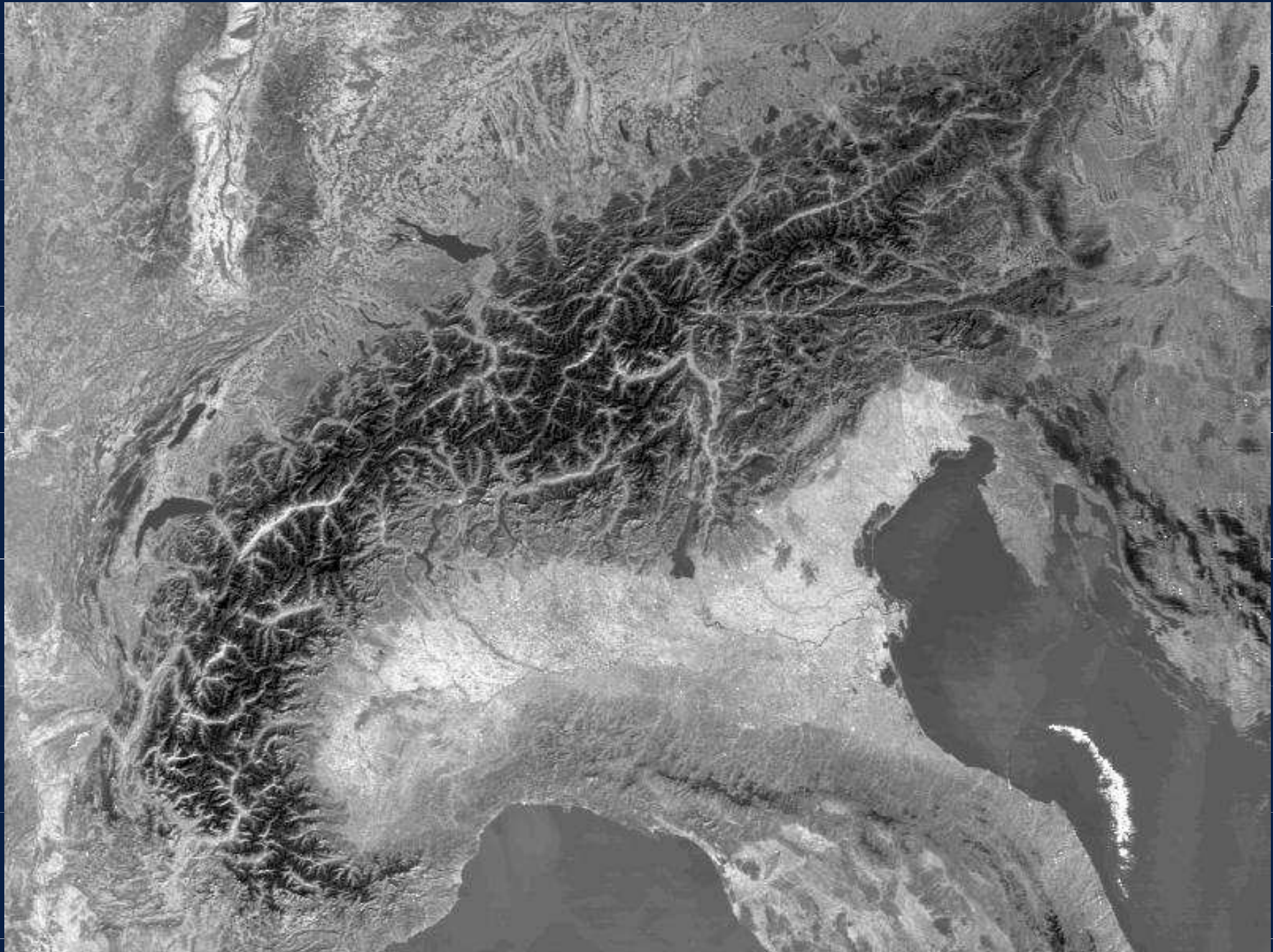
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 7 (2.105-2.155 μm)



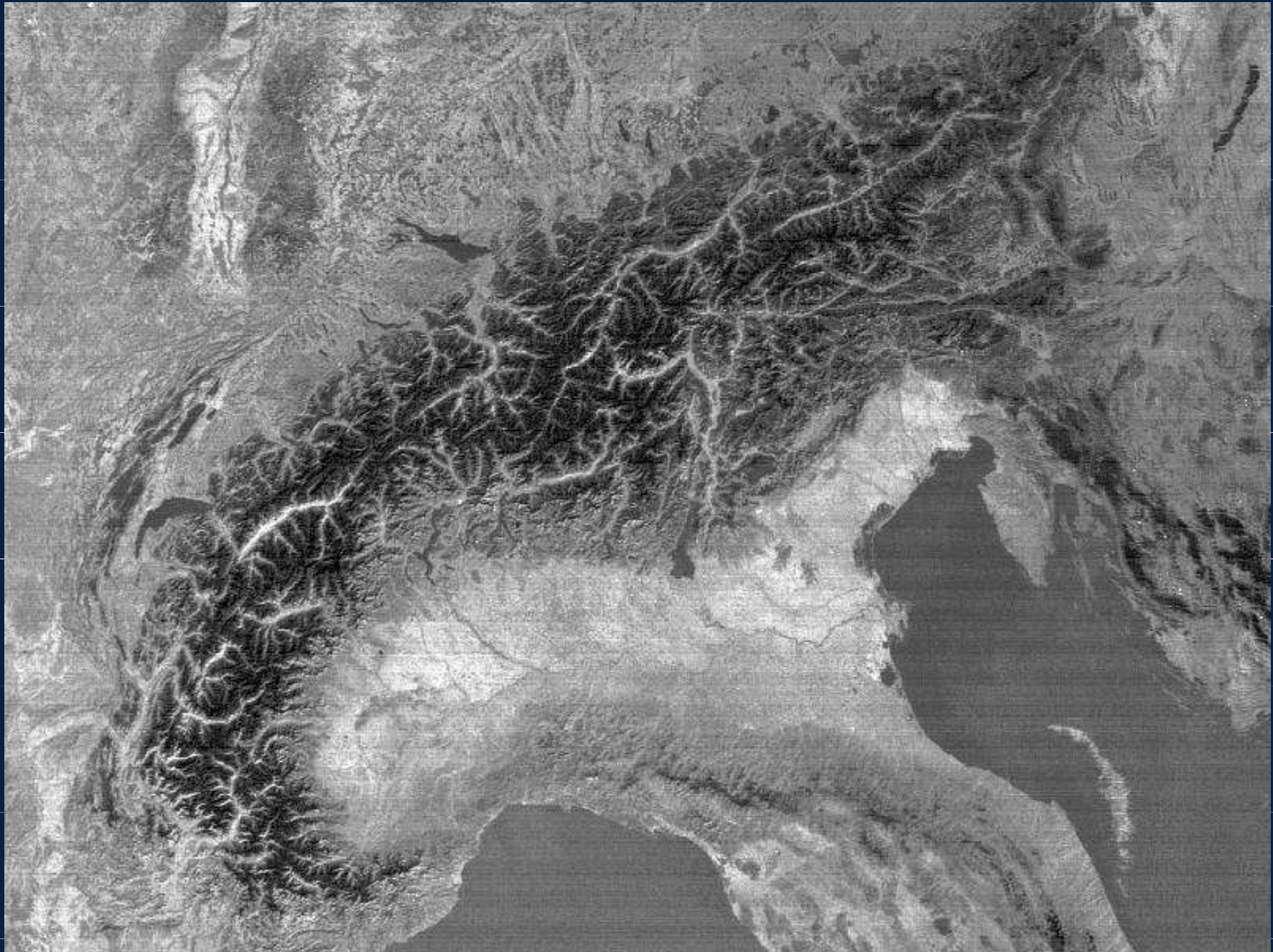
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 20 (3.660-3.840 μm)



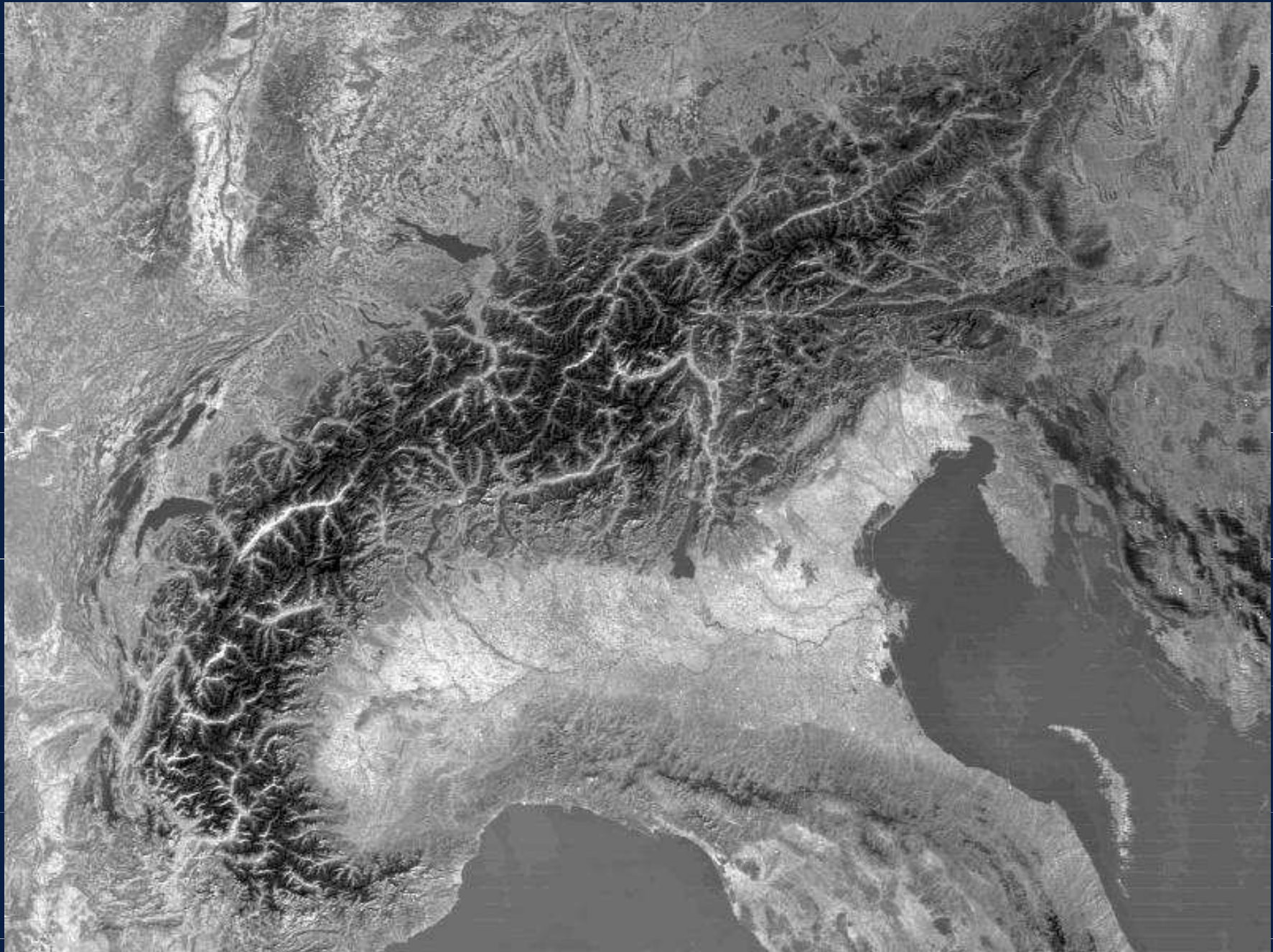
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 21 (3.929-3.989 μm)



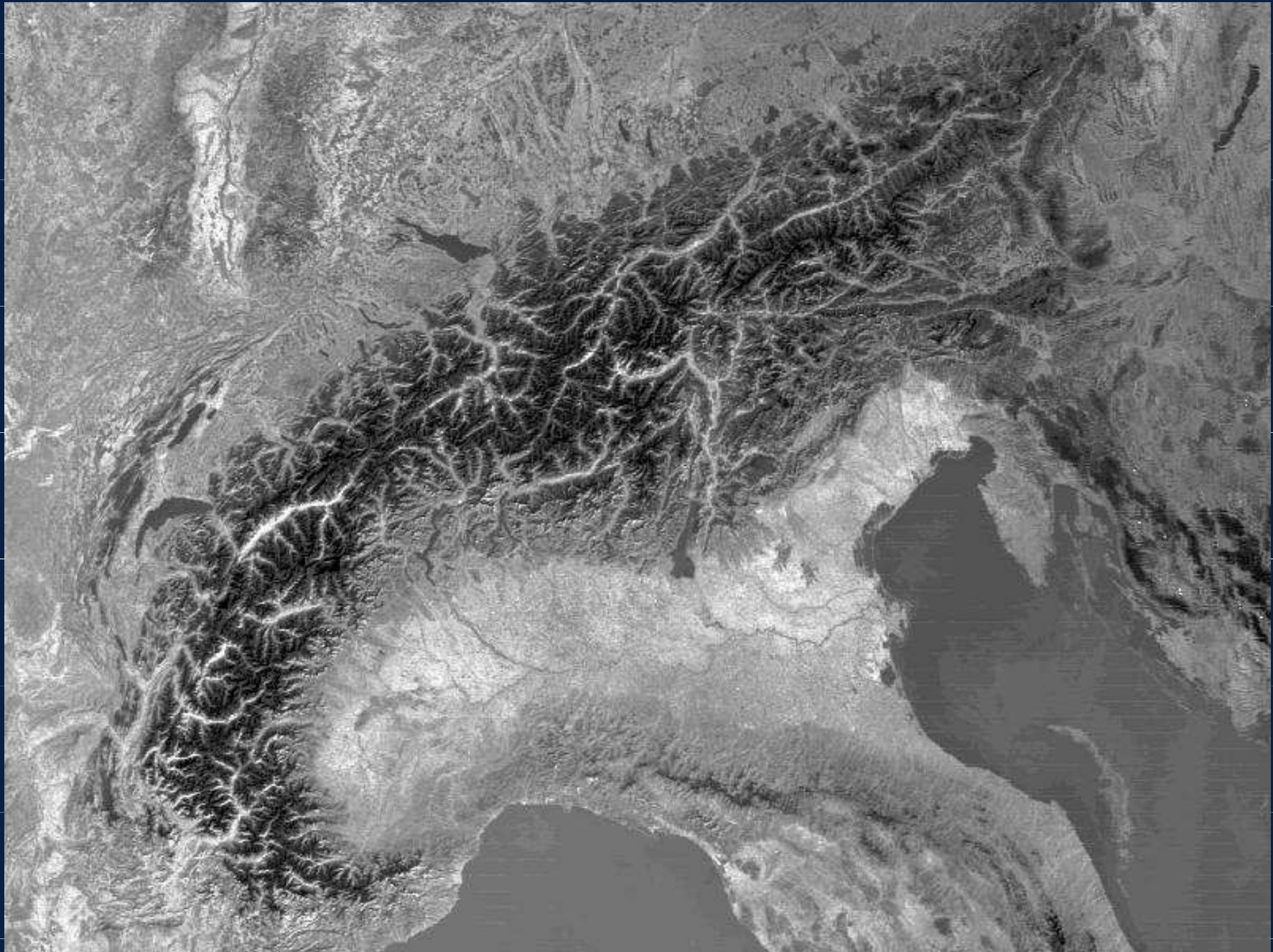
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 22 (3.939-3.989 μm)



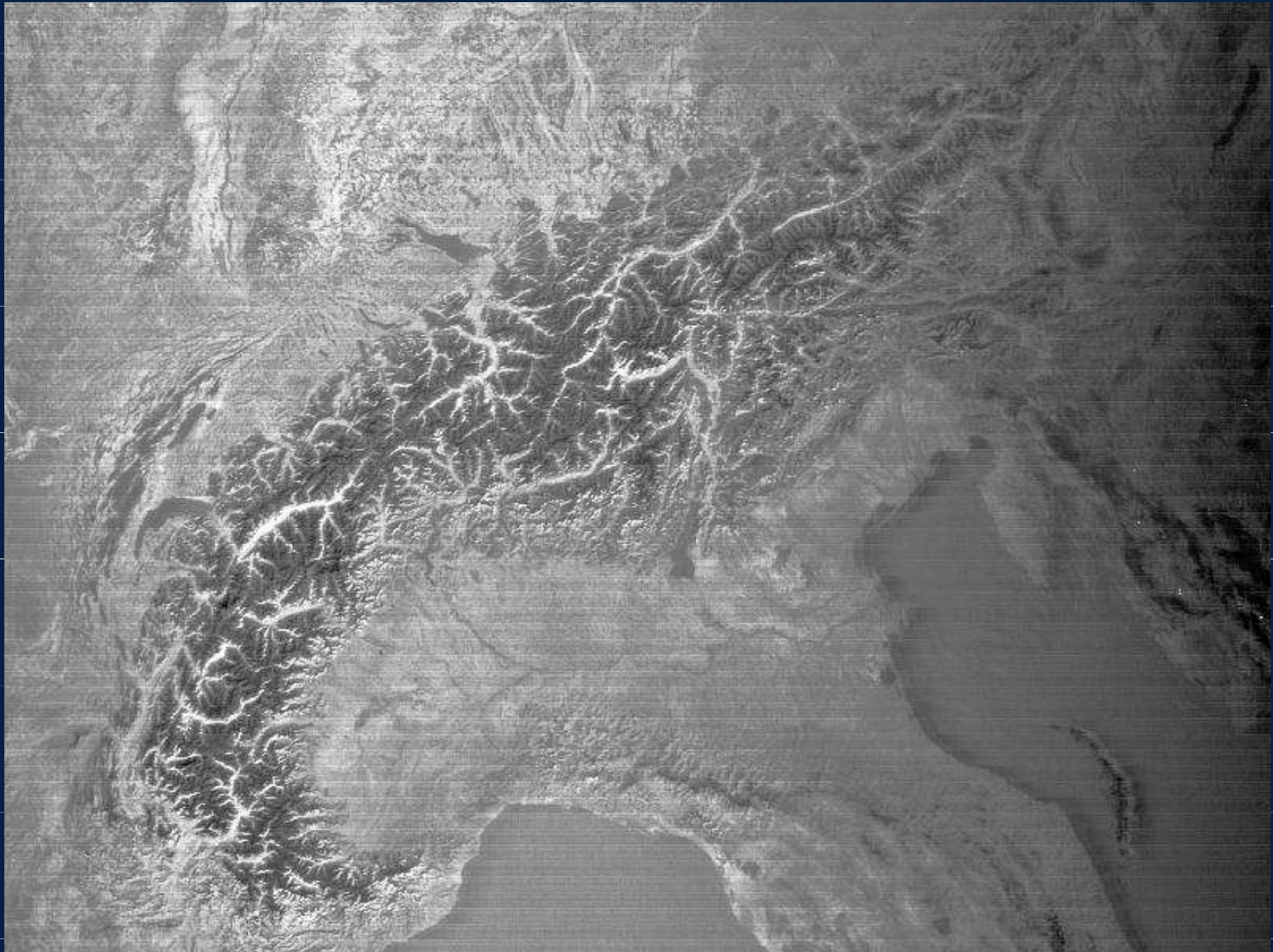
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 23 (4.020-4.080 μm)



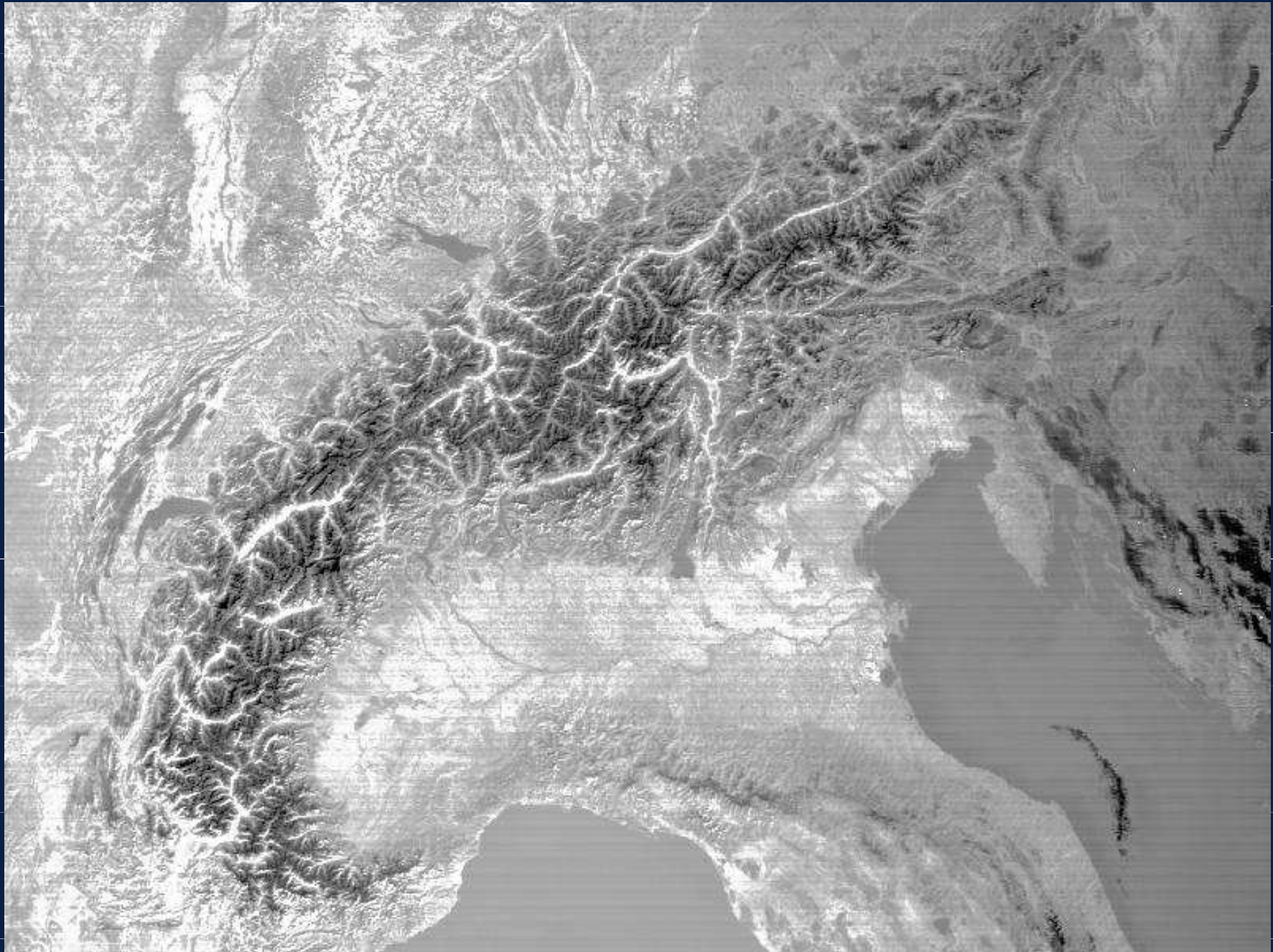
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 24 (4.433-4.498 μm)



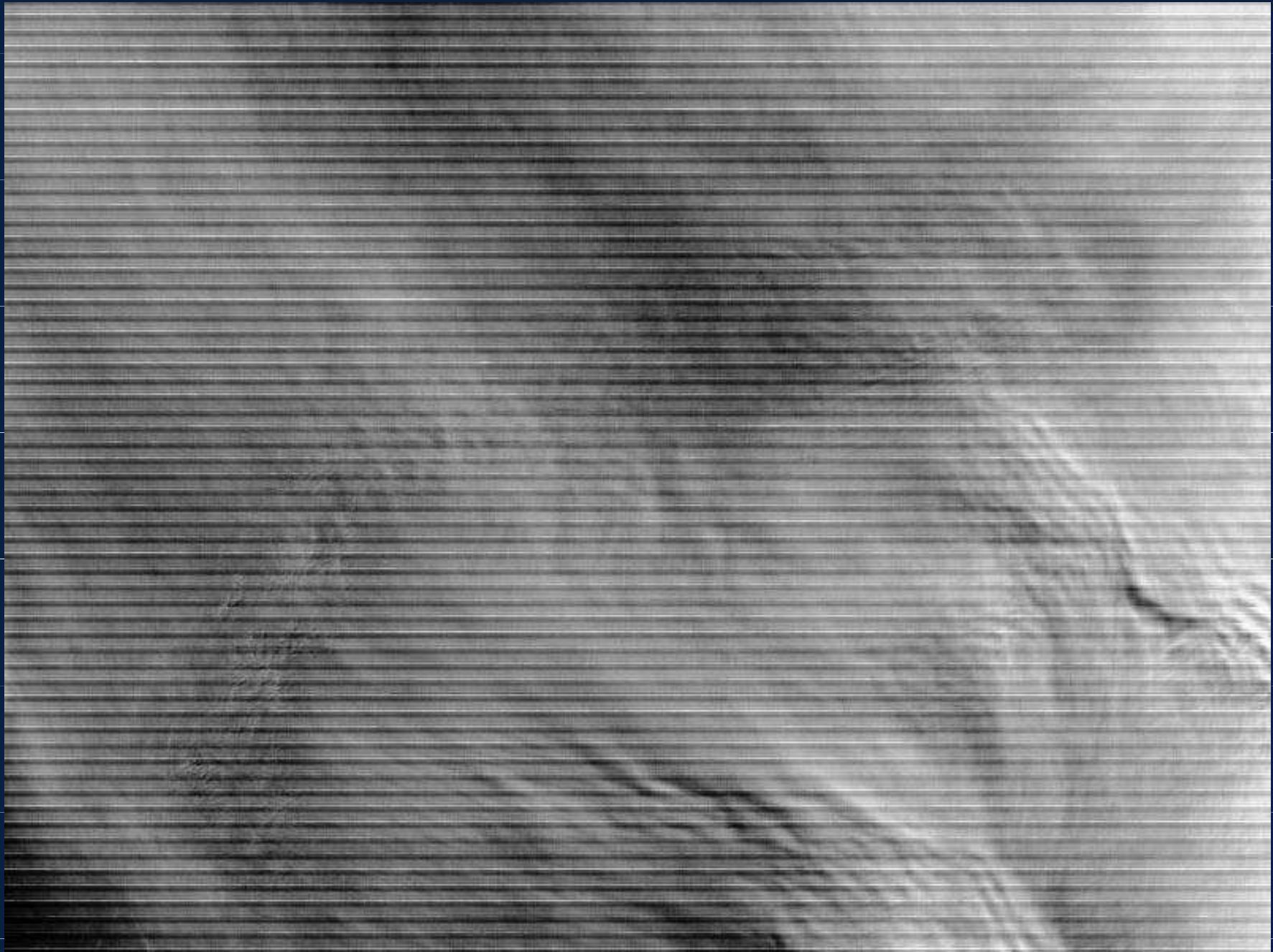
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 25 (4.482-4.549 μm)



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

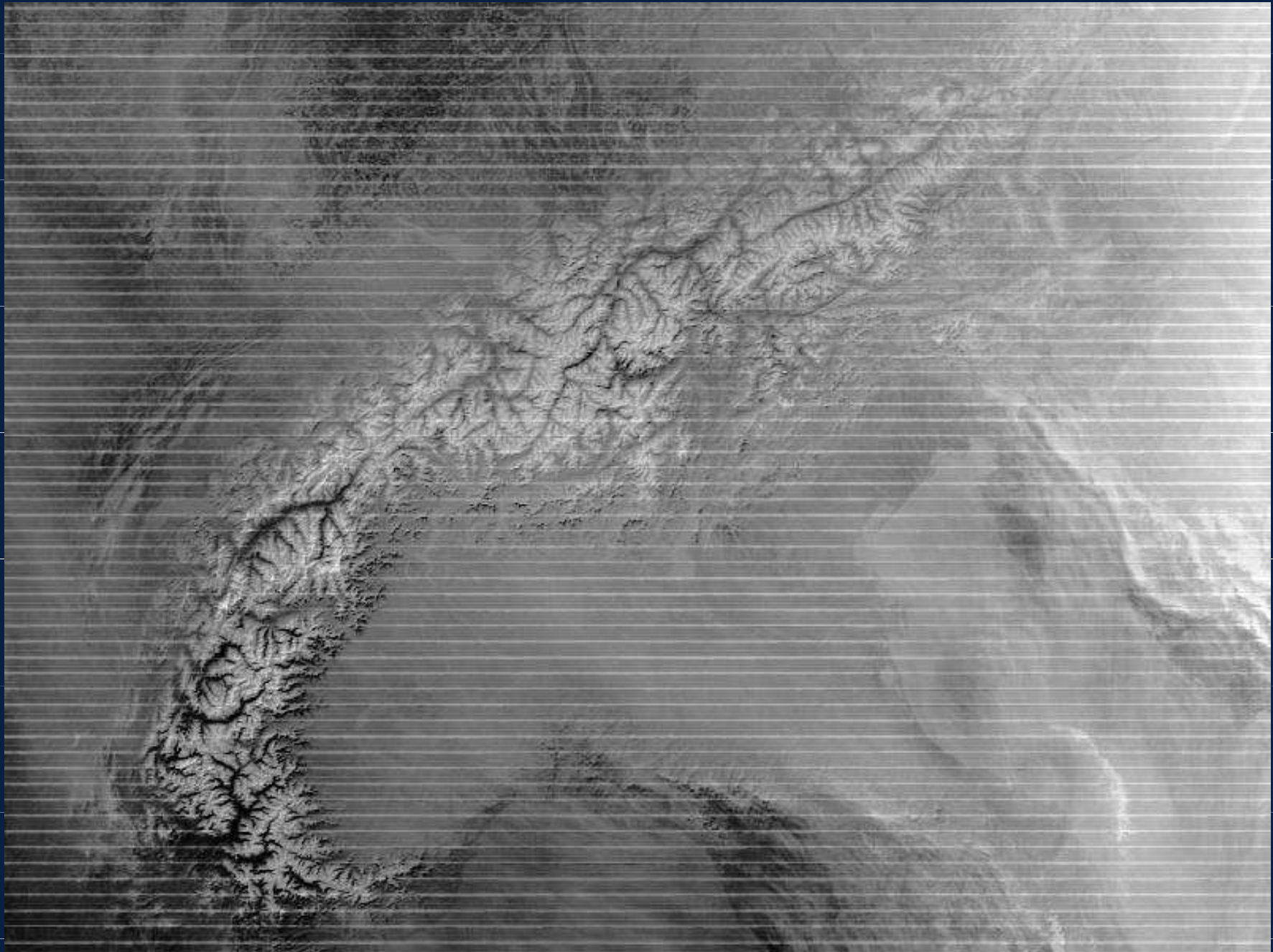
MODIS Terra, kanál 27 (6.535-6.895 μm)



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

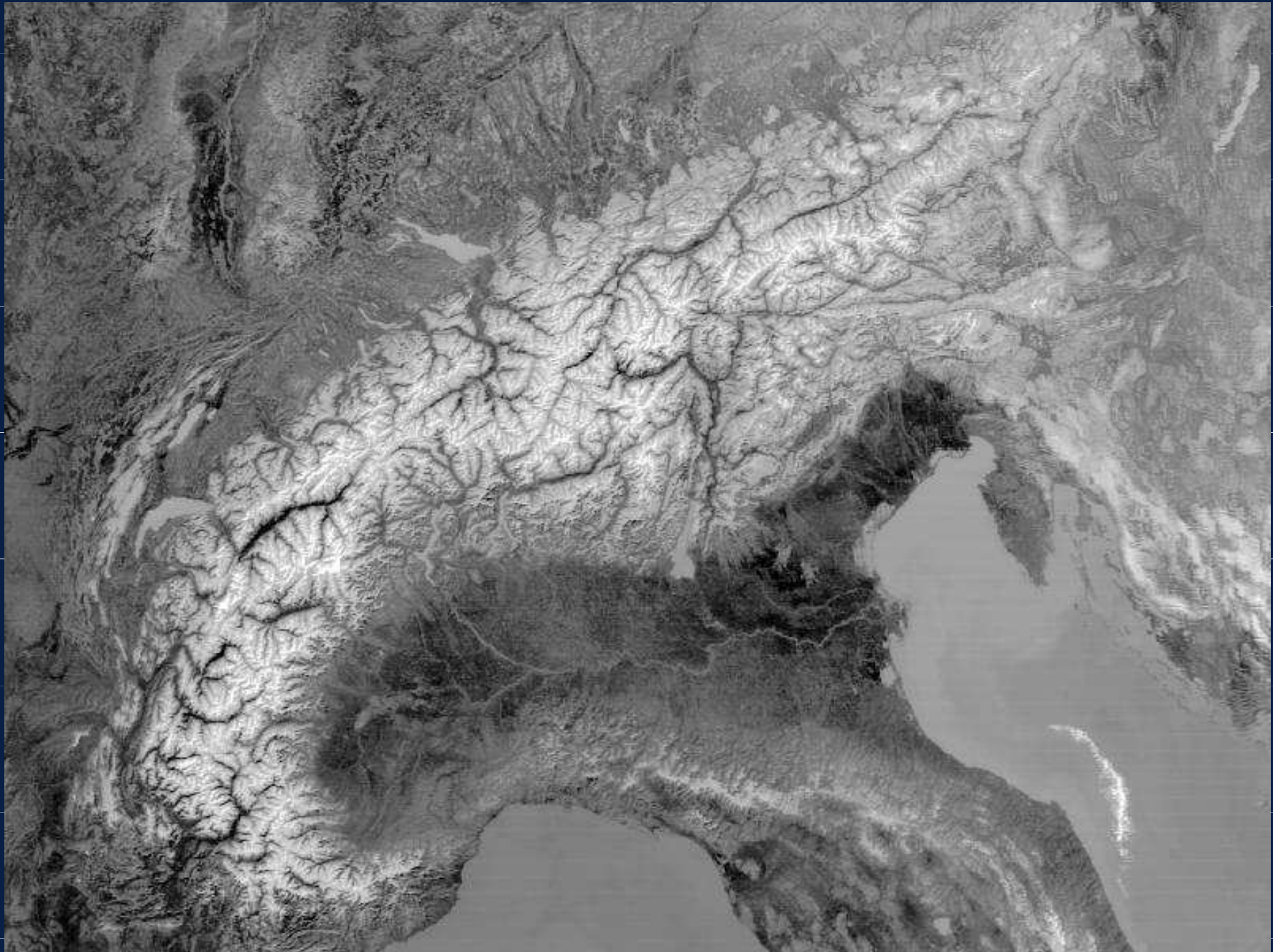


MODIS Terra, kanál 28 (7.175-7.475 μm)



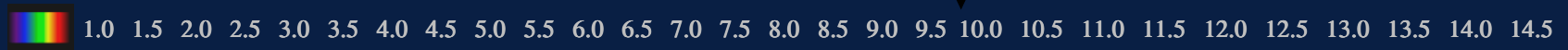
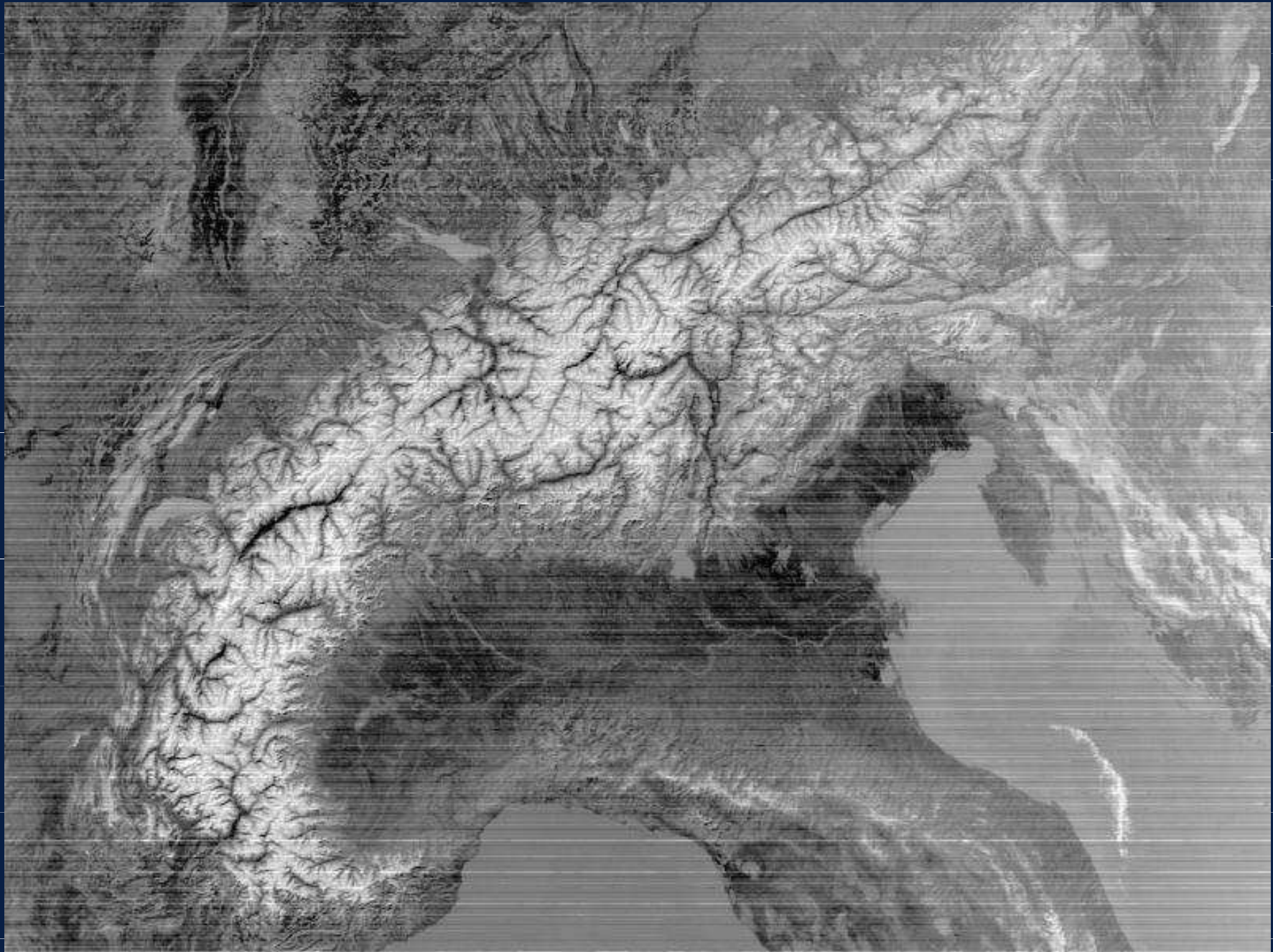
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 29 (8.400-8.700 μm)

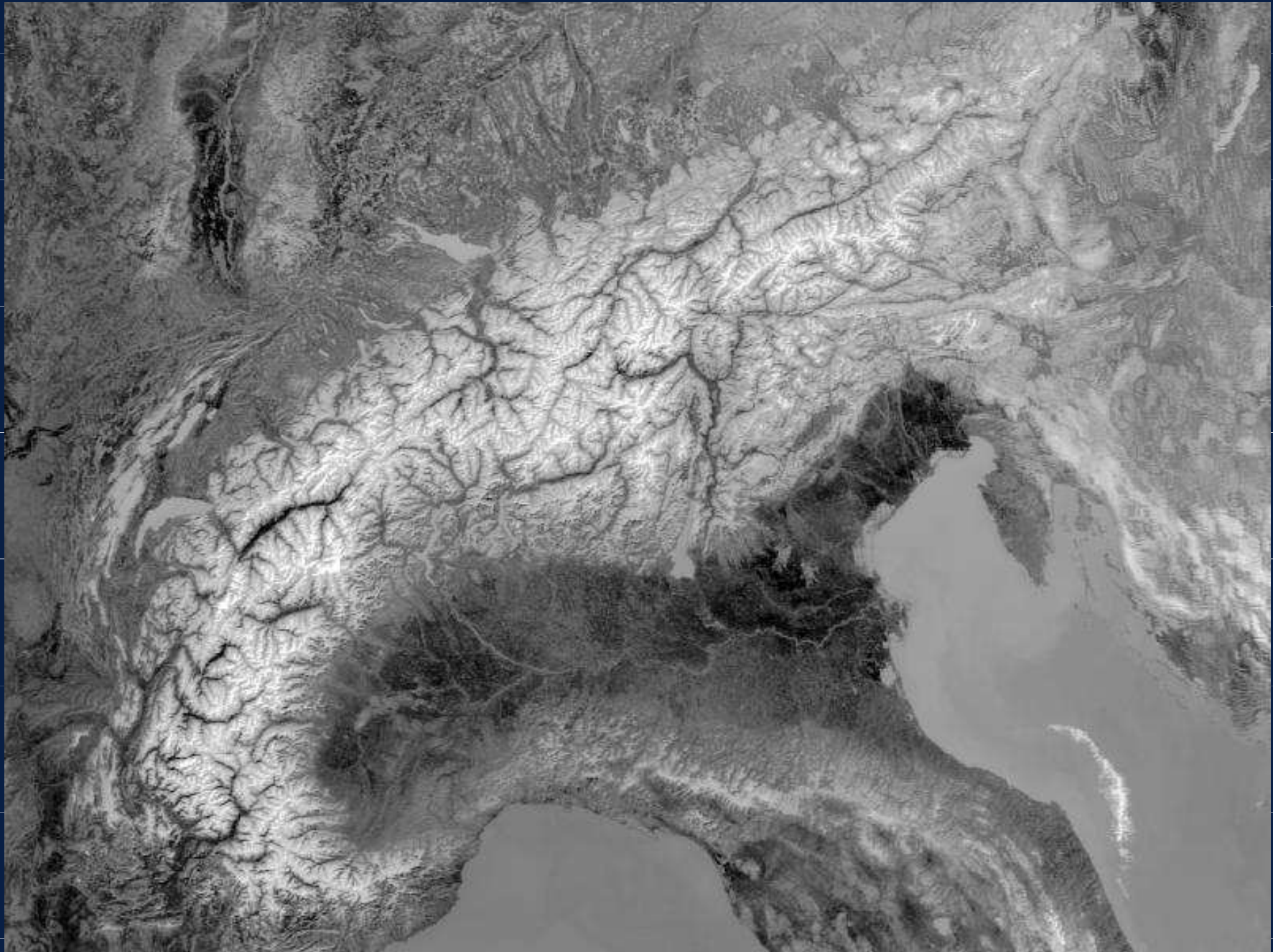


1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

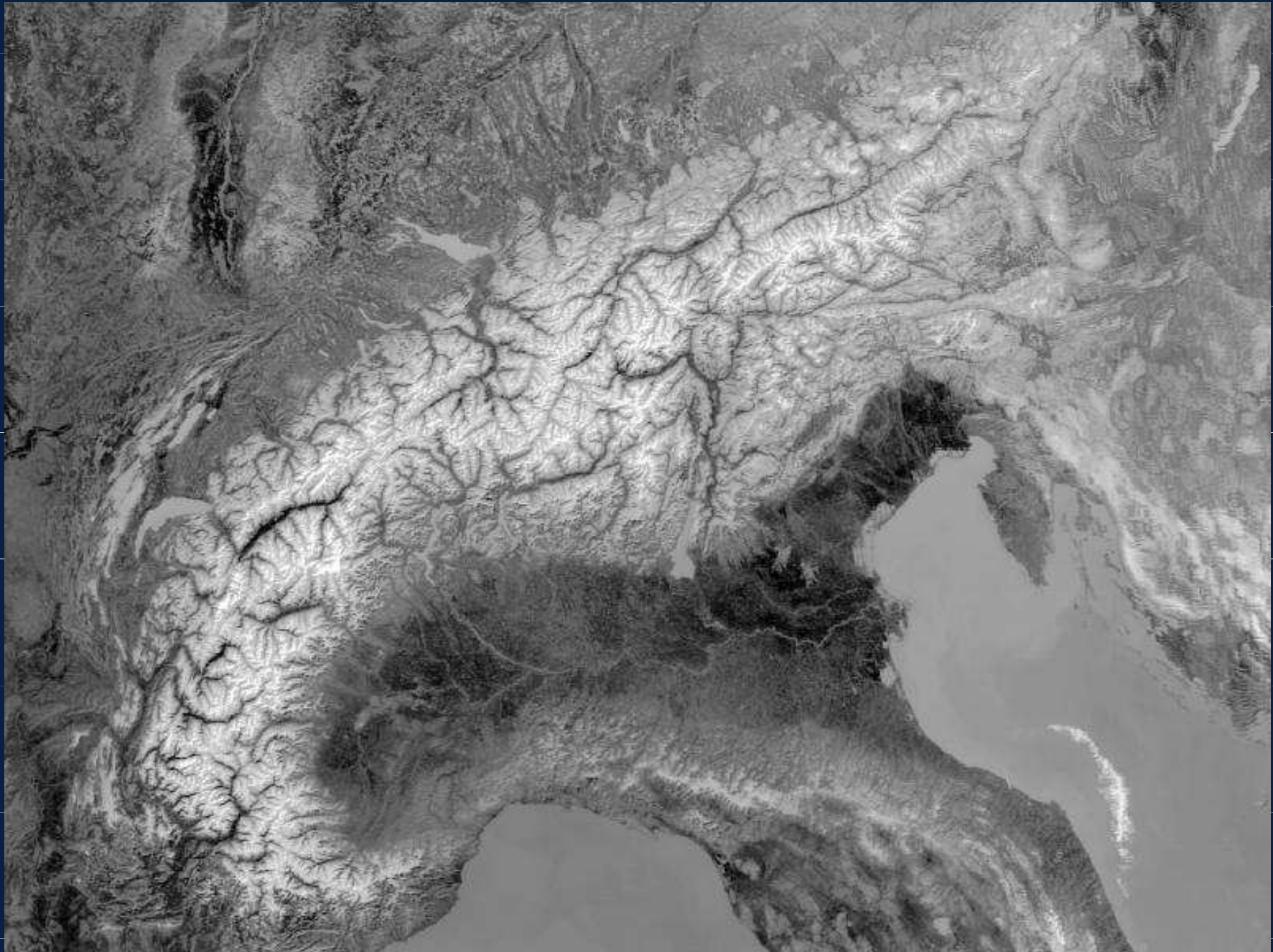
MODIS Terra, kanál 30 (9.580-9.880 μm)



MODIS Terra, kanál 31 (10.780-11.280 μm)

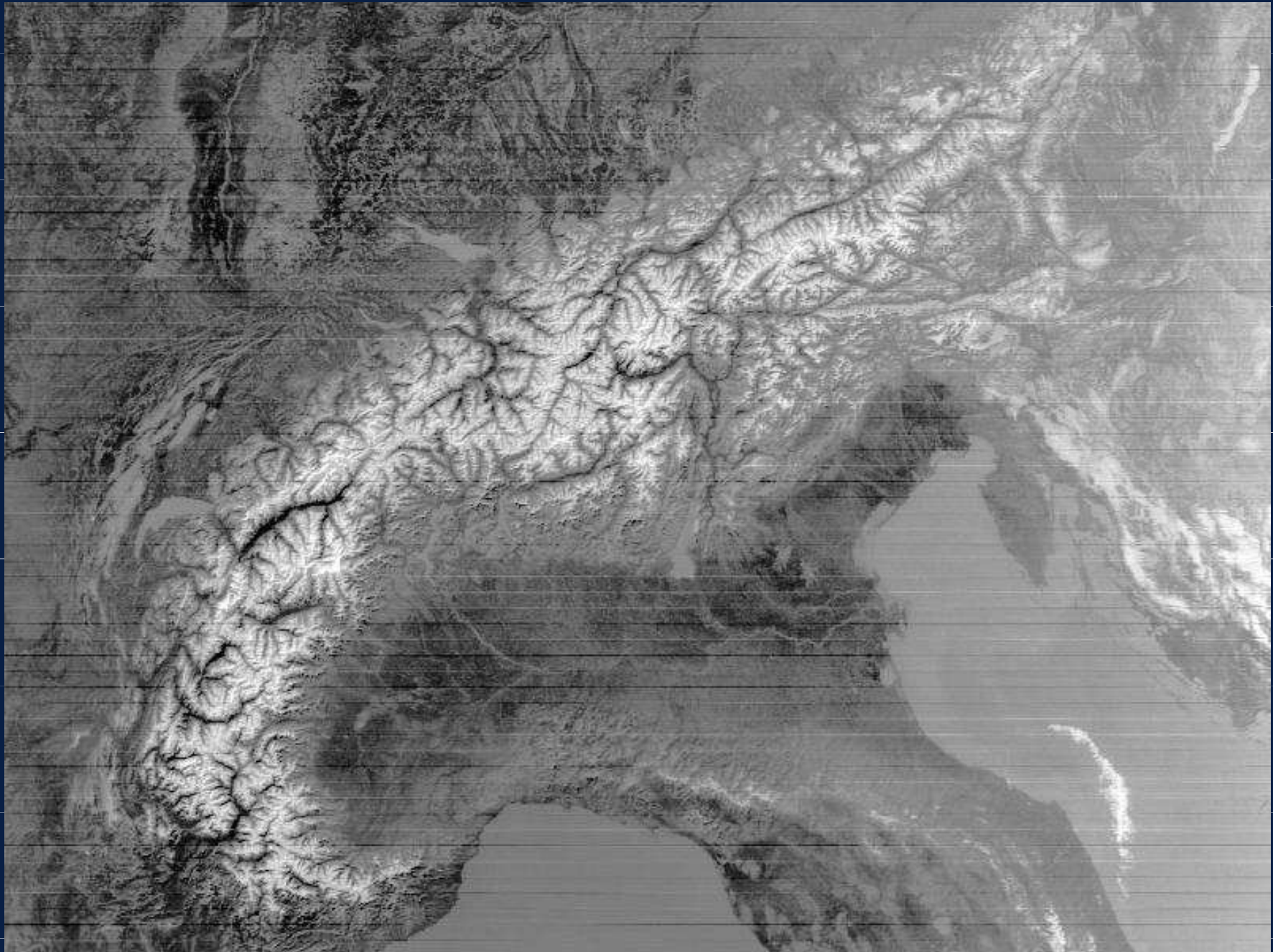


MODIS Terra, kanál 32 (11.770-12.270 μm)



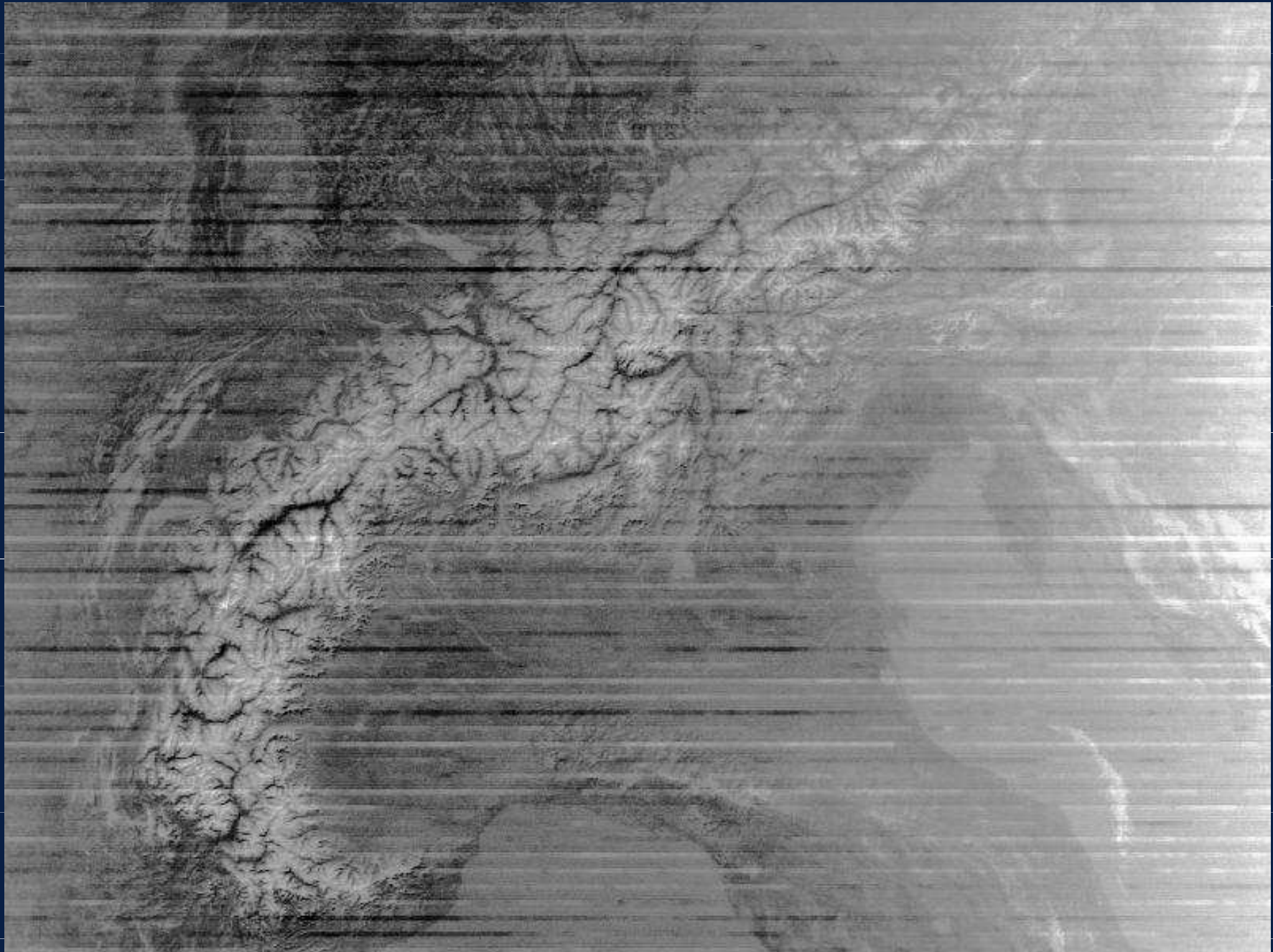
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 33 (13.185-13.485 μm)

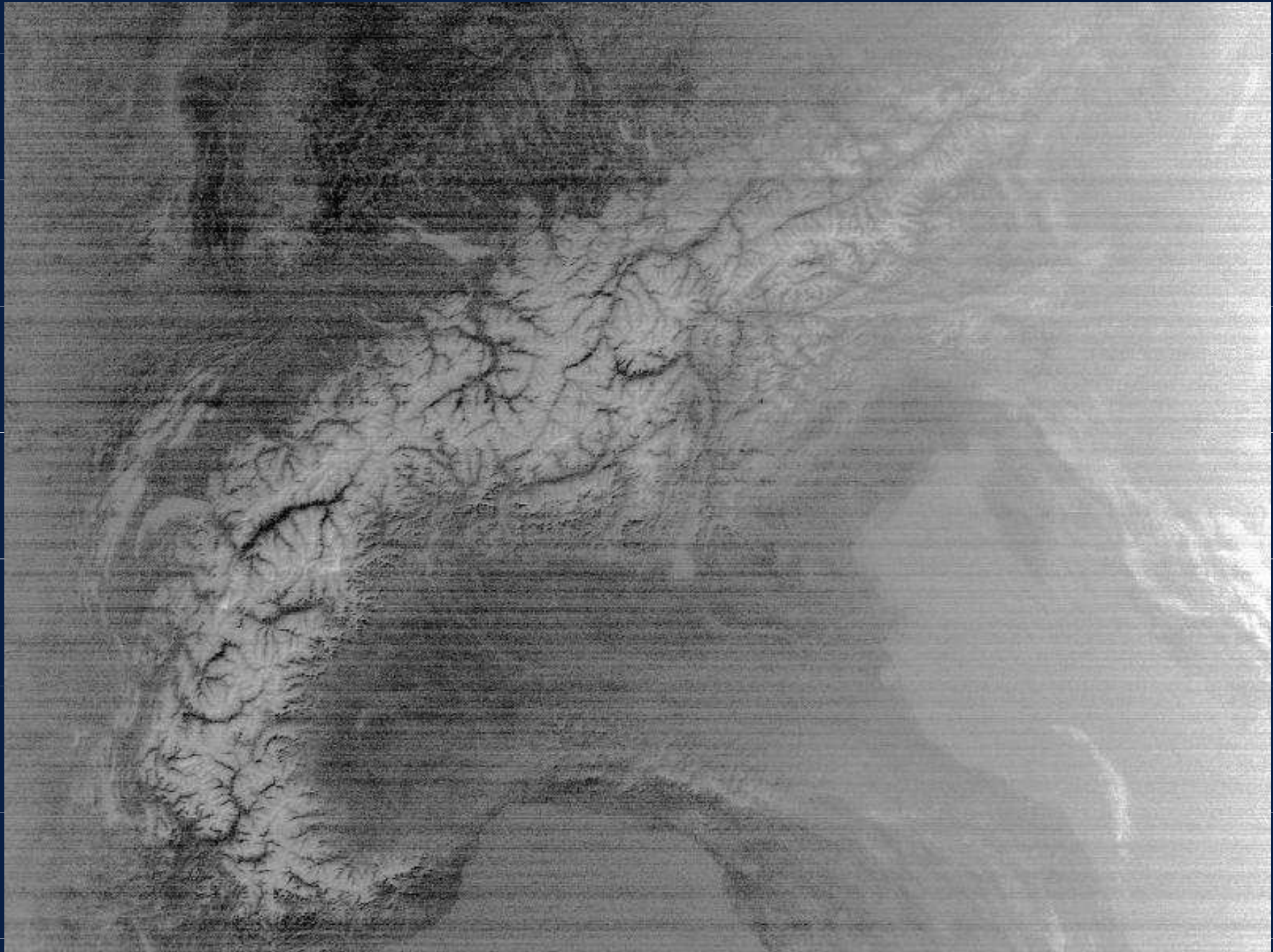


1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 34 (13.485-13.785 μm)

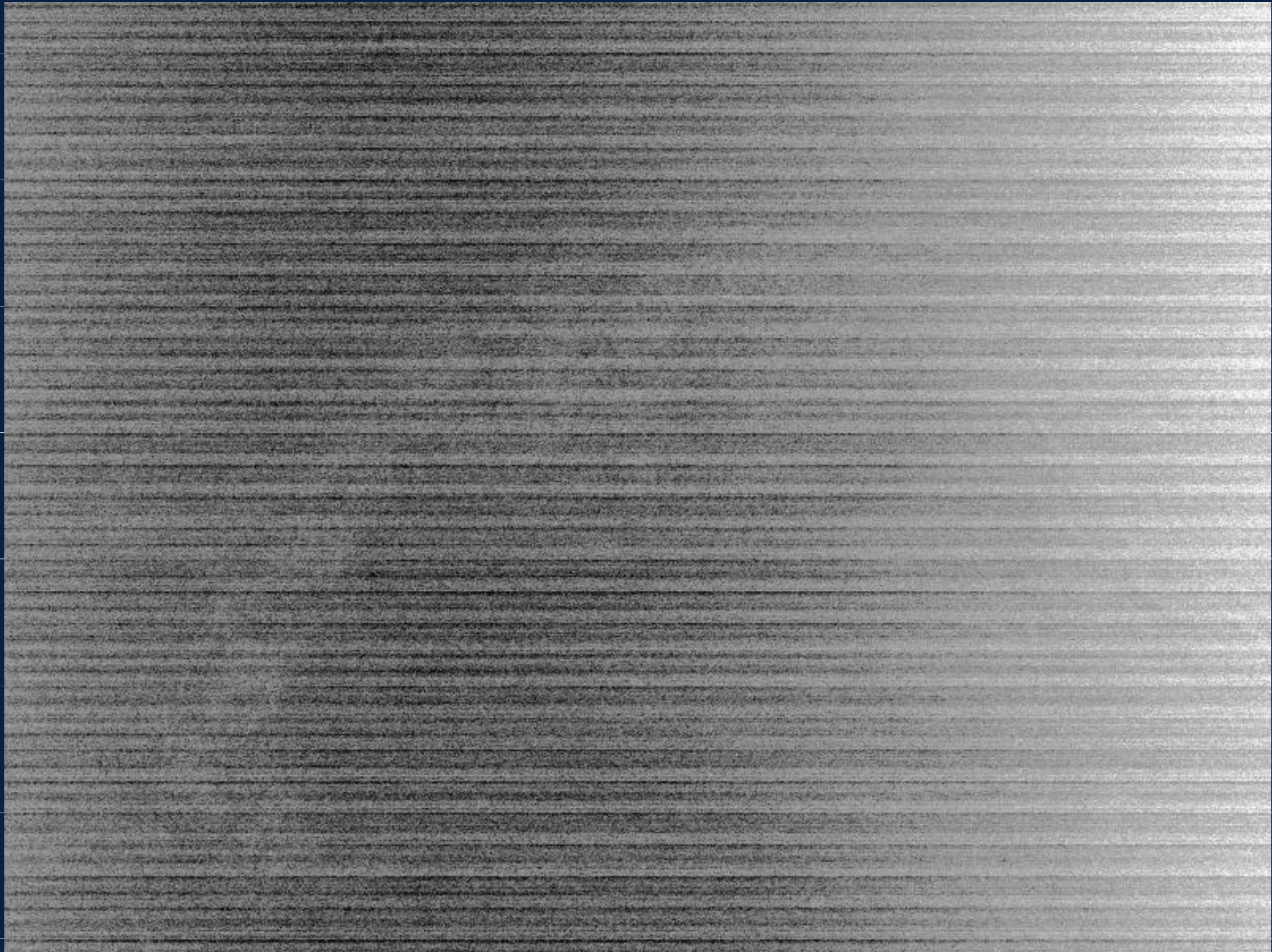


MODIS Terra, kanál 35 (13.785-14.085 μm)



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

MODIS Terra, kanál 36 (14.085-14.385 μm)



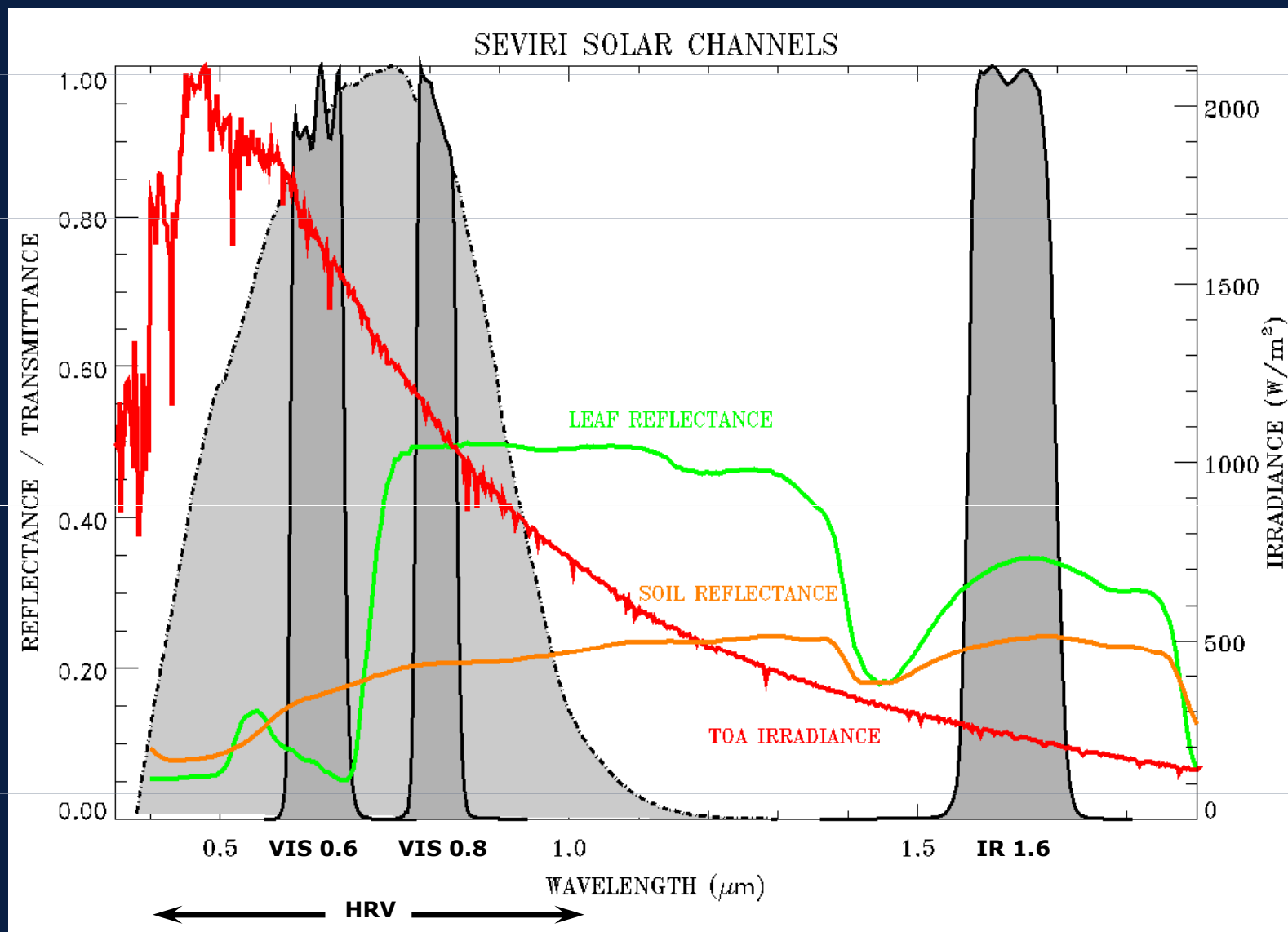
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



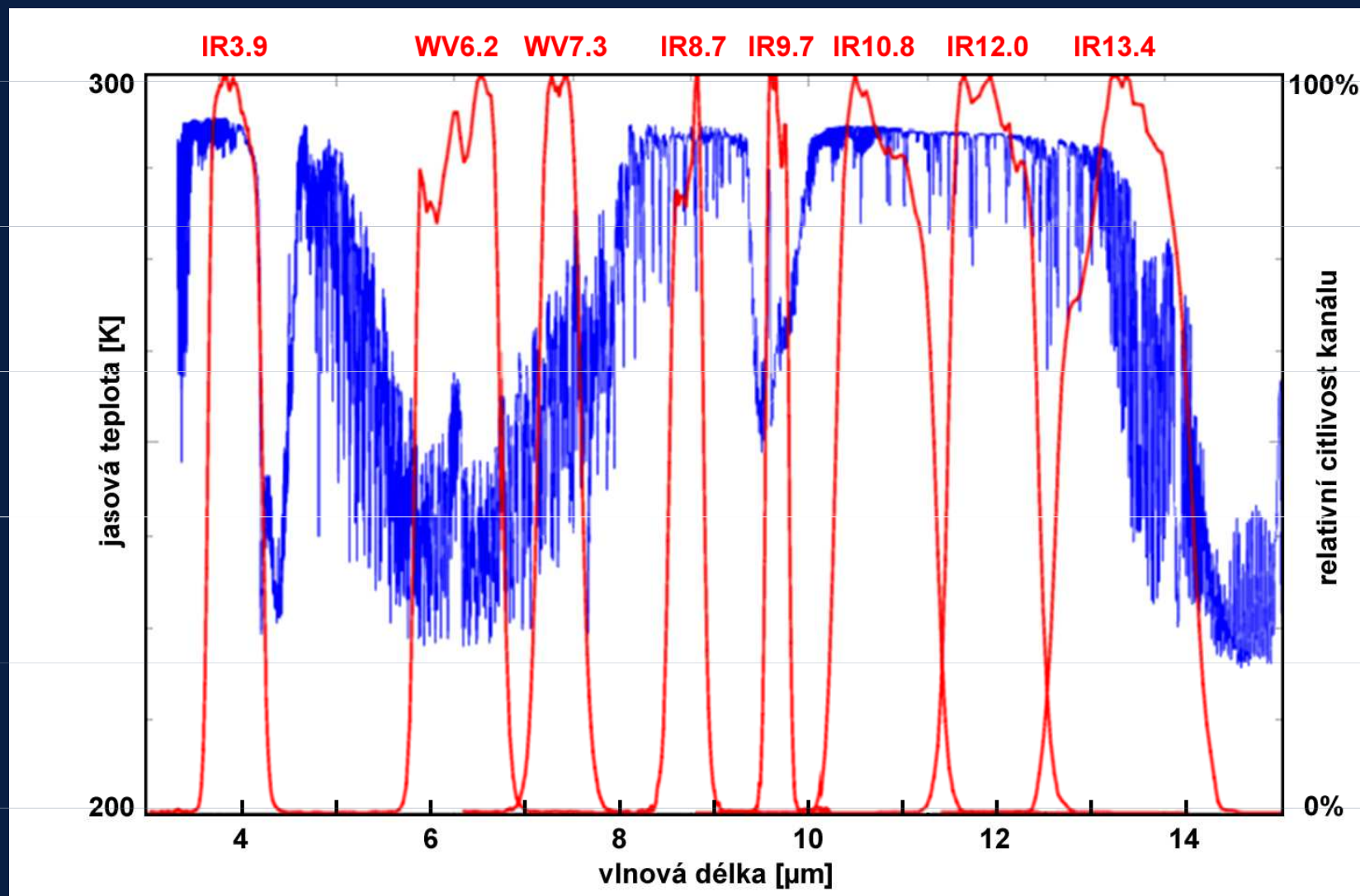
Spektrální kanály SEVIRI družic MSG – základní vlastnosti

•	kanál 01	VIS 0.6	0.56 - 0.71 μm	solární kanály
•	kanál 02	VIS 0.8	0.74 - 0.88 μm	
•	kanál 03	IR 1.6	1.50 - 1.78 μm	
•	kanál 04	IR 3.9	3.48 - 4.36 μm	tepelné kanály
•	kanál 05	WV 6.2	5.35 - 7.15 μm	
•	kanál 06	WV 7.3	6.85 - 7.85 μm	
•	kanál 07	IR 8.7	8.30 - 9.10 μm	
•	kanál 08	IR 9.7	9.38 - 9.94 μm	
•	kanál 09	IR 10.8	9.80 - 11.80 μm	
•	kanál 10	IR 12.0	11.00 - 13.00 μm	
•	kanál 11	IR 13.4	12.40 - 14.40 μm	
•	kanál 12	HRV	0.5 - 0.9 μm	solární kanály

Spektrální kanály SEVIRI družic MSG – základní vlastnosti

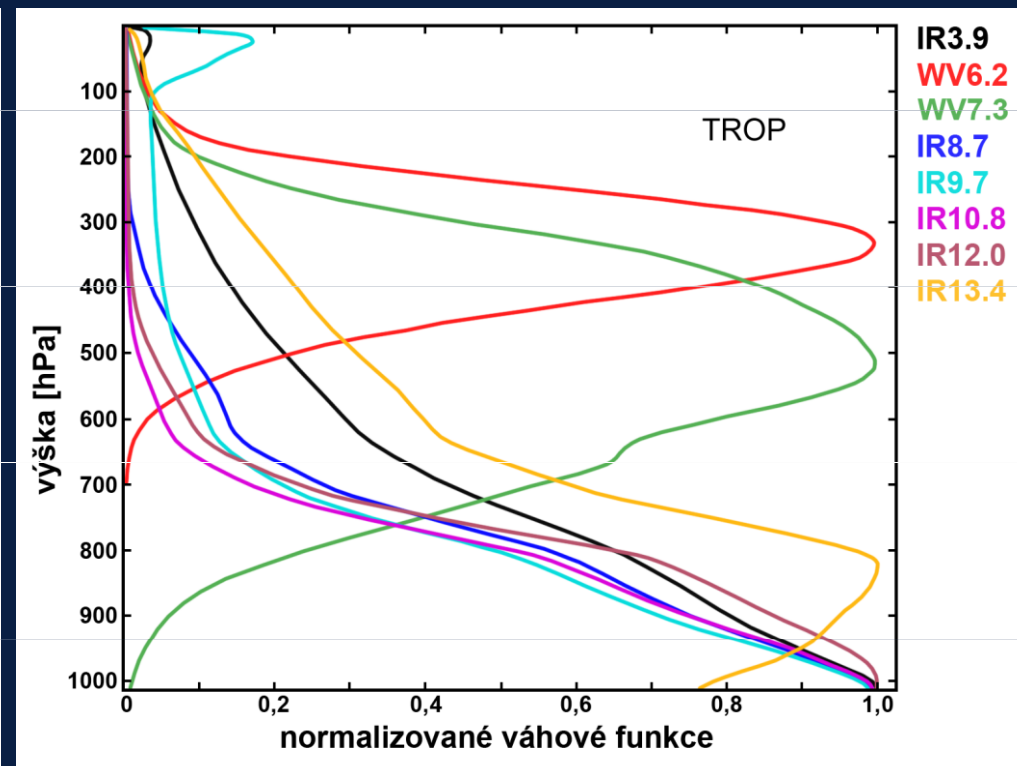
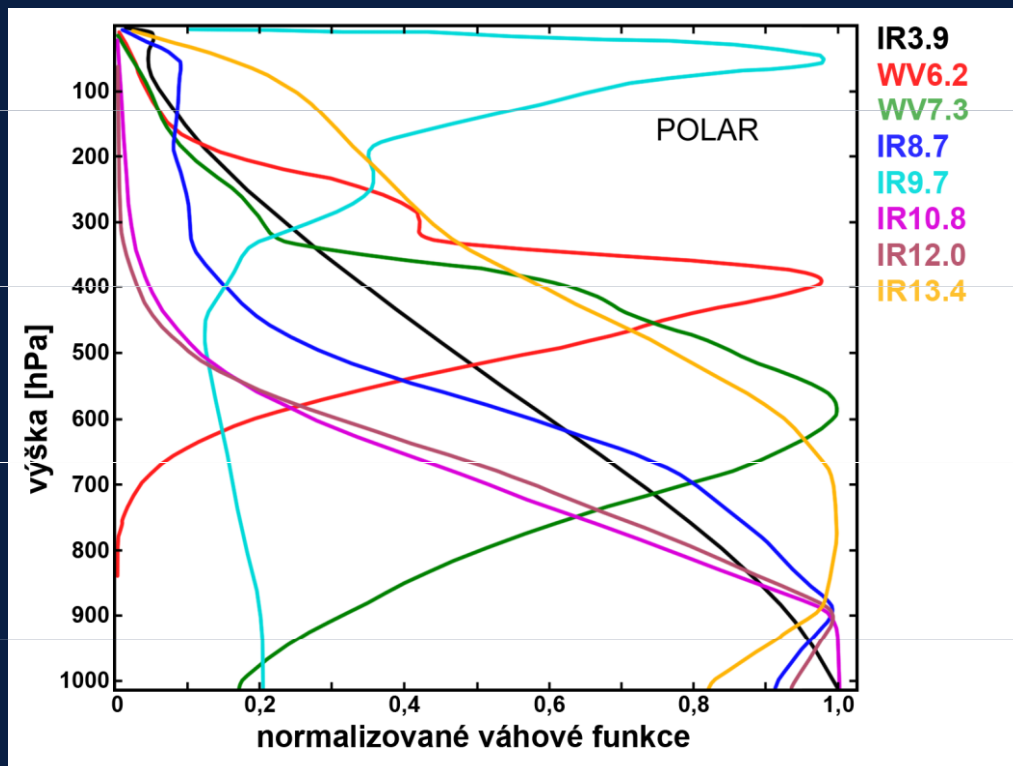


Spektrální kanály SEVIRI družic MSG – základní vlastnosti



Propustnost atmosféry (modře) a umístění jednotlivých IR a WV kanálů SEVIRI (červeně)

Spektrální kanály SEVIRI družic MSG – základní vlastnosti



Tzv. váhové funkce jednotlivých IR a WV spektrálních kanálů přístroje SEVIRI pro standardní polární (vlevo) a tropickou (vpravo) atmosféru

2005-01-06 12:00

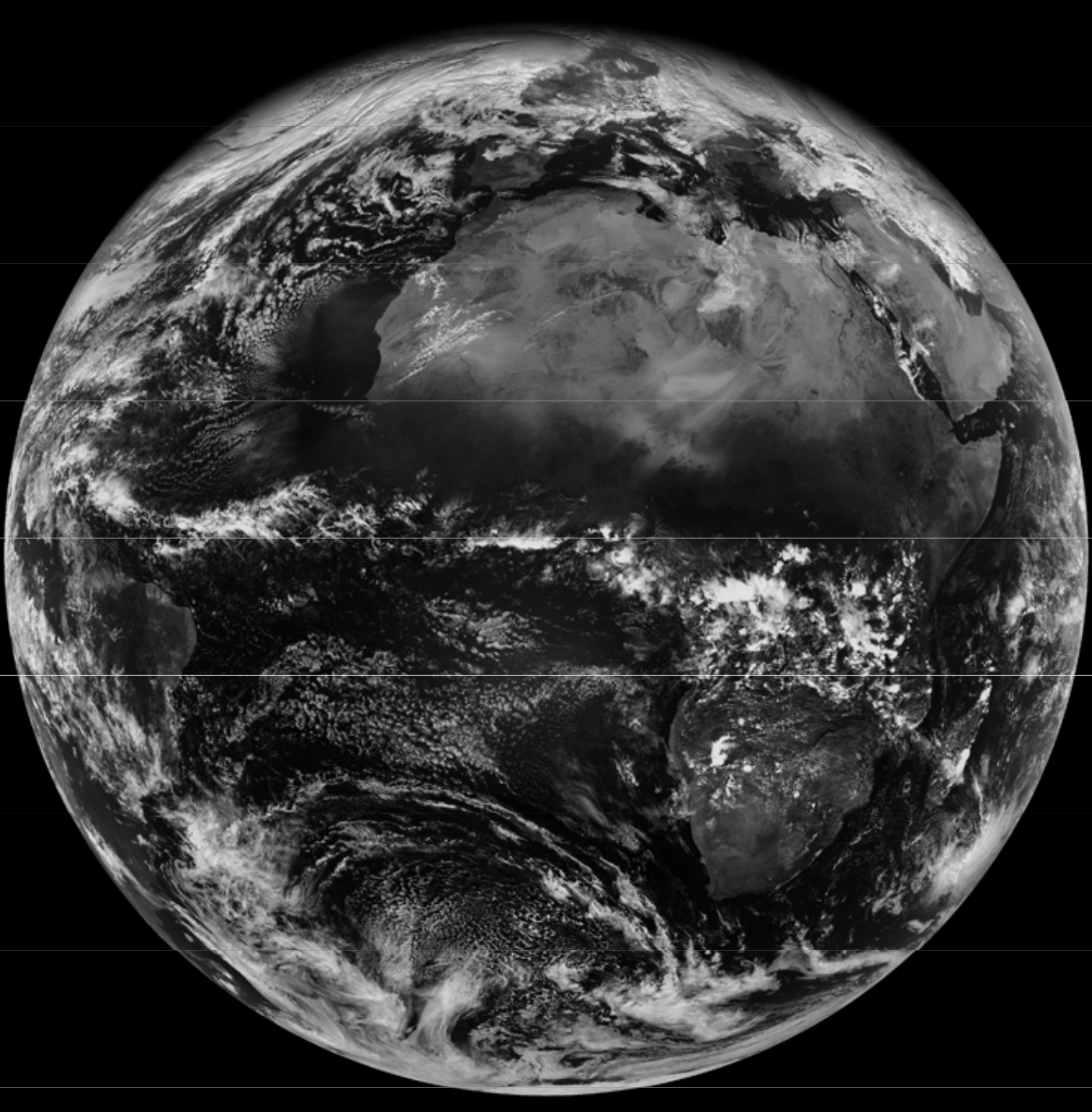


RGB: bands 1,2,9



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



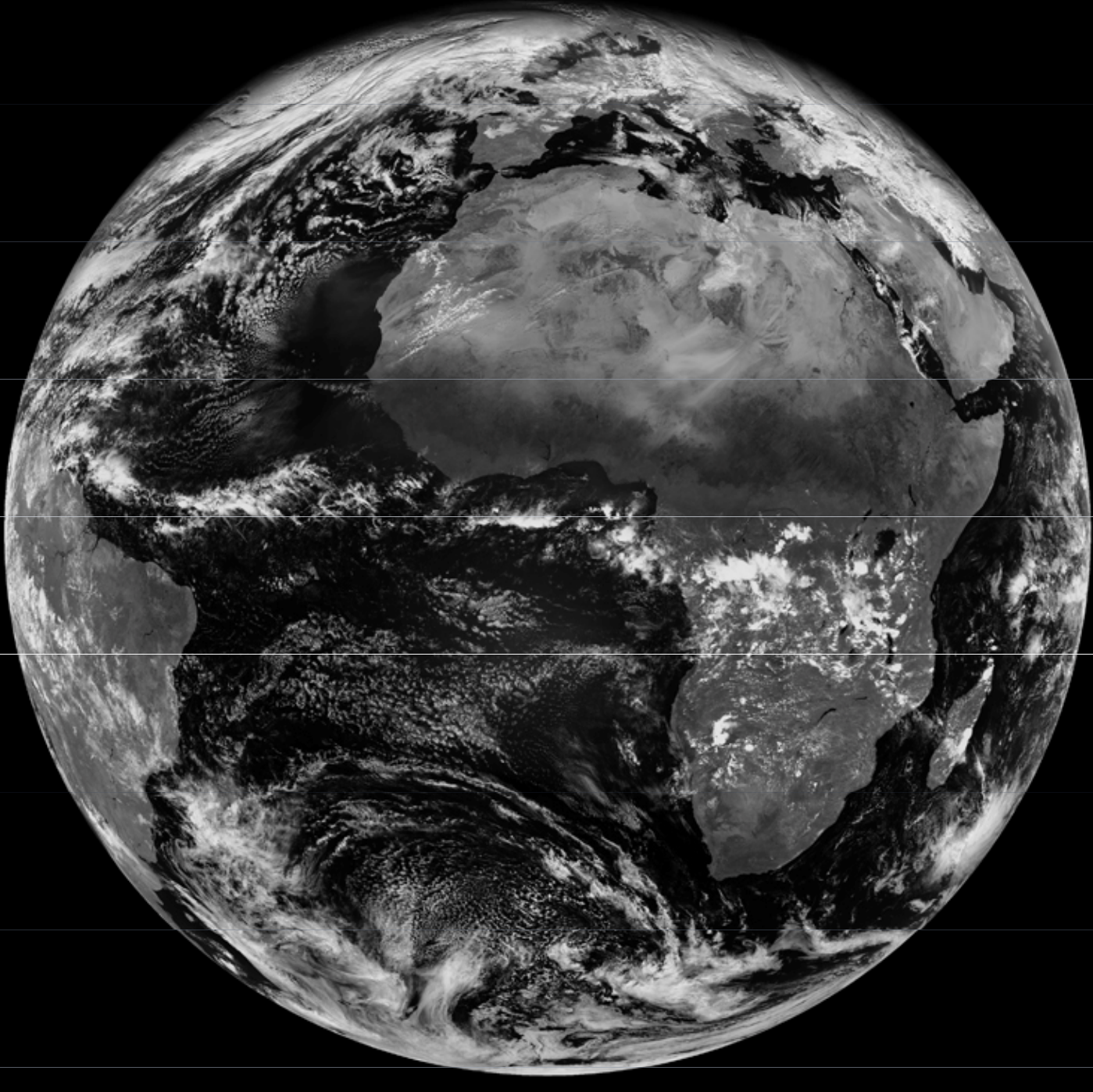


0.6 μm



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



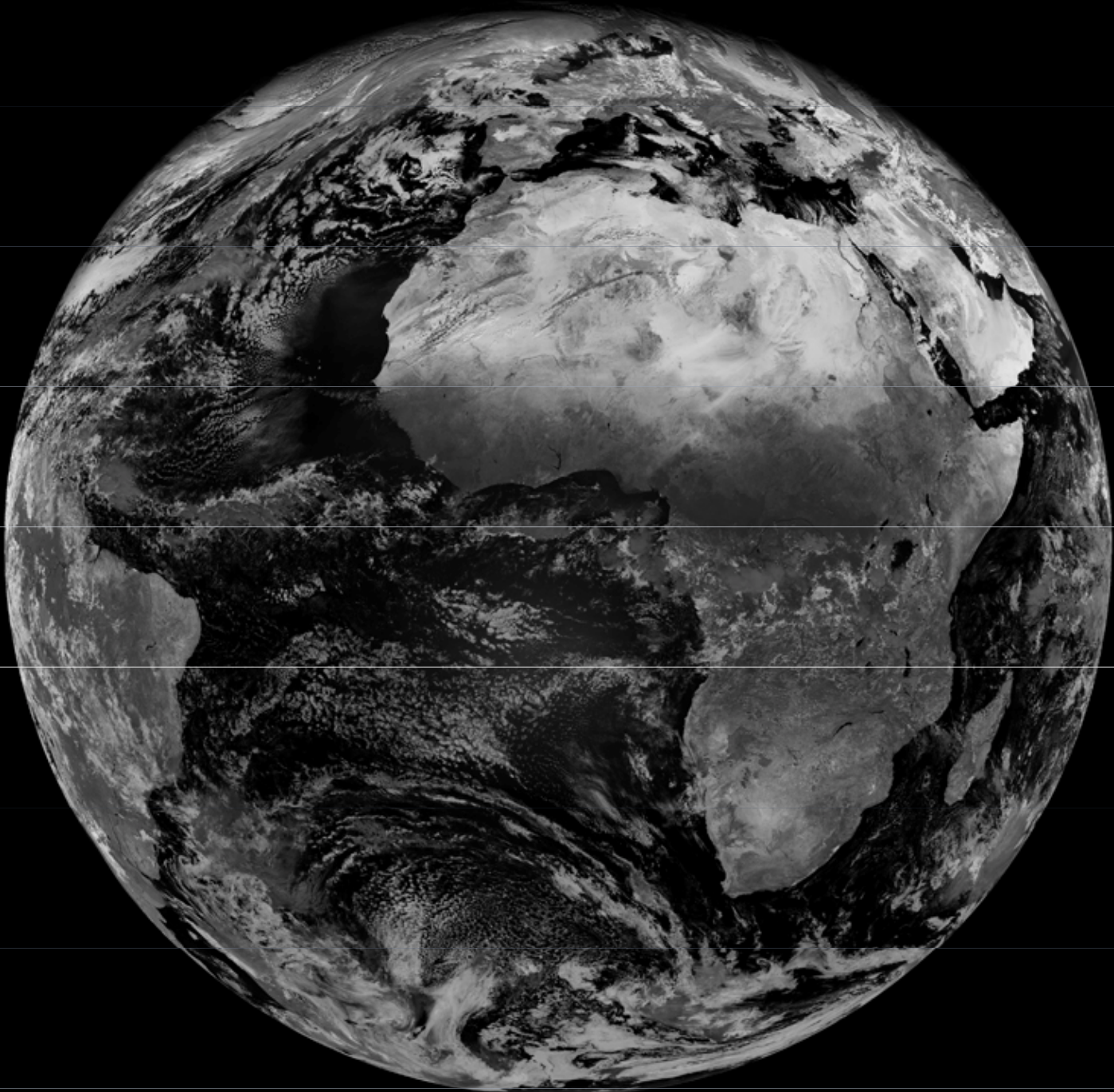


0.8 μm



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

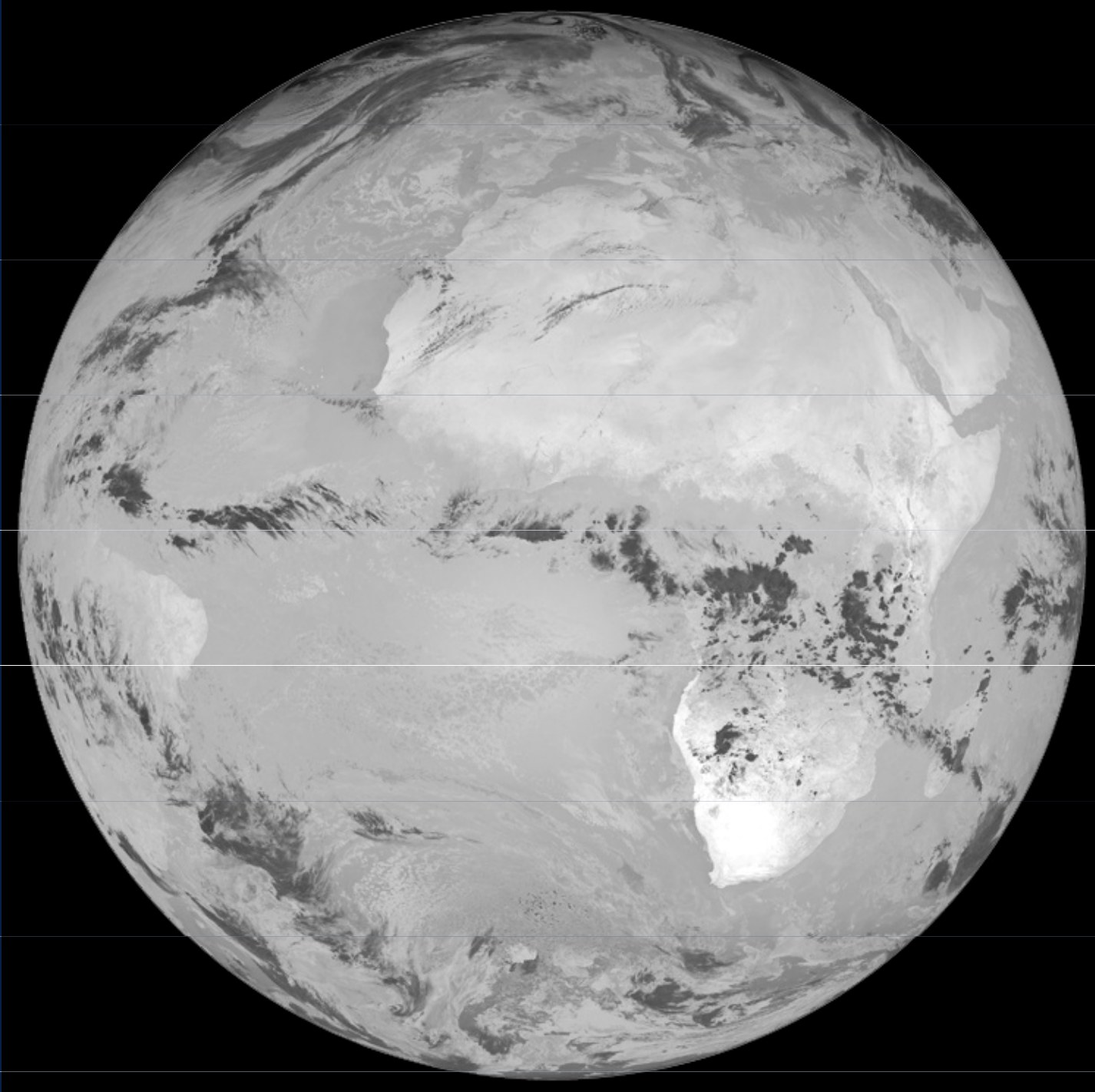




1.6 μm



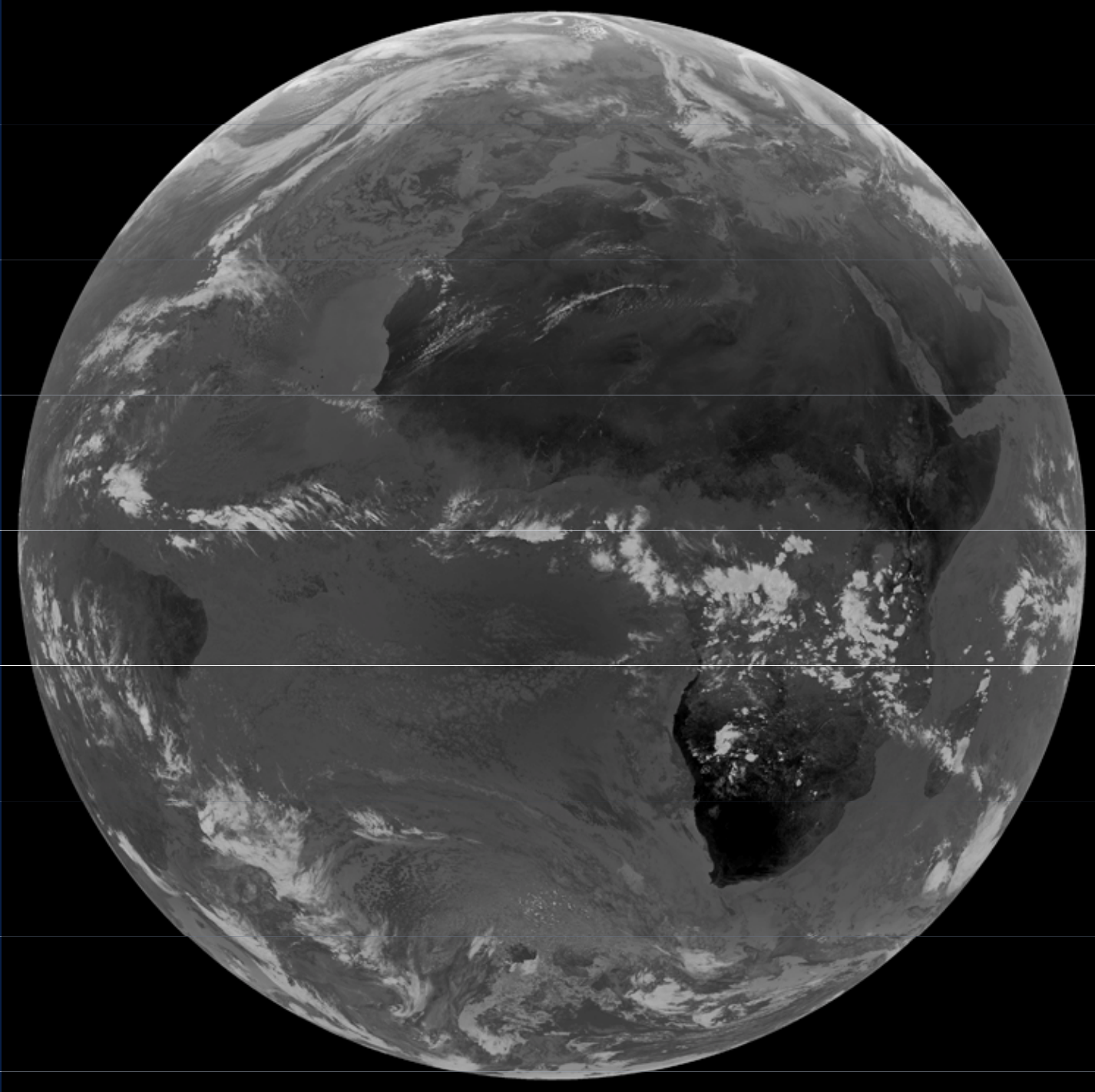
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



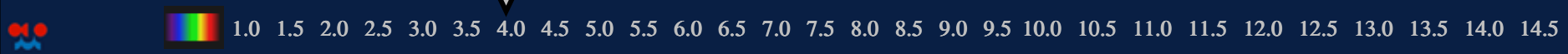
**3.9 μm
(REF)**

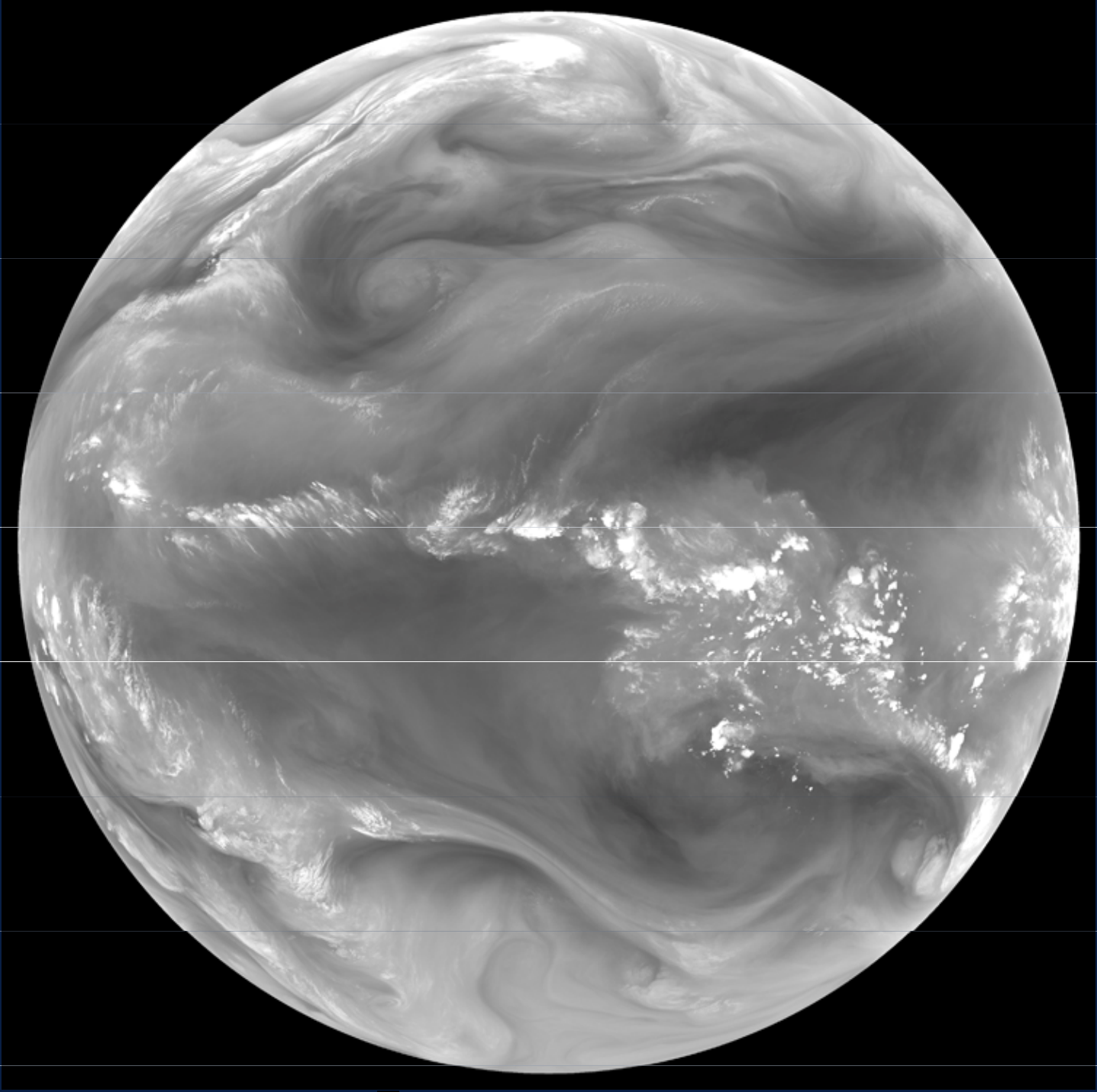


1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



**3.9 μm
(IR)**

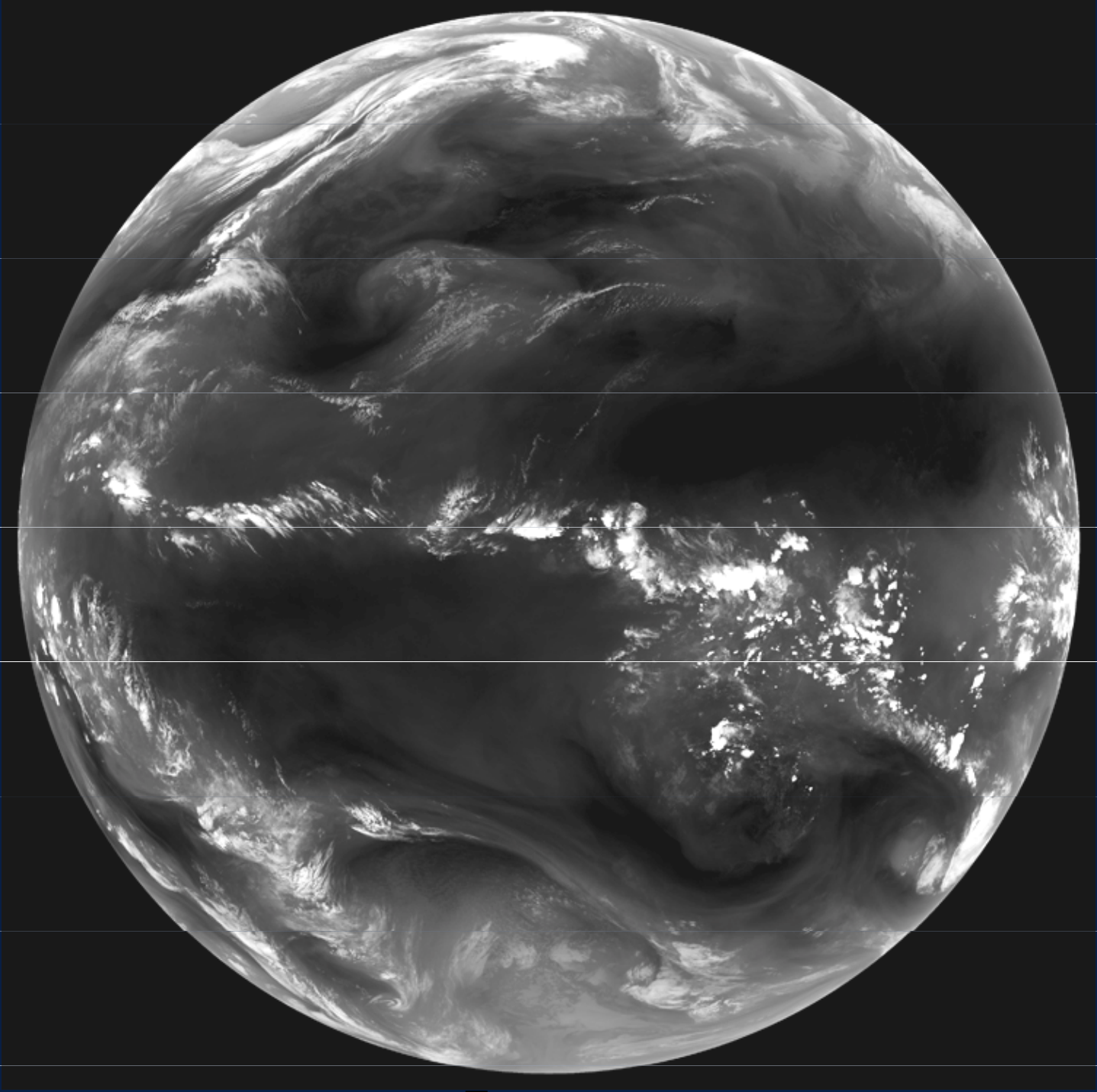




6.2 μm



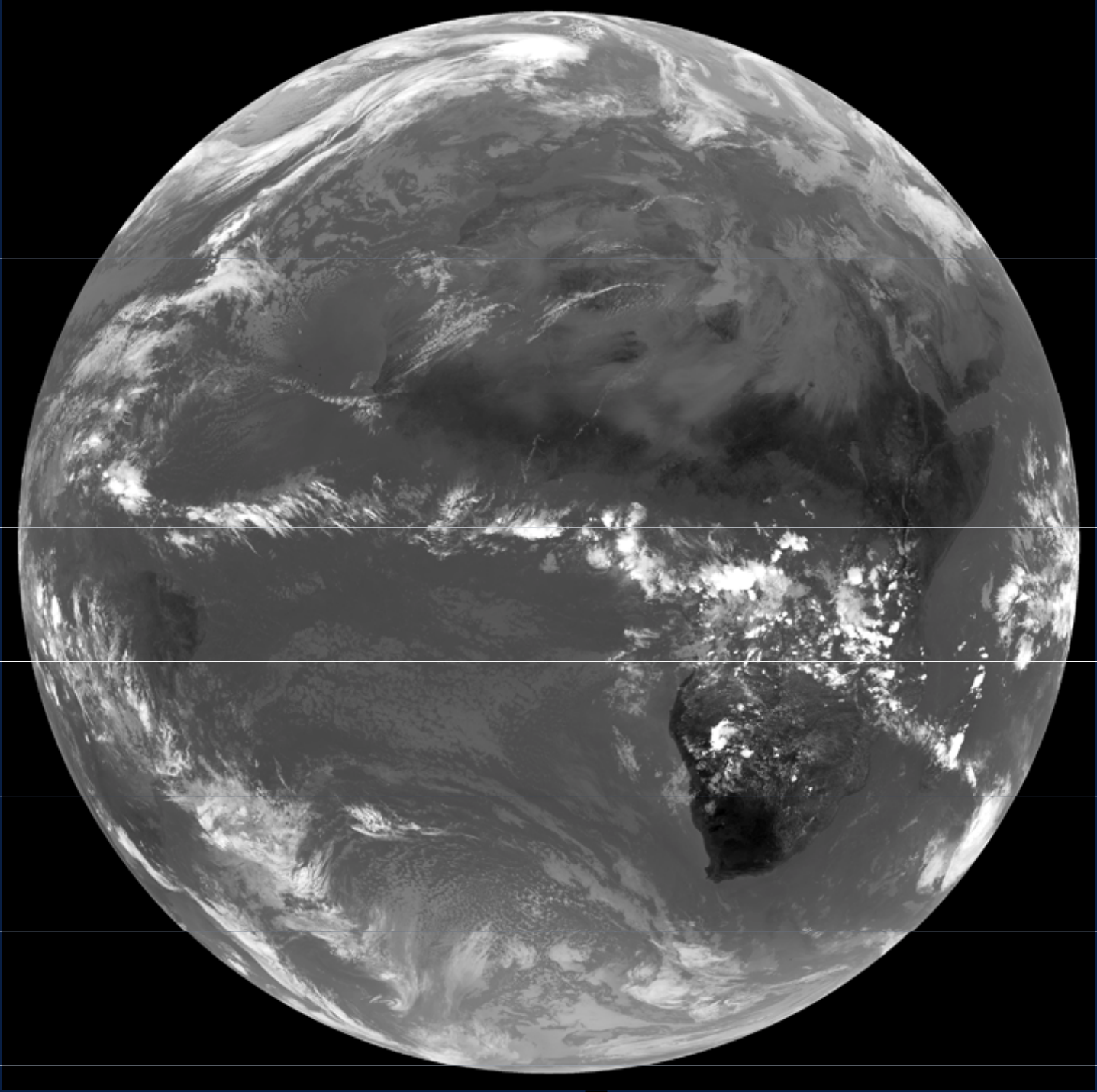
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



7.3 μm



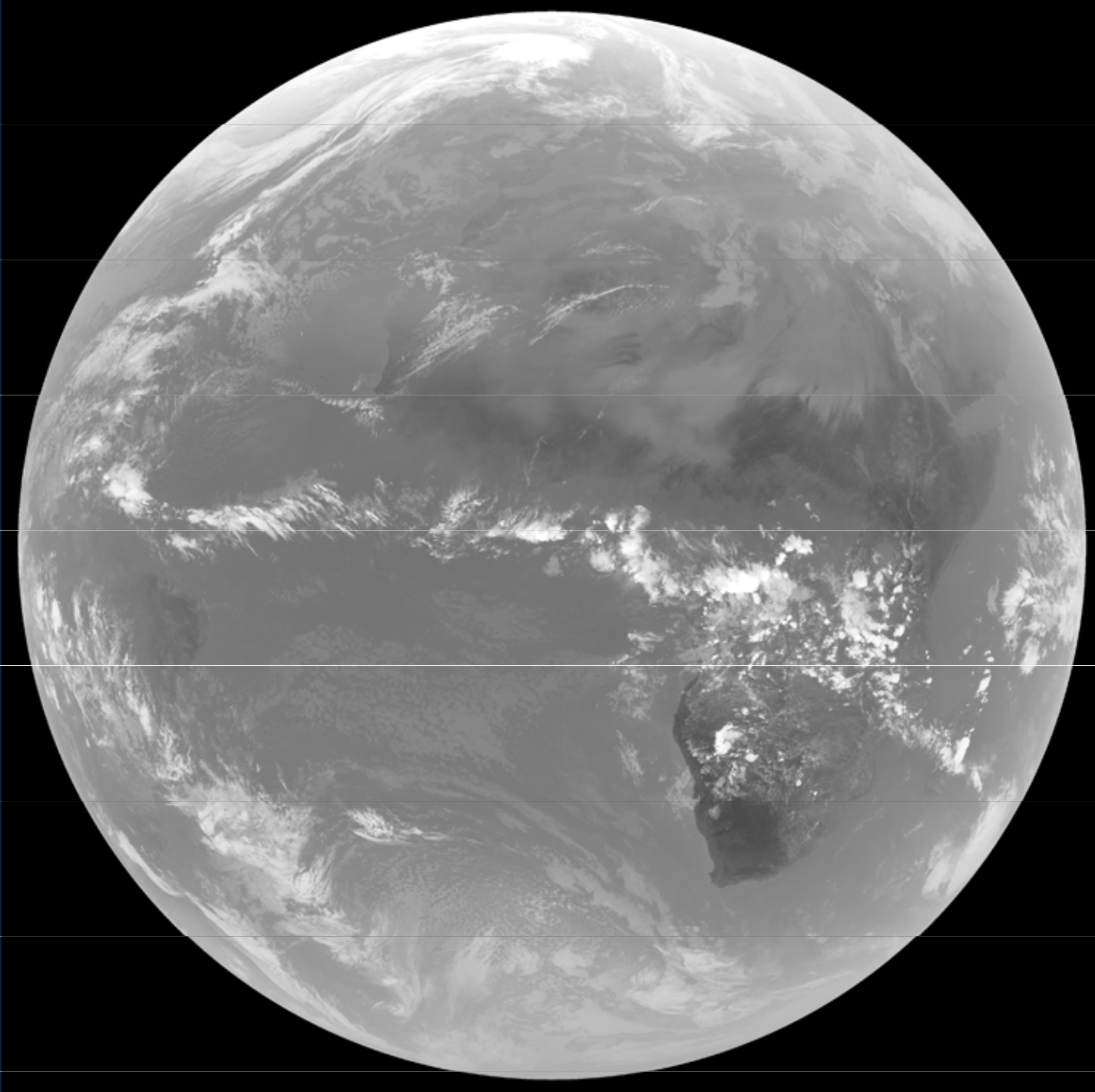
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



8.7 μm



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

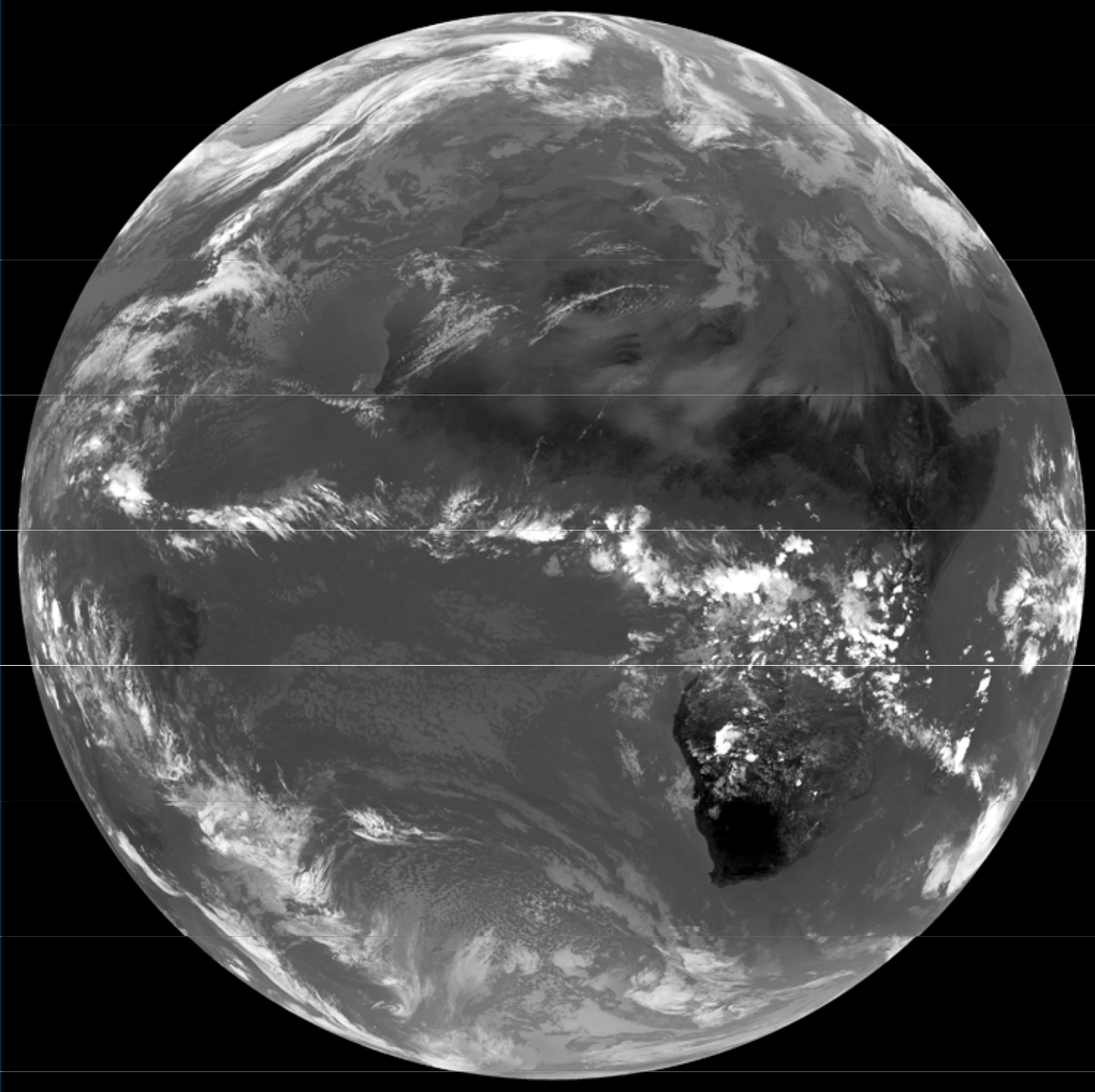


9.7 μm



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

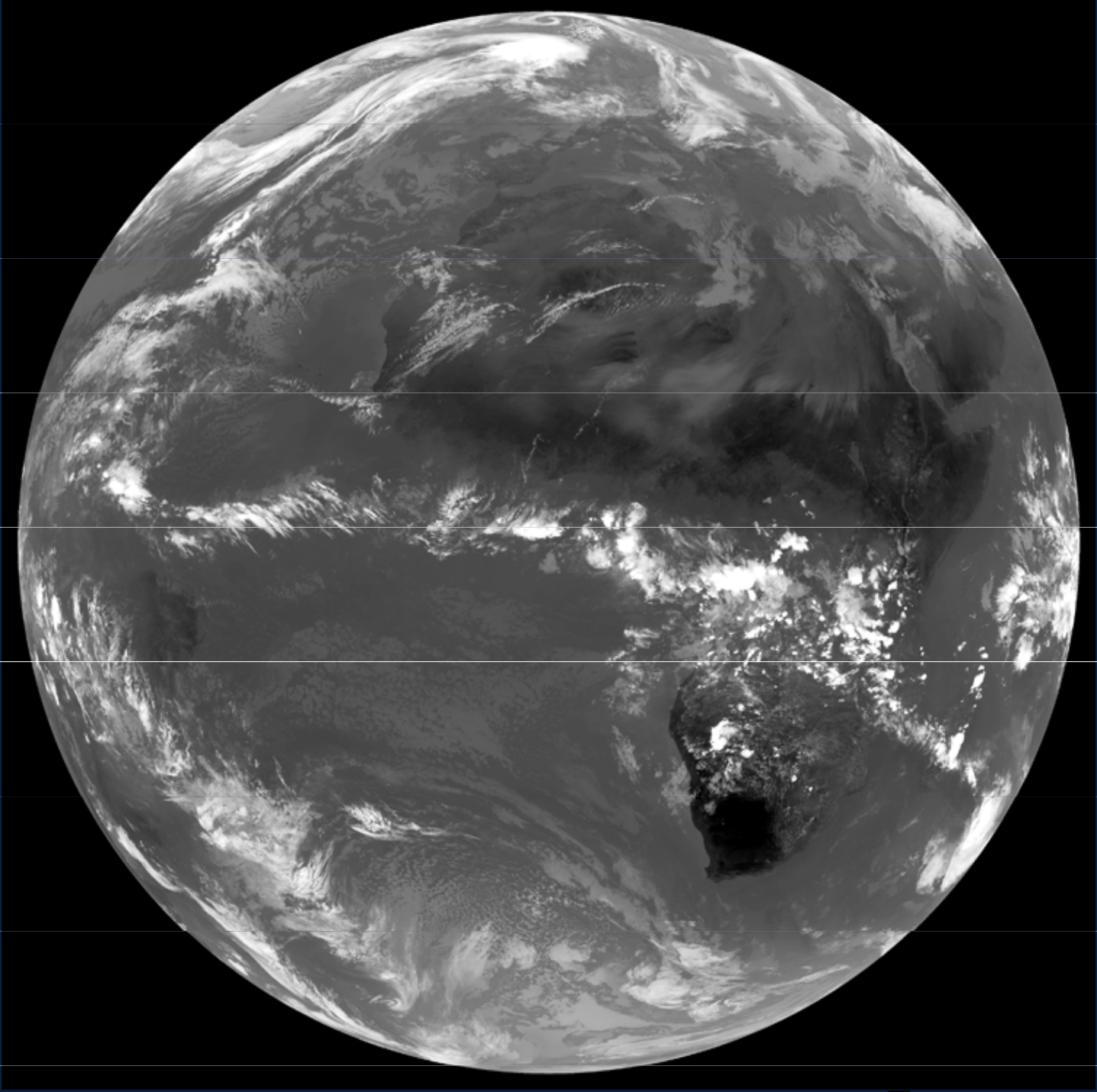




10.8 μm



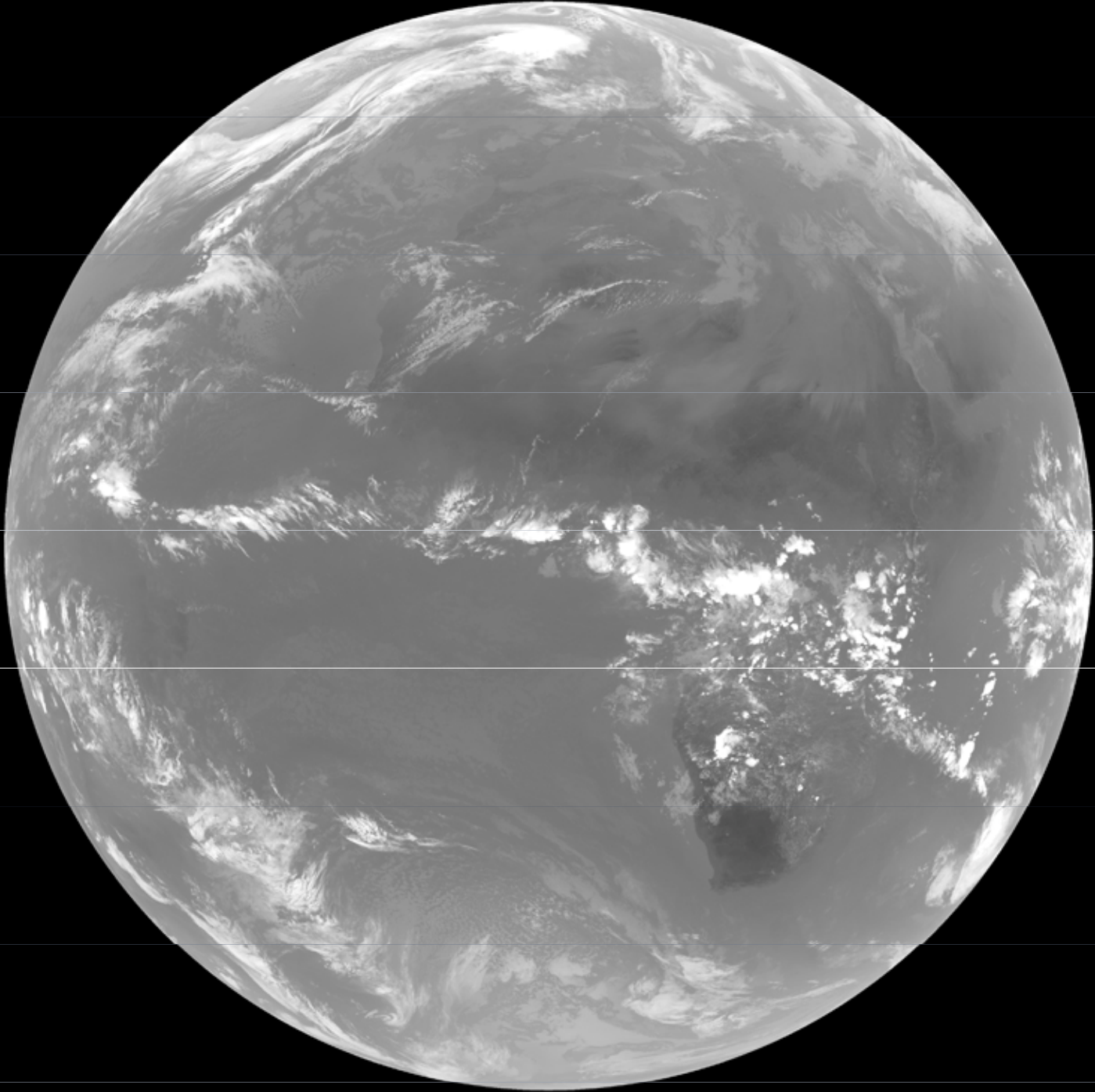
1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



12.0 μm



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5



13.4 μm



1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.5 10.0 10.5 11.0 11.5 12.0 12.5 13.0 13.5 14.0 14.5

Multispektrální charakteristiky oblačnosti

Vzhled oblačnosti a její základní spektrální charakteristiky (odrazivost, propustnost a emisivita) dány především:

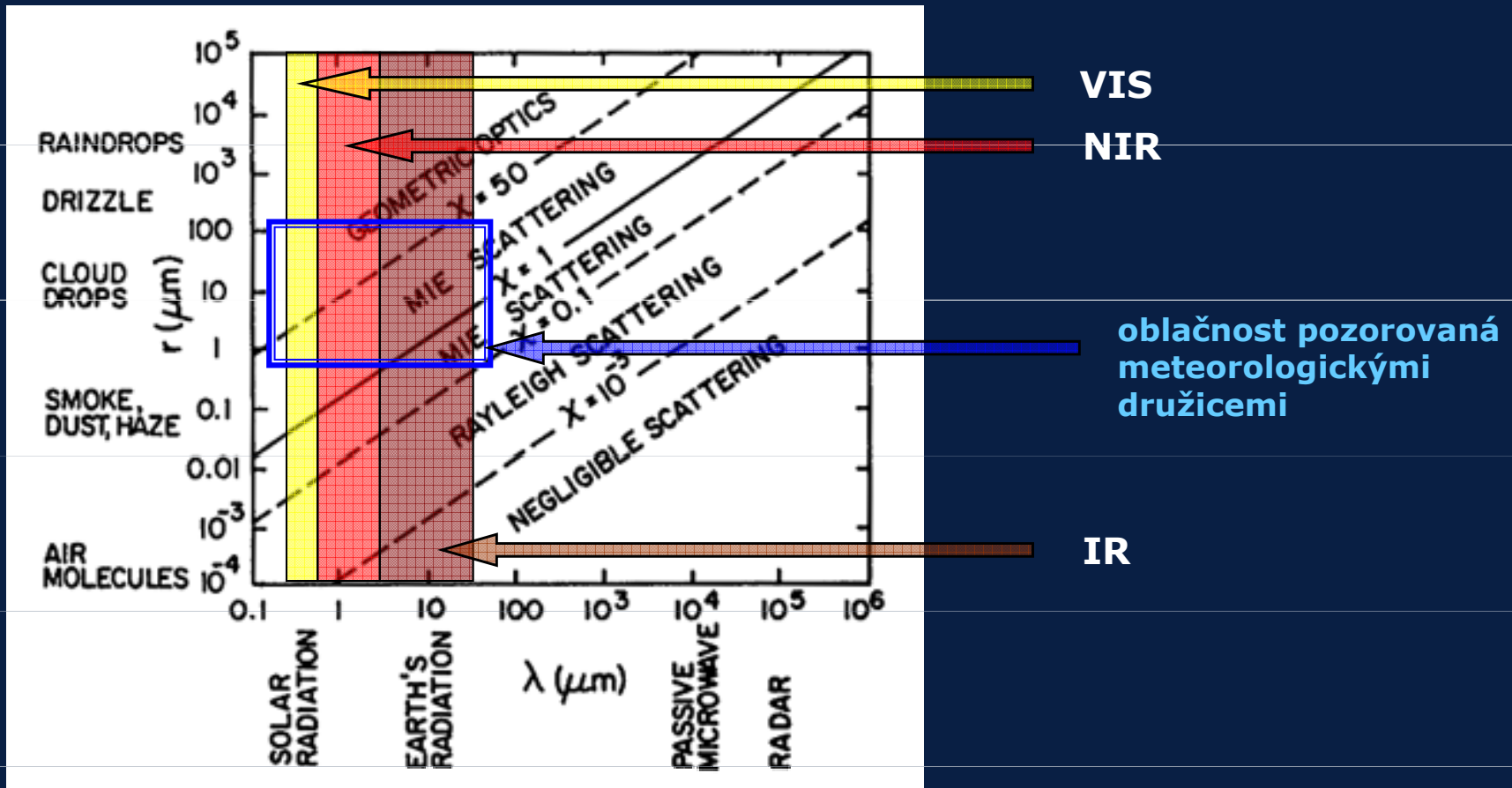
- mikrofyzikálním složením oblačnosti (její fázi - voda/led, velikostí kapek a krystalků ledu, tvarem a orientací krystalků)
- transparentností oblačnosti a vlastnostmi povrchu, nad kterým se oblačnost vyskytuje (pro transparentní oblačnost)
- teplotou oblačnosti (a tedy její výškou), resp. teplotou okolí

Kromě parametrů samotné oblačnosti hrají významnou roli i podmínky pozorování – především výška Slunce nad lokálním obzorem, úhel snímání družicí a vzájemný azimut mezi vertikálními rovinami, proloženými směrem dopadajícího slunečního záření a směrem snímání (pro solární kanály).

Rozptyl elektromagnetického záření oblačností

Mieův parametr χ » » » typ rozptylu:

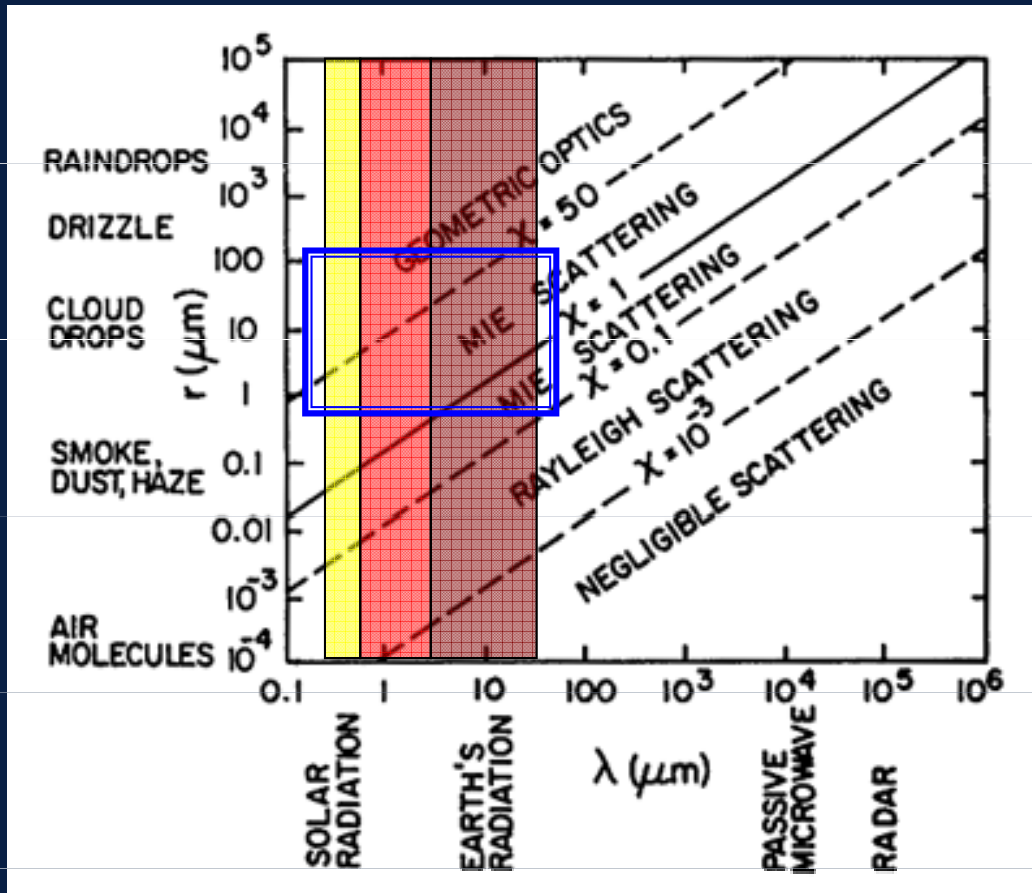
$$\chi = \frac{2\pi r}{\lambda}$$



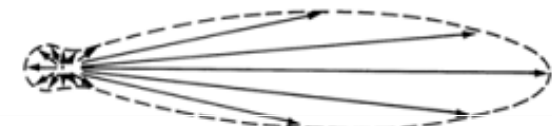
Rozptyl elektromagnetického záření oblačností

Mieův parametr $\chi \gg \gg \gg$ typ rozptylu:

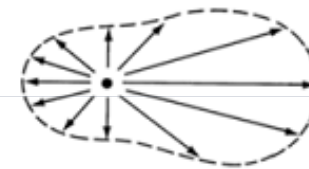
$$\chi = \frac{2\pi r}{\lambda}$$



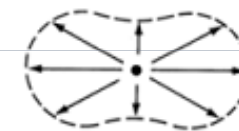
Rozptylové indikatrixe:



$r \gg \lambda$ (geometrický rozptyl)



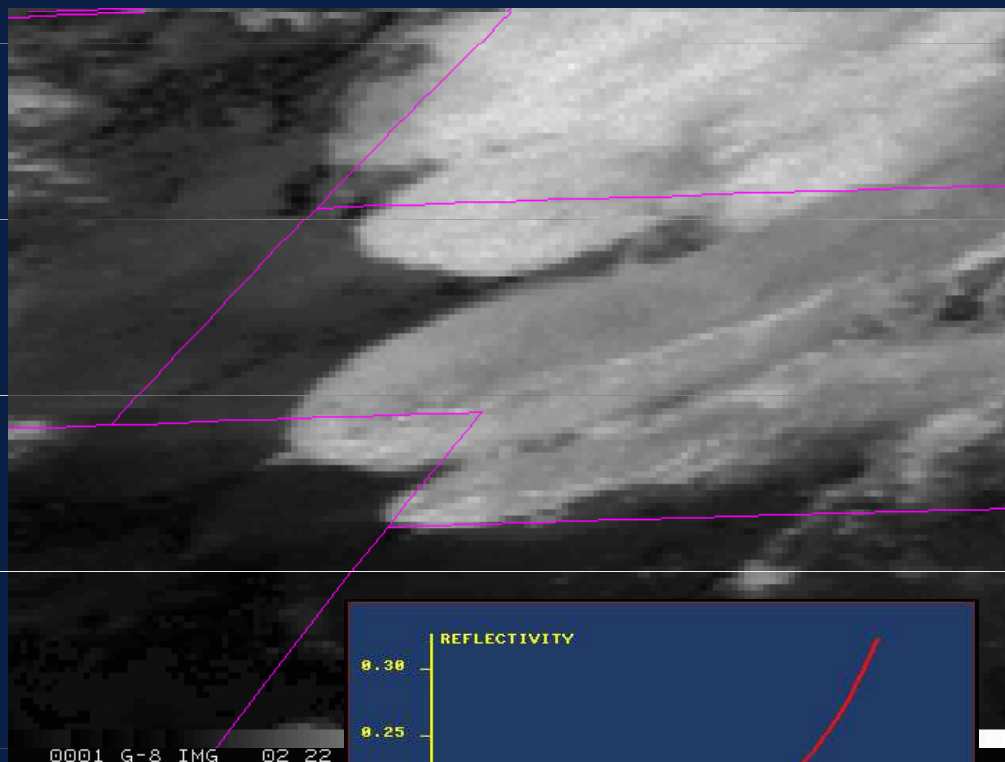
$r \approx \lambda$



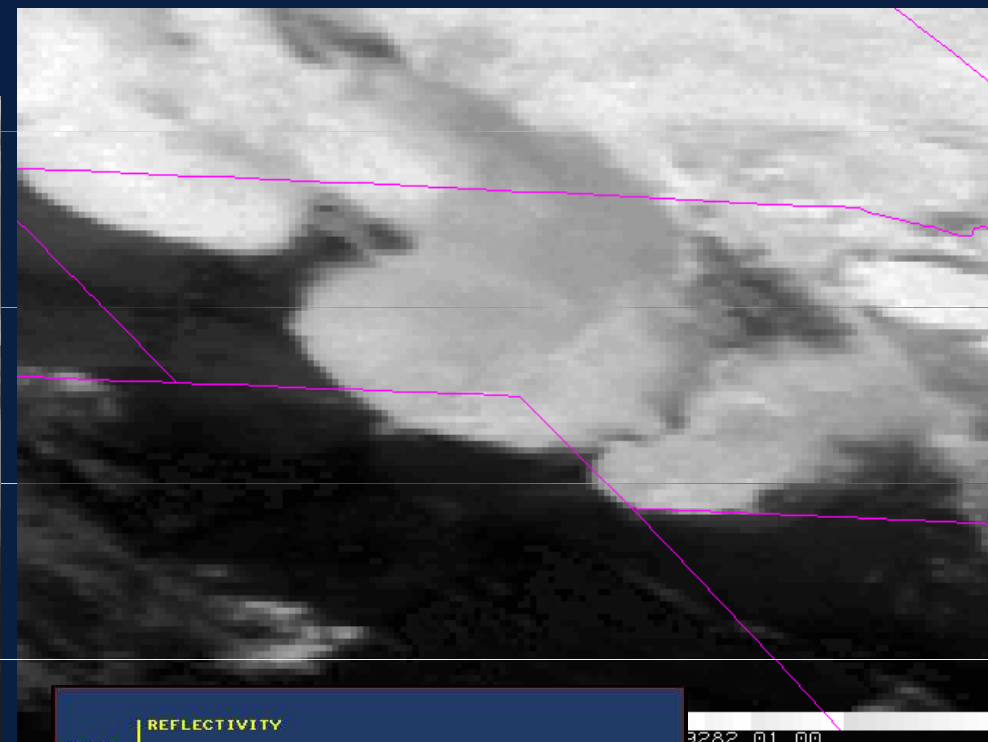
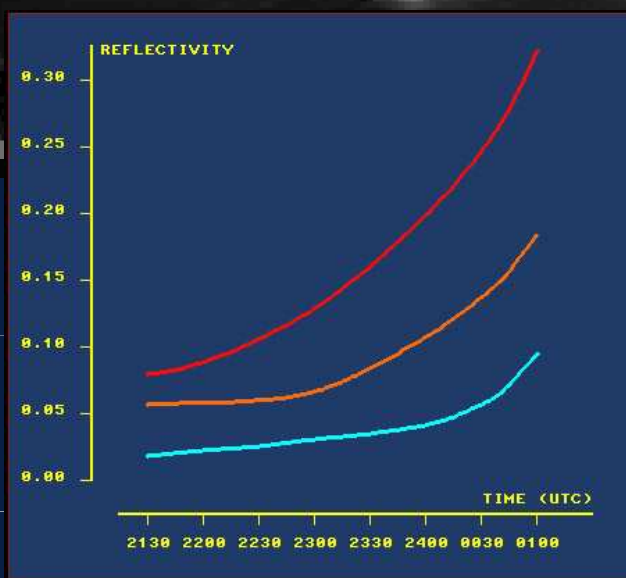
$r \ll \lambda$ (Rayleighův rozptyl)

Rozptyl elektromagnetického záření oblačností

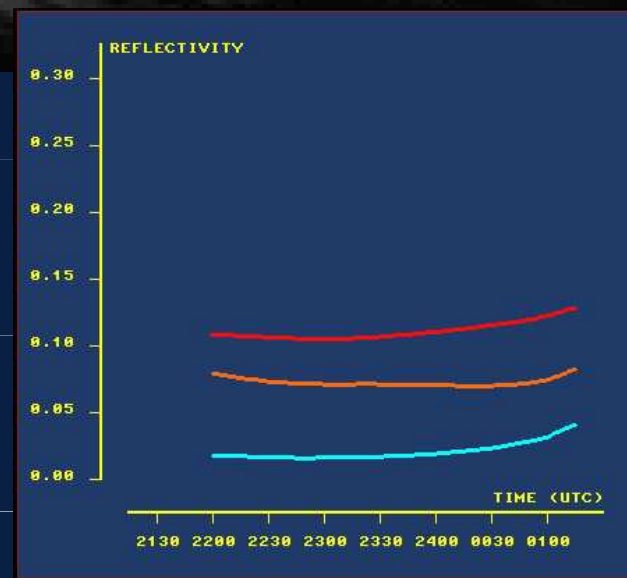
22. 5. 1996 2045-2345 UTC GOES 8 (East) a GOES 9 (West)



dopředný rozptyl



zpětný rozptyl



Rozptyl elektromagnetického záření oblačností

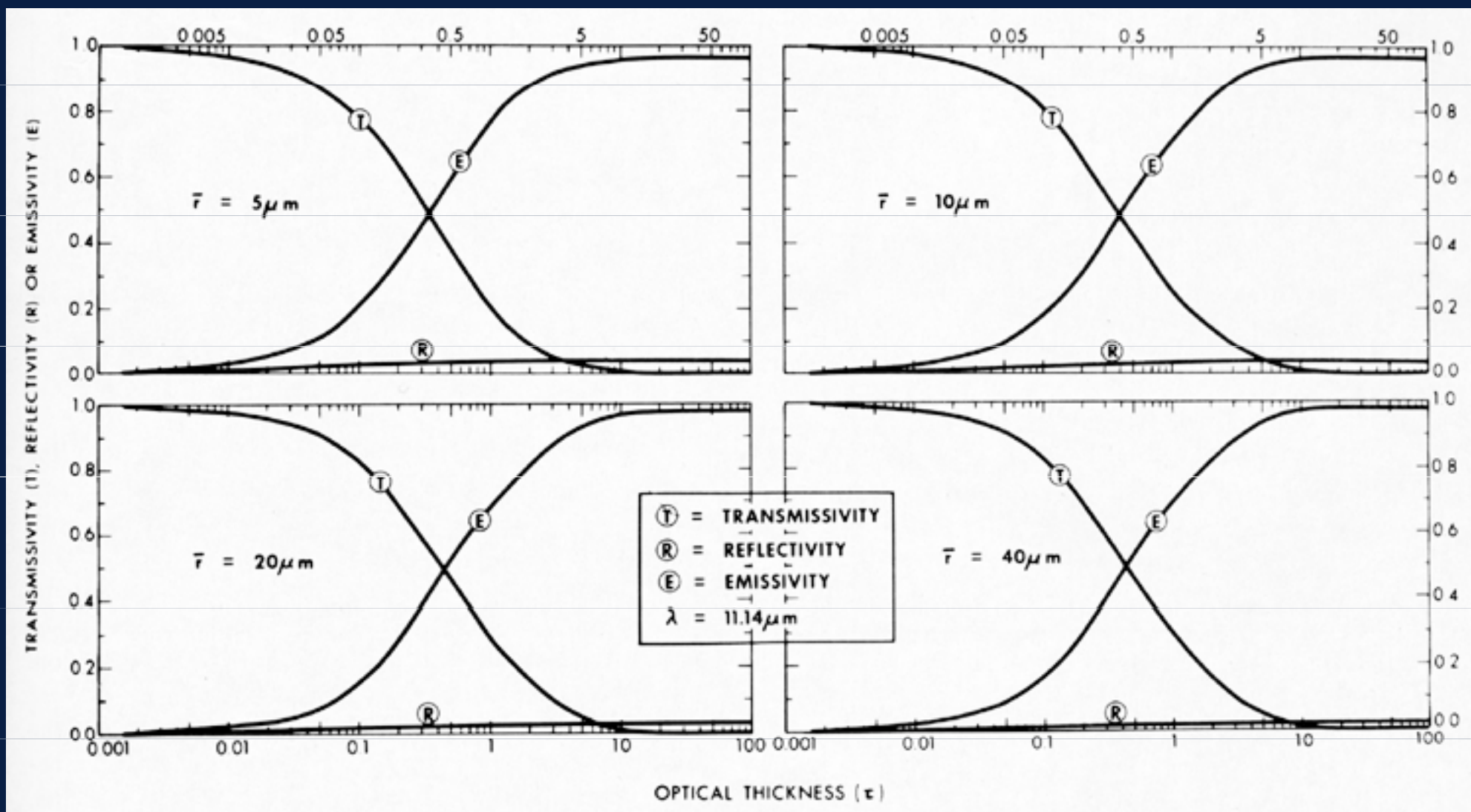
Rozptyl slunečního záření (VIS, NIR) na oblačných částicích není symetrický (difúzní, „Lambertovský“), převládá rozptyl dopředný – významné zejména při nízkých výškách Slunce nad obzorem a nízkém úhlu snímání družicí !!!

„Odrazivost“ oblačnosti (v dané vlnové délce) není pouze funkcí vlastností daného povrchu – v případě oblačnosti jejího mikrofyzikálního složení, ale i funkcí geometrických parametrů nasvícení a snímání!



Tzv. "bi-directional reflectance functions"

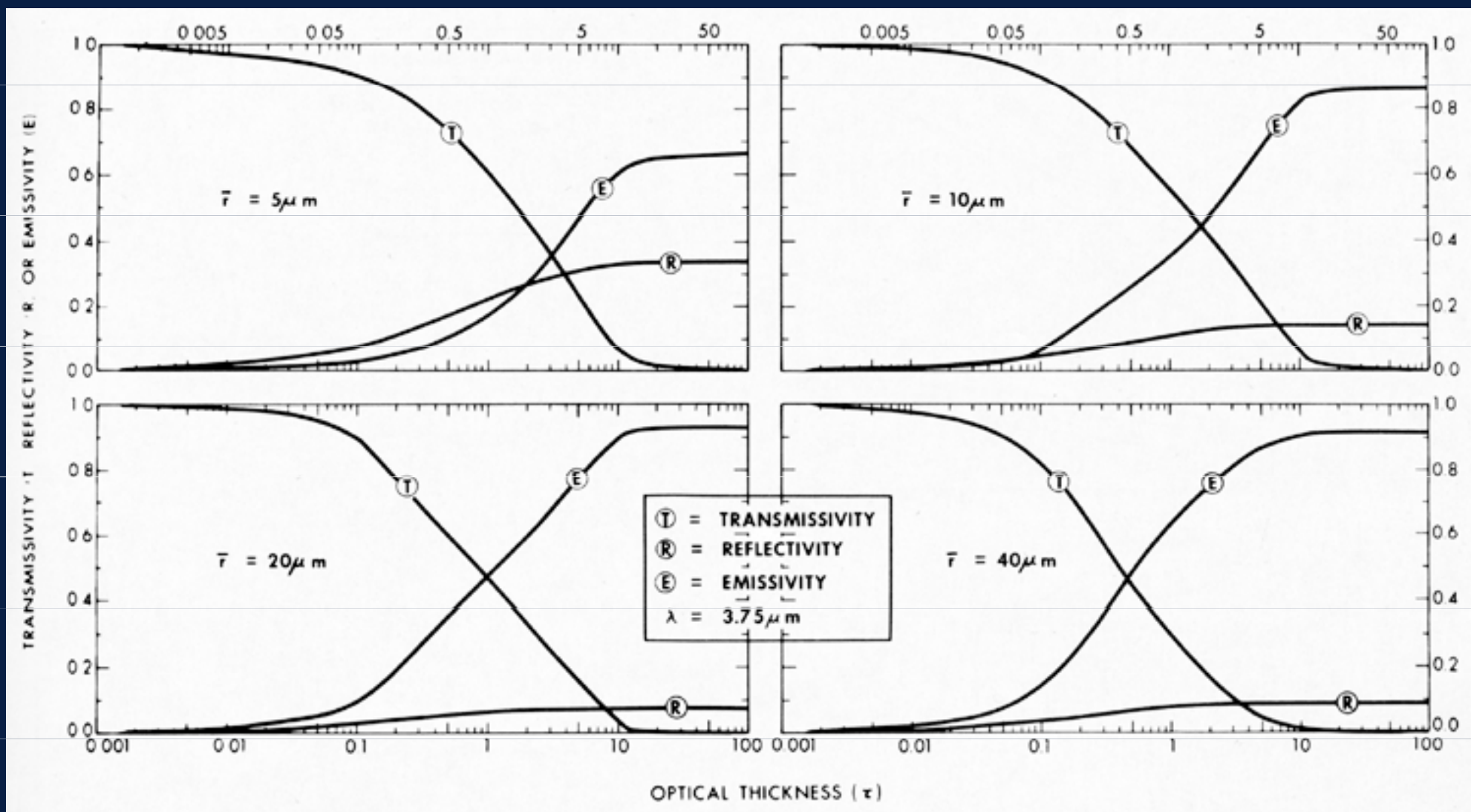
Propustnost, odrazivost a emisivita oblačnosti – 11 μm



$T + R + E = 1$ (Kirchhoffův zákon, předpoklad termodynamické rovnováhy)

sférické částice !!!


Propustnost, odrazivost a emisivita oblačnosti – 3.7 μm




$T + R + E = 1$ (Kirchhoffův zákon, předpoklad termodynamické rovnováhy)

sférické částice !!!

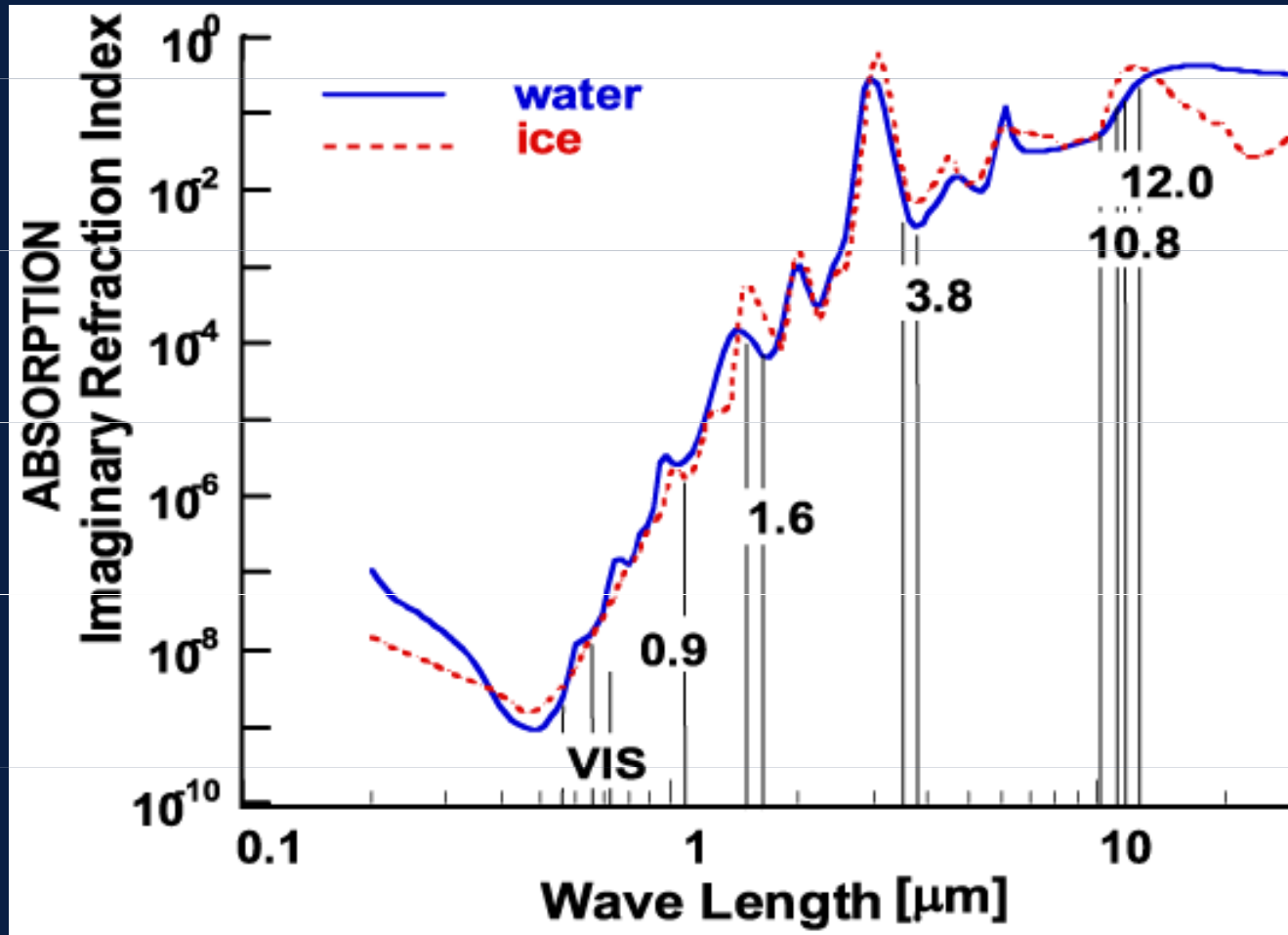
Propustnost, odrazivost a emisivita oblačnosti

 Pokud je oblačnost netransparentní (propustnost v dané vlnové délce nulová), pak jsou odrazivost a emisivita vzájemně doplňkové veličiny (tj. $R + E = 1$).

 **Čím menší je rozměr částic (resp. jejich efektivní průměr), tím je v NIR (3.5 – 4.0 μm , platí ale i pro 1.6 μm) jejich odrazivost vyšší a emisivita nižší !!!**

 Pokud je oblačnost částečně transparentní, pak je její propustnost výrazně nižší v IR než v NIR.

Propustnost, odrazivost a emisivita oblačnosti



Odlišná průběh absorpce (a tedy i odrazivosti) kapalně a ledové fáze »»» při stejných rozměrech částic jejich odlišná odrazivost

Propustnost, odrazivost a emisivita oblačnosti



Vzhledem k typickým malým rozměrům oblačných částic (kapky; řádově jednotky μm) má **nízká až střední oblačnost** (Cu, St, Sc, As, ...) výrazně menší emisivitu v NIR než v IR

- na nočních snímcích v NIR (3.5 – 4 μm) chladnější než v IR
- na denních snímcích vysoká odrazivost v NIR ($\sim 1.6 \mu\text{m}$ a 3.5 – 4 μm)



Vysoká oblačnost tvořená zpravidla většími částicemi (krystalky; řádově desítky μm) »»» chování blízké černému tělesu

- pro opticky hustou oblačnost malé rozdíly teploty mezi NIR a IR
- na denních snímcích má (zpravidla) vysoká oblačnost nízkou odrazivost v NIR



Propustnost částečně transparentní oblačnosti (především cirrů) vyšší v NIR než v IR

- jejich snazší detekce v IR než v NIR
- na nočních snímcích v NIR teplejší než v IR

How deep can we see into the cloud?

Cloud drop size: $r_{\text{eff}} = 5 \text{ mm}$

$\lambda = 0.6 \quad 1.6 \quad 3.9$

$r_{\text{eff}} = 15 \text{ mm}$

$\lambda = 0.6 \quad 1.6 \quad 3.9$

$r_{\text{eff}} = 30 \text{ mm}$

$\lambda = 0.6 \quad 1.6 \quad 3.9$

Depth below cloud top [m]



Assumed Cloud
Water Content
 $= 0.5 \text{ g m}^{-3}$

- ***3.9 μm measures mainly near cloud top***
- ***1.6 μm penetrates into larger cloud depth***
- ***0.6 μm often affected by surface, especially in clouds with large drops or ice particles.***

Základní využití jednotlivých kanálů SEVIRI

- **VIS 0.6/0.8 μm :** Detekce oblačnosti a její „trekování“, detekce aerosolů, monitorování vegetace a sněhové pokrývky.
- **NIR 1.6 μm :** Odlišení sněhu od oblačnosti, detekce fáze oblačných částic (led/voda)
- **IR 3.9 μm :** Detekce nízké oblačnosti a mlh – jak ve dne, tak především v noci. Mikrofyzika oblačnosti ve dne. Detekce požárů.
- **WV 6.2/7.3 μm :** Detekce rozložení vodní páry ve střední a horní troposféře. „Trekování“ vysoké oblačnosti a vodní páry. Určování výšky oblačnosti. Dynamika jevů kolem tropopauzy.
- **IR 8.7 μm :** Kvantitativní informace o řídké cirrovité oblačnosti; fáze oblačnosti.
- **IR 9.7 μm :** Sledování celkového ozónu; struktura a gradienty ozónových útvarů
»»» charekter proudění kolem tropopauzy.
- **IR 10.8/12.0 μm :** Detekce oblačnosti; teplota horní hranice oblačnosti a zemského povrchu, detekce řídkých cirrů.
- **IR 13.4 μm :** Upřesnění výšky oblačnosti, zejména řídkých cirrů.

Základní využití jednotlivých kanálů SEVIRI

Rozdíly mezi jednotlivými kanály často velmi malé, okem těžko postřehnutelné »»» nutnost použít matematické operace mezi jednotlivými kanály (zejména rozdíl) nebo tzv. RGB kompozity jednotlivých kanálů či jejich rozdílů, aby se určité charakteristiky staly zjevnými ... cíleně navržené RGB kompozity, viz např.

<http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/index.htm>

Možným výstupem rovněž různé speciálně navržené „meteorologické produkty“, viz např.

<http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/PRODUCTS/>