

Fyzická geografie

(Z0026)

prof. RNDr. Rudolf Brázdil, DrSc.

RNDr. Zdeněk Máčka, Ph.D.

podzimní semestr - 4/0: zkouška – 7 kreditů,
0/1: zápočet – 2 kredity

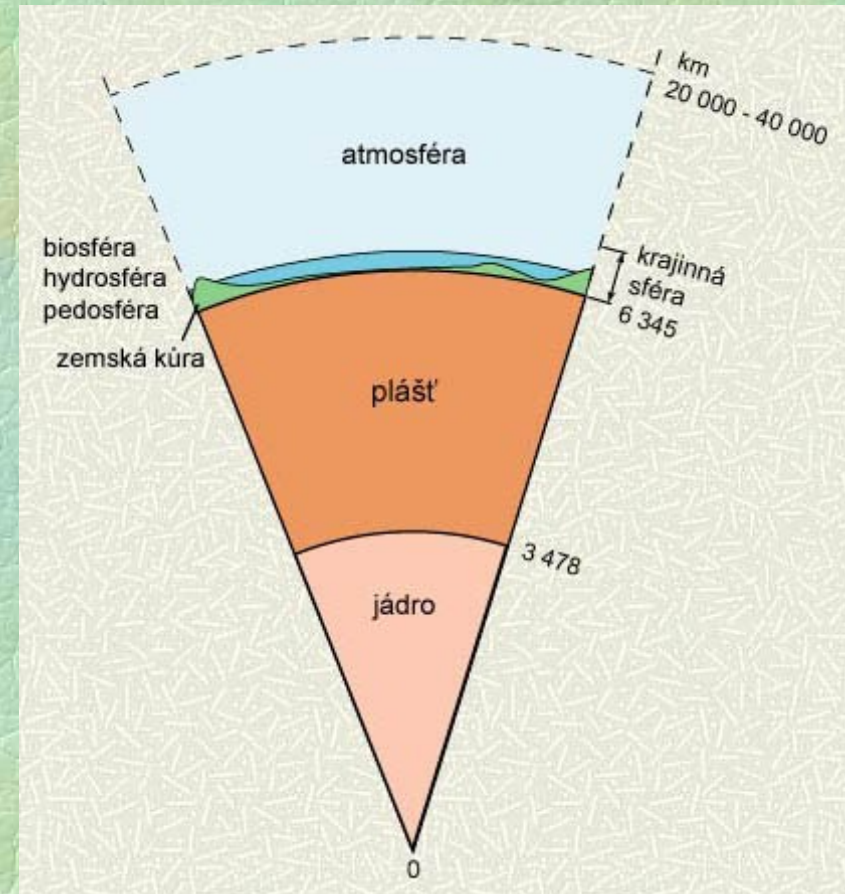
1. Úvod do studia fyzické geografie

Fyzická geografie

- vědní disciplína v rámci geografických věd, zabývající se studiem fyzickogeografické sféry Země. Z časového a prostorového hlediska popisuje, studuje a prognózuje procesy a jevy, které se v ní odehrávají

Fyzickogeografická sféra Země se skládá z jednotlivých geosfér:

- a) **zemská kůra s georeliéfem** – nejsvrchnější vrstva pevného zemského tělesa, jejíž povrch se označuje jako georeliéf – **geomorfologie**
- b) **atmosféra** – plynný obal Země (po ozonovou vrstvu) – **meteorologie a klimatologie**
- c) **hydrosféra** – geosféra tvořená vodami oceánů a pevniny – **hydrologie**
- d) **kryosféra** – část zemské kůry a hydrosféry, jejíž teplota je po více než 2 roky pod bodem mrazu – **glaciologie**
- e) **pedosféra** – půdní pokryv na povrchu pevnin – **pedogeografie**
- f) **biosféra** – geosféra s podmínkami pro život a trvale obydlena živými organismy – **biogeografie**



fyzickogeografická + socioekonomická sféra = **krajinná sféra** Země

Základní literatura:

Strahler, A., Strahler, A. (2006): Introducing Physical Geography. John Wiley & Sons, Inc., New York, 728 s.

Nové vydání: 2011

Pomocná literatura pro klimatologii a hydrologii:

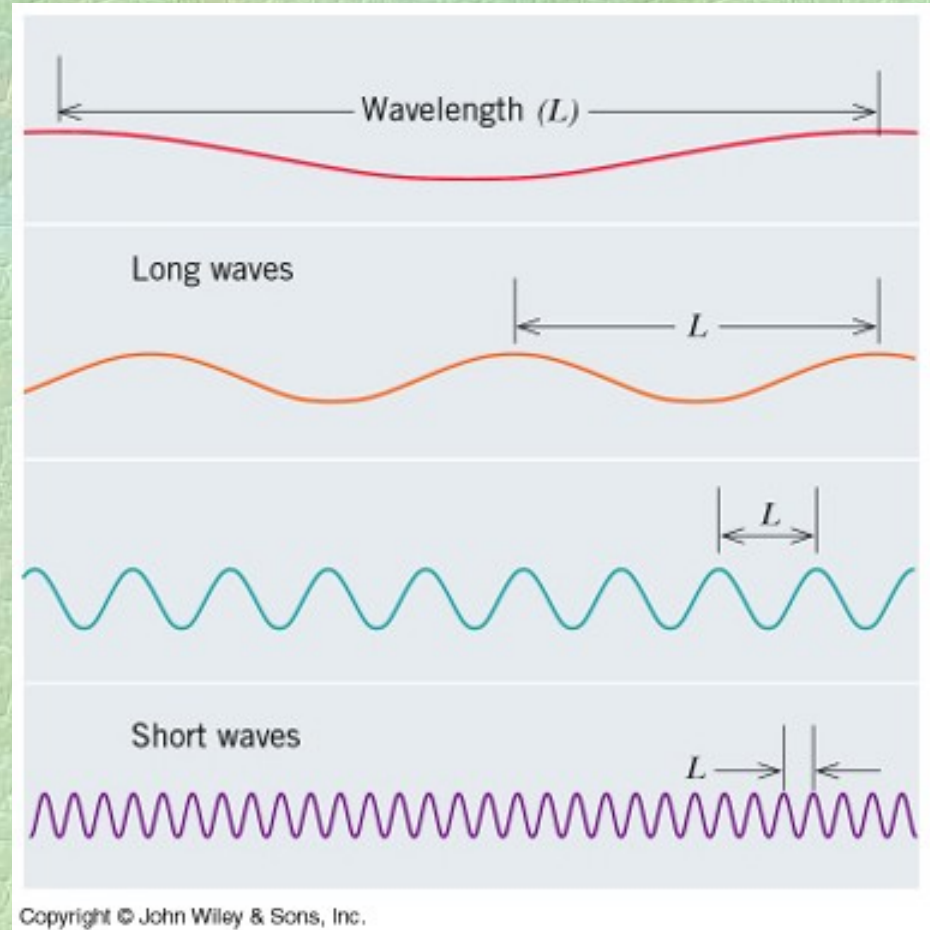
Netopil, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. SPN, Praha, 272 s.

Sobíšek, B. (ed.) (1993): Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 594 s. <http://slovník.cmes.cz>

2. Globální energetická bilance Země

2.1 Elektromagnetické záření

- **sluneční záření** – elektromagnetické x korpuskulární (částicové)
- **elektromagnetické záření** – soubor záření různých vlnových délek vycházejícího od povrchu objektu
- **vlnová délka L** – vzdálenost od jednoho hřbetu vlny k sousednímu hřbetu; jednotka – mikrometr (μm , 10^{-6} m) nebo nanometr (nm, 10^{-9} m)



2.1.1 Záření a teplota

– dva základní principy emise elektromagnetického záření:

- a) nepřímý vztah mezi vlnovou délkou záření daného tělesa a jeho teplotou (Slunce – kratší vlnové délky, Země – větší vlnové délky)
- b) teplejší tělesa vyzařují mnohem více než tělesa chladnější (závislost na čtvrté mocnině absolutní teploty – Stefan-Boltzmannův zákon)

2.1.2 Sluneční záření

- Slunce: jaderné reakce proton-protonového cyklu (přeměna vodíku na hélium)
 - povrchová teplota 6000 °C
 - výkon Slunce $2,8 \cdot 10^{26}$ W ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
 - rychlost elektromagnetického záření 300 tisíc $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$
 - 8 1/3 min. než dorazí na Zemi
- vzdálenější planety – méně energie od Slunce; Země – $1,7 \cdot 10^{17}$ W

Spektrum elektromagnetického záření:

a) **ultrafialové záření** – 0,2-0,4 μm

– pohlceno téměř úplně plyny v atmosféře – škodlivé pro živé organismy

b) **viditelné záření** – 0,4-0,7 μm

– světelná energie – barva závislá na vlnové délce (fialová, modrá, zelená, žlutá, oranžová, červená) – jen malá část pohlcována

c) **krátkovlnné infračervené záření** – 0,7-3 μm

– lidské oko není na ně citlivé – snadno proniká atmosférou

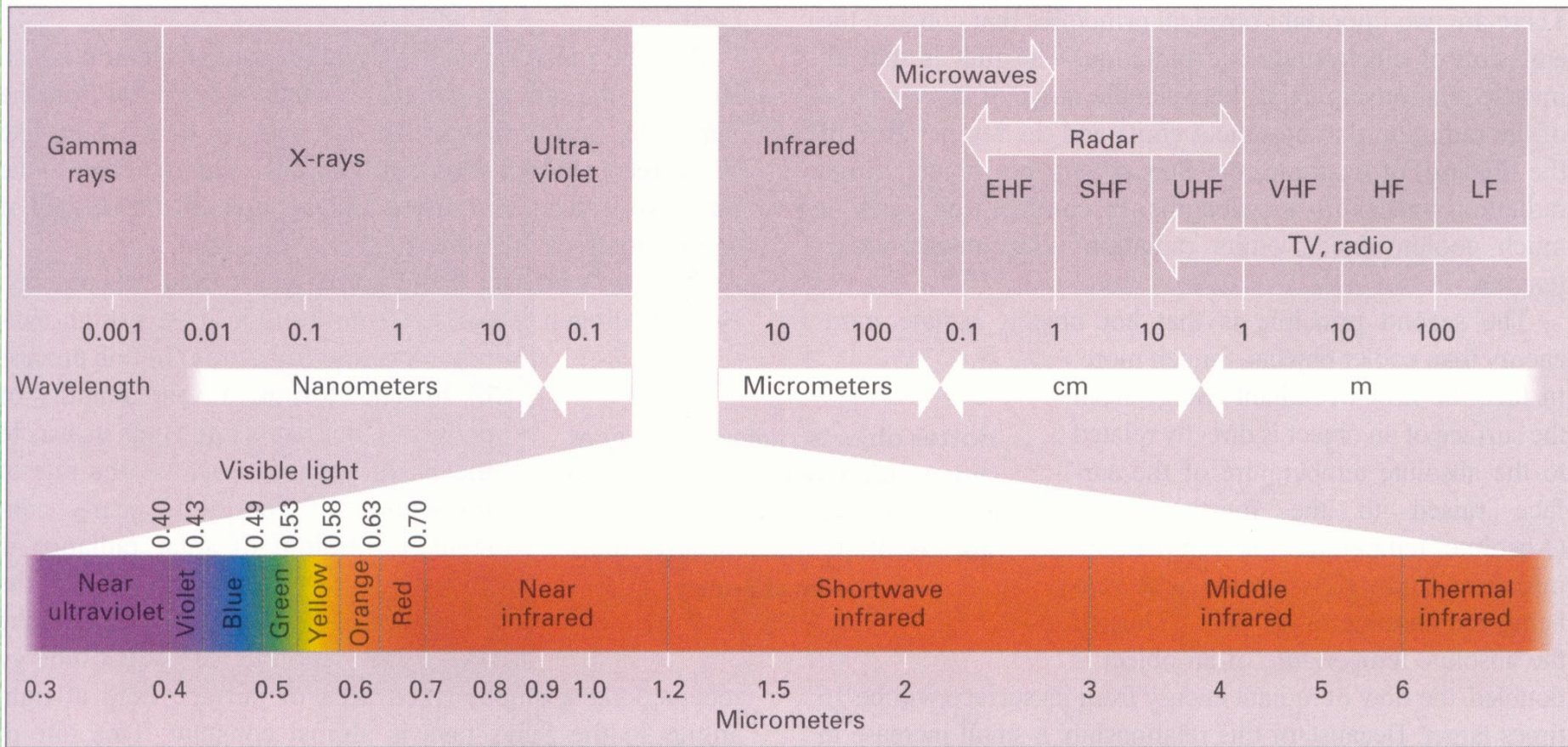
a) + b) + c) = **krátkovlnné záření**

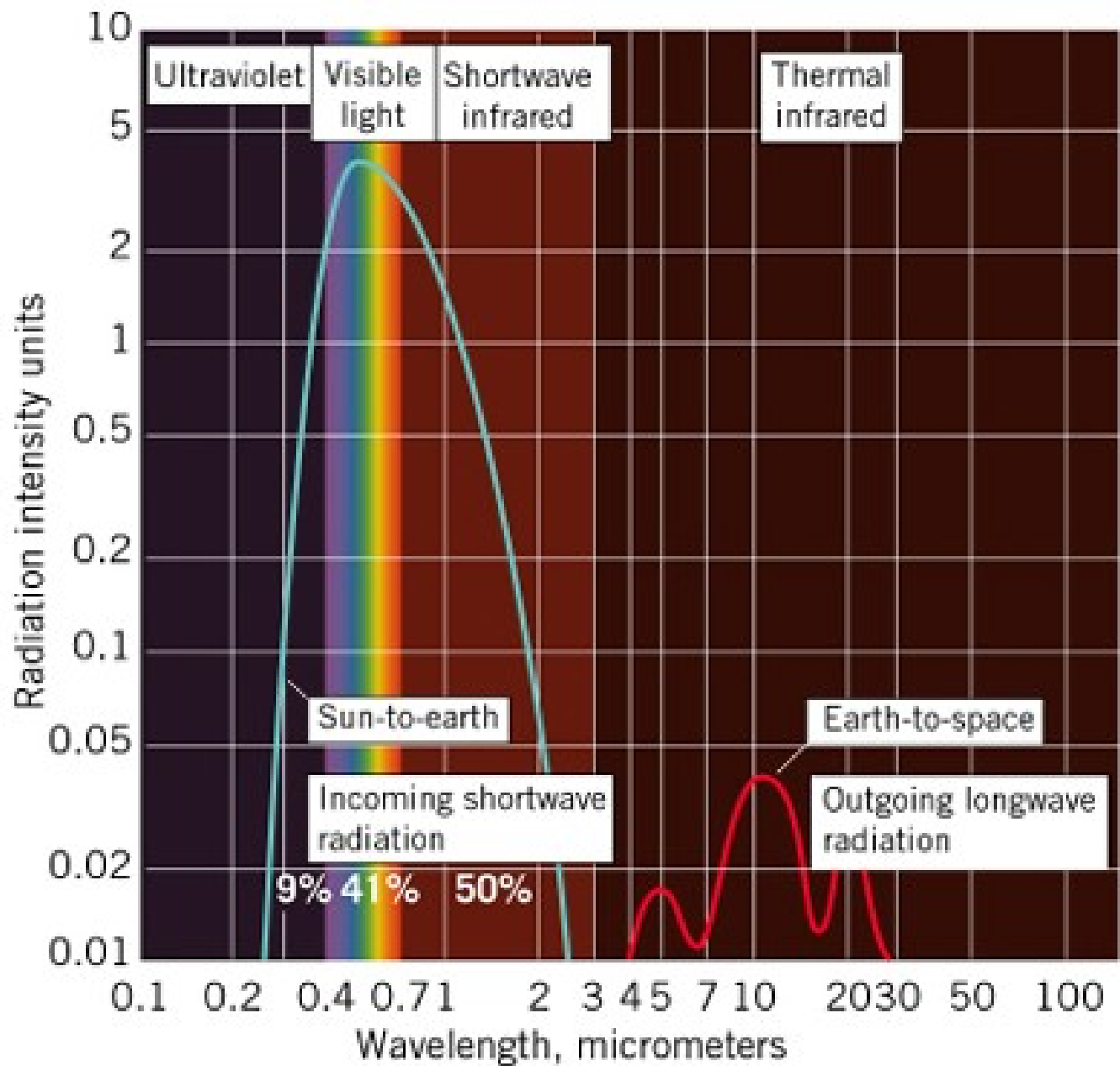
d) **tepelné infračervené záření** – $> 3 \mu\text{m}$

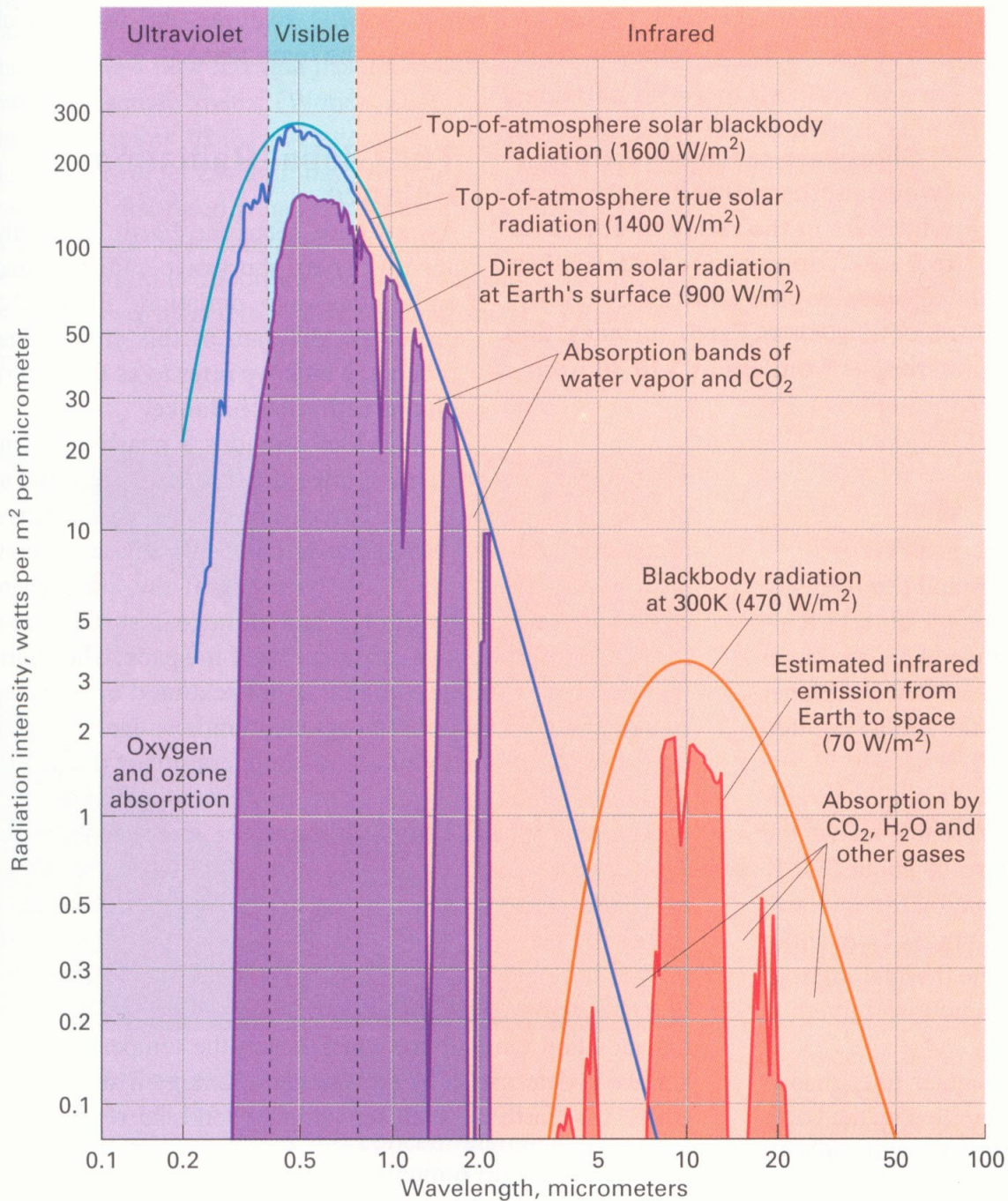
– vydáváno chladnějšími objekty – pocíťováno jako teplo – označuje se jako **dlohovlnné záření** (tepelné snímkování)

Spektrum elektromagnetického záření

2.2 The electromagnetic spectrum Electromagnetic radiation can exist at any wavelength. By convention, names are assigned to specific wavelength regions as shown in the figure.







2.4 Spectra of solar and Earth radiation This figure plots both shortwave radiation, which comes from the Sun (left side), and longwave radiation, which is emitted by the Earth's surface and atmosphere (right side). (After W. D. Sellers, *Physical Climatology*, University of Chicago Press. Used by permission.)

2.1.3 Charakteristiky slunečního záření

- různá intenzita vyzařování podle vlnové délky:

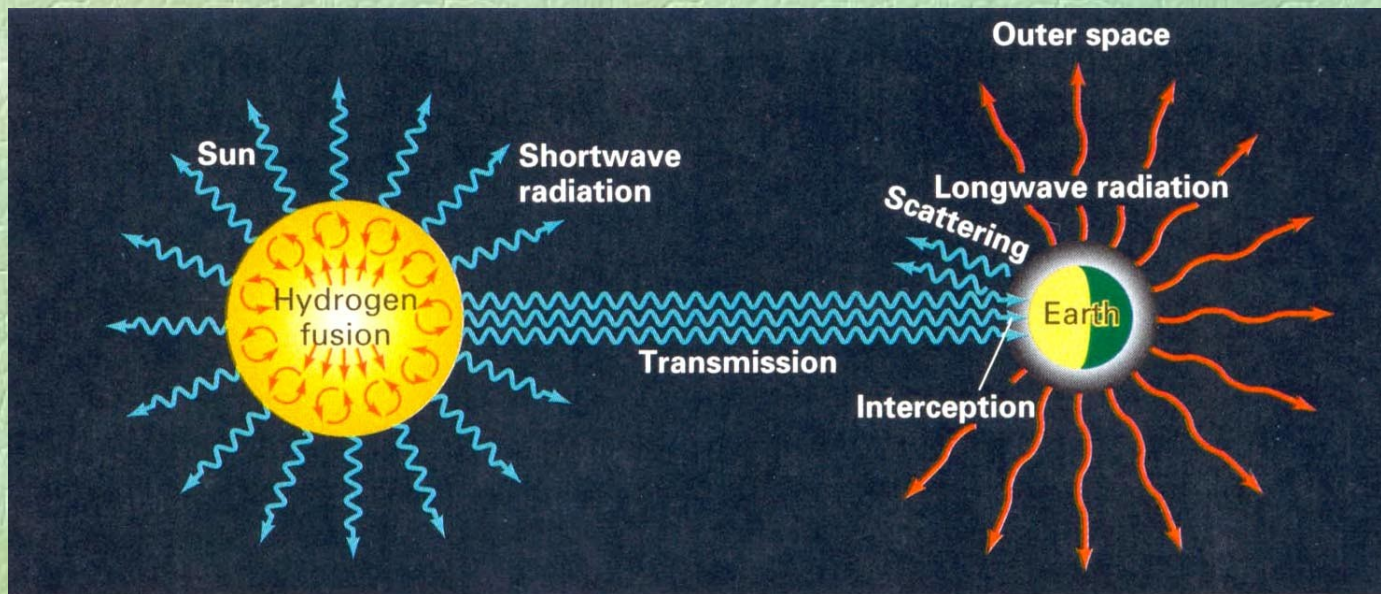
ultrafialové	viditelné	krátkovlnné infračervené
9%	41%	50% (velmi málo energie pro $L > 2\mu\text{m}$)

- intenzita slunečního záření je největší ve viditelné části spektra
- **solární konstanta I_S** – celková intenzita elektromagnetického záření Slunce, dopadajícího na horní hranici atmosféry na jednotkovou plochu kolmou k paprskům při střední vzdálenosti Země-Slunce:

$$I_S = 1367 \text{ W.m}^{-2} \pm 0,3 \%$$

2.1.4 Dlouhovlnné záření Země

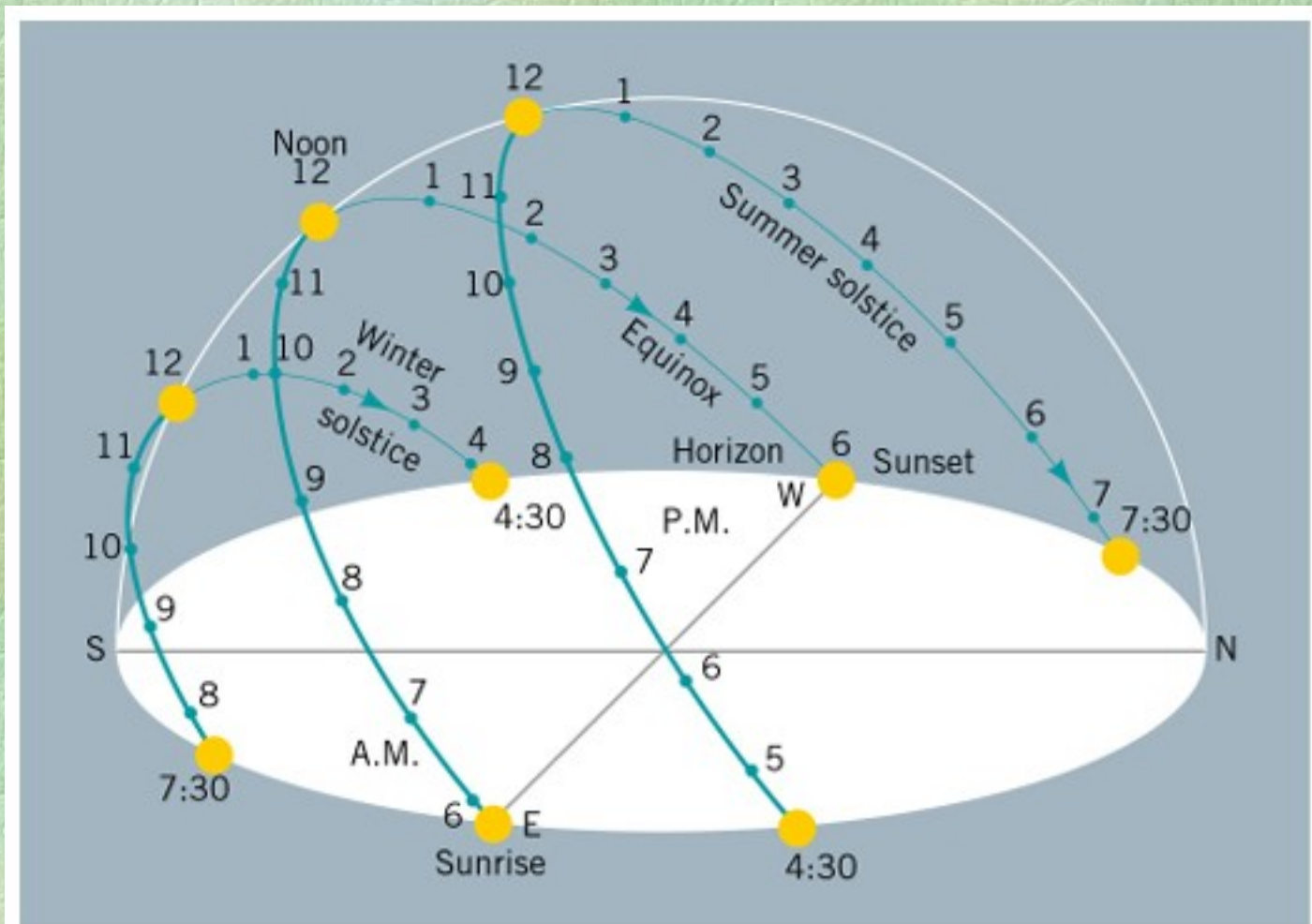
- zemský povrch a atmosféra vyzařují méně energie o větších vlnových délkách (v porovnání se Sluncem)
- intenzita vyzařování má tři maxima pro $L = 5, 10$ a $20 \mu\text{m}$ – vlnové délky mezi tím pohlcovány hlavně vodní párou a CO_2



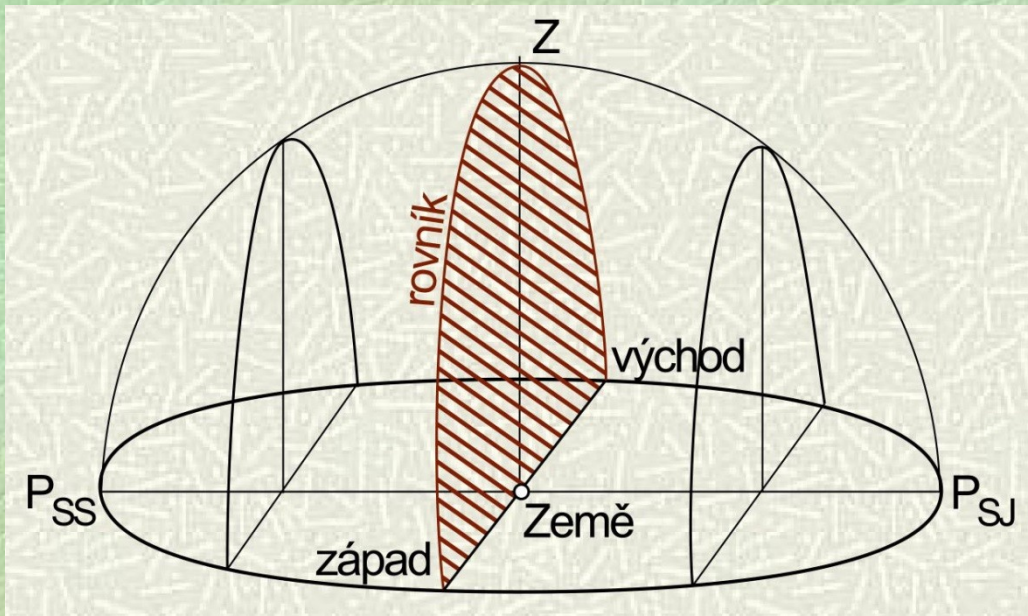
2.1.5 Globální radiační bilance

- Země stále pohlcuje krátkovlnné sluneční záření a vydává dlouhovlnné záření – **radiační bilance**
- krátkovlnné záření je zčásti odraženo zpět do meziplanetárního prostoru (též oblaky, částicemi), zčásti rozptýlováno a pohlcováno v atmosféře a na aktivním povrchu (vzestup teploty) – **rozptýlené a přímé záření**
- dlouhovlnné záření uniká do meziplanetárního prostoru (pokles teploty)
- dlouhodobě je příjem krátkovlnného záření vyrovnáván výdejem dlouhovlnného záření (**zářivá rovnováha**)

2.2.1 Dráha Slunce na obloze

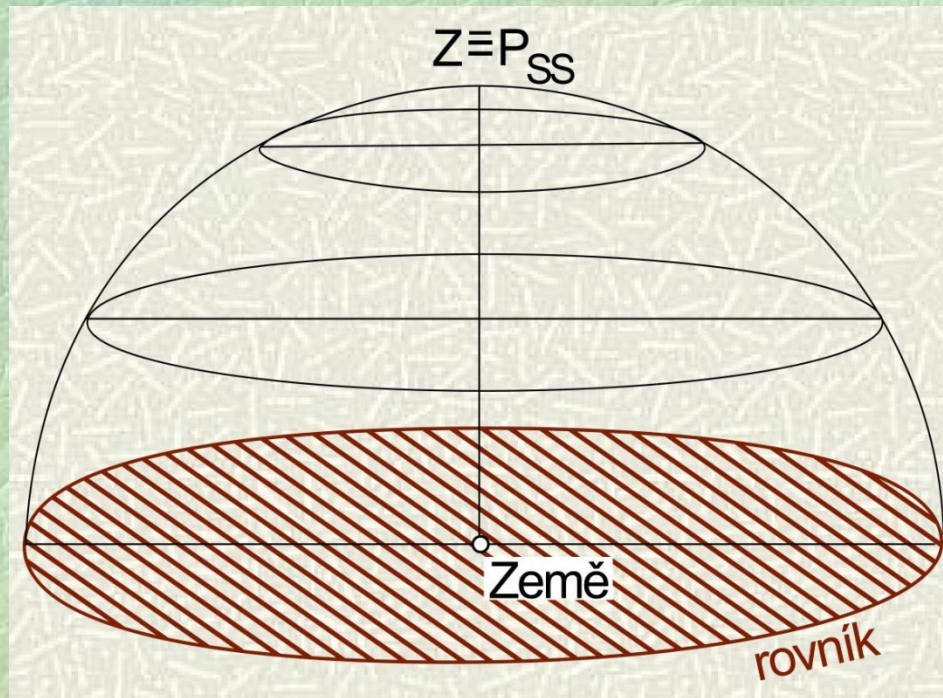


Copyright © John Wiley & Sons, Inc.



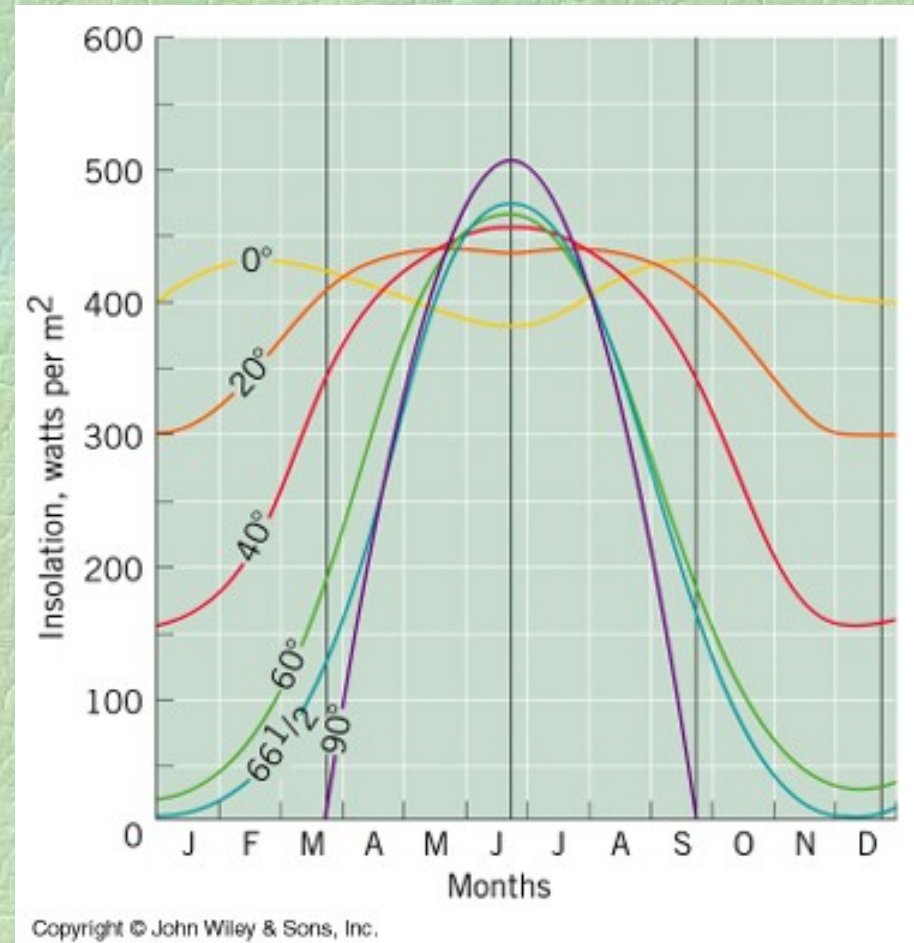
Na **rovníku** jsou zdánlivé denní dráhy Slunce kolmé k rovině obzoru a postupně se posunují mezi letním (blíže k P_{SS}) a zimním (blíže P_{SJ}) slunovratem. Ve dnech rovnodenností se Slunce zdánlivě pohybuje po světovém rovníku.

Na **severním pólu** jsou zdánlivé denní dráhy Slunce rovnoběžné s rovinou obzoru (splývající se světovým rovníkem). V době od jarní rovnodennosti přes letní slunovrat po zimní rovnodennost se Slunce pohybuje nad obzorem (**polární den**), ve zbytku roku pod obzorem (**polární noc**).



2.2.2 Denní insolace během roku

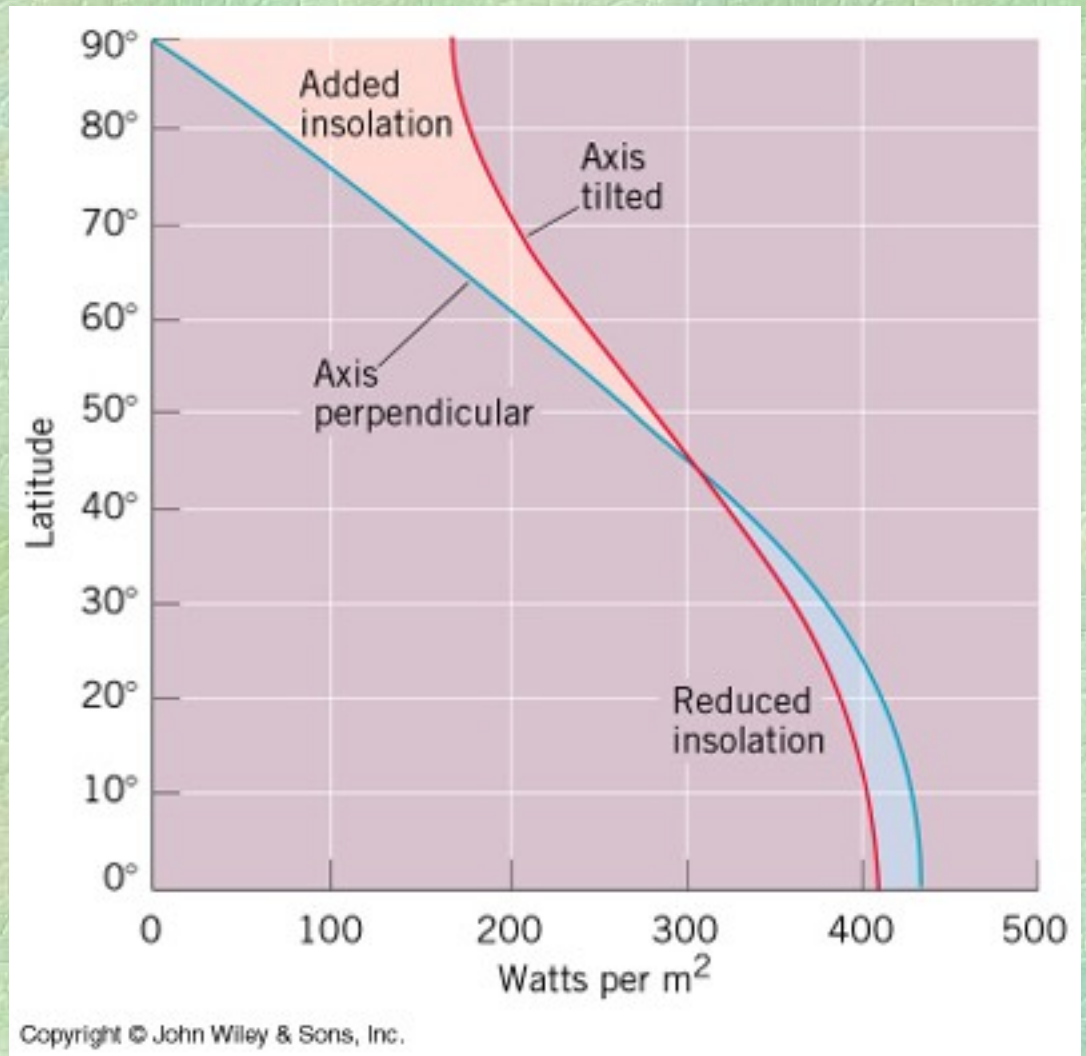
- denní insolace (úhrn přímého záření) závisí na úhlu dopadu slunečních paprsků a době expozice (tedy na zeměpisné šířce a roční době)
- v pásmu **mezi obratníky** existují dvě maxima (na rovníku v době rovnodenností), která se od rovníku k obratníkům přibližují až splývají v jedno maximum
- **mezi obratníky a polárními kruhy** – maximum při letním slunovratu, minimum při zimním slunovratu
- **mezi polárními kruhy a póly** – minimum nulové postupně se rozšiřující na půl roku



2.2.3 Roční insolace podle zeměpisných šířek

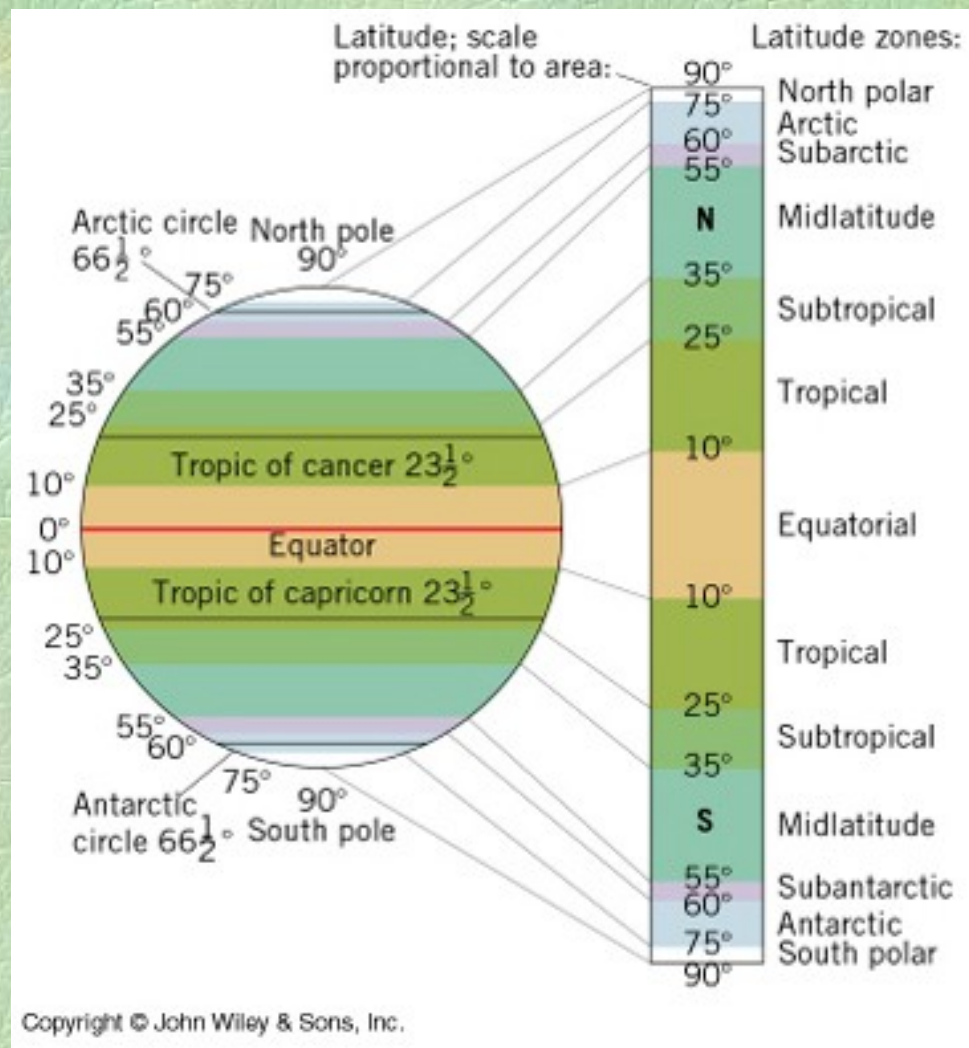
- roční insolace plynule klesá od rovníku k pólu – na pólu asi 40 % hodnoty insolace na rovníku
- díky sklonu zemské osy k rovině ekliptiky* (66,5°) je významná část insolace přerozdělena od rovníku k pólům a střídají se roční období

* rovina oběžné dráhy Země kolem Slunce



2.3 Světové šířkové zóny

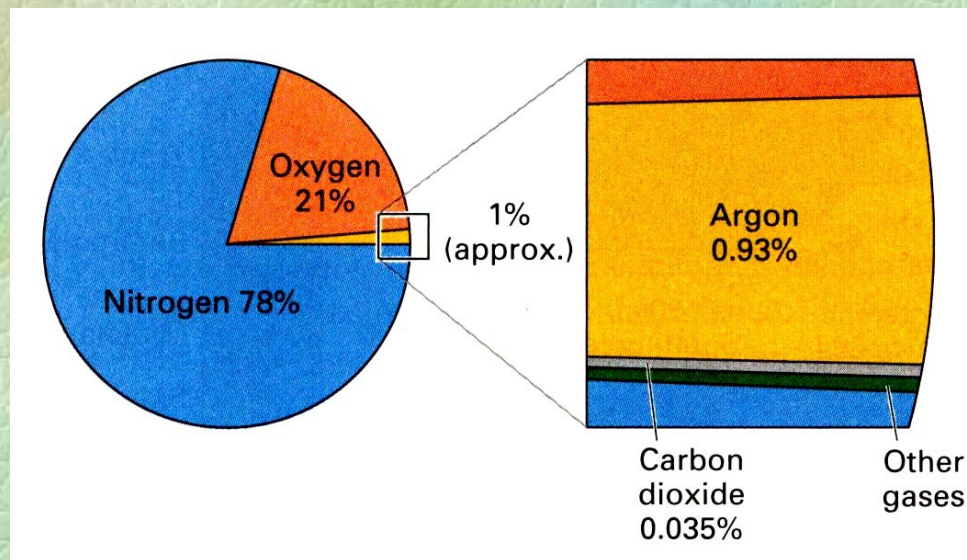
- **rovníkový pás** 10° s.š. – 10° j.š.
 - intenzivní insolace během roku, dny a noci téměř stejně dlouhé
- **tropický pás** 10 – 25° z.š.
 - roční cyklus, velká roční insolace
- **subtropický pás** 25 – 35° z.š.
- **pás mírných šířek** 35 – 55° z.š.
 - velké rozdíly ve výšce Slunce a délce dnů a nocí mezi zimou a létem
- **subarktický (subantarktický) pás** 55–60° z.š.
- **arktický (antarktický) pás** 60 – 75° z.š.
 - velké rozdíly v délce dne a v insolaci
- **polární pás** nad 75° z.š.
 - dominuje vždy téměř půl roku polární den a půl roku polární noc



2.4 Složení atmosféry

- atmosféra (atmos – pára, sphaira – koule, obal) – plynný obal Země, tvořený zvláštní směsí plynů – **vzduchem**
- hmotnost $5,157 \cdot 10^{18}$ kg
- rozložení hmotnosti:

do 56 km	do 16 km	do 30 km
50%	90%	99%



Hlavní plynné složky atmosféry v suchém čistém vzduchu

- **dušík** – N_2 – 78,084 % (objemový podíl) – 75,51 % (hmotnostní podíl) [inertní plyn, vulkanická činnost]
- **kyslík** – O_2 – 20,946 % – 23,01 % [dýchání, reaktivní plyn, pohlcování záření, ozon, fotosyntéza]
- **argon** – Ar – 0,934 % – 1,286 % [inertní plyn, rozpad ^{40}K]
- **stopové plyny**:
 - **oxid uhličitý** – CO_2 – pohlcování dlouhovlnného záření (oteplování atmosféry), spotřebováván při fotosyntéze
 - další stopové plyny: ozon, methan, neon, krypton, xenon, vodík, oxid dusný, hélium
- vlhký čistý vzduch:
 - **vodní pára** – max. do 4 % objemu (průměr 2,6 %) na úkor dalších plynných komponent, pokles s výškou, pohlcování dlouhovlnného záření
- **atmosférické aerosoly** – pevné a tekuté příměsi ve vzduchu

2.4.1 Ozon ve stratosféře

- ozon – zápachající plyn vznikající při elektrických výbojích v atmosféře (C. F. Schönbein – 1840)

2.4.1.1 Přirozená rovnováha ozonu v atmosféře

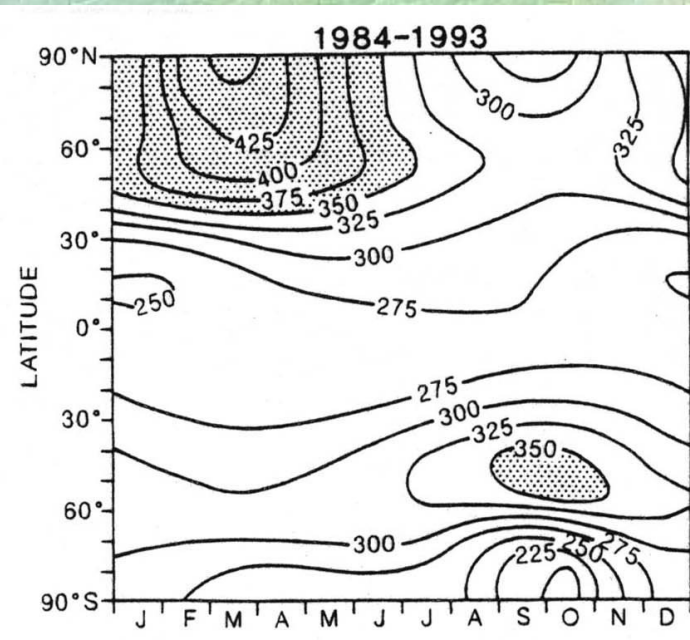
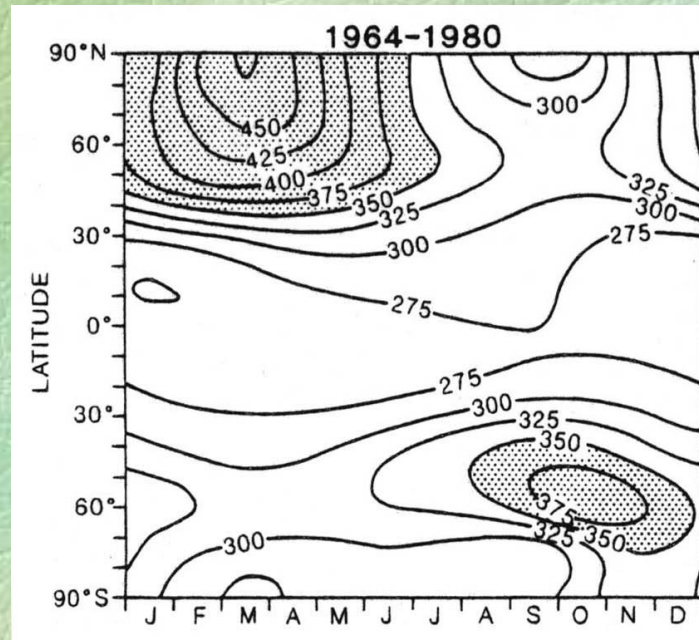
- stopový plyn, tvořený 3 atomárními kyslíky (O_3)
- 90 % ve stratosféře, asi 3/4 v 15-30 km – **ozonoféra**
- měření spektrofotometrem
- Dobsonovy jednotky (DU)
 - celkové množství O_3 ve vertikálním sloupci o základně 1 cm^2 (100 DU odpovídá při normálním tlaku a teplotě 298 K vrstva O_3 o tloušťce 1 mm)

Geografické rozložení:

- růst koncentrací od minim v oblasti rovníku (cca 250 DU) k maximům na 60° z.š. (cca 400 DU), odtud pokles k pólům, koncentrace v Arktidě vyšší než v Antarktidě

Roční chod:

- maximum na jaře, minimum na podzim



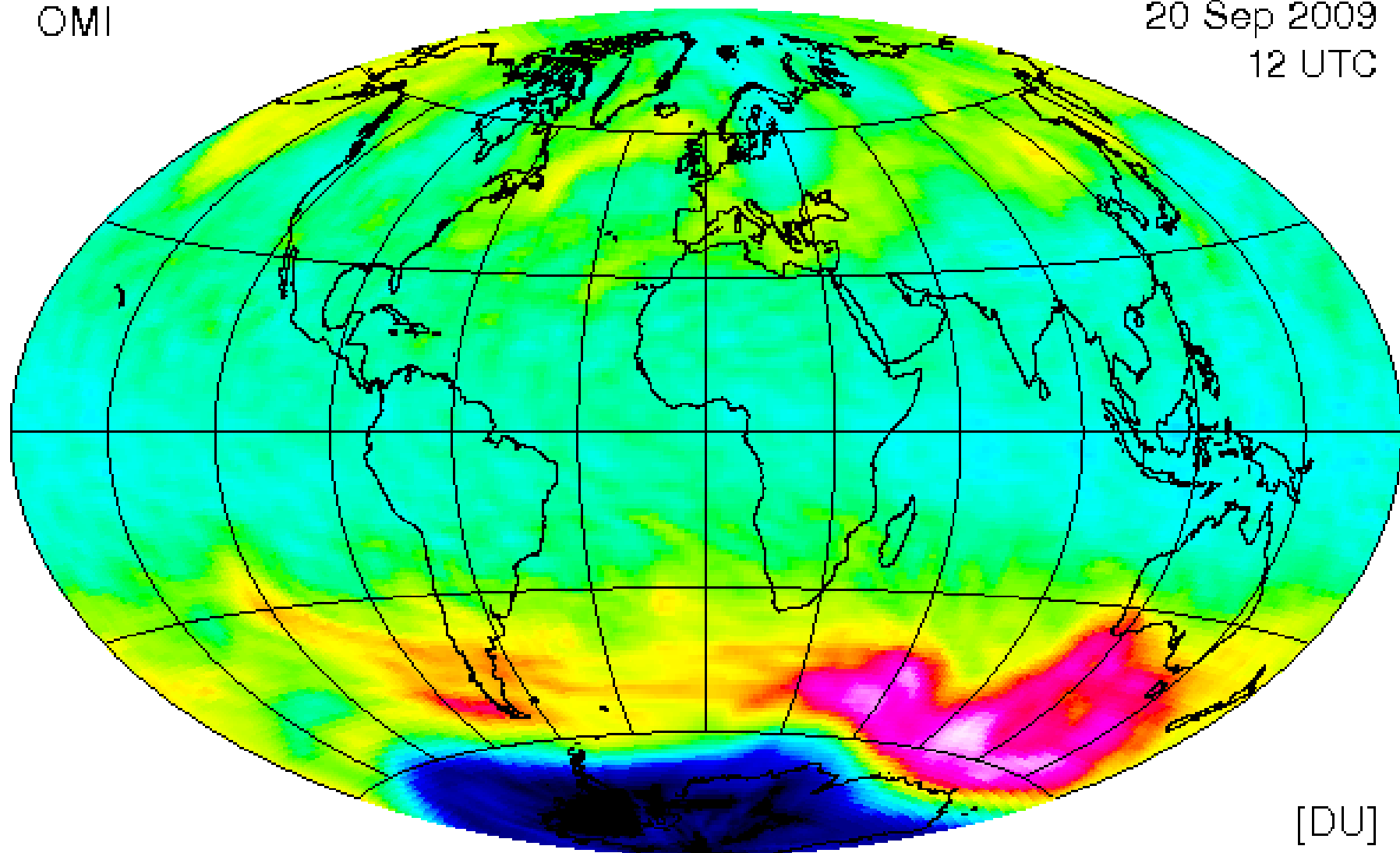
KNMI / NASA

OMI

Assimilated total ozone

20 Sep 2009

12 UTC



[DU]



Vznik a zánik O₃ – Chapmanova teorie

Vznik:

a) UV-záření o $L < 0,242 \mu\text{m}$ – disociace kyslíku: $\text{O}_2 + h\nu \rightarrow 2\text{O}$

b) reakce atomárního a molekulárního kyslíku: $\text{O} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$

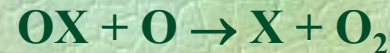
($h\nu$ – světelný foton, M – částice vyrovnávající energii reakce)

Zánik:

a) disociace O₃ zářením s $L < 1,2 \mu\text{m}$: $\text{O}_3 + h\nu \rightarrow \text{O} + \text{O}_2$

popř. reakce O₃ s atomárním kyslíkem: $\text{O}_3 + \text{O} \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}_2$

b) katalytické reakce (X – katalyzátor): $\text{O}_3 + \text{X} \rightarrow \text{OX} + \text{O}_2$



katalyzátory:

- radikály dusíku NO_x (NO, NO₂) – 70 % v 15-35 km
- radikály vodíku HO_x (HO, HO₂) – 70 % nad 50 km

2.4.1.2 Ozonová díra a její příčiny

- **ozonová díra** – drastický úbytek celkového ozonu, pozorovaný v Antarktidě v září-říjnu v porovnání s koncem 70. let 20. století
- halogenované uhlovodíky: lehké uhlovodíky (zejména methan CH_4 a ethan C_2H_6), v nichž je vodík nahrazen:
 - **atomy fluoru F a chloru Cl**
 - chlorofluorouhlovodíky – CFC – též freony
 - hydrochlorofluorouhlovodíky – HCFC
 - **atomy bromu Br**
 - bromované uhlovodíky – též halony

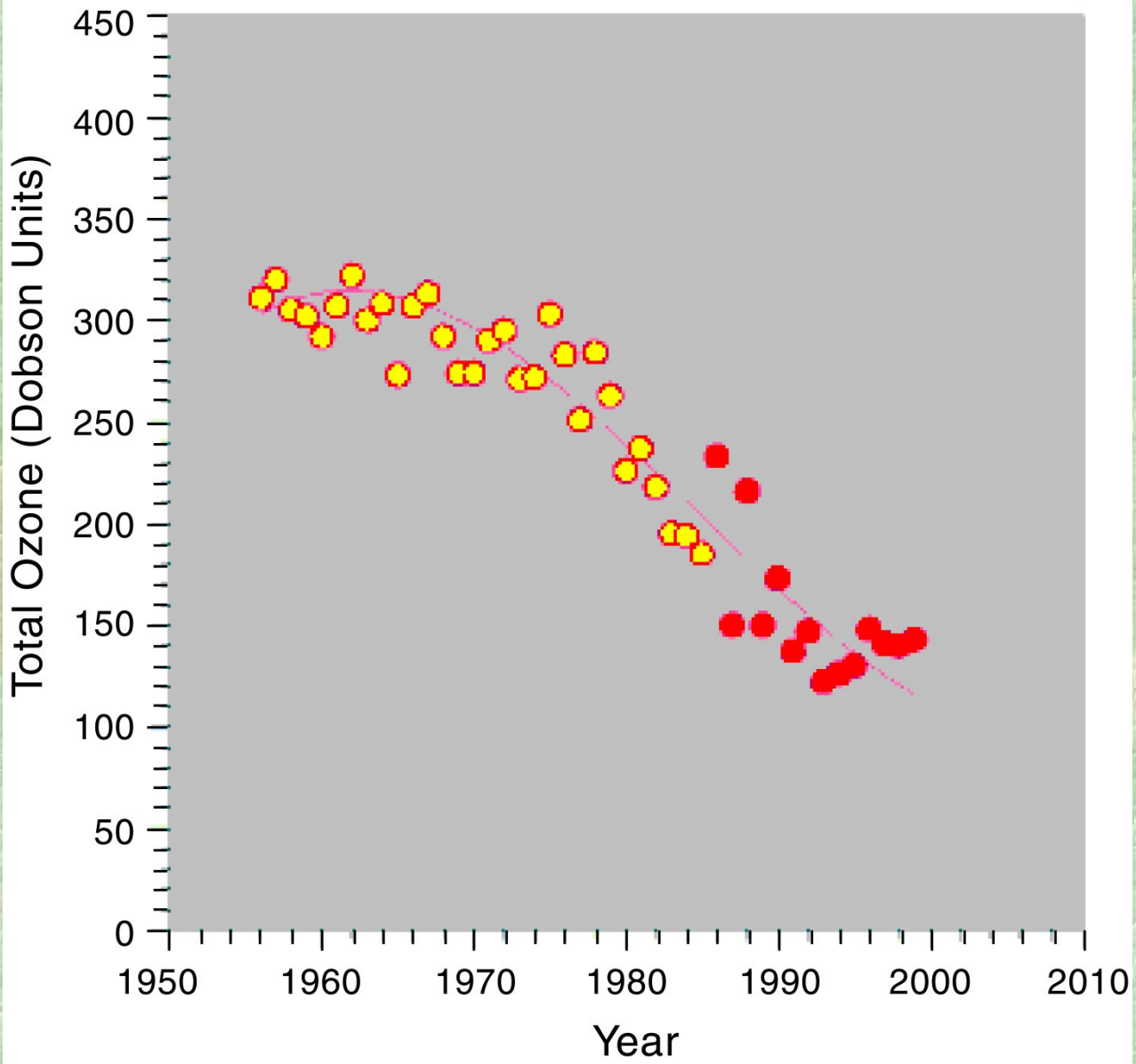
Vlastnosti:

- plyny nebo lehce těkavé kapaliny – nehořlavost, nejedovatost, chemická netečnost, domnělá ekologická nezávadnost – prudký nárůst produkce ve 2. polovině 20. století

Použití:

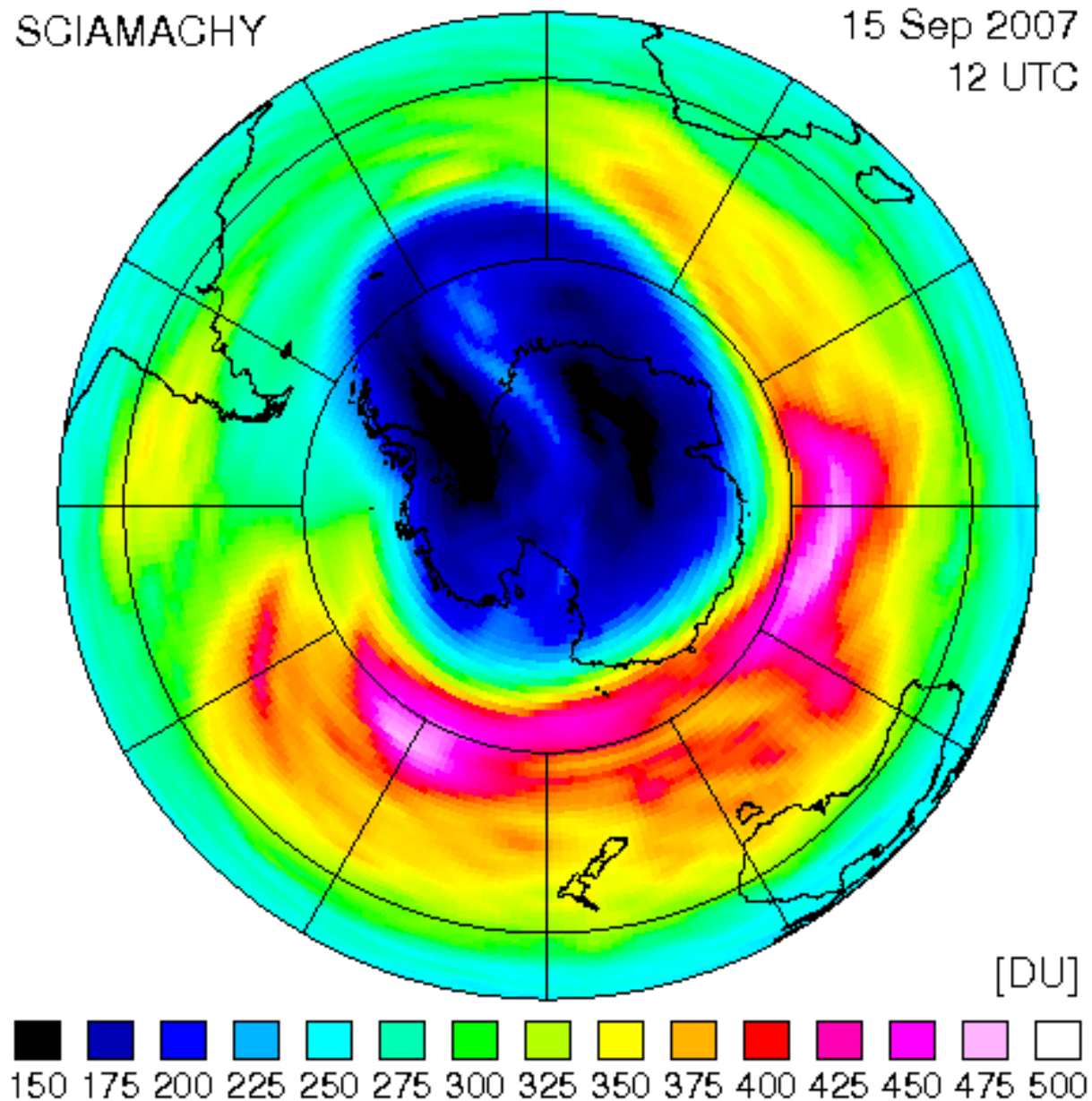
- hnací plyny, chladiva, nadouvadla, čisticí a odmašťovací prostředky, protipožární technika atd.

Mean October ozone at Haley



KNMI / ESA
SCIAMACHY

Forecast total ozone (D+1)
15 Sep 2007
12 UTC



Mechanismus působení halogenovaných uhlovodíků na O₃

a) průnik z troposféry do stratosféry

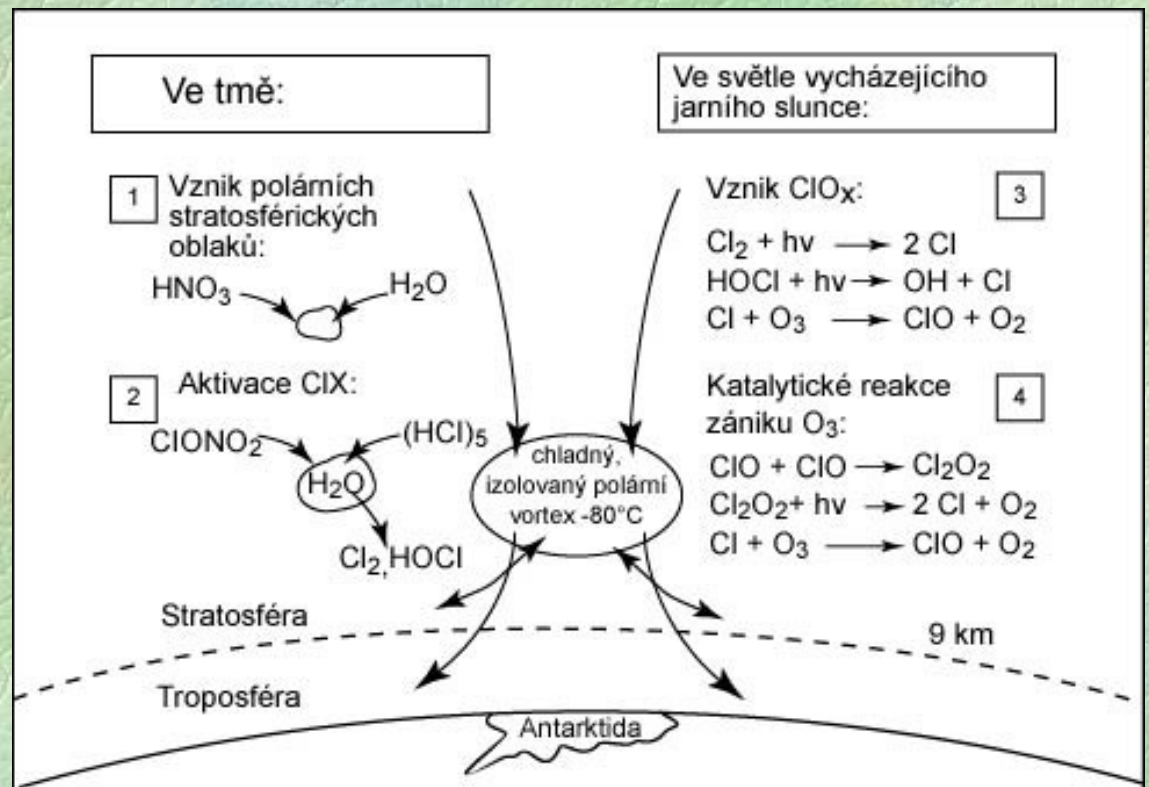
b) vůči O₃ inertní sloučeniny Cl (chlorovodík HCl, chlornitrát ClONO₂)

c) v polární noci na částicích polárních stratosférických oblak (PSO) – aktivní formy (Cl₂, HOCl)

PSO – vázána na polární vortex, teploty kolem -80 °C

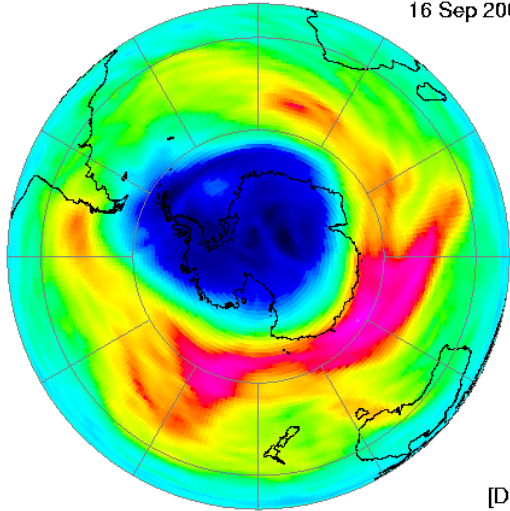
d) časně zjara působením slunečního záření uvolňován aktivní Cl – katalytické reakce – **zánik O₃**

- pokles O₃ v Antarktadě větší než v Arktidě (nestabilní vortex, vznik PSO méně častý)



KNMI / ESA

GOME assimilated total ozone
16 Sep 2002

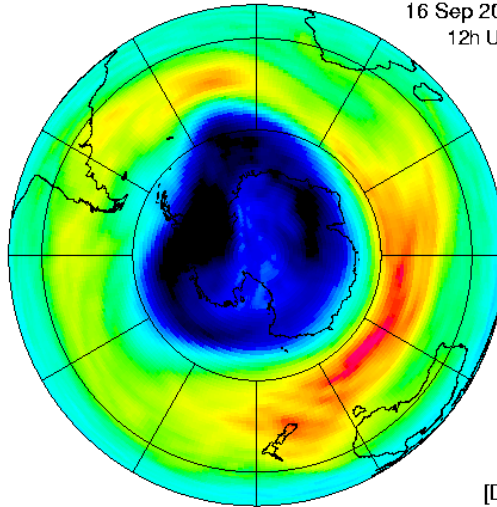


[DU]



KNMI / ESA

SCIA assimilated total ozone
16 Sep 2003
12h UTC

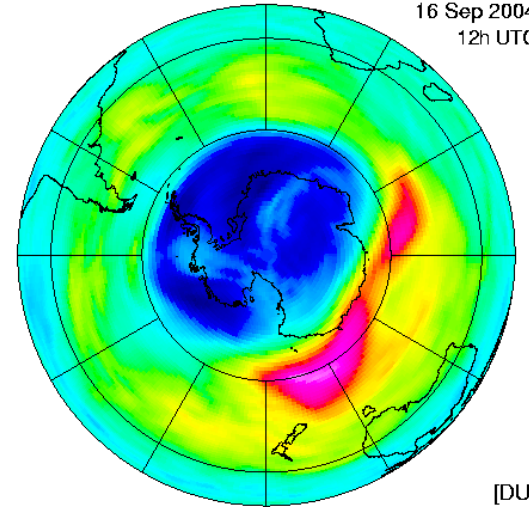


[DU]



KNMI / ESA

SCIA assimilated total ozone
16 Sep 2004
12h UTC

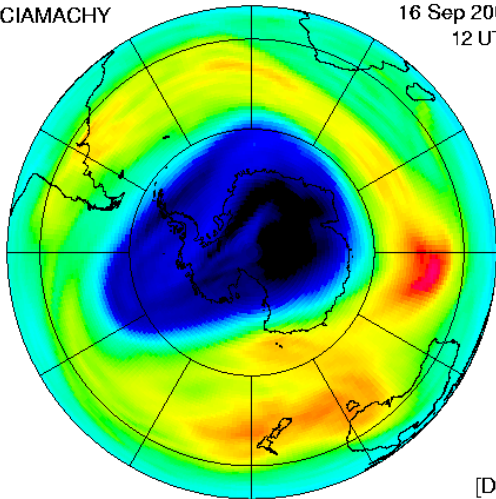


[DU]



KNMI / ESA
SCIAMACHY

Forecast total ozone (D+8)
16 Sep 2005
12 UTC

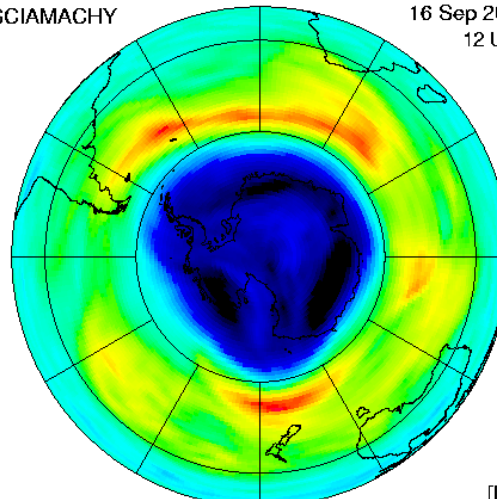


[DU]

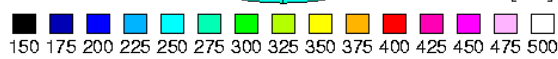


KNMI / ESA
SCIAMACHY

Assimilated total ozone
16 Sep 2006
12 UTC

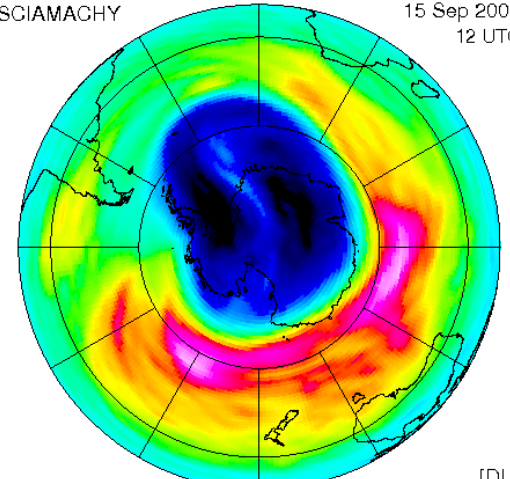


[DU]



KNMI / ESA
SCIAMACHY

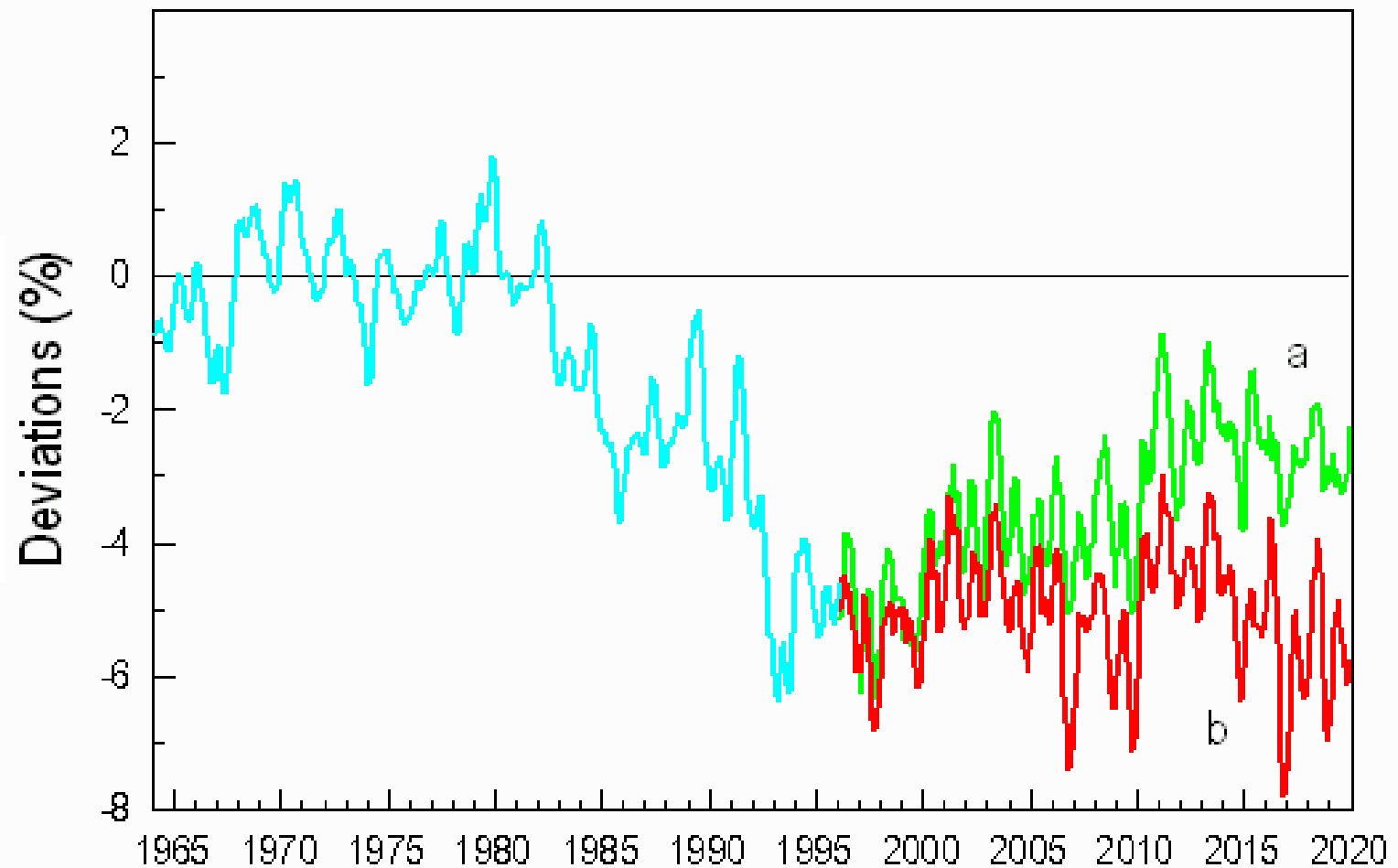
Forecast total ozone (D+1)
15 Sep 2007
12 UTC



[DU]



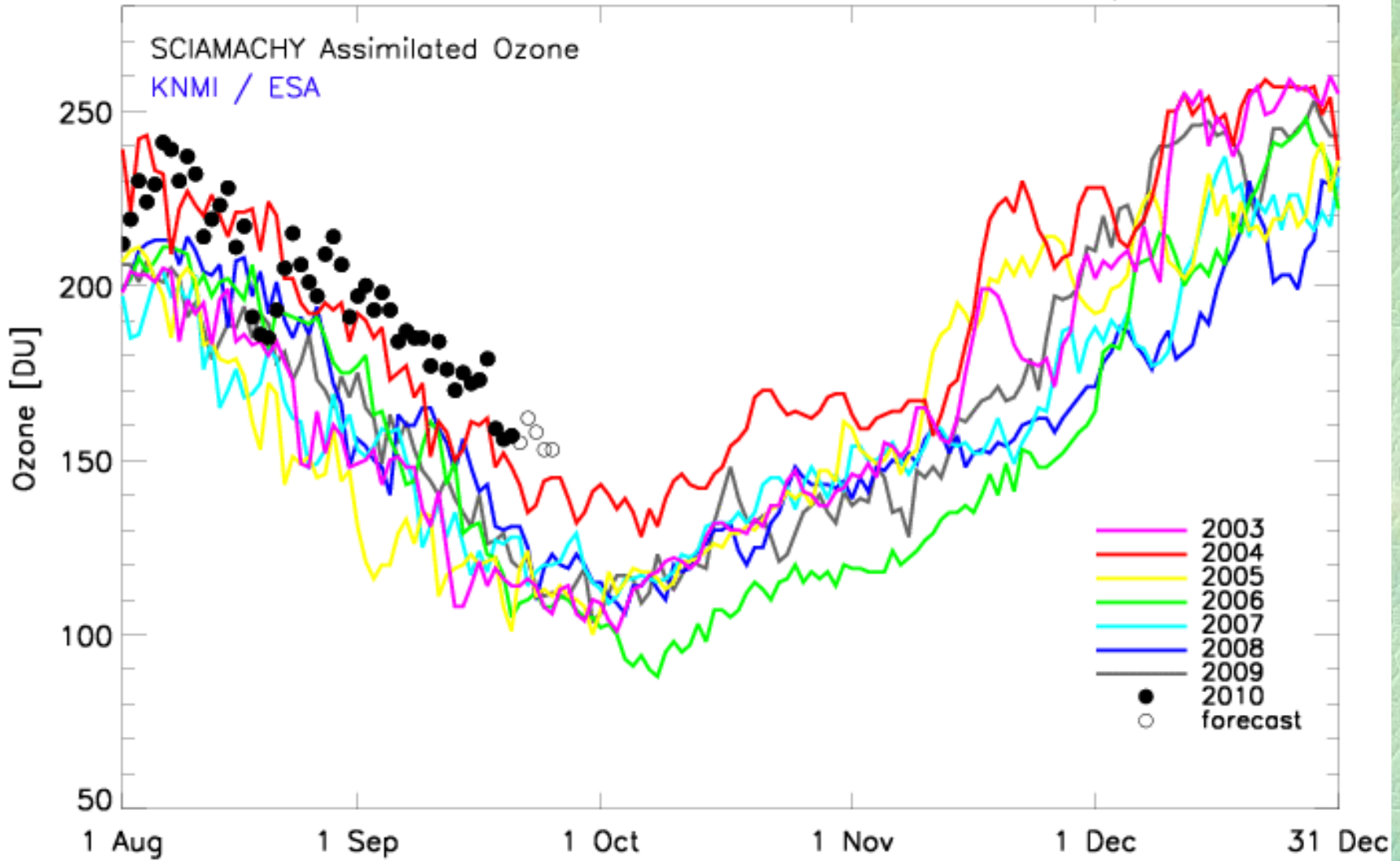
Deviations from the pre-1980 Level for the Global Total ozone and speculations for the future



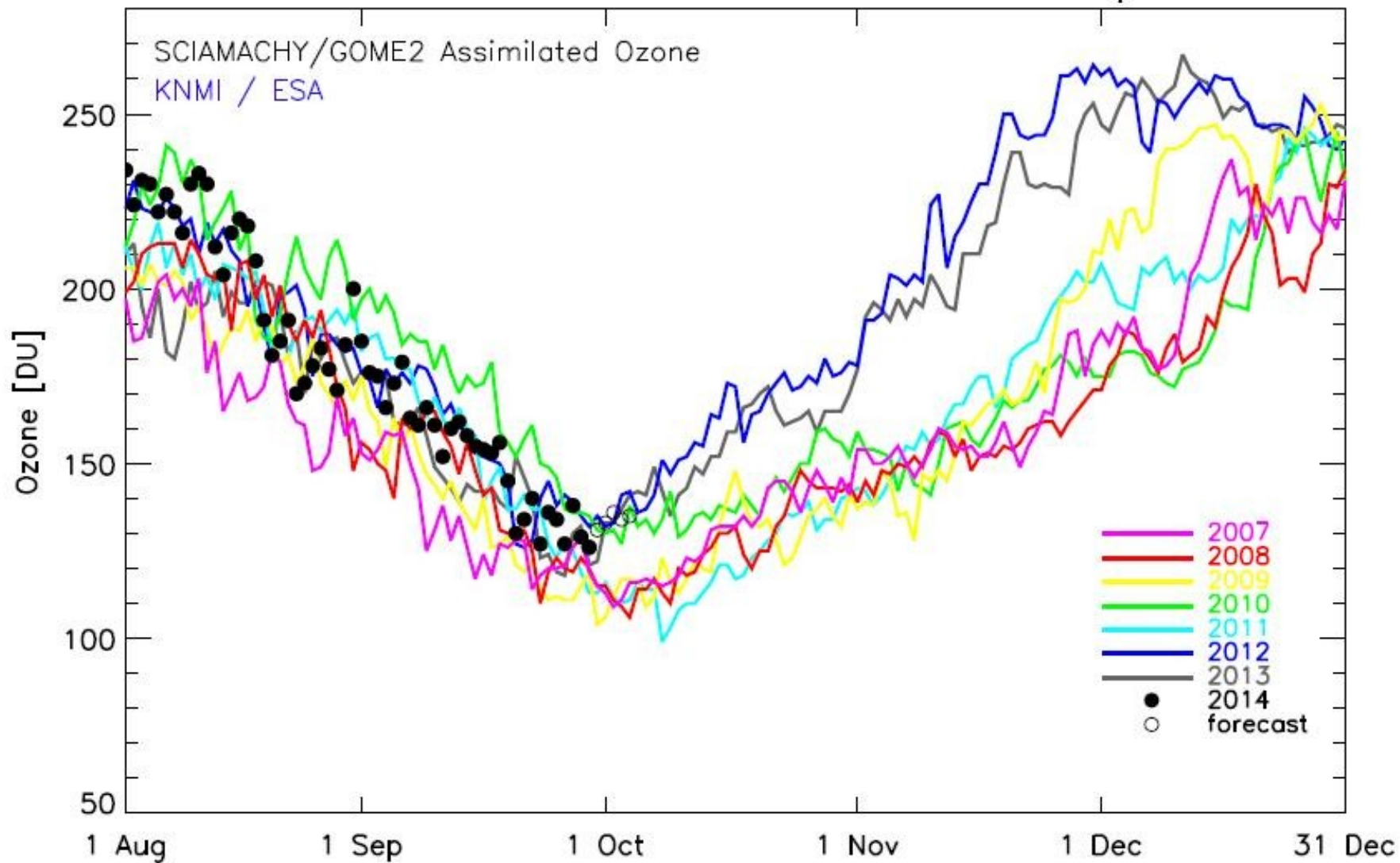
(a) the best case scenario

(b) all ozone-depleting substances remain at their 1997 levels

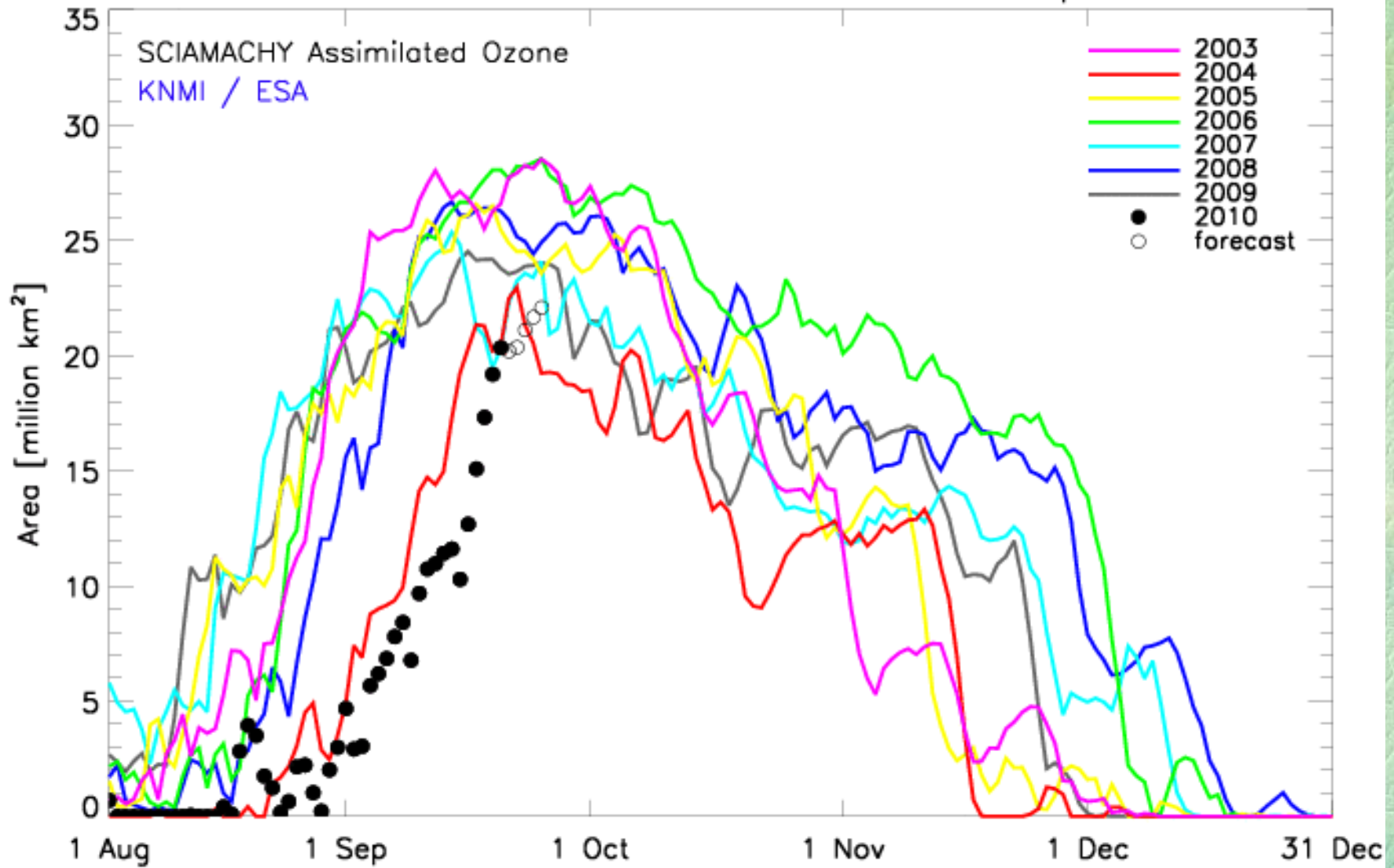
Minimum Ozone Column in the Southern Hemisphere



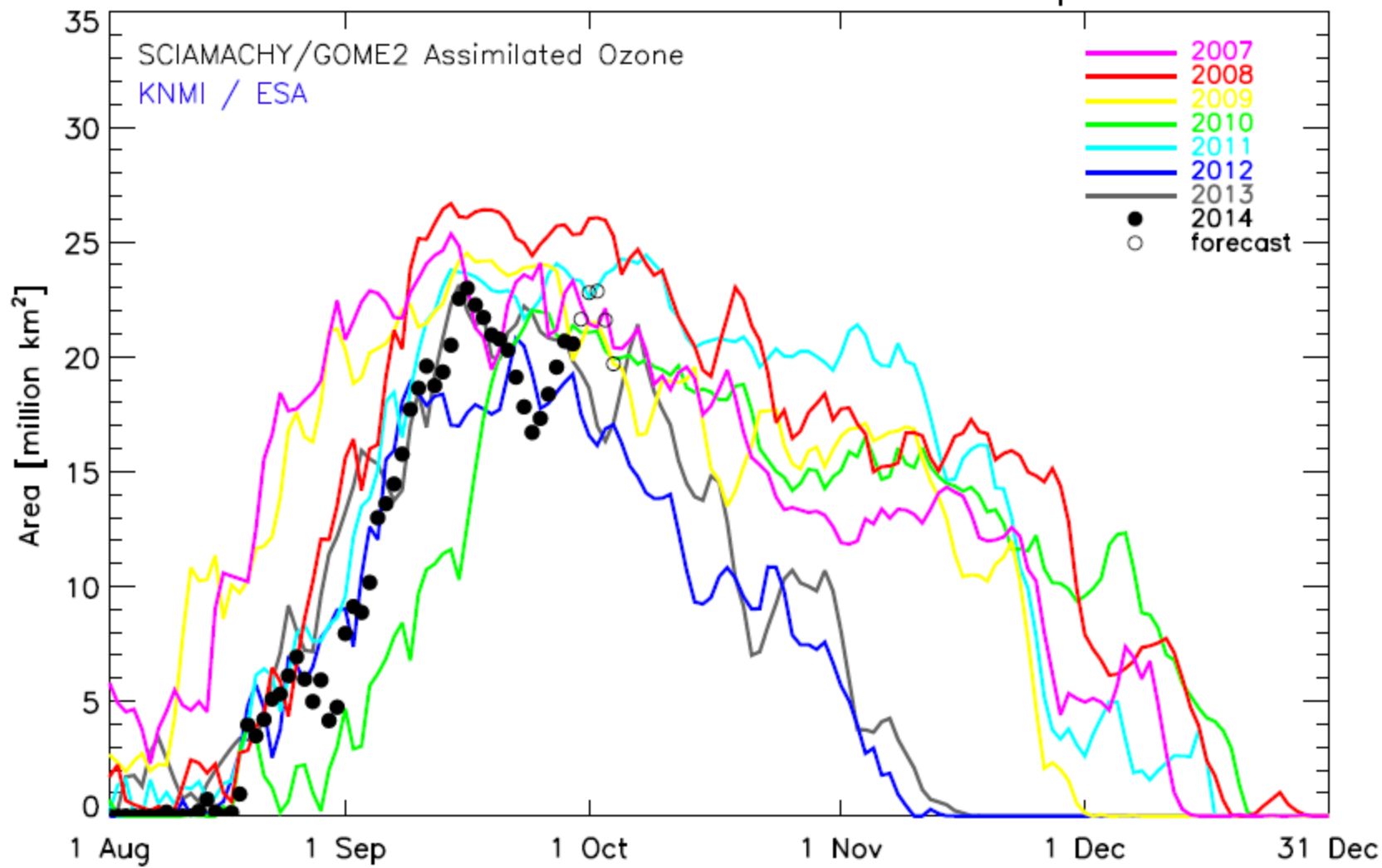
Minimum Ozone Column in the Southern Hemisphere



Area below 220 DU in the Southern Hemisphere

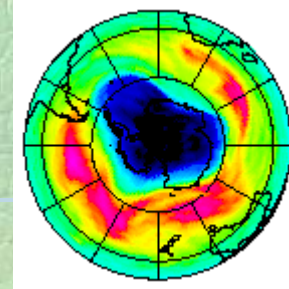
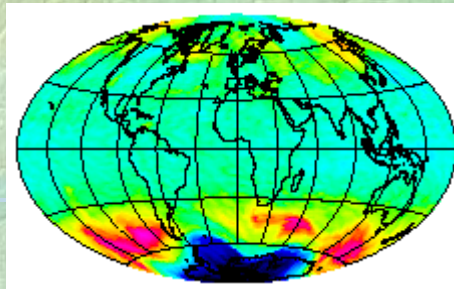
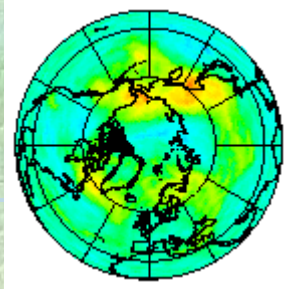


Area below 220 DU in the Southern Hemisphere

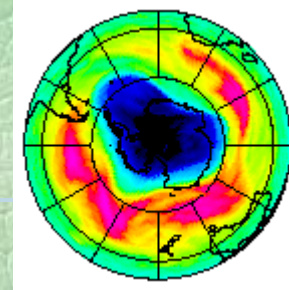
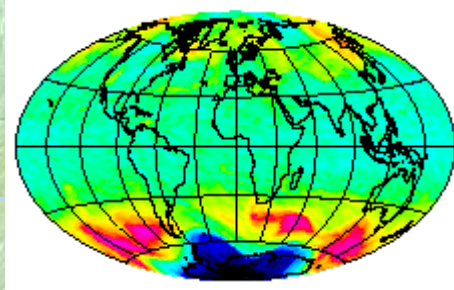
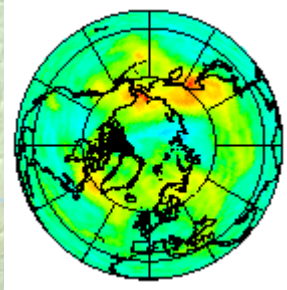


Assimilated Ozone Field of 29 September 2014

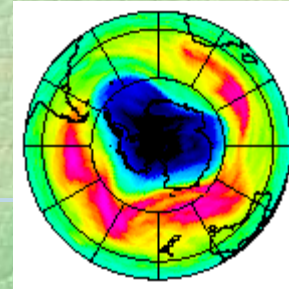
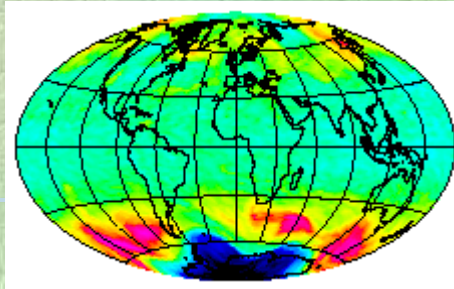
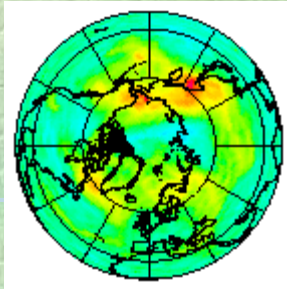
OMI



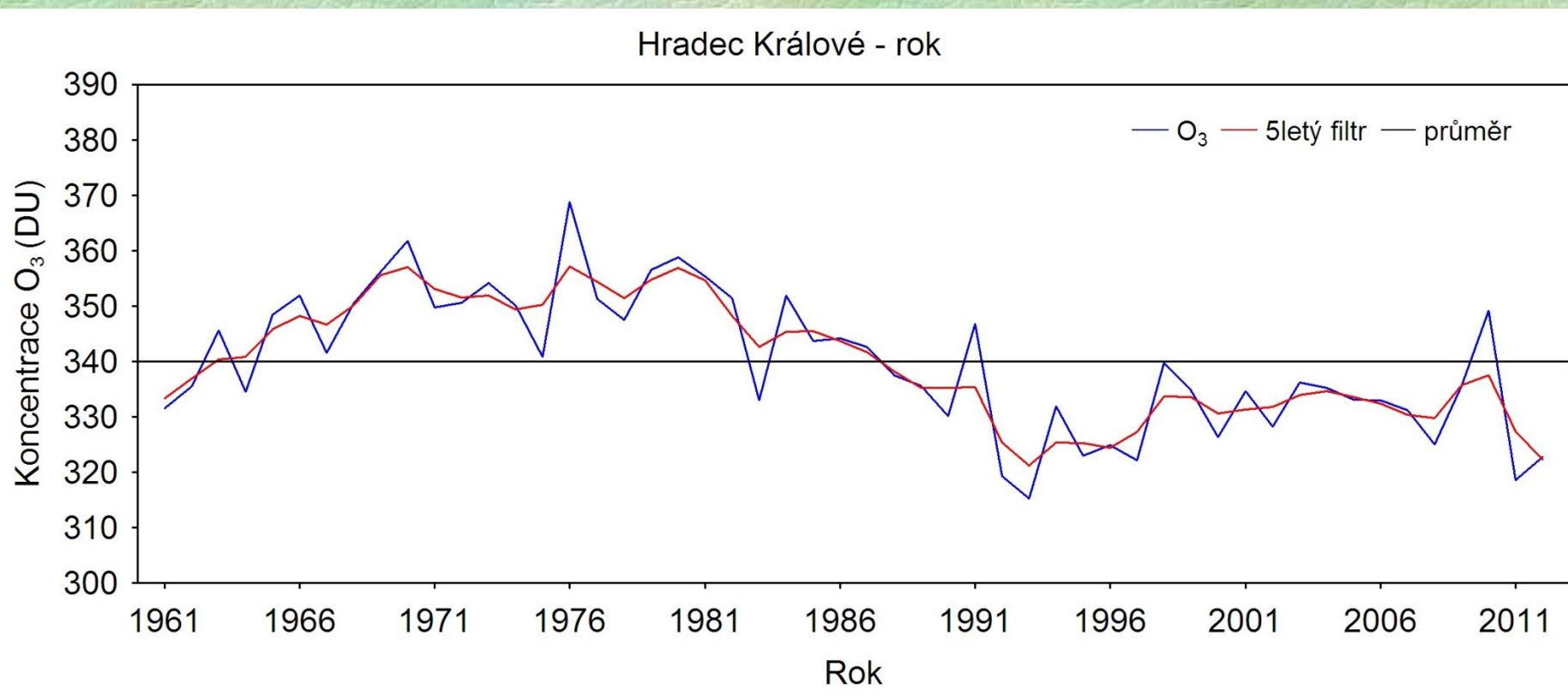
GOME-2A



GOME-2B



Vývoj koncentrací ozonu v ČR



2.5 Turbulentní a latentní tok tepla

- stýkají-li se dva objekty různé teploty, předává se teplo od teplejšího k chladnějšímu **vedením**
- **turbulentní tok tepla** (sensible heat transfer) – neuspořádaný vertikální přenos tepla
- **latentní teplo** – teplo spotřebované či uvolňované při fázových změnách vodní páry
- **latentní tok tepla** (latent heat transfer) – přenos tepla od povrchu do atmosféry při výparu, uvolňování tepla na povrchu při kondenzaci nebo sublimaci vodní páry

2.6 Globální energetická bilance

- tok energie mezi Sluncem a Zemí zahrnuje nejen záření, ale i pohlcování a transport energie

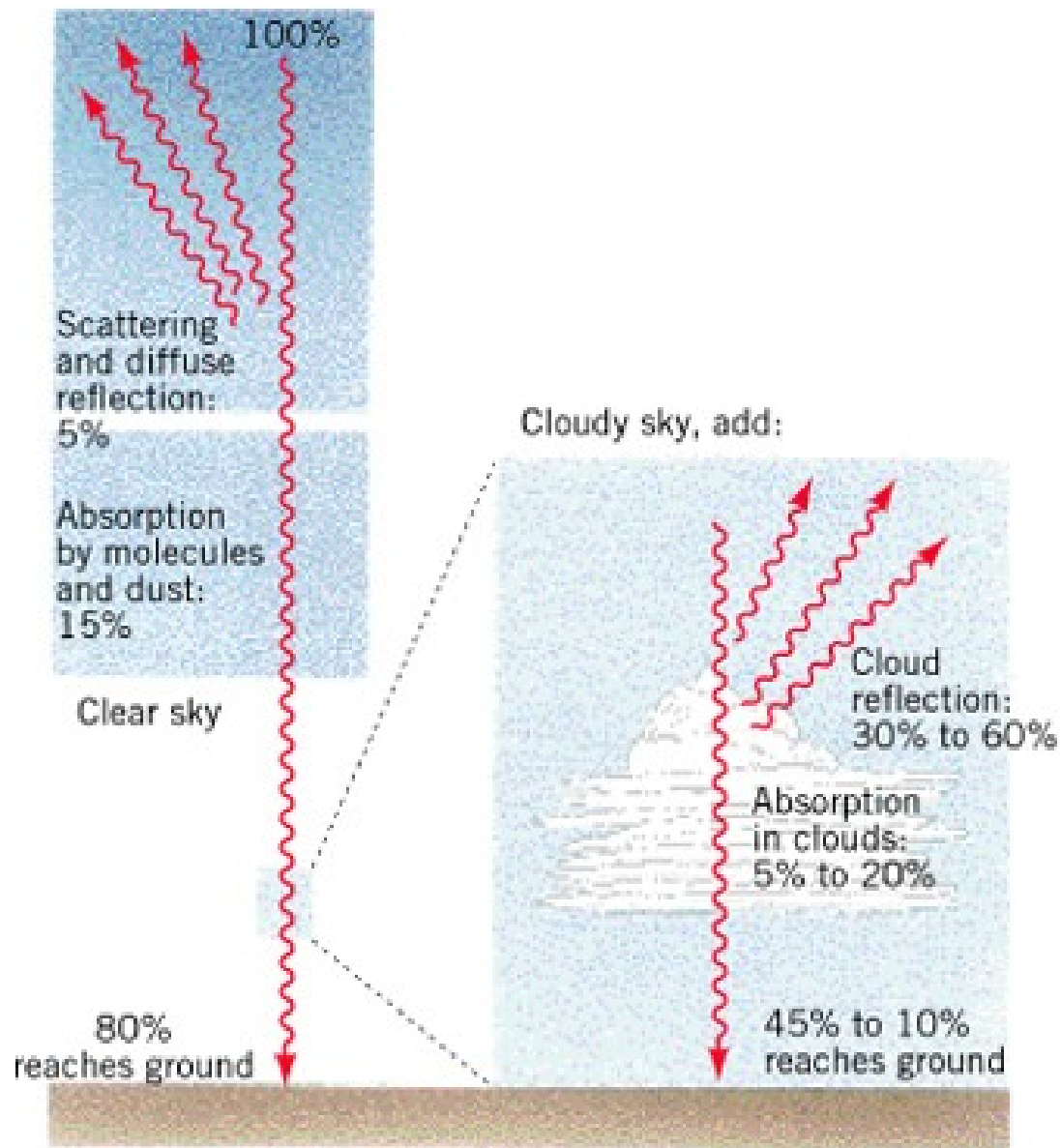
2.6.1 Ztráty záření

rozptýlené záření

- molekuly a částice ve vzduchu rozptylují sluneční záření všemi směry
- část záření, která je rozptýlena zpět do prostoru, se označuje jako **difuzní odraz** (asi 5 % přicházejícího slunečního záření)

pohlcování záření

- při průchodu atmosférou (asi 15 % přicházejícího záření)
- pohlcování záření se může měnit výrazně podle prostředí
 - oblaka mohou odrážet 30-60 % přicházejícího záření a pohlcovat 5-20 %
 - v případě husté oblačné vrstvy může být při povrchu jen 10 % z dopadajícího záření



Copyright © John Wiley & Sons, Inc.

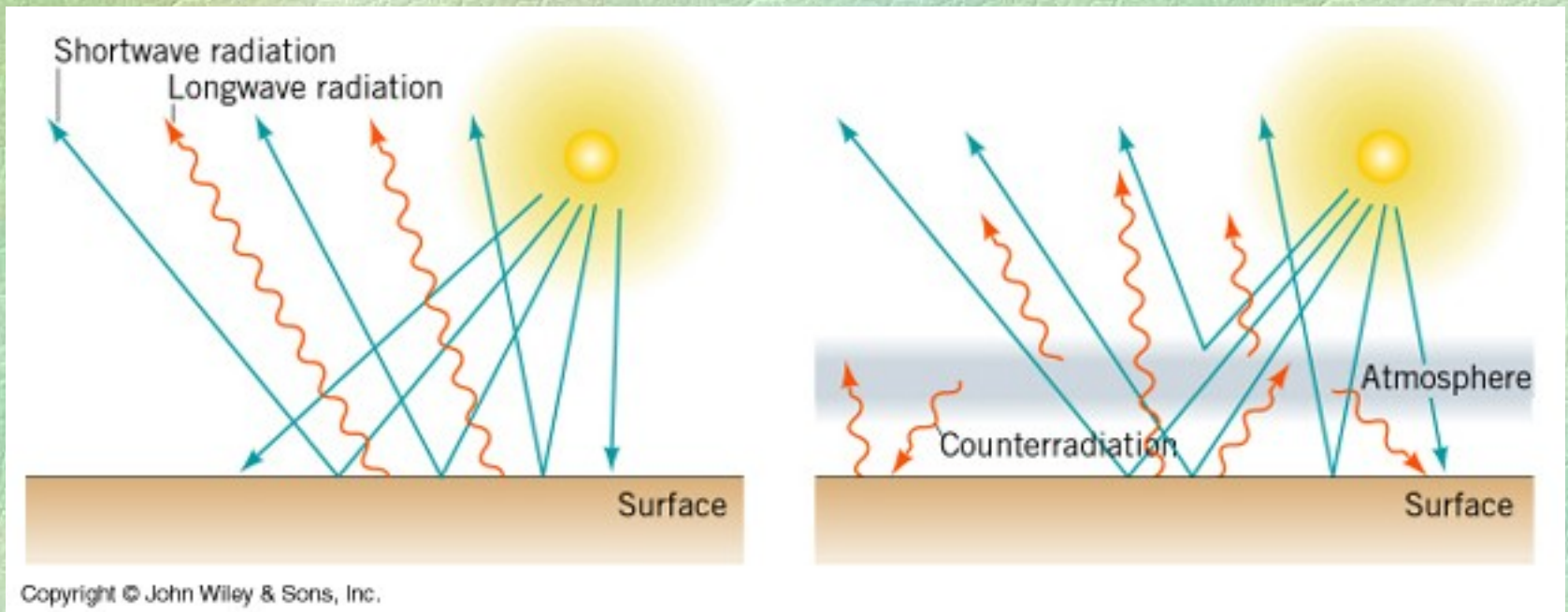
2.6.2 Albedo

albedo – procentuální podíl odraženého záření vzhledem k celkovému dopadajícímu záření

- albedo určuje, jak rychle se povrch vystavený insolaci zahřívá
- např. albedo sněhu 45-85 % – odráží většinu záření, zahřívá se pomalu
- albedo Země měřené pomocí družic – 29-34 %

2.6.3 Zpětné záření atmosféry

- aktivní povrch vydává dlouhovlnné záření pouze do atmosféry, kde je pohlcováno CO_2 a vodní párou, ale i oblaky
- **zpětné záření atmosféry** – atmosféra vyzařuje do meziplanetárního prostoru a také k zemskému povrchu
- **skleníkový efekt atmosféry** – atmosféra je dobře propustná pro krátkovlnné záření, ale pohlcuje dlouhovlnné vyzařování zemského povrchu



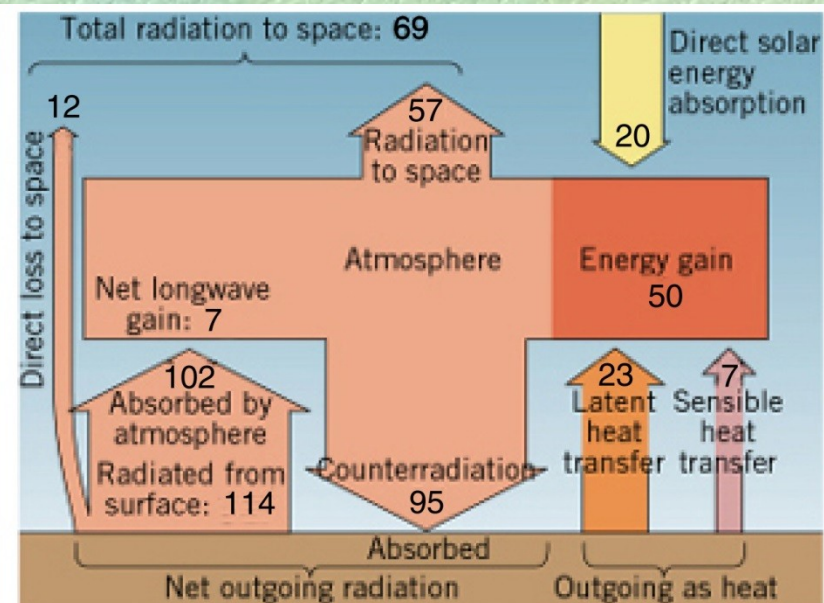
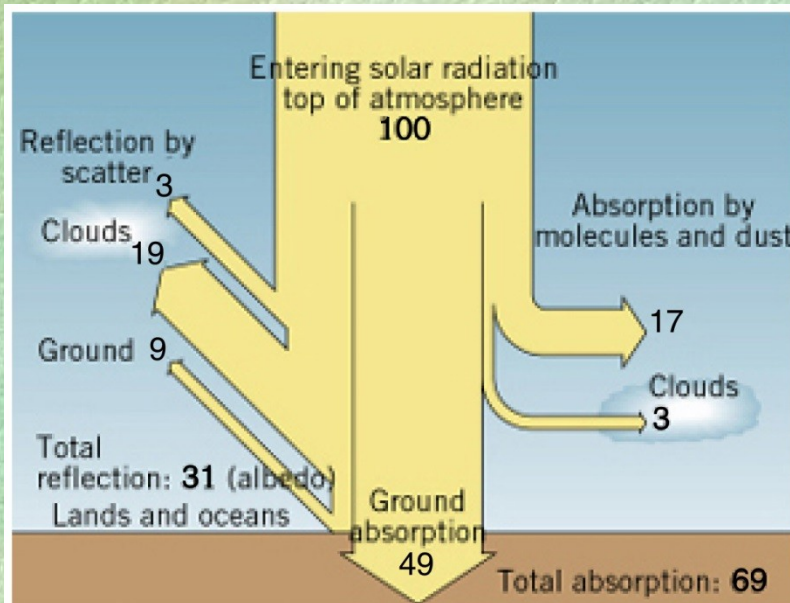
2.6.4 Globální energetická bilance atmosféry a aktivního povrchu

Bilance krátkovlnného záření:

- albedo systému zemský povrch - atmosféra 31 %
- pohlcování v atmosféře 20 %
- pohlceno zemským povrchem 49 %

Bilance dlouhovlnného záření:

- vyzařování zemského povrchu 114 %, z čehož 102 % pohltí atmosféra a zbytek 12 % uniká do meziplanetárního prostoru (**atmosférické okno**)
- zpětné záření atmosféry 95 %



Copyright © John Wiley & Sons, Inc.

Zemský povrch:

• zisk: 49 % + 95 % = 144 %

krátkovlnné dlouhovlnné

• tedy: 144 % - 114 % = 30 %

zisk ztráta zisk

- tento zisk se předává do atmosféry latentním tokem tepla (23 %) a turbulentním tokem tepla (7 %)

• celková ztráta zemského povrchu

• 114 % + 23 % + 7 % = 144 %

dlouhovlnné latentní tok tepla turbulentní tok tepla

Atmosféra:

• ztráta: 57% + 95% = 152%

do vesmíru z povrchu Země zpět na zem jako zpětné záření atmosféry

• zisk: 102% + 20% + 23 + 7 = 152%

dlouhovlnné krátkovlnné pohlcené latentní tok turbulentní tok

- bez skleníkového efektu by byla Země chladným neobývatelným místem

2.6.5 Šířkový transport energie

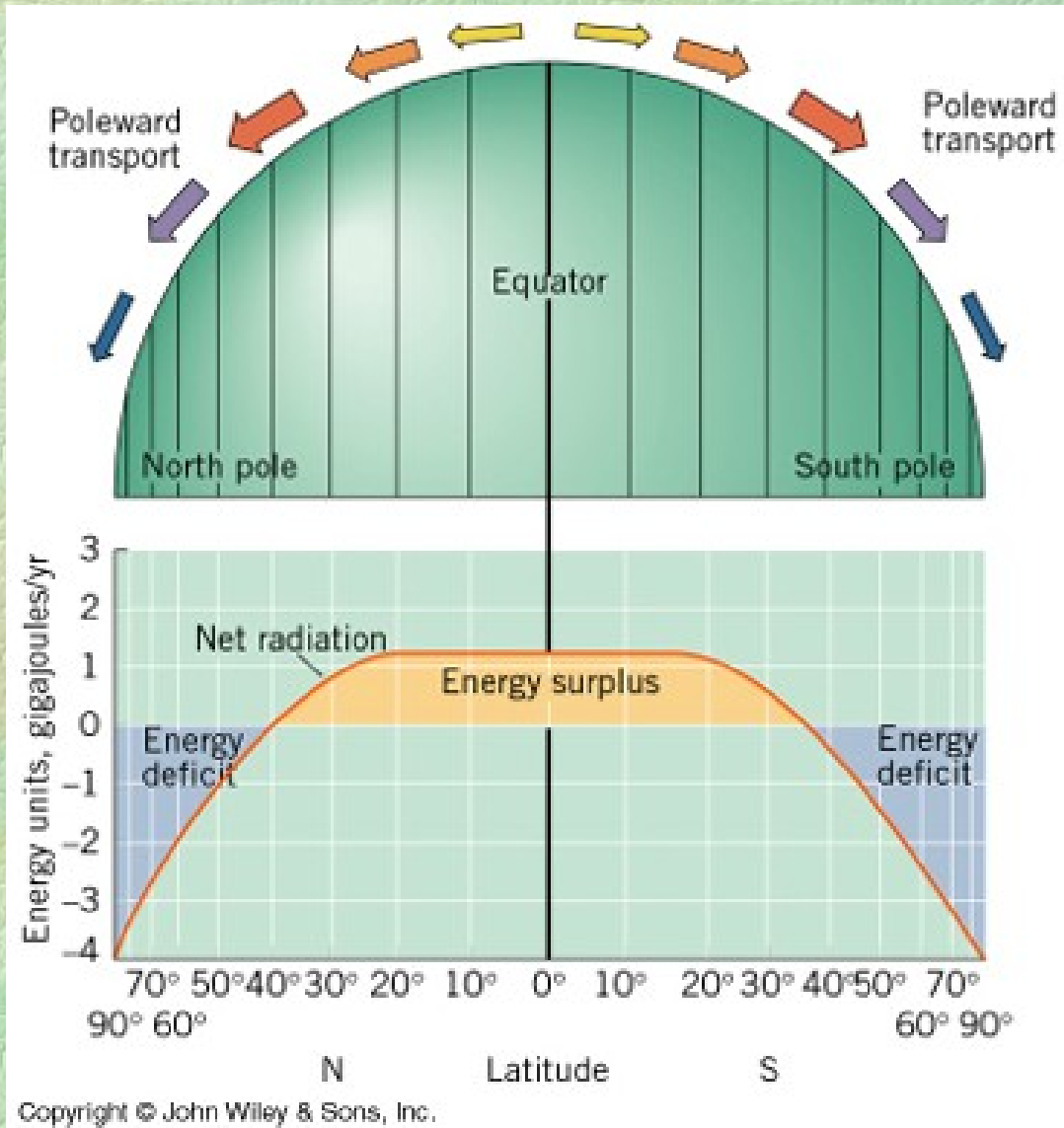
- příjem a výdej energie pro Zemi v delším časovém intervalu je vyrovnaný, což ale nemusí platit pro konkrétní místo nebo kratší časové úseky

radiační bilance – difference mezi veškerým přijímaným a vyzařovaným zářením:

a) **pozitivní** – příjem záření větší než výdej (např. den)

b) **negativní** – výdej záření větší než příjem (např. noc)

- mezi 40° s.š. a 40° j.š. je v ročním průměru přebytek zářivé energie (kladná radiační bilance)
- ve vyšších šířkách než je 40° z.š. je negativní radiační bilance – deficit je vyrovnávám transportem energie z rovníkové a tropické zóny směrem k pólům dvěma způsoby:
 - a) přenos tepelné energie oceánskou cirkulací
 - b) přenos tepelné energie atmosférickou cirkulací (latentní teplo)



2.6.6 Antropogenní vlivy na energetickou bilanci

- energetická bilance je citlivá na řadu faktorů, ovlivňujících pohlcování a výdej energie
- růst CO₂ a dalších „skleníkových plynů“ (CH₄, N₂O) zvyšuje pohlcování dlouhovlnného záření v atmosféře – **zesilování skleníkového efektu**
- růst aerosolů ve vyšších vrstvách atmosféry zvyšuje rozptyl záření a tedy snižuje přívod krátkovlnného záření k povrchu
- větší obsah aerosolů v dolních vrstvách atmosféry zvyšuje pohlcování dlouhovlnného záření
- lidskou činností se mění charakter aktivního povrchu (vliv na albedo, pohlcování záření a na vyzařování)

Literatura

- Netopil, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. SPN, Praha.
 - Kap. 1: s. 9-25.
 - Kap. 2.2-2.3.2: s. 35-56.
- Strahler, A., Strahler, A. (2006): Introducing Physical Geography. John Wiley & Sons, Inc., New York, 728 s.
 - Kap. Prologue: s. 2-21.
 - Kap. 2: The Earth's Global Energy Balance, s. 50-85.