

# Změna klimatu, její příčiny, dopady a projekce

Jan Hollan

CzechGlobe –

Centrum výzkumu globální změny

AV ČR, v.v.i.

# Různá sousloví

- globální oteplení (... korektní, říká: trend)
- změna klimatu (... to nikoho nepoplaší)
- klimatická změna (... mění se i jiné věci)
  
- **globální klimatický rozvrat** (... výstižné)
- klimatická krize (... dtto)
- dramatická klimatická změna (... jemnější)

# Termín „globální oteplování“ není dost výstižný, ba je matoucí

Vzbuzuje dojem něčeho, co je

- rovnoměrné po celé Zemi,
- týká se vlastně jen teploty,
- pozvolné
- a dost možná neškodné

Jenže změny jsou doopravdy

- velmi nerovnoměrné,
- týkají se zdaleka ne jen teplot
- rychlé ve srovnání s možností přizpůsobení
- v mnoha případech a místech škodlivé

# Průměrná teplota je jen nejprostší ukazatel stavu klimatu

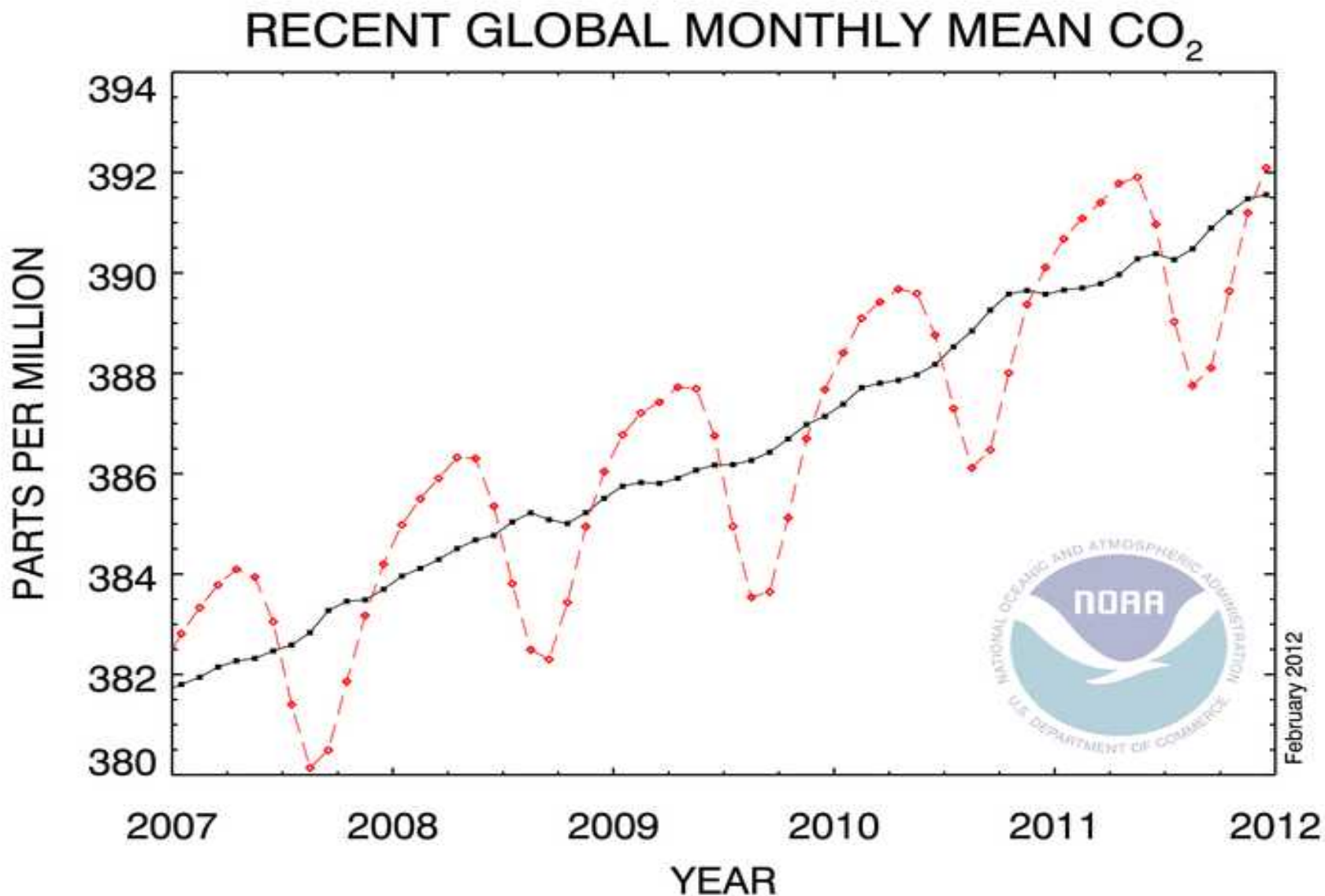
Klima je kromě průměrů charakterizováno i extrémny,  
dobou výskytu, prostorovým uspořádáním

- horka a zimy,
- nebe zataženého a jasného,
- vlhka a sucha
- sněžení, sněhové pokrývky a tání
- vánků, vánic, tornád a tajfunů

**Změna klimatu znamená rozvrat doposud existujících charakteristik.** Malá změna ukazatele (globálních odchylek od dřívějších teplot) znamená velké změny výskytu různých typů počasí.

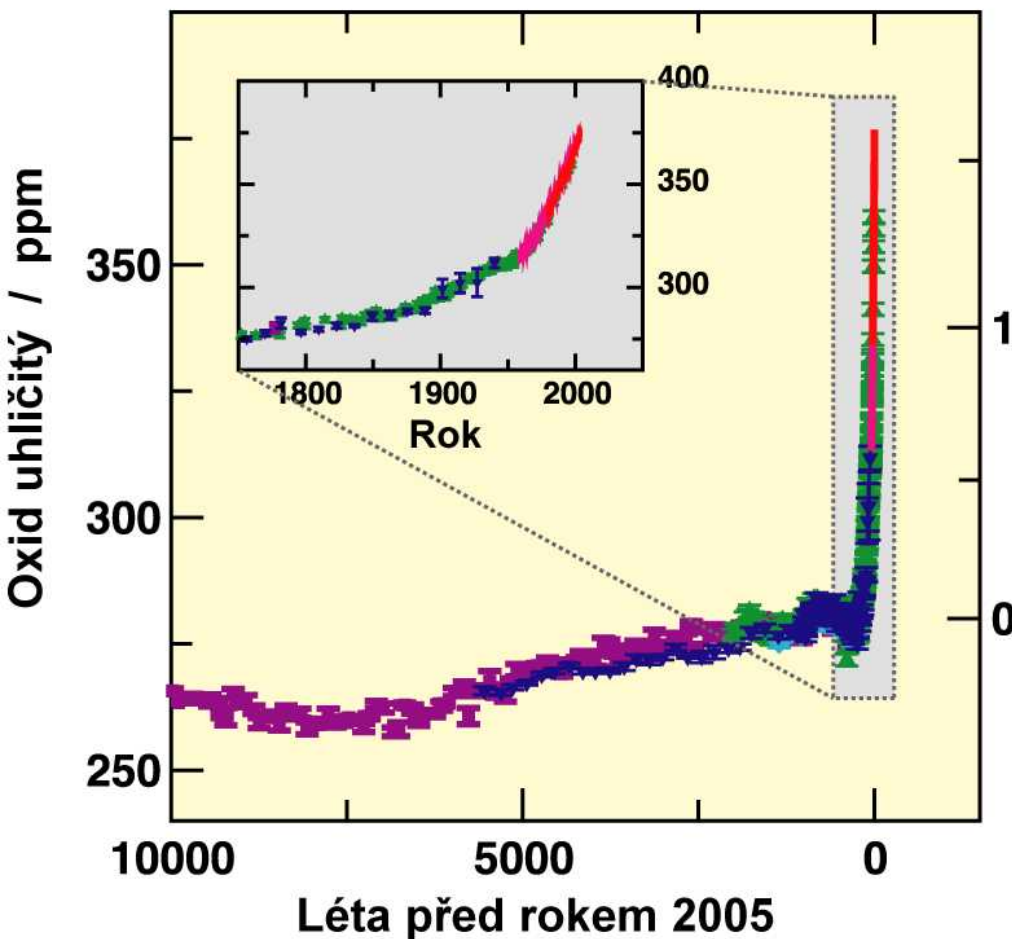
# 1. Příčiny

Rostoucí koncentrace skleníkových plynů. Jejich vliv je zatím do značné míry maskován síranovými aerosoly

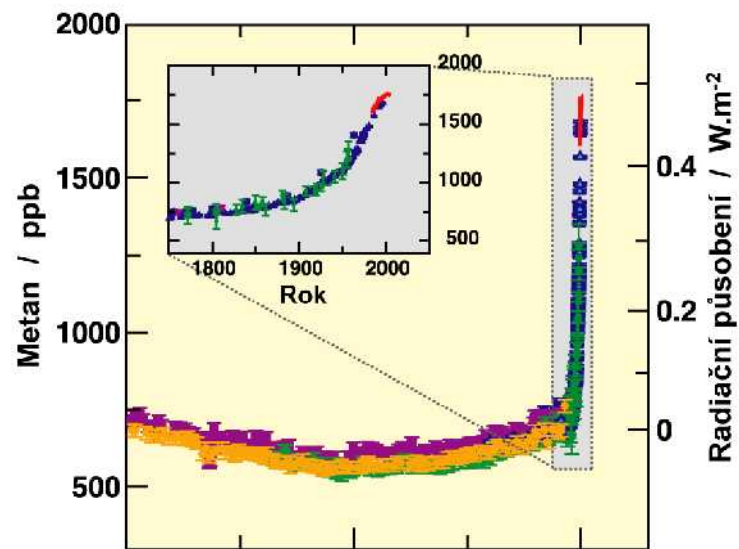


Zdroj: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>

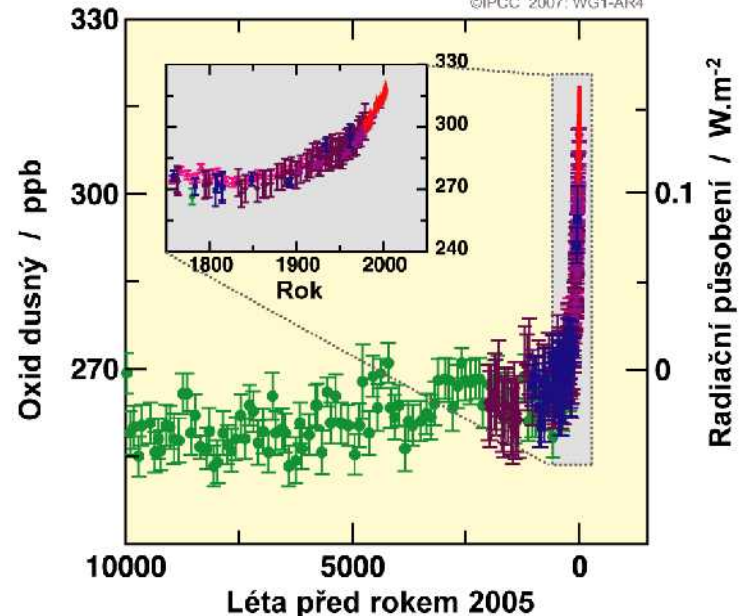
# Změny koncentrací oxidu uhličitého dle rozboru ledových vrtných jader a přímých měření složení ovzduší



Radiační působení /  $\text{W.m}^{-2}$

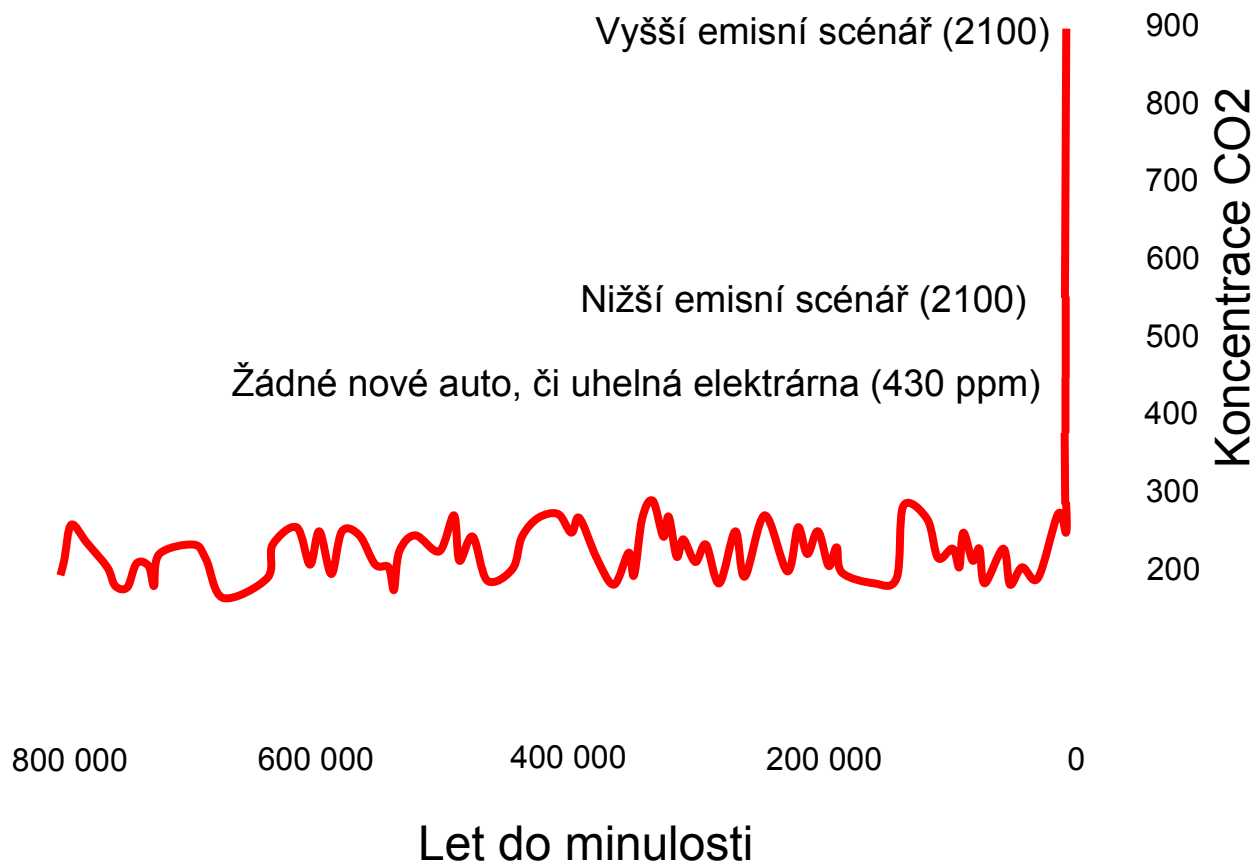


©IPCC 2007: WG1-AR4



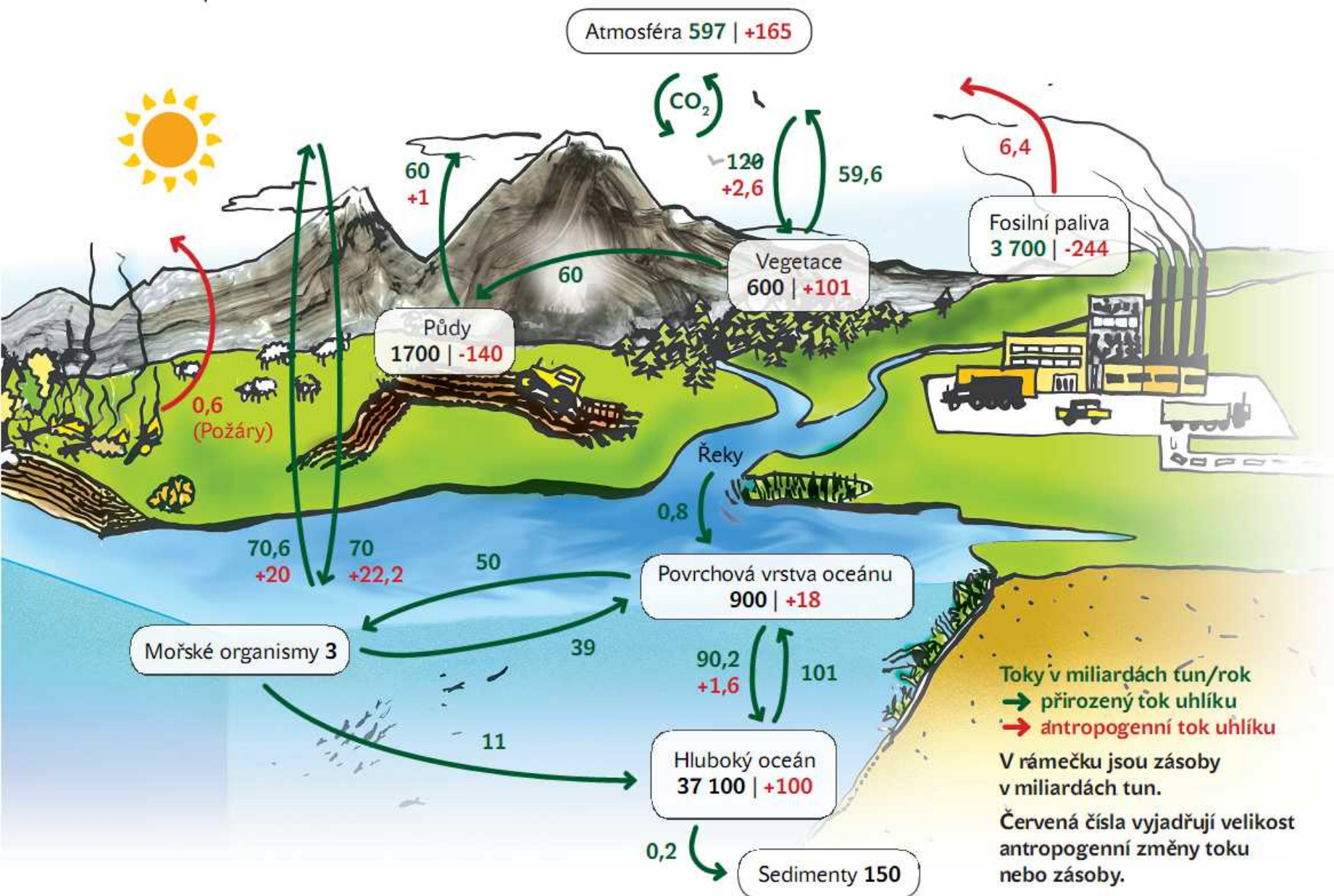
Zdroj: [Čtvrtá hodnotící zpráva IPCC](#), 2007

# Trochu historické perspektivy





# Toky uhlíku v 90. letech 20. století



zdroj: Veronica, výstava [Prima Klima](#)

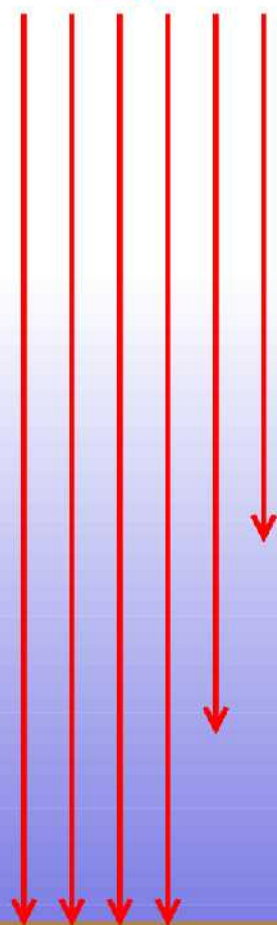
# Skleníkový jev: tepelný tok / $\text{W/m}^2$ , 1 šipka = 40

Sluneční záření

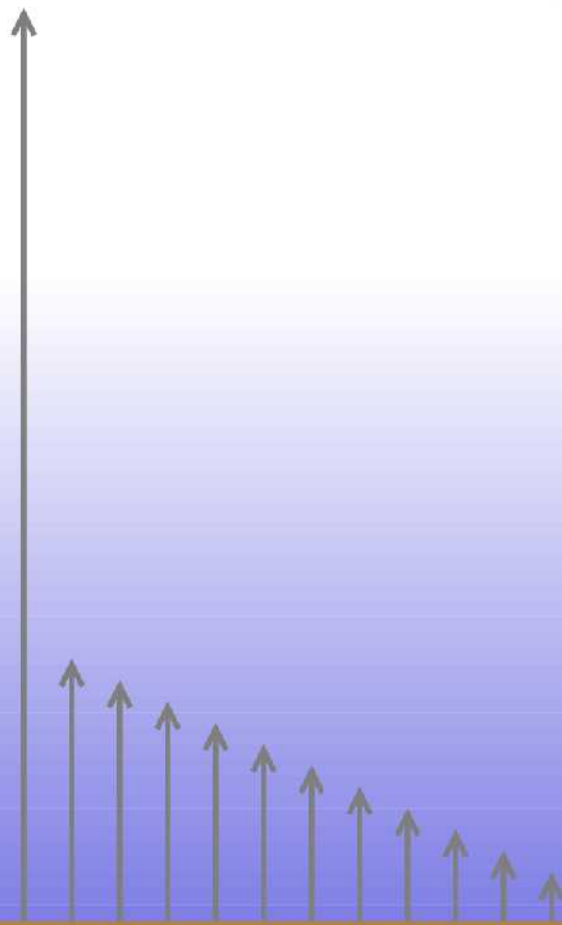
235

Dlouhovlnné záření zpět do vesmíru

235 před r.1900, ale jen 232 nyní: více než 1% změna!

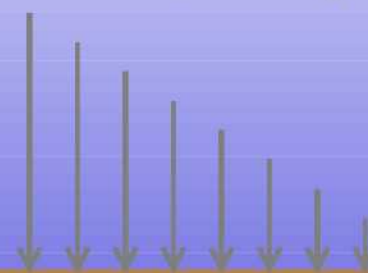


168

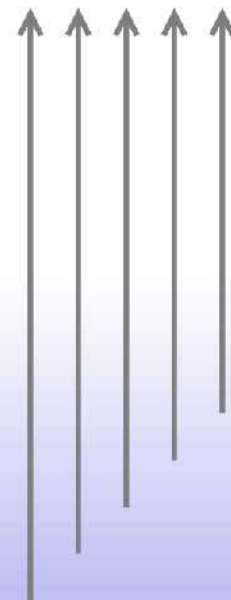


Tok z povrchu Země  
(většinou pohlcen ovzduším)

324 dřív, 327 nyní

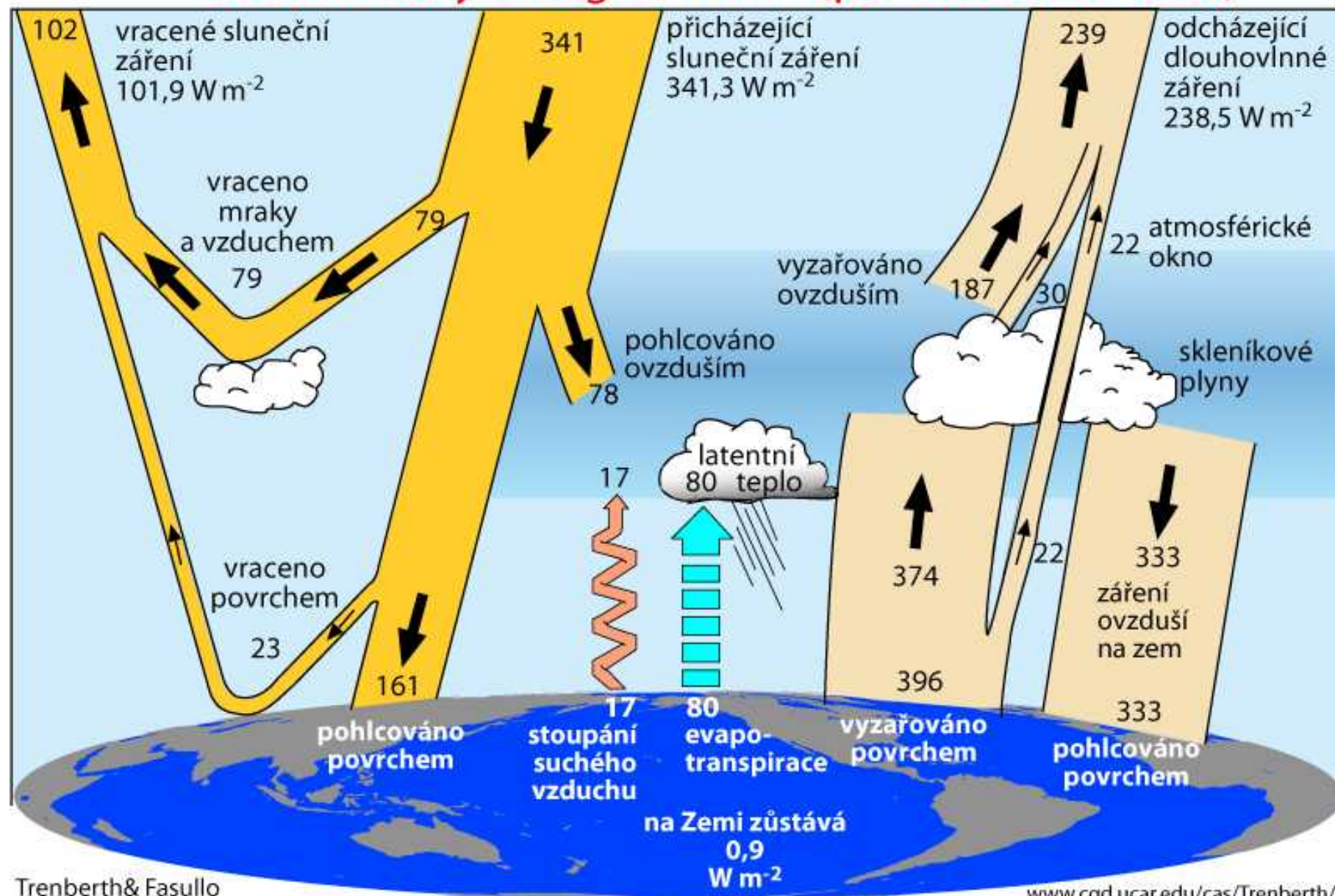


Dlouhovlnné záření z ovzduší





## Globální toky energie / $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ (pro léta 2000-2005)



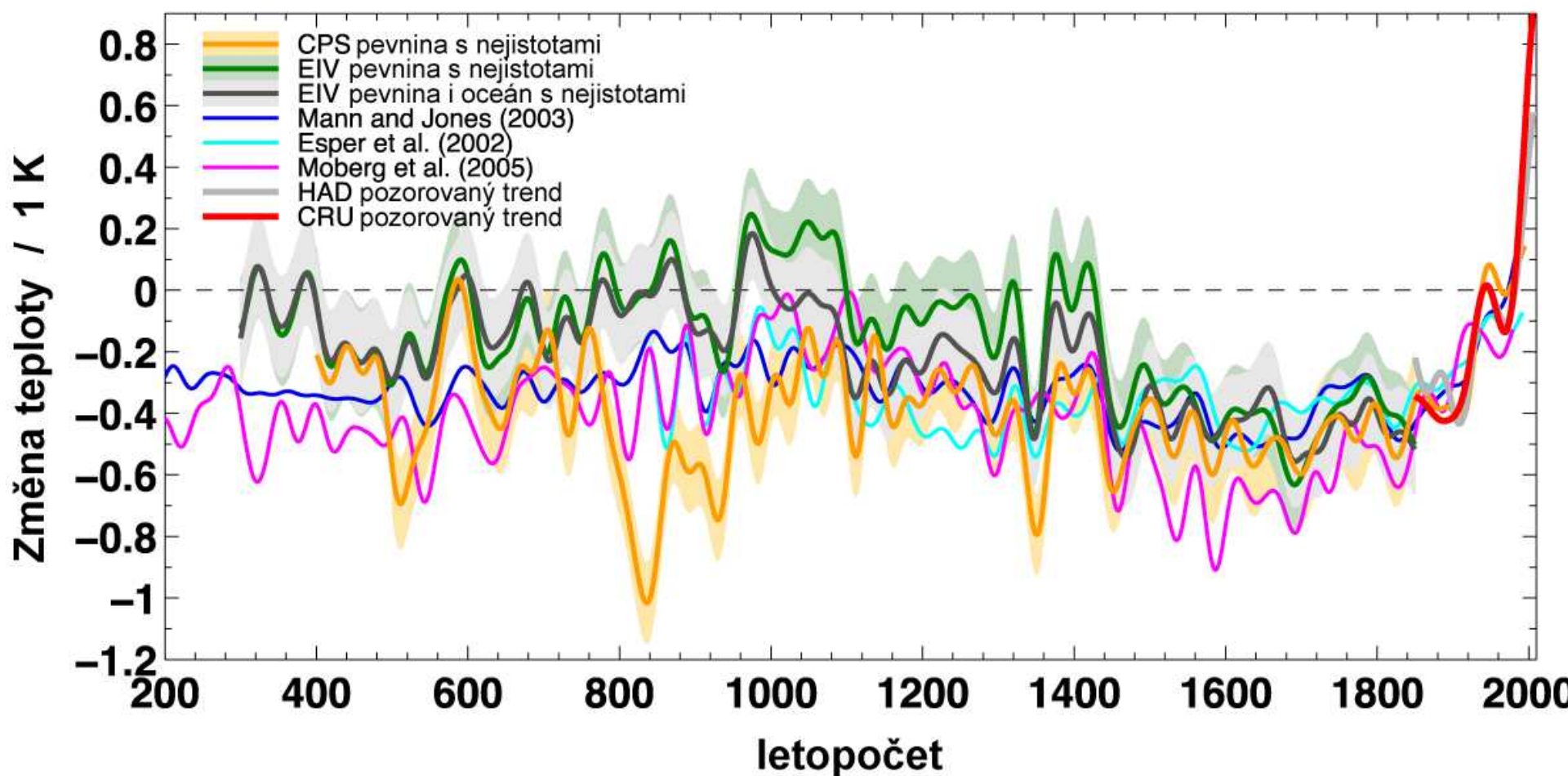


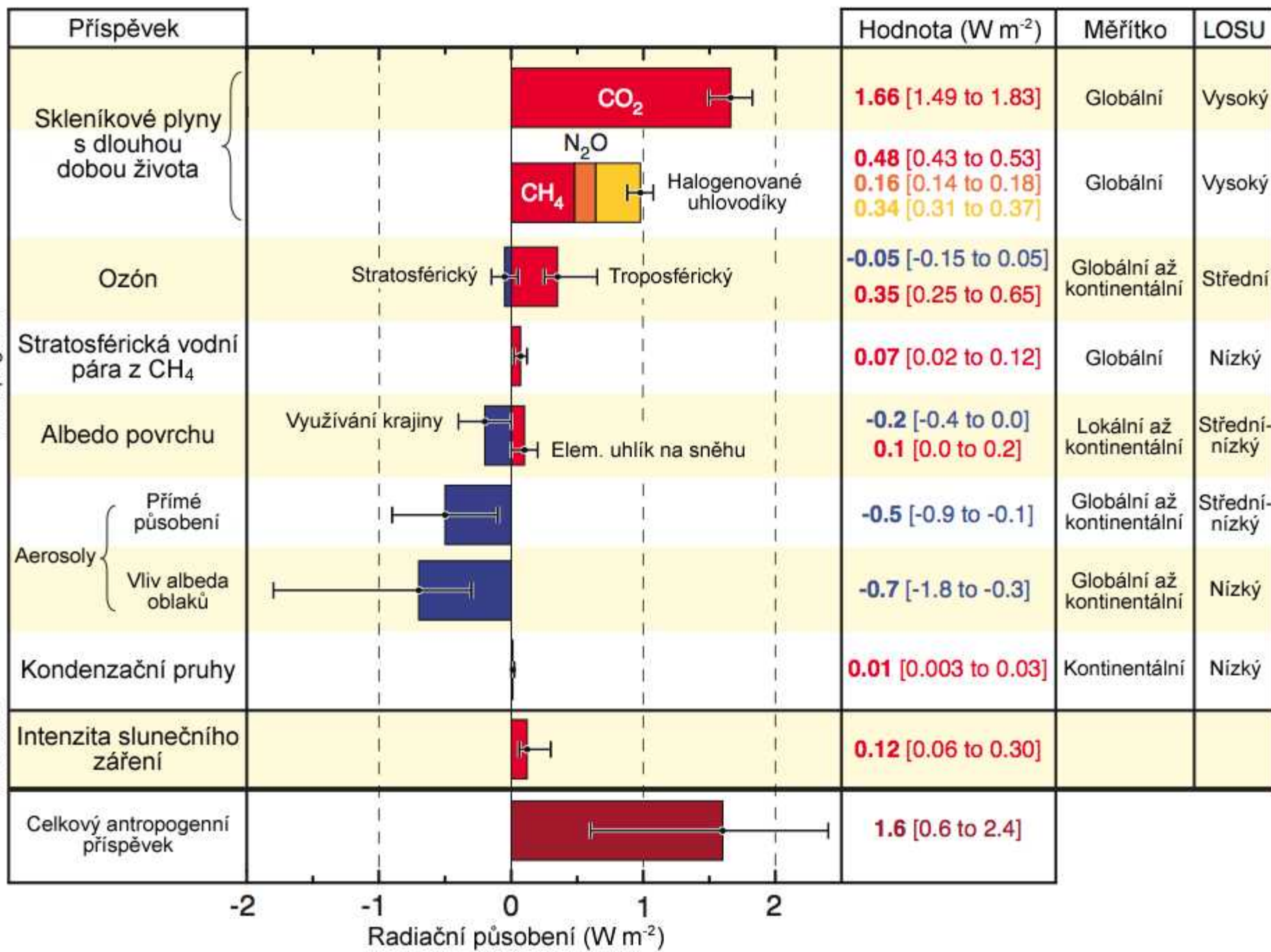
Figure 19: Rekonstrukce změn teploty severní polokoule od roku 200 (zdroj: [Kodaňská diagnóza](#))



# Príspevky k radiačnímu působení

Antropogenní

Přirozené



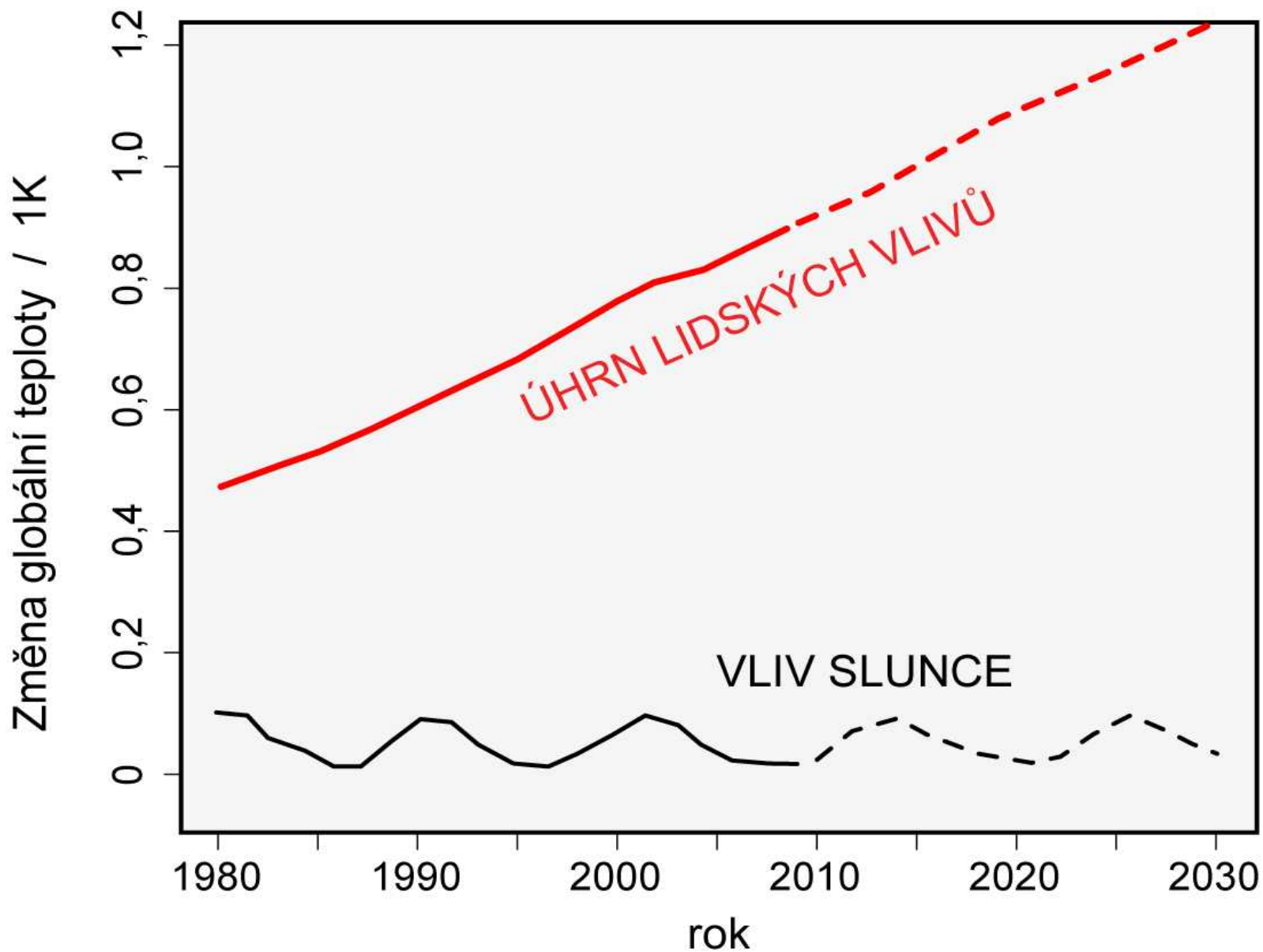
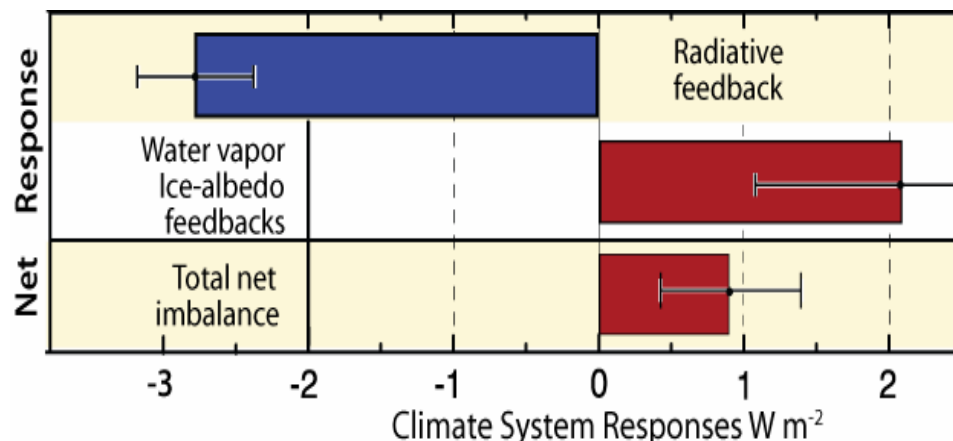
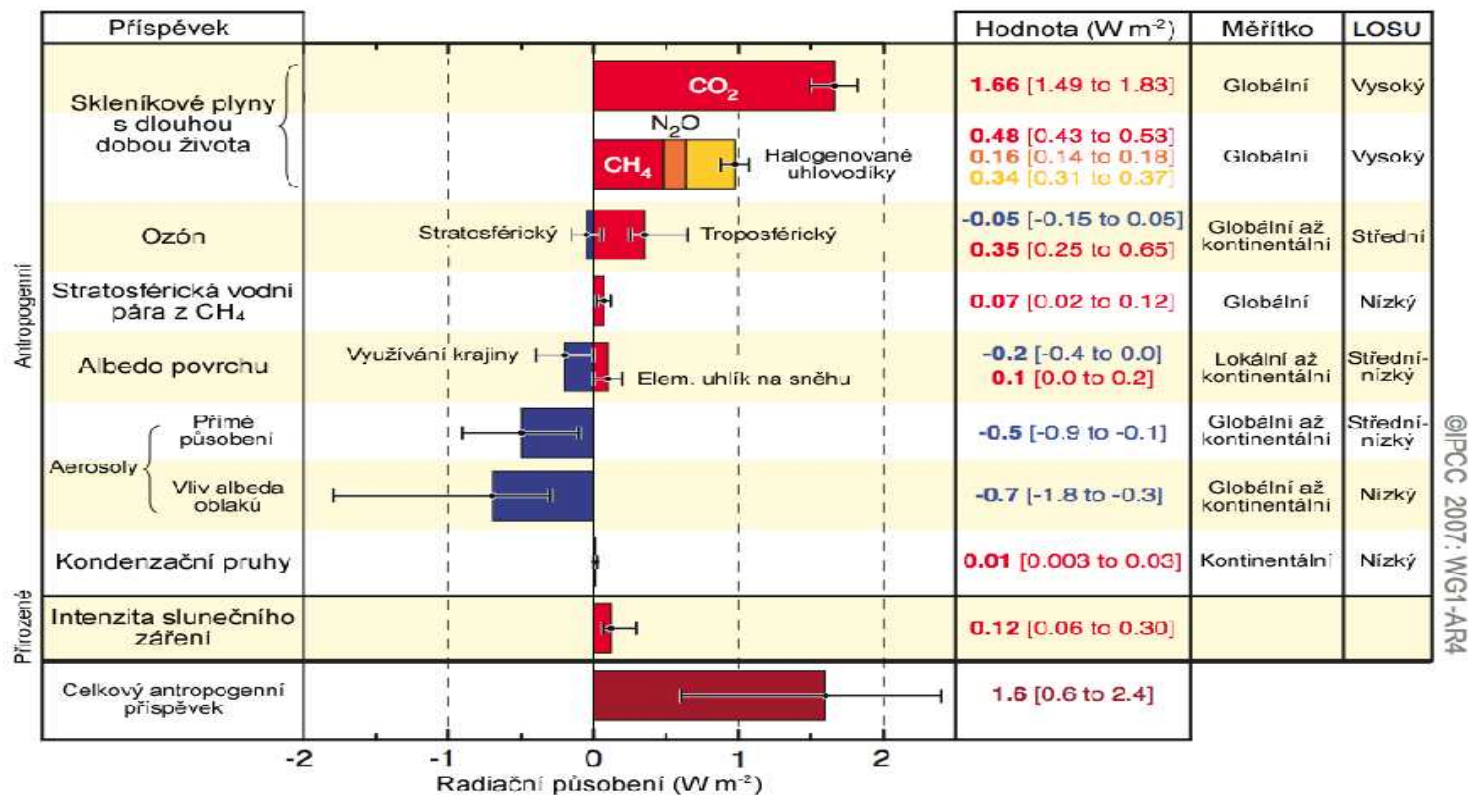


Figure 5: Vliv antropogenní oproti vlivu solárnímu od roku 1980 a projekce do 2030 (zdroj: Kodaňská diagnóza)

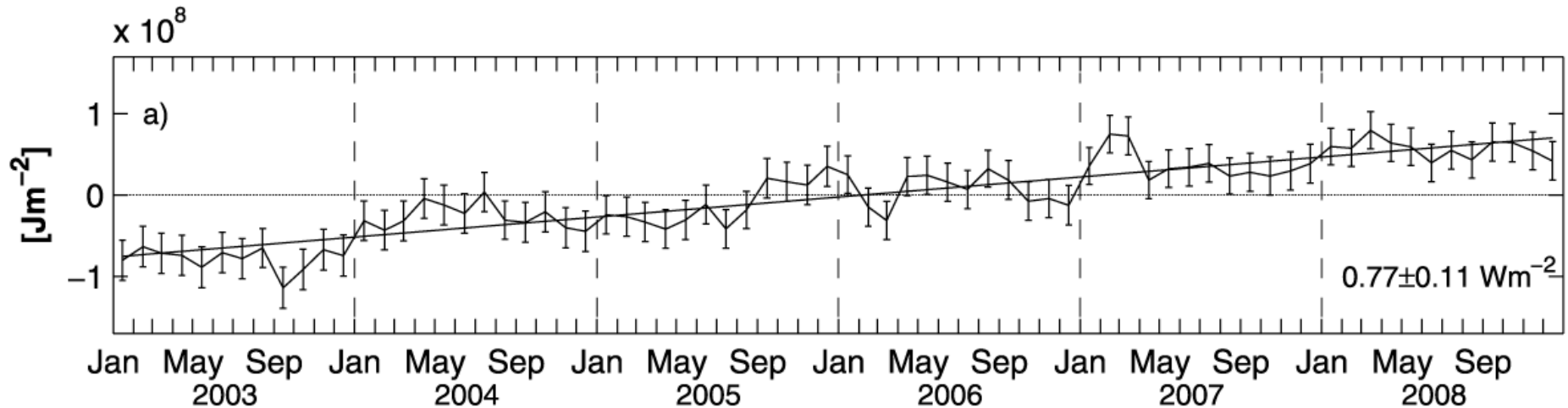
# Příspěvky k radiačnímu působení



Trenberth, K. E., 2009: An imperative for climate change planning: tracking Earth's global energy. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1, 19-27. Dostupné [v seznamu autorových publikací](#)

# Tok tepla do oceánů

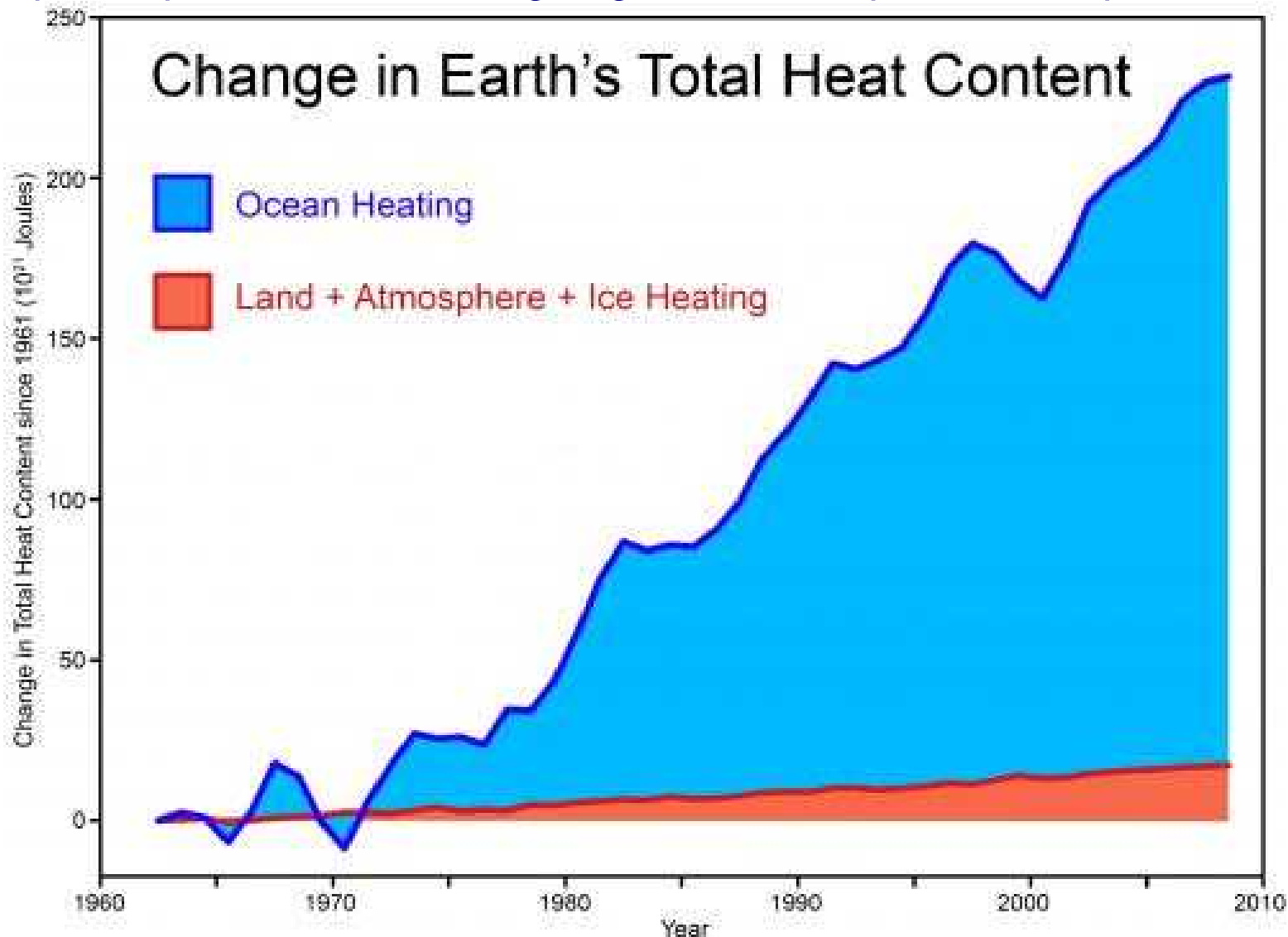
Global hydrographic variability patterns during 2003-2008.  
Karina von Schuckmann, Fabienne Gaillard and Pierre-Yves Le Traon.  
J. Geophys. Res., 114, C09007, doi:10.1029/2008JC005237





# Nárůst entalpie Země v exajoulech

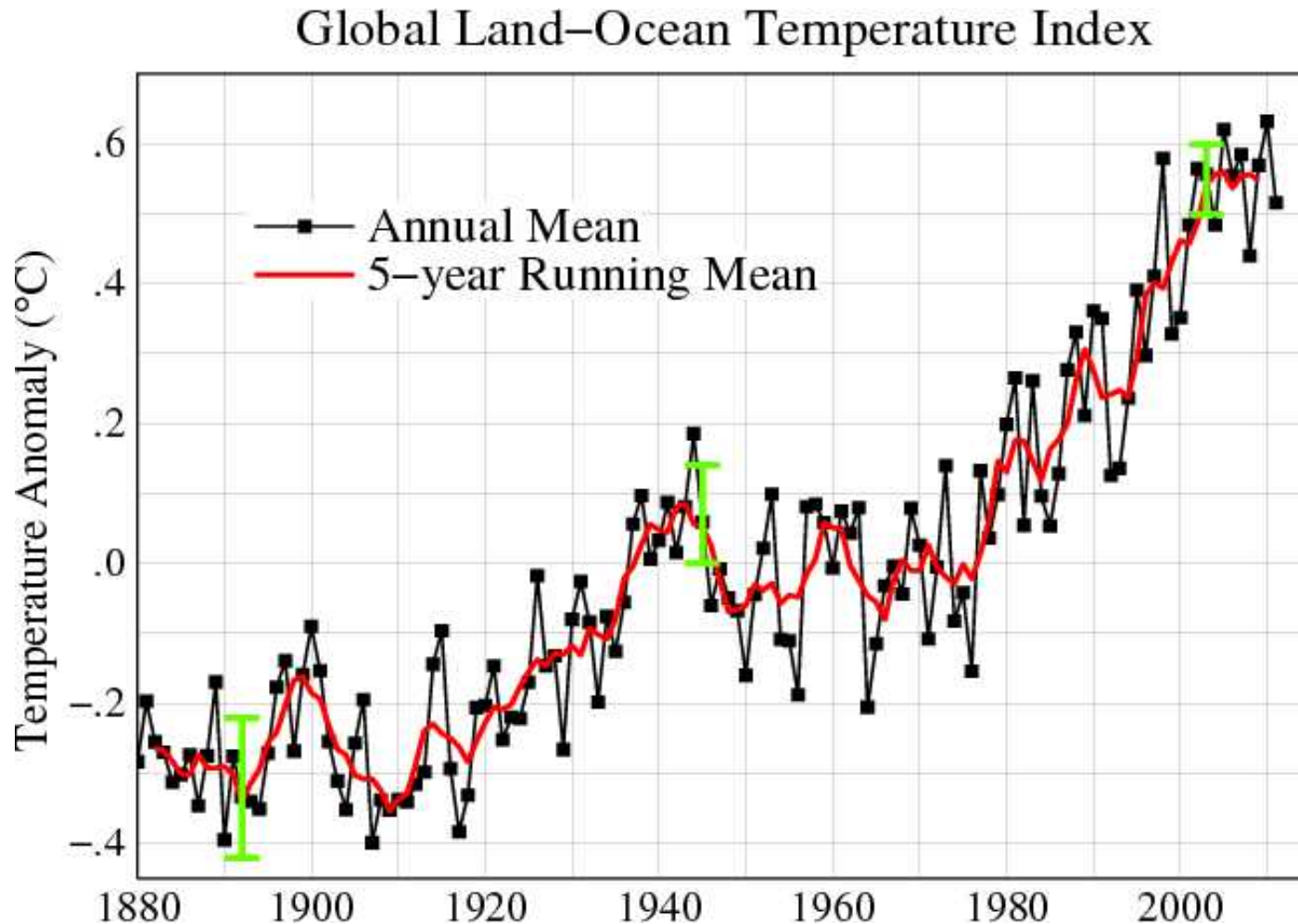
dle dat z Church et al 2011. Obrázek vytvořil John Cook,  
<http://skepticalscience.com/going-down-the-up-escalator-part-2.html>



## 2. Projevy

# Země se ohřívá

90. léta byla tehdy nejteplejší zaznamenaná dekáda,  
třetí tisíciletí je ještě teplejší. Zdroj: [http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs\\_v3/](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/)



Nejteplejší  
roky

2010

2005

2007

1998

2009

2002

2003

2006

2011

2001

2004

~ 0.8 °C: globální zvýšení teploty za poslední století

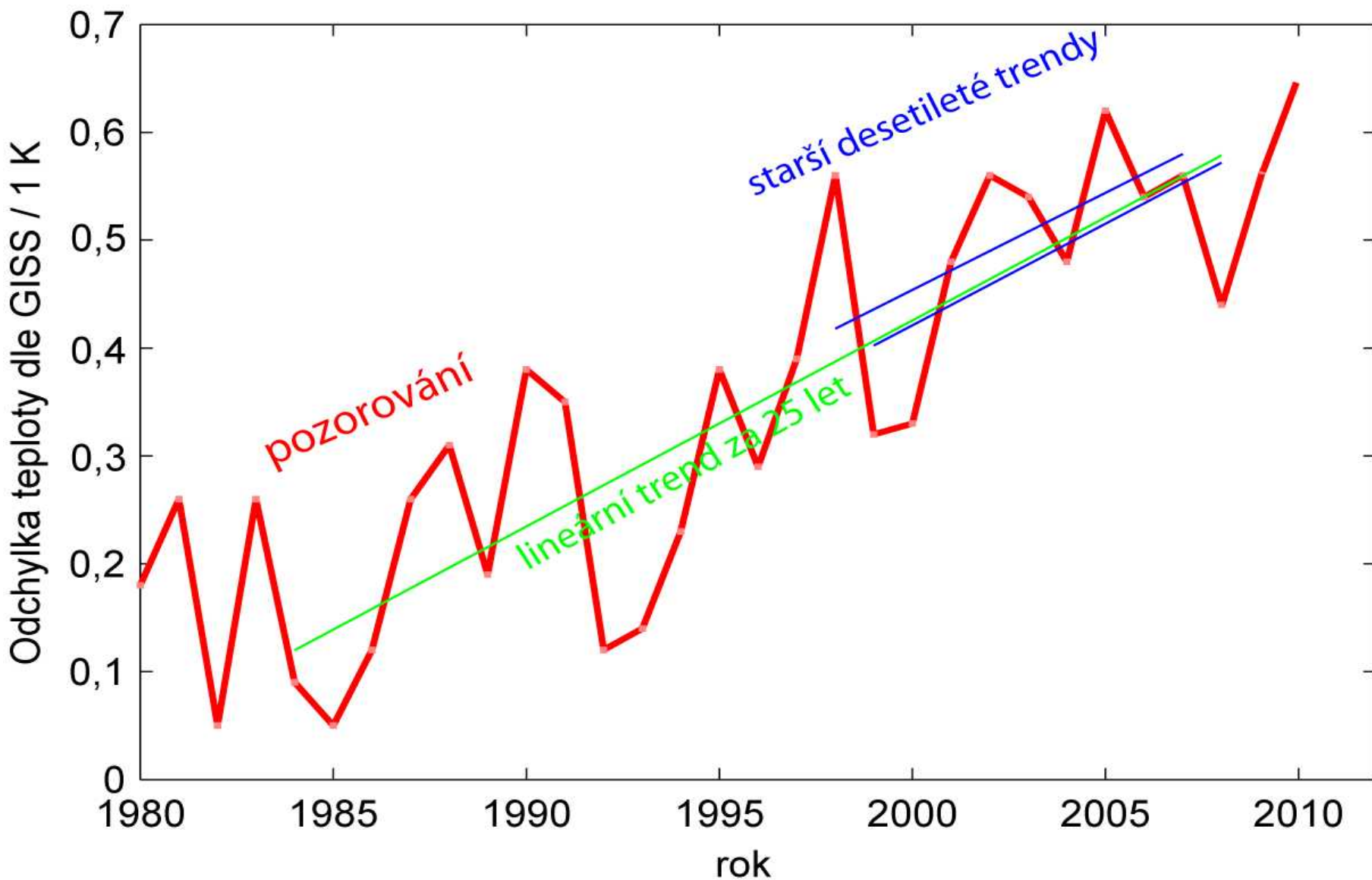


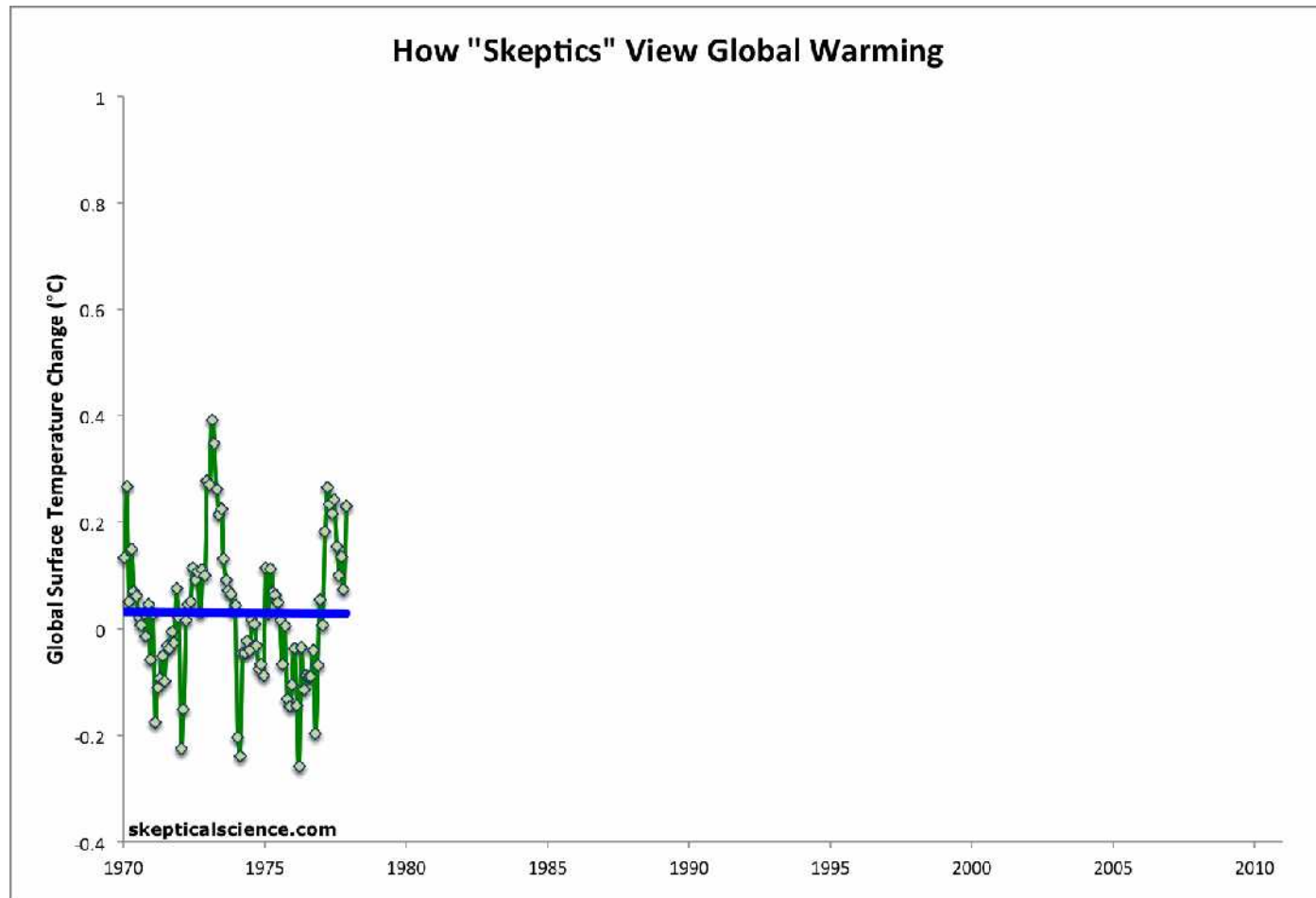
Figure 4: Změna globální teploty od roku 1980 dle údajů GISS

Krátkodobé trendy ochlazování 1970/01 až 77/11, dtto až 86/11, 87/09 až 96/11, 97/03 až 2002/10, 2002/10 až 2011/12 (modře) a trend 42 let oteplování (leden 1970 až prosinec 2011, červeně) dle dat pro oceán i pevninu NOAA NCDC. Zdroj: Dana Nuccitelli,

<http://www.skepticalscience.com/still-going-down-the-up-escalator.html>

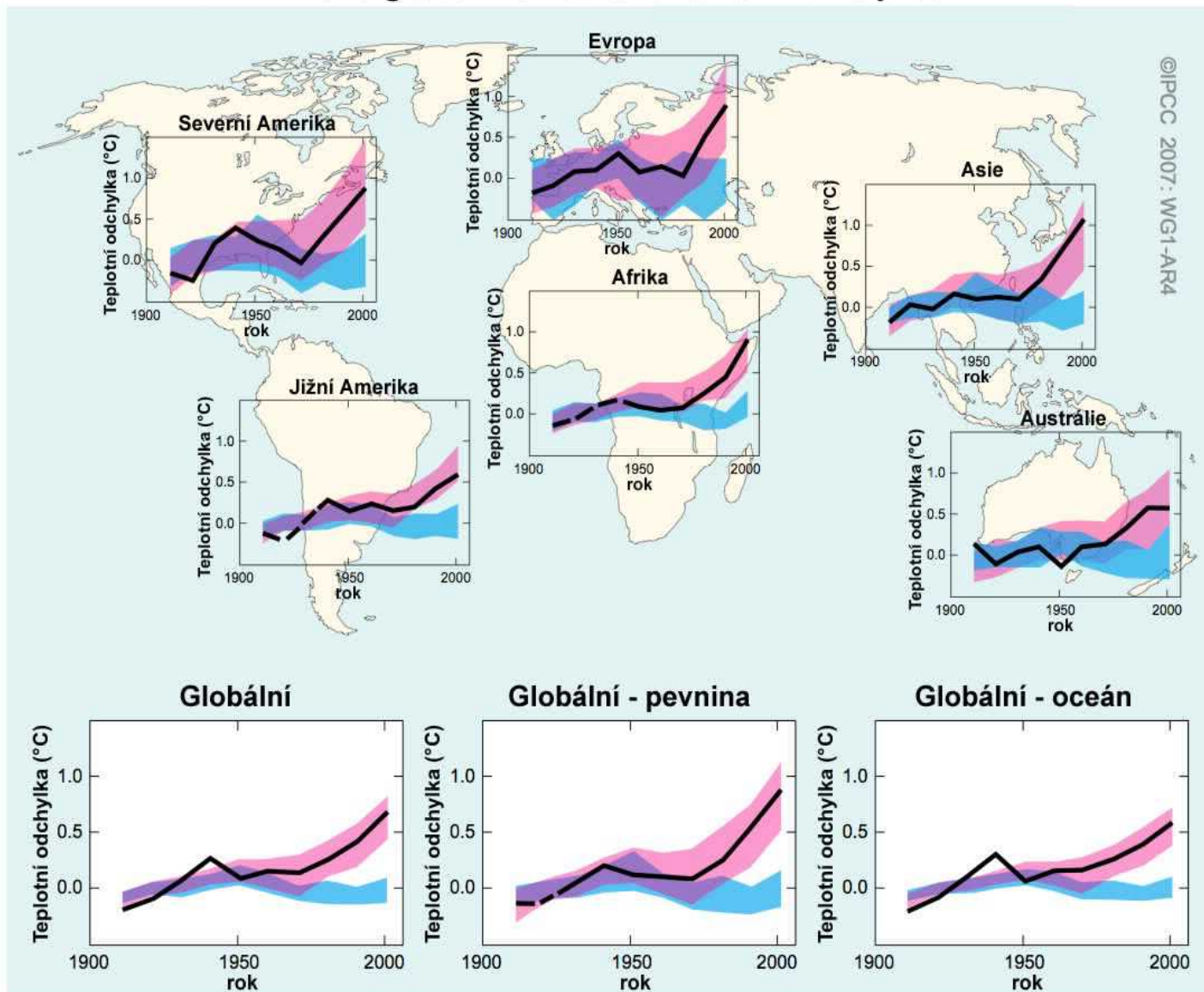
(samotný animovaný graf pak viz

[http://www.skepticalscience.com/pics/NCDC\\_Escalator.gif](http://www.skepticalscience.com/pics/NCDC_Escalator.gif))



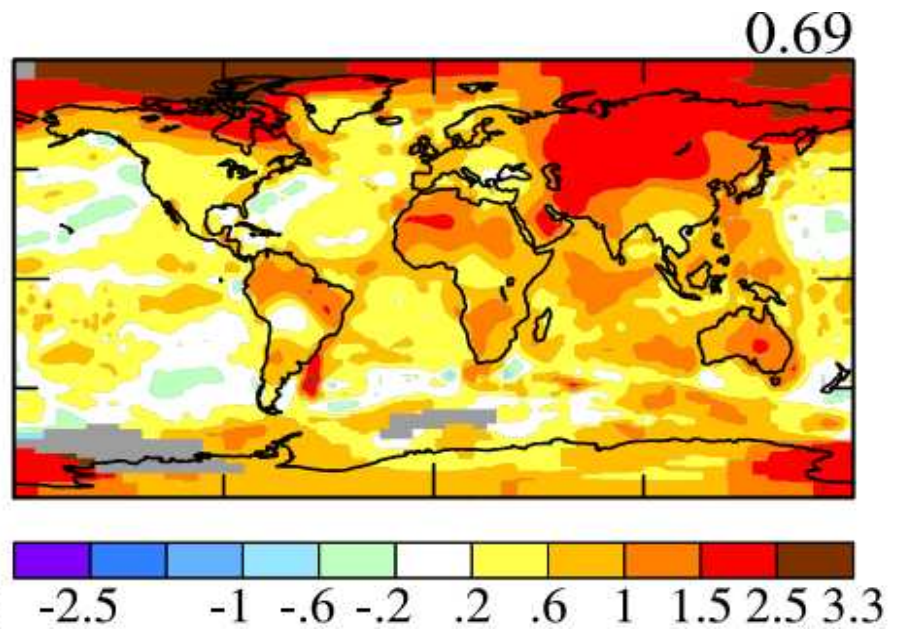
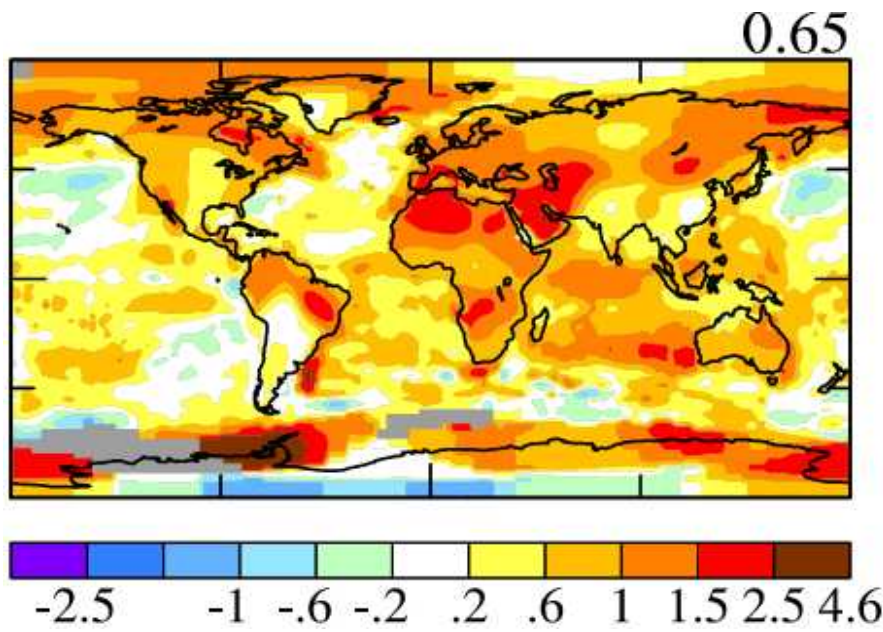
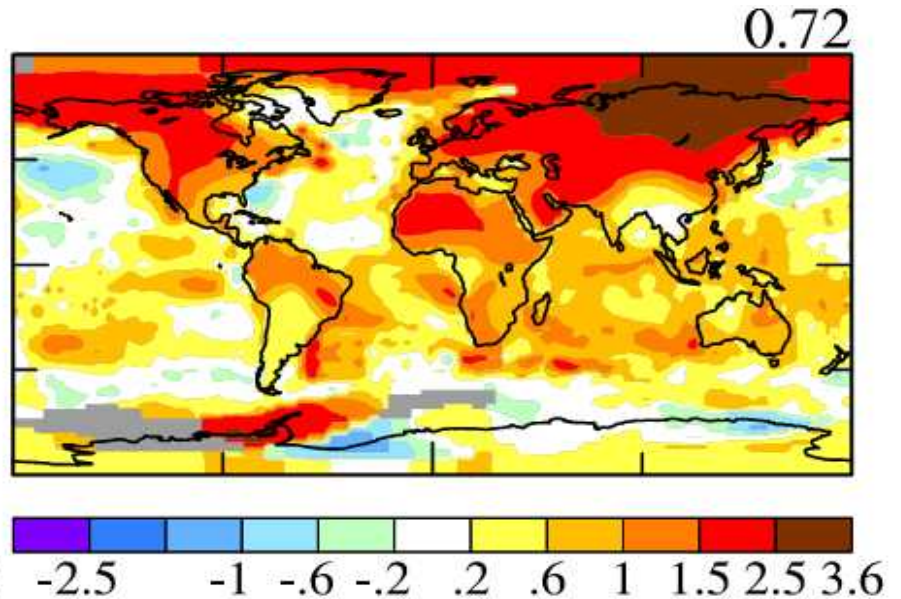
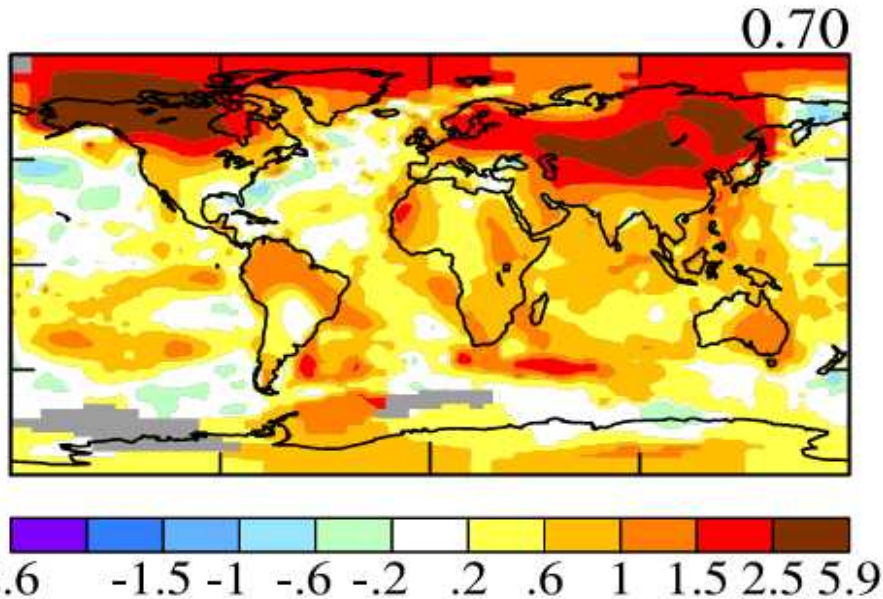


# Změna globálních a kontinentálních teplot



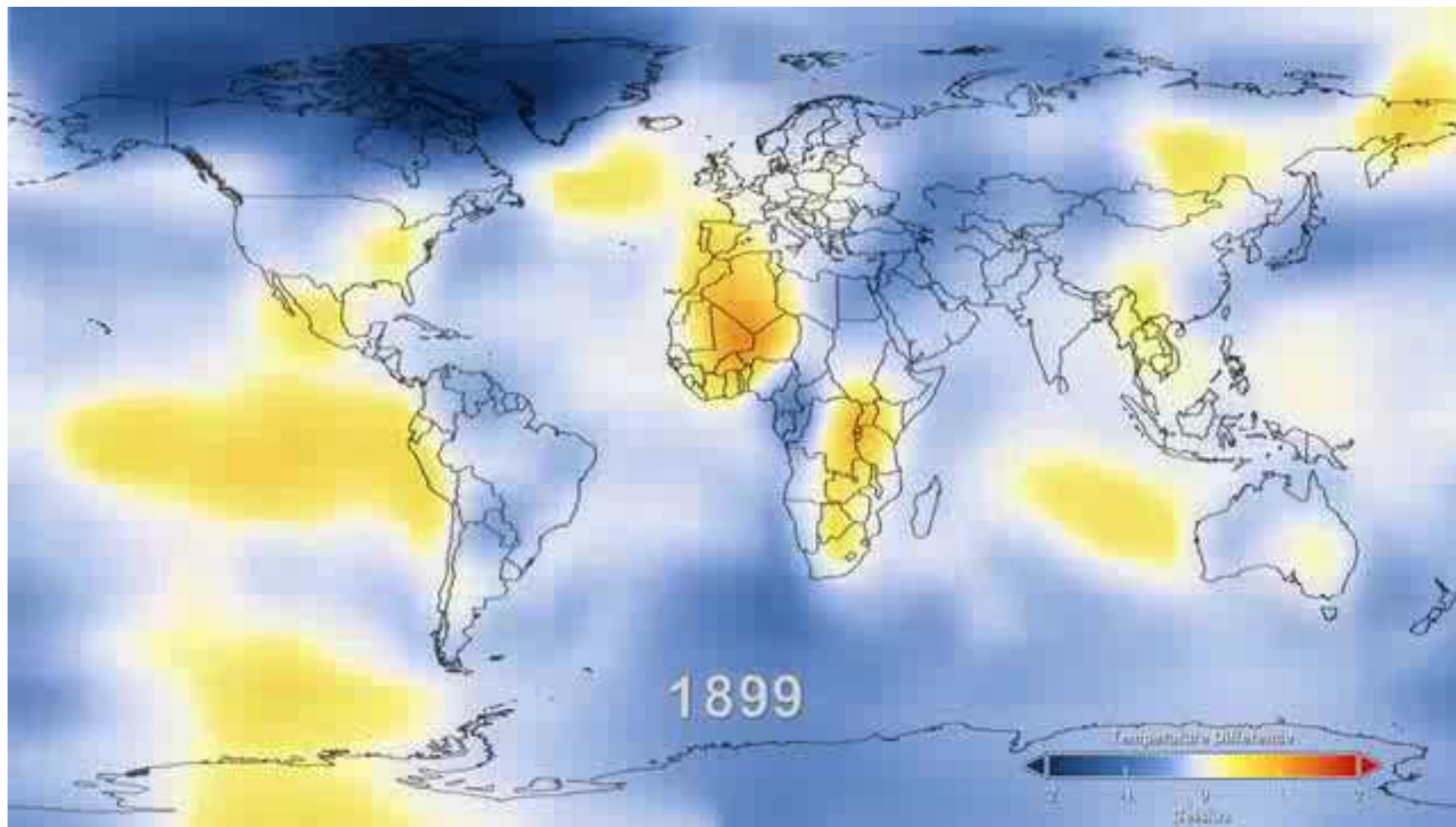
Změny teplot od r. 1950 pro trojice měsíců - bráno dle ročních období severní polokoule jako zima (tj. prosinec, leden, únor), jaro, léto a podzim. Zdroj: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

1950-2011

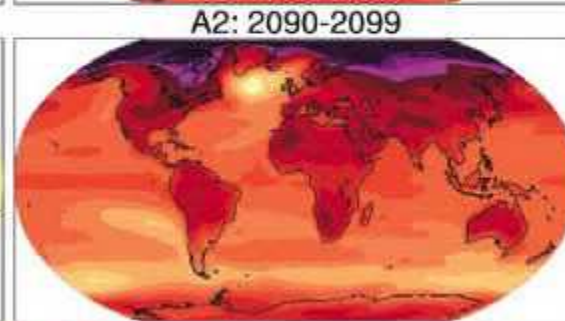
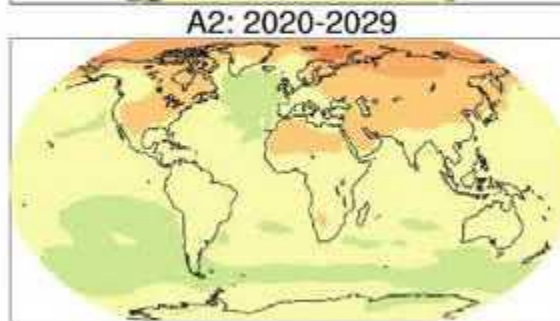
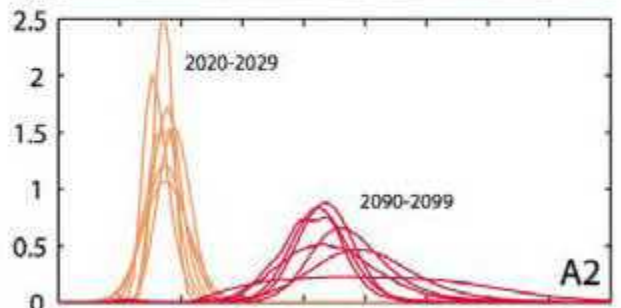
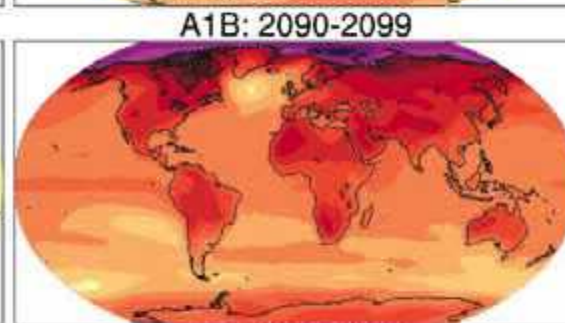
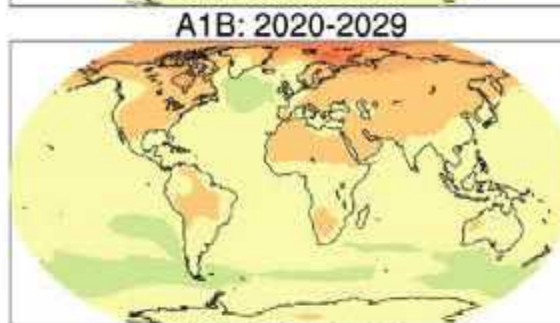
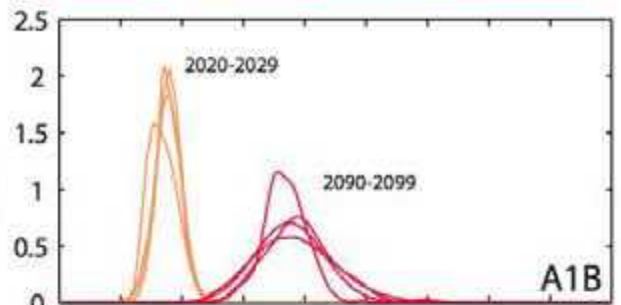
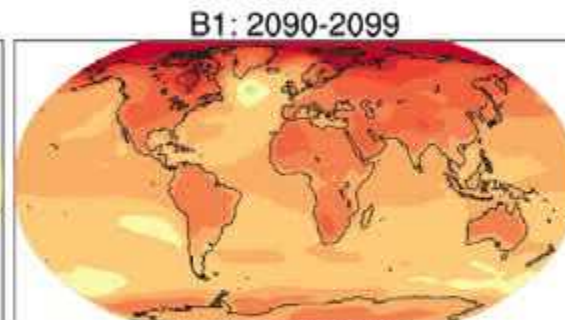
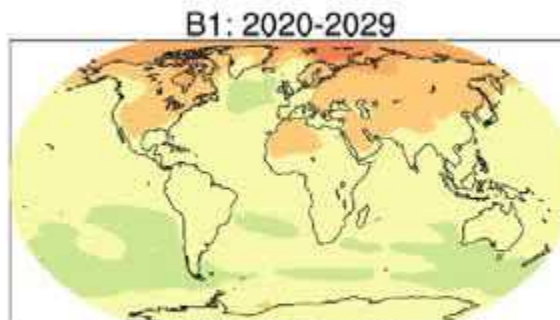
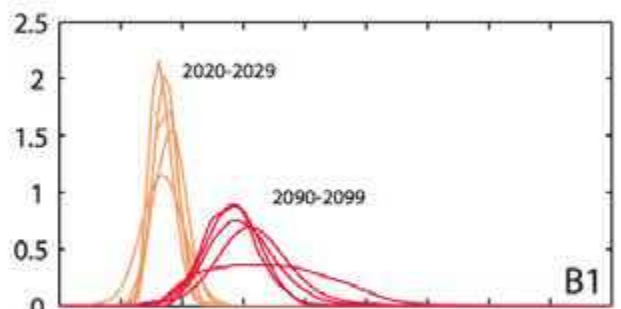




Pětileté klouzavé průměry teplotních odchylek, animace 1880 až 2011, viz stránku [NASA GISS SVS \(třetí varianta\)](#) nebo [\\*.avi](#) (3 MB), vytvořený z \*.m4v (5 MB) pomocí <http://video.online-convert.com/>



# AOGCM projekce povrchových teplot



Globální průměrná změna povrchové teploty (°C)

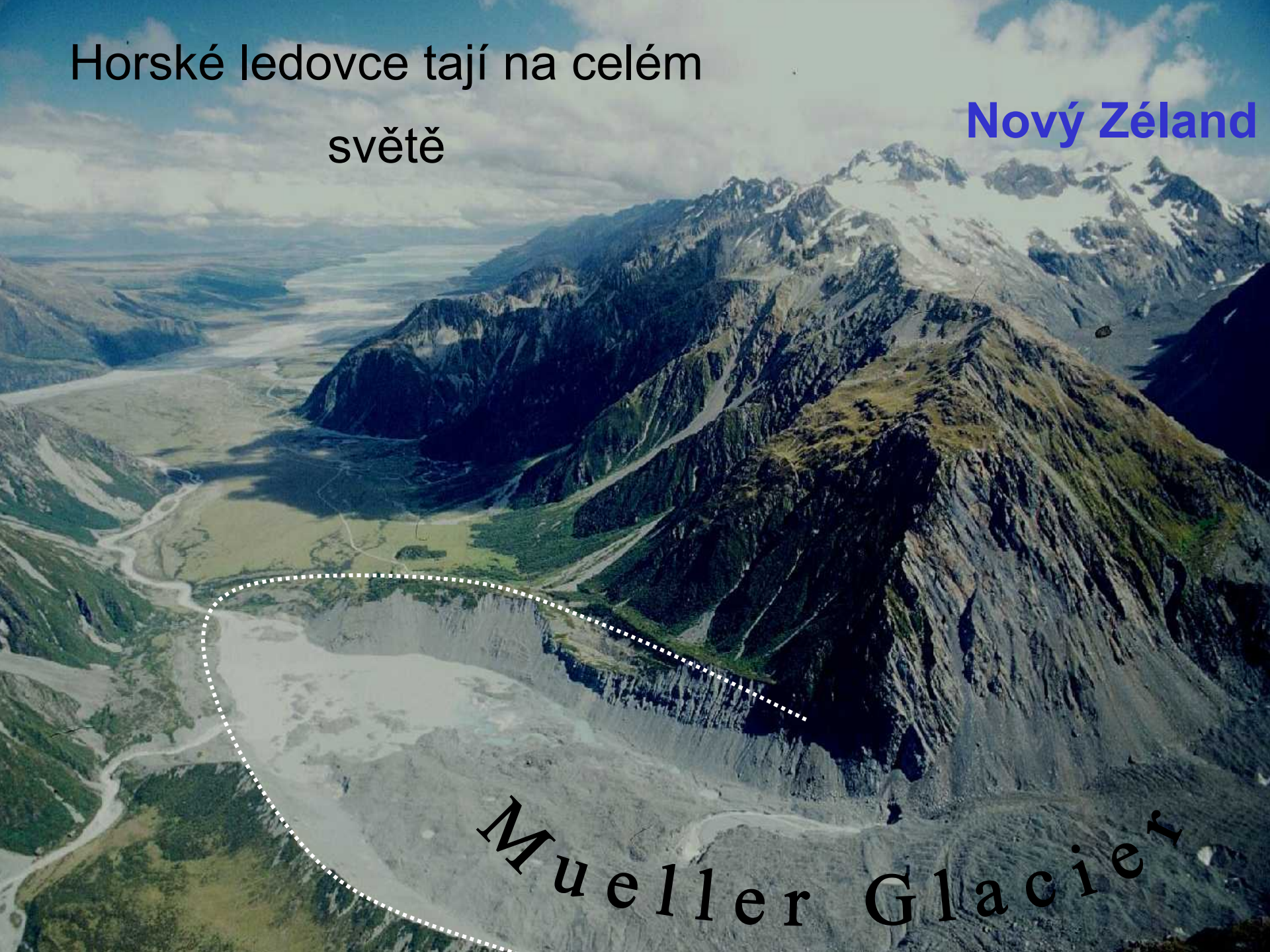




Horské ledovce tají na celém  
světě

Nový Zéland

Mueller Glacier





© Gary Braasch Photography

1911

# USA

## Grinnell Glacier

## Glacier National

## Park



© Gary Braasch Photography

2000





# Švýcarsko

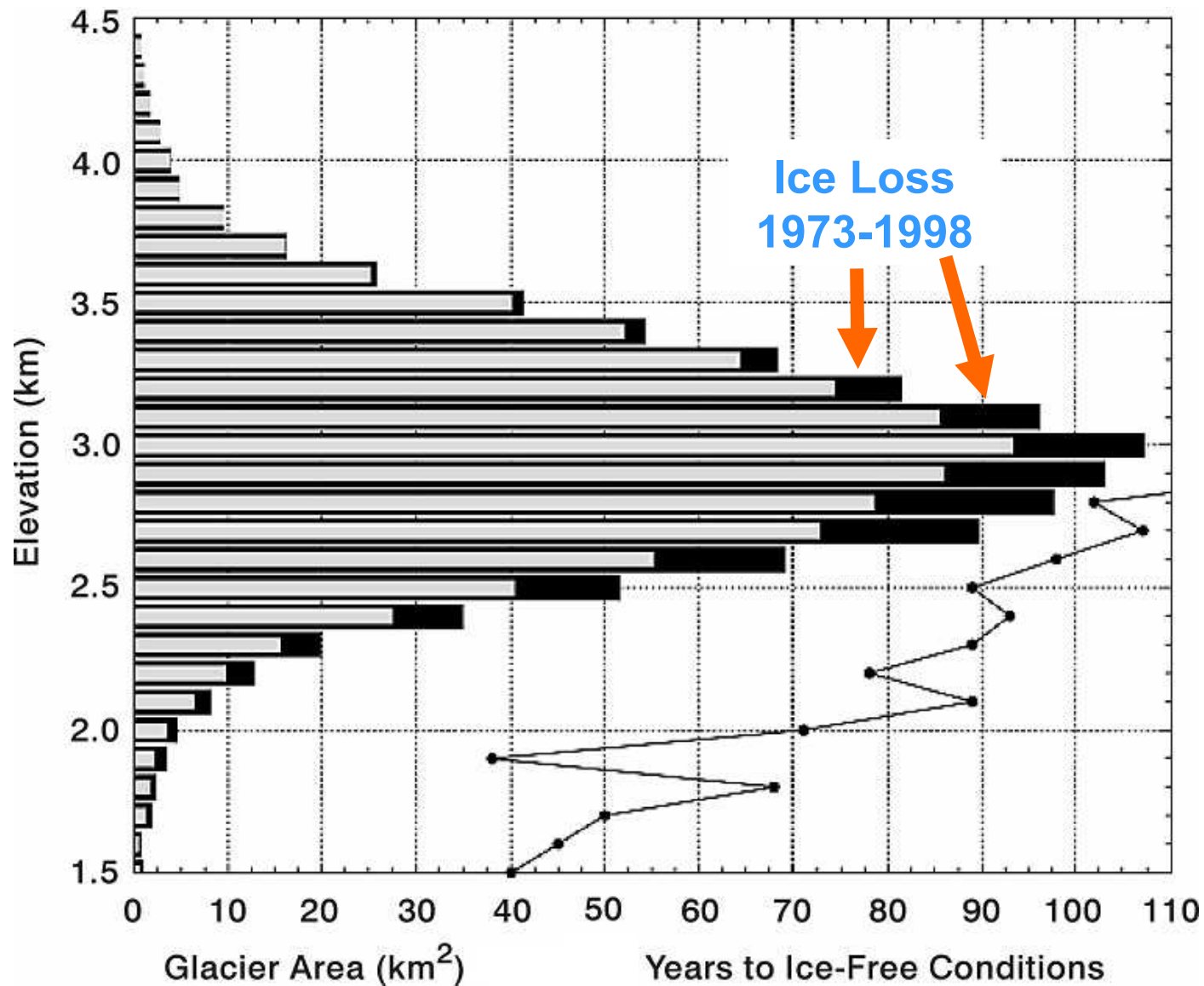
## Rhone Glacier



# Ledovec Rongbuk



Ledovec v roce 1968 (nahore) a 2007. Největší ledovec na severním svahu Mount Everestu napájí řeku Rongbuk.



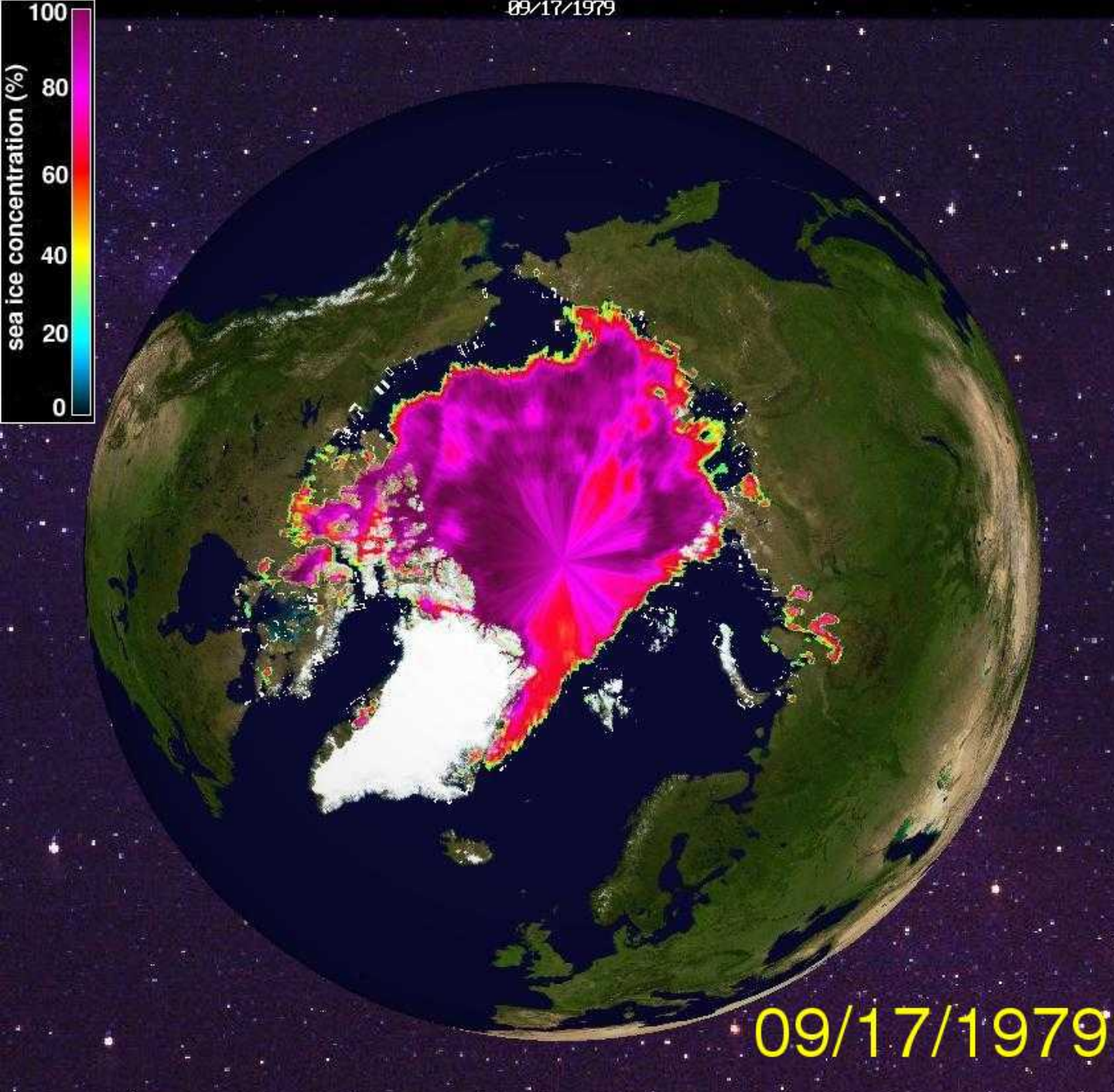
Černě: ztráta ledu od r. 1973 do 1998. Křivka: roky do zániku tímto tempem.

Paul, F. et al., Geophys. Res. Lett. 31, L21402, 2004.

# Ztmavnutí povrchu

velká zesilující zpětná vazba



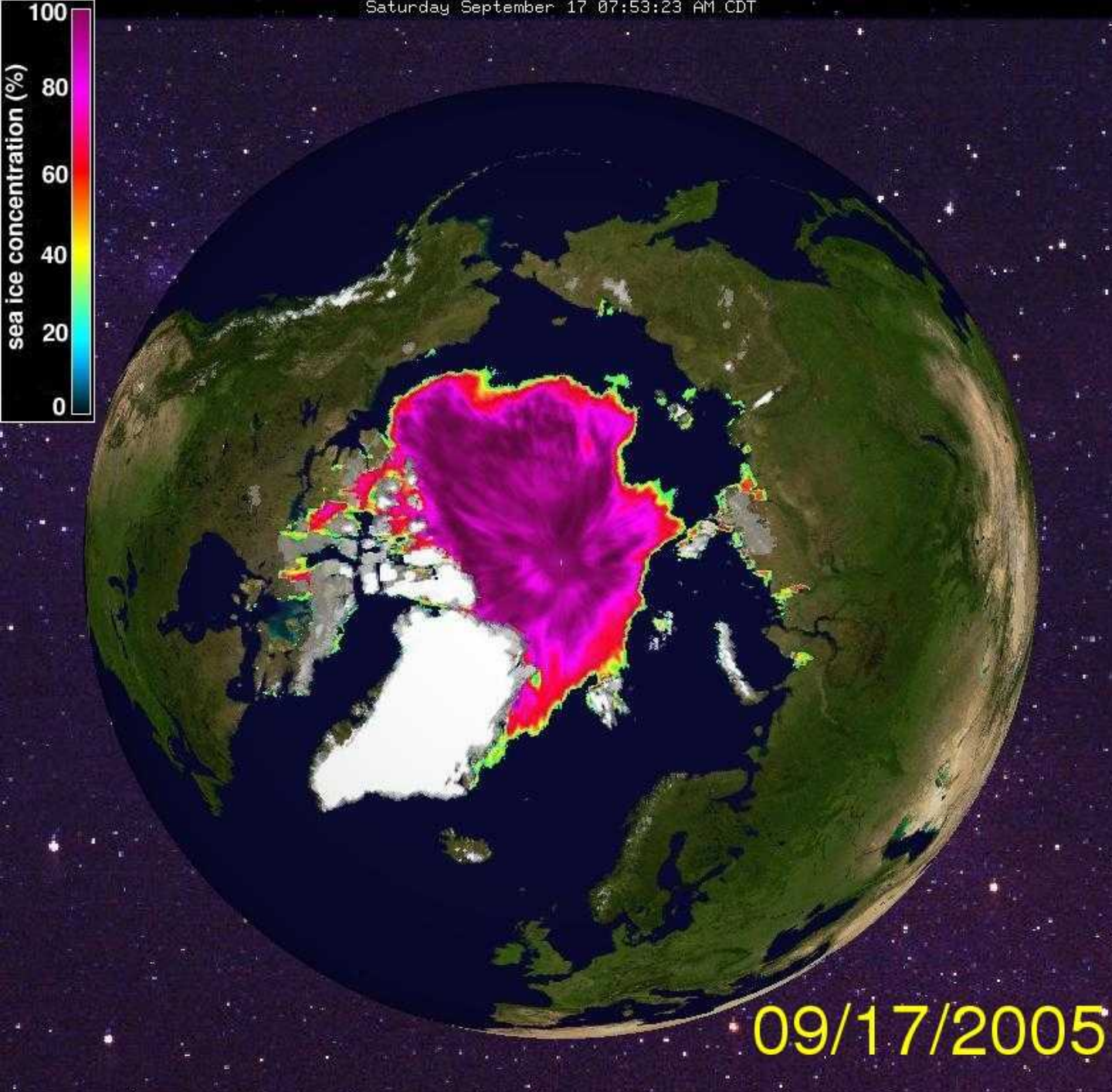


1979

17. září

Arktický  
mořský led



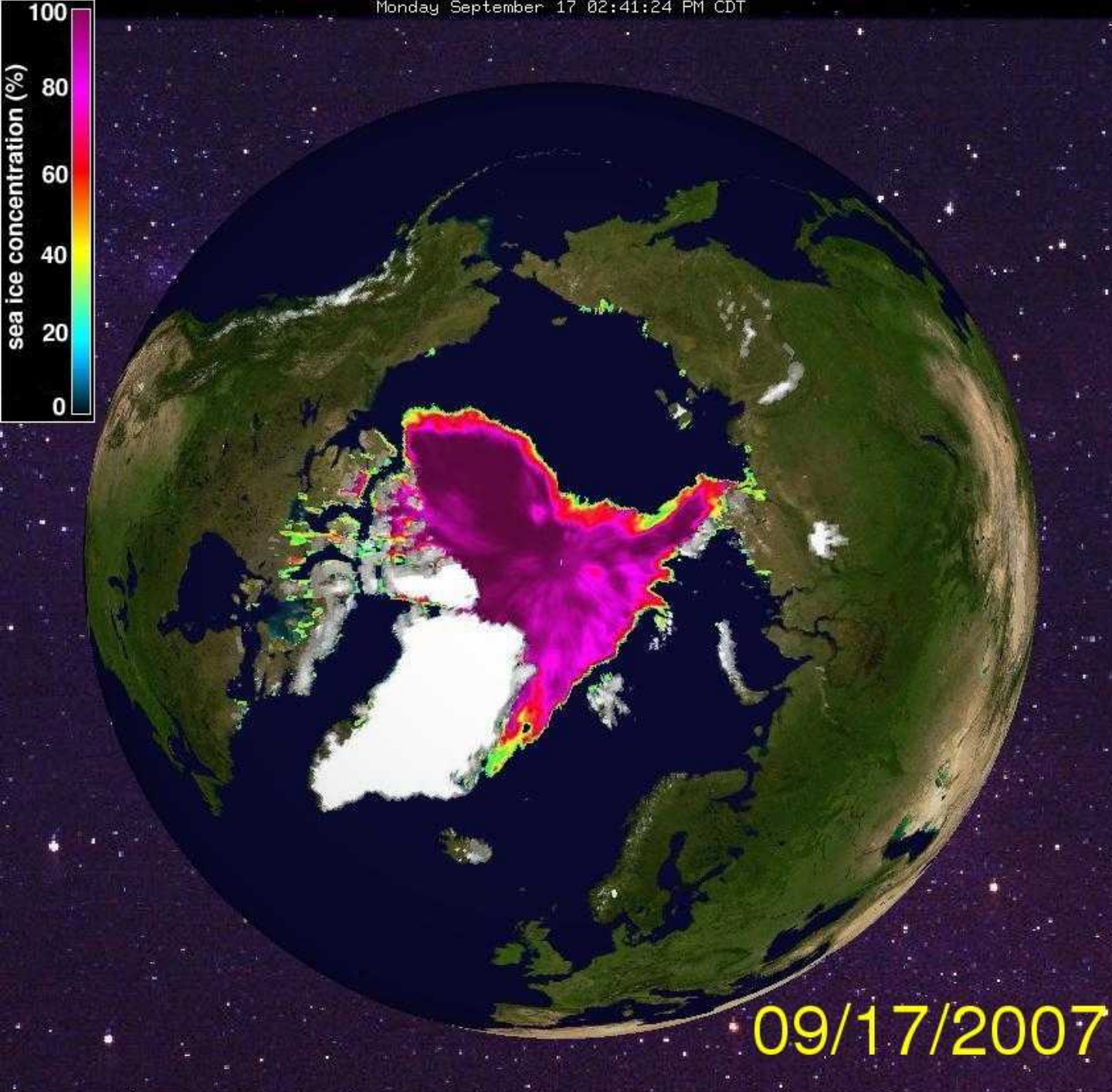


2005

17. září

Arktický  
mořský led



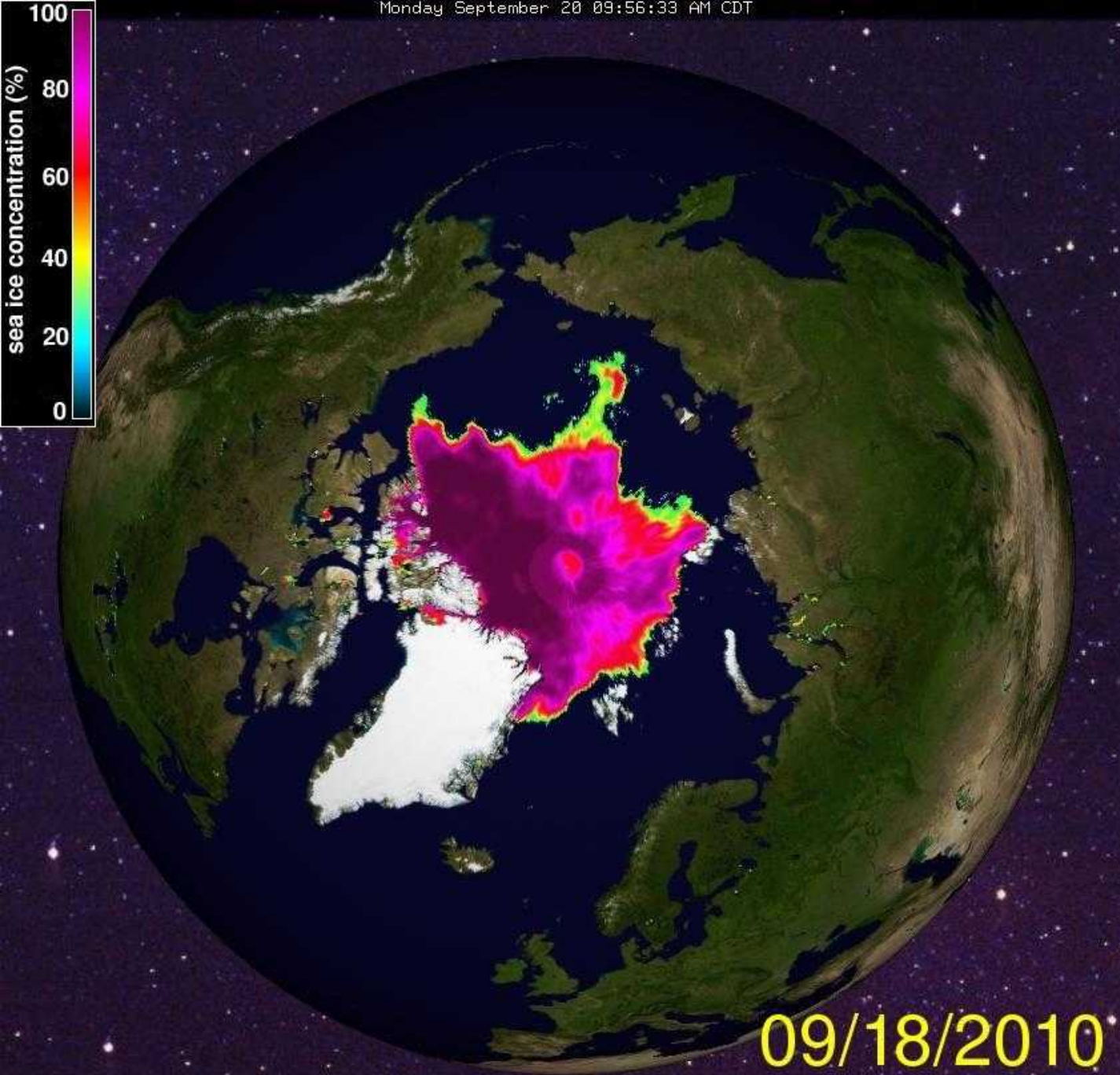


2007  
17. září

Arktický  
mořský led



Monday September 20 09:56:33 AM CDT



2010

18. září

Arktický  
mořský led  
(Zdroj: [The  
Cryosphere  
Today](#))

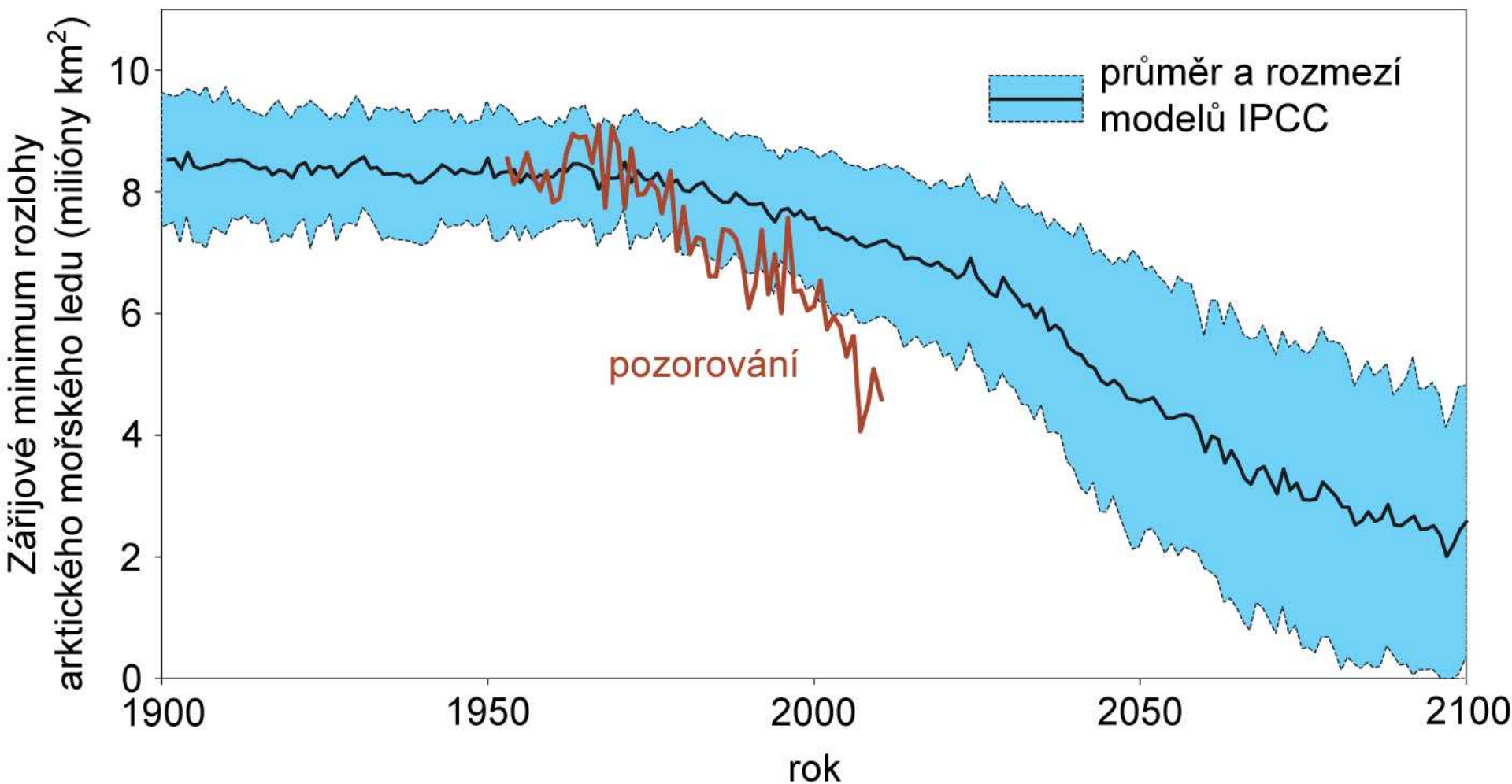
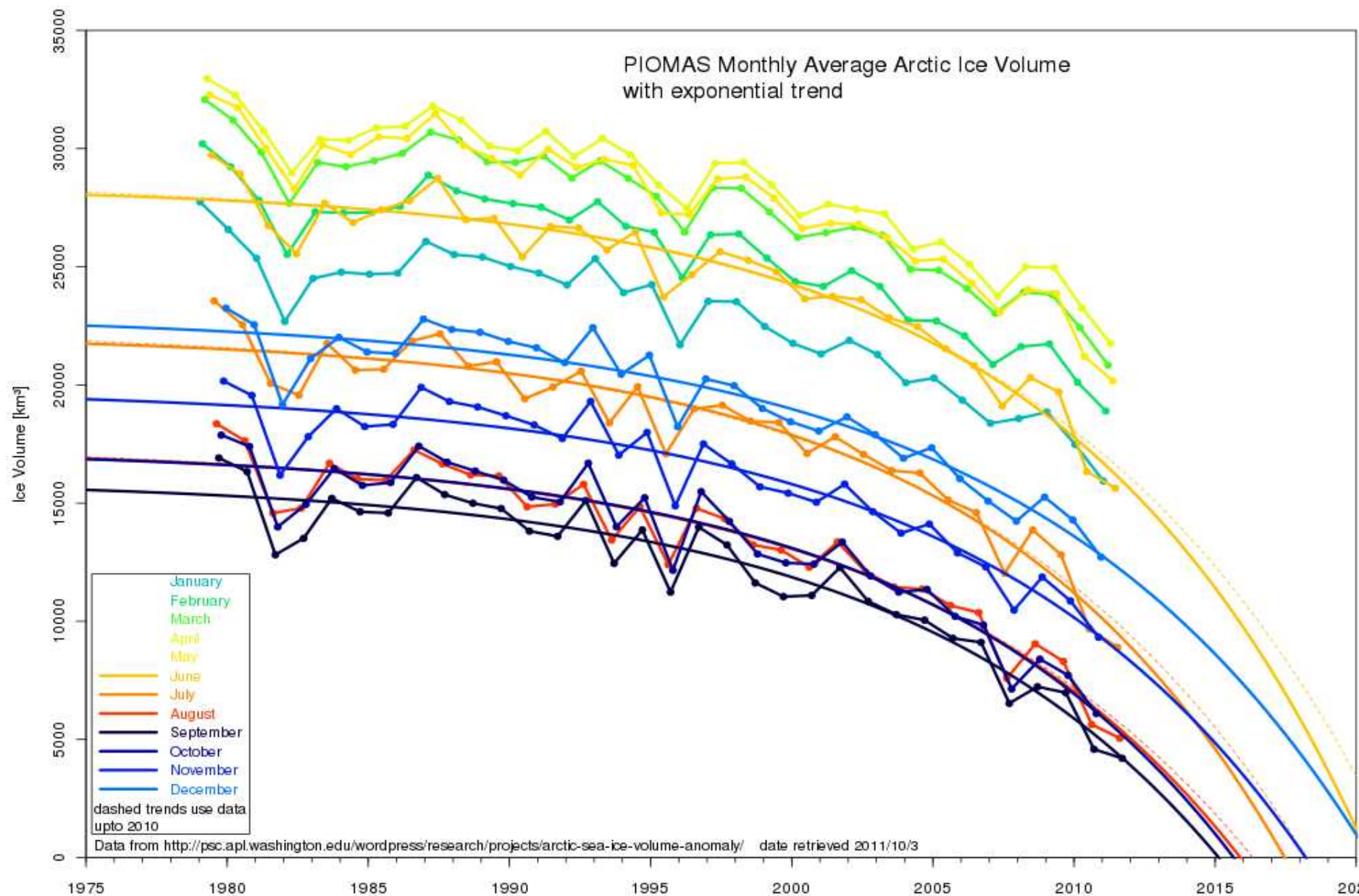


Figure 13: Pozorované a modelované změny rozlohy mořského ledu v Arktidě



# Objem arktického mořského ledu exponenciálně klesá



# Budoucí rizika

v oteplujícím se světě



riziko

=

pravděpodobnost

x

dopad



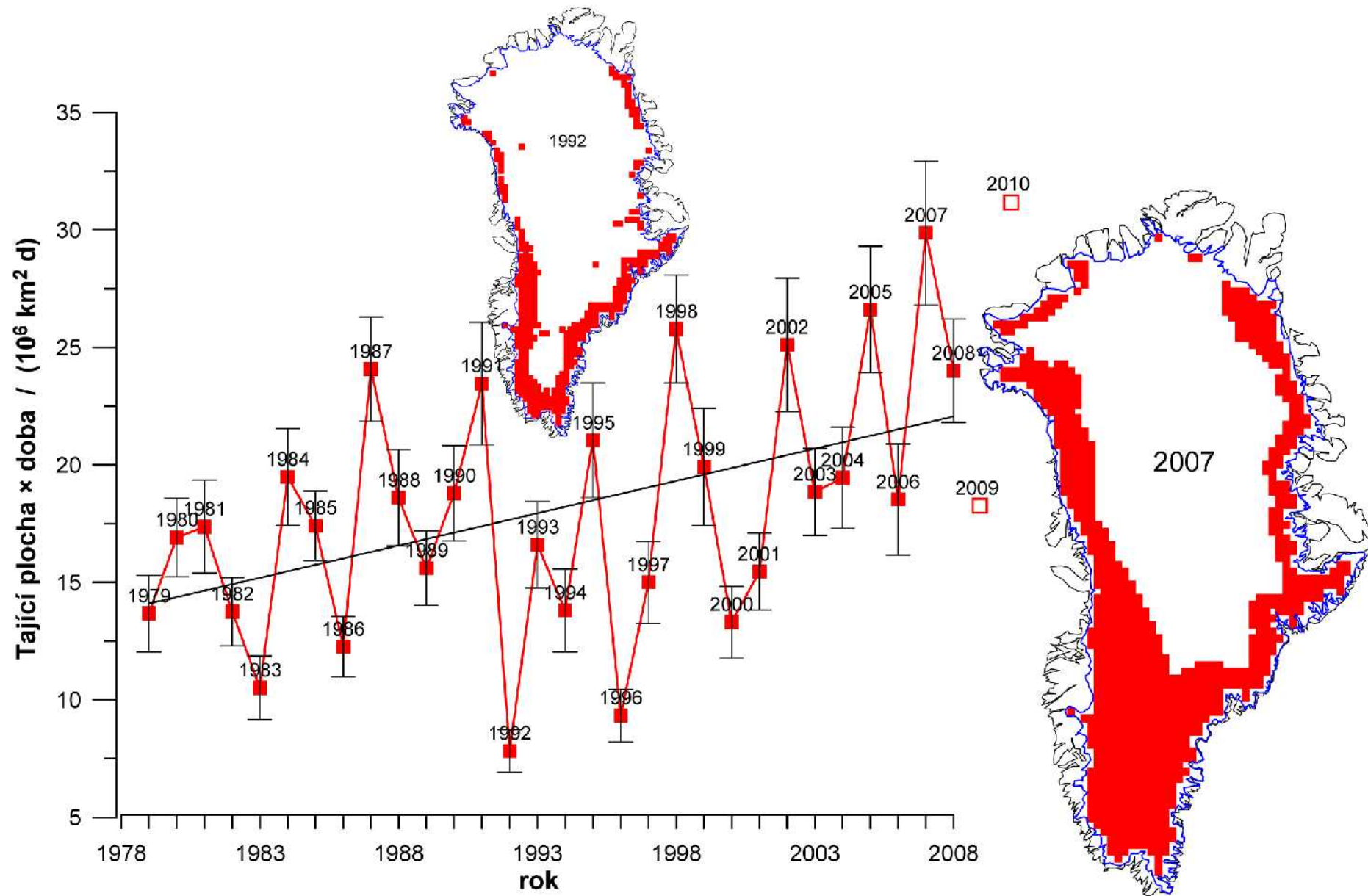
# Tání na povrchu Grónska

Vody klesající do „mlýna“, svislé šachty vedoucí na dno ledového příkrovu



*Zdroj: Roger Braithwaite,  
University of Manchester (UK)*

# Rozloha oblasti tání



Konrad Steffen and Russell Huff, CIRES, University of Colorado at Boulder



# Ledový proud Jakobshavn v Grónsku

Odtok z velkých  
grónských ledových  
proudů se značně  
zrychluje



*Zdroj: Prof. Konrad Steffen,  
Univ. of Colorado*



Figure 8: Úbytek hmotnosti ledu v Grónsku od roku 1960, gigatuny za rok

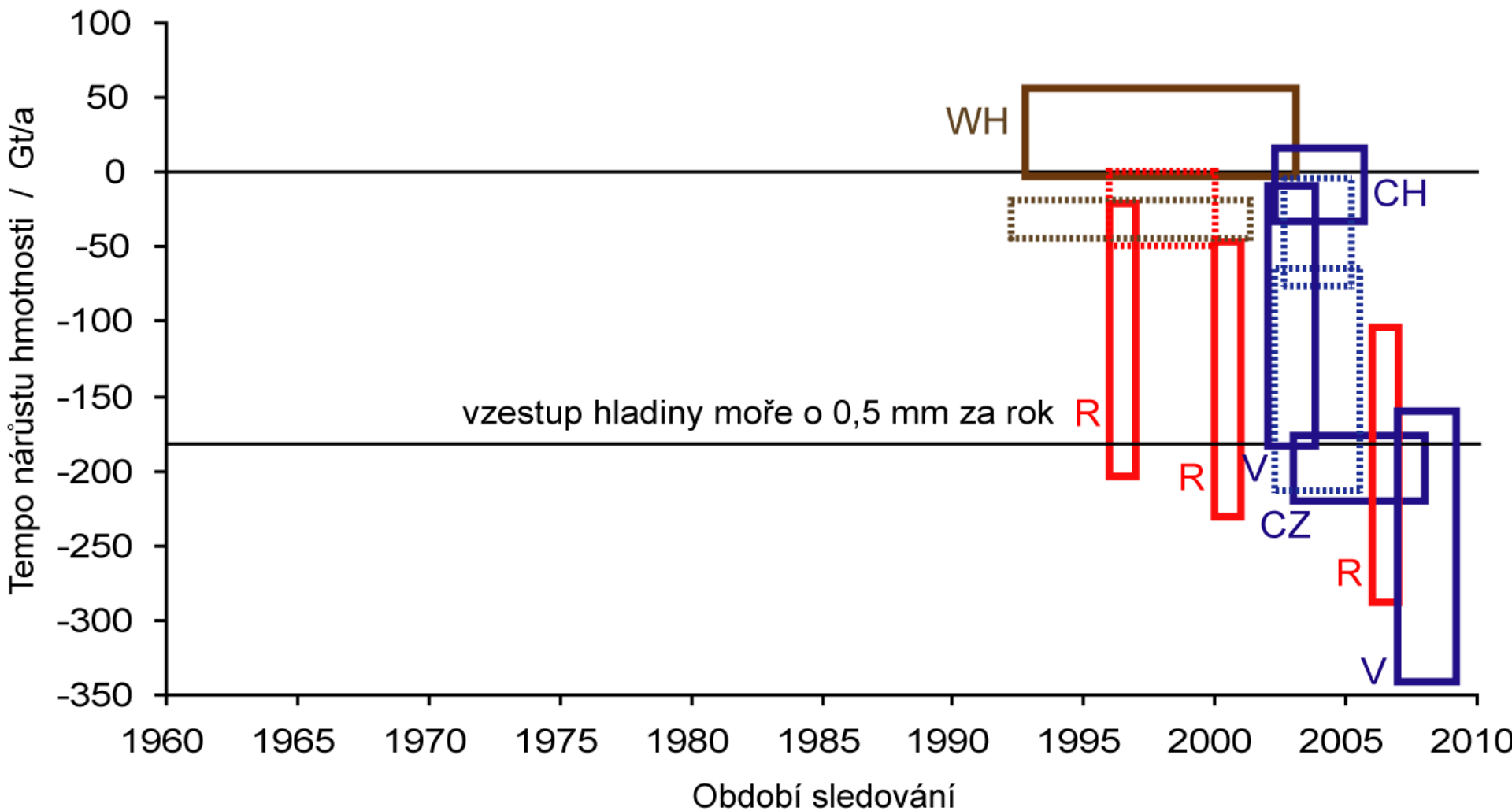
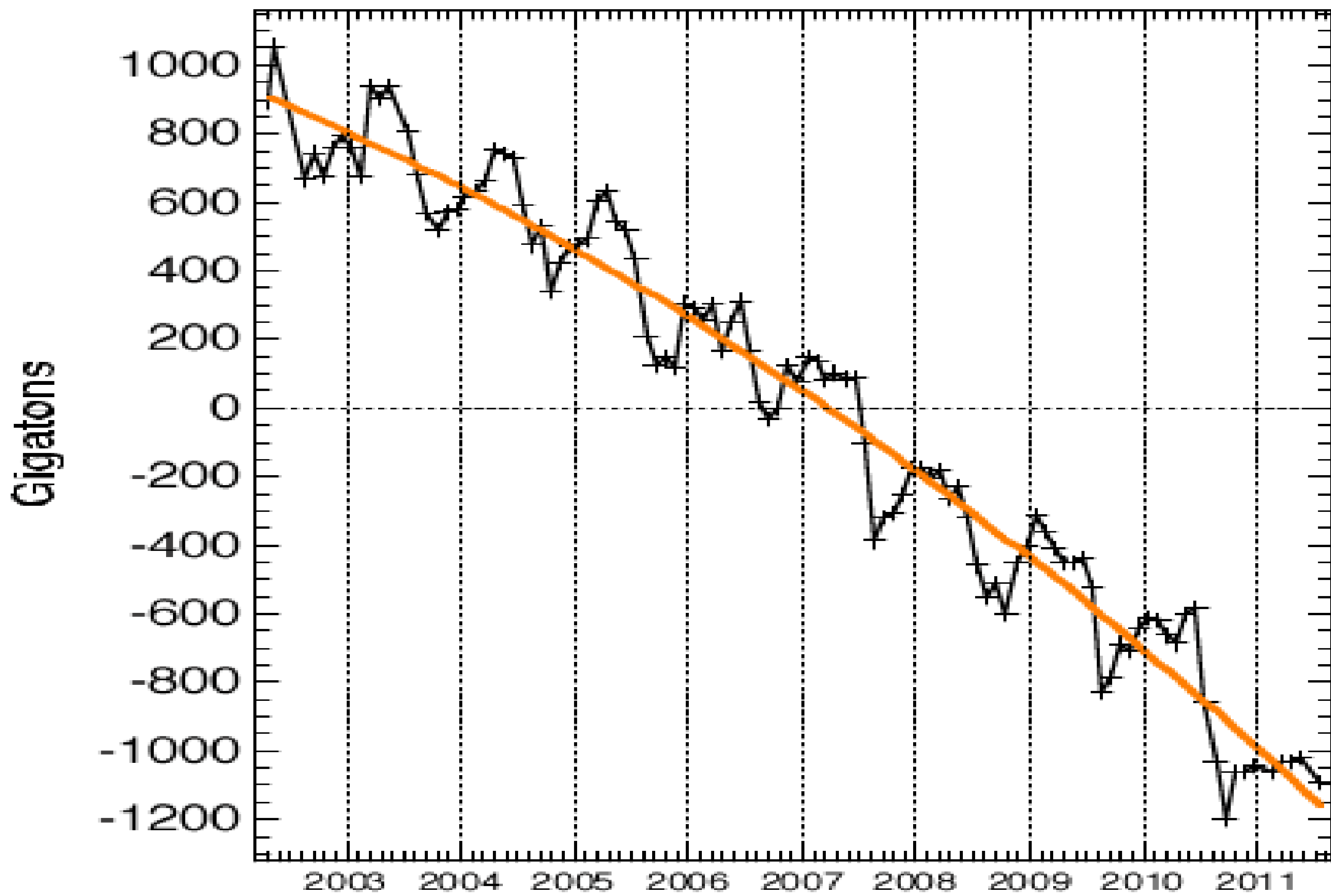


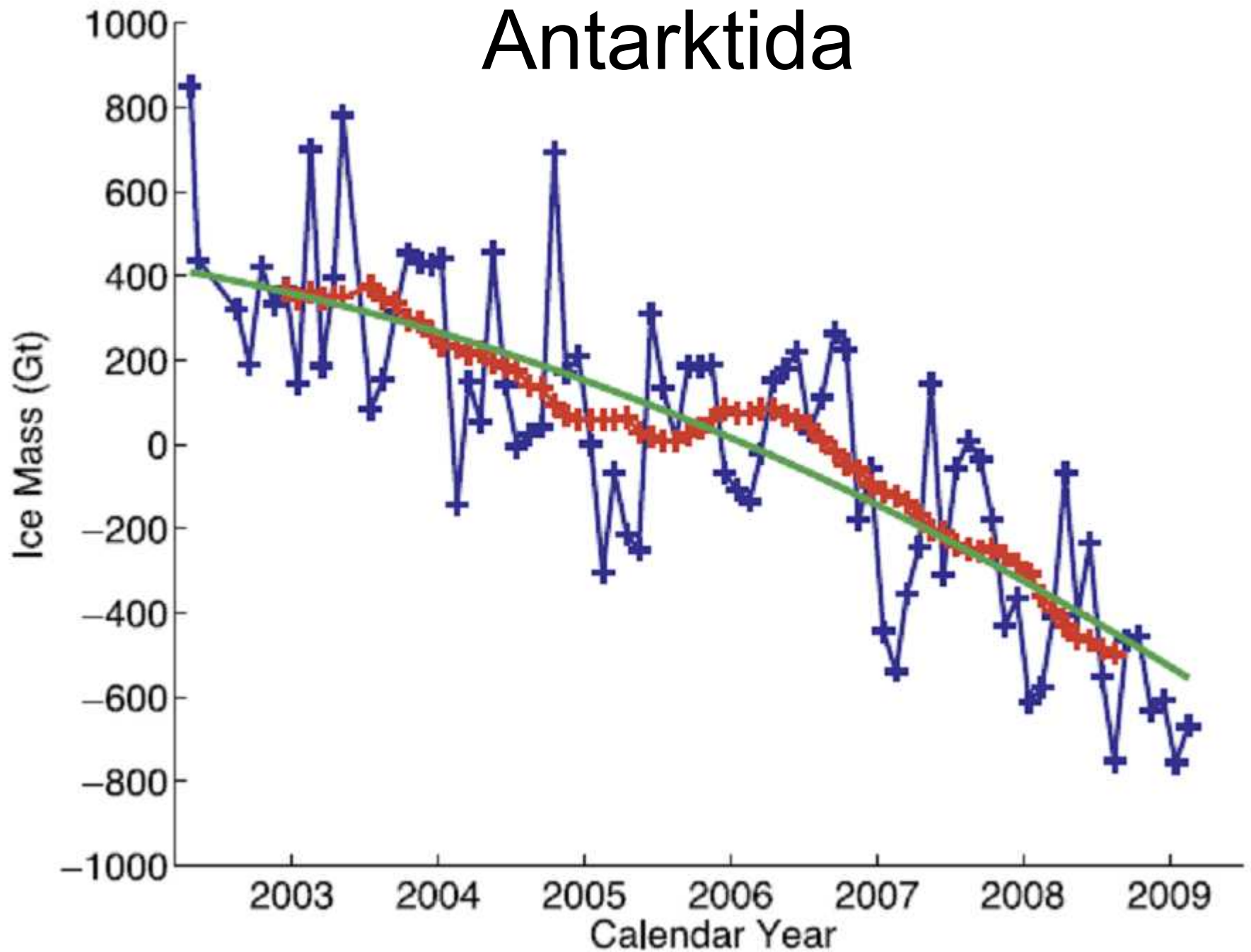
Figure 10: Úbytek hmotnosti ledu v Antakrtidě od roku 1960, gigatuny za rok

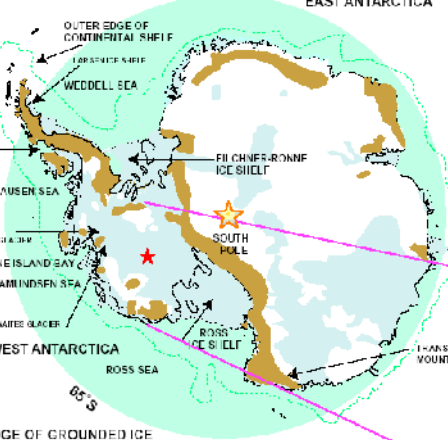
# Greenland





# Antarktida

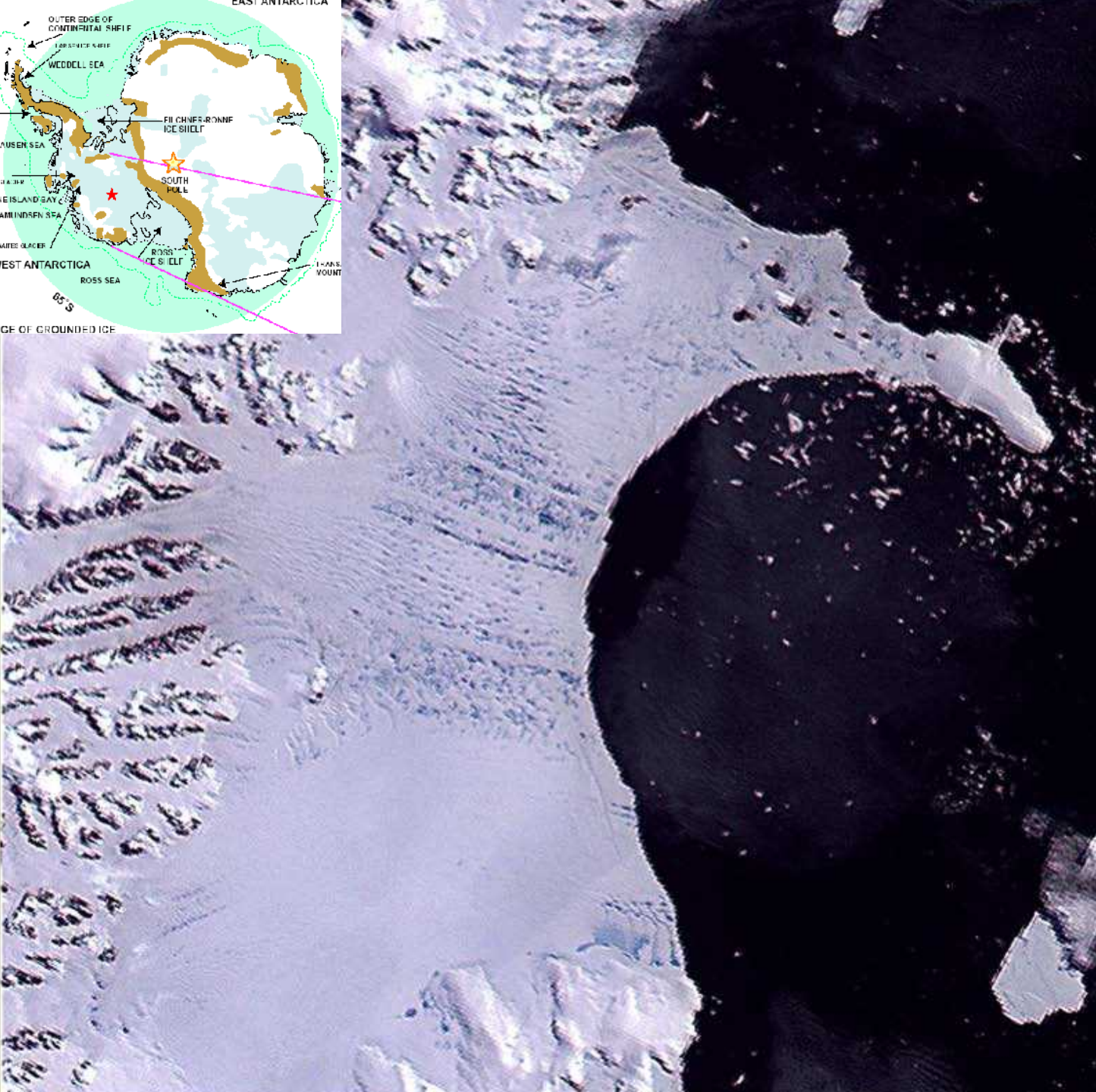




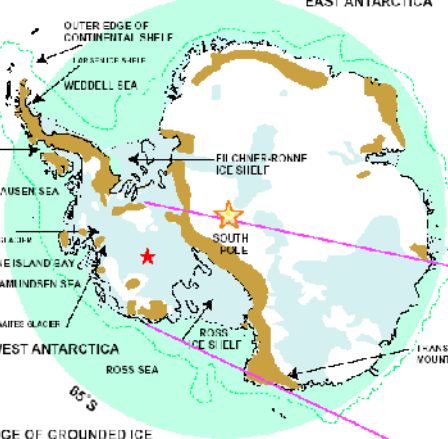
**30. leden  
2002**

**Scambos,  
NSIDC**

20 km







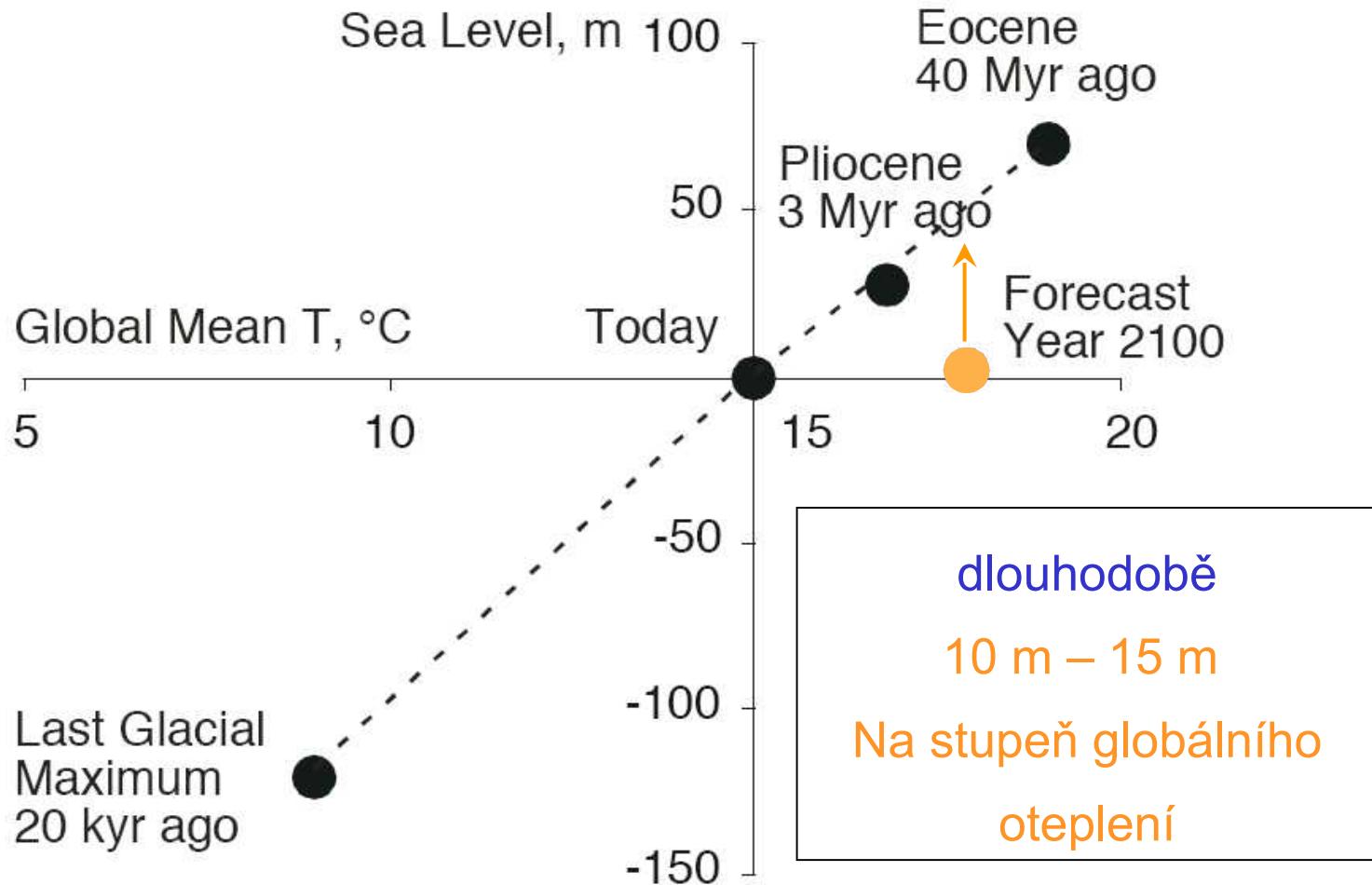
4. březen  
2002

Scambos,  
NSIDC

20 km



# Minulé odchylky mořské hladiny





0 m





1 m





7 m





13 m

Holandské krávy připravené na globální oteplení!



Meze adaptace?

©Bill Hare



# Oceány jsou již velmi poškozeny

a jejich stav se dál zhoršuje vlivem:

- okyselování přebytkem  $\text{CO}_2$  z ovzduší  
(pH kleslo v průměru již o 0,1, čili volných protonů přibýlo o třetinu; kromě organismů s karbonátovými schránkami to poškozuje i rozmnožování ryb)
- oteplování
- nedostatku kyslíku (anoxií) vlivem jeho vyšší spotřeby i zmenšeného promíchávání

(viz <http://www.stateoftheocean.org/>)

povodně



Rizika:  
Extrémní události



Teplejší atmosféra pojme více  
vlhkosti  
(~7%/°C)

➤ Větší srážky v přívalech !

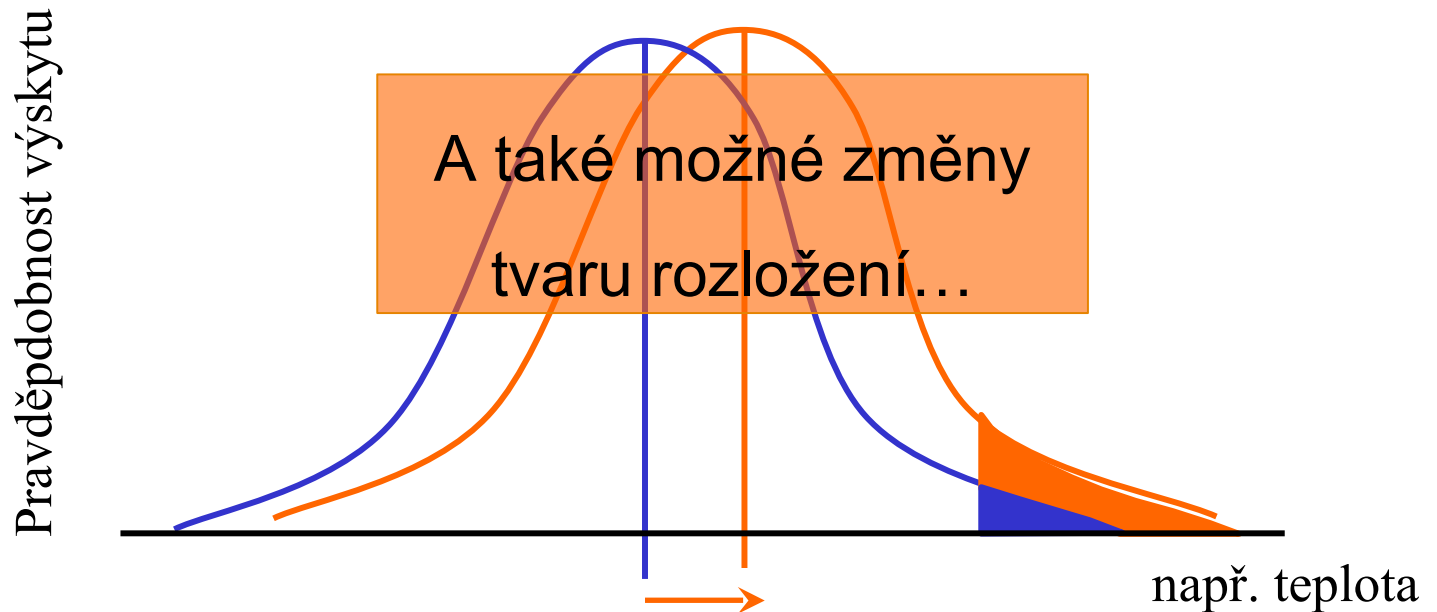
➤ více povodní ?

➤ více such ?



# Extrémní události

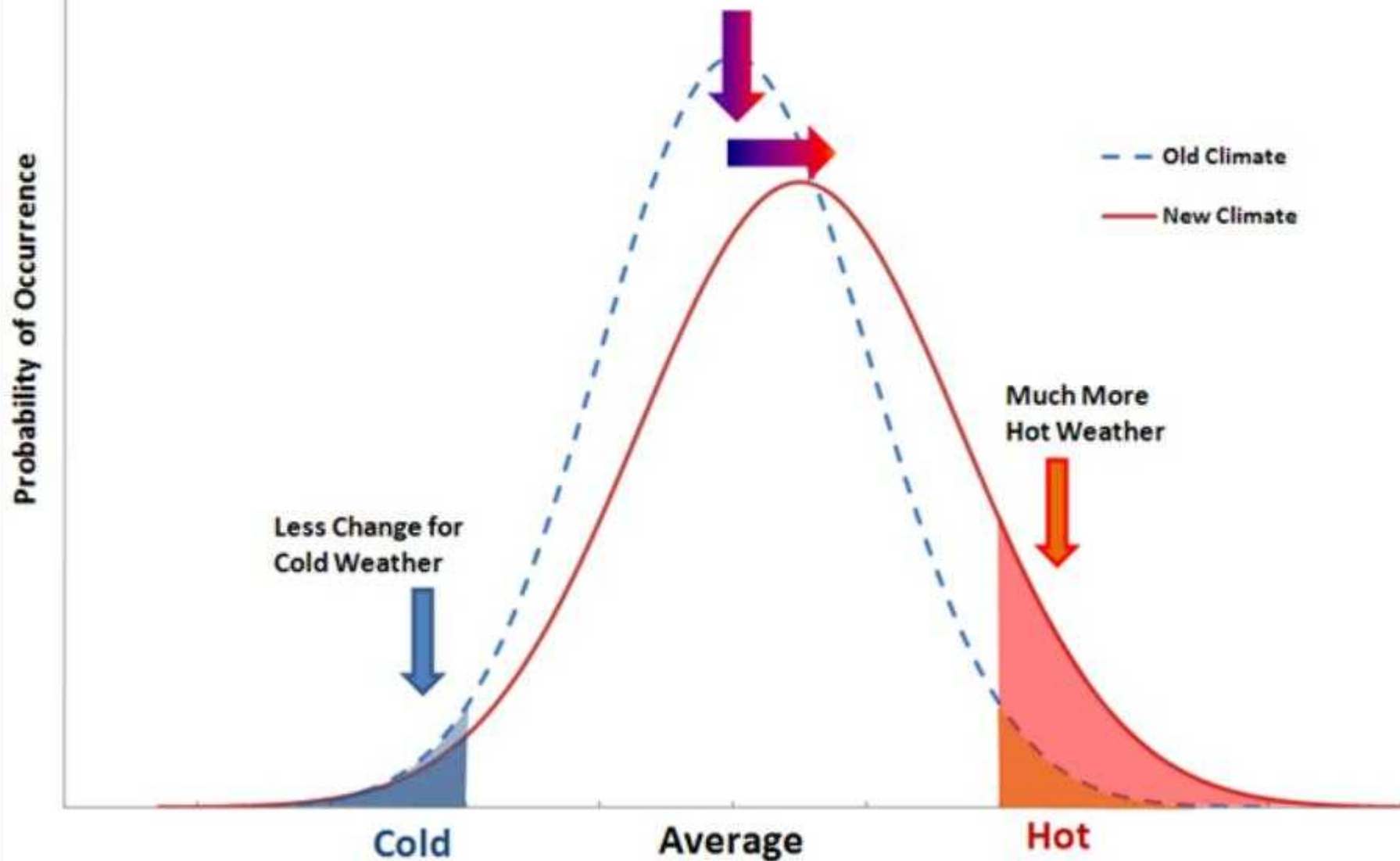
- Rozložení pravděpodobnosti
  - Výskyt extrémních jevů



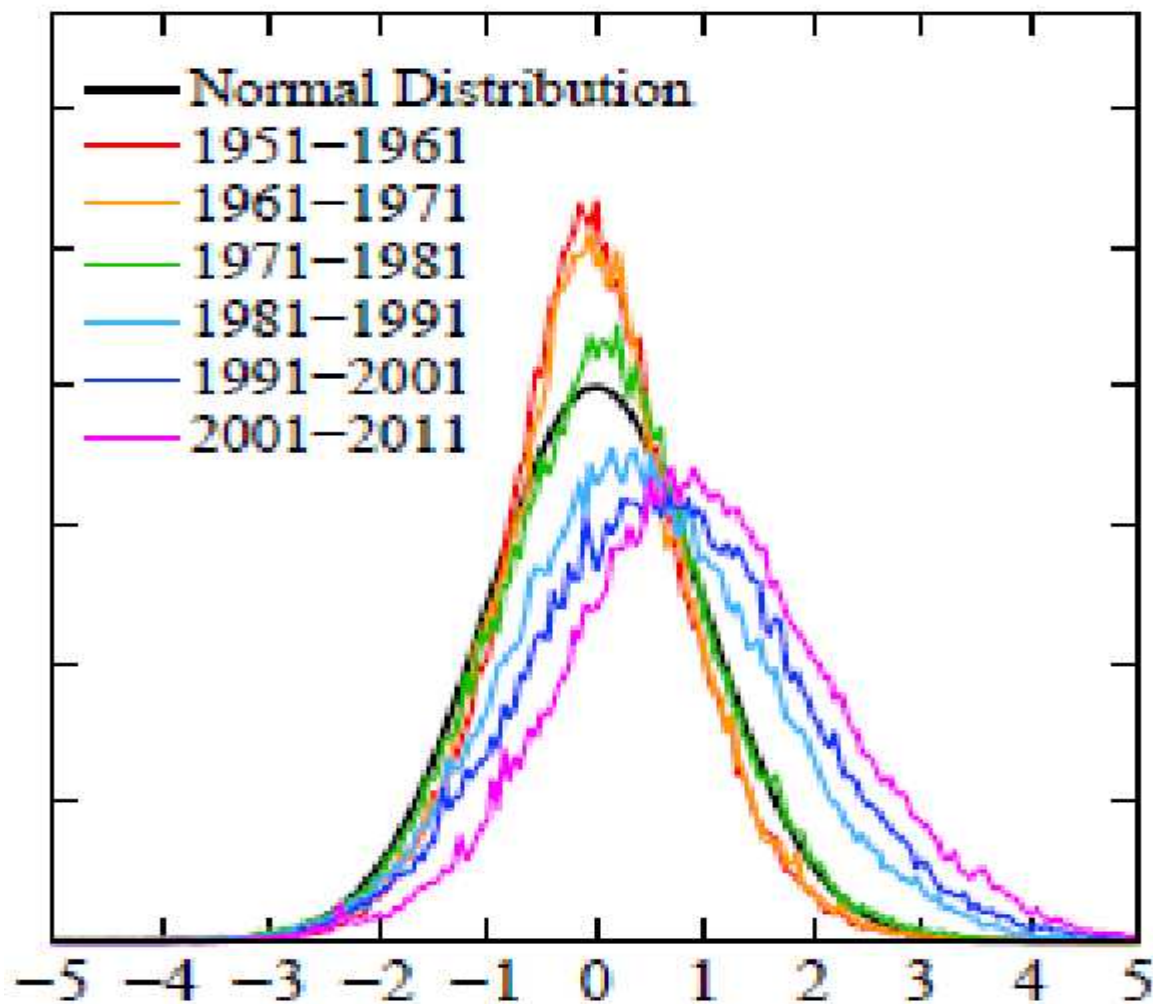
- malý posun střední hodnoty
- mnohem větší nárůst extrémních událostí



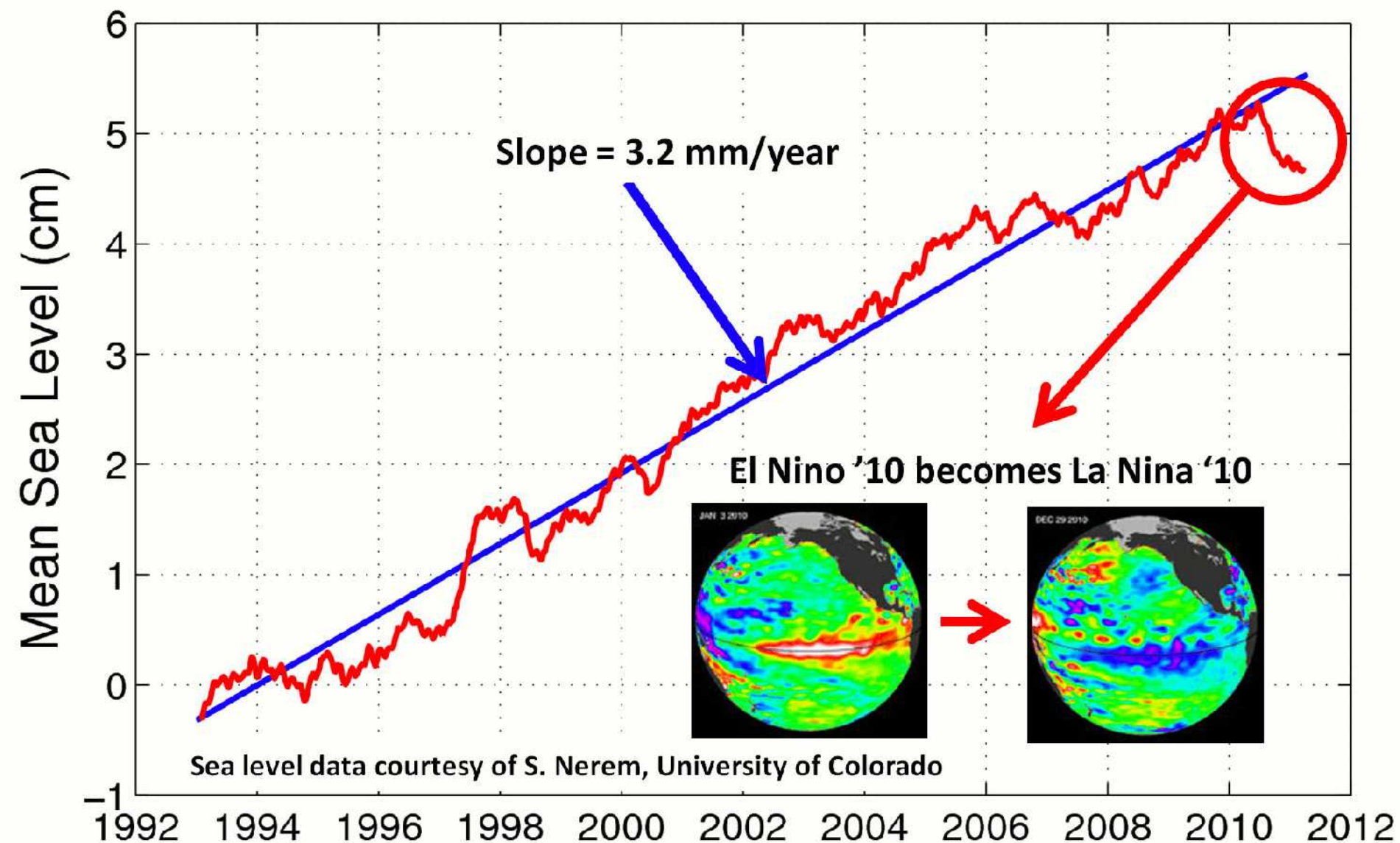
## Increase in Mean Temperature and Variance



Četnost výskytu (osa Y) místních teplotních odchylek. Vodorovná osa udává teplotní odchylku podělenou standardní deviací pro danou lokalitu, jaká platila v období 1951-1980. Plocha pod každou křivkou je táž. Zdroj: James Hansen, M. Sato and R. Ruedy: Perceptions of Climate Change: The New Climate Dice ([koncept práce](#) o vlivu globálního oteplování na teplotní extrém).

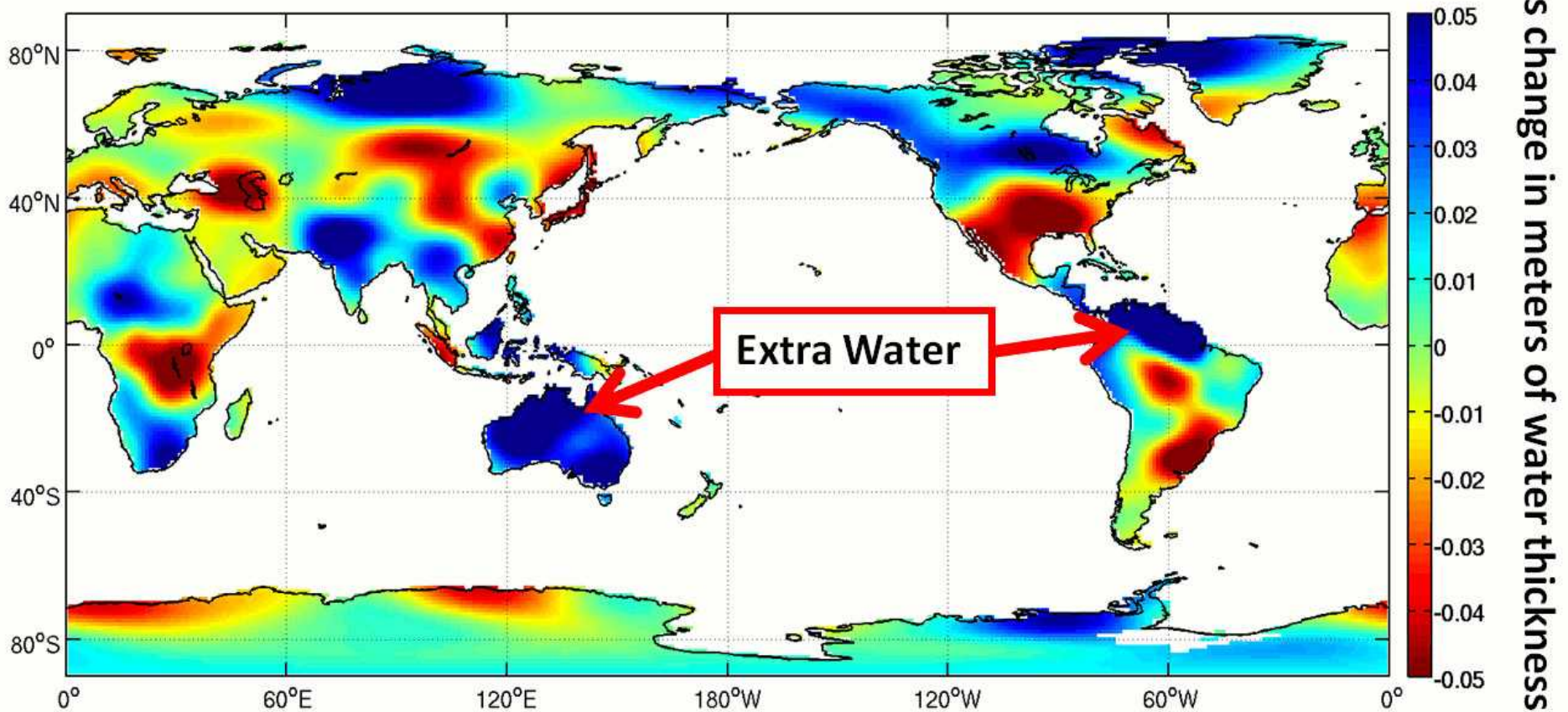


# Global Sea Level Drops 6 mm in 2010





# GRACE Shows Change in Water from March 2010 to March 2011





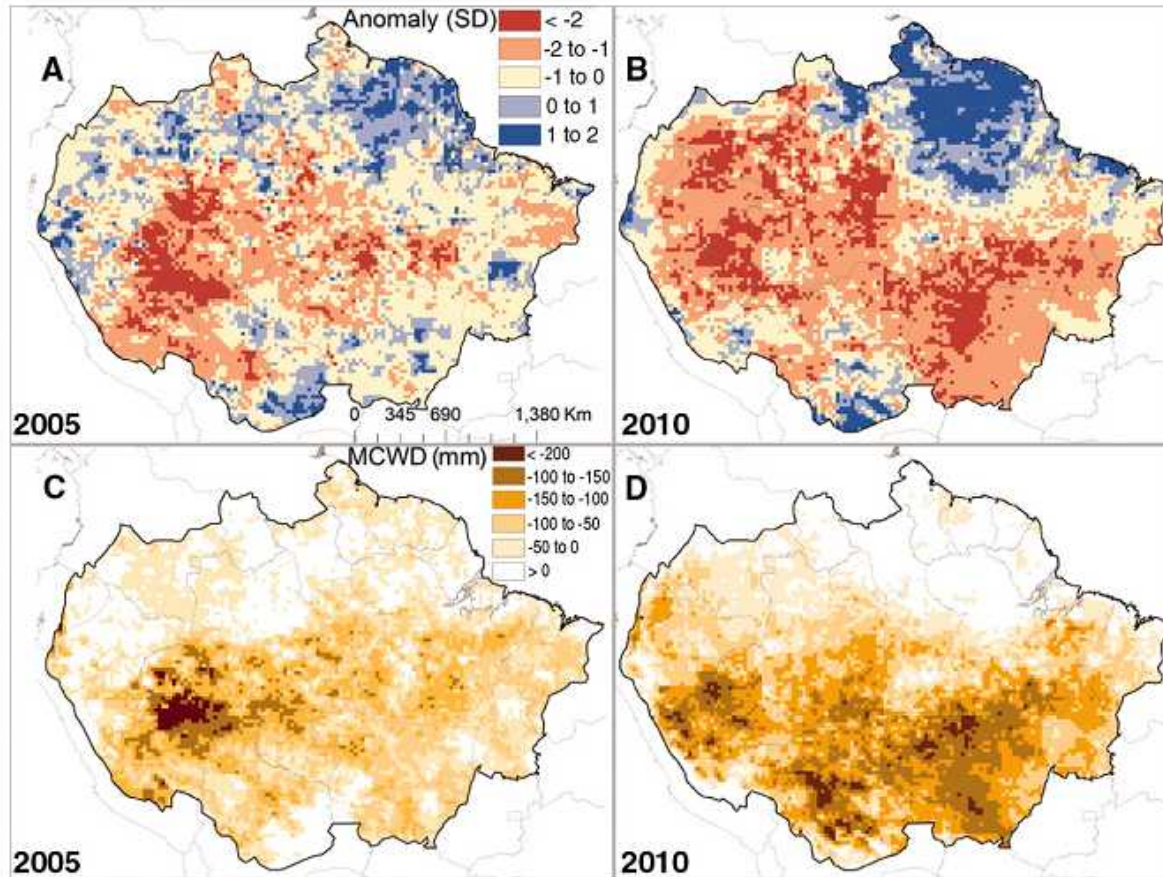
Wild fires in Greece, August 2007

Source: [spiegel.de](http://spiegel.de)



# Amazon – from carbon sink to carbon source?

## - the 2005 & 2010 droughts



A & B = anomaly of dry season rainfall from decadal mean

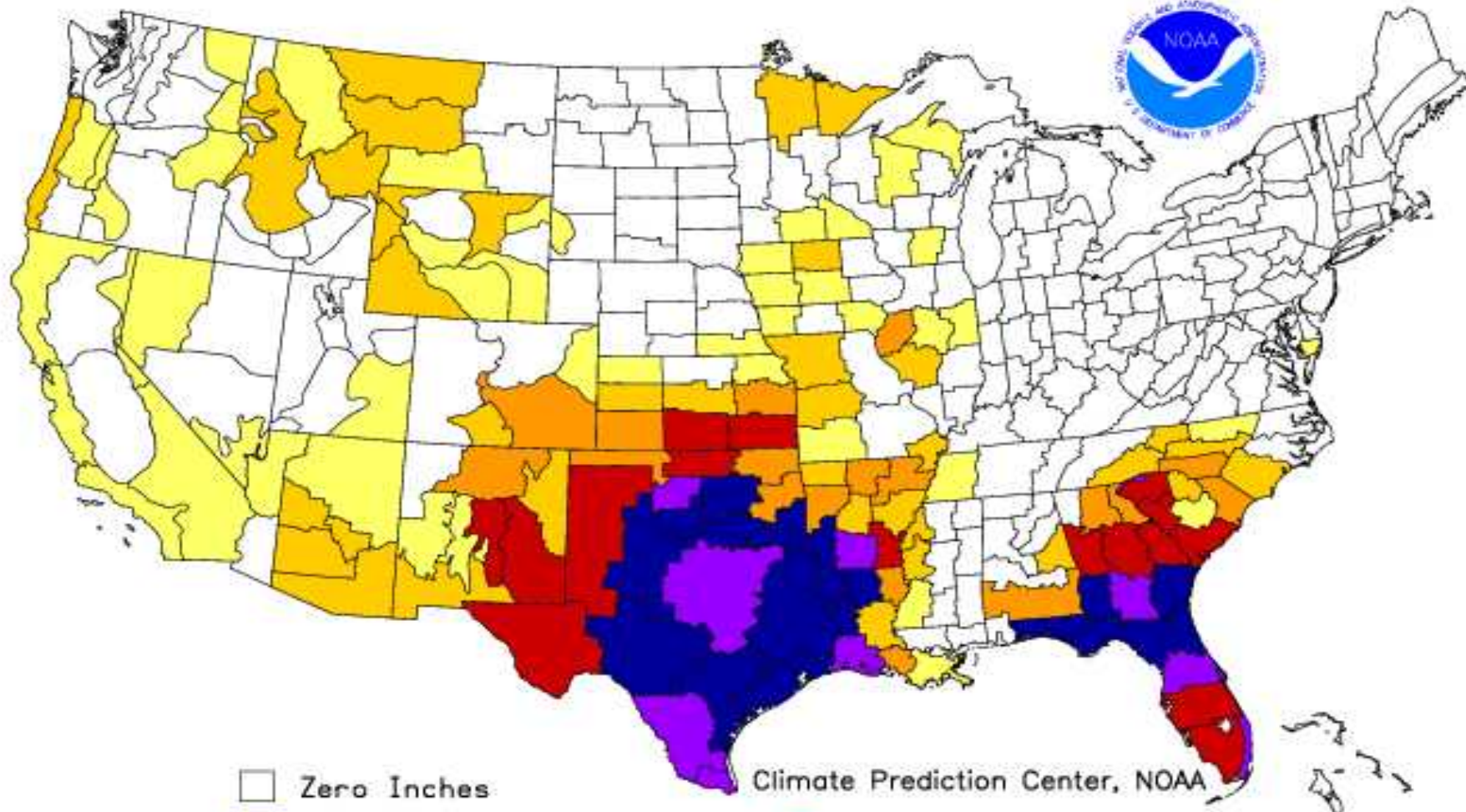
C & D = maximum climatological water deficit from decadal mean

2010 emissions release due to drought may have been in excess of 5 billion tonnes CO<sub>2</sub>

= US total annual fossil-fuel emissions



Additional Precip. Needed (In.) to Bring PDI to  $-0.5$   
Weekly Value for Period Ending OCT 1, 2011  
Long Term Palmer Drought Severity Index (PDI)

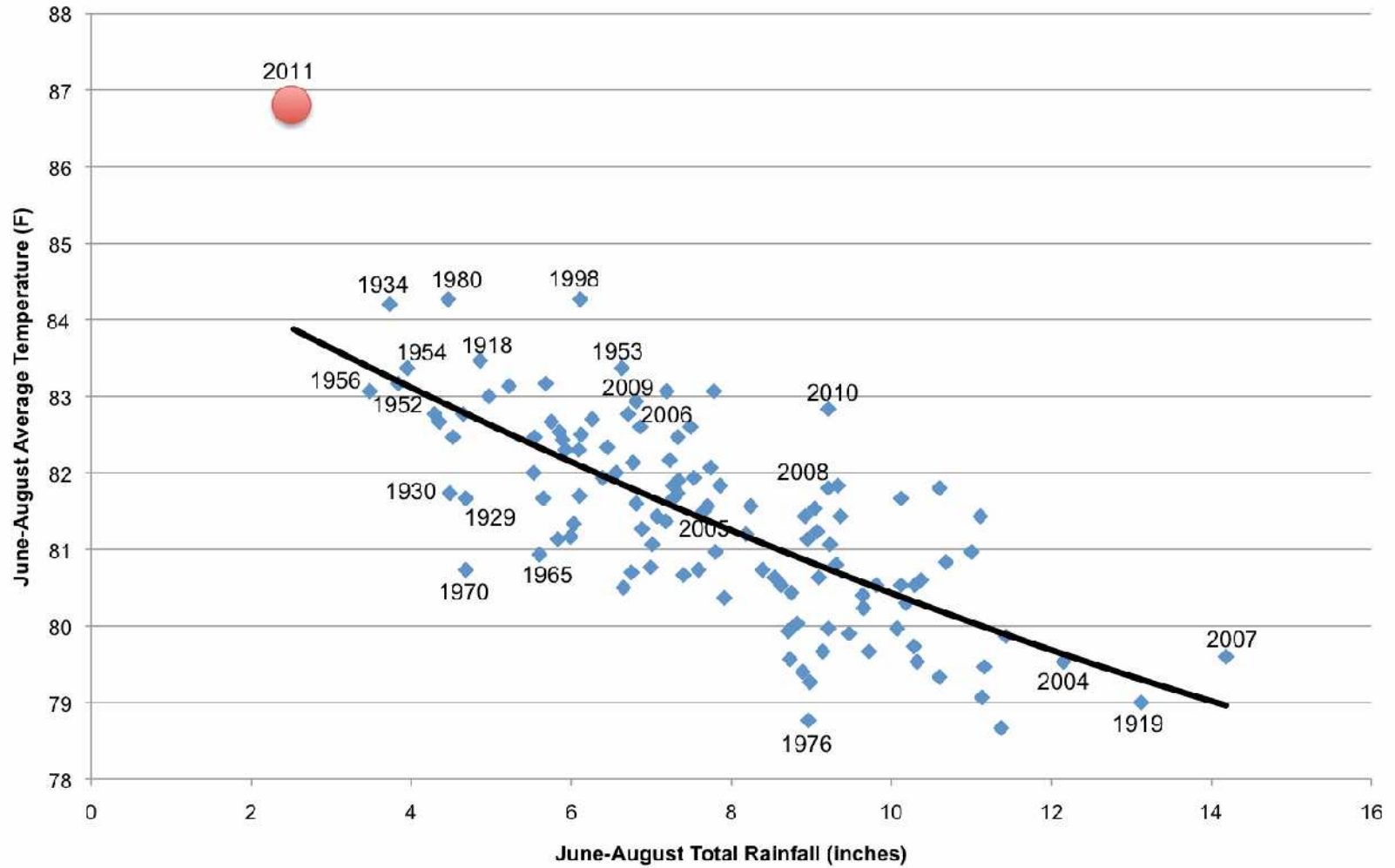


-  Zero Inches
-  Trace to 3 Inches
-  3 to 6 Inches
-  6 to 9 Inches

Climate Prediction Center, NOAA

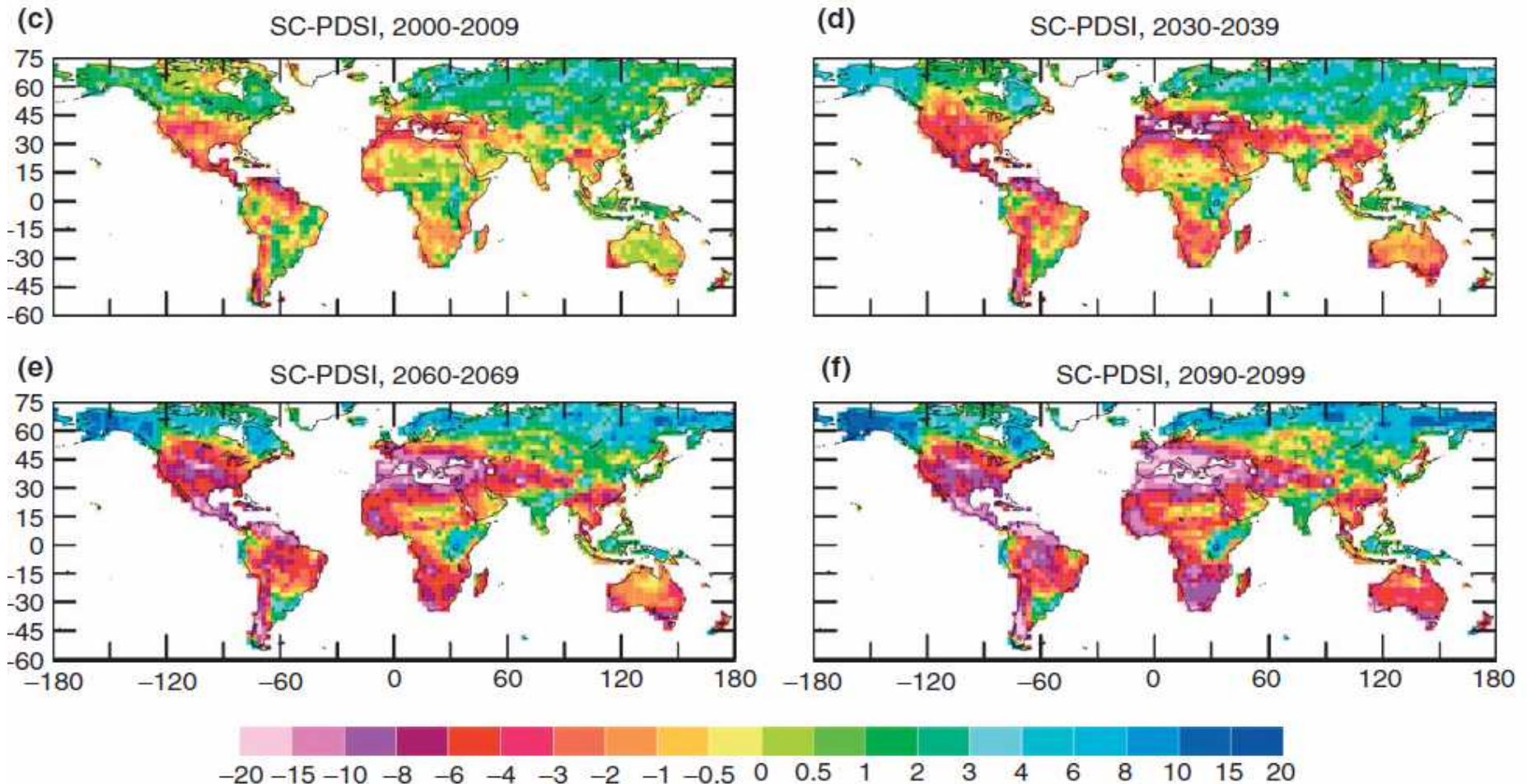
-  9 to 12 Inches
-  12 to 15 Inches
-  Over 15 Inches

## Texas Summers



# Index vážnosti sucha (již červená znamená extrémní sucho)

(22 modelů při vývoji dle SRES A1B)  
(Dai, 2010: Drought under global warming: a review)





**Stabilizovat** „na úrovni, která zamezí  
nebezpečnému lidskému zásahu do  
klimatického systému“

**United Nations  
Framework Convention on Climate Change  
(1992)**

***Aim:***

***to stabilize greenhouse gas concentrations...***

***“...at a level that would prevent  
dangerous anthropogenic interference  
with the climate system.”***

# Rozměry „nebezpečné“ změny

## Vyhynutí živočišných a rostlinných druhů

vyhynutí polárních a alpských druhů  
neudržitelná tempa migrace

## Rozpad ledových příkrovů: hladina oceánu

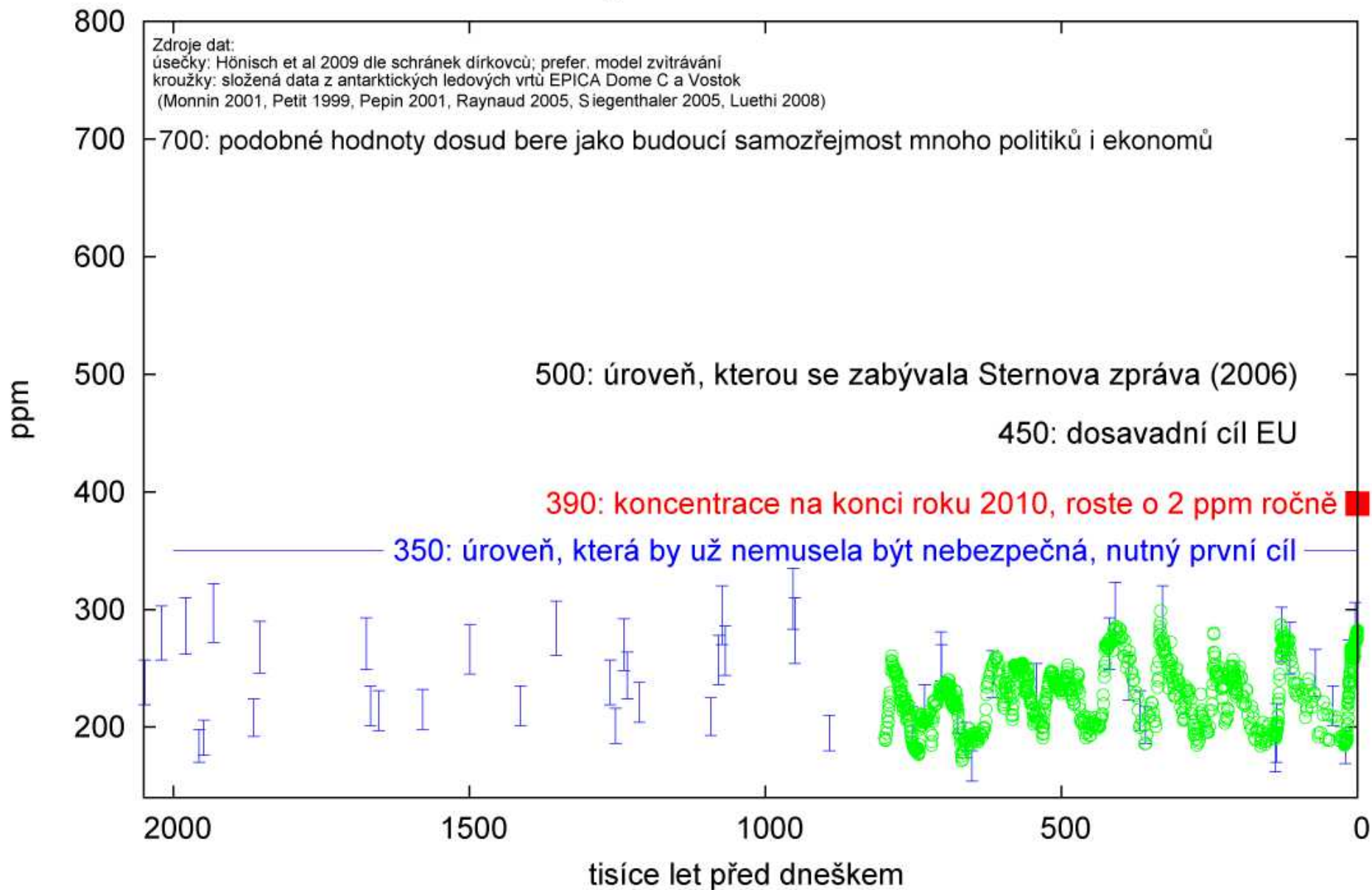
## Regionální poruchy klimatu

častější extrémní události  
posun vegetačních pásů / nouze o vodu

... stabilita klimatu v *holocénu* umožnila trvalé osídlení a rozvoj civilizace

... ztráta její stability v *antropocénu* - ztráta obyvatelnosti mnoha území a úživnosti Země

# Koncentrace CO<sub>2</sub> během čtvrtohor, dnes a ...zítra?





# Globální teplota vzhledem k období 1800-1900 (°C)

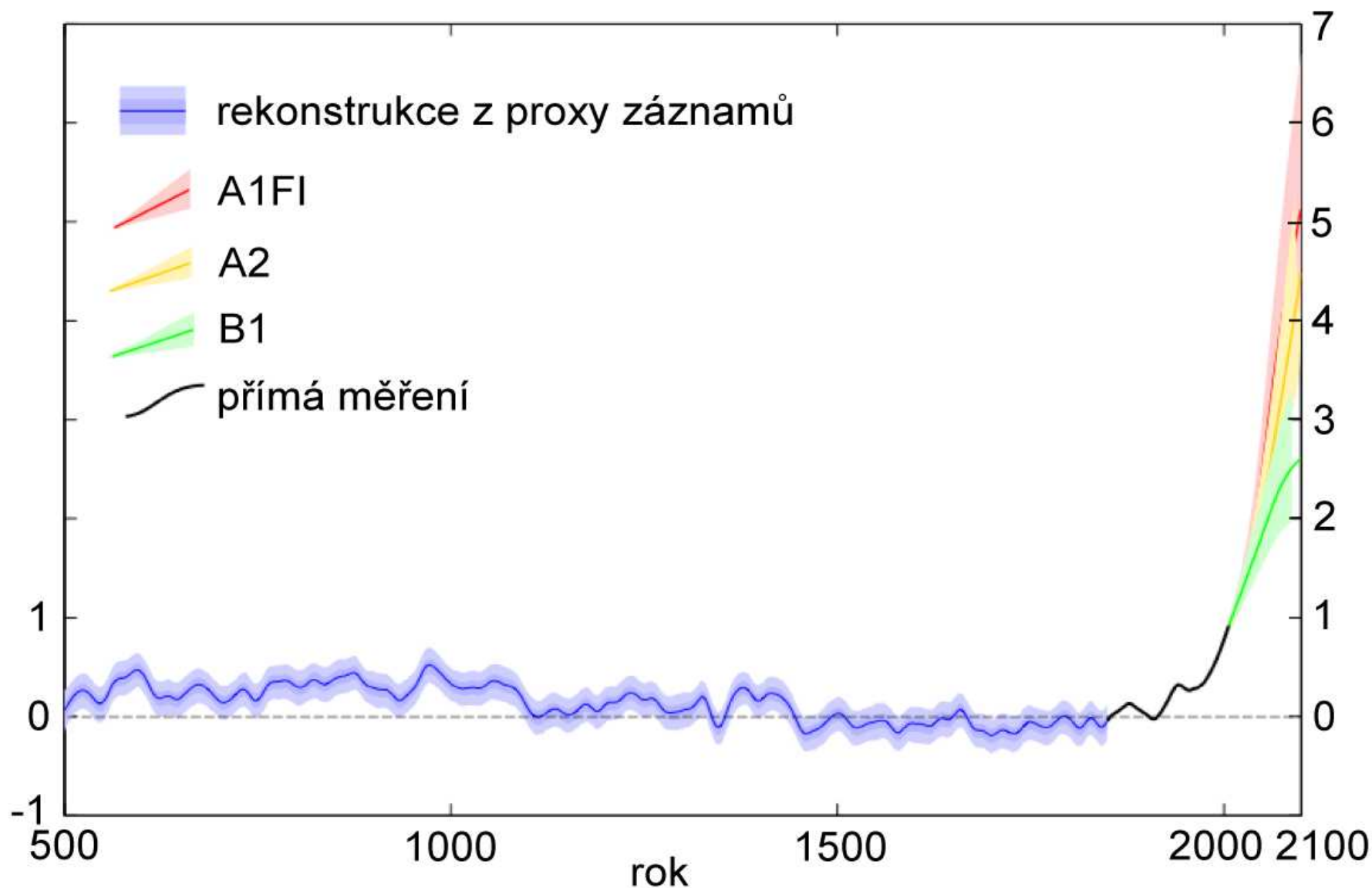
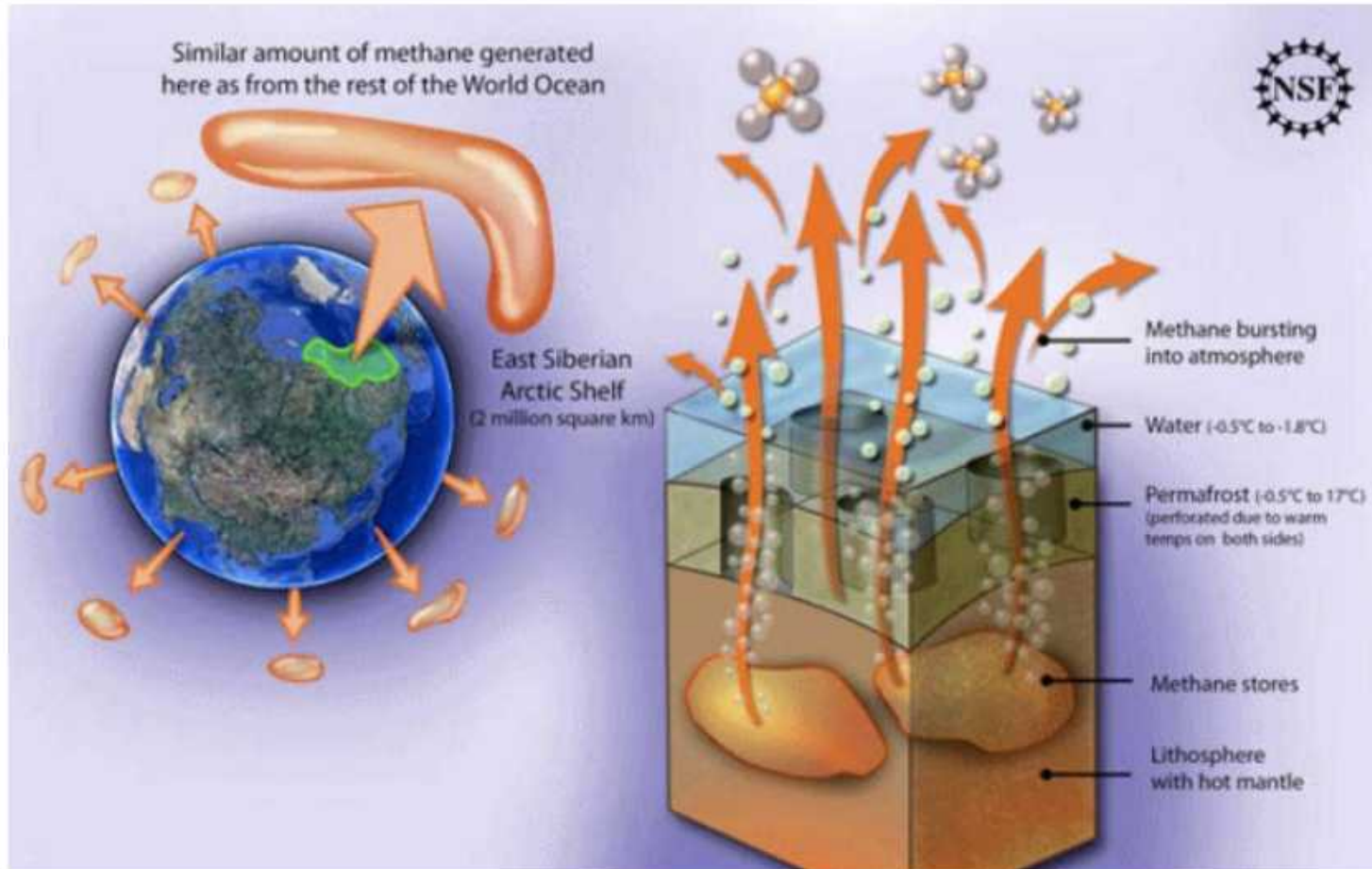


Figure 21: Rekonstruované a pozorované změny teplot a projekce do budoucna

## Obsah uhlíku ve světových půdách



# Arctic Methane Emissions



Recent evidence shows that methane emissions are increasing from Arctic permafrost and seabed clathrates



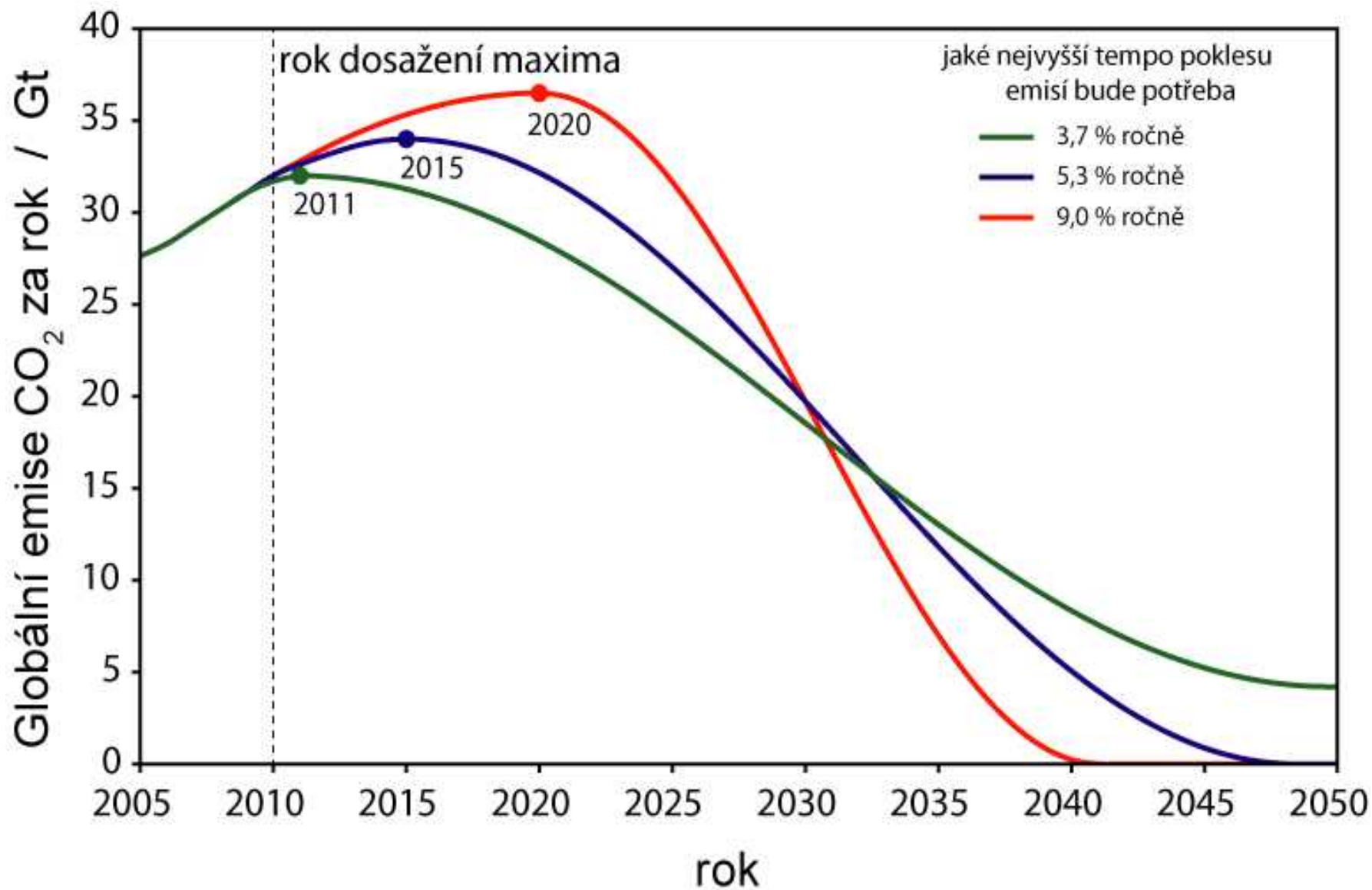
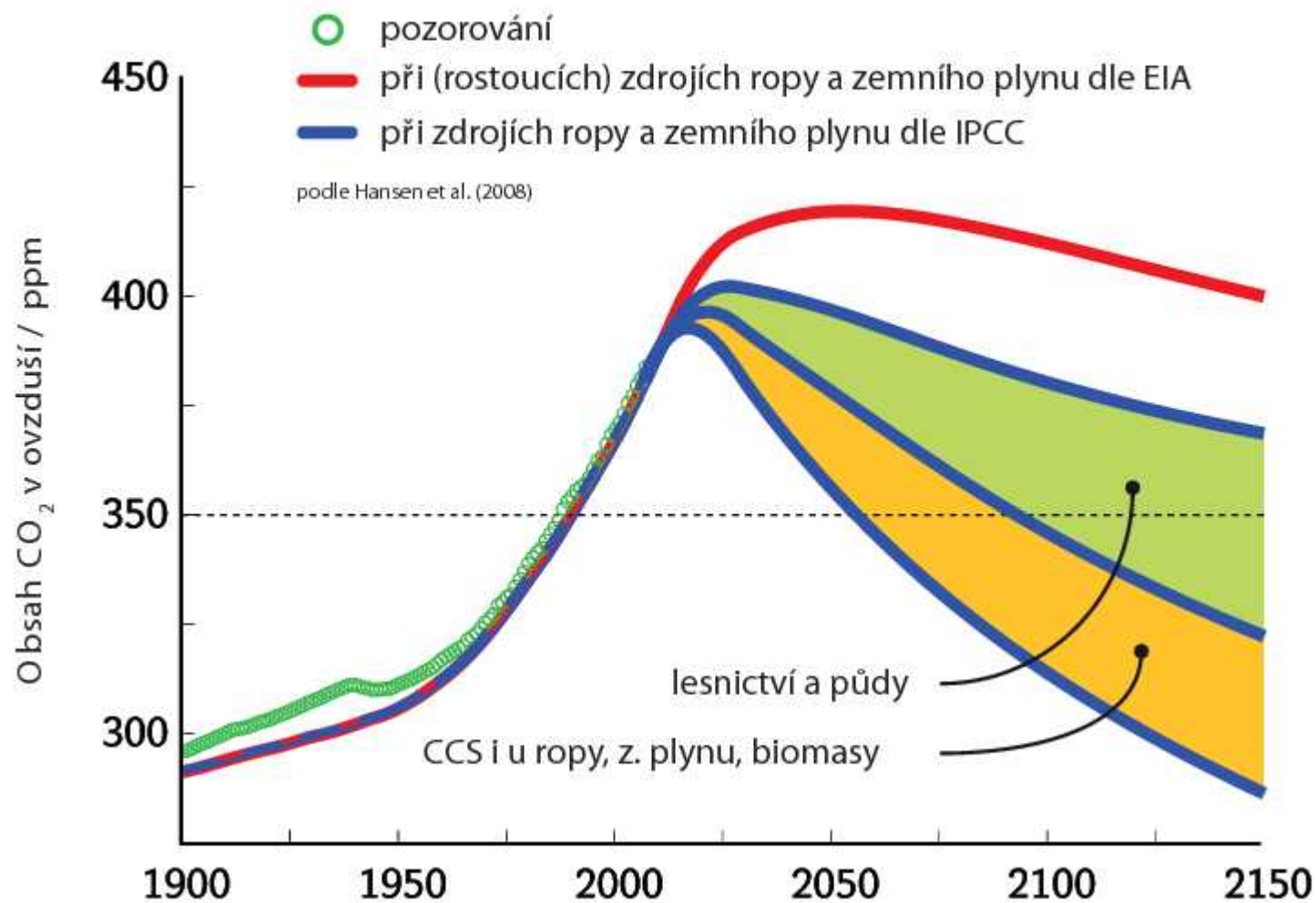


Figure 22: Vývoj emisí, který by dával naději 67 %, že globální oteplení nepřesáhne 2 °C

**Cíl pro CO<sub>2</sub>:**

**< 350 ppm**

**Pro záchranu planety v podobě,  
ve které se vyvinula civilizace**





# **Cíl ubrat CO<sub>2</sub> pod 350 ppm**

**Technicky splnitelný**

**(ale ne v případě „business-as-usual“)**

**Kritický je rychlý ústup od uhlí**

**(dlouhá životnost CO<sub>2</sub> v ovzduší)**

**(nutno zastavit budování nových  
uhelných elektráren, které CO<sub>2</sub>  
nezachycují a neukládají)**

# Výzva

**Můžeme se ještě vyhnout poničení  
světa, který jsme jej zdědili**

**(a získat přitom čistší planetu  
a užitečnou práci)**

**Někdy musíme přijít na to, jak žít  
bez fosilních paliv...**

**Proč ne teď?**

# Odkazy

- [www.veronica.cz/klima](http://www.veronica.cz/klima)
- [www.zmenaklimatu.cz](http://www.zmenaklimatu.cz)
- <http://amper.ped.muni.cz/gw>
  - [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)





# Zdroje obrázků a textů

Alexander Ač

James Hansen, NASA Goddard Institute for Space Studies

NASA JPL

Kevin Trenberth, National Center for Atmospheric Research

John Wahr

Ian Dunlop

Yvonna Gailly

Anders Levermann, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC)

The Copenhagen Diagnosis, 2009

John Holdren

Jan Hollan

a původně i jiné (viz údaje u obrázků)