

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

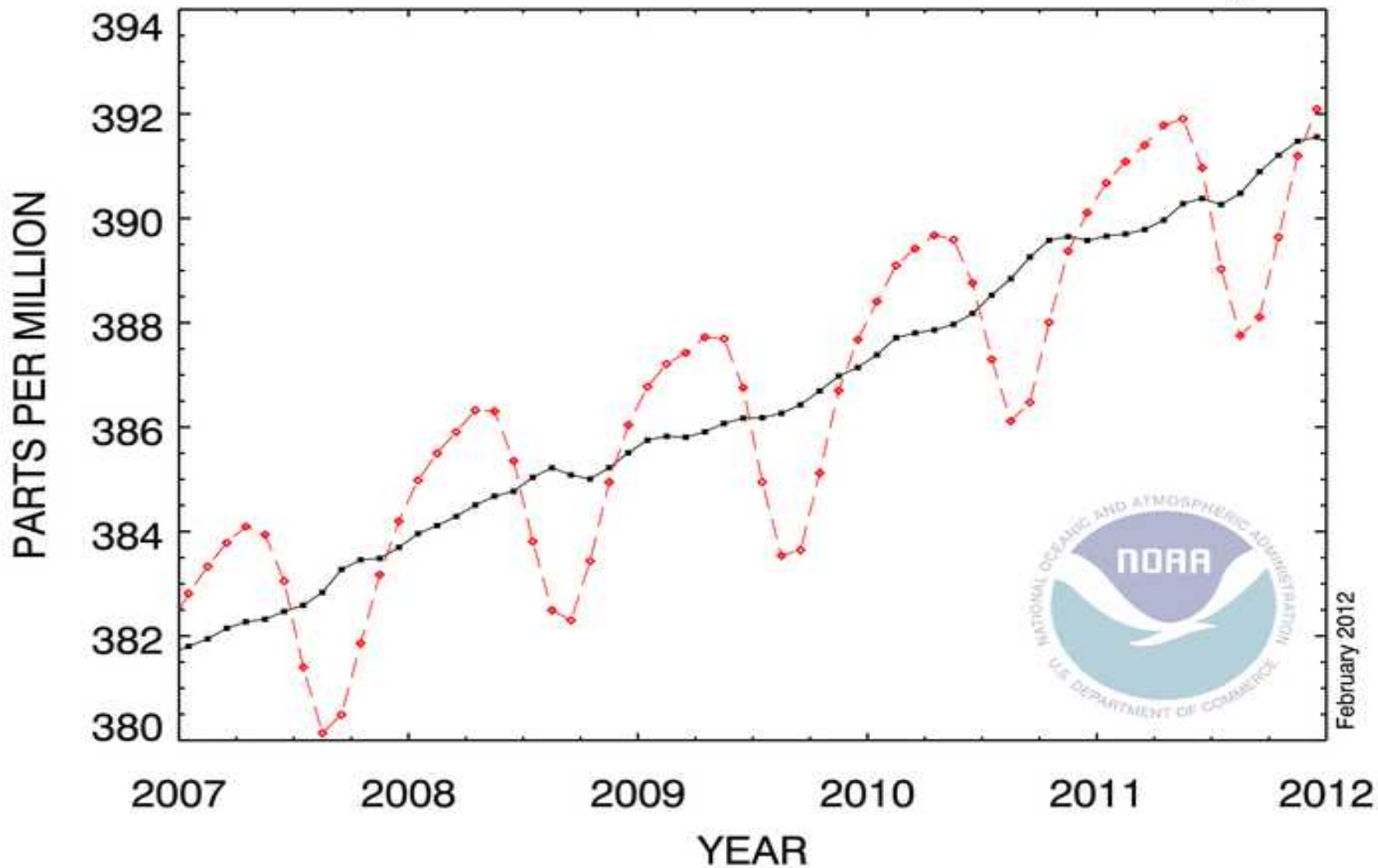
- horka a zimy,
- nebe zataženého a jasného,
- vlhka a sucha
- sněžení, sněhové pokrývky a tání
- vánků, vánic, tornád a tajfunů

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

1. Příčiny

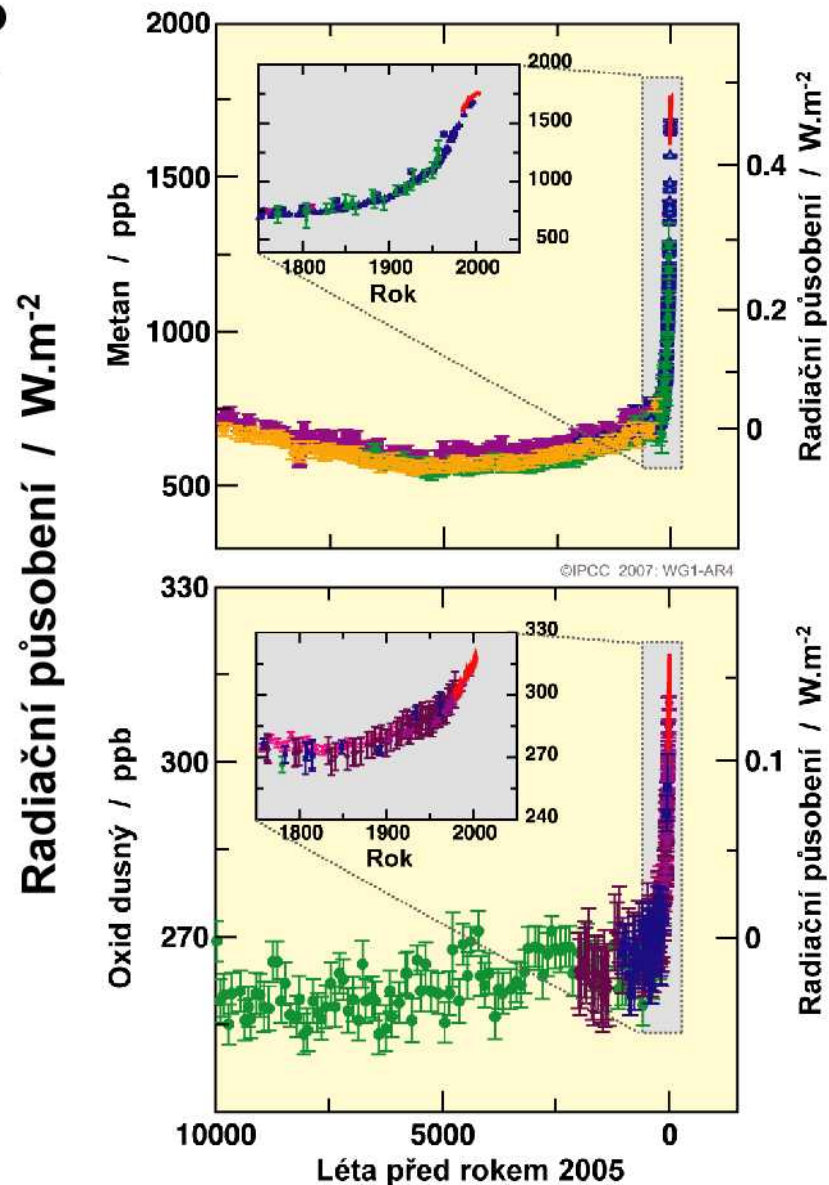
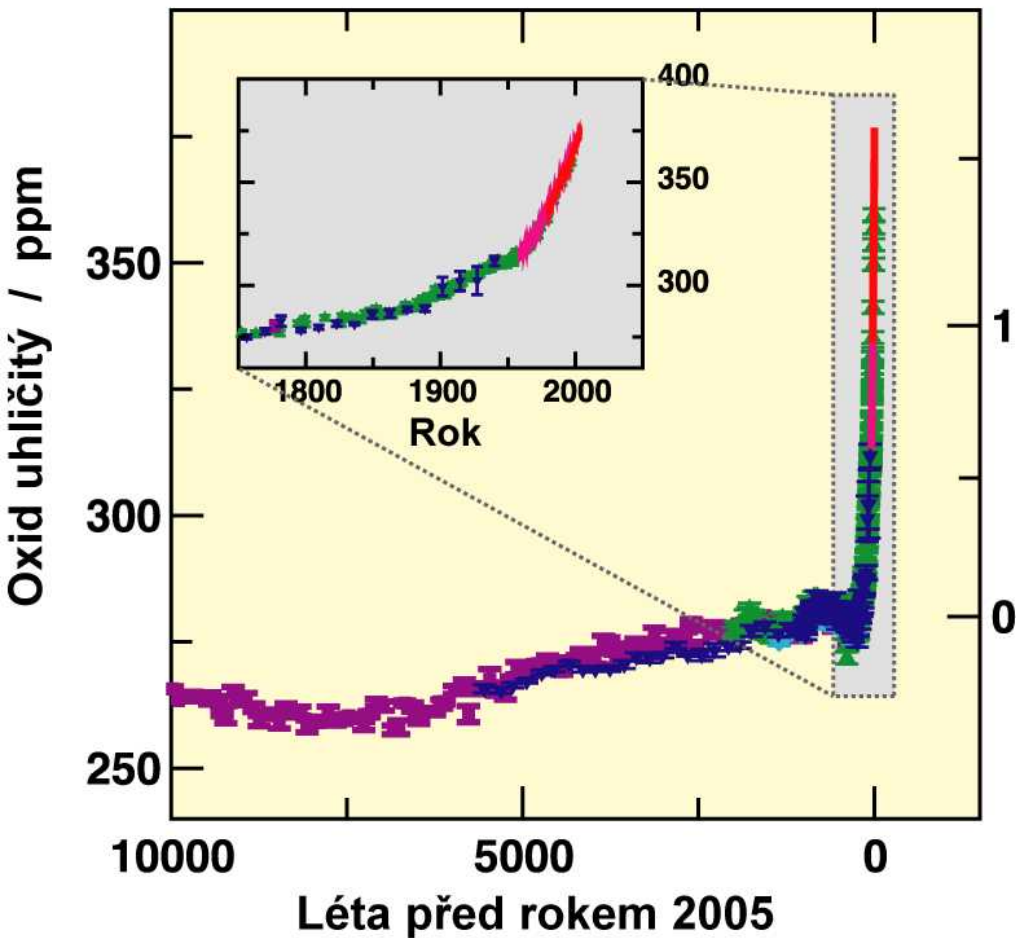
Rostoucí koncentrace skleníkových plynů. Jejich vliv je zatím do značné míry maskován síranovými aerosoly

RECENT GLOBAL MONTHLY MEAN CO₂



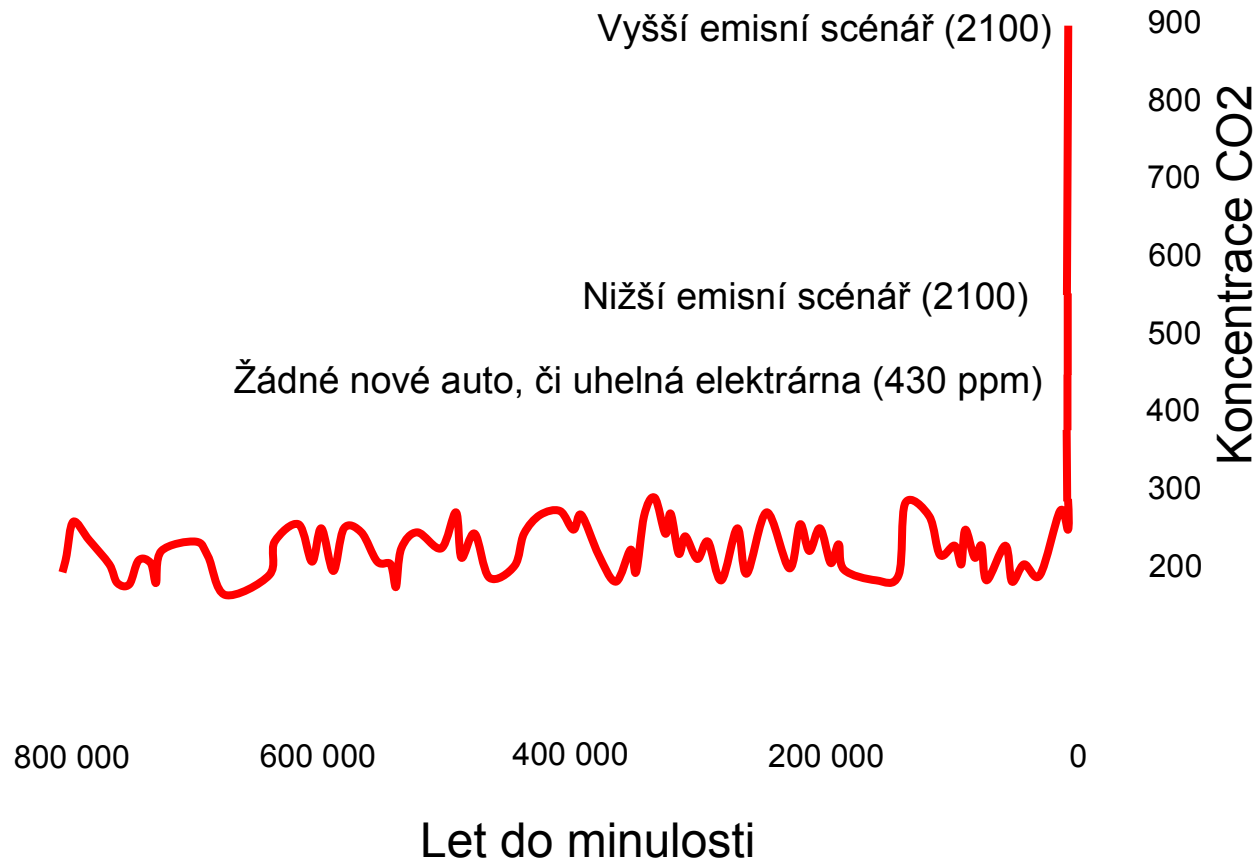
Zdroj: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>

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

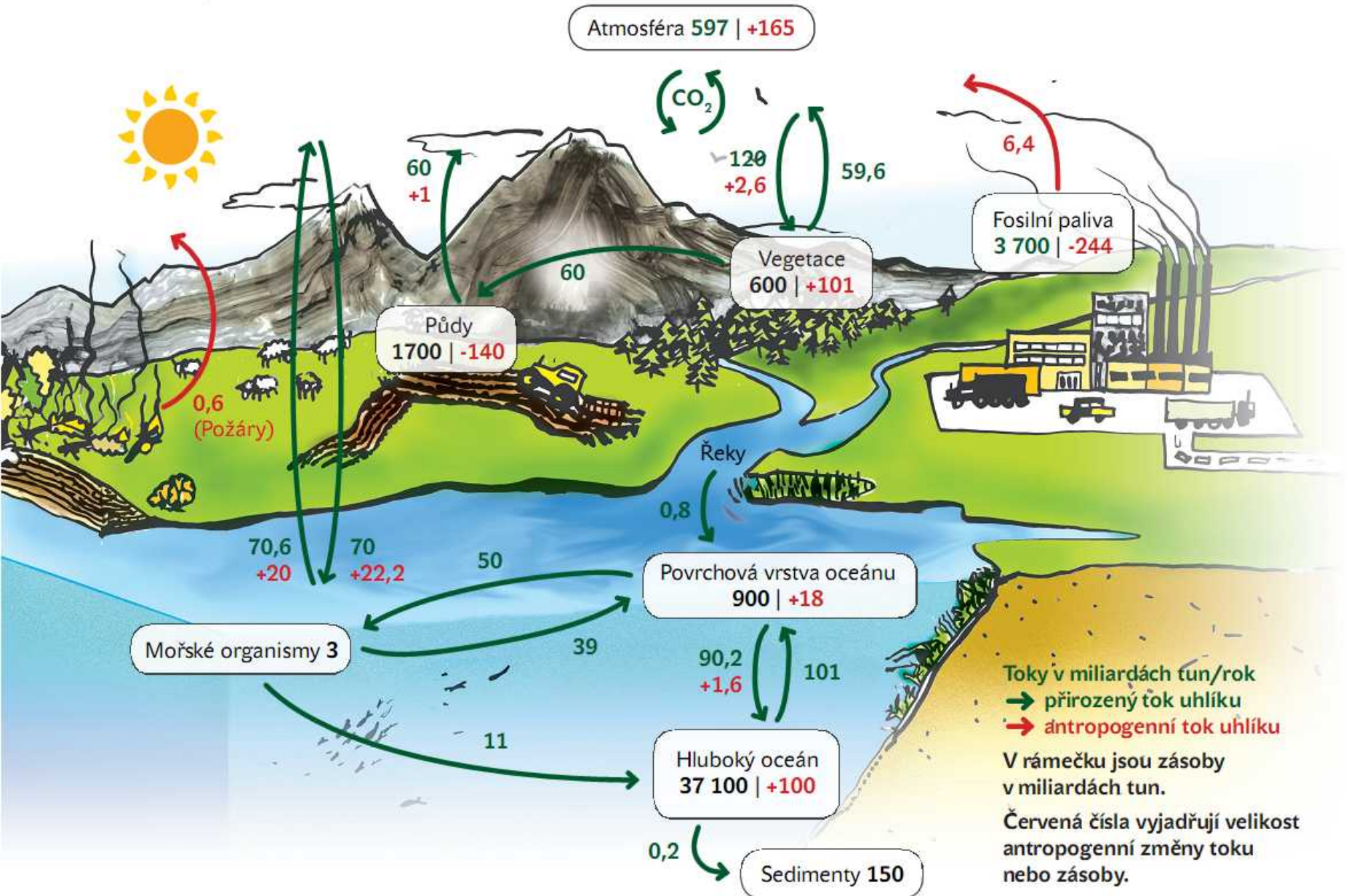


Zdroj: [Čtvrtá hodnotící zpráva IPCC, 2007](#)

Trochu historické perspektivy



Toky uhlíku v 90. letech 20. století

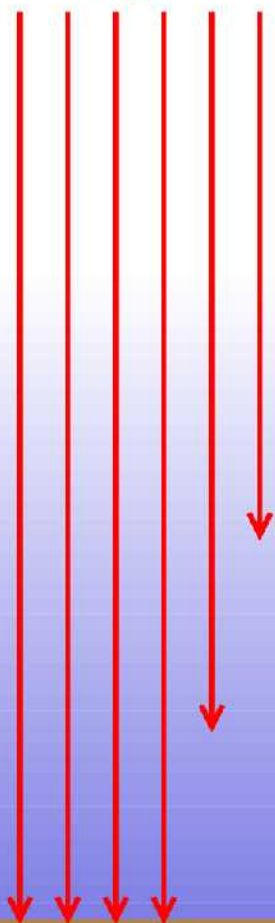


zdroj: Veronica, výstava [Prima Klima](#)

Skleníkový jev: tepelný tok / W/m^2 , 1 šipka = 40

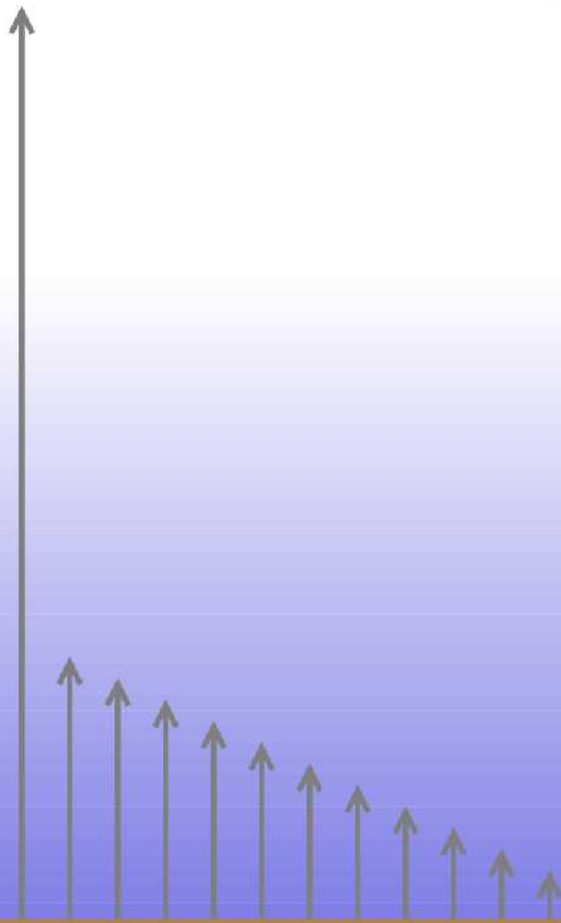
Sluneční záření

235



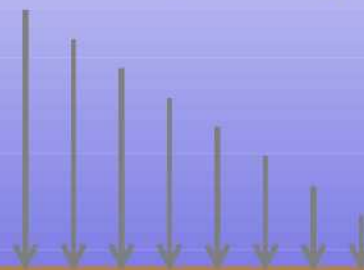
168

Dlouhovlnné záření zpět do vesmíru
235 před r.1900, ale jen 232 nyní: více než 1% změna!

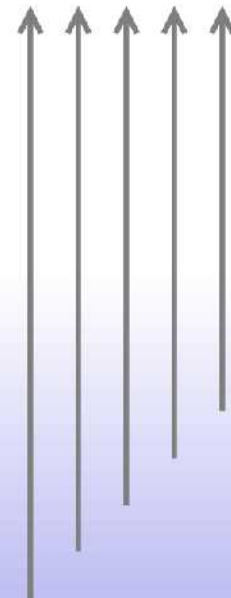


Tok z povrchu Země
(většinou pohlcen ovzduším)

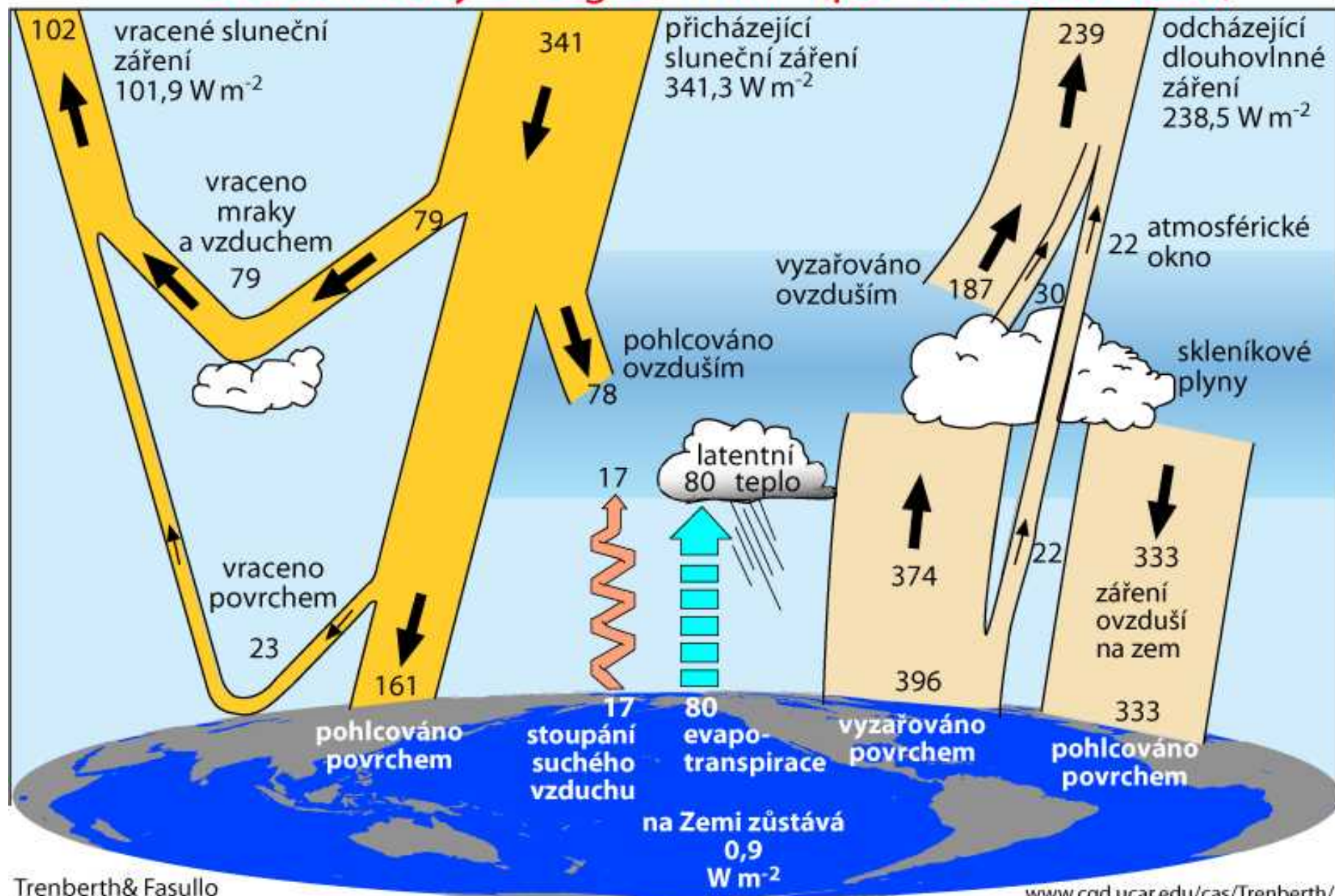
324 dřív, 327 nyní



Dlouhovlnné záření z ovzduší



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



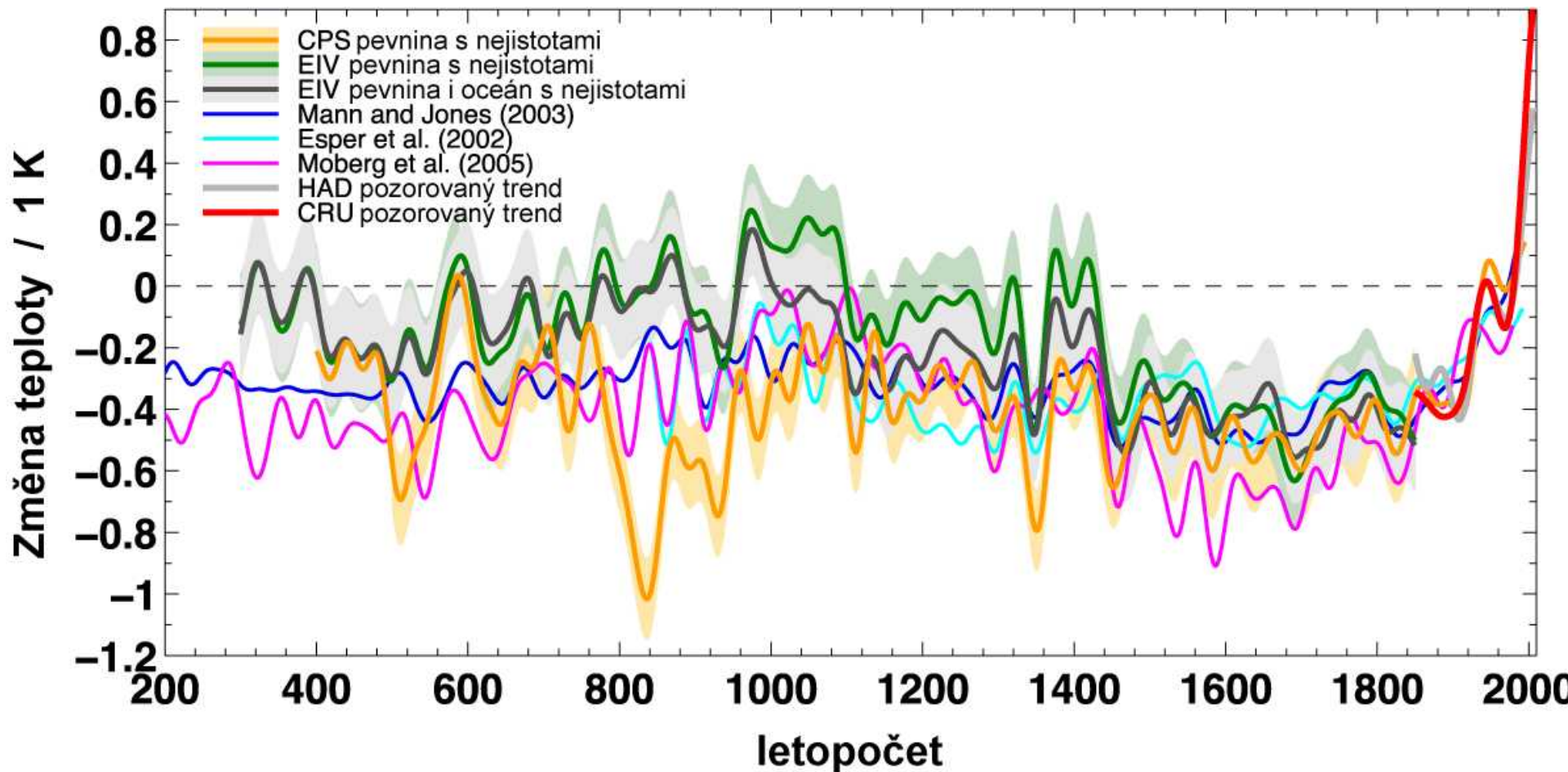
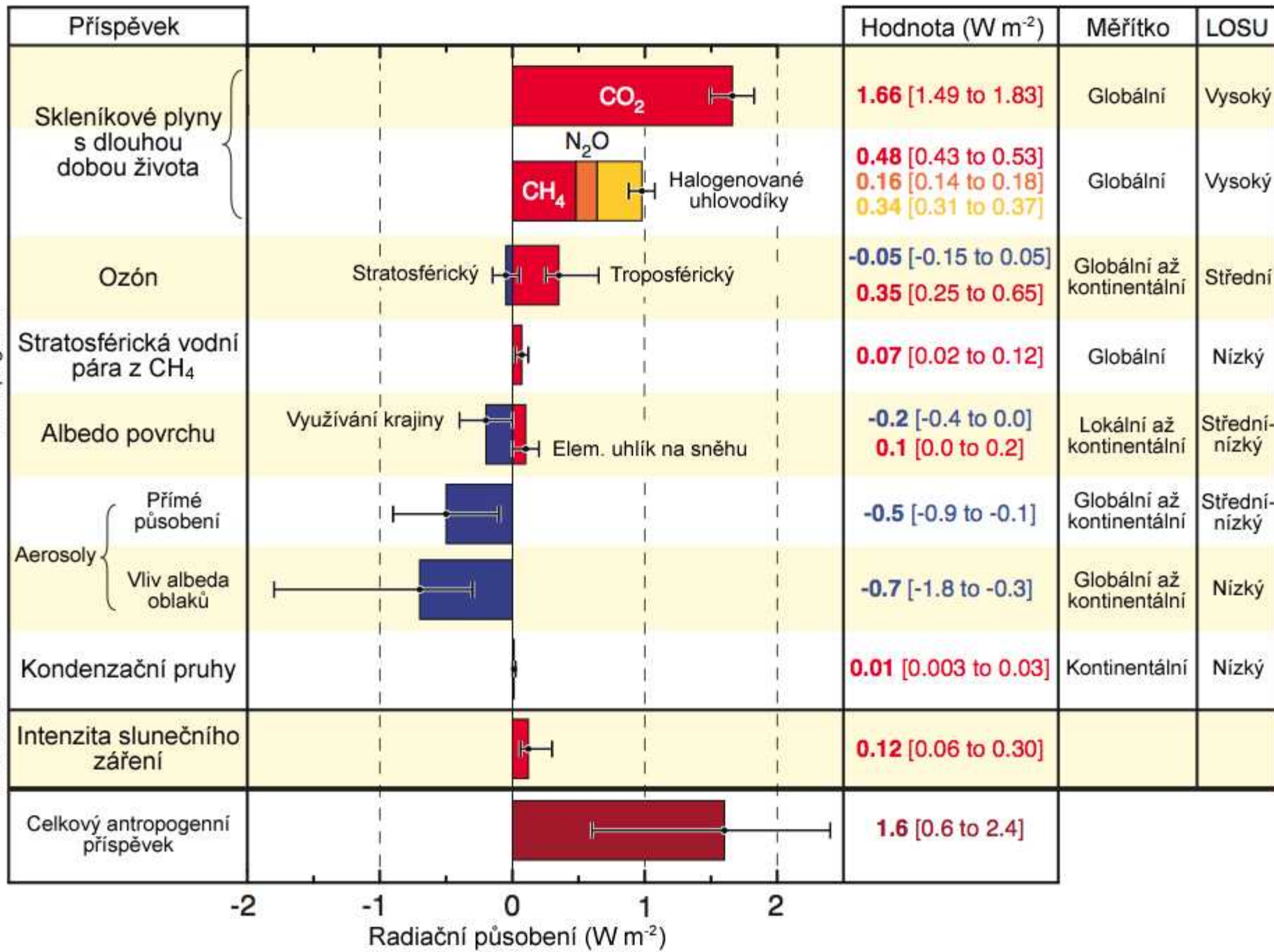


Figure 19: Rekonstrukce změn teploty severní polokoule od roku 200 (zdroj: [Kodaňská diagnóza](#))

Príspevky k radiacnému pôsobení



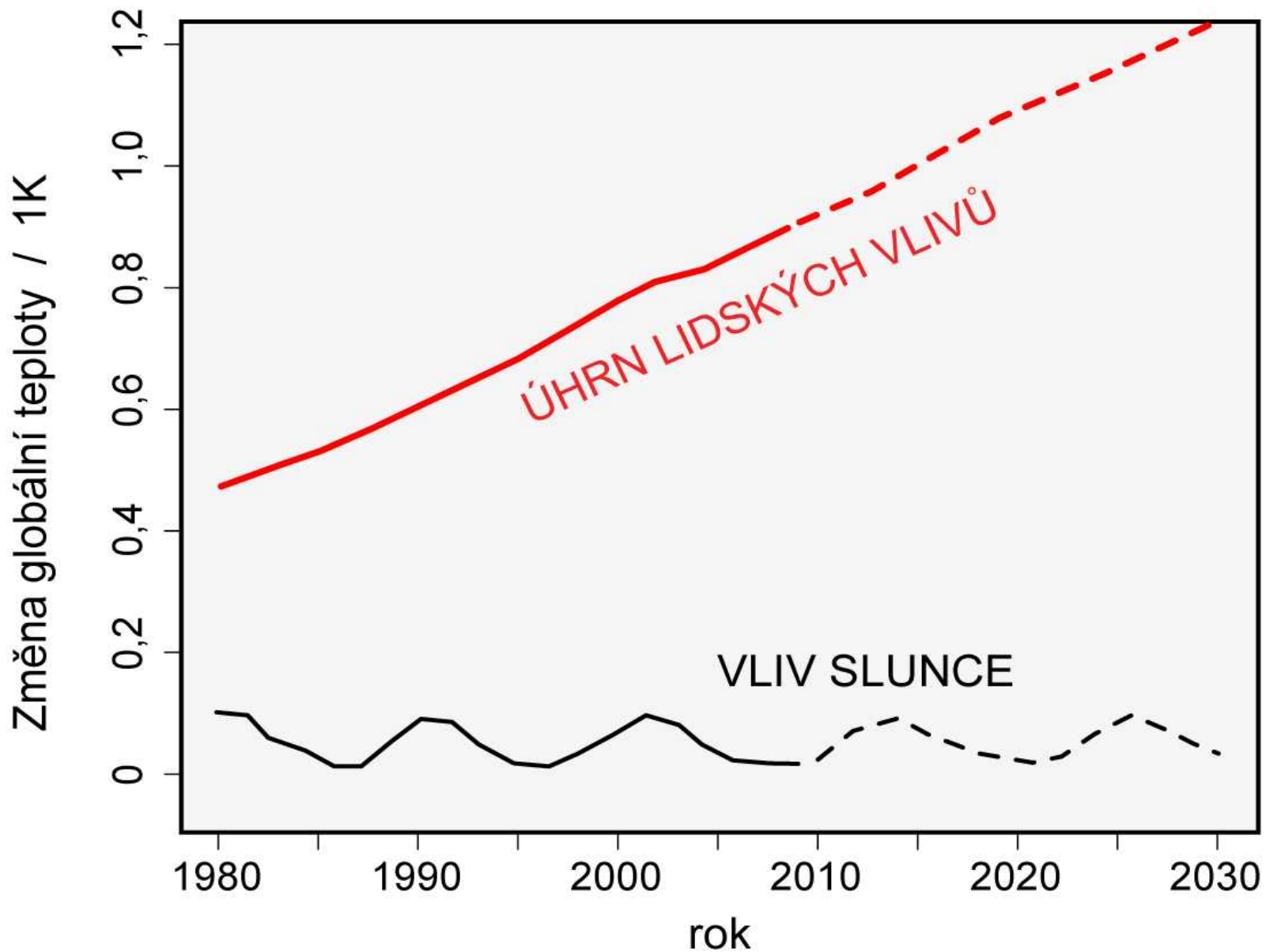
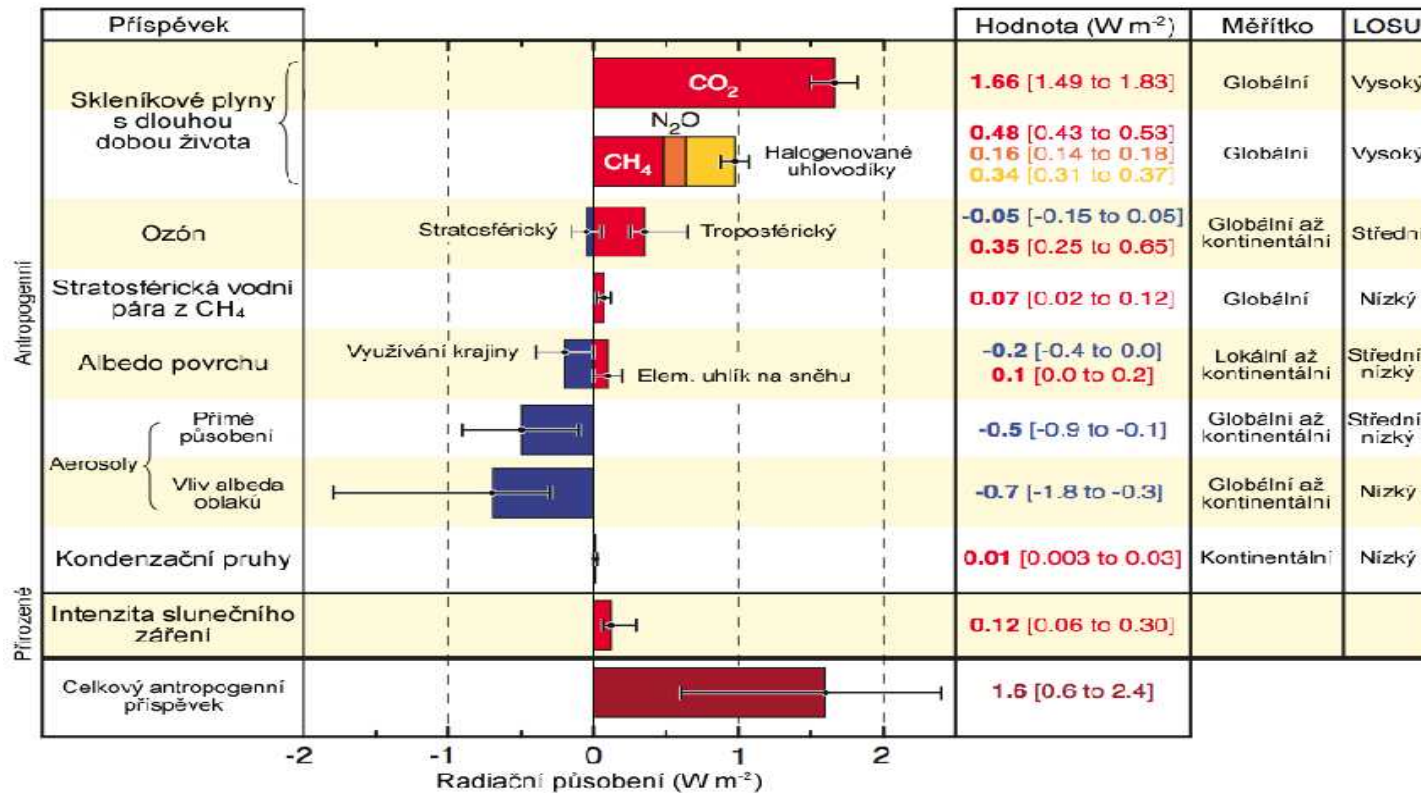
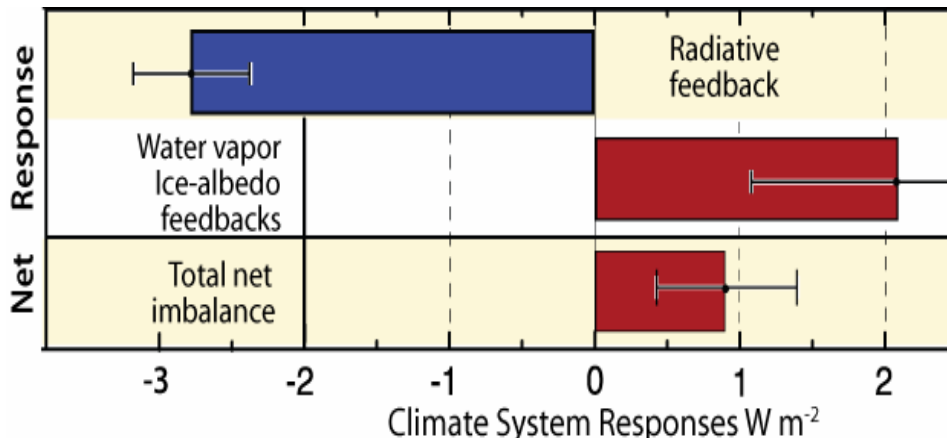


Figure 5: Vliv antropogenní oproti vlivu solárnímu od roku 1980 a projekce do 2030 (zdroj: Kodaňská diagnóza)

Příspěvky k radičnímu působení



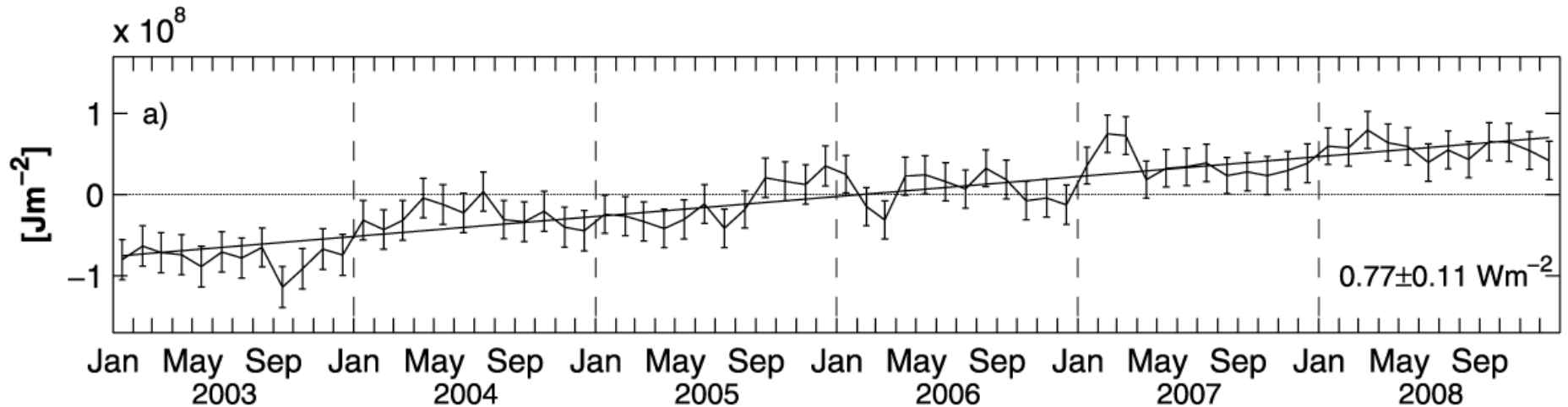
©IPCC 2007: WG1-AR4



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](#)

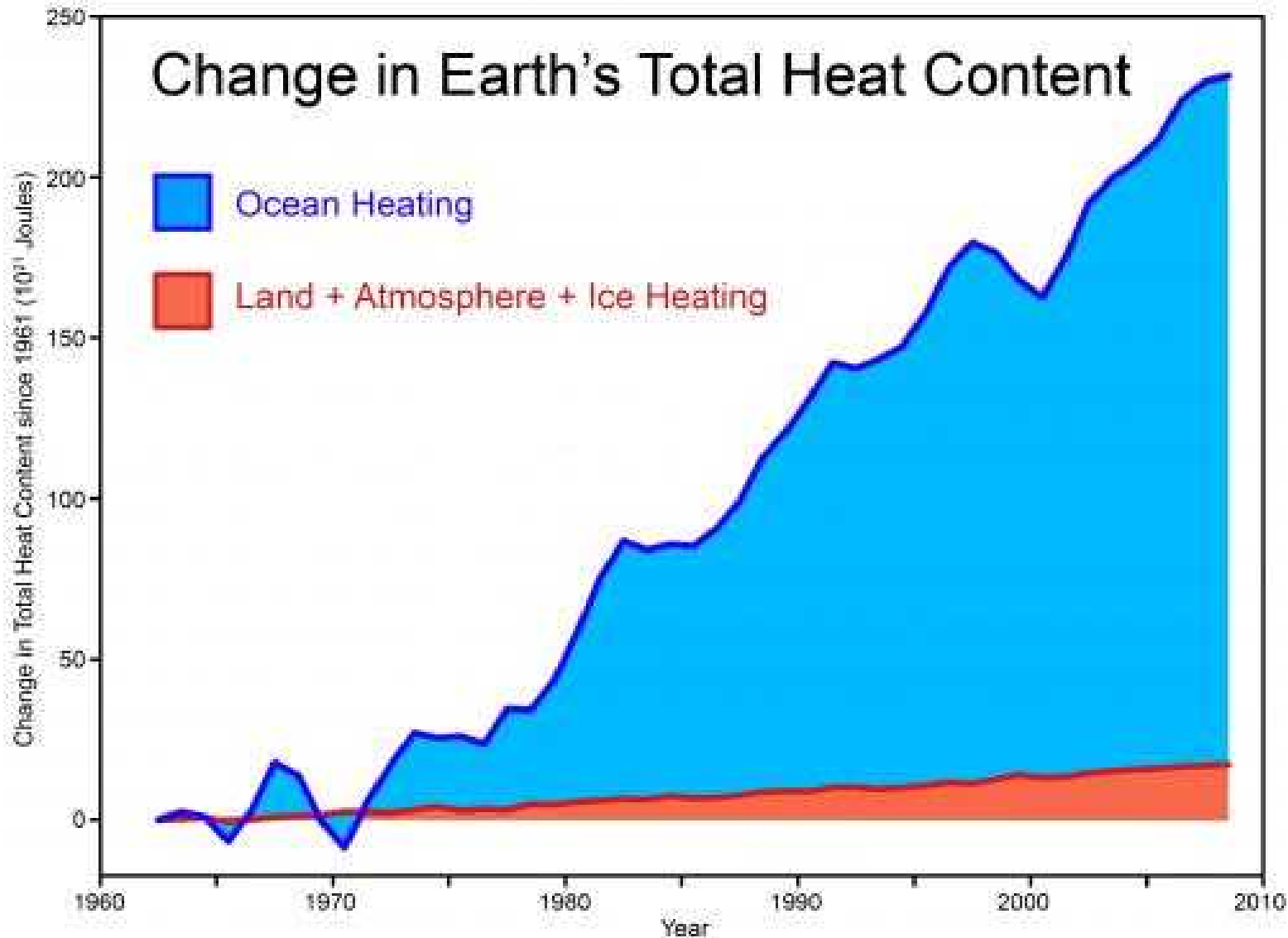
Tok tepla do oceánů

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>

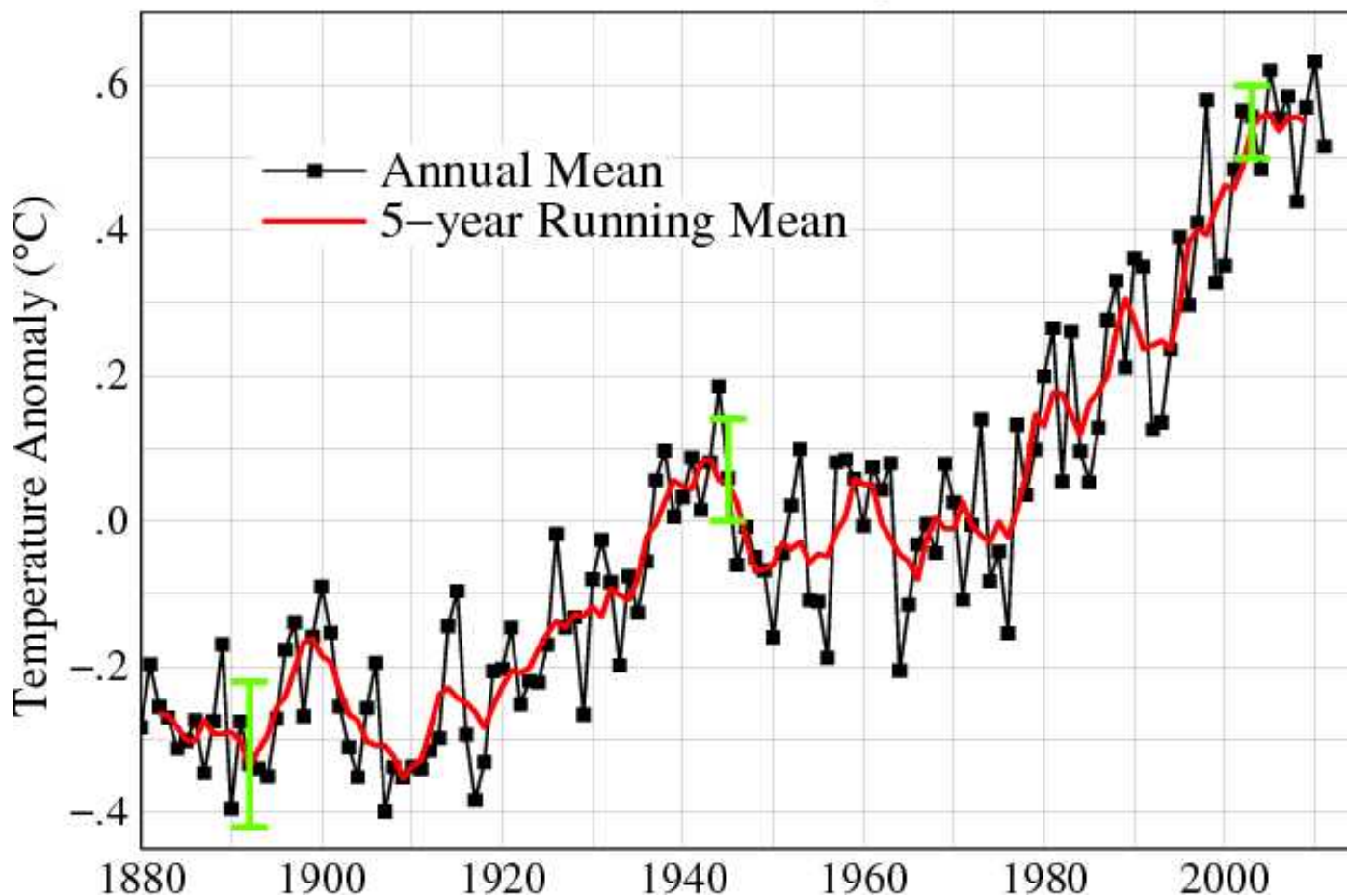


2. Projevy

Země se ohřívá

90. léta byla tehdy nejteplejší zaznamenaná dekáda, třetí tisíciletí je ještě teplejší. Zdroj: http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/

Global Land–Ocean Temperature Index



Nejteplejší
roky

- 2010
- 2005
- 2007
- 1998
- 2009
- 2002
- 2003
- 2006
- 2011
- 2001
- 2004

~ 0.8 °C: globální zvýšení teploty za poslední století

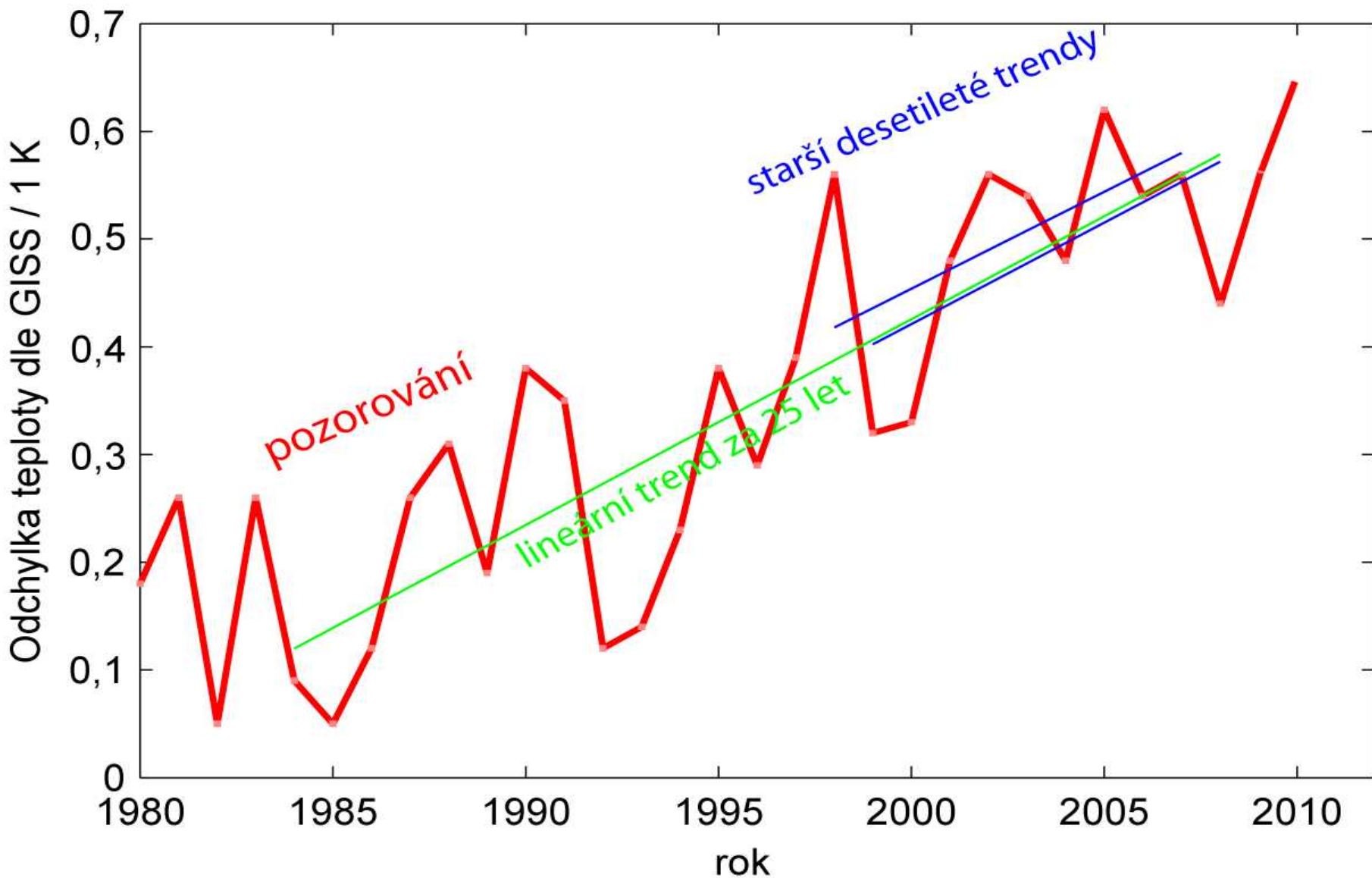


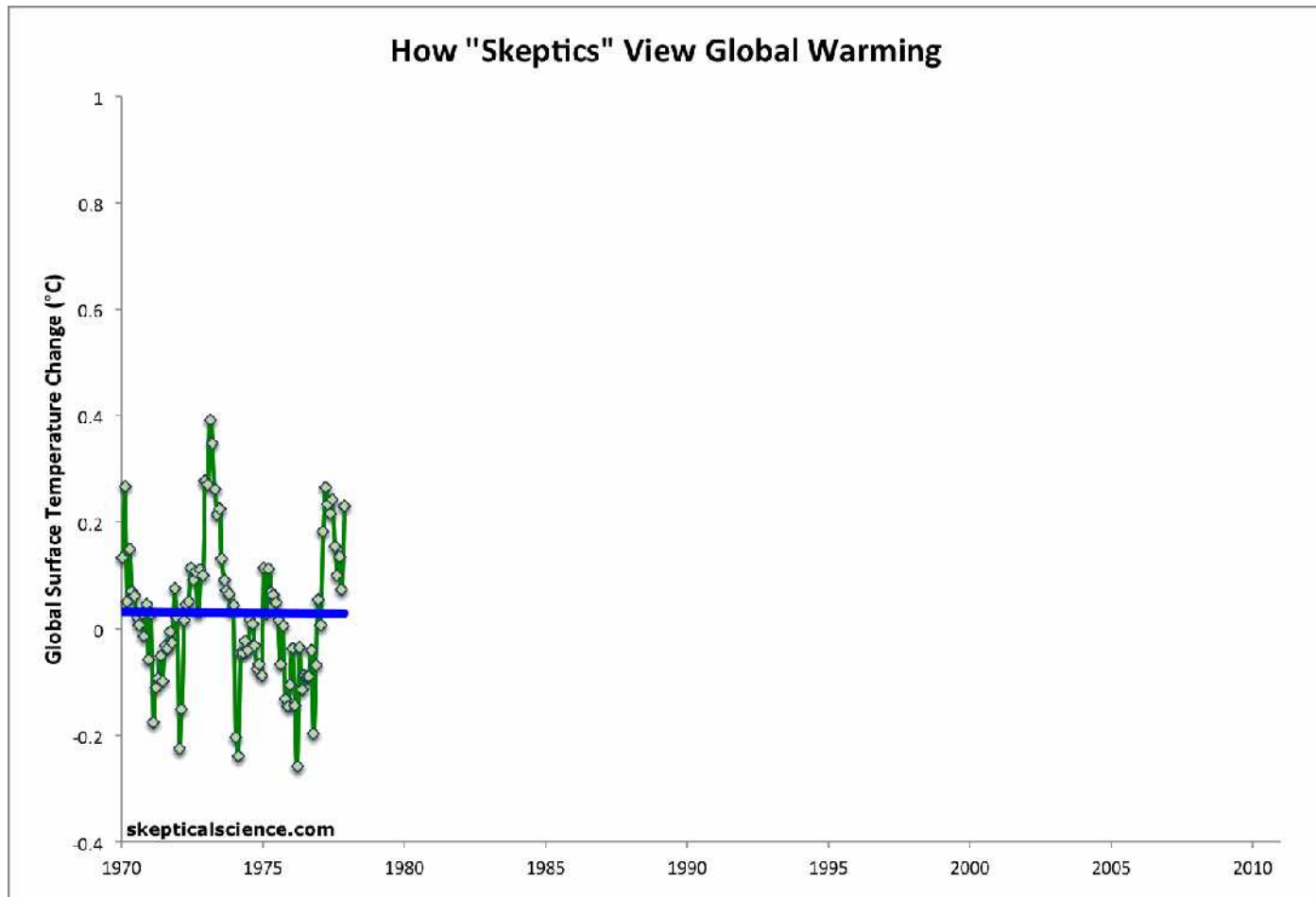
Figure 4: Změna globální teploty od roku 1980 dle údajů GISS

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,

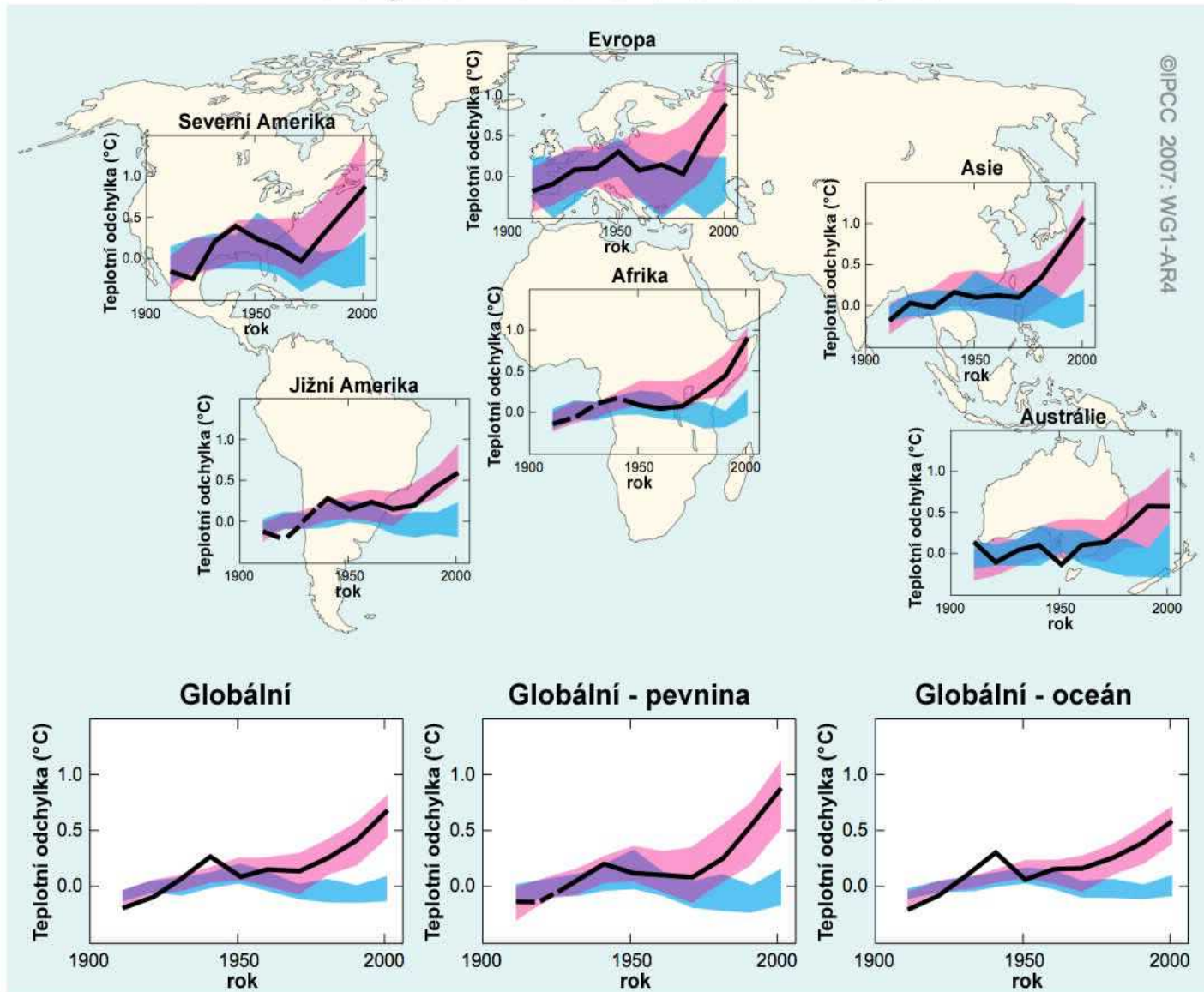
<http://www.skepticalscience.com/still-going-down-the-up-escalator.html>

(samotný animovaný graf pak viz

http://www.skepticalscience.com/pics/NCDC_Escalator.gif)

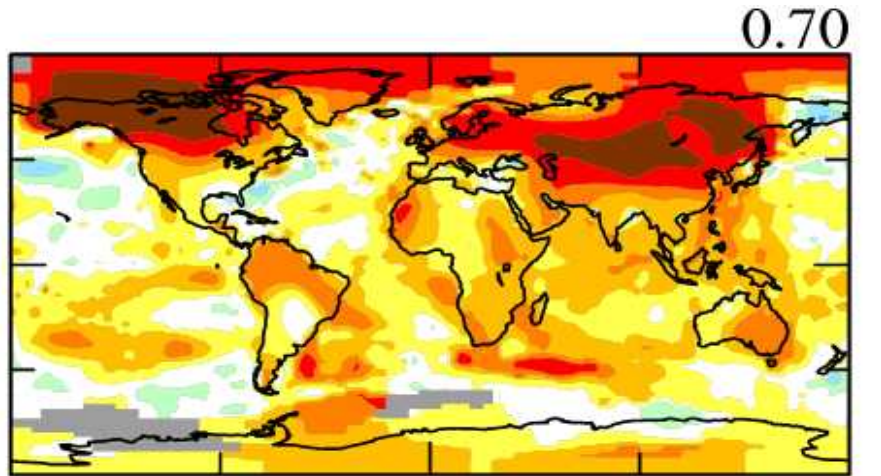


Změna globálních a kontinentálních teplot

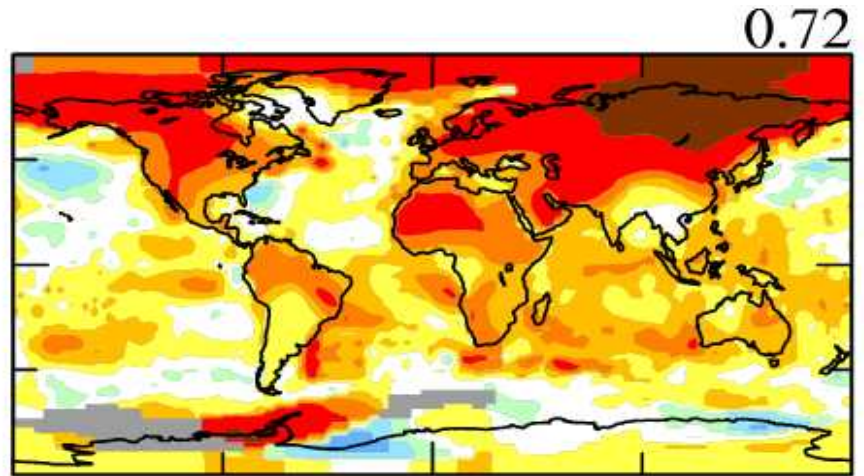


Změny teplot od r. 1950 pro trojice měsíců - bráno dle ročních období severní polokoule jako zima (tj. prosinec, leden, únor), jaro, léto a podzim. Zdroj: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

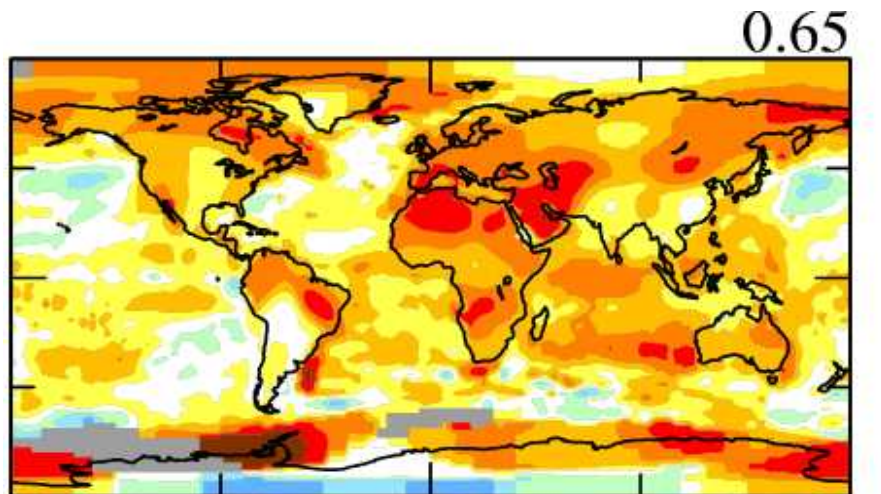
1950-2011



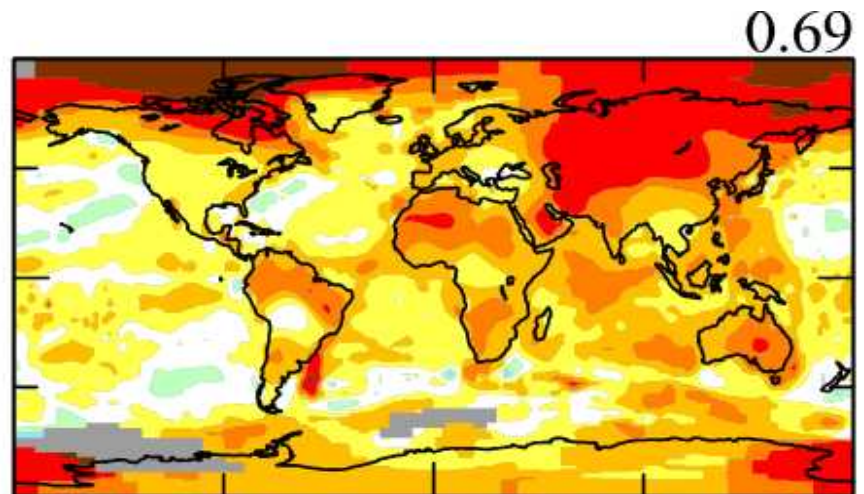
-2.6 -1.5 -1 -0.6 -0.2 .2 .6 1 1.5 2.5 5.9



-2.5 -1 -0.6 -0.2 .2 .6 1 1.5 2.5 3.6

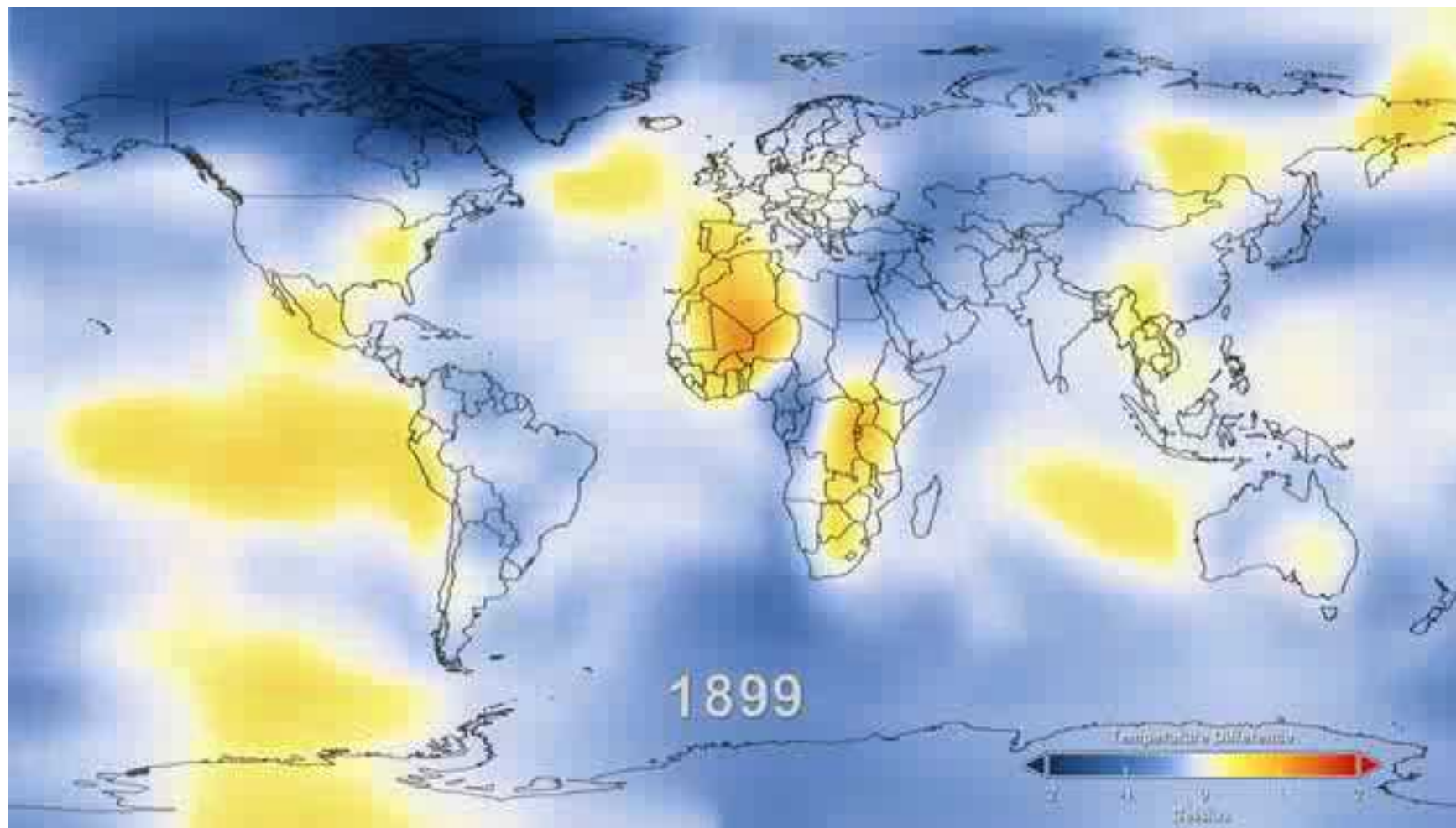


-2.5 -1 -0.6 -0.2 .2 .6 1 1.5 2.5 4.6

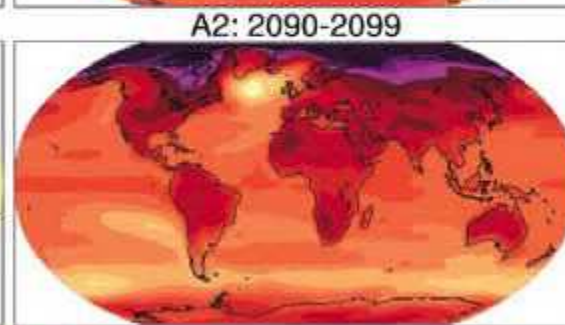
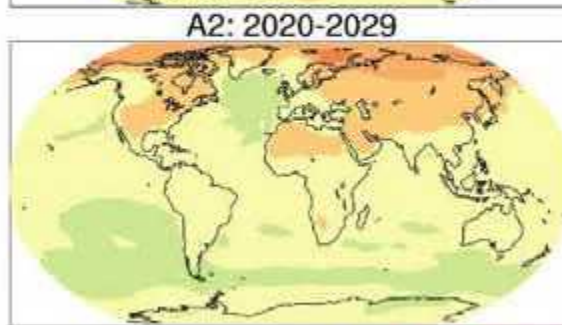
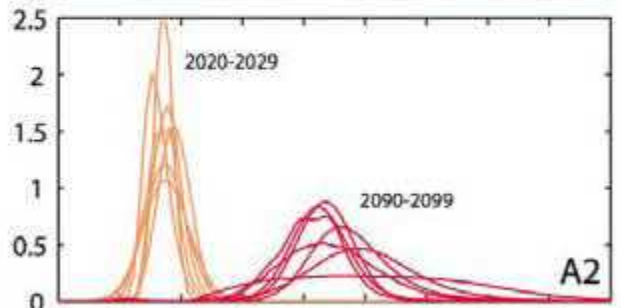
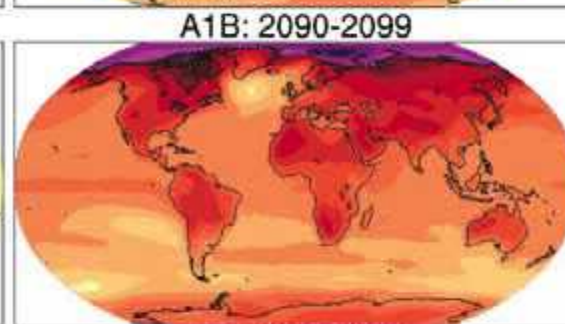
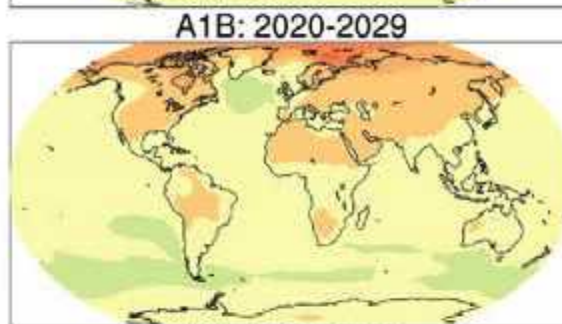
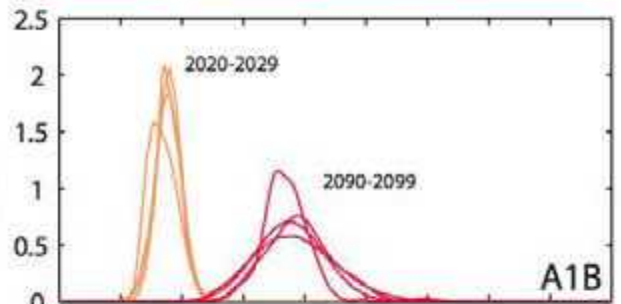
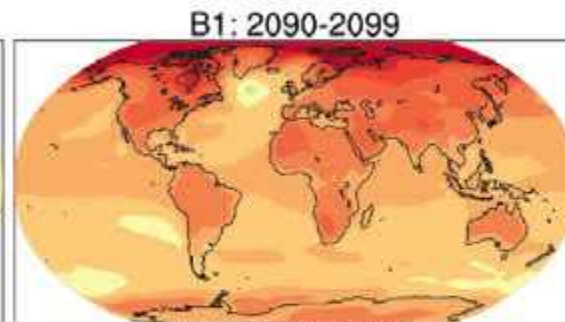
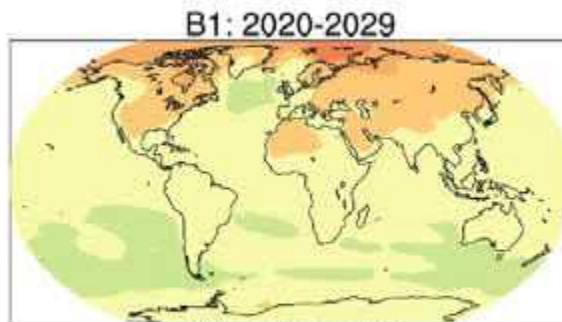
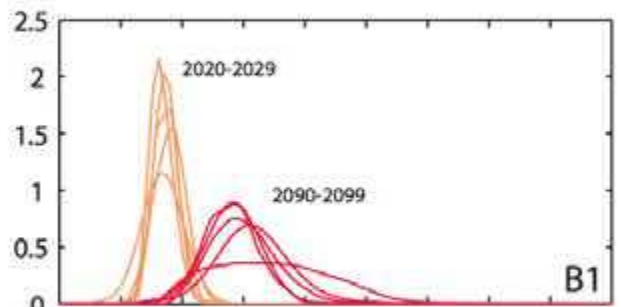


-2.5 -1 -0.6 -0.2 .2 .6 1 1.5 2.5 3.3

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 povrchové teploty



Globální průměrná změna povrchové teploty (°C)



Horské ledovce tají na celém
světě

Nový Zéland

Mueller Glacier





USA
Grinnell Glacier
Glacier National
Park





Švýcarsko

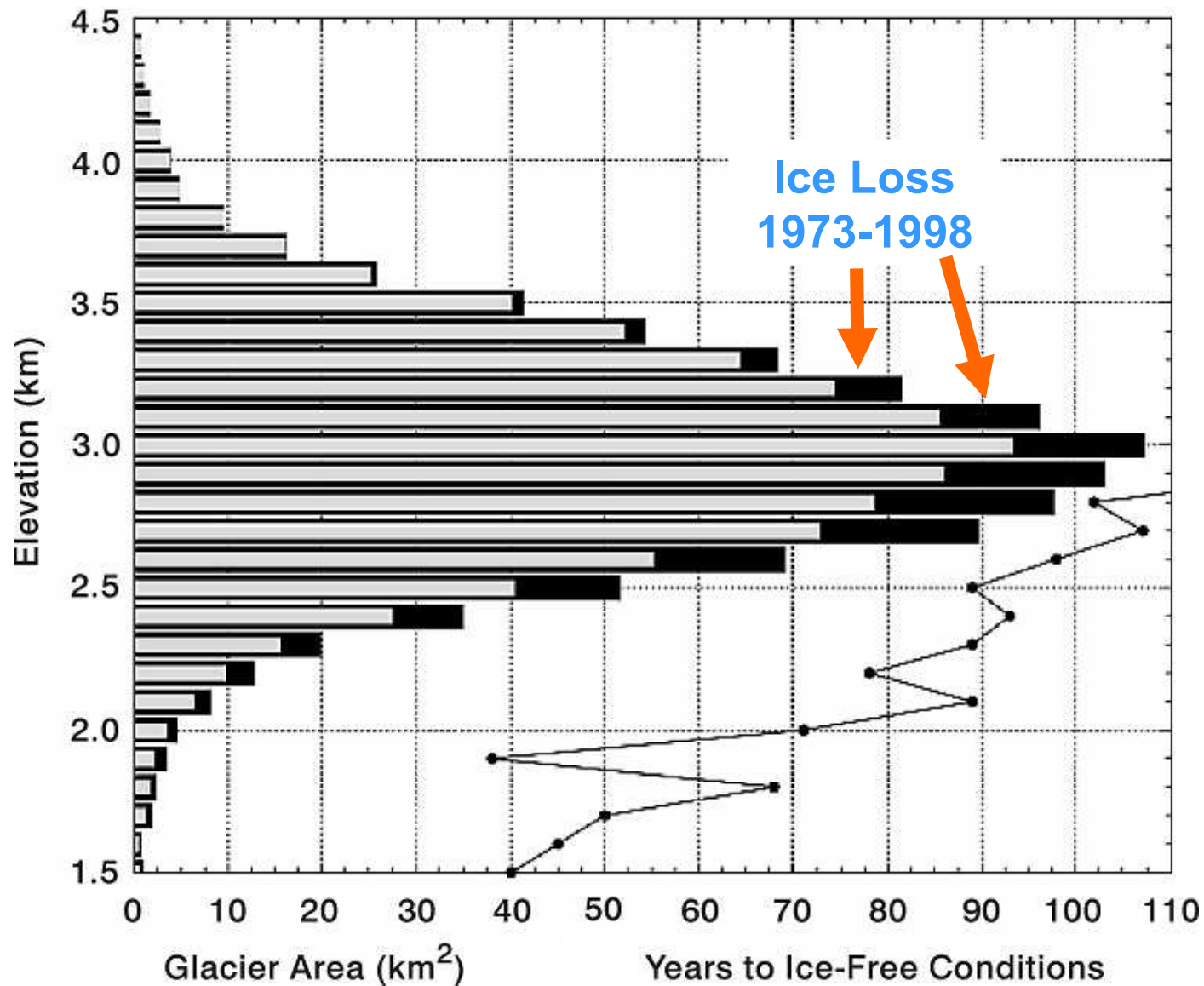
Rhone Glacier



Ledovec Rongbuk



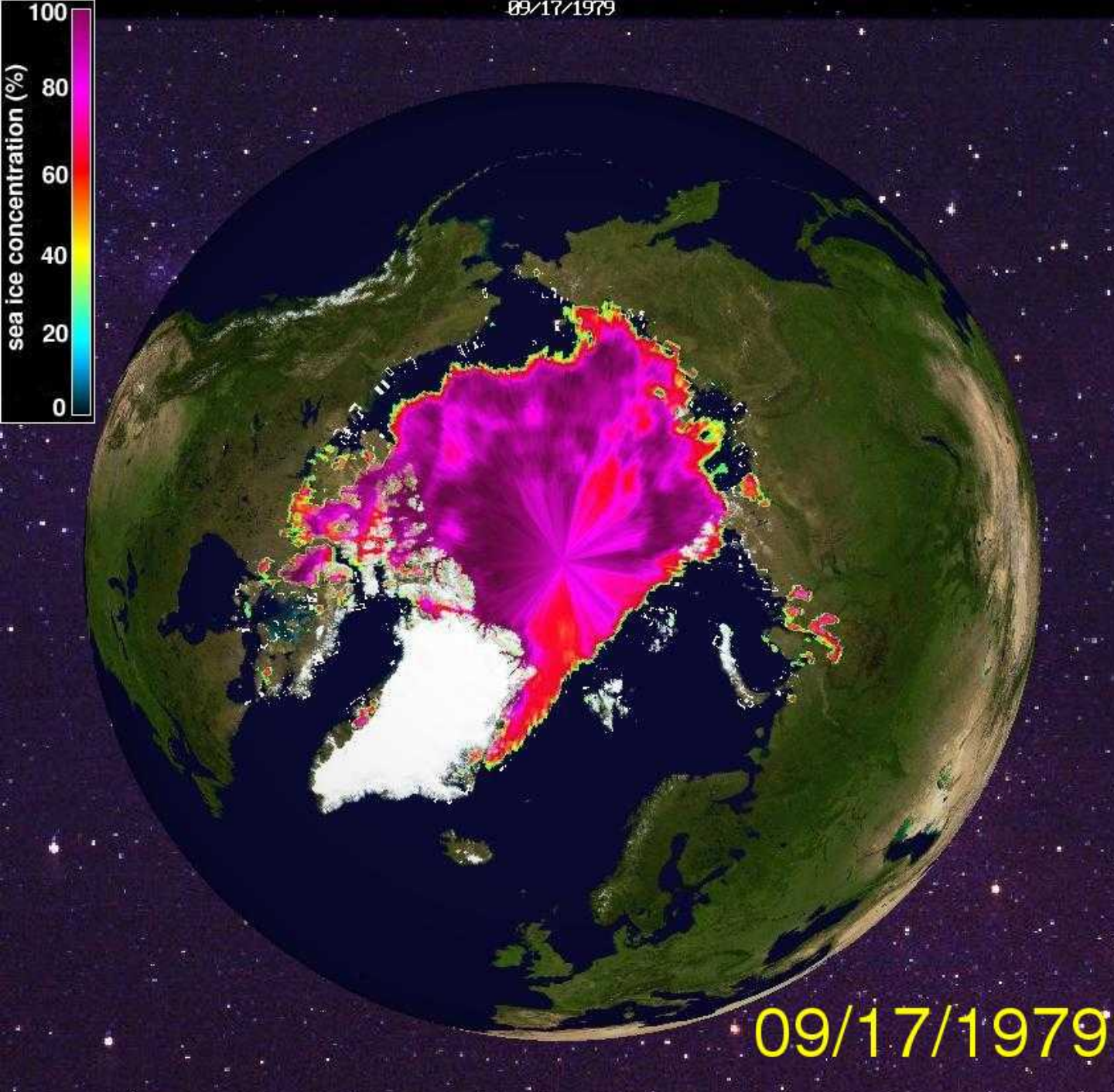
Ledovec v roce 1968 (nahore) a 2007. Největší ledovec na severním svahu Mount Everestu napájí řeku Rongbuk.



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

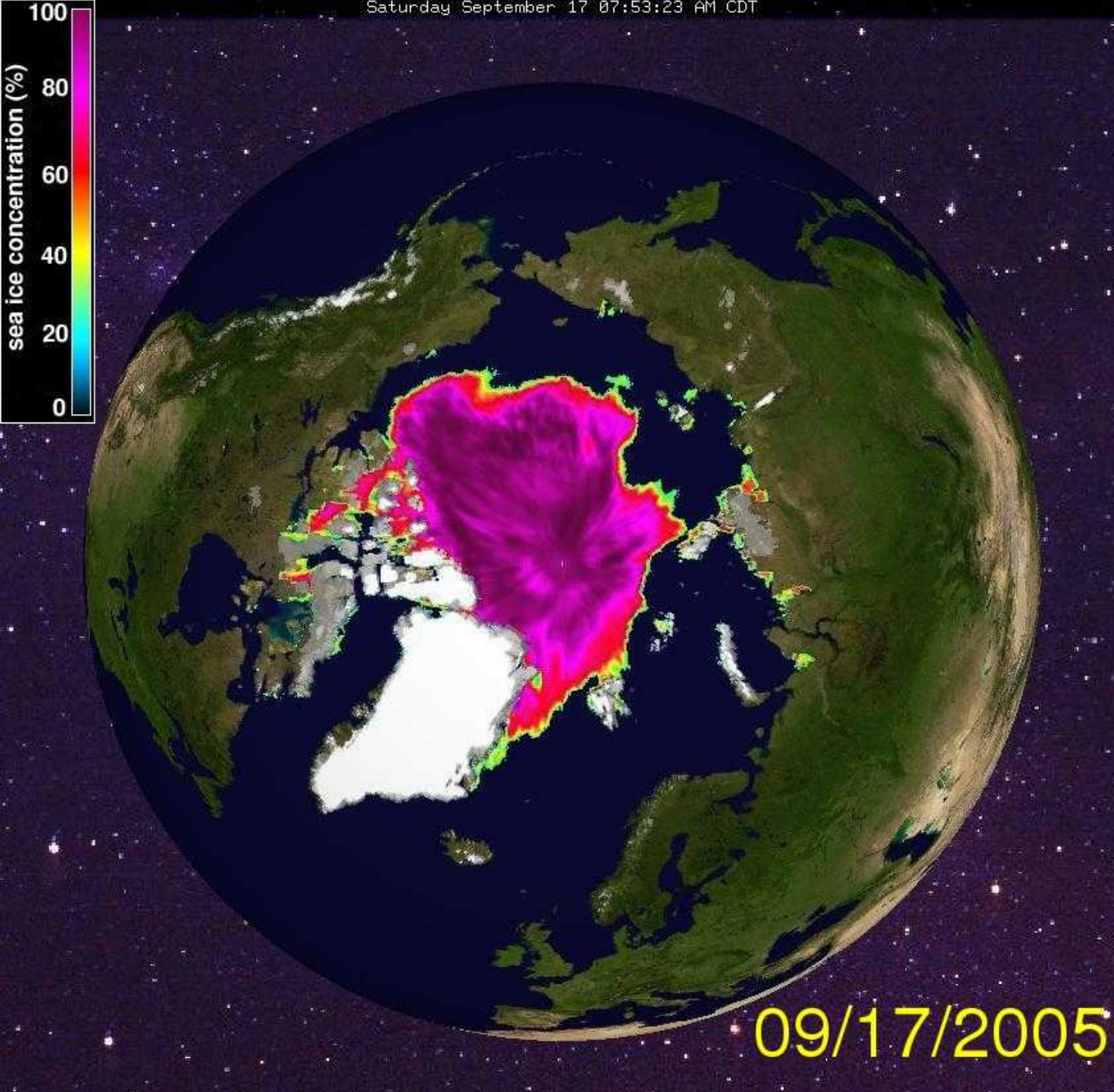
Ztmavnutí povrchu

velká zesilující zpětná vazba



1979
17. září

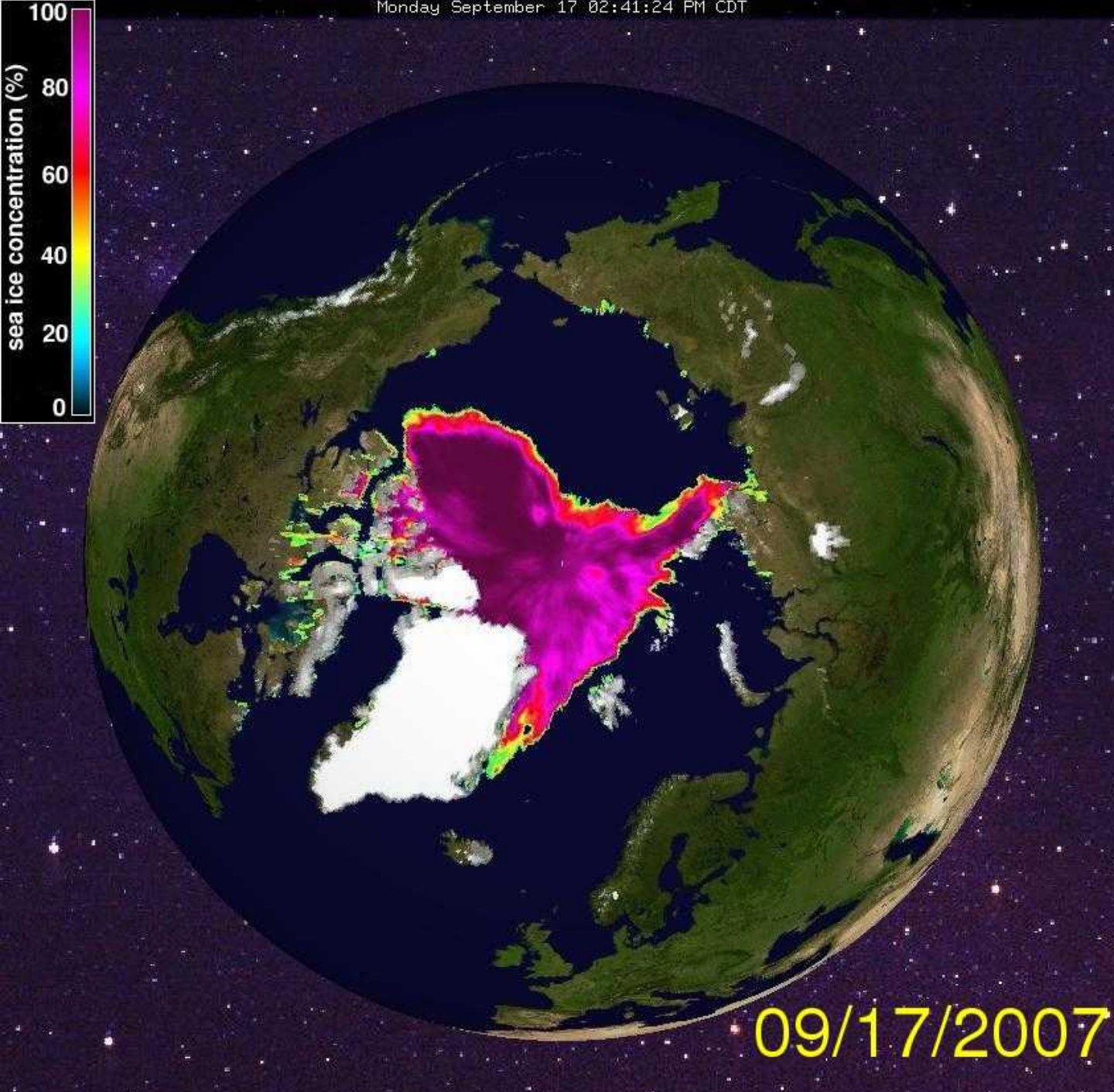
Arktický
mořský led



2005
17. září

Arktický
mořský led

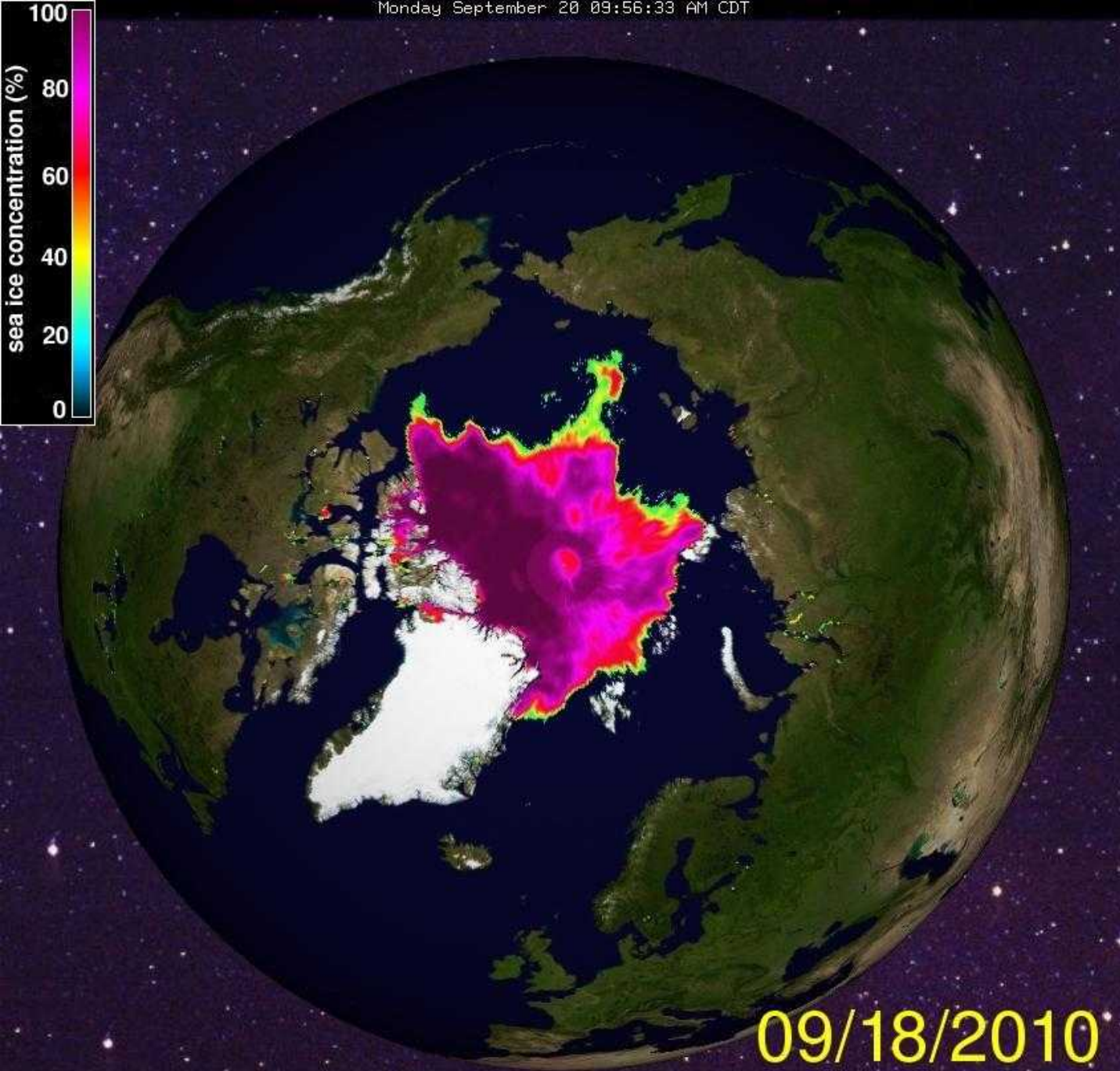
09/17/2005



2007
17. září

Arktický
mořský led

09/17/2007



2010

18. září

Arktický mořský led

(Zdroj: [The
Cryosphere
Today](#))

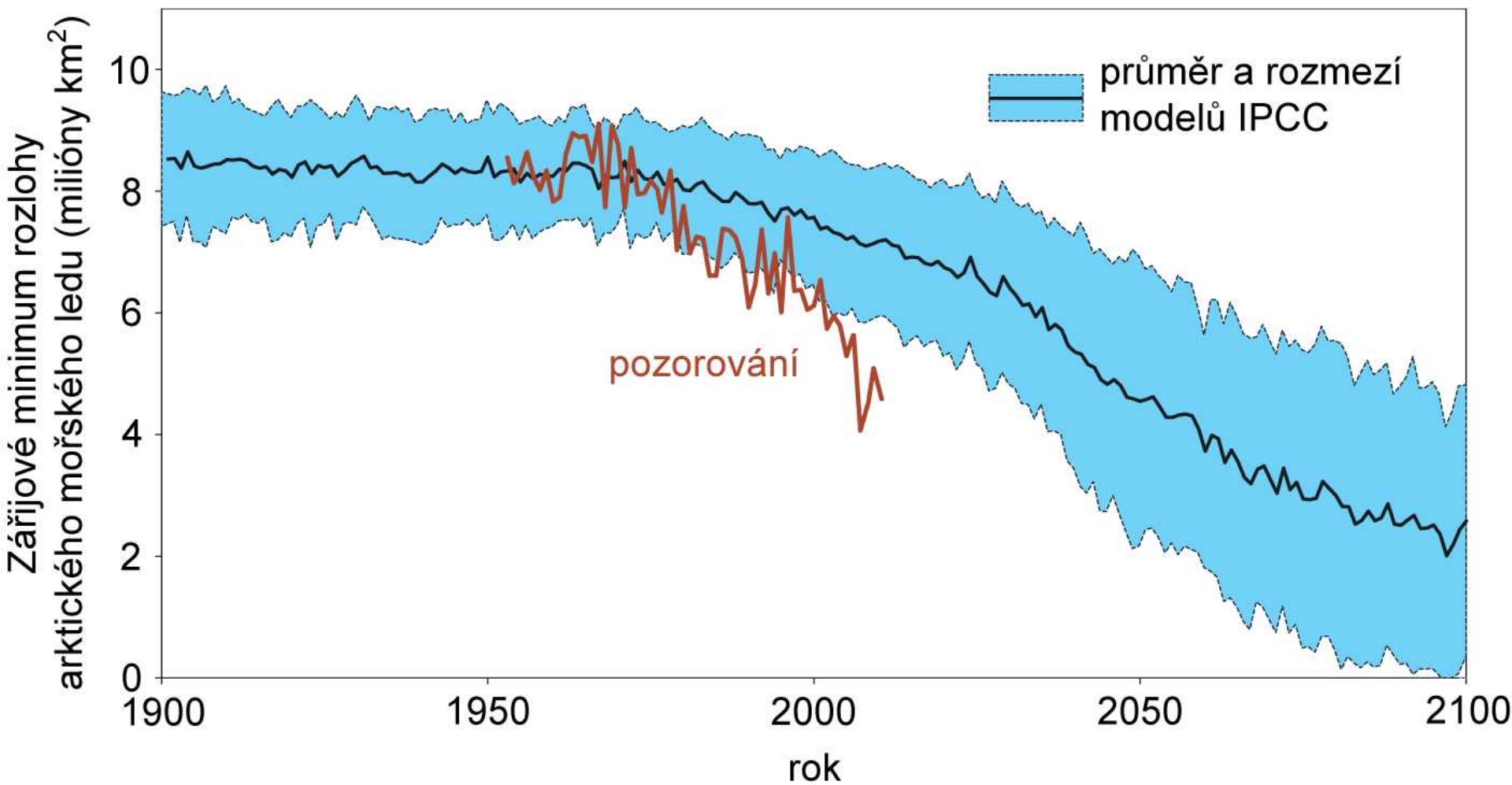
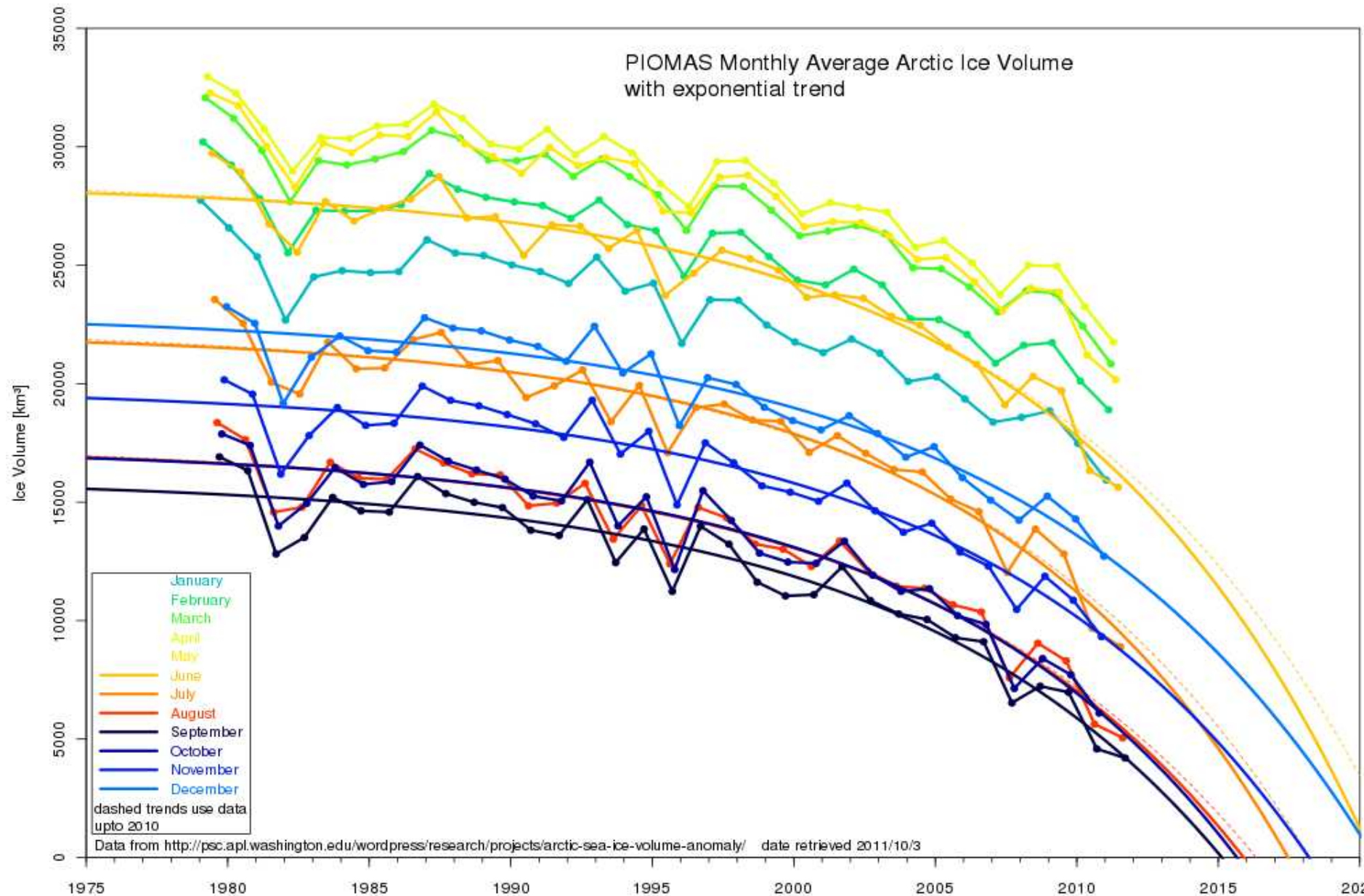


Figure 13: Pozorované a modelované změny rozlohy mořského ledu v Arktidě

Objem arktického mořského ledu exponenciálně klesá



Budoucí rizika

v oteplujícím se světě



riziko

=

pravděpodobnost

x

dopad

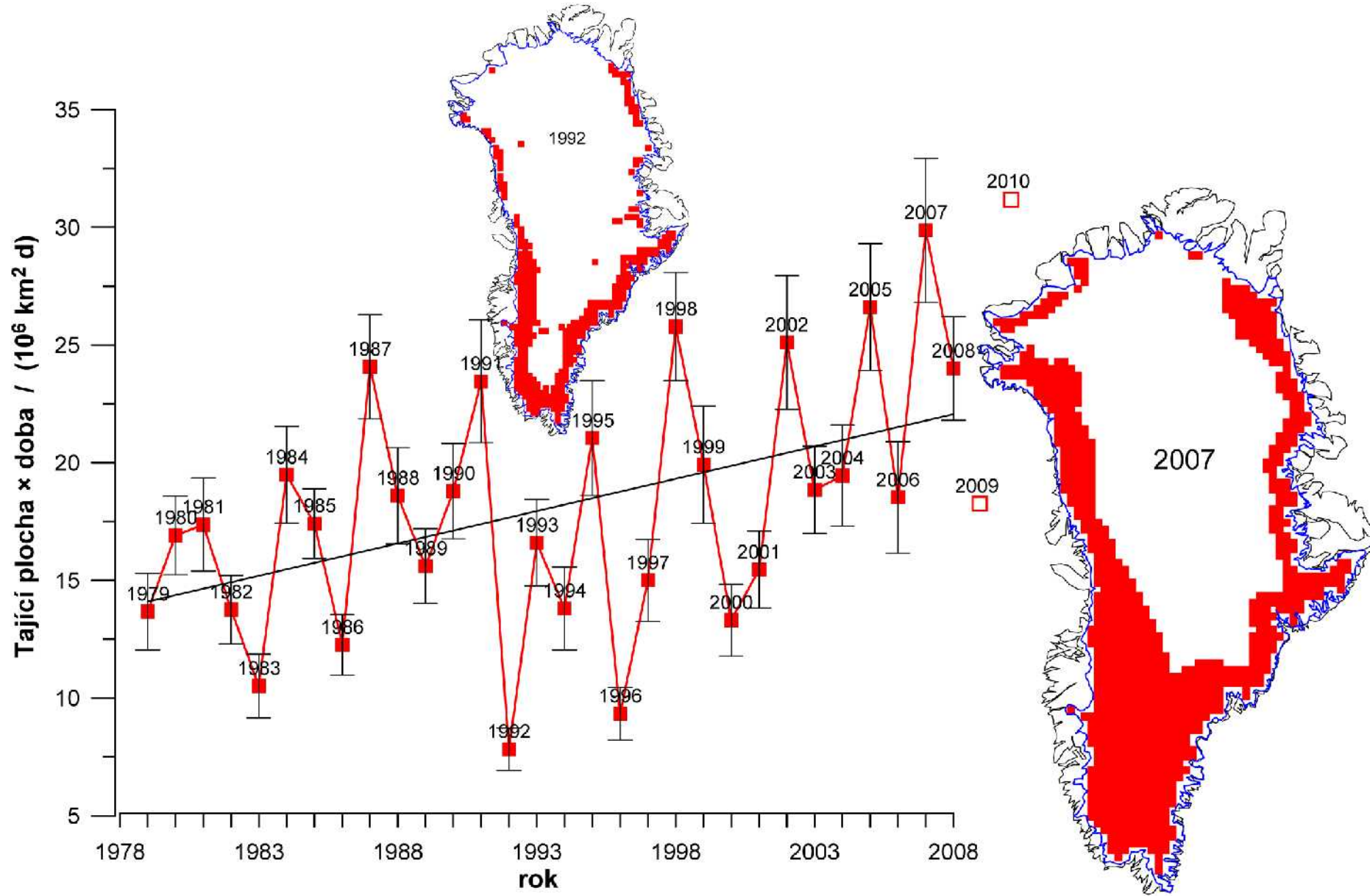
Tání na povrchu Grónska

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



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

Rozloha oblasti tání



Ledový proud Jakobshavn v Grónsku

Odtok z velkých grónských ledových proudů se značně zrychluje



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

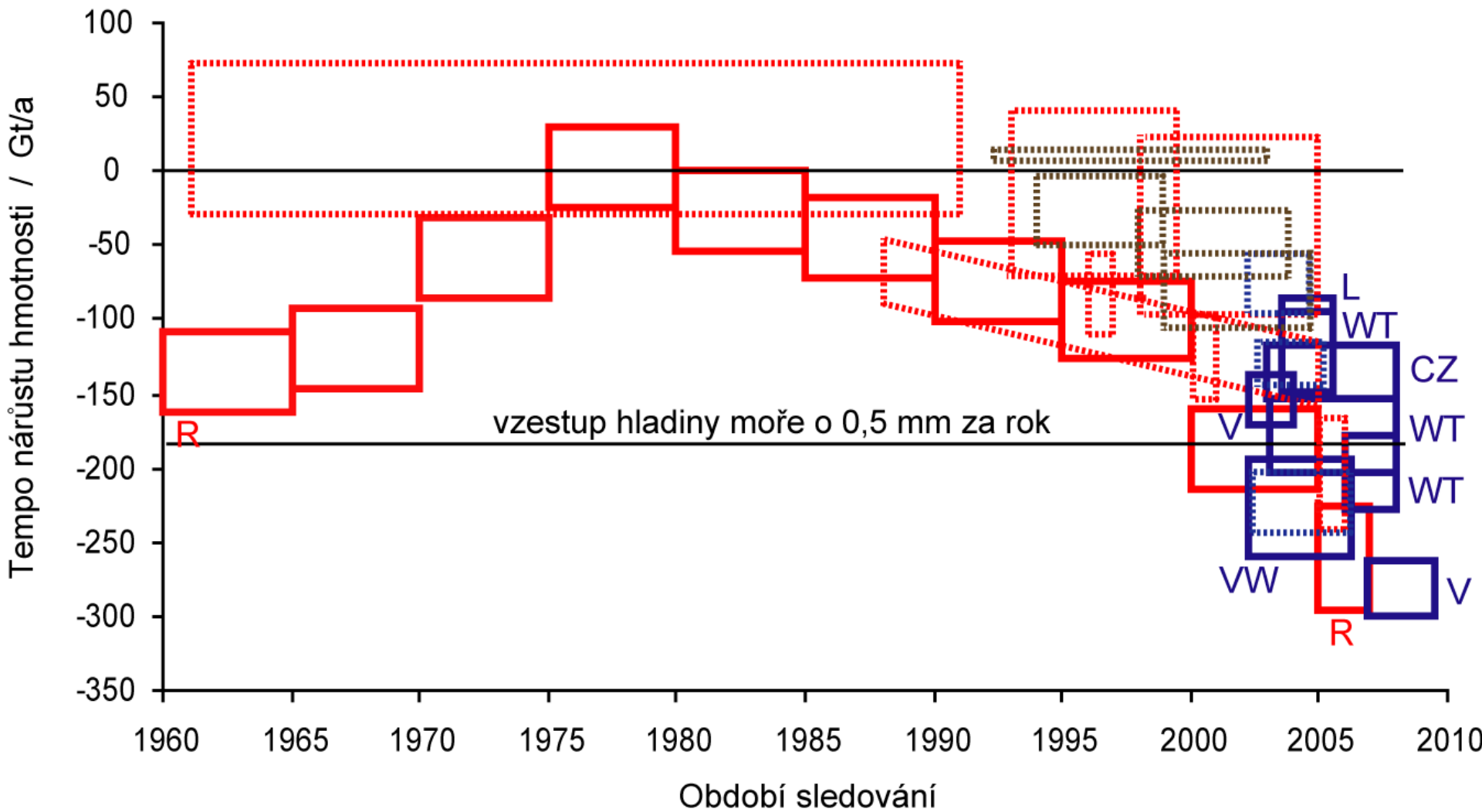


Figure 8: Úbytek hmotnosti ledu v Grónsku od roku 1960, gigatuny za rok

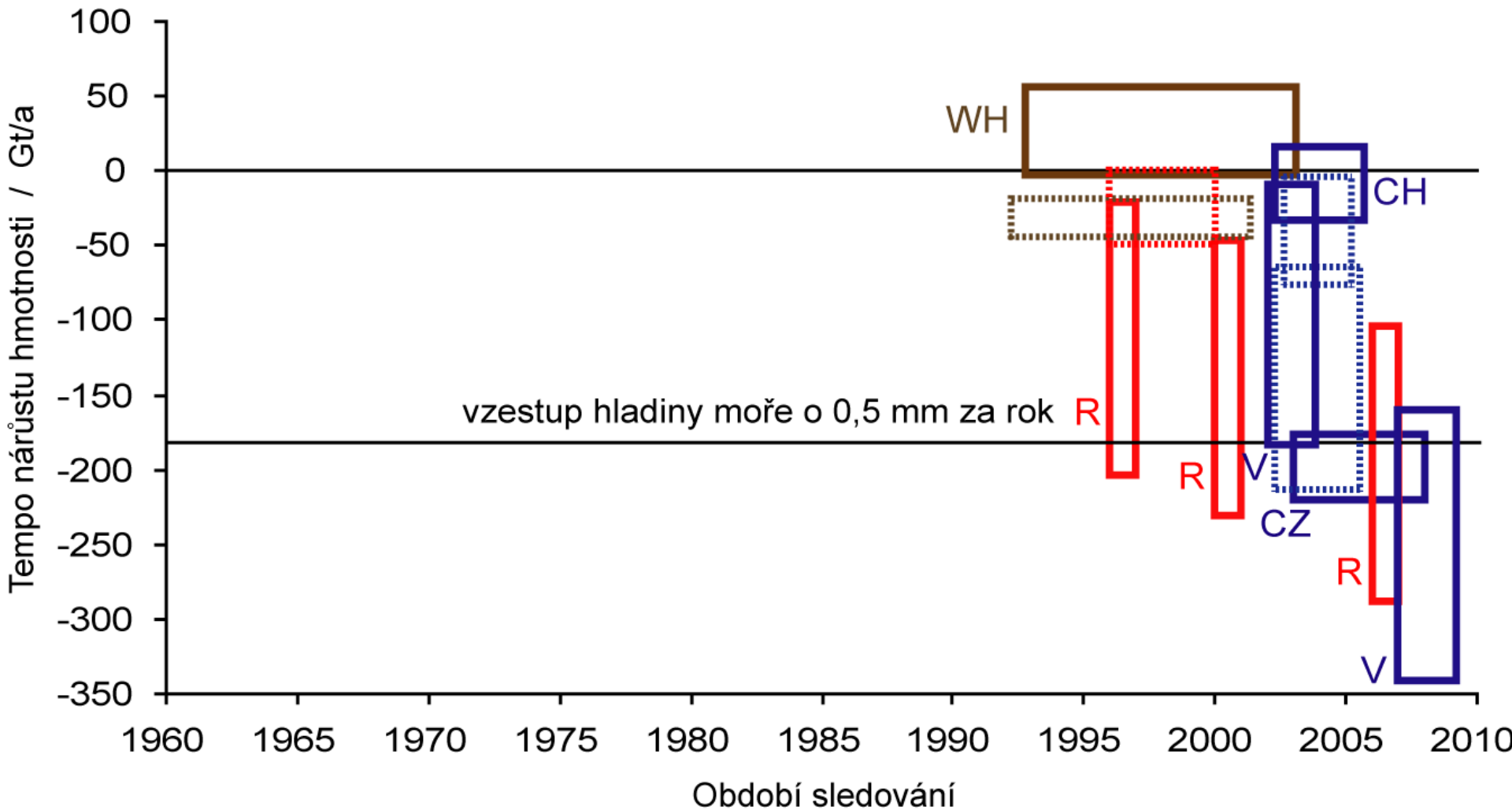
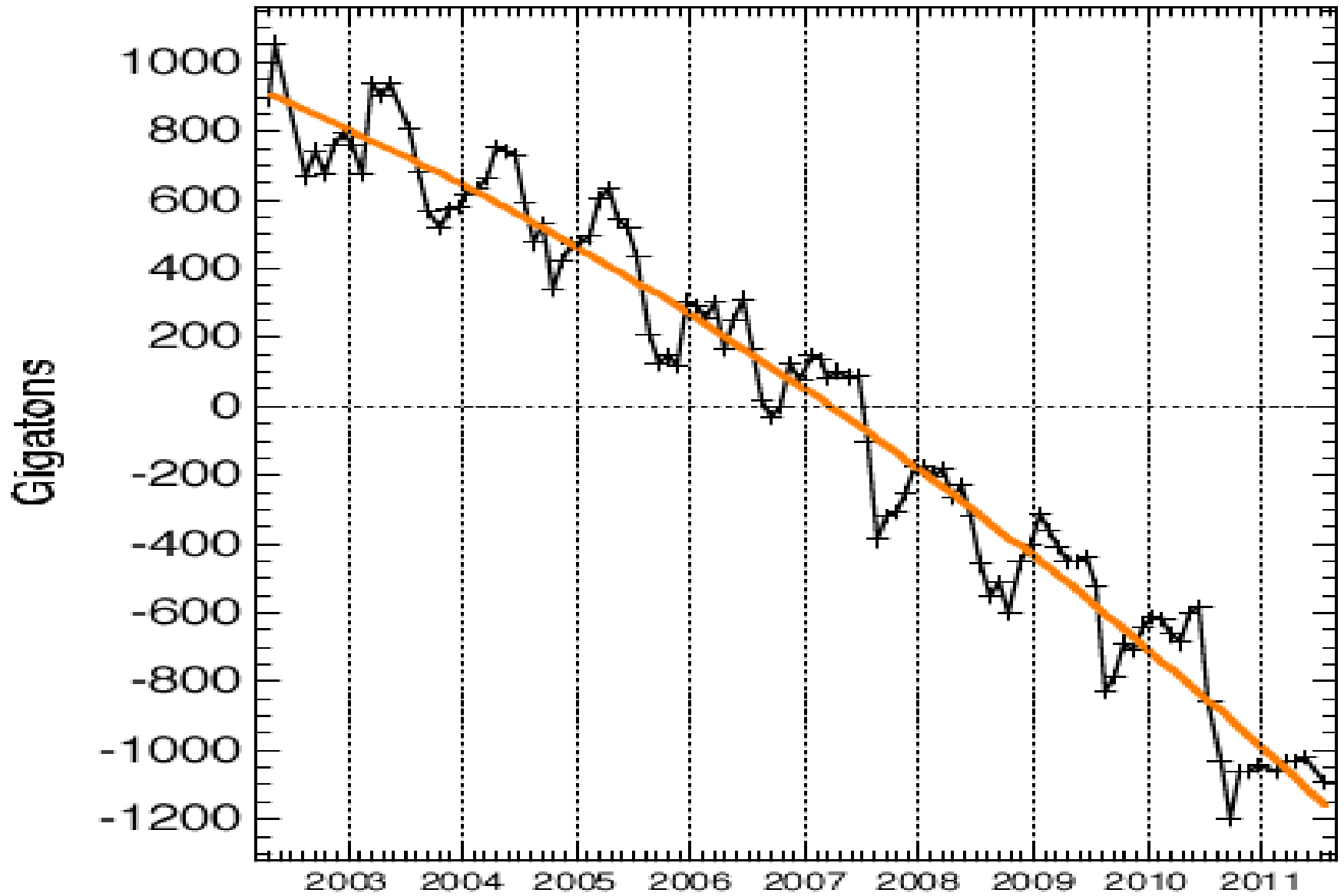
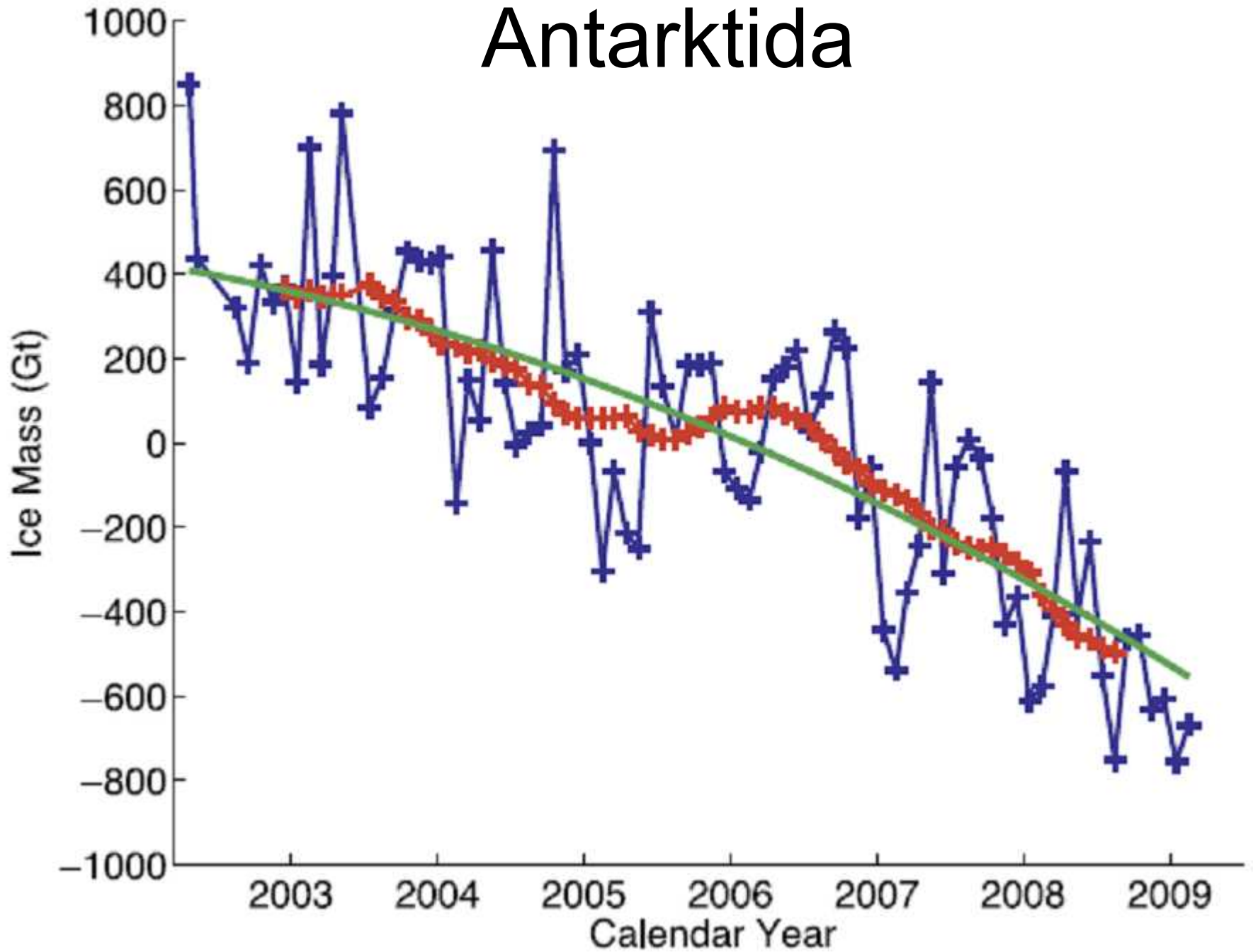


Figure 10: Úbytek hmotnosti ledu v Antarktidě od roku 1960, gigatuny za rok

Greenland



Antarktida

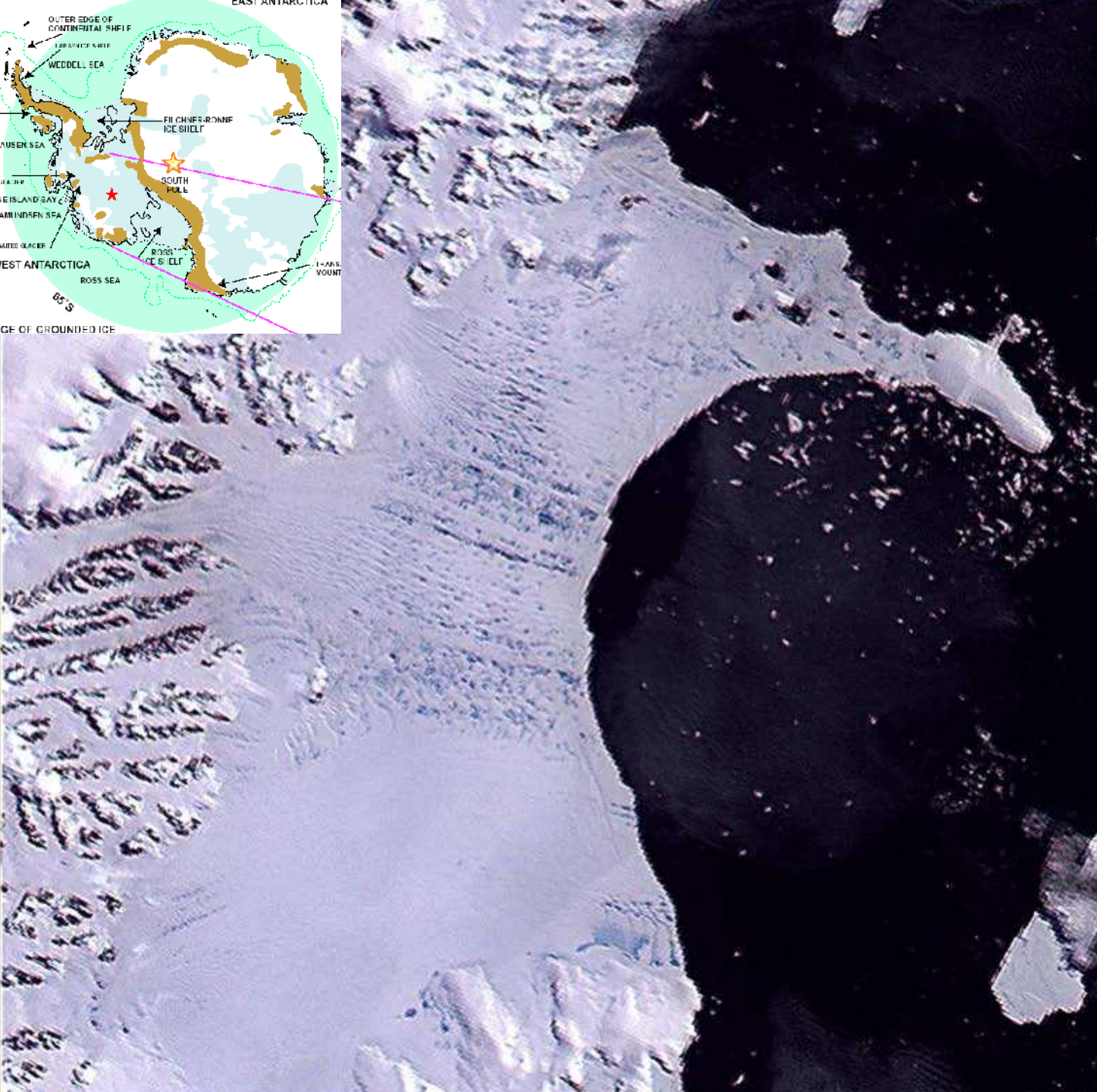




30. leden
2002

Scambos,
NSIDC

20 km



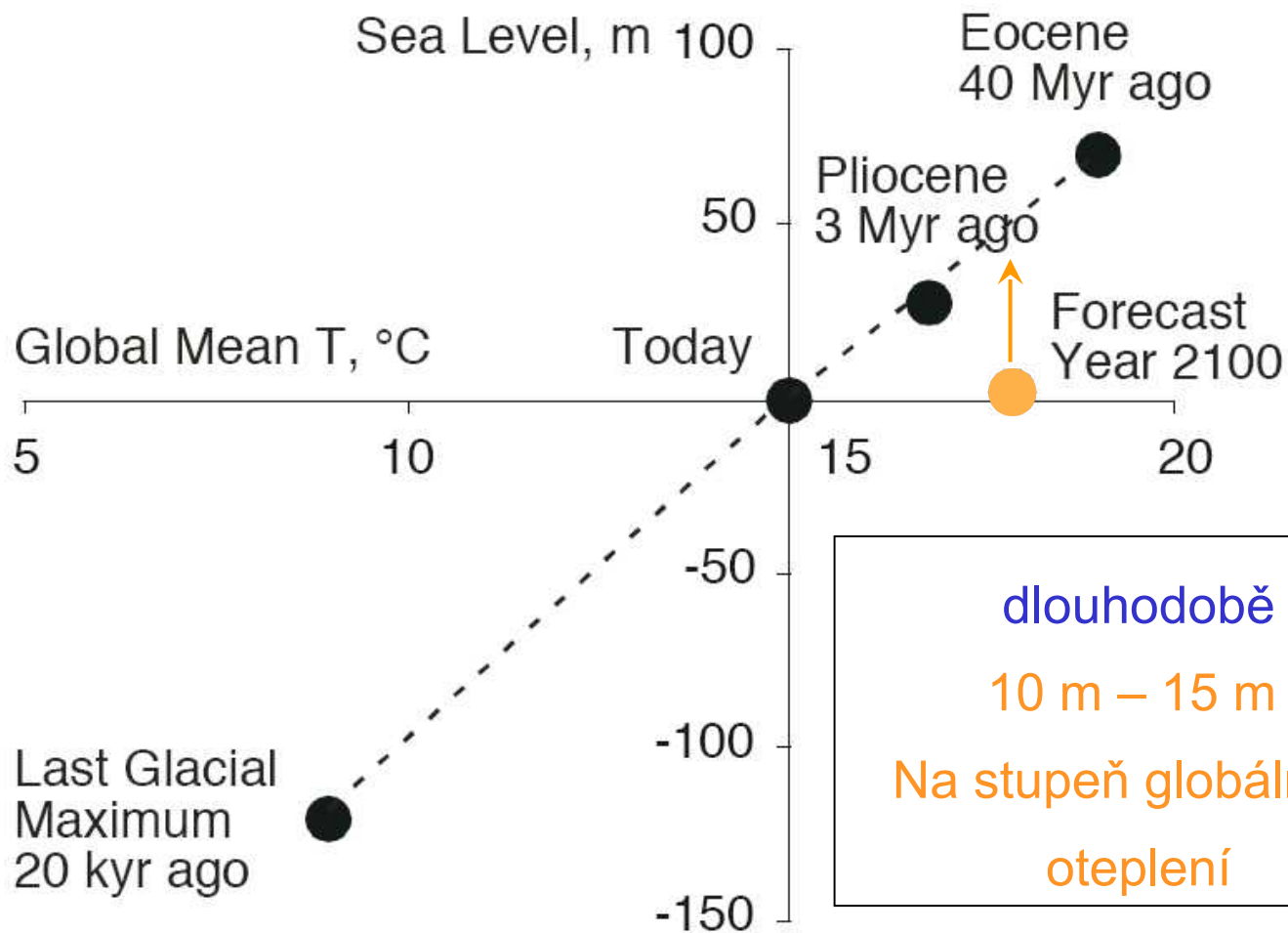


4. březen
2002

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 CO_2 z ovzduší
(pH kleslo v průměru již o 0,1, čili volných protonů přibylo 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



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

➤ Větší srážky v přívalech !

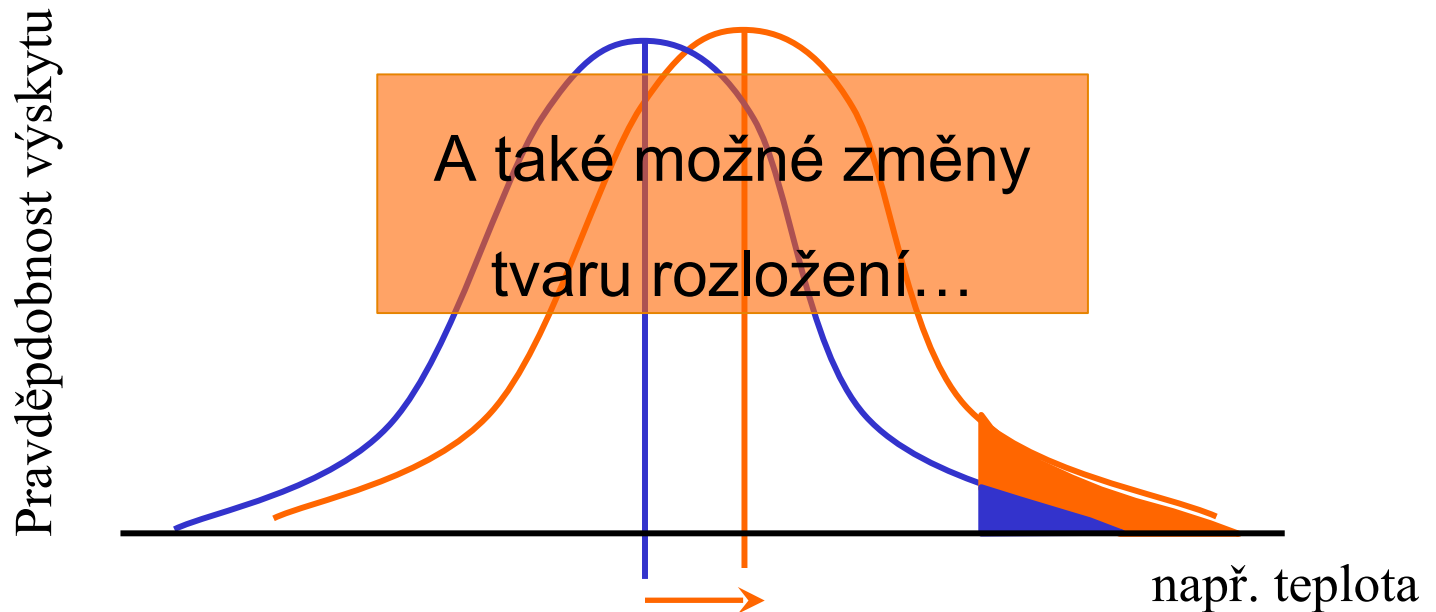
➤ více povodní ?

➤ více such ?



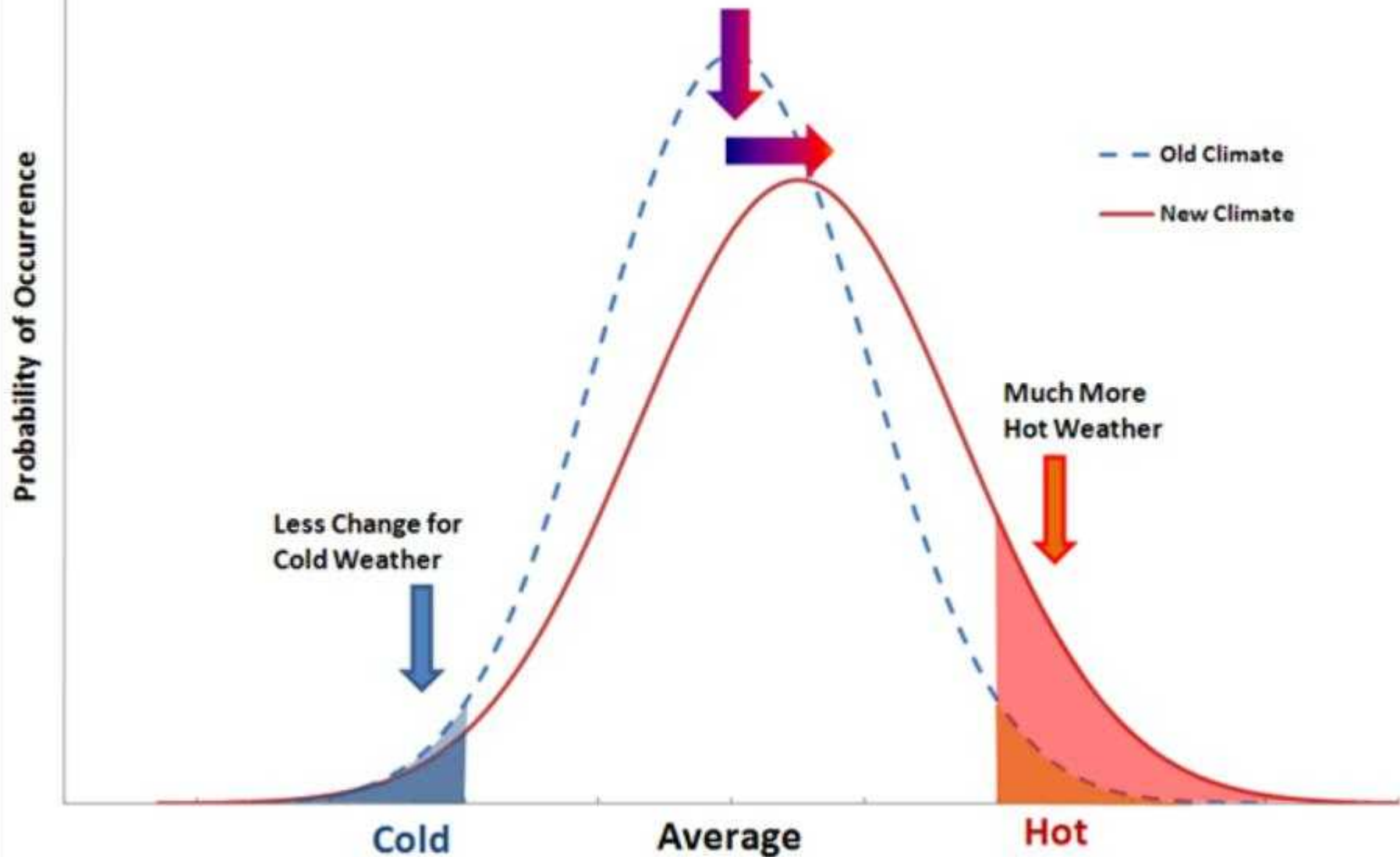
Extrémní události

- Rozložení pravděpodobnosti
 - Výskyt extrémních jevů

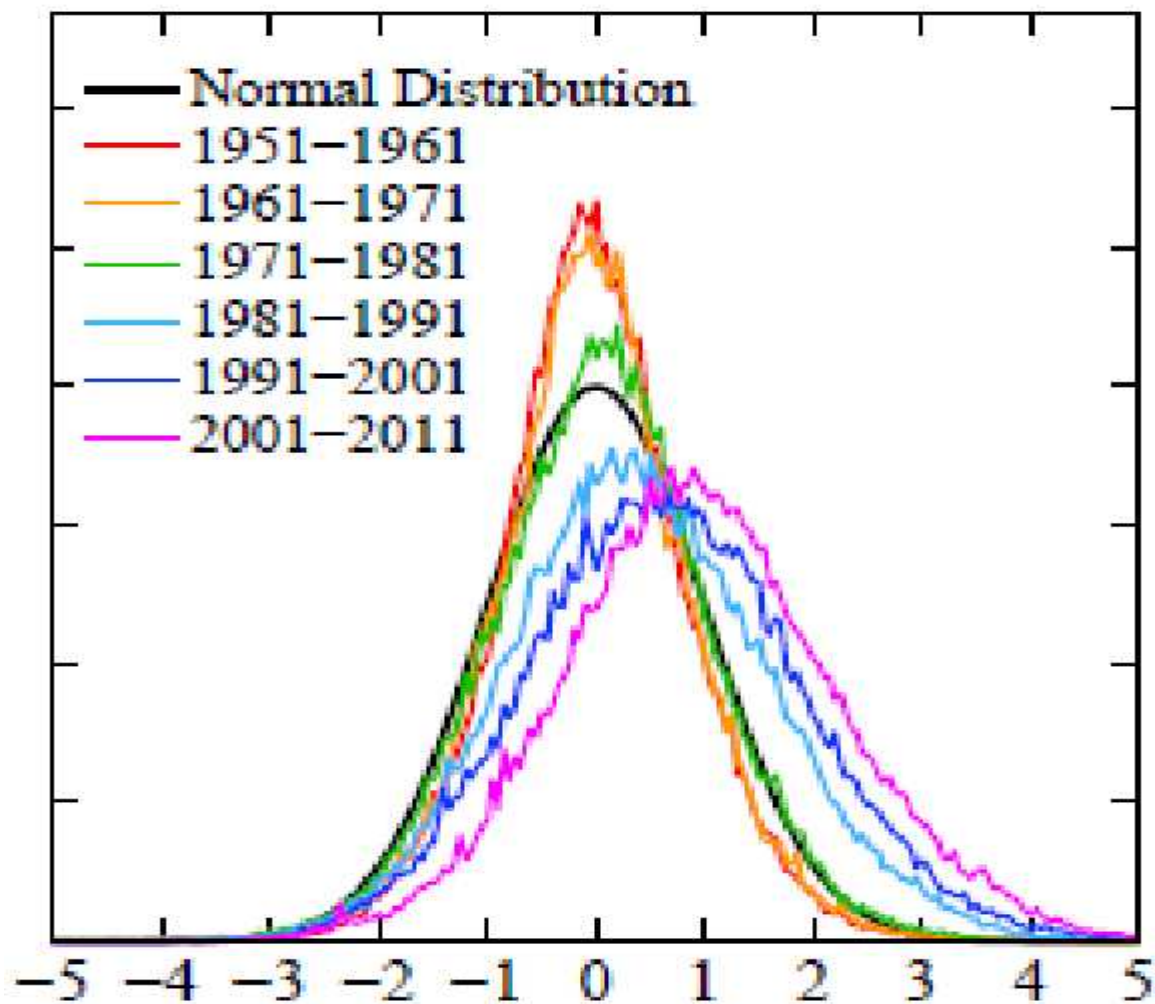


- malý posun střední hodnoty
- mnohem větší nárůst extrémních událostí

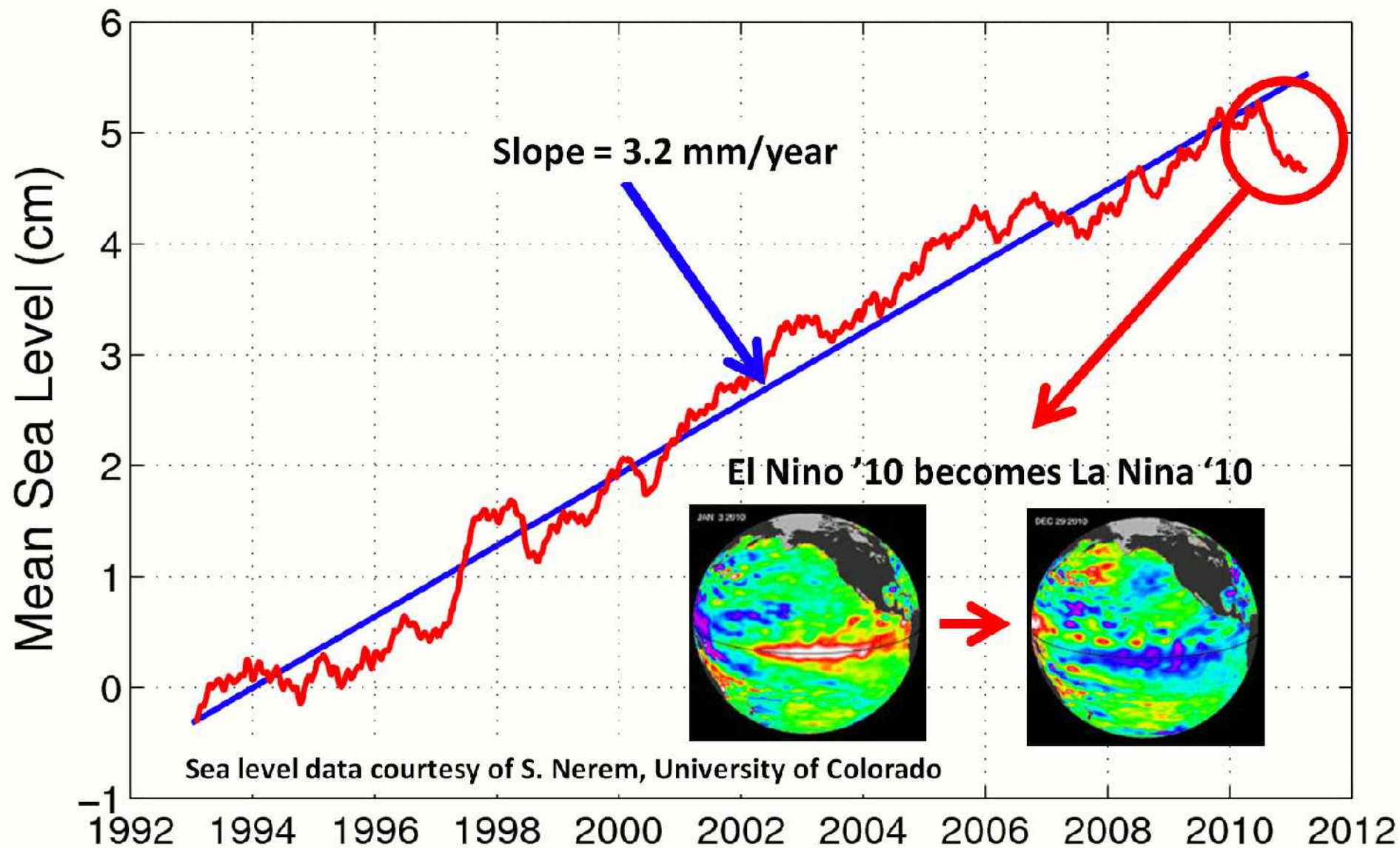
Increase in Mean Temperature and Variance



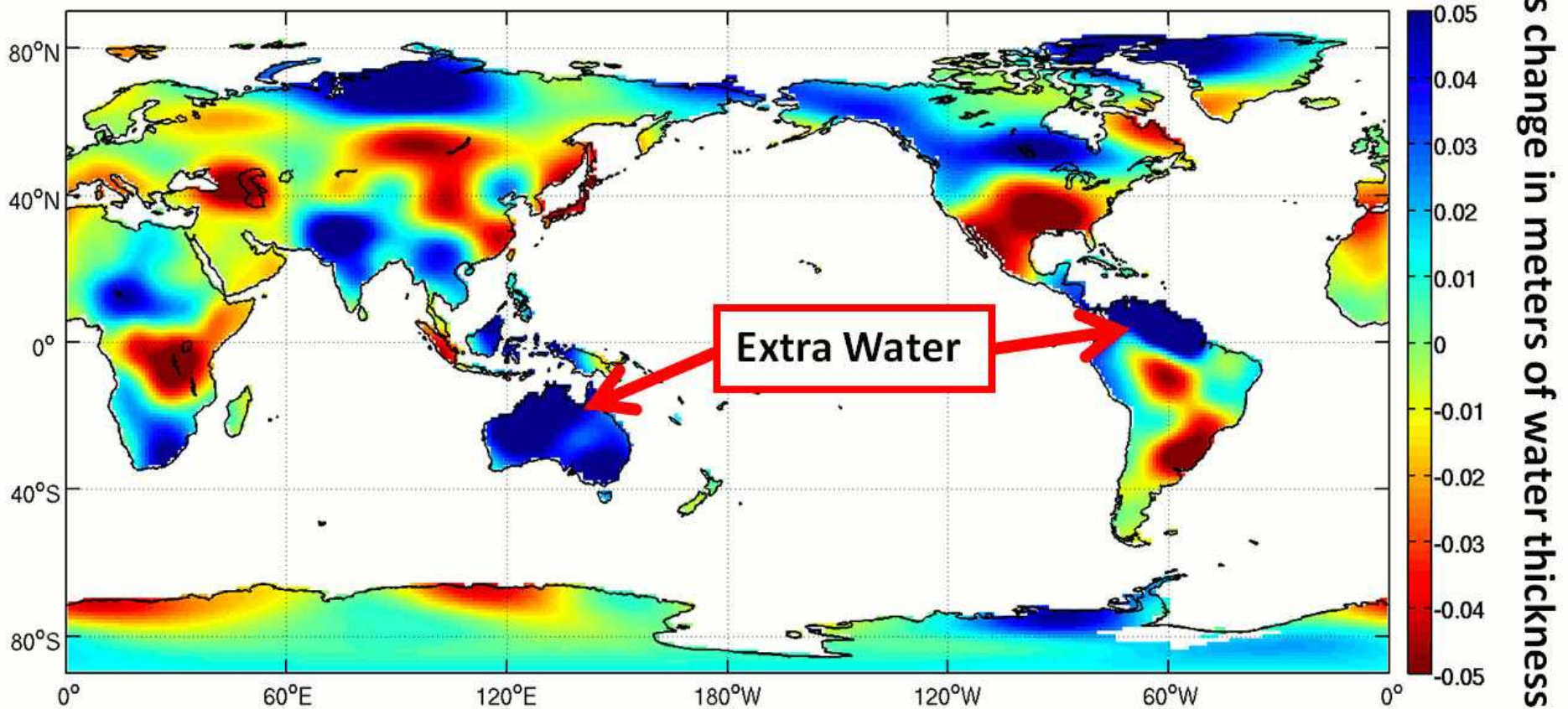
Četnost výskytu (osa Y) místních teplotních odchylek. Vodorovná osa udává teplotní odchylku podělenou standardní deviací pro danou lokalitu, jaká platila v období 1951-1980. Plocha pod každou křivkou je táž. Zdroj: James Hansen, M. Sato and R. Ruedy: Perceptions of Climate Change: The New Climate Dice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



Global Sea Level Drops 6 mm in 2010



GRACE Shows Change in Water from March 2010 to March 2011

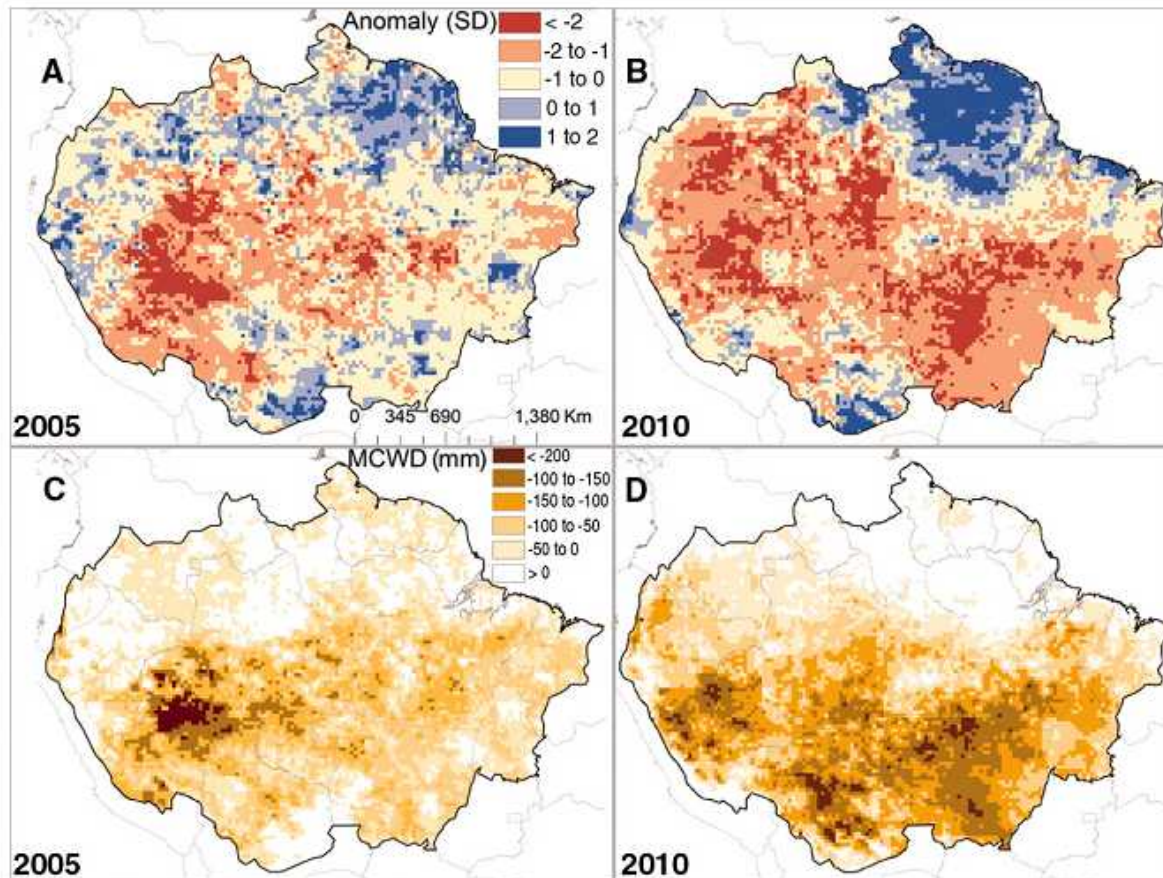




Wild fires in Greece, August 2007

Source: spiegel.de

Amazon – from carbon sink to carbon source? - the 2005 & 2010 droughts



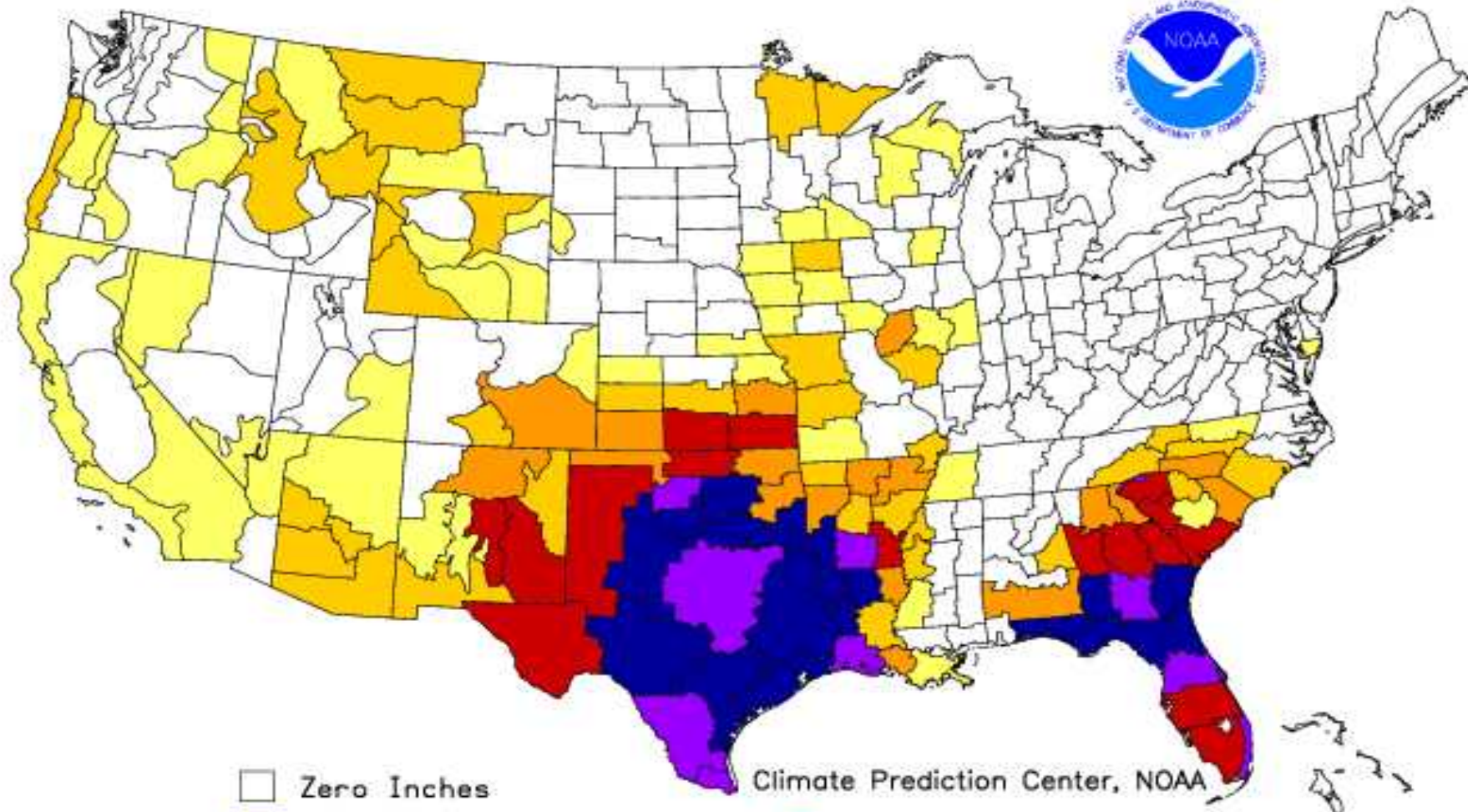
A & B = anomaly of dry season rainfall from decadal mean





C & D = maximum climatological water deficit from decadal mean

2010 emissions release due to drought may have been in excess of 5 billion tonnes CO₂




= 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)

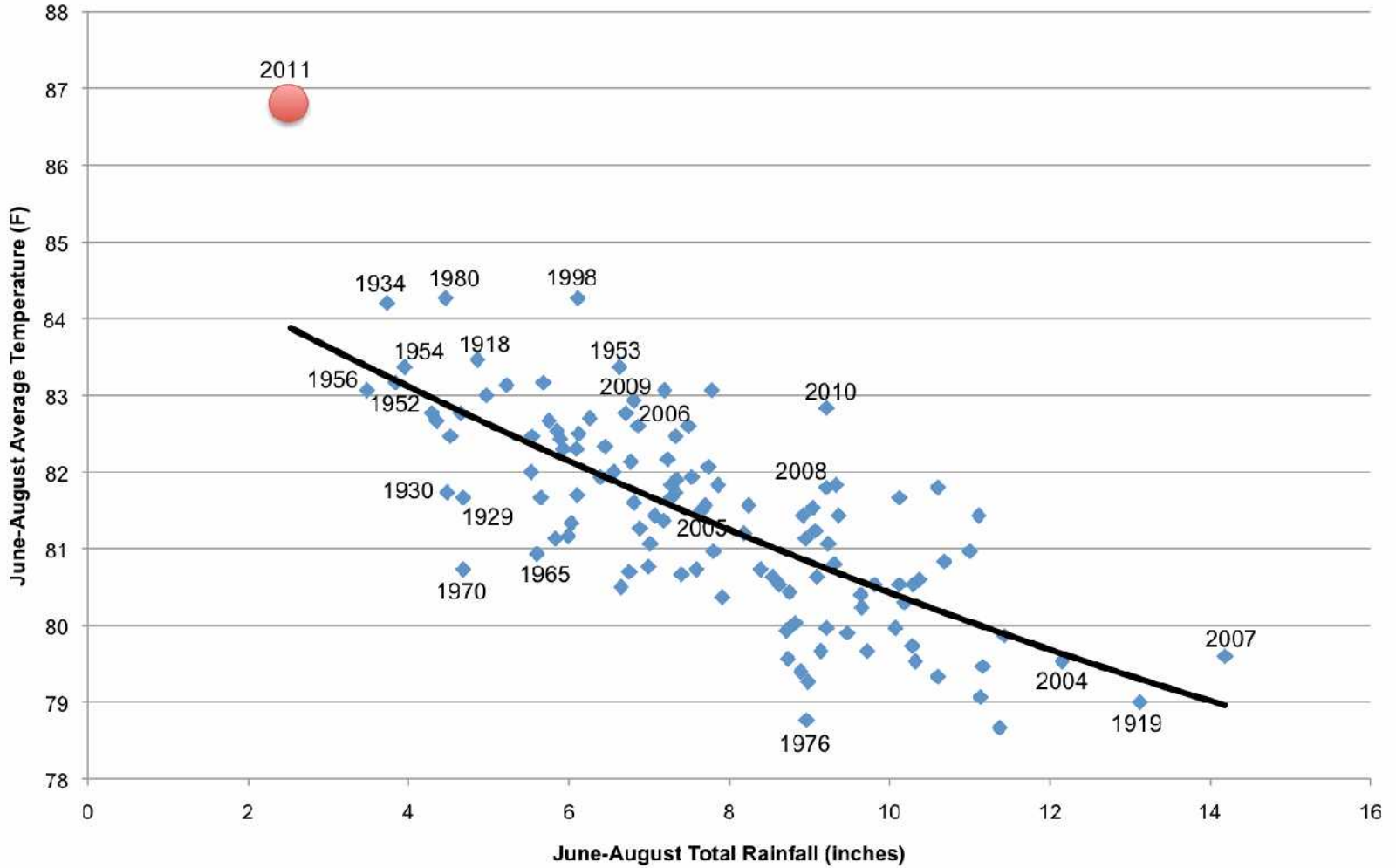


-  Zero Inches
-  Trace to 3 Inches
-  3 to 6 Inches
-  6 to 9 Inches

Climate Prediction Center, NOAA

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

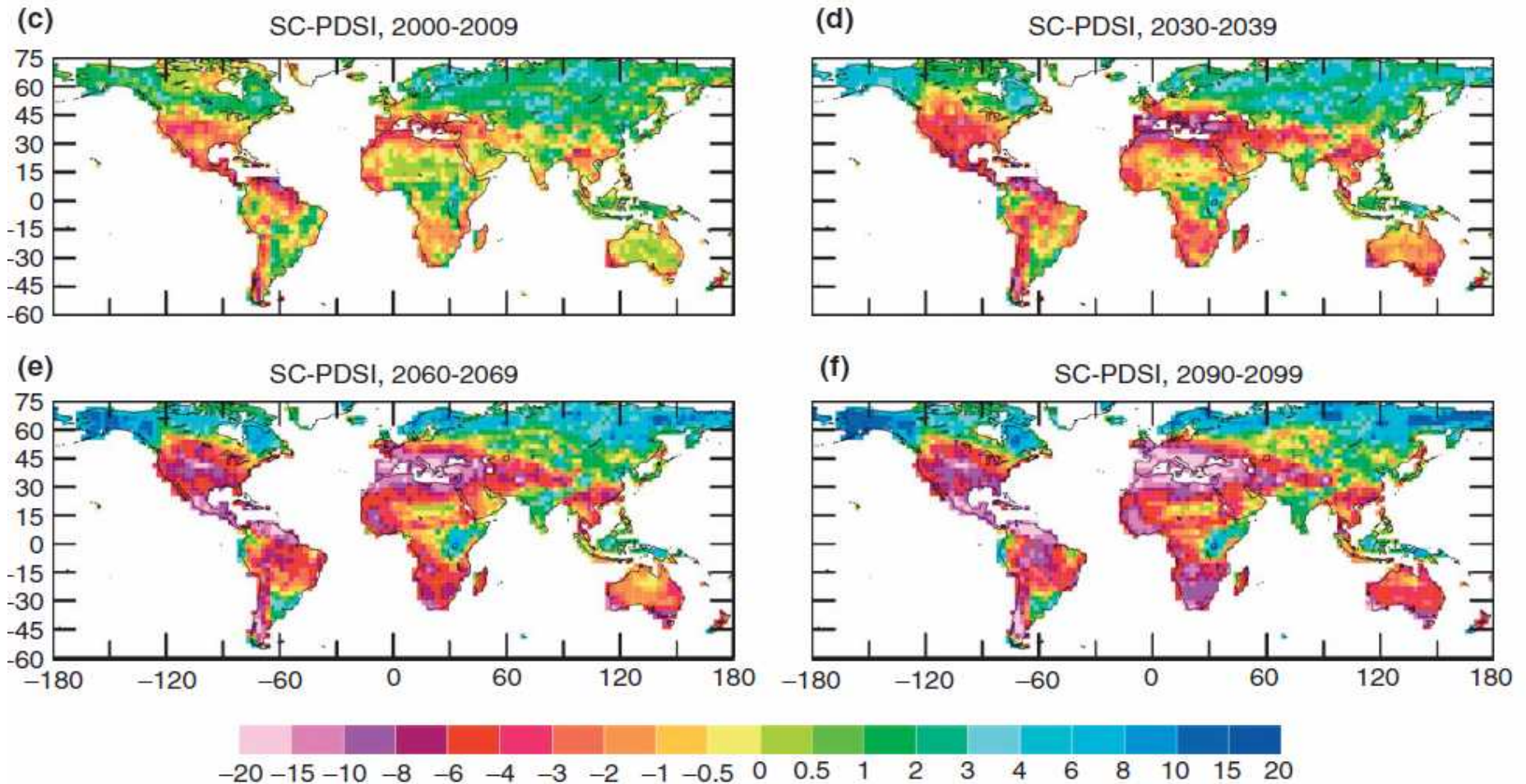
Texas Summers



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

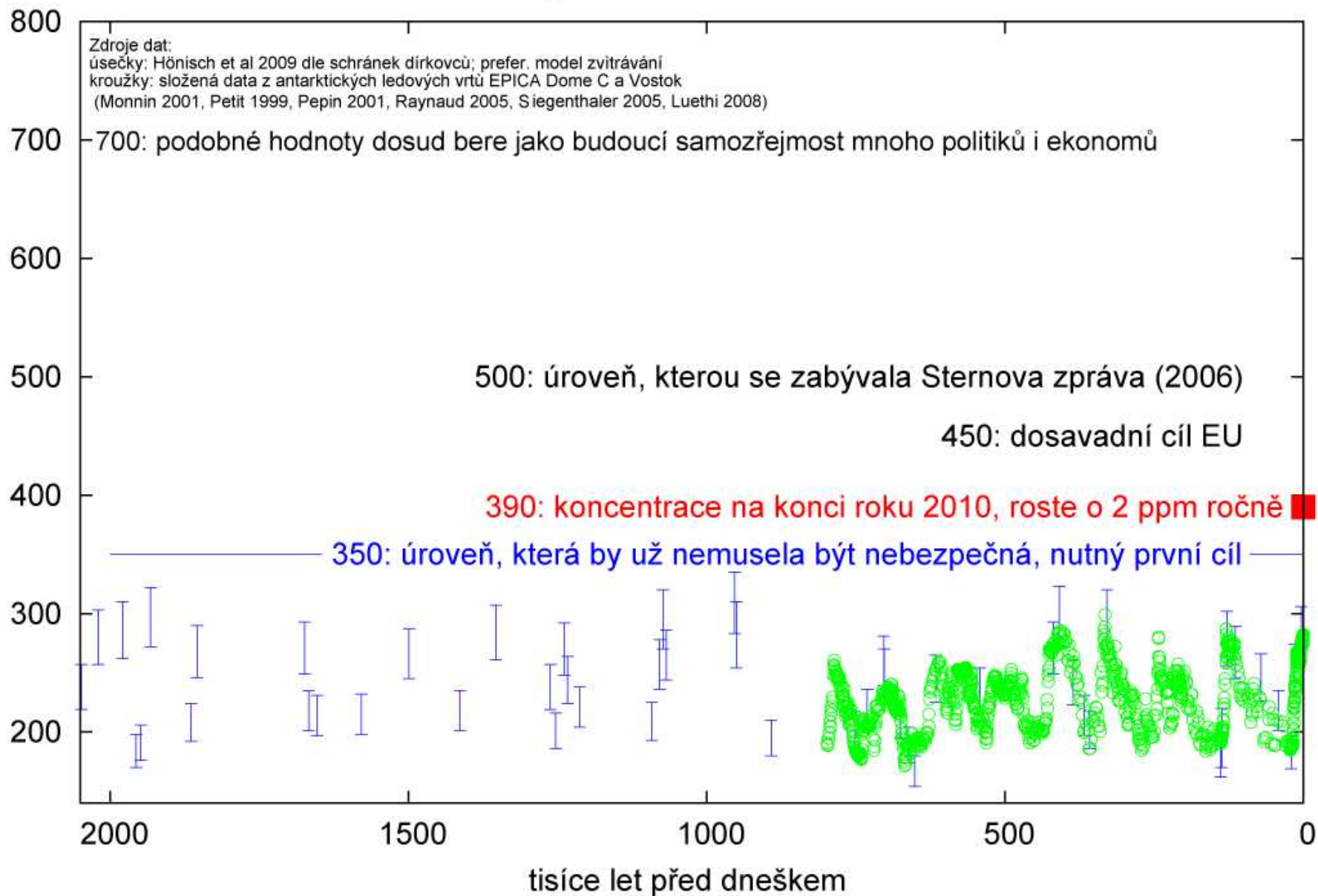
Regionální poruchy klimatu

častější extrémní události
posun vegetačních pásem / 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 CO₂ během čtvrtohor, dnes a ...zítra?



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

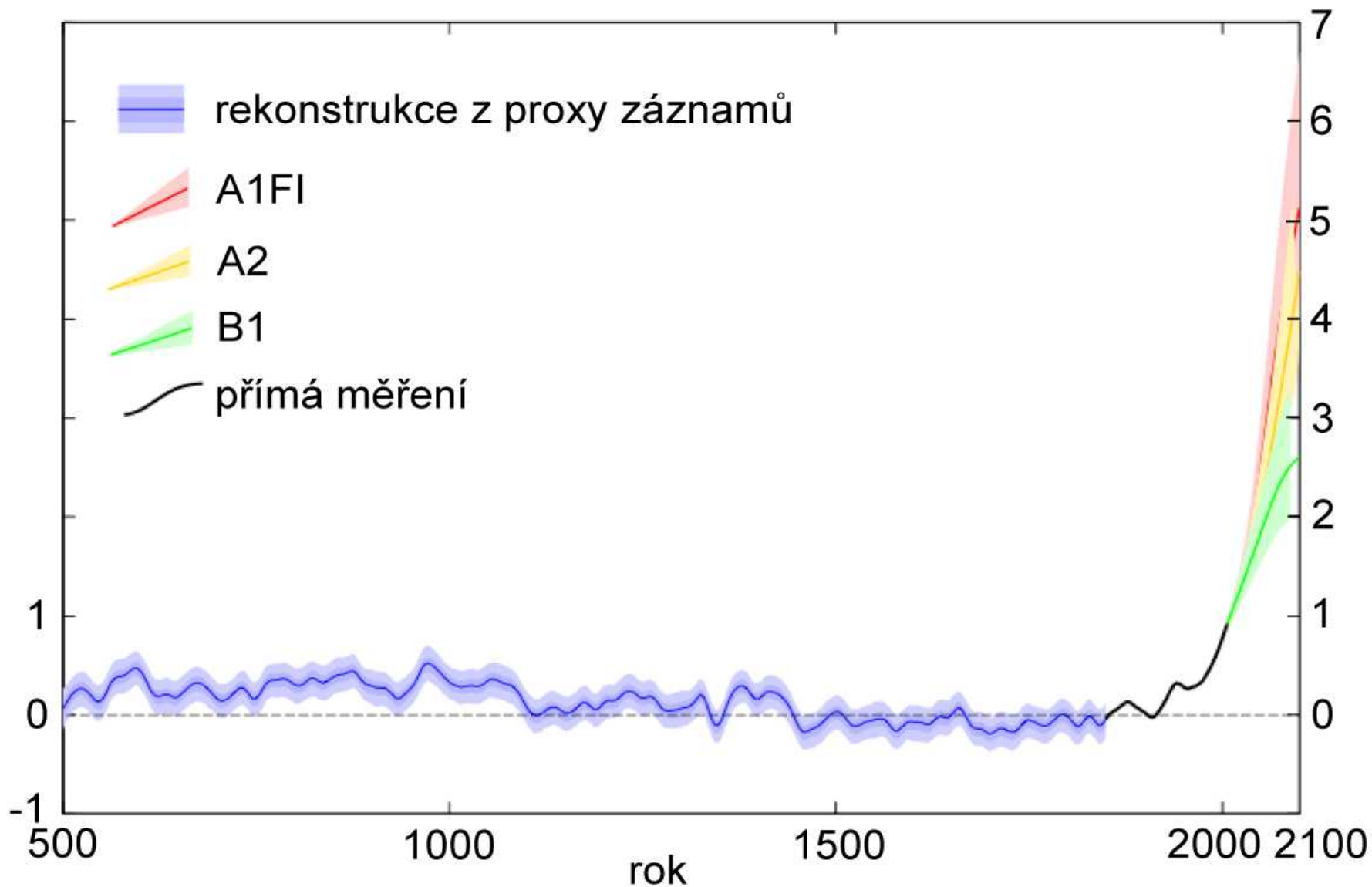
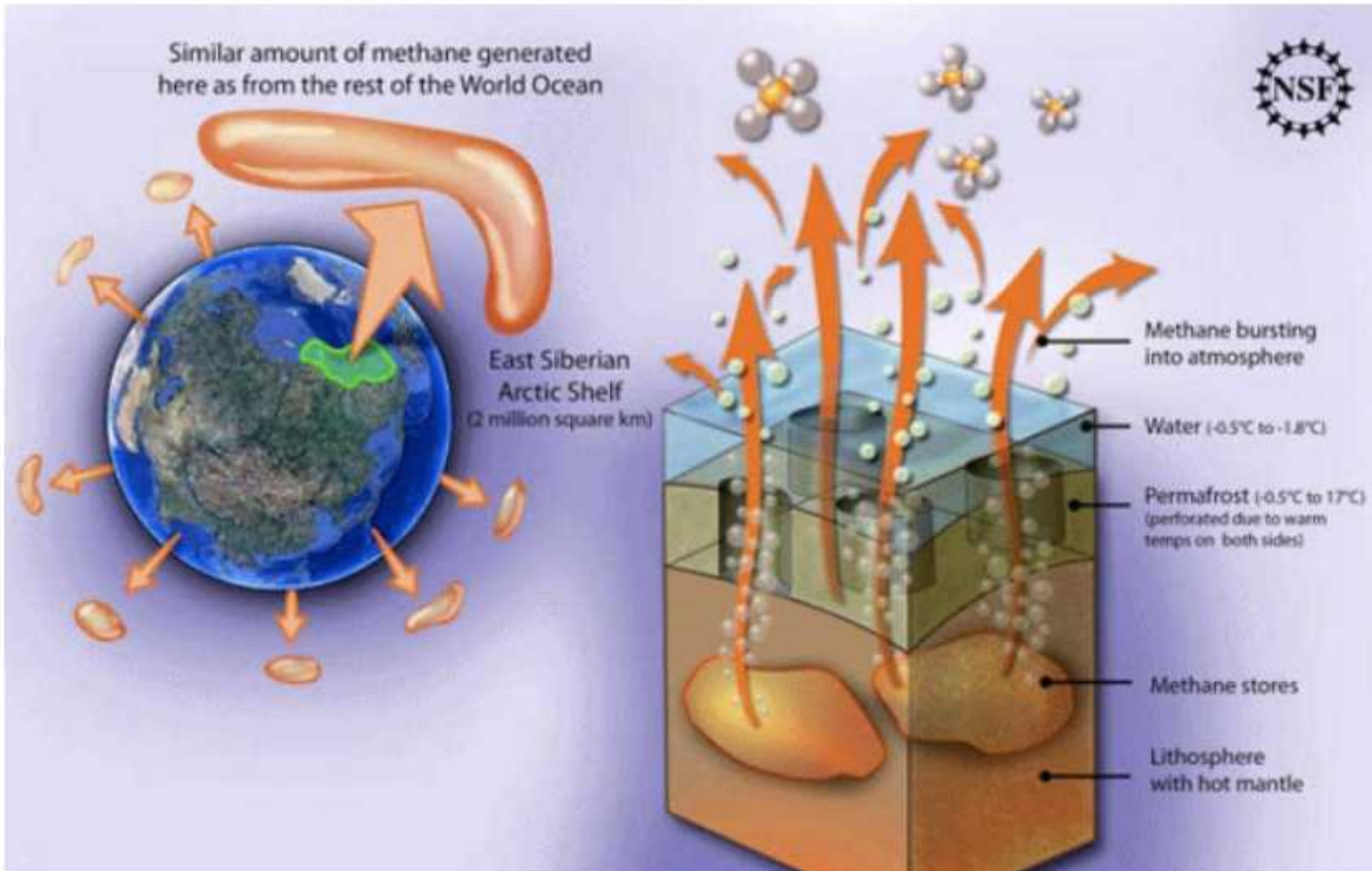


Figure 21: Rekonstruované a pozorované změny teplot a projekce do budoucna

Obsah uhlíku ve světových půdách



Arctic Methane Emissions



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

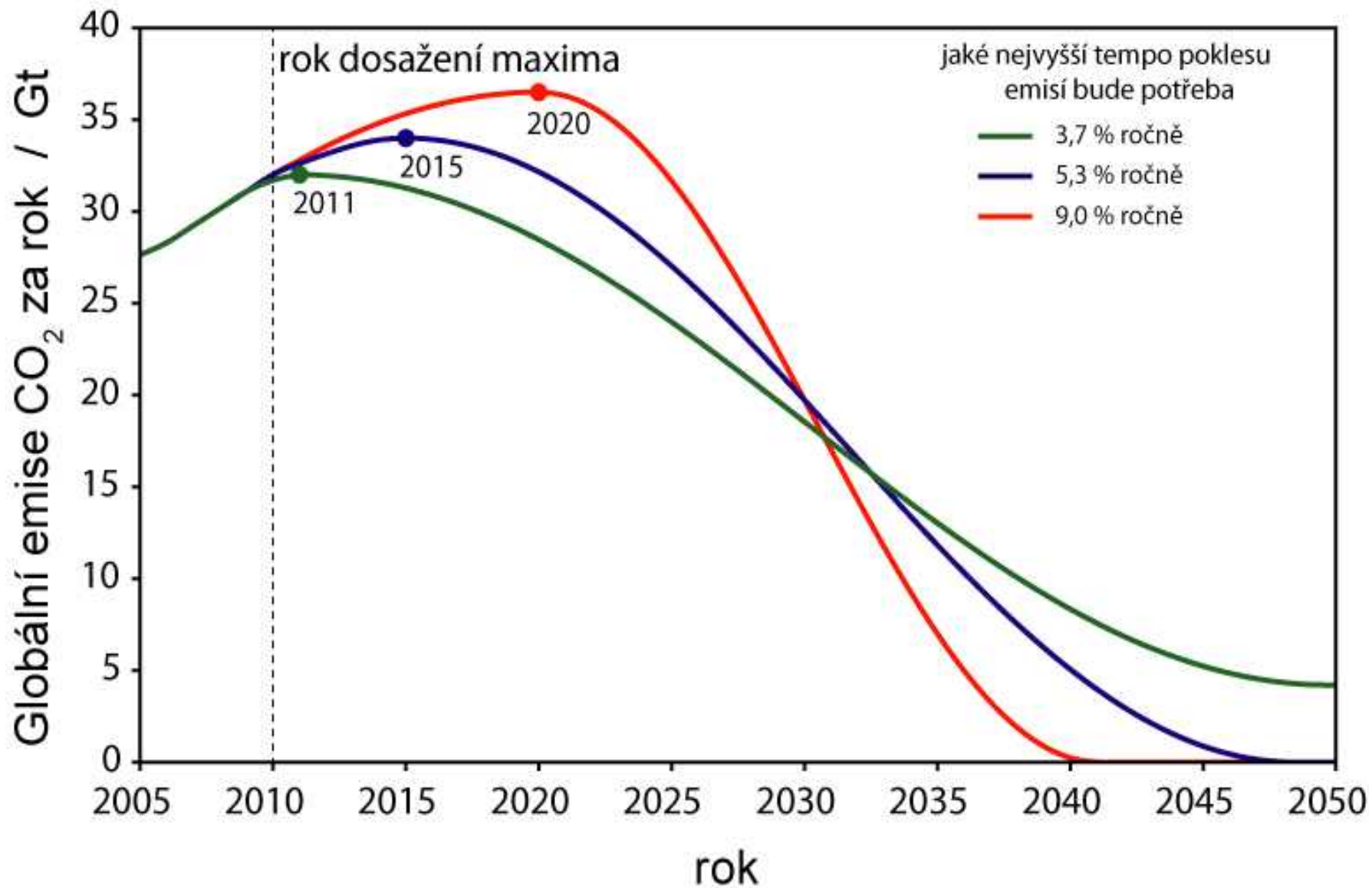
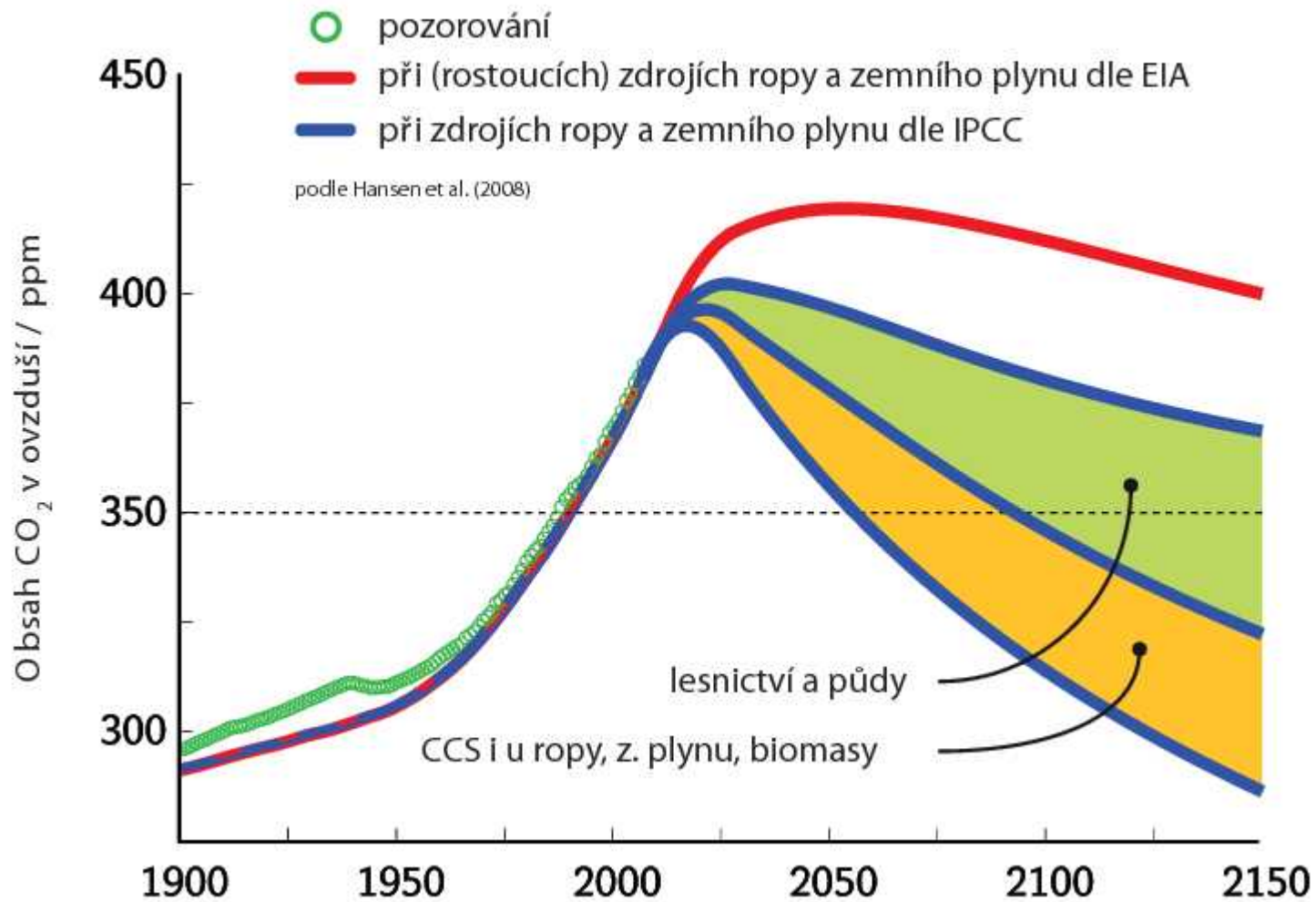


Figure 22: Vývoj emisí, který by dával naději 67 %, že globální oteplení nepřesáhne 2 °C

Cíl pro CO₂:

< 350 ppm

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



Cíl ubrat CO₂ pod 350 ppm

Technicky splnitelný

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

Kritický je rychlý ústup od uhlí

(dlouhá životnost CO₂ v ovzduší)

(nutno zastavit budování nových uhelných elektráren, které CO₂ 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
- www.zmenaklimatu.cz
- <http://amper.ped.muni.cz/gw>
 - 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)