

Globalne ocieplenie,
pokrywa lodowa Arktyki
i długa zima w Polsce.
Czy jest związek?

**Uwaga. Druga część wykładu
BĘDZIE TRUDNA!!!**

Szymon Malinowski
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

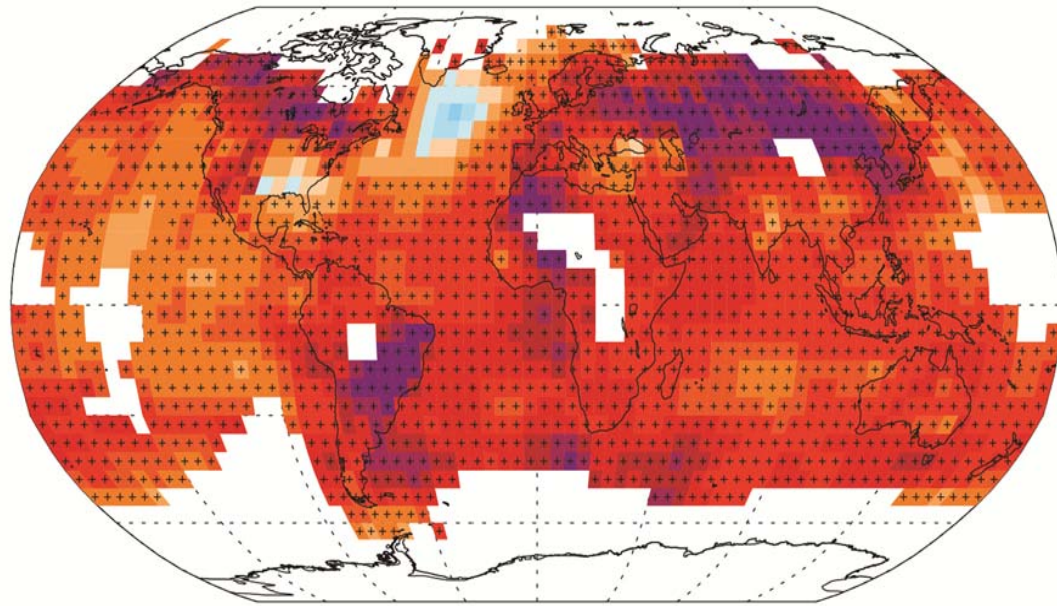
Festiwal Nauki, 28 września



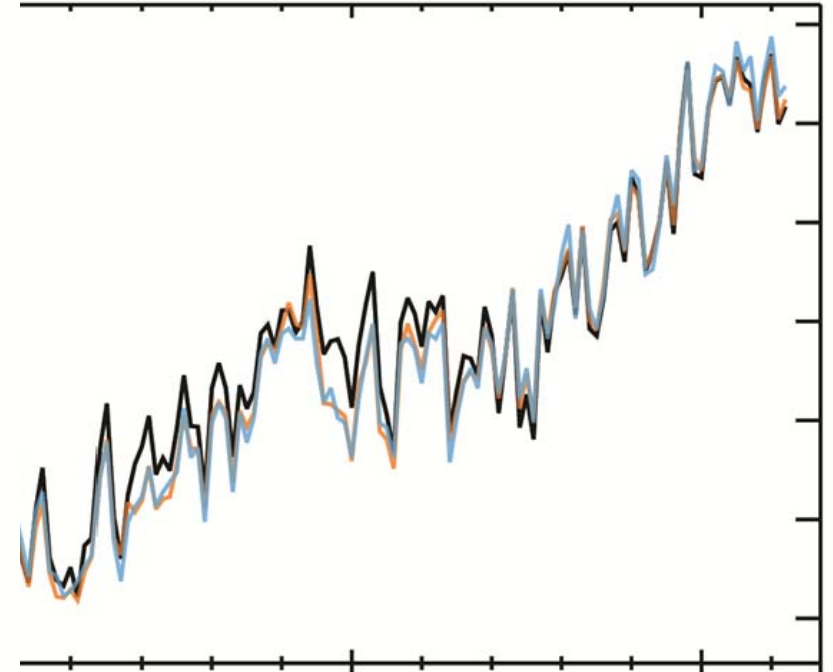
Observed globally averaged combined land and ocean surface temperature anomaly 1850–2012

(a)

Observed change in average surface temperature 1901–2012

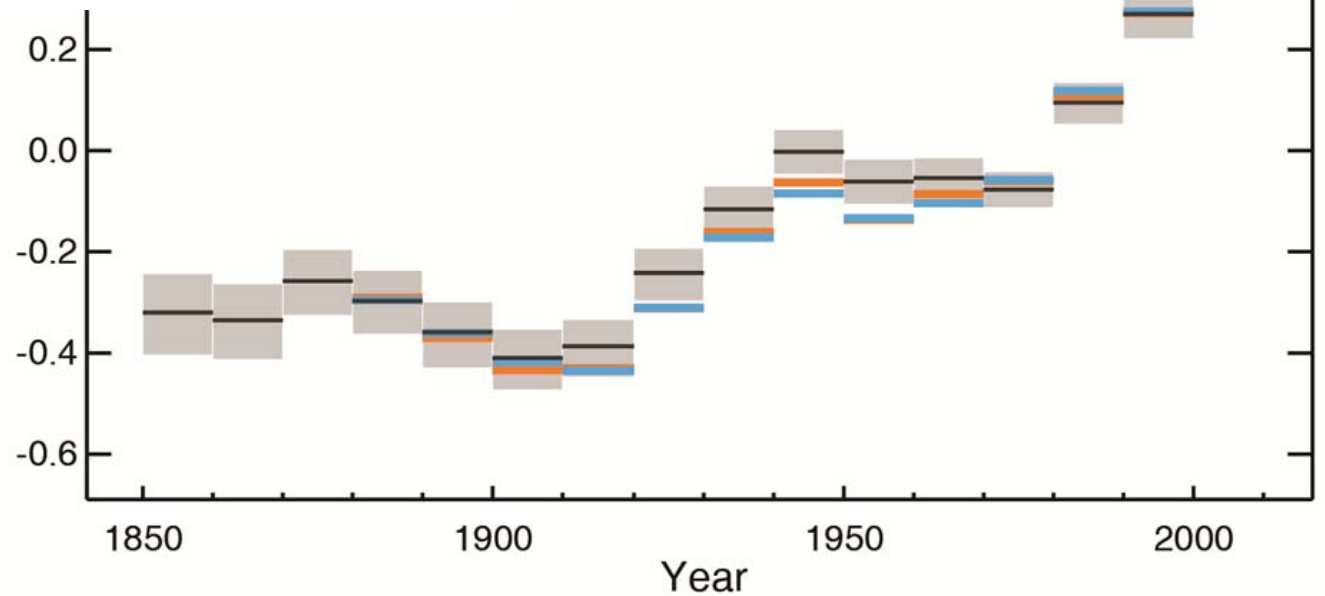


Trend (°C over period)

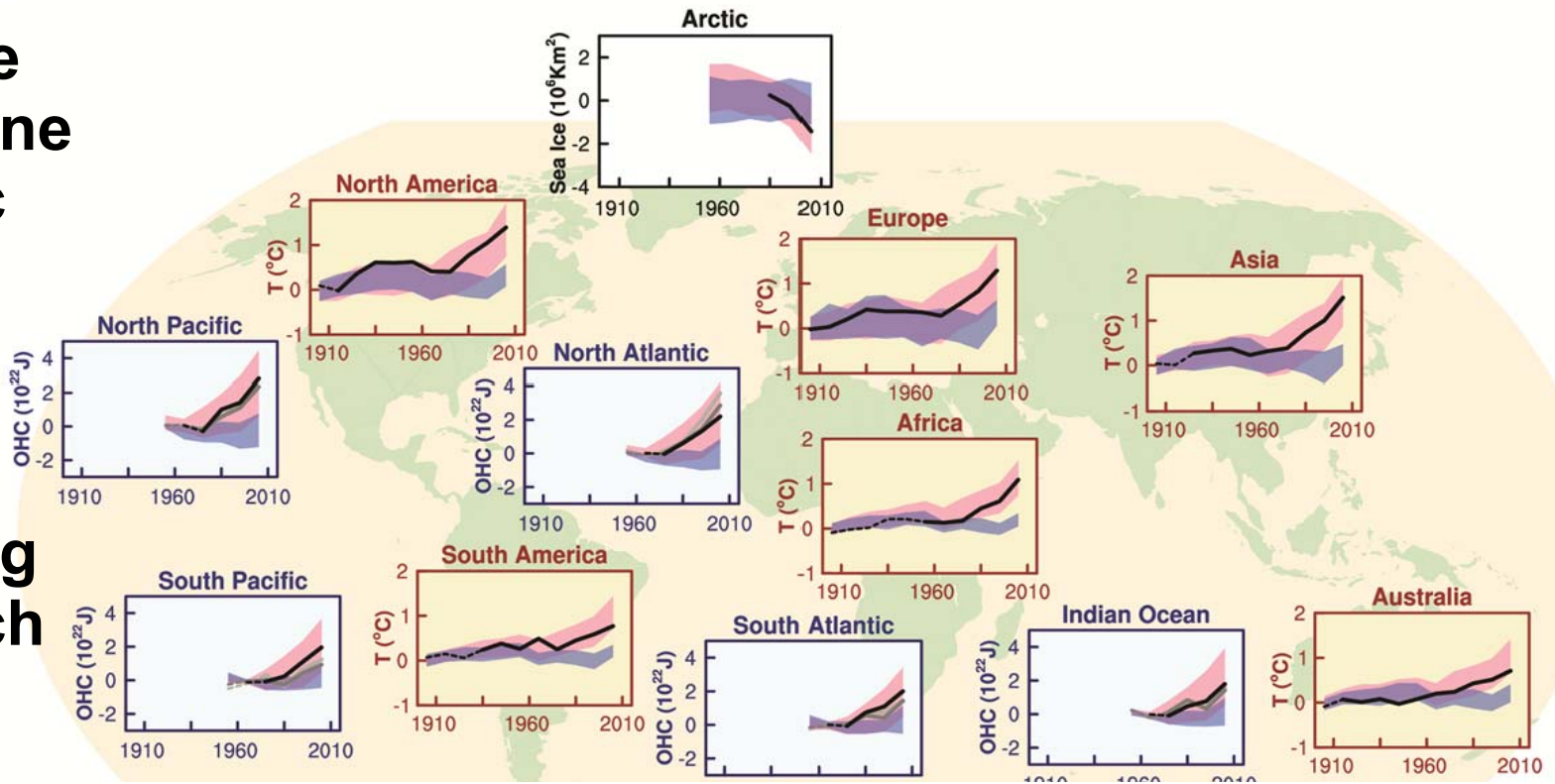


Ocieplenie klimatu jest bezdyskusyjne, wiele zmian obserwowanych po 1950 roku jest bez precedensu w okresie sięgającym tysiące lat wstecz.

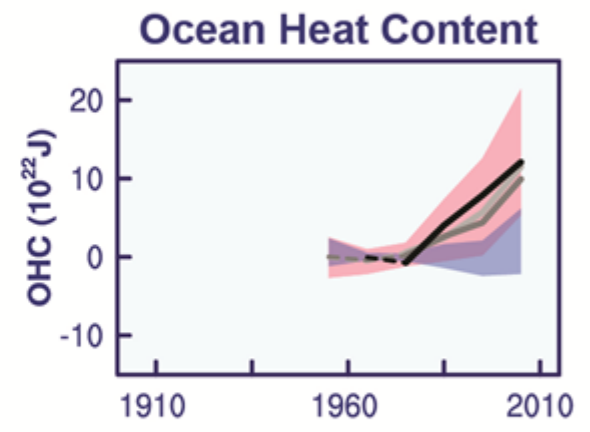
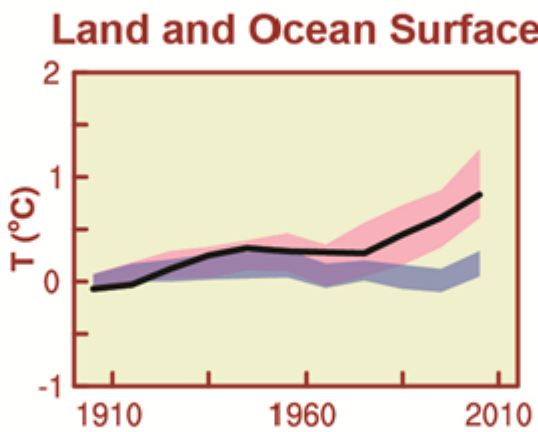
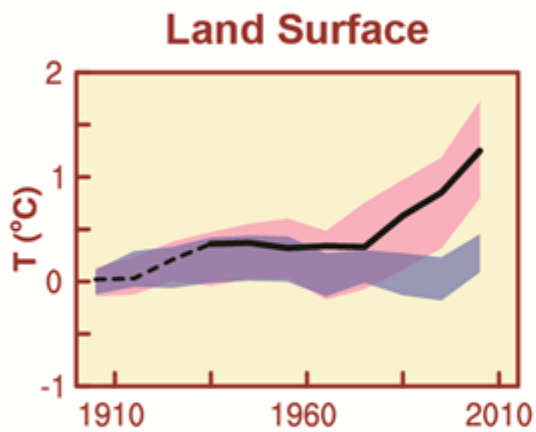
Anoi



Jest niezwykle prawdopodobne że działalność ludzka jest dominującą przyczyną ocieplenia obserwowanego od lat 50-tych XX wieku.



Global Averages



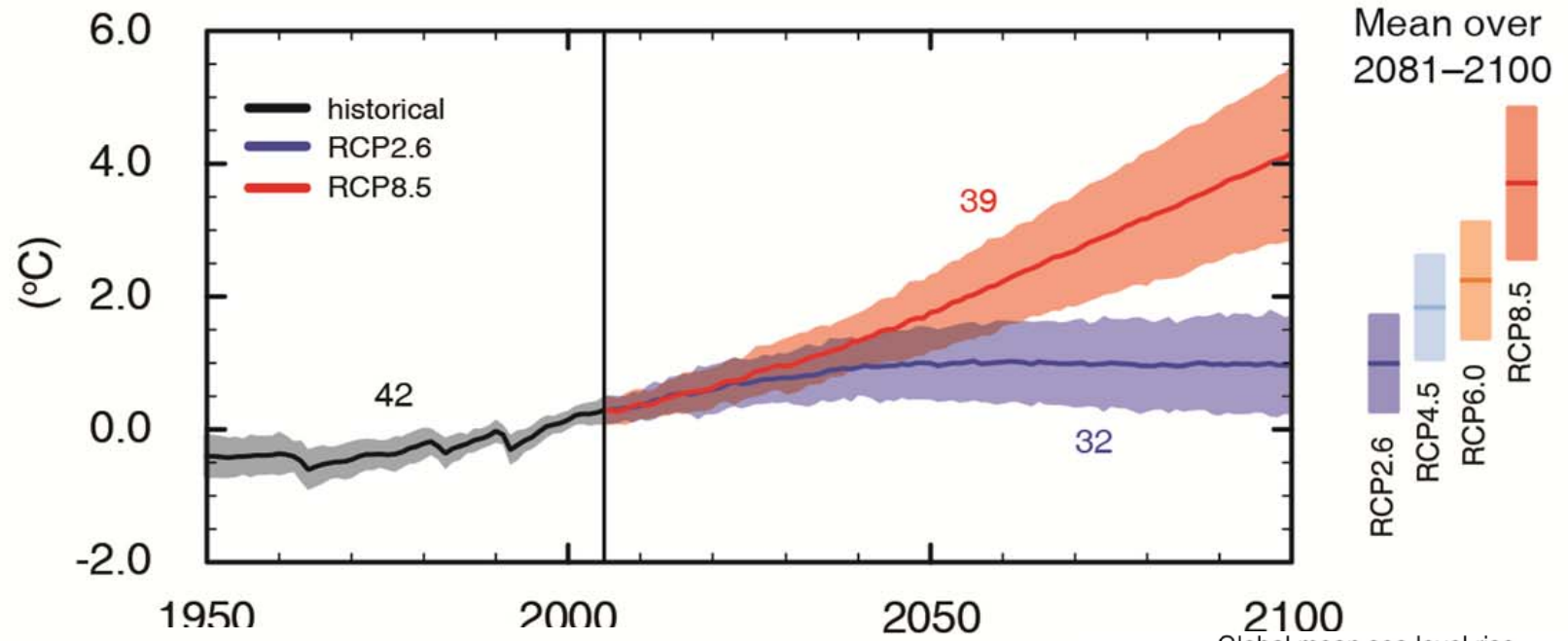
— Observations

■ Models using only natural forcings

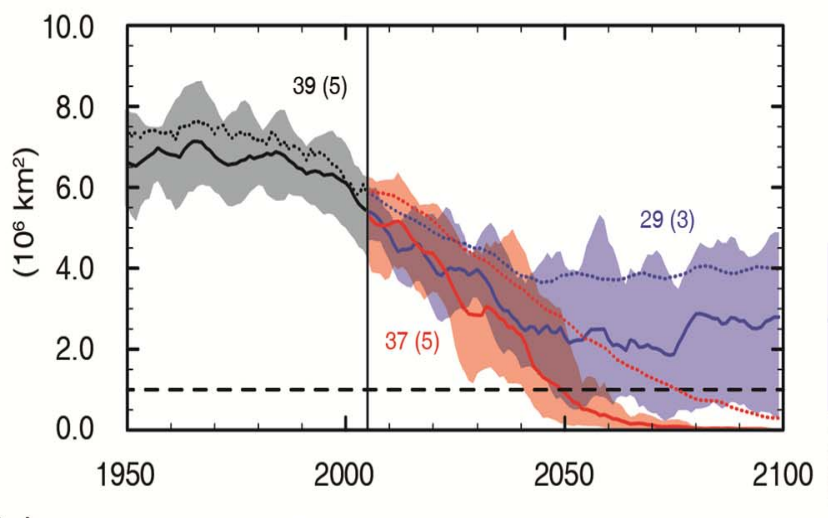
■ Models using both natural and anthropogenic forcings

Kontynuacja emisji gazów cieplarnianych przyniesie dalszy wzrost temperatur i zmiany we wszystkich elementach systemu klimatycznego. Ograniczenie tych zmian będzie wymagać znaczących i długotrwałych redukcji emisji gazów cieplarnianych.

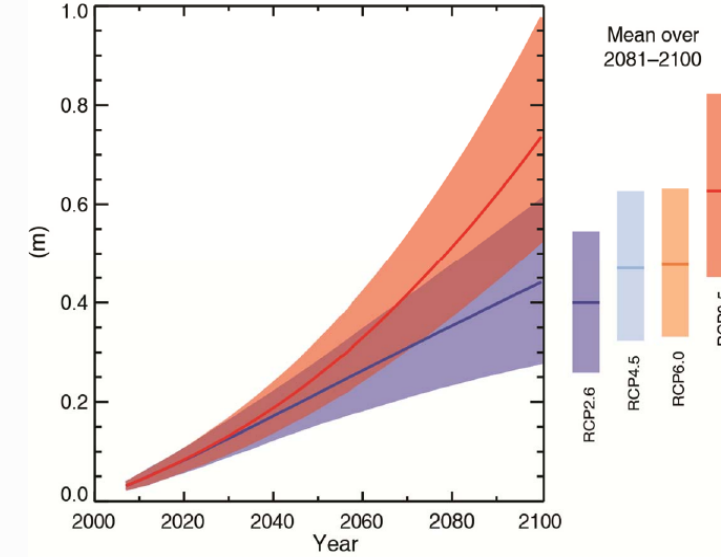
(a) Global average surface temperature change



(b) Northern Hemisphere September sea ice extent



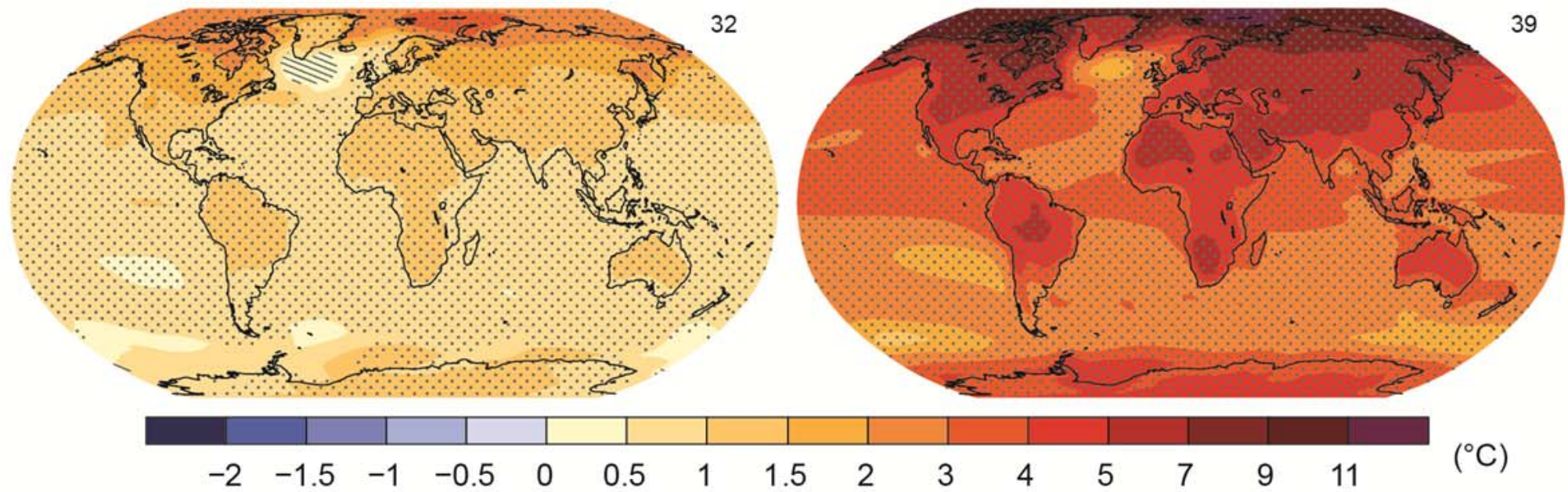
Global mean sea level rise



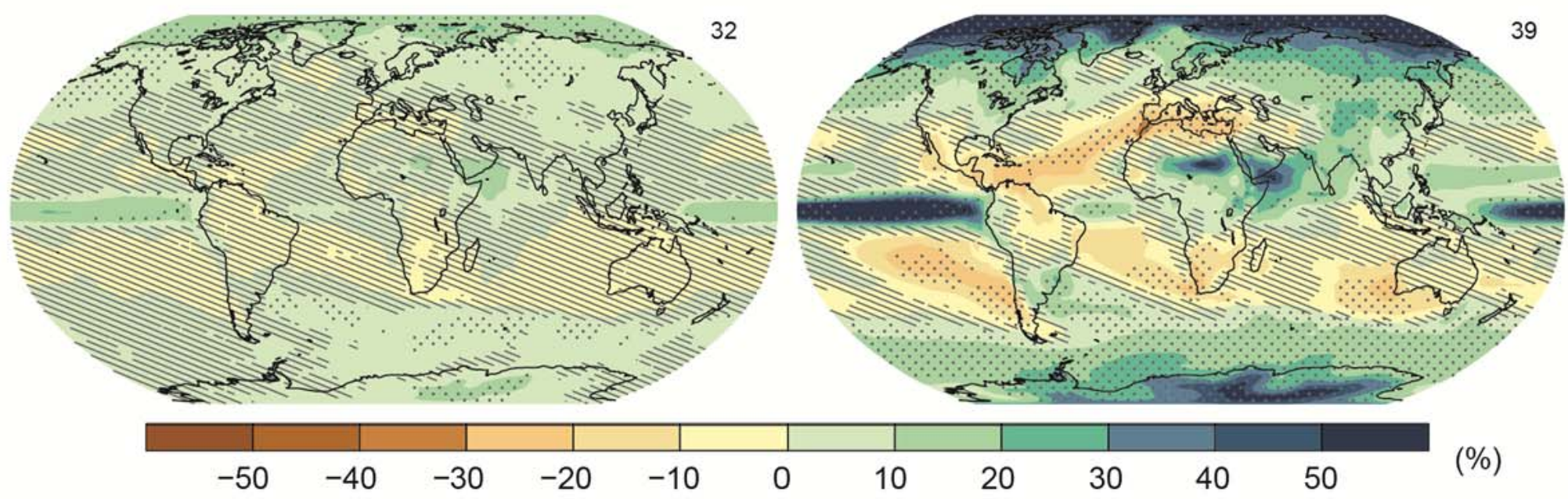
RCP 2.6

RCP 8.5

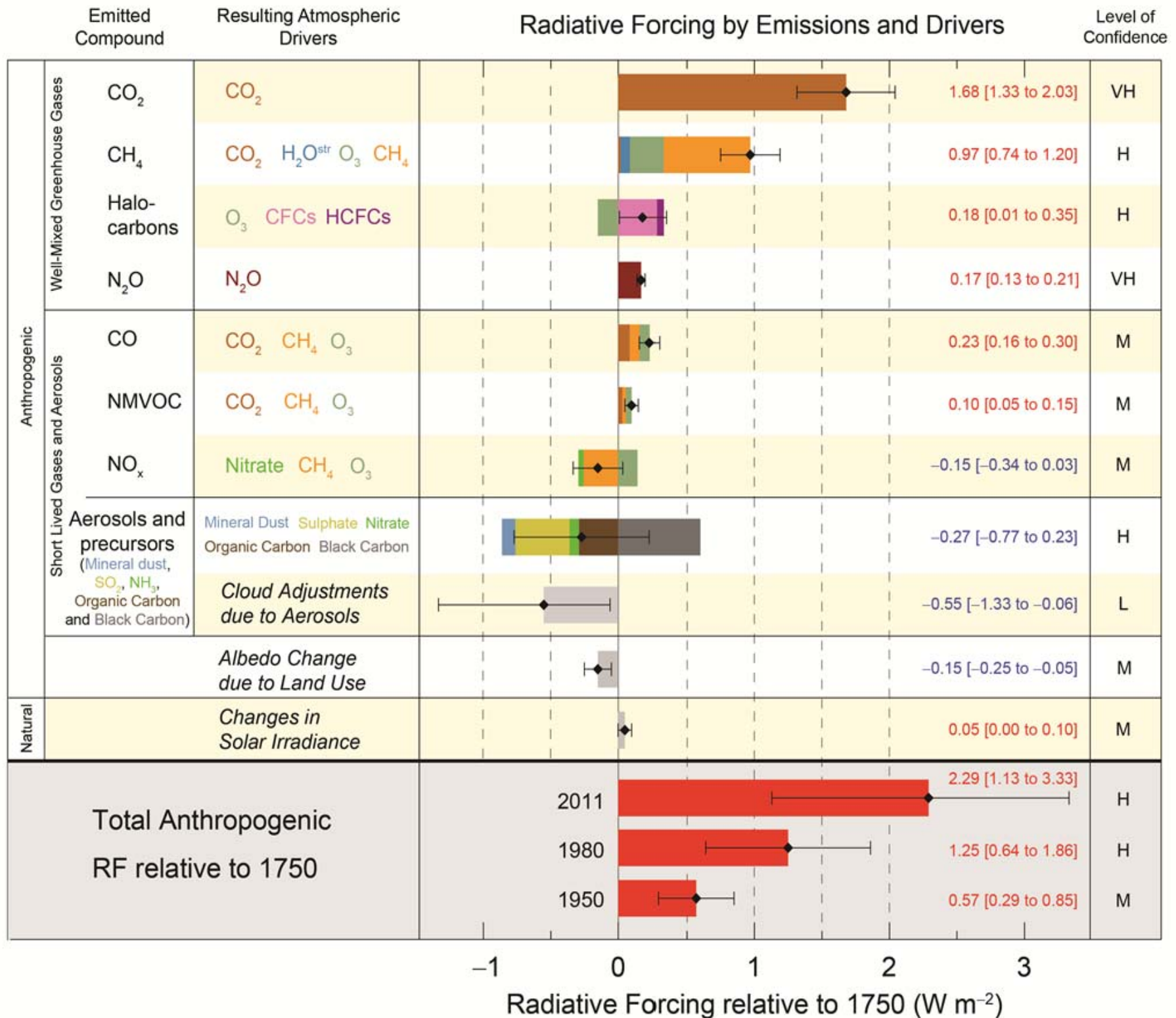
(a) Change in average surface temperature (1986–2005 to 2081–2100)



(b) Change in average precipitation (1986–2005 to 2081–2100)

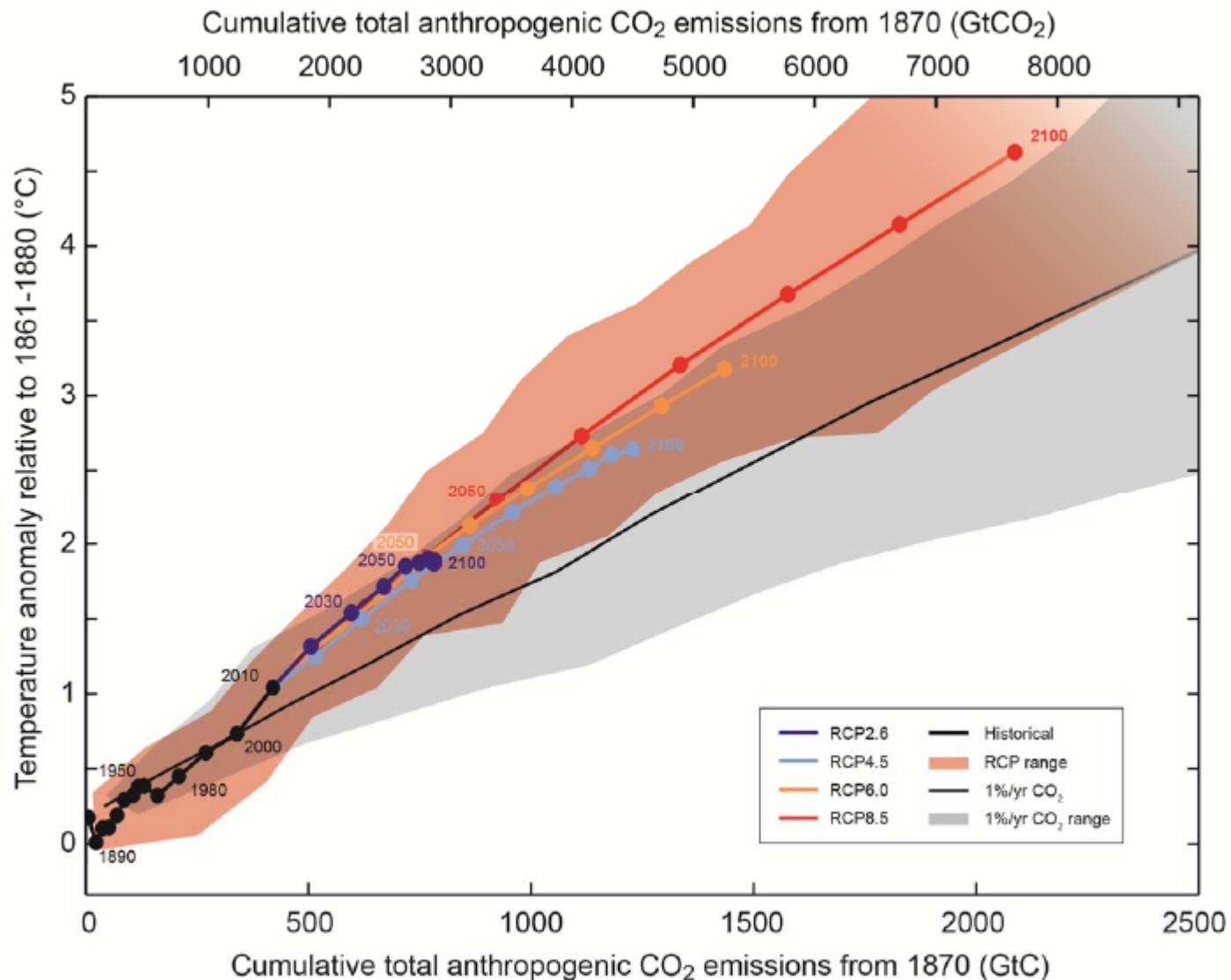


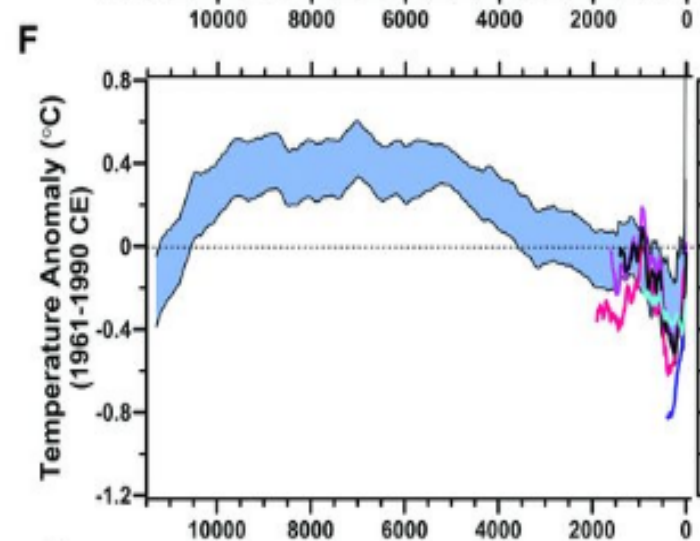
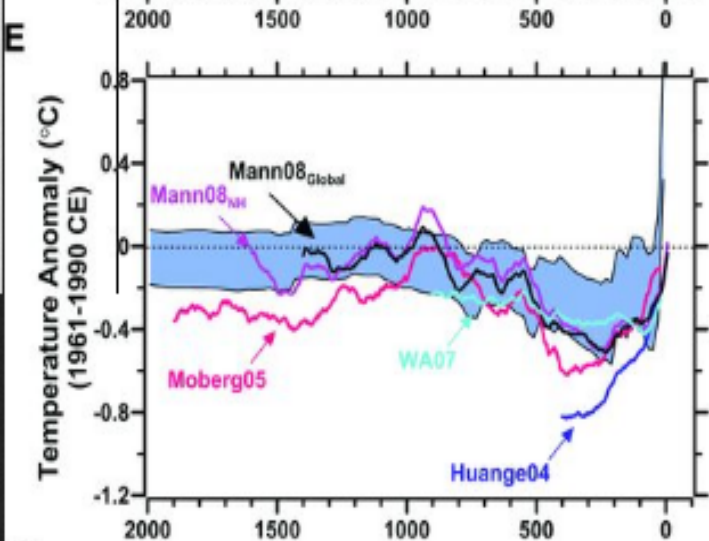
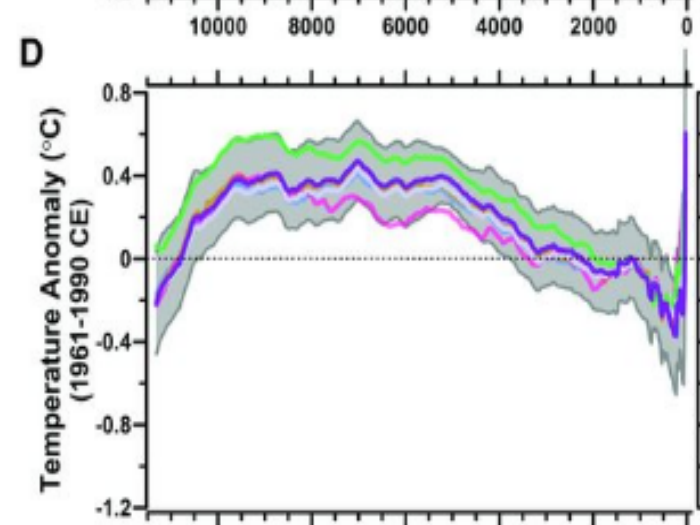
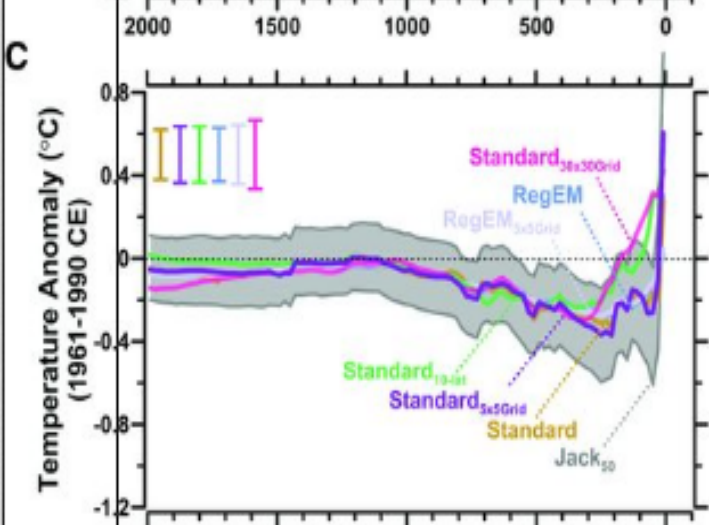
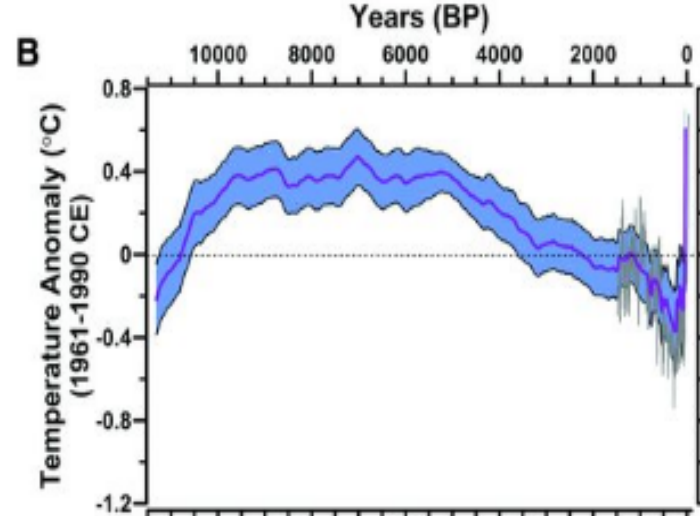
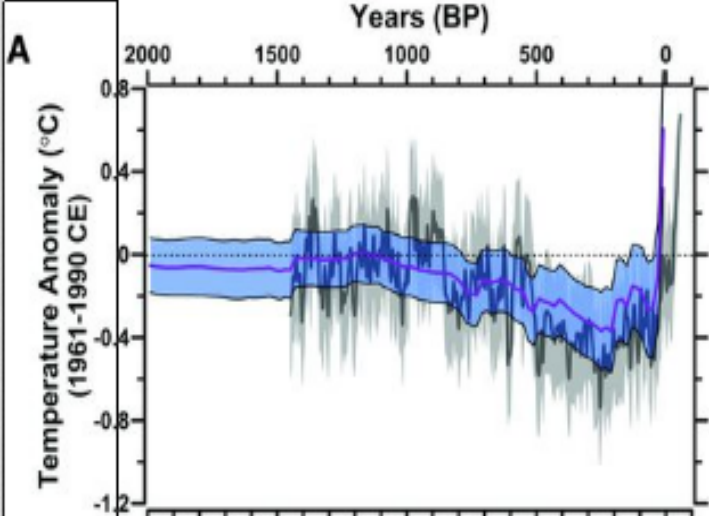
Radiative Forcing by Emissions and Drivers



E.8 Climate Stabilization, Climate Change Commitment and Irreversibility

Cumulative emissions of CO₂ largely determine global mean surface warming by the late 21st century and beyond (see Figure SPM.10). Most aspects of climate change will persist for many centuries even if emissions of CO₂ are stopped. This represents a substantial multi-century climate change commitment created by past, present and future emissions of CO₂. {12.5}





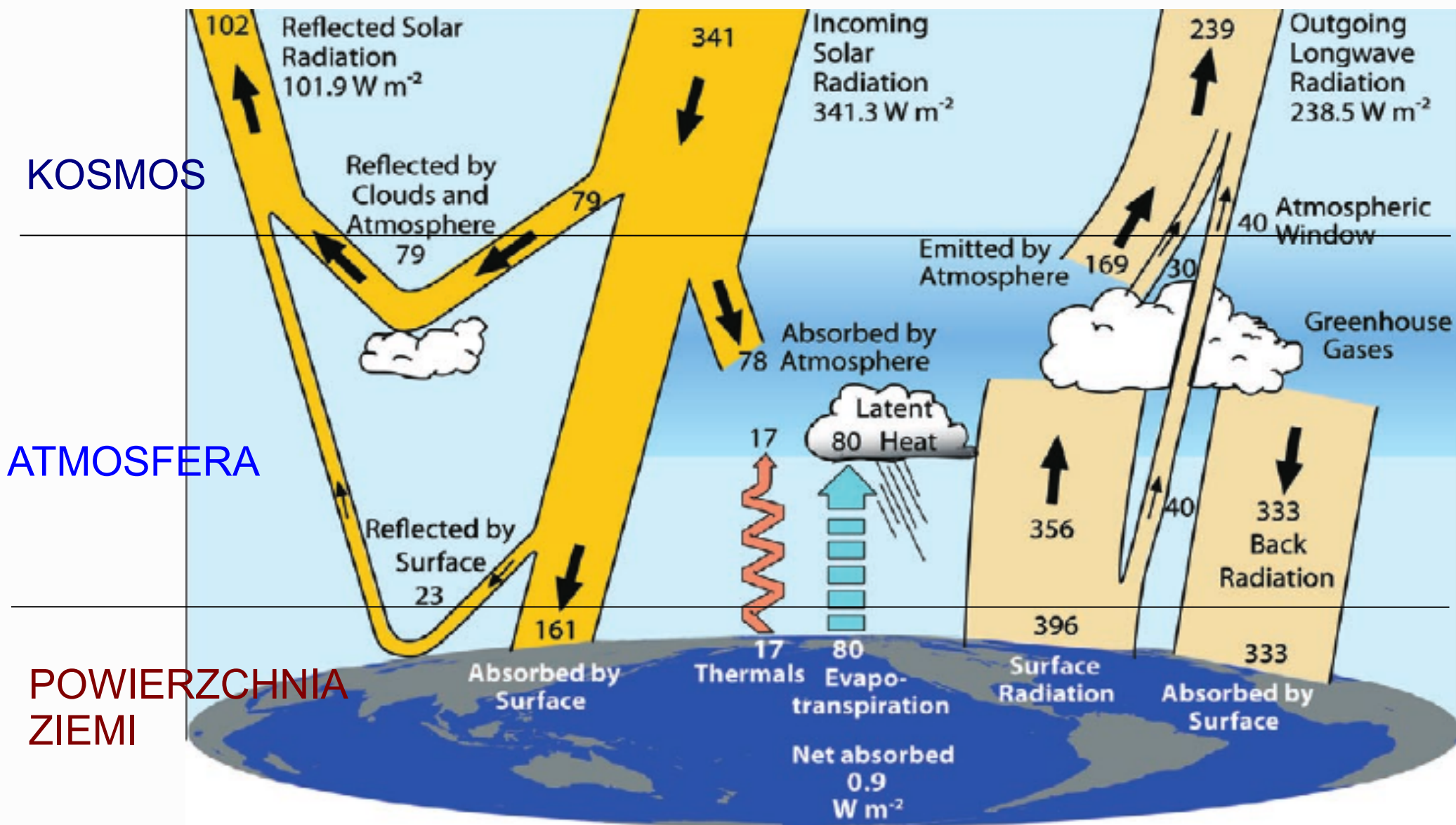
Porównanie
rekonstrukcji
globalnych i
hemisferycznych
zmian temperatury w
holocenie
(ostatni interglacjał)
oraz obserwowanego
ostatnio wzrostu
temperatury

S A Marcott et al.
Science 2013;339:1198-1201



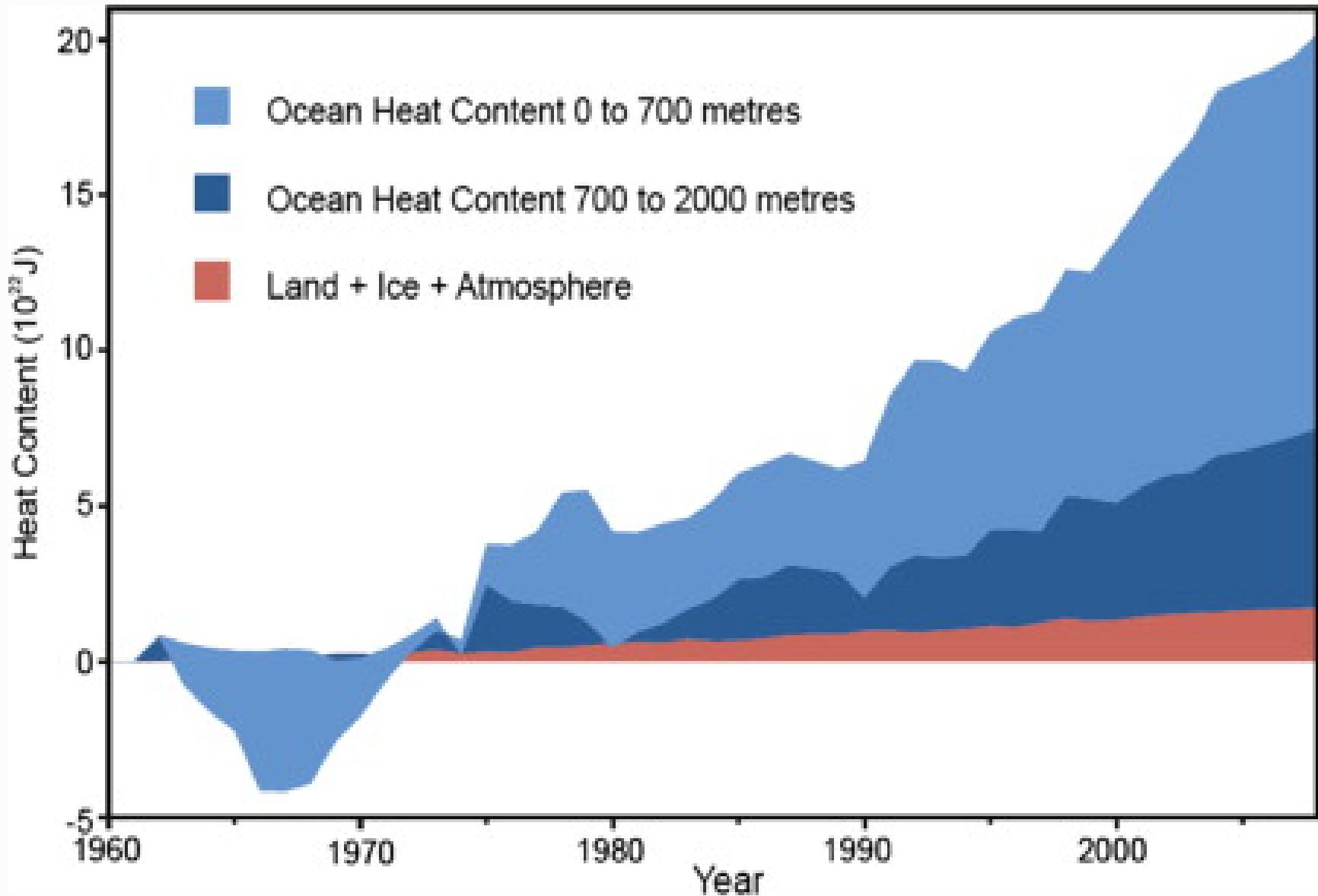
Published by AAAS

BILANS ENERGII UKŁADU ZIEMIA – ATMOSFERA – KOSMOS w okresie 03/2000-05/2004



Brak równowagi: $0.9 \pm 0.15 W/m^2$

Rośnie zawartość energii (ciepła) w oceanie w tempie $0.77 \pm 0.11 \text{ W/m}^2$

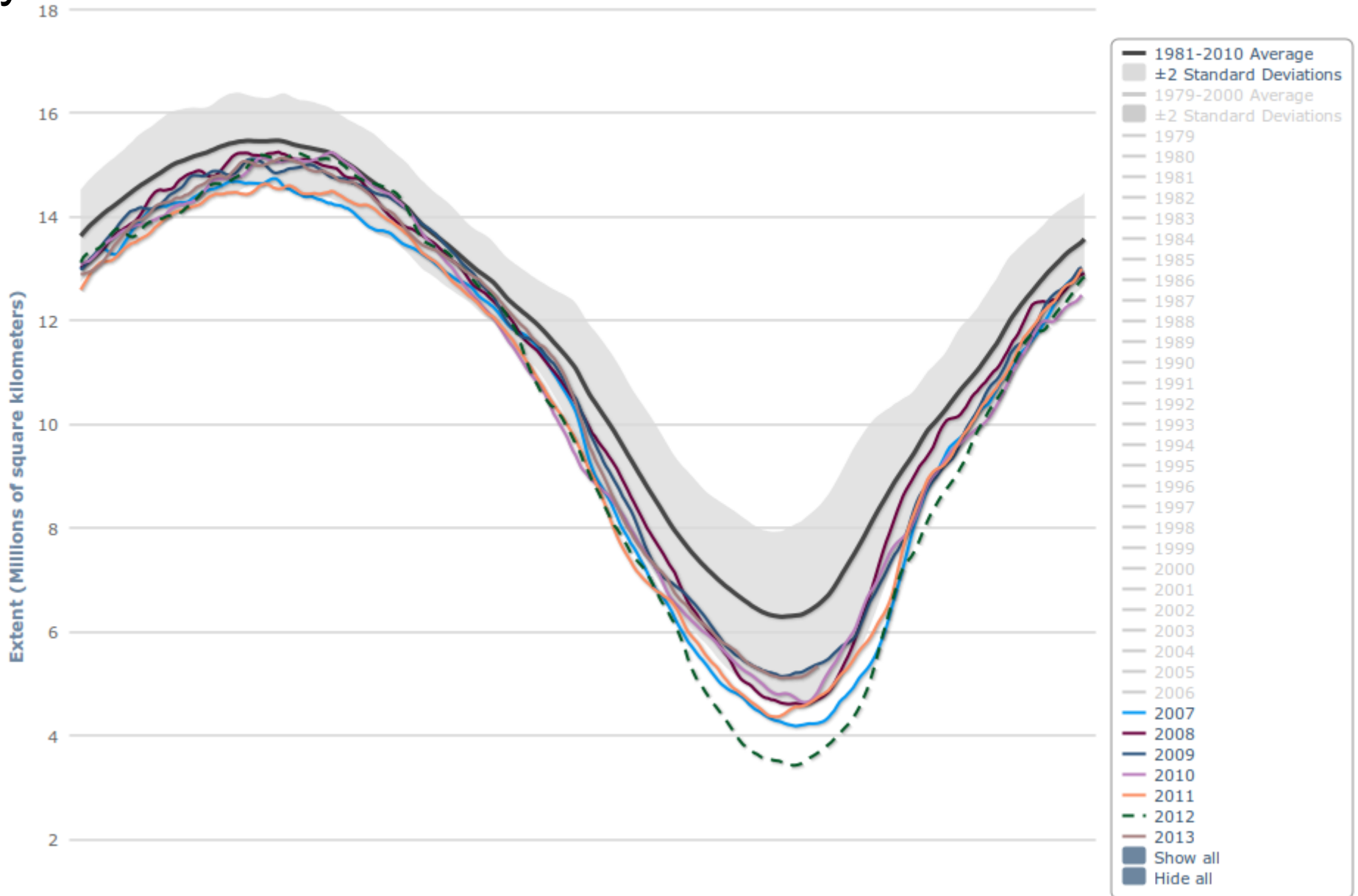


Nuccitelli, D., et al., 2012, Comment on “Ocean heat content and Earth’s radiation imbalance. II. Relation to climate shifts”, *Physics Letters A*, 376, 2012, 3466-3468, [10.1016/j.physleta.2012.10.010](https://doi.org/10.1016/j.physleta.2012.10.010).

Levitus, S., et al., 2009, Global ocean heat content 1955-2008 in light of recently revealed instrumentation problems, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L07608, doi: [10.1029/2008GL037155](https://doi.org/10.1029/2008GL037155)

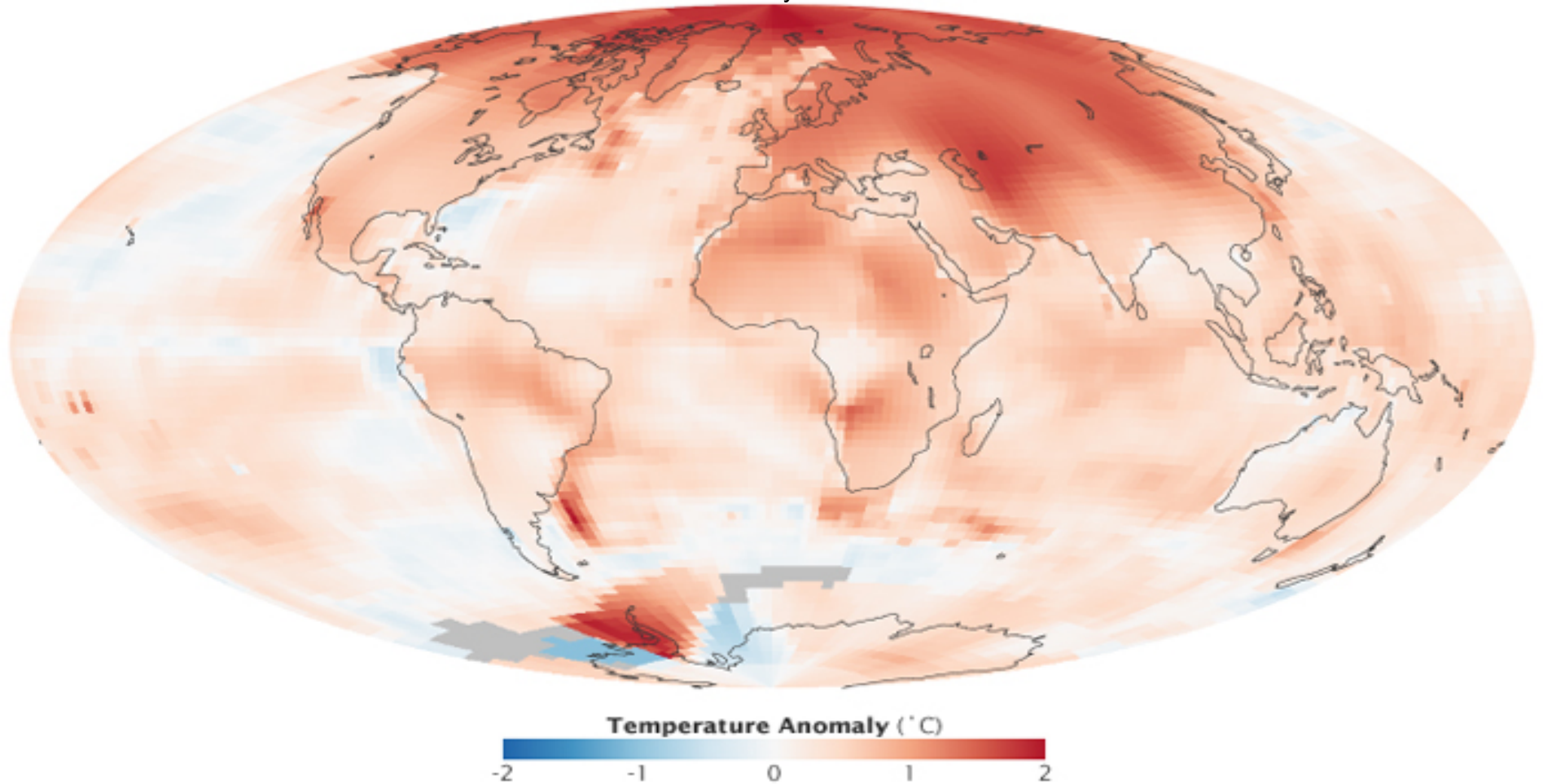
Topnieje lód w Arktyce

Arctic Sea Ice Extent
(Area of Ocean with at least 15% sea ice)



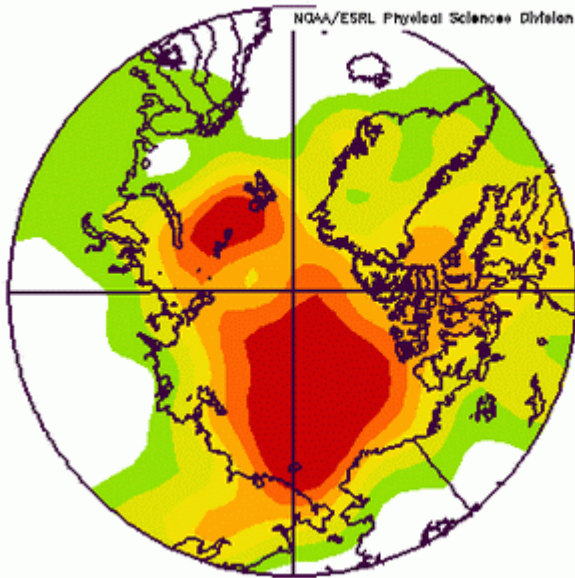
<http://nsidc.org/arcticseaicenews/charctic-interactive-sea-ice-graph/>

NASA image by Robert Simmon, based on GISS surface temperature analysis data including ship and buoy data from the Hadley Centre

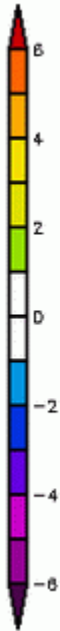


“Arctic amplification” - wzmożenie arktyczne – Arktyka ociepla się najszybciej!

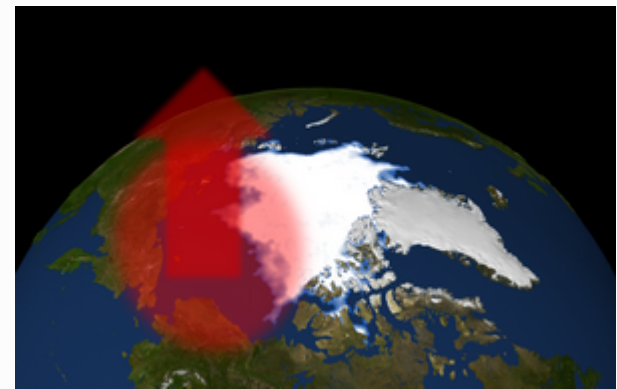
NCEP/NCAR Reanalysis
1000mb air (C) Composite Anomaly 1968-1996 clima
NOAA/ESRL Physical Sciences Division



Oct to Dec: 2007 to 2010

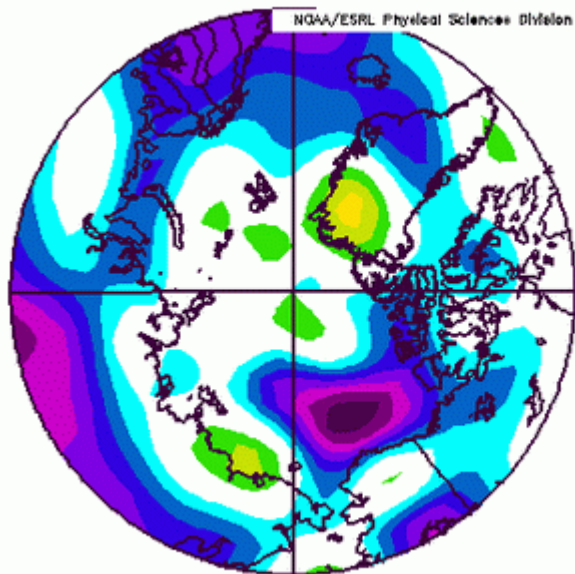


Anomalie temperatur w Arktyce. Jesienie 2007-2010 porównane do jesieni 1968-1996.



Ciepło zaabsorbowane latem przez wolny of lodu ocean oddawane jest jesienią do atmosfery. Zmienia się też wilgotność atmosfery.

NCEP/NCAR Reanalysis
700mb Zonal Wind (m/s) Composite Anomaly 1968-1996 clima
NOAA/ESRL Physical Sciences Division

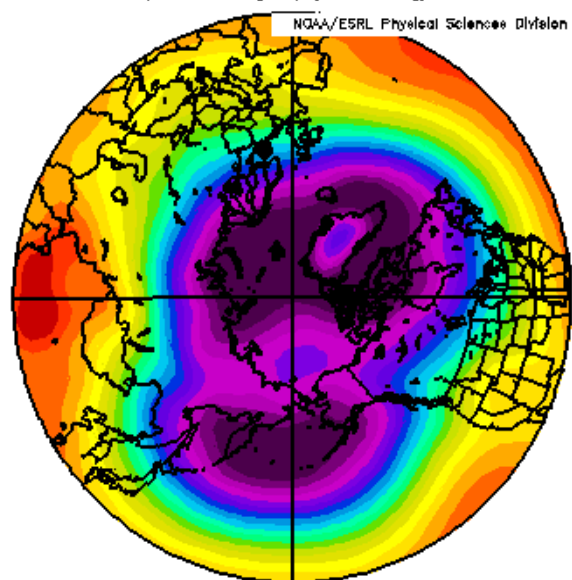


Oct to Dec: 2002 to 2010



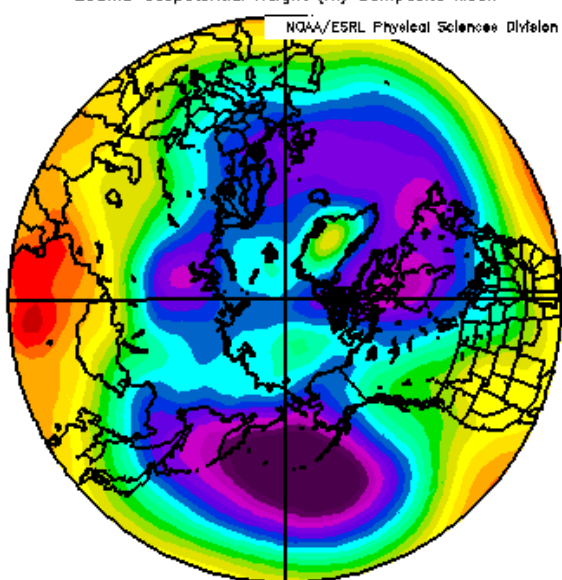
Anomalie cyrkulacji strefowej (wiatry w kierunkach równoleżnikowych) w Arktyce. Jesienie 2007-2010 porównane do jesieni 1968-1996.

NCEP/NCAR Reanalysis
850mb Geopotential Height (m) Climatology 1968-1998



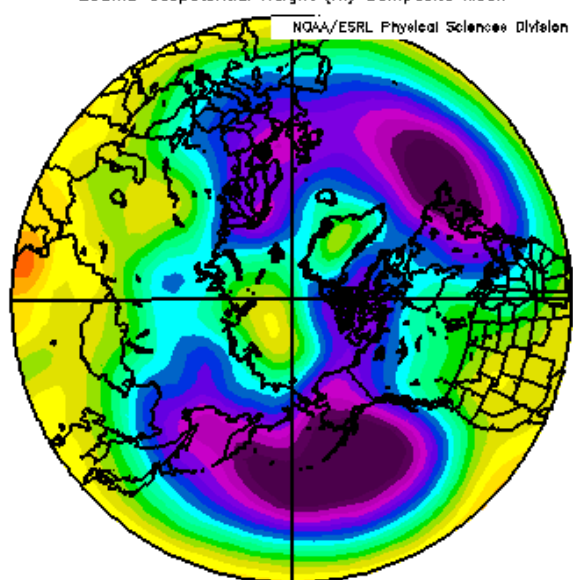
Dec

NCEP/NCAR Reanalysis
850mb Geopotential Height (m) Composite Mean



Dec 2009

NCEP/NCAR Reanalysis
850mb Geopotential Height (m) Composite Mean

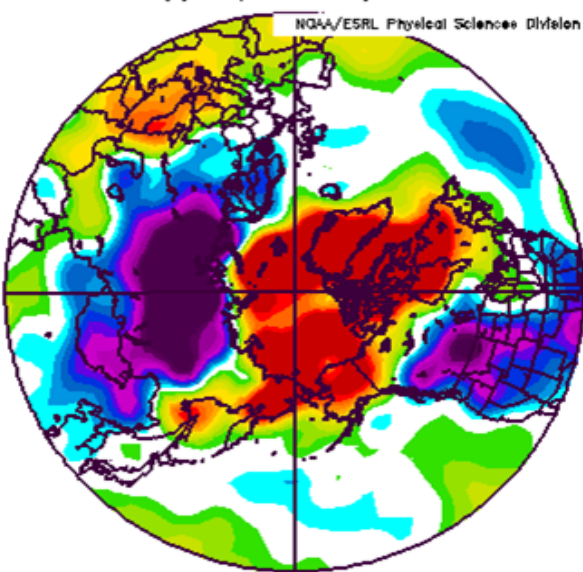


Feb 2010

U góry: pole geopotencjału ma powierzchni 850hPa. Po lewej – normalny wir polarny (1968-98), po prawej – anomalie w okresie epizodów zimy w niższych szerokościach.

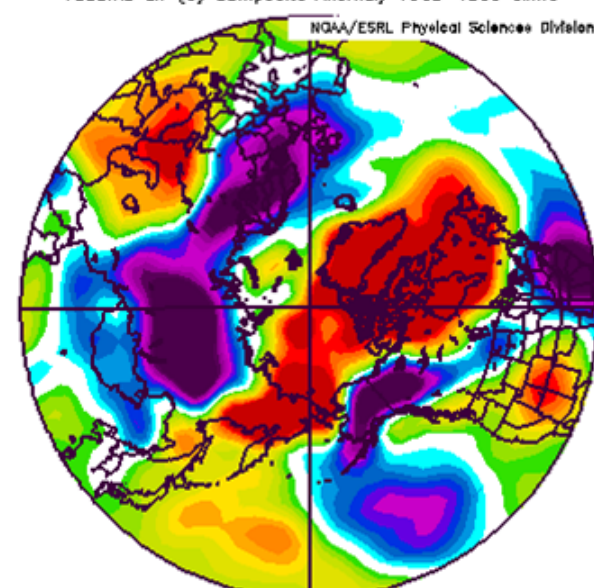
U dołu: ciepła Arktyka – zimne kontynenty anomalie temperatury.

NCEP/NCAR Reanalysis
1000mb air (C) Composite Anomaly 1968-1998 climo



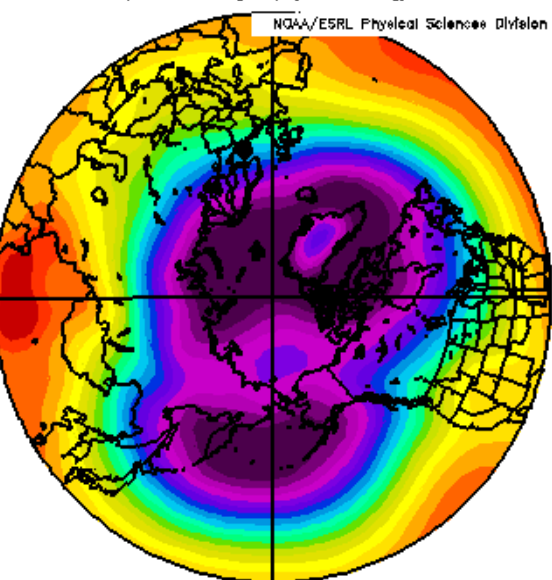
Dec 2009

NCEP/NCAR Reanalysis
1000mb air (C) Composite Anomaly 1968-1998 climo



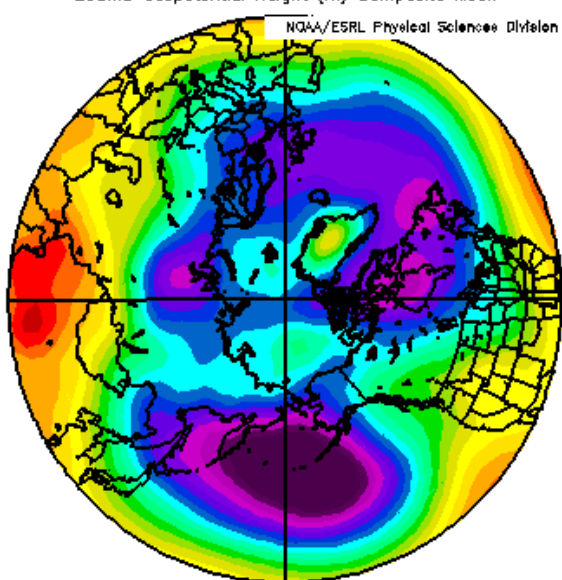
Dec 2010

NCEP/NCAR Reanalysis
850mb Geopotential Height (m) Climatology 1968-1998



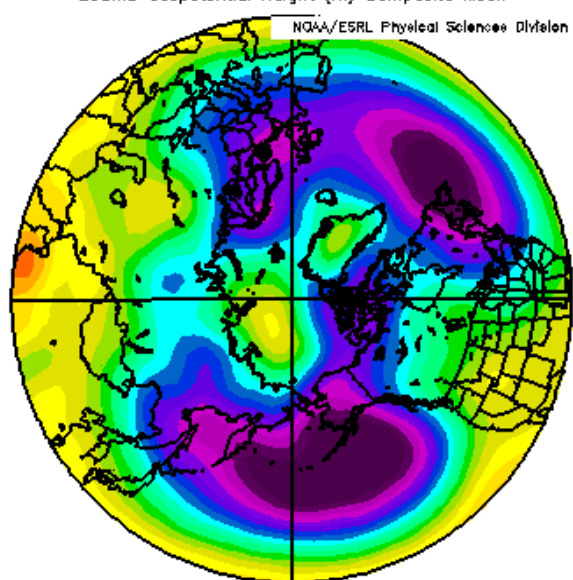
Dec

NCEP/NCAR Reanalysis
850mb Geopotential Height (m) Composite Mean



Dec 2009

NCEP/NCAR Reanalysis
850mb Geopotential Height (m) Composite Mean

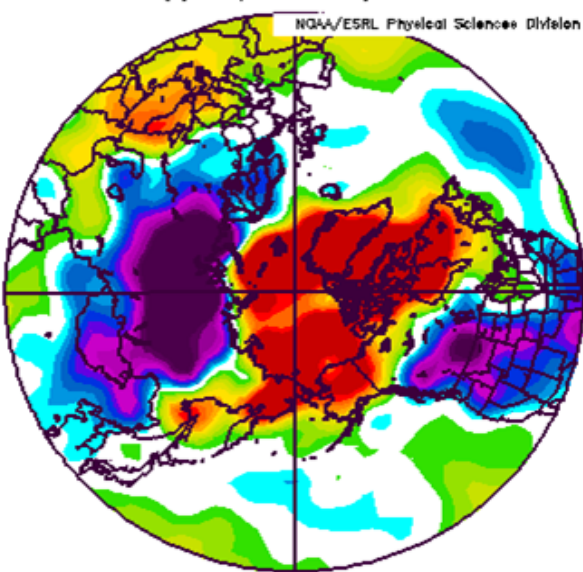


Feb 2010

U góry: pole geopotencjału ma powierzchni 850hPa. Po lewej – normalny wir polarny (1968-98), po prawej – anomalie w okresie epizodów zimy w niższych szerokościach

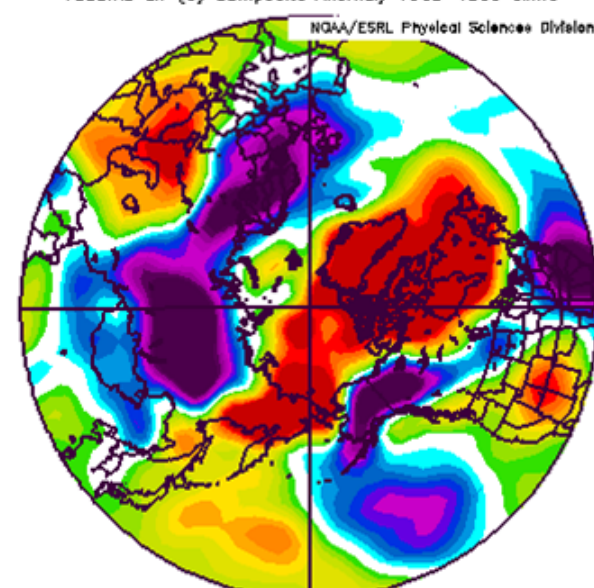
U dołu: ciepła Arktyka – zimne kontynenty anomalie temperatury.

NCEP/NCAR Reanalysis
1000mb air (C) Composite Anomaly 1968-1998 climo

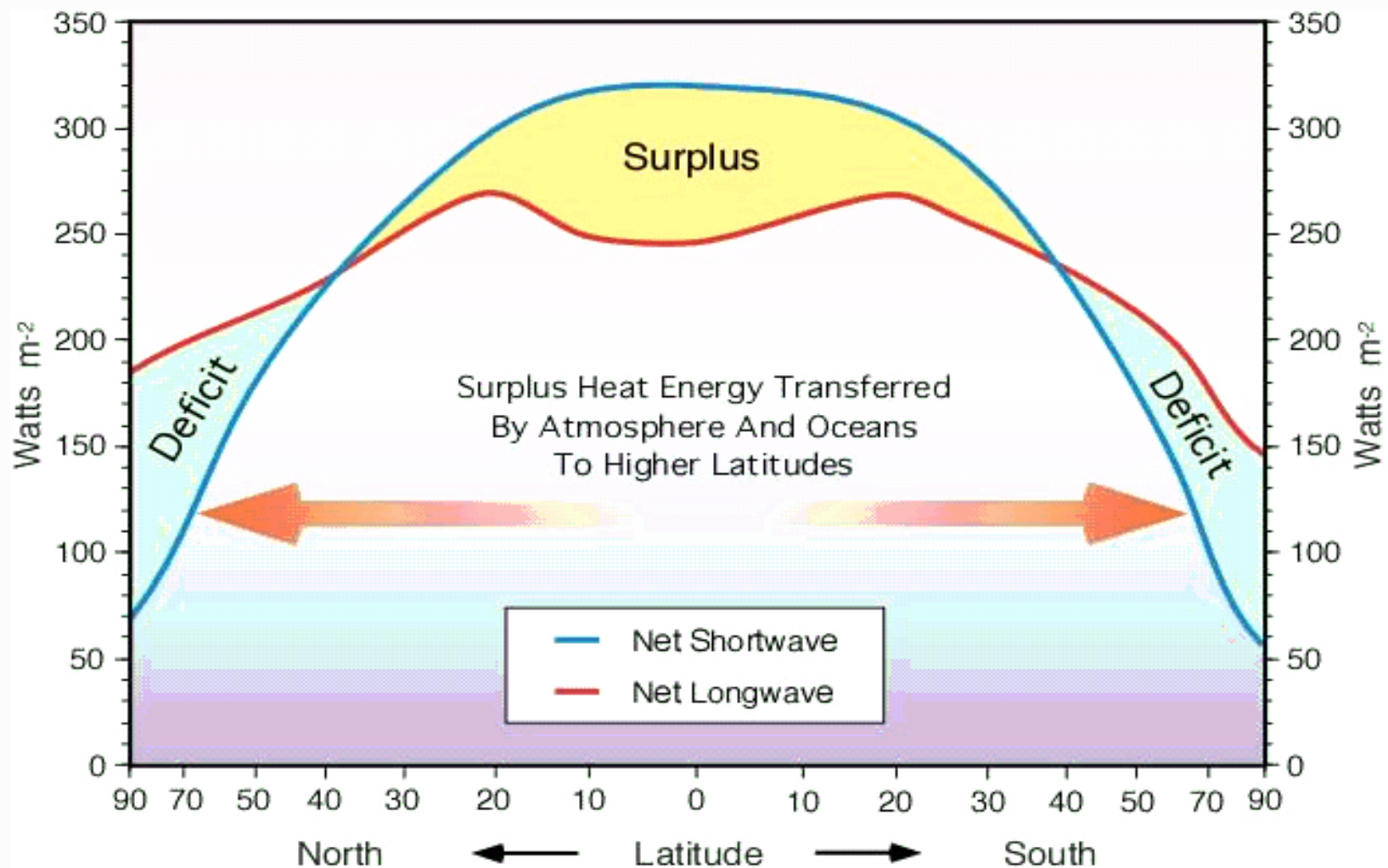


Dec 2009

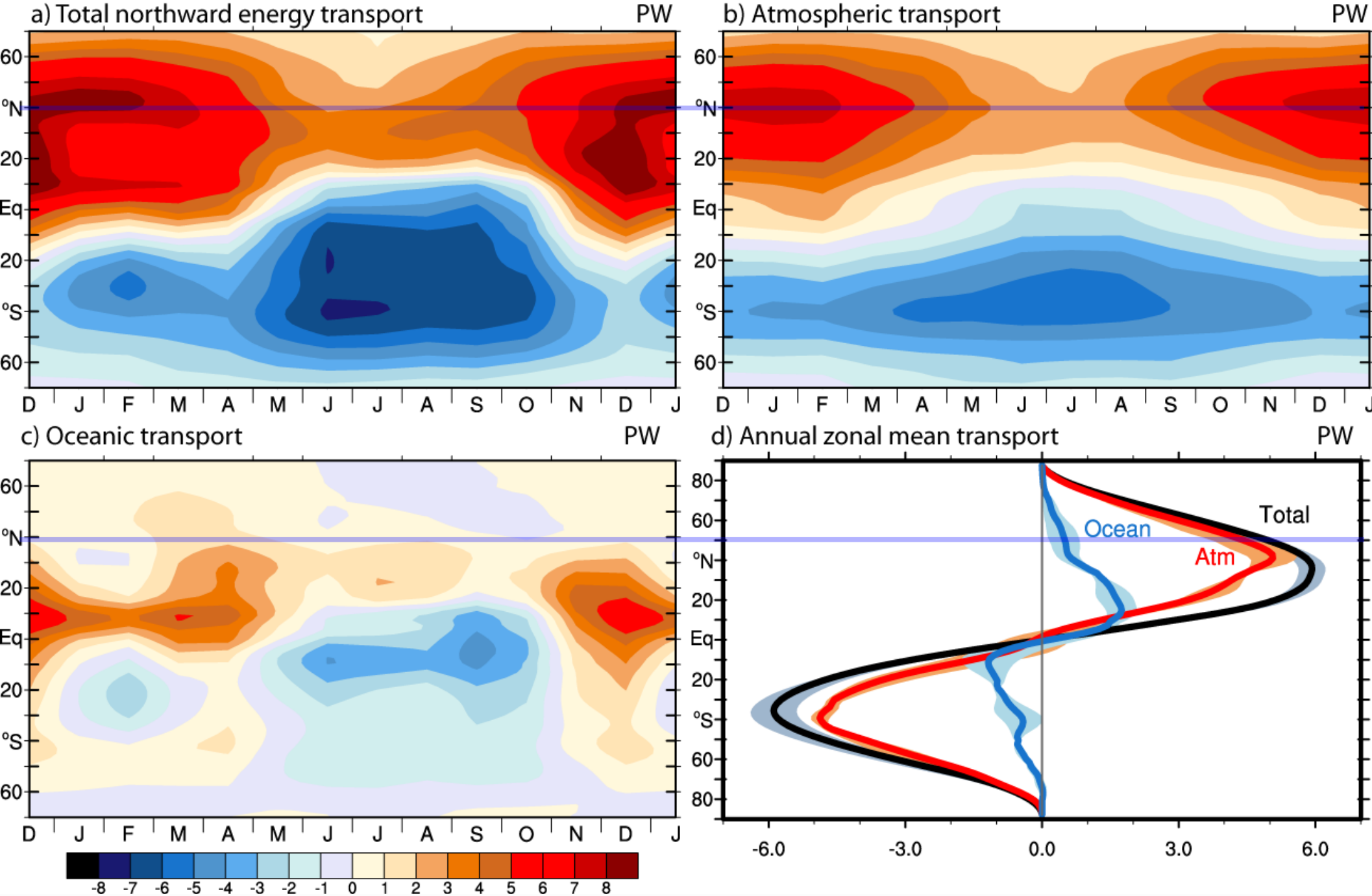
NCEP/NCAR Reanalysis
1000mb air (C) Composite Anomaly 1968-1998 climo



Dec 2010



Bilans promieniowania słonecznego i podczerwonego w zależności od szerokości geograficznej. Tam gdzie występuje nadwyżka (Surplus) promieniowania słonecznego planeta ogrzewa się (średnio) wskutek pochłaniania promieniowania. Tam gdzie przeważa emisja promieniowania podczerwonego (Deficit), przeważa chłodzenie. Cyrkulacje atmosferyczne i prądy morskie przenoszą ciepło od obszarów z nadwyżką bilansu promieniowania do obszarów z deficytem. (źródło: [Encyclopedia of The Earth](#))

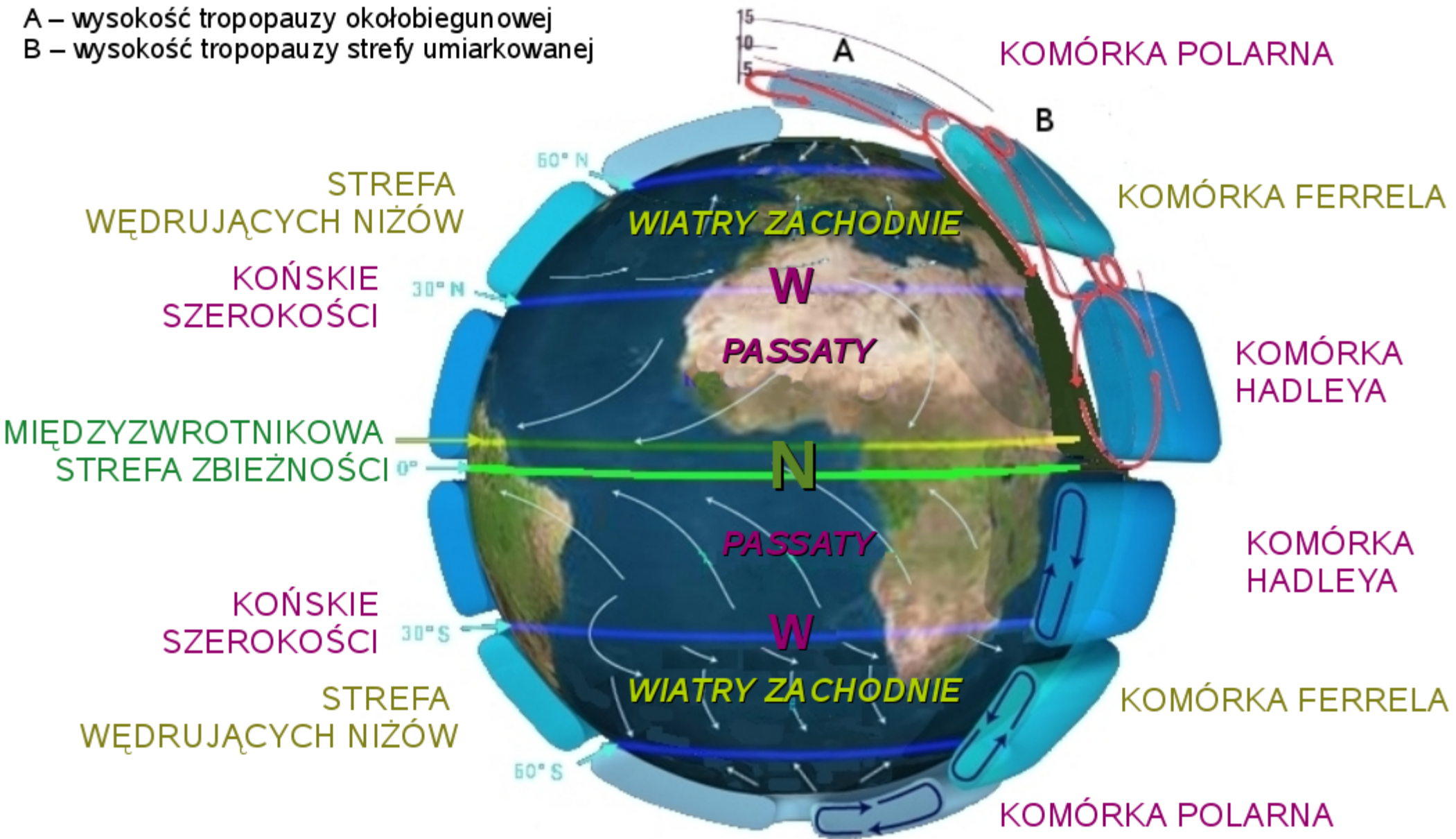


Cykl roczny południkowego transportu ciepła w systemie klimatycznym w PW:

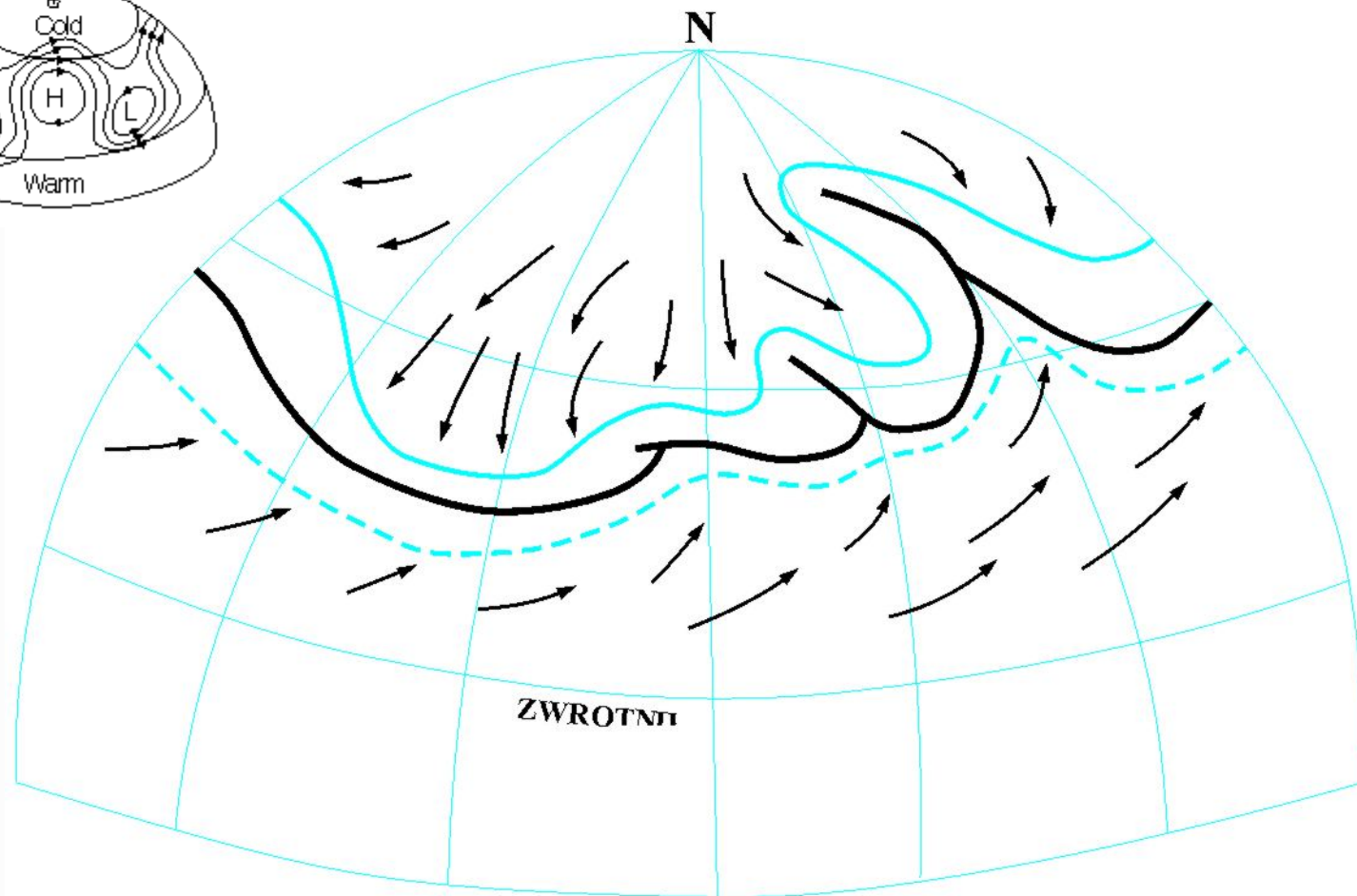
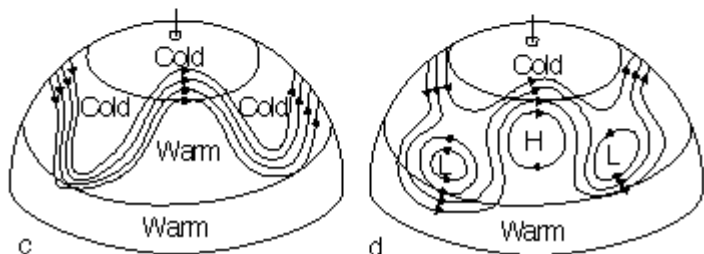
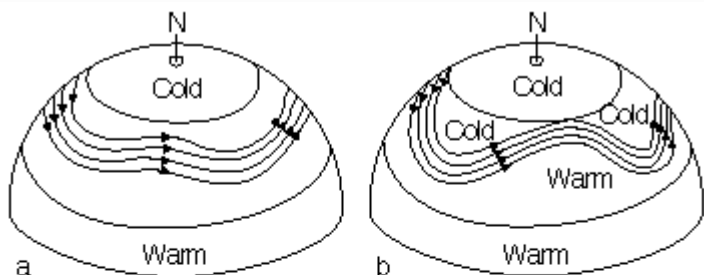
(a) atmosfera i ocean (b) atmosfera (c) ocean.

(d) mediana południkowego transportu ciepła. Atmosfera i ocean – czarny, atmosfera – czerwony, ocean – niebieski. Fasullo and Trenberth, 2008.

A – wysokość tropopauzy okołobiegunowej
B – wysokość tropopauzy strefy umiarkowanej



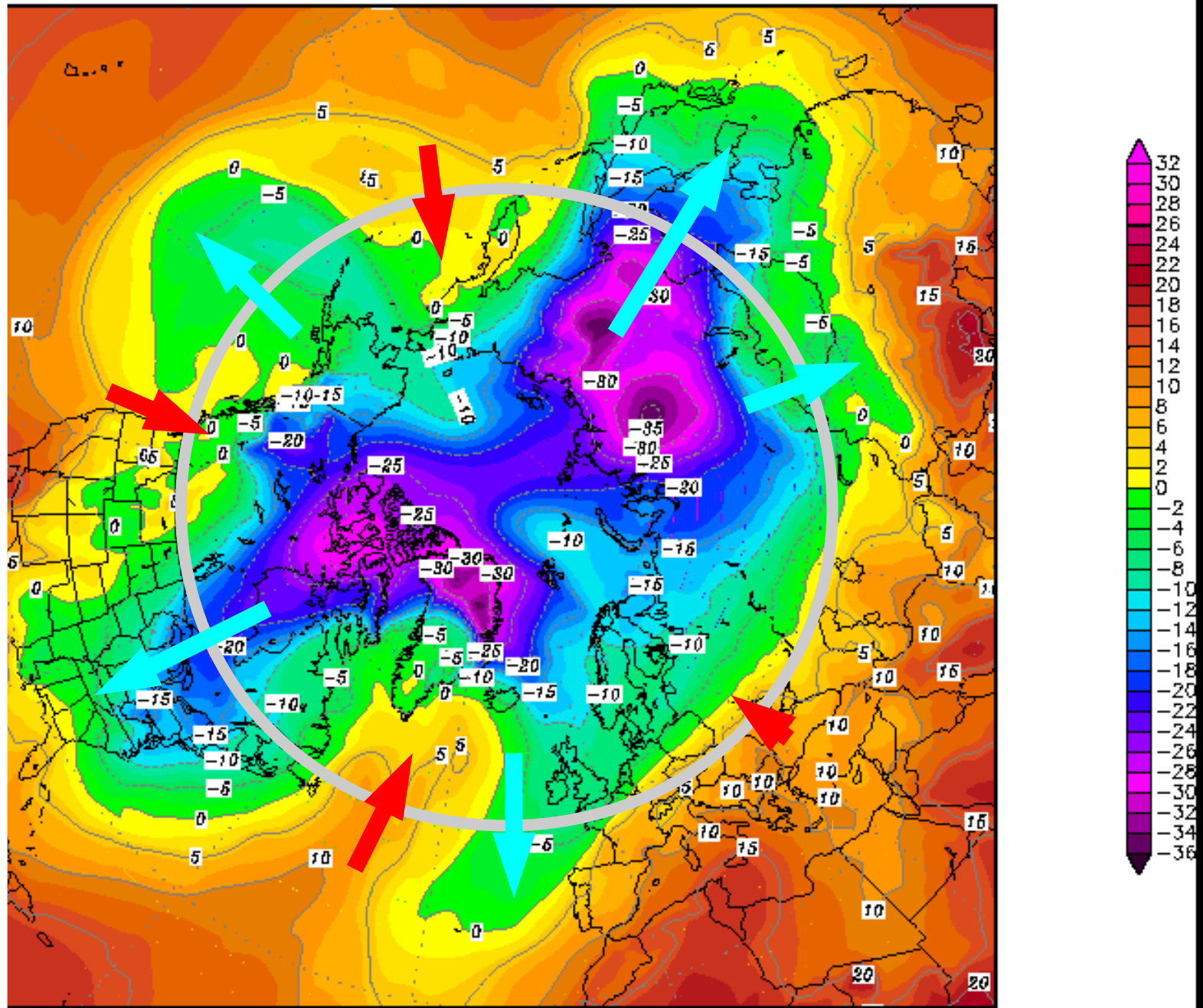
Tworzenie się układów wysokiego i niskiego ciśnienia.



- GRANICA POWIETRZA CHŁODNEGO
- FRONT POLARNY
- - - GRANICA POWIETRZA CIEPŁEGO

850 hPa Temperatur (Grad C) Mittelwert

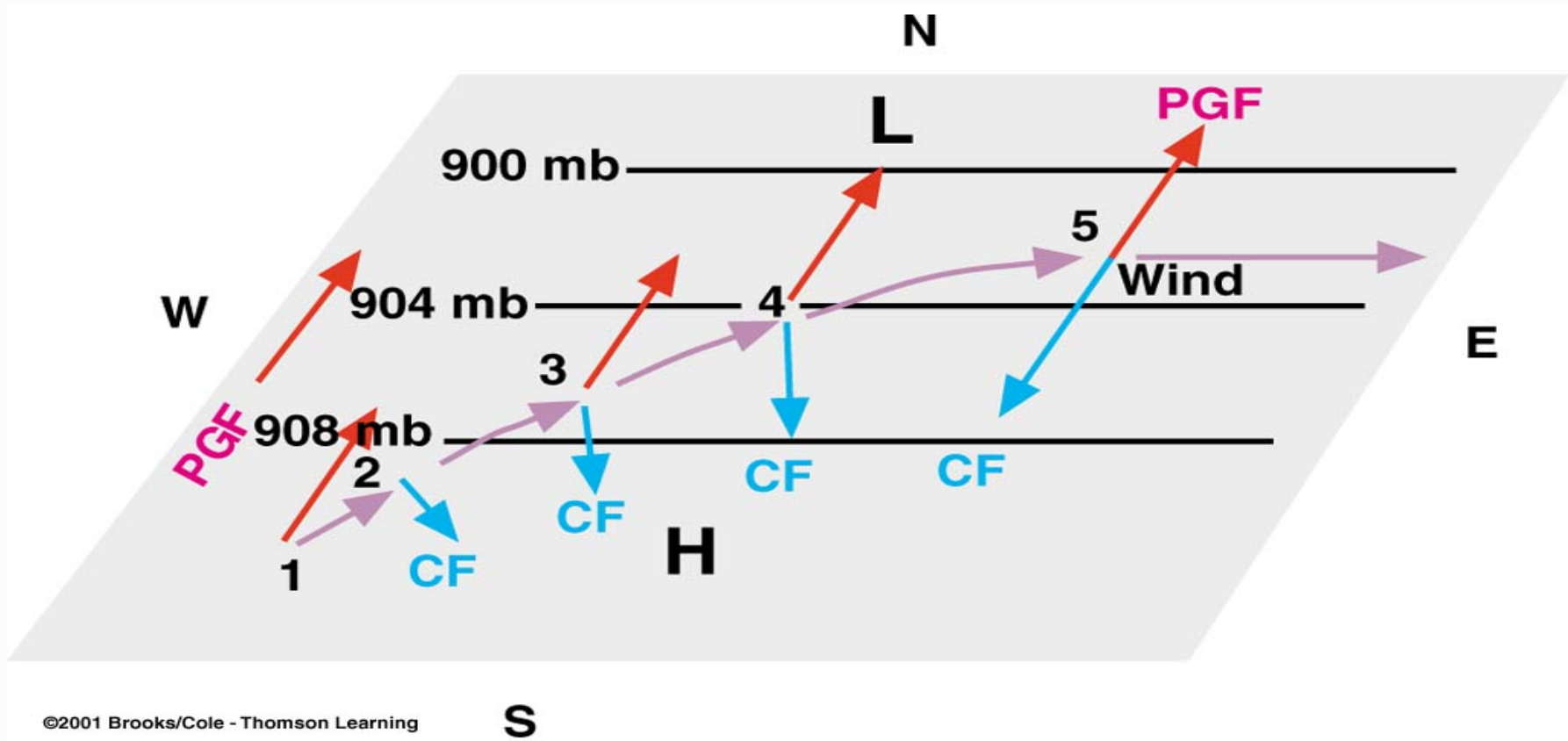
Transport ciepła od równika do biegunów to też korelacja fluktuacja południkowej składowej prędkości wiatru z fluktuacja temperatury scałkowany wokół południka Przez który ten transport obliczamy.



Daten: Ensembles des GFS von NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Ruch w poziomie – wiatr.

Rozważmy cząstkę powietrza na półkuli północnej. Cząstka jest w stanie spoczynku, nagle pojawia się poziomy gradient ciśnienia.



Cząstka, początkowo w bezruchu przyspiesza (fioletowe strzałki na rysunku) pod wpływem siły gradientu ciśnienia (czerwone strzałki) kierując się od wysokiego ciśnienia (H) w kierunku niskiego ciśnienia (L).

Gdy tylko prędkość cząstki staje się większa od zera pojawia się siła Coriolisa (niebieskie strzałki), zakrzywiająca tor ruchu w prawo. W pewnym momencie - przy pewnej prędkości - dochodzi do równowagi tych sił (równowaga geostroficzna) i ruch odbywa się jednostajnie (ze stałą prędkością) wzdłuż izobar.

Równanie na wiatr termiczny można otrzymać z równania ruchu w przybliżeniu geostroficznym we współrzędnych ciśnieniowych:

$$f \times \mathbf{u}_g = -\nabla_p \Phi$$

analizując zmiany wiatru geostroficznego z ciśnieniem i pamiętając że $D\Phi/Dp = -\alpha$:

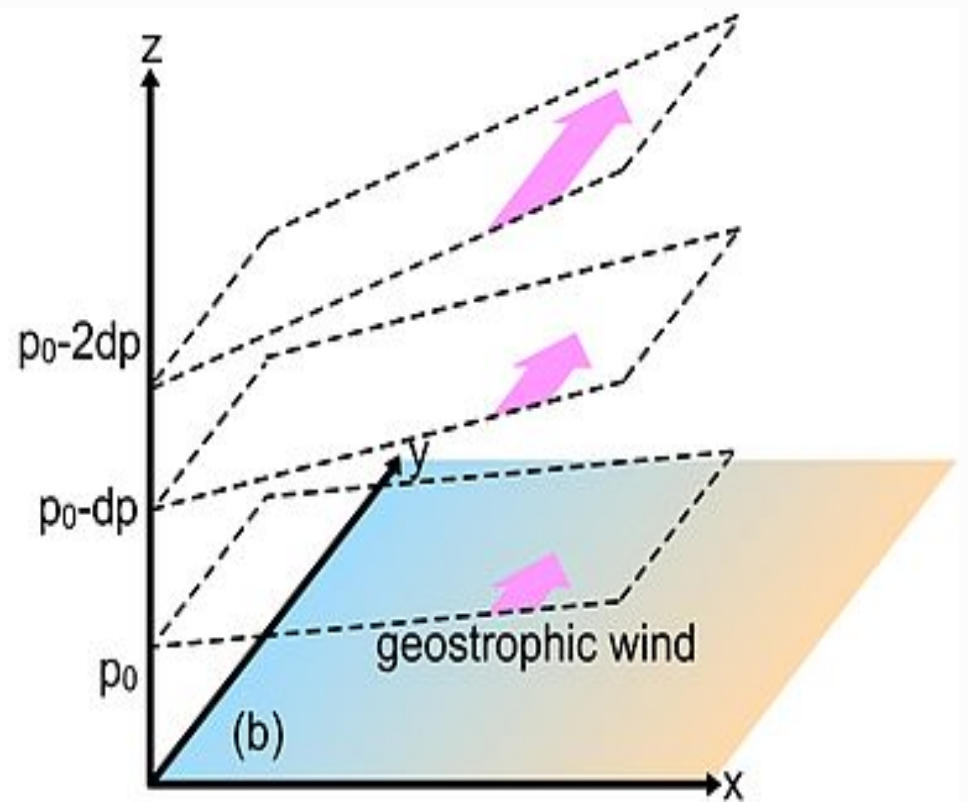
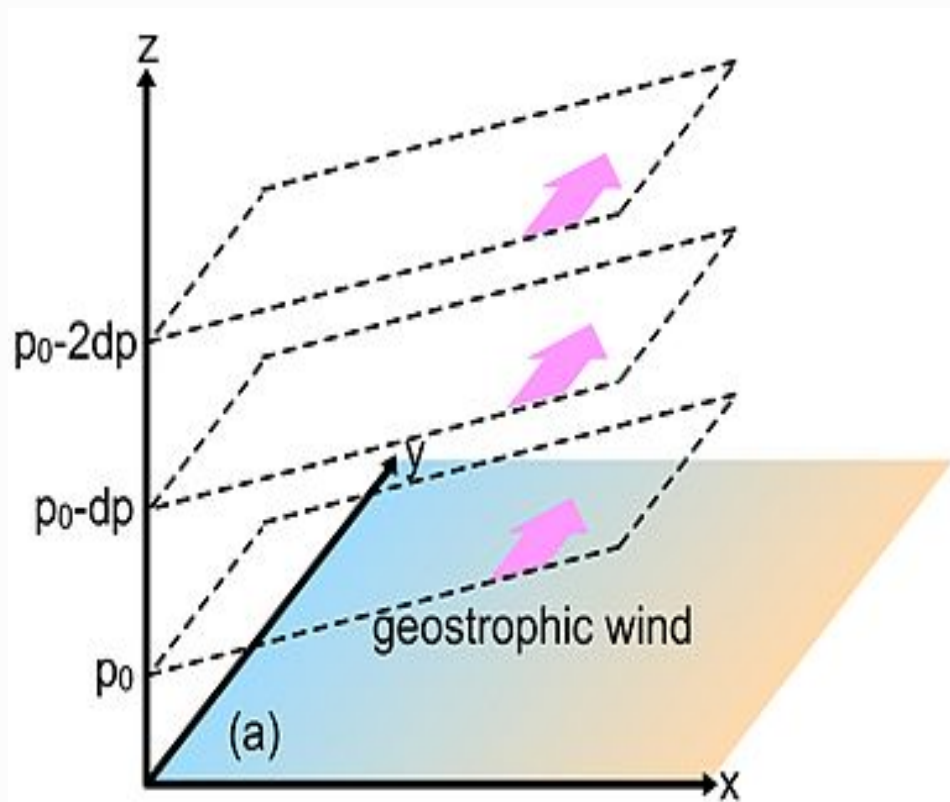
$$f \times \frac{\partial \mathbf{u}_g}{\partial p} = \nabla_p \alpha = \frac{R}{p} \nabla_p T,$$

Powyżej uwzględniamy równanie stanu $p\alpha = RT$.

Rozpisując na składowe dostaniemy:

$$-f \frac{\partial v_g}{\partial p} = -\frac{R}{p} \frac{\partial T}{\partial x}, \quad f \frac{\partial u_g}{\partial p} = -\frac{R}{p} \frac{\partial T}{\partial y}.$$

Widać wyraźnie zależność prędkości geostroficznego od horyzontalnych gradientów temperatury.



Na ilustracji powyżej przedstawiono sytuacje w których wiatr geostroficzny:

- jest stały (po lewej),
- rośnie z wysokością (po prawej, sytuacja baroklinowa).

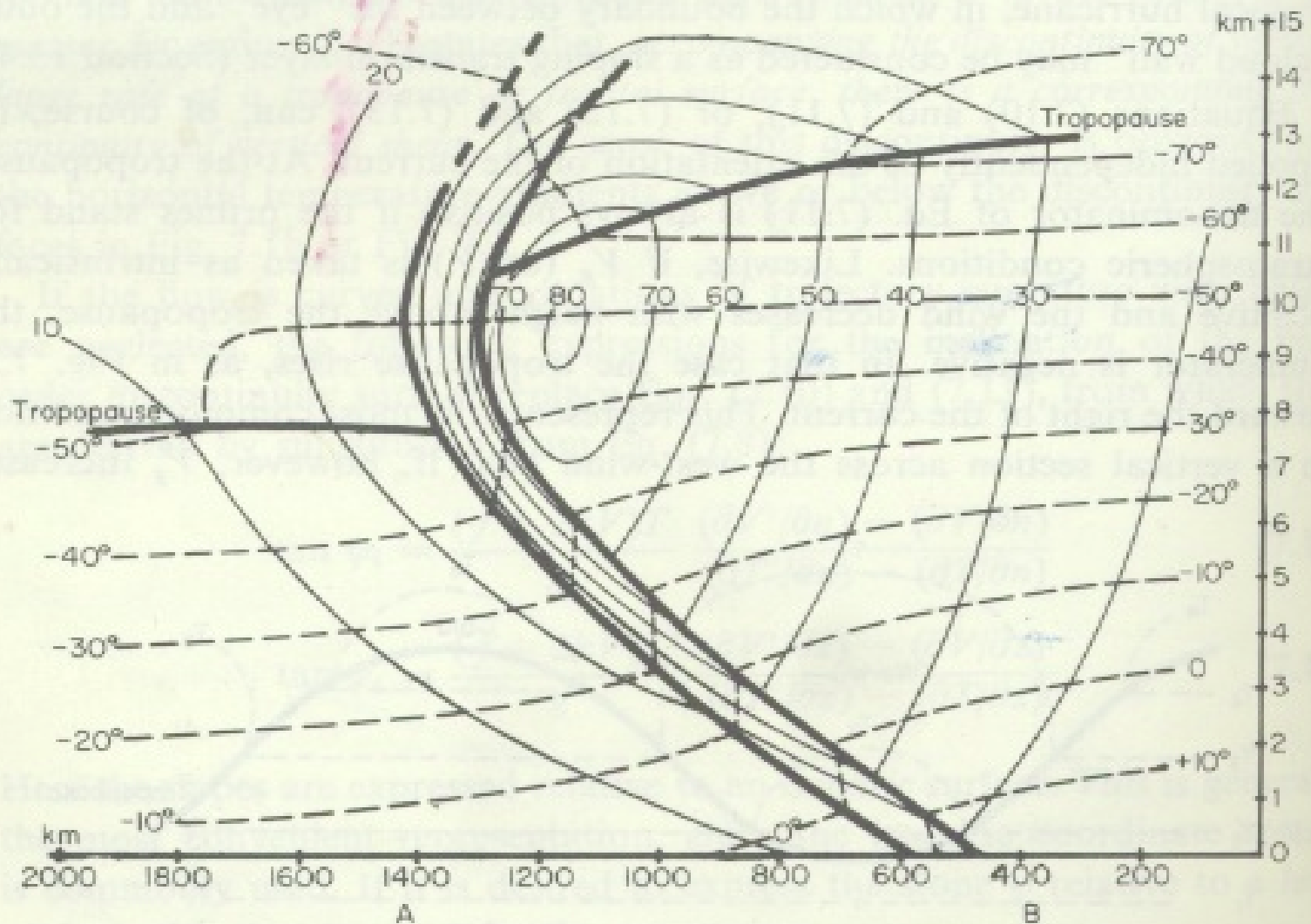
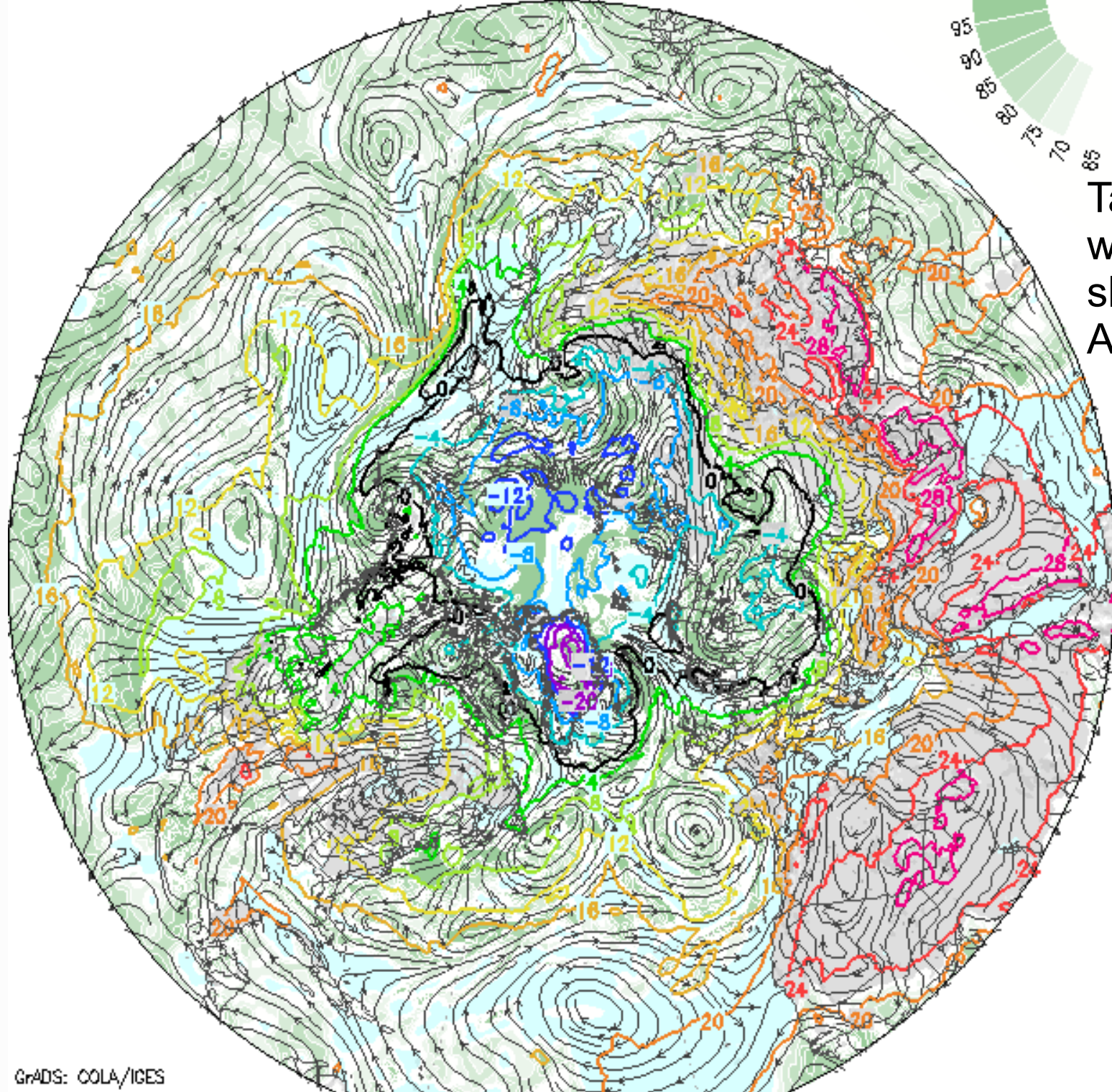


FIG. 7.4 Schematic isotherms (dashed lines, °C) and isotachs (thin solid lines, meters per second) in the polar front zone. Heavy lines are tropopauses and boundaries of frontal layer. (Adapted from analysis model by Berggren, 1952.)

Baroklinowość na froncie polarnym.

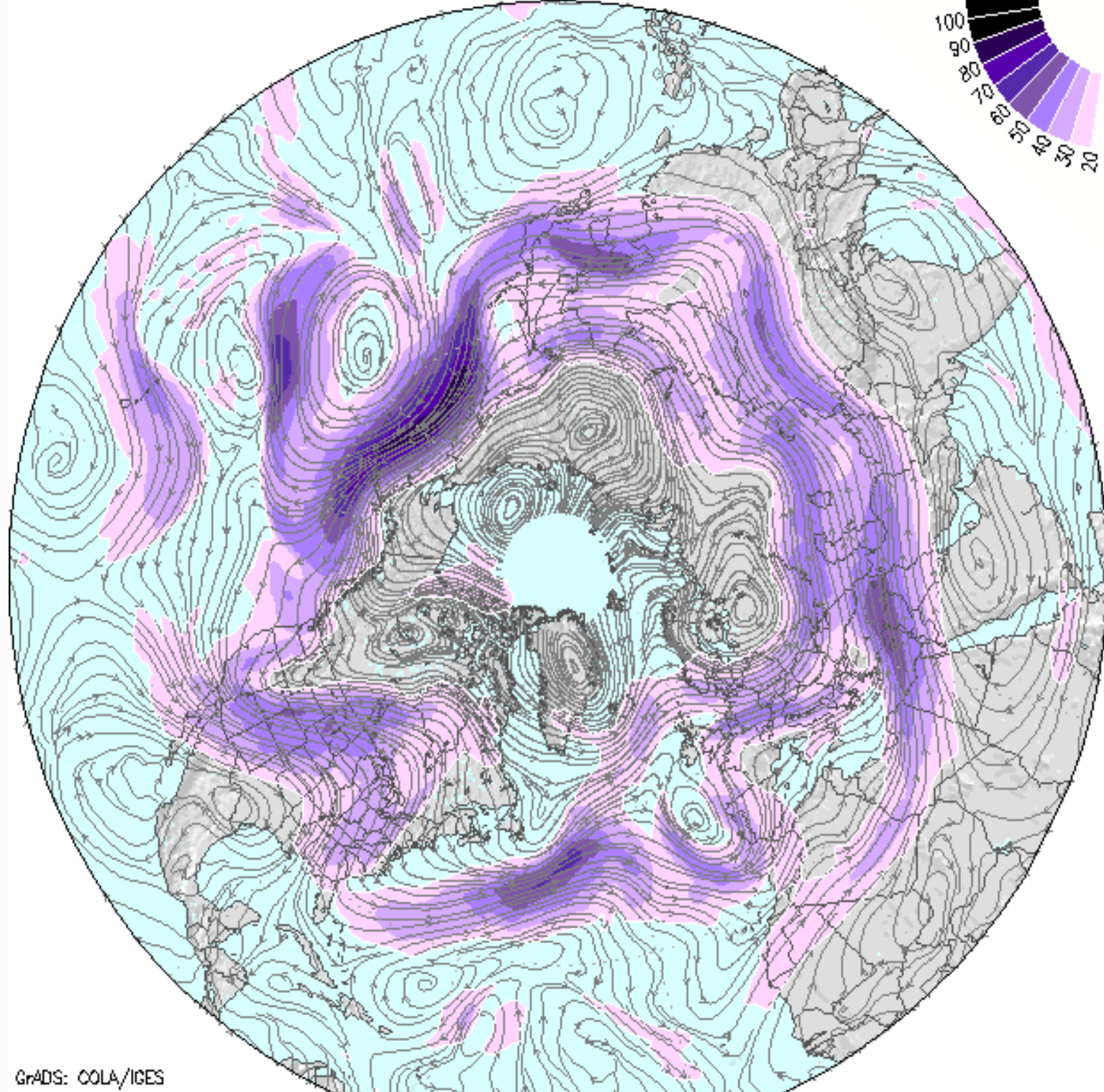


Tak to wygląda
w praktyce –
slaby naplyw z nad
Atlantyku...

GrADS: COLA/IGES

GFS Analysis: 12Z Fri 27 SEP 2013

850mb Temperature (C), RH (%), Streamlines



Jet-stream mało
“pofalowany”,
niże mało
aktywne,
wolne zmiany
pogody...

Impact of declining Arctic sea ice on winter snowfall

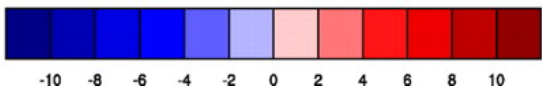
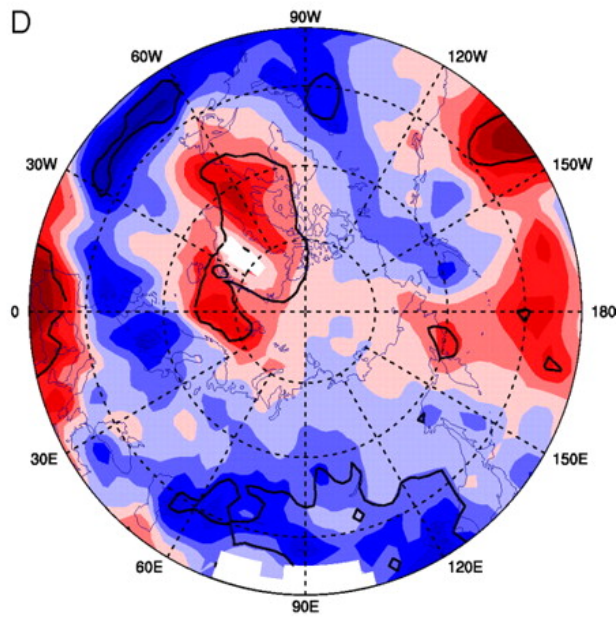
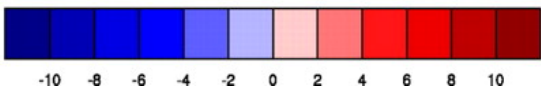
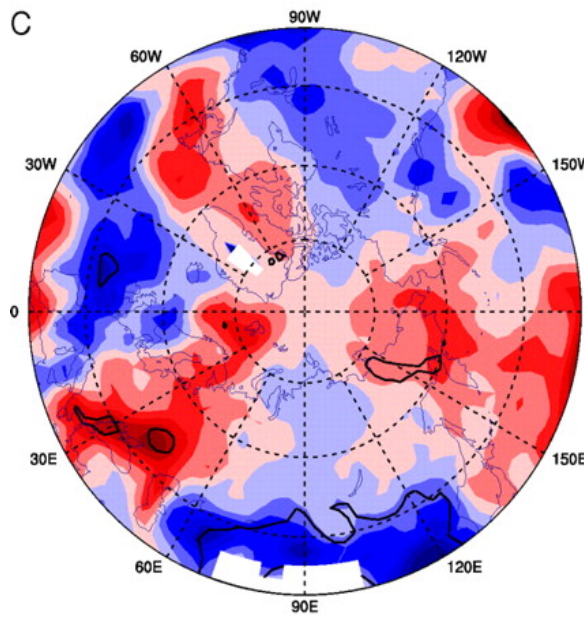
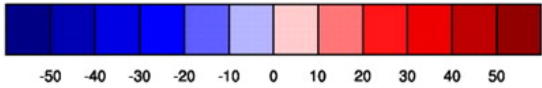
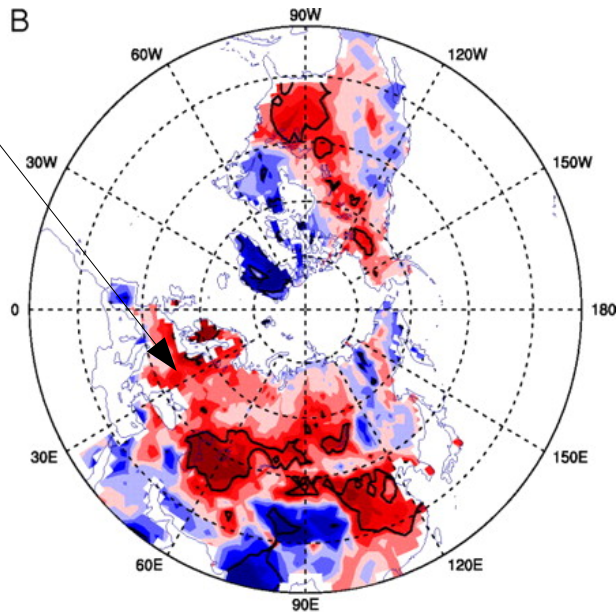
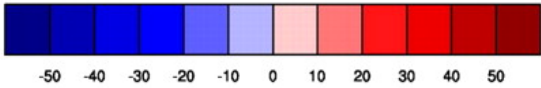
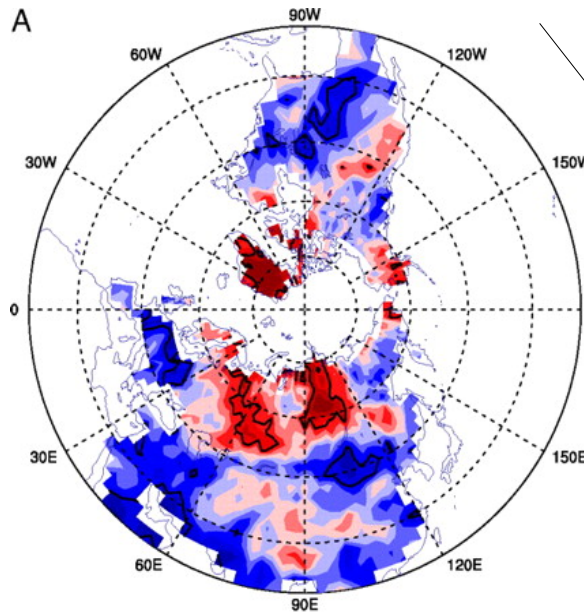
Jiping Liu^{a,b,1}, Judith A. Curry^a, Huijun Wang^b, Mirong Song^b, and Radley M. Horton^c

[Author Affiliations](#) 

Edited by Mark H. Thiemens, University of California San Diego, La Jolla, CA, and approved January 17, 2012 (received for review September 9, 2011)

Abstract

While the Arctic region has been warming strongly in recent decades, anomalously large snowfall in recent winters has affected large parts of North America, Europe, and east Asia. Here we demonstrate that the decrease in autumn Arctic sea ice area is linked to changes in the winter Northern Hemisphere atmospheric circulation that have some resemblance to the negative phase of the winter Arctic oscillation. However, the atmospheric circulation change linked to the reduction of sea ice shows much broader meridional meanders in midlatitudes and clearly different interannual variability than the classical Arctic oscillation. This circulation change results in more frequent episodes of blocking patterns that lead to increased cold surges over large parts of northern continents. Moreover, the increase in atmospheric water vapor content in the Arctic region during late autumn and winter driven locally by the reduction of sea ice provides enhanced moisture sources, supporting increased heavy snowfall in Europe during early winter and the northeastern and midwestern United States during winter. We conclude that the recent decline of Arctic sea ice has played a critical role in recent cold and snowy winters.



(A) Ratio (%) between linear regression of incidence of winter blockings on the sign-reversed detrended autumn Arctic sea ice area anomaly and winter blocking climatology during 1979–2010.

(B) is similar to A except for winter cold events,

and linear regression of specific humidity (integrated from surface to 700 hPa, kg/kg) in

(C) November–December (late autumn to early winter) and

(D) December–January (winter) on the sign-reversed detrended autumn Arctic sea ice area anomaly

(regions within contours denote the regression above 95% confidence level).

National Academy of Sciences et al. PNAS 2012;109:6781-6783

Discussion

The **results** of this study add to an **increasing body of** both observational and modeling **evidence** that indicates **diminishing Arctic sea ice** plays a critical role in **driving recent cold and snowy winters** over large parts of North America, Europe, and east Asia.

The relationships documented here illustrate that the **rapid loss of sea ice in summer** and **delayed recovery of sea ice in autumn** **modulates** not only **winter mean statistics** (i.e., snow cover and temperature) but also the **frequency of occurrence of weather events** (i.e., cold air outbreaks).

Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes

Jennifer A. Francis¹ and Stephen J. Vavrus²

Received 17 January 2012; revised 20 February 2012; accepted 21 February 2012; published 17 March 2012.

Arctic amplification (AA) – the observed enhanced warming in high northern latitudes relative to the northern hemisphere – is evident in lower-tropospheric temperatures and in 1000-to-500 hPa thicknesses. Daily fields of 500 hPa heights from the National Centers for Environmental Prediction Reanalysis are analyzed over N. America and the N. Atlantic to assess changes in north-south (Rossby) wave characteristics associated with AA and the relaxation of poleward thickness gradients.

Two effects are identified that each contribute to a slower eastward progression of Rossby waves in the upper-level flow: 1) weakened zonal winds, and 2) increased wave amplitude. These effects are particularly evident in autumn and winter consistent with sea-ice loss, but are also apparent in summer, possibly related to earlier snow melt on high-latitude land. Slower progression of upper-level waves would cause associated weather patterns in mid-latitudes to be more persistent, which may lead to an increased probability of extreme weather events that result from prolonged conditions, such as drought, flooding, cold spells, and heat waves.

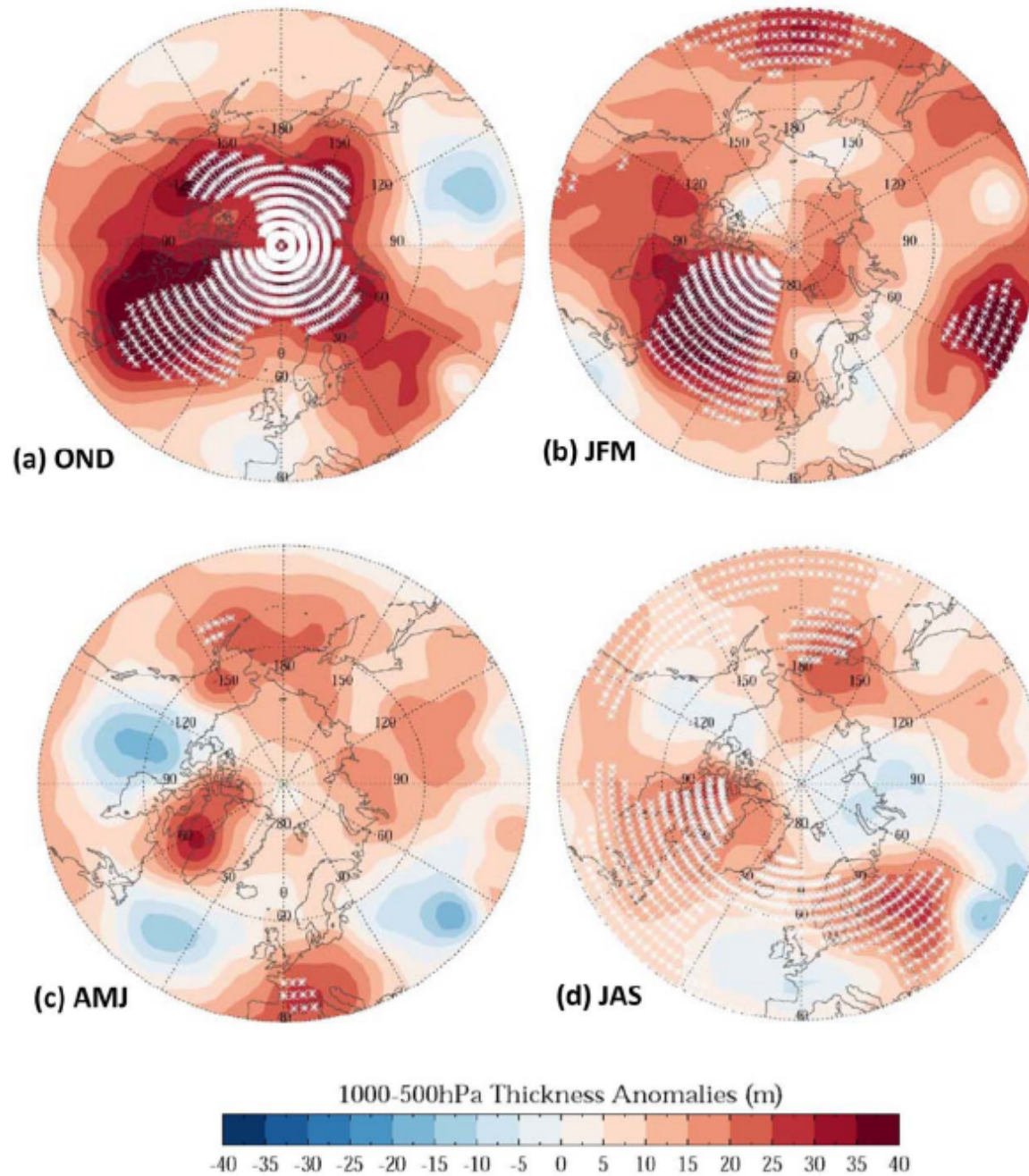


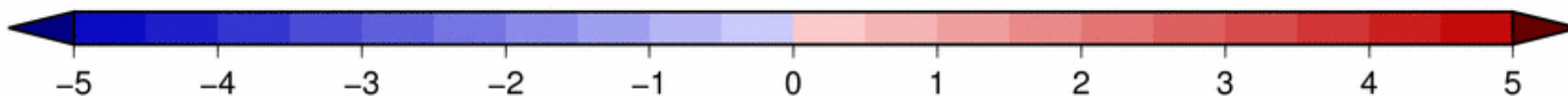
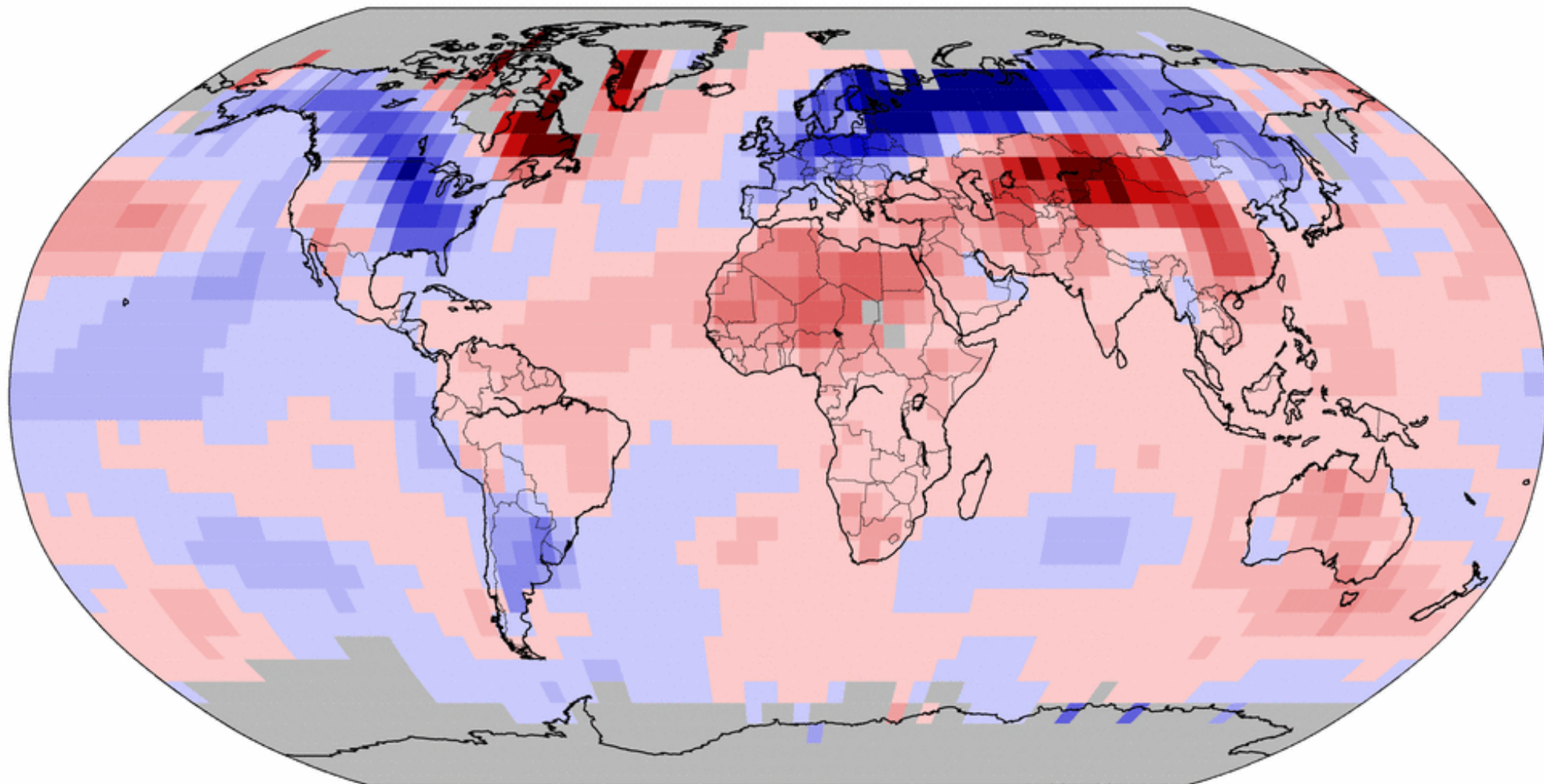
Figure 1. Seasonal anomalies in 1000-500 hPa thicknesses (m) north of 40°N during 2000–2010 relative to 1970–1999: (a) autumn (OND), (b) winter (JFM), (c) spring (AMJ), and (d) summer (JAS). White asterisks indicate significance with $p < 0.05$. Data are from the NCEP/NCAR Reanalysis.

Tak było w marcu b.r. - zimno w wysokich szerokościach nad kontynentami, ciepło nad Oceanem Północnym i Grenlandią

Land & Ocean Temperature Anomalies Mar 2013

(with respect to a 1981–2010 base period)

Data Source: MLOST version 3.5.3



NOAA's National Climatic Data Center
Mon Apr 15 08:15:03 EDT 2013

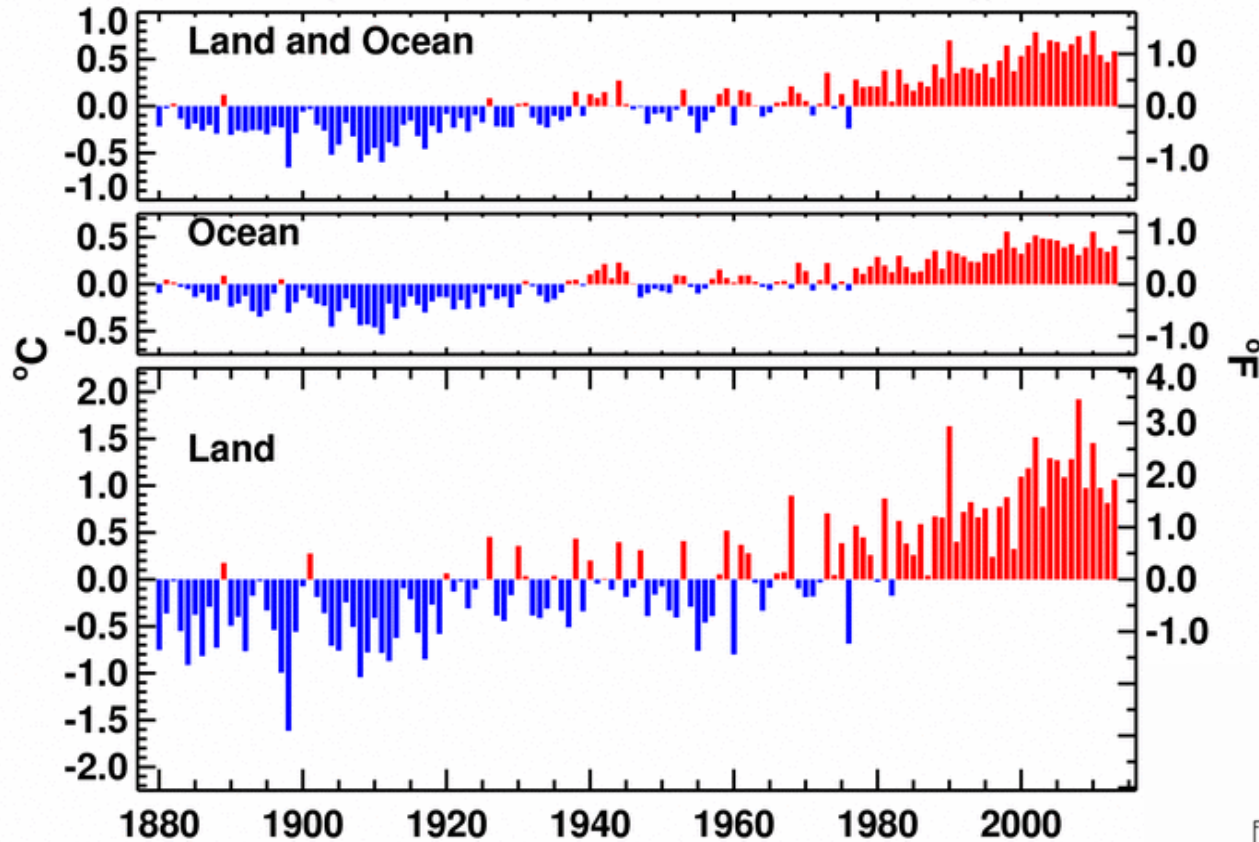
Degrees Celsius

Please Note: Gray areas represent missing data
Map Projection: Robinson

March Global Surface Mean Temp Anomalies

NCDC/NESDIS/NOAA

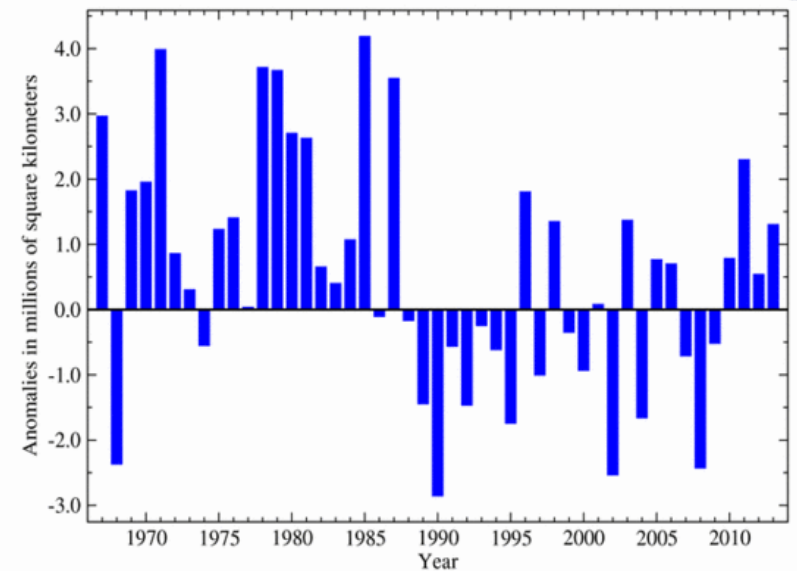
Analysis is based upon Smith et al. (2008) methodology.



I to wszystko pomimo
wysokiej średniej
temperatury globu.

Northern Hemisphere Snow Cover Anomalies

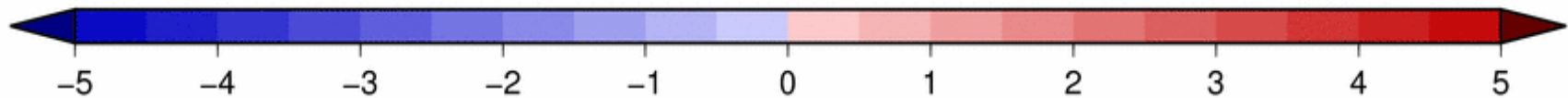
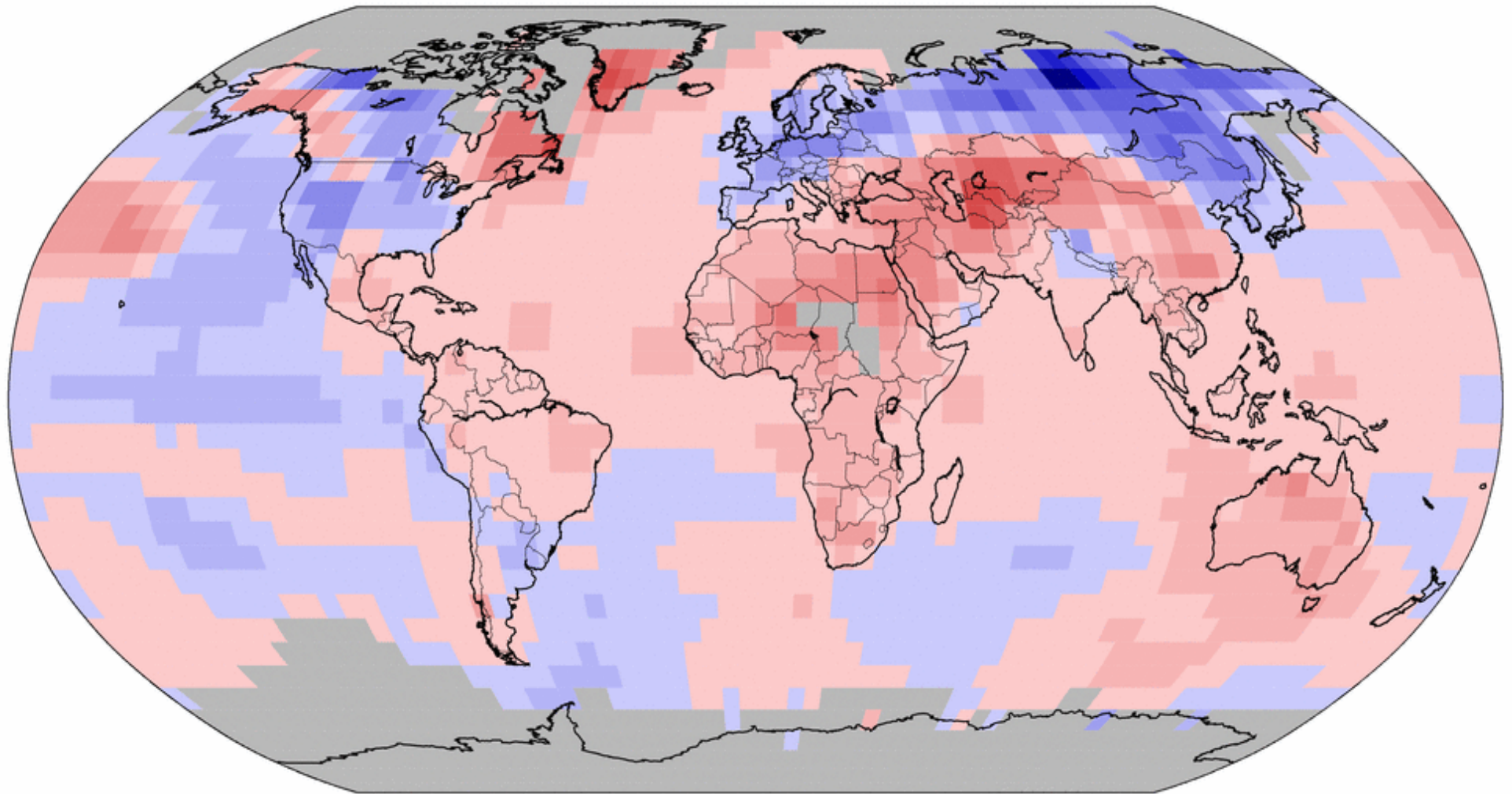
March (1967-2013)



Land & Ocean Temperature Anomalies Jan–Mar 2013

(with respect to a 1981–2010 base period)

Data Source: MLOST version 3.5.3



Degrees Celsius



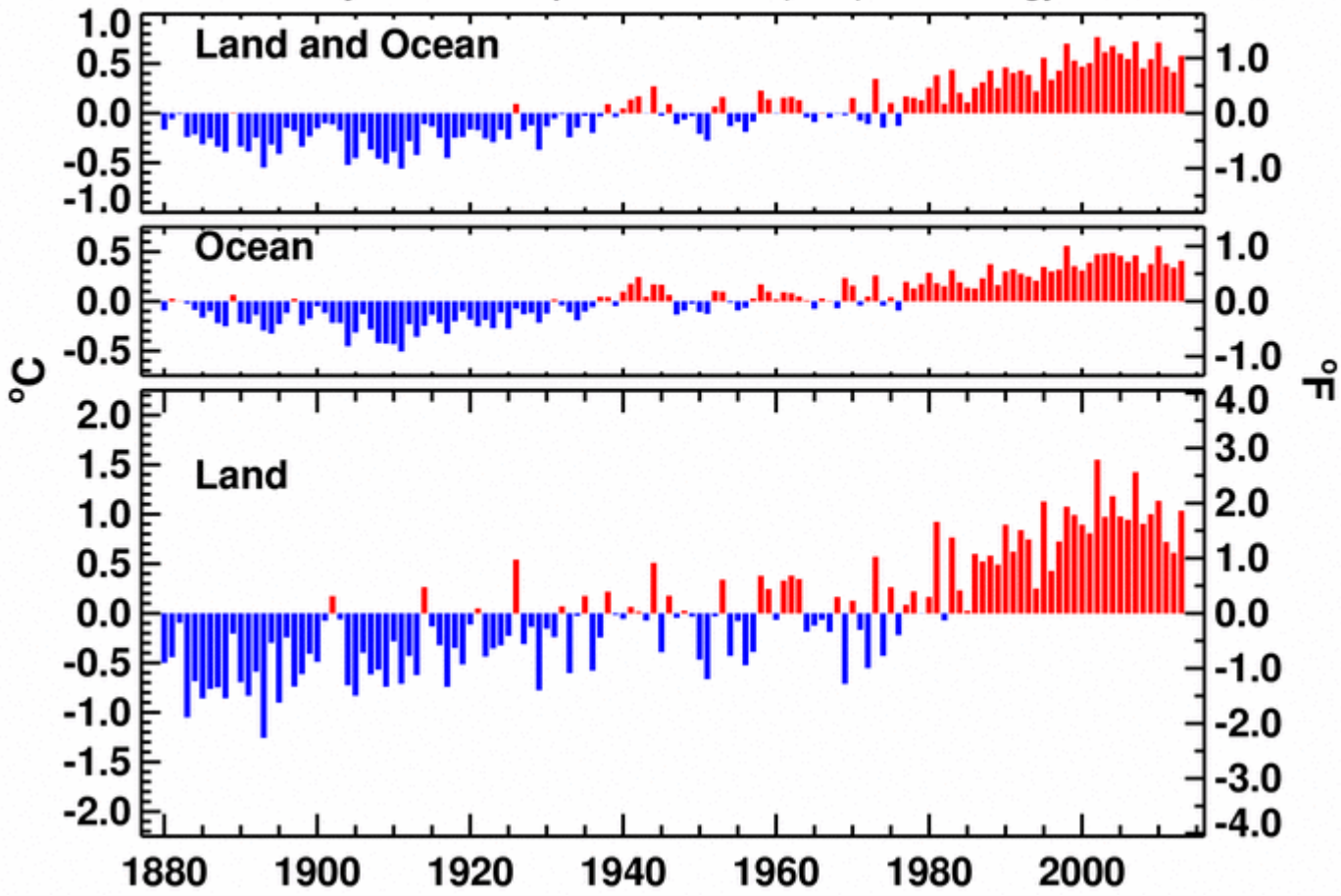
NOAA's National Climatic Data Center
Mon Apr 15 08:15:03 EDT 2013

Please Note: Gray areas represent missing data
Map Projection: Robinson

Jan-Mar Global Surface Mean Temp Anomalies

NCDC/NESDIS/NOAA

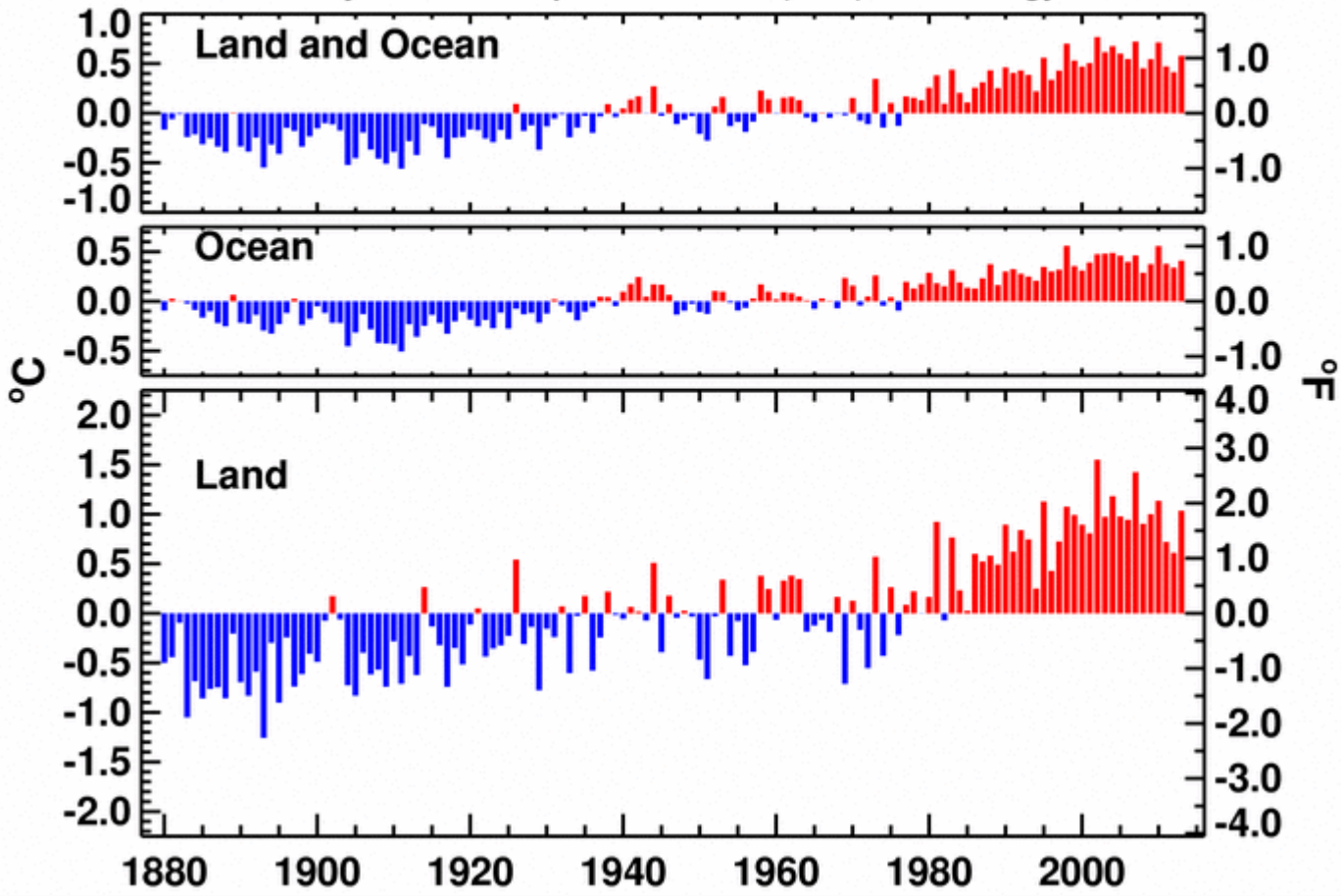
Analysis is based upon Smith et al. (2008) methodology.



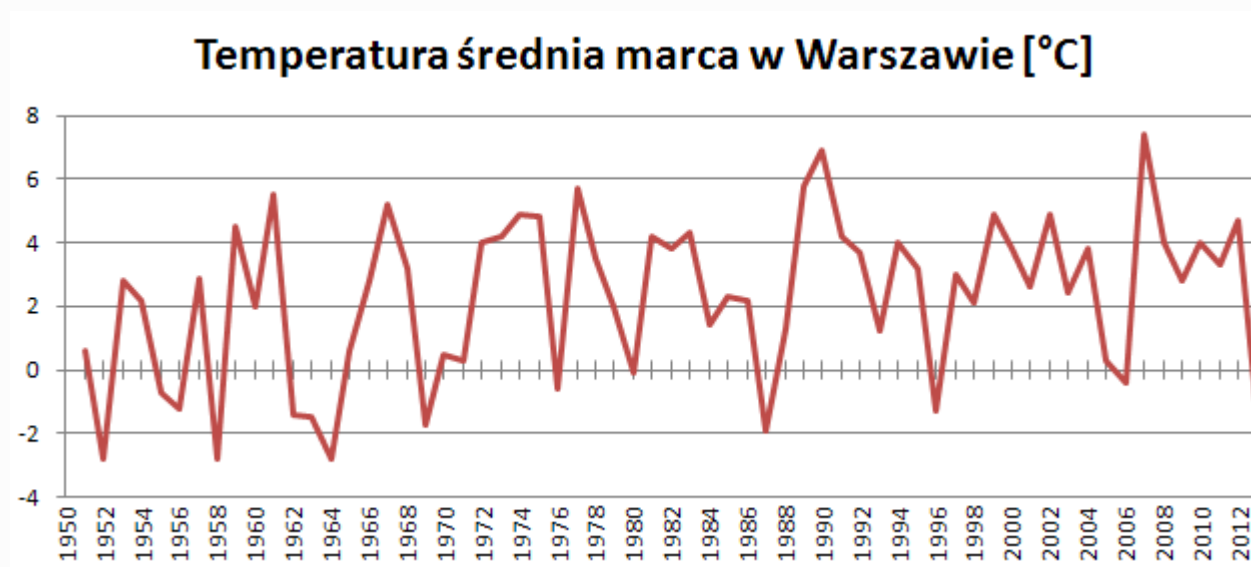
Jan-Mar Global Surface Mean Temp Anomalies

NCDC/NESDIS/NOAA

Analysis is based upon Smith et al. (2008) methodology.



Tak układały się temperatury marca w Warszawie od połowy XX wieku:



Marzec 2013 roku, ze średnią temperaturą $-1,8^{\circ}\text{C}$ zaliczał się do tych chłodniejszych – był najzimniejszym marcem od 1987 roku.

Średnia marcowych temperatur z okresu 1951-2012 to $+2,3^{\circ}\text{C}$, a odchylenie standardowe jest rzędu $2,5^{\circ}\text{C}$.

Podsumowanie

1. Globalne ocieplenie postępuje, Arktyka ociepla się szybciej niż reszta świata.
2. Lód w Arktyce się topi, nie ma warstwy oddzielającej ciepłe wody oceaniczne od atmosfery.
3. Mniejsze różnice temperatur między równikiem i biegunem – słabszy i bardziej stabilny front polarny.
4. Bardziej stacjonarne układy wyżów, przeważa cyrkulacja południkowa.
5. Dłuższe epizody chłódów i/lub ciepła.

Globalne ocieplenie nie oznacza braku epizodów mrozu i śniegu zimą, szczególnie w drugiej jej części.