

Wykład

GLOBALNE ZMIANY ŚRODOWISKA - zmiany klimatyczne

Bartosz Czernecki – *Globalne zmiany środowiska*

Literatura podstawowa:

- Cowie J. 2009. *Zmiany klimatyczne. Przyczyny, przebieg i skutki dla człowieka*. UW, Warszawa
- Kożuchowski K., 1996. *Współczesne zmiany klimatu w Polsce na tle zmian globalnych*. Przegląd Geograficzny, 118, 1-2
- Mannion A. 2001. *Zmiany środowiska Ziemi*, Wyd. Nauk PWN, Warszawa
- Wibig J. 2013, Globalne ocieplenie – fakty i mity. *Geografia w szkole* 2/2013
- V raport IPCC, podsumowanie dla decydentów – wersja online dostępna na stronie: <http://ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/polish/ar5-wg1-spm.pdf>

Literatura uzupełniająca:

- IPCC reports (AR4) i (AR5)

Filmy:

- *MERCHANT OF DOUBTS* – NAOMI ORESKES, JAMES HANSEN
- *AN INCONVENIENT TRUTH* (NIEWYGODNA PRAWDA)

Pogoda i klimat

Pogoda – chwilowy stan atmosfery (...)

Klimat – średnie wieloletnie warunki pogodowe z uwzględnieniem zmian sezonowych (...)

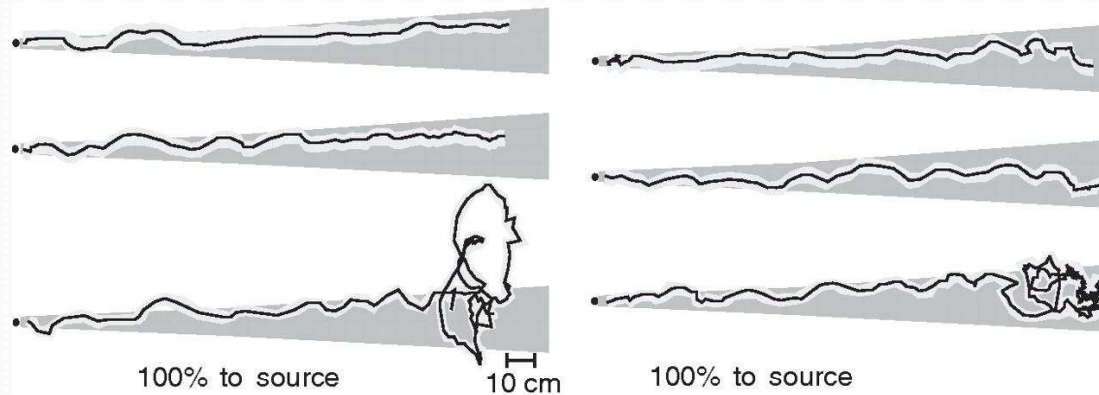
(Cowie 2009)

Klimat jest pojęciem służący do określenia charakterystycznego, zgeneralizowanego stanu atmosfery (Kozuchowski 2005)

Słowo **statystyczny** odnosi się faktycznie wielu „stanów”, bowiem statystyka zajmuje się zjawiskami masowymi, zbiorami, które traktuje całościowo.

Pogoda i klimat

W przypadku badań nad zmianami klimatu trudność polega na odróżnieniu sygnału klimatycznego od szumu wynikającego ze zmienności pogody



Np.: jedno bardzo gorące lato (susza, monsun, itd.) nie świadczy samo w sobie o zmianie klimatu. Inaczej gdy gorące lata powtarzają się przez dziesięć lub więcej lat

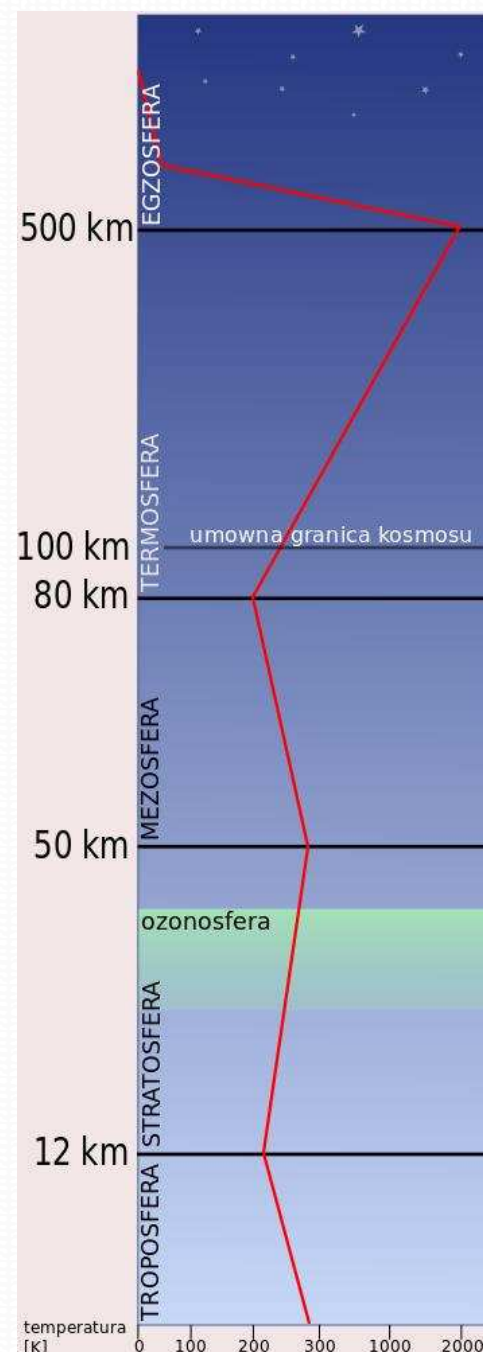
Atmosfera

Atmosfera – powłoka
gazowa otaczająca ciała
niebieskie

(Niedźwiedź i in. 2005)

Atmosfera ziemska –
powłoka gazowa o
charakterystycznej, ciągłej
zmenności w czasie i
przestrzeni jej głównych
elementów (...)

https://pl.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_ziemska#/media/File:Podzia%C5%82_atmosfery.svg



Skład atmosfery – składniki główne powietrza suchego

Gaz	Symbol	Udział w % (obj.) suchego powietrza
Azot	N ₂	78.08
Tlen	O ₂	20.95
Argon	Ar	0.93
Dwutlenek węgla	CO ₂	0.040

Para wodna	H ₂ O	0 – 4
------------	------------------	-------

Skład atmosfery – składniki drugorzędne stałe i półstałe

Gaz	Symbol	Udział w ppm suchego powietrza
Neon	Ne	18
Hel	He	5
Krypton	Kr	1
Xenon	Xe	0.09
Metan	CH ₄	1.7
Tlenek węgla	CO	0.1
Wodór	H ₂	0.6
Podtlenek azotu	N ₂ O	0.3

Skład atmosfery – składniki drugorzędne zmienne

Gaz	Symbol	Typowa koncentracja
Ozon	O_3	0.05 ppm czyste powietrze w troposferze 10 ppm ozonosfera
Siarkowodór	H_2S	0.2 ppb nad lądem
Dwutlenek siarki	SO_2	0.2 ppb nad lądem
Chlorofluorowodorowce	CFC	0.2 ppb
Amoniak	NH_3	6 ppb nad lądem
Dwutlenek azotu	NO_2	1 ppb nad lądem

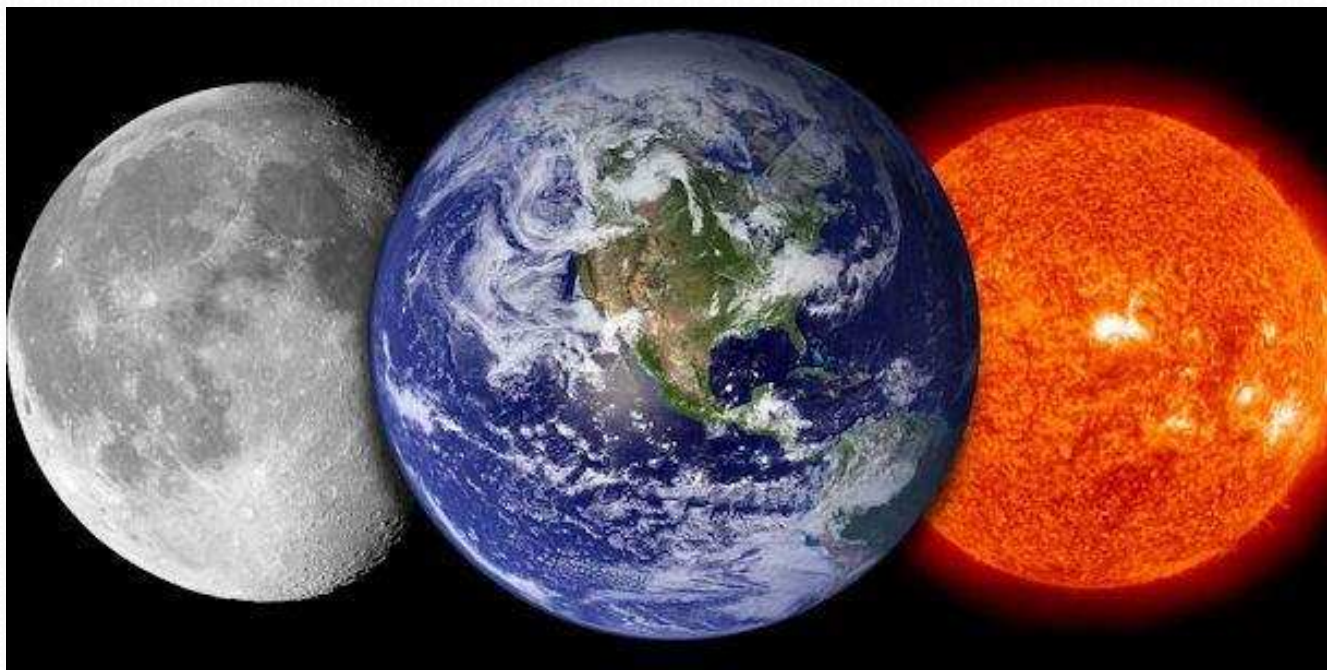
Zmiany składu chemicznego atmosfery wraz z wysokością

Wysokość [km]	Przeważające gazy	
1000	He, H, O	Gazy lekkie
750	He, O, H	
500	O, He, N ₂	
300	O, N ₂ , He	
180	O, N ₂ , O ₂	
110	N ₂ , O, O ₂ ,	
85	N ₂ , O ₂ , Ar	Gazy ciężkie
0	N ₂ , O ₂ , Ar	

Heterosfera

Homosfera

Znaczenie atmosfery:



Księżyc

~245K

Dzień: 100K

Noc: 390K

Ziemia

~288K

Słońce

~5500K

Bilans energetyczny i efekt cieplarniany

Podstawowym parametrem określającym temperaturę Ziemi jest bilans energii między promieniowaniem docierającym ze Słońca a emitowanym przez Ziemię w przestrzeń kosmiczną. Zgodnie z prawem Boltzmana cieplejsza Ziemia traci więcej energii niż chłodniejsza.

Ziemia bilansuje swój budżet energetyczny, ocieplając się lub ochładzając do temperatury, w której równoważą się strumieni energii przychodzącej i wychodzącej



Przyczyny ocieplenia – bilans energetyczny

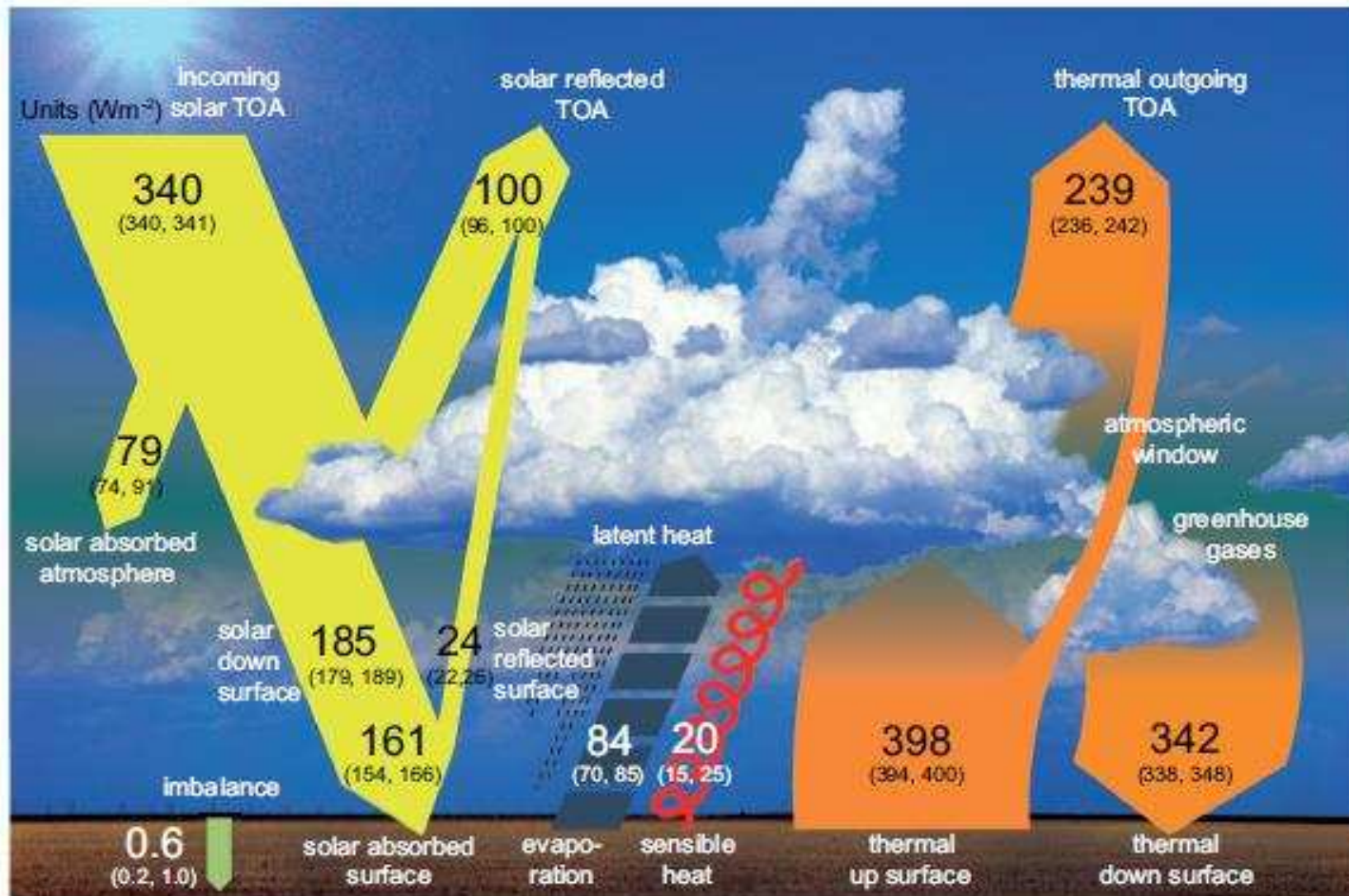


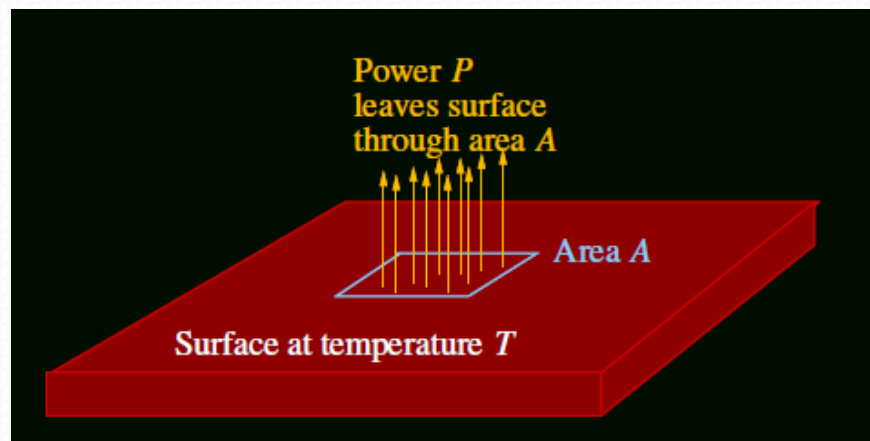
Figure 2.11: | Global mean energy budget under present-day climate conditions. Numbers state magnitudes of the individual energy fluxes in W m^{-2} , adjusted within their uncertainty ranges to close the energy budgets. Numbers in parentheses attached to the energy fluxes cover the range of values in line with observational constraints. (Adapted from Wild et al., 2013.)

Fizyka modelu 0-wymiarowego

Zaabsorbowana energia cieplna jest oddawana przez Ziemię w postaci promieniowania długofalowego.

Każde ciało oddaje pewną ilość energii w zależności od swojej temperatury (zgodnie z prawem Stefana-Boltzmann'a).

Stała Boltzmana = zdolność emisyjna danego ciała



$$P/A = \epsilon \sigma T^4$$

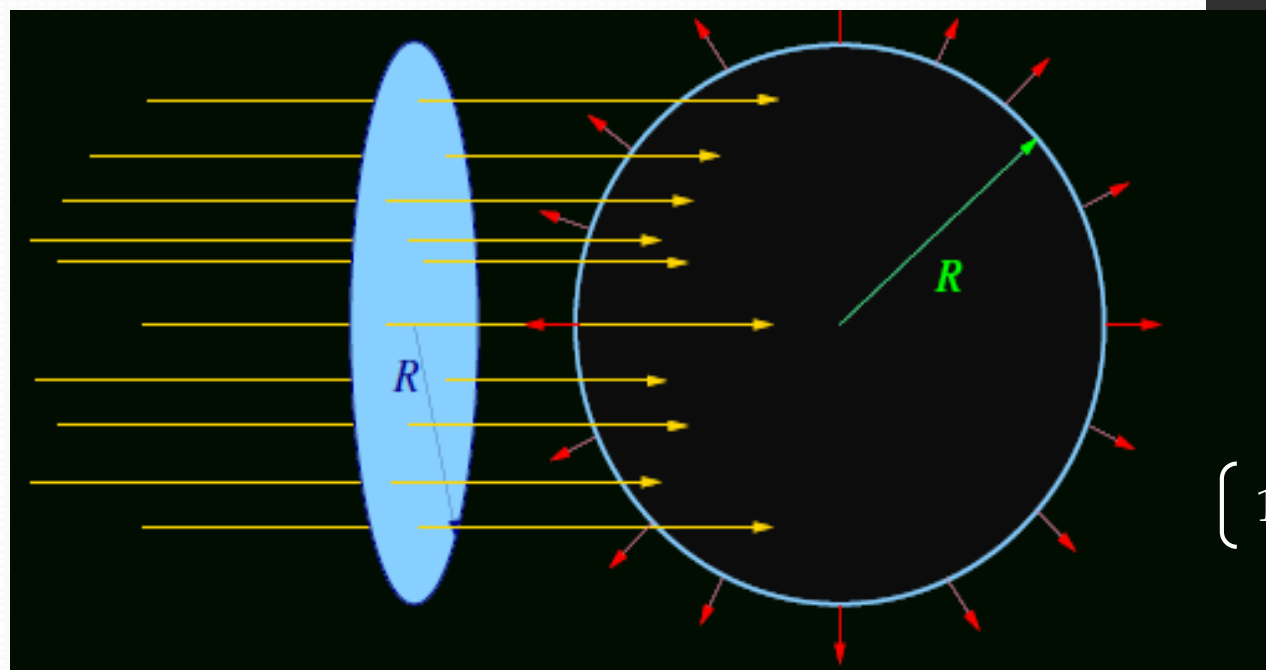
Fizyka – modelu 0-wymiarowego c.d.

Jeśli przyjmimy wartość emisyjną dla ciała doskonale czarnego (równą 1) wówczas ilość energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi wyraża równanie: $\pi R^2 S_0$,

Natomiast ilość energii oddawanej przez Ziemię równanie:

$$4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$4\pi R^2 \sigma T^4 = \pi R^2 S_0$$
$$T = \sqrt[4]{\frac{S_0}{4\sigma}}$$



Teoria a rzeczywistość:



http://www.newearth.co.za/assets/images/THE_EARTH.jpg

**W
rzeczywistości
tylko ok. 70%
energii
słonecznej jest
absorbowane
przez Ziemię a
pozostałe 30%
odbijane
(albedo)**

W stanie równowagi:

$$E = \sigma T^4$$

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{(1-A)S}{4\sigma}}$$

Efektywna temperatura Ziemi

$$T = \sqrt[4]{\frac{(1 - 0,3) \cdot 1368 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}}} = 255^\circ\text{K} = -18^\circ\text{C}$$

Czynniki modyfikujące klimat w skali globalnej

Czynniki zmian klimatu:

- **Zewnętrzne [1]** (czynniki oddziałujące poza systemem klimatycznym)
- **Wewnętrzne [2]** (czynniki oddziałujące wewnątrz systemu klimatycznego):
 - **Naturalne [2.1]**
 - **Antropogeniczne [2.2]** (pod wpływem działalności człowieka)

Zewnętrzne czynniki zmian klimatu

Czynniki zewnętrzne: [1]

- Aktywność słoneczna [1.1]
 - stała słoneczna [1.1.1]
 - plamy na Słońcu [1.1.2]
- Wahania parametrów ruchu obiegowego Ziemi [1.2]
 - Precesja [1.2.1]
 - Ekscentryczność [1.2.2]
 - Nachylenie osi Ziemi [1.2.3]

Zewnętrzne czynniki zmian klimatu

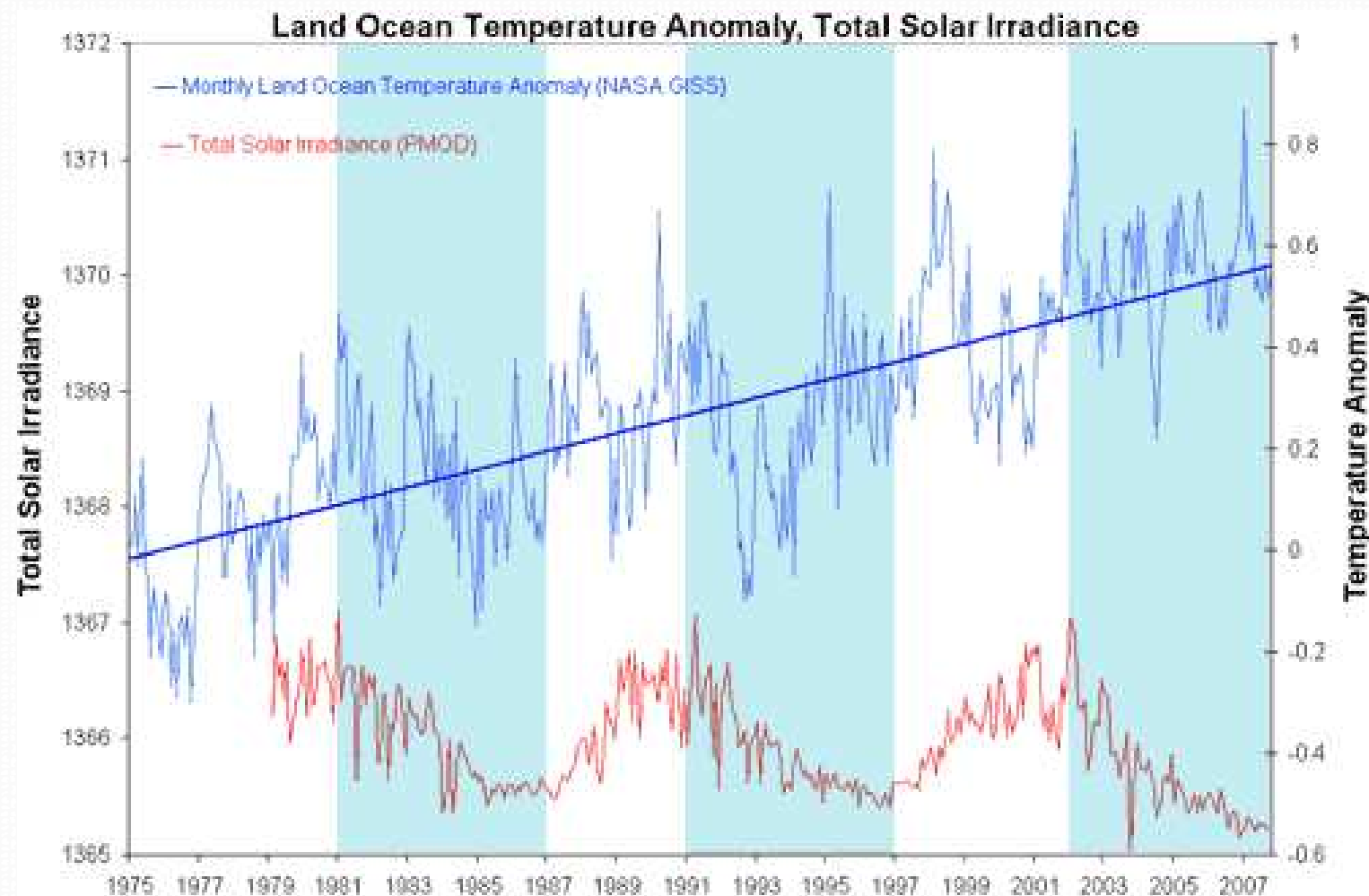
- Stała słoneczna (Solar Irradiance)

Zmiany stałej słonecznej związanej z cyklem 11 letnim są niewielkie i wynoszą około 0.1%. Zgodnie z modelem bilansu radiacyjnego zmiany temperatury powierzchni Ziemi związane ze spadkiem stałej słonecznej o 1% wynoszą zaledwie ~0.7C.

Przykładowo w XVIII i XIX wieku aktywność słońca była bardzo niska i obniżenie się temperatury na Ziemi w tym okresie można tłumaczyć spadkiem stałej słonecznej. Jednak typowe zmiany stałej słonecznej są 10-krotnie mniejsze co odpowiada zmianą temperatury <0.1C.

Zewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Stała słoneczna



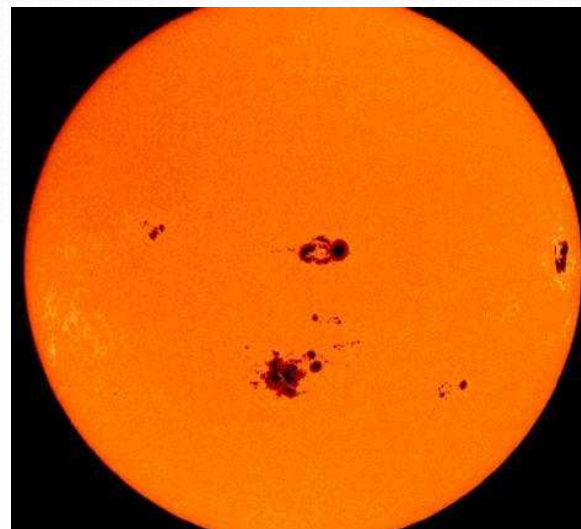
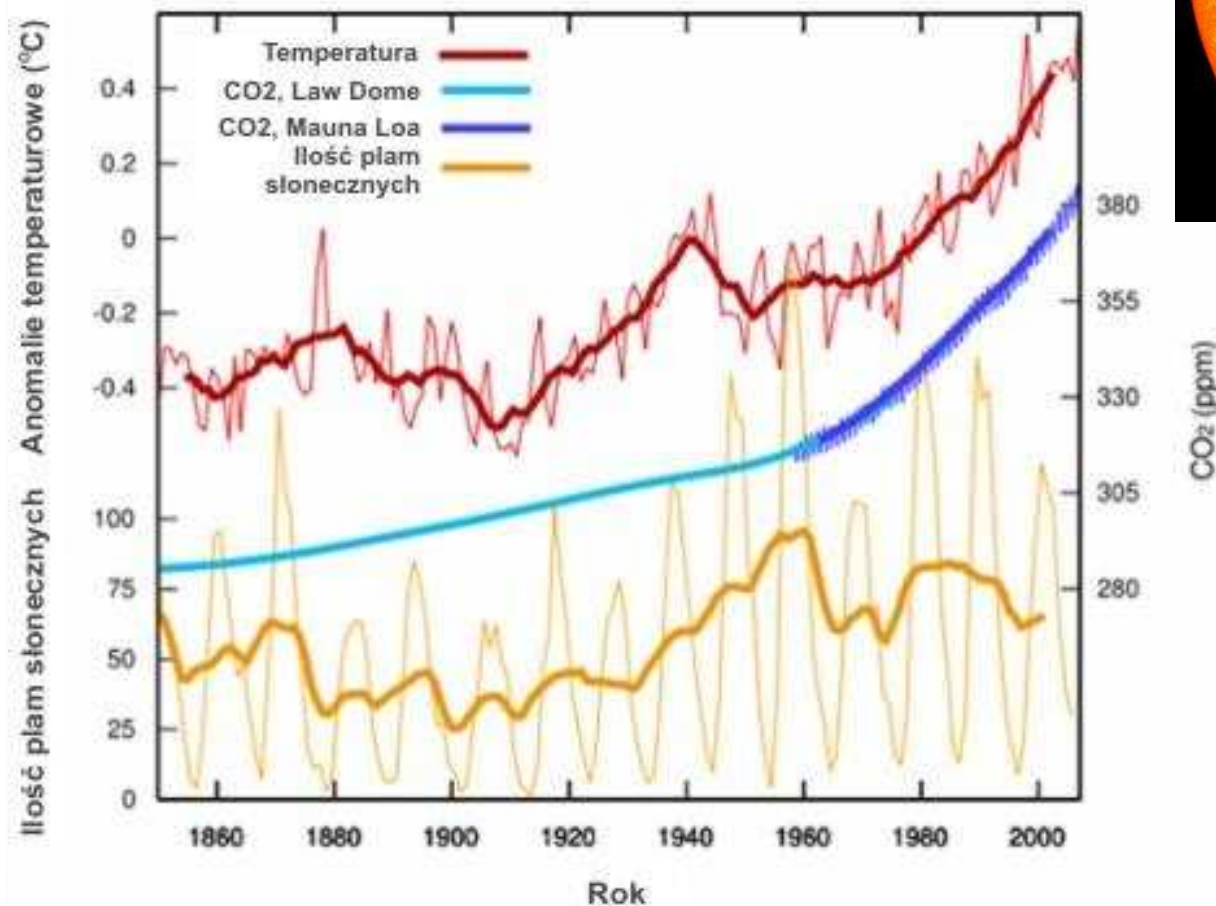
Anomalie temperatury oraz jej trend (niebieski), zmiany stałej słonecznej (czerwony), Obszary zacieniowane na niebiesko wskazują okresy zmniejszenia stałej słonecznej zgodnie z cyklem 11-letnim.

Zewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Plamy na słońcu (sunspots)

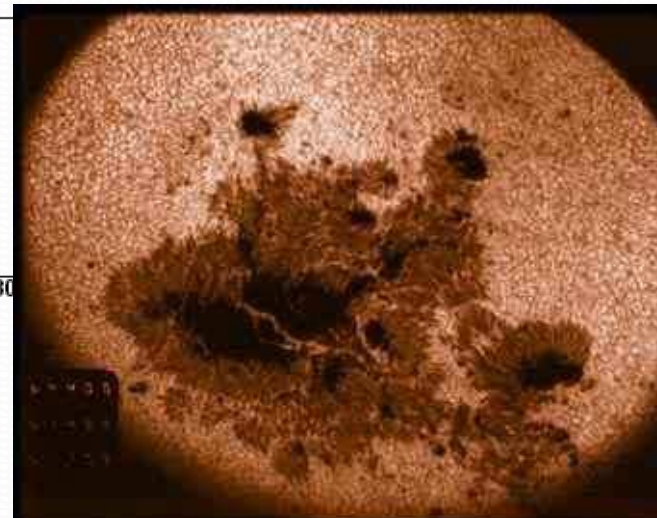
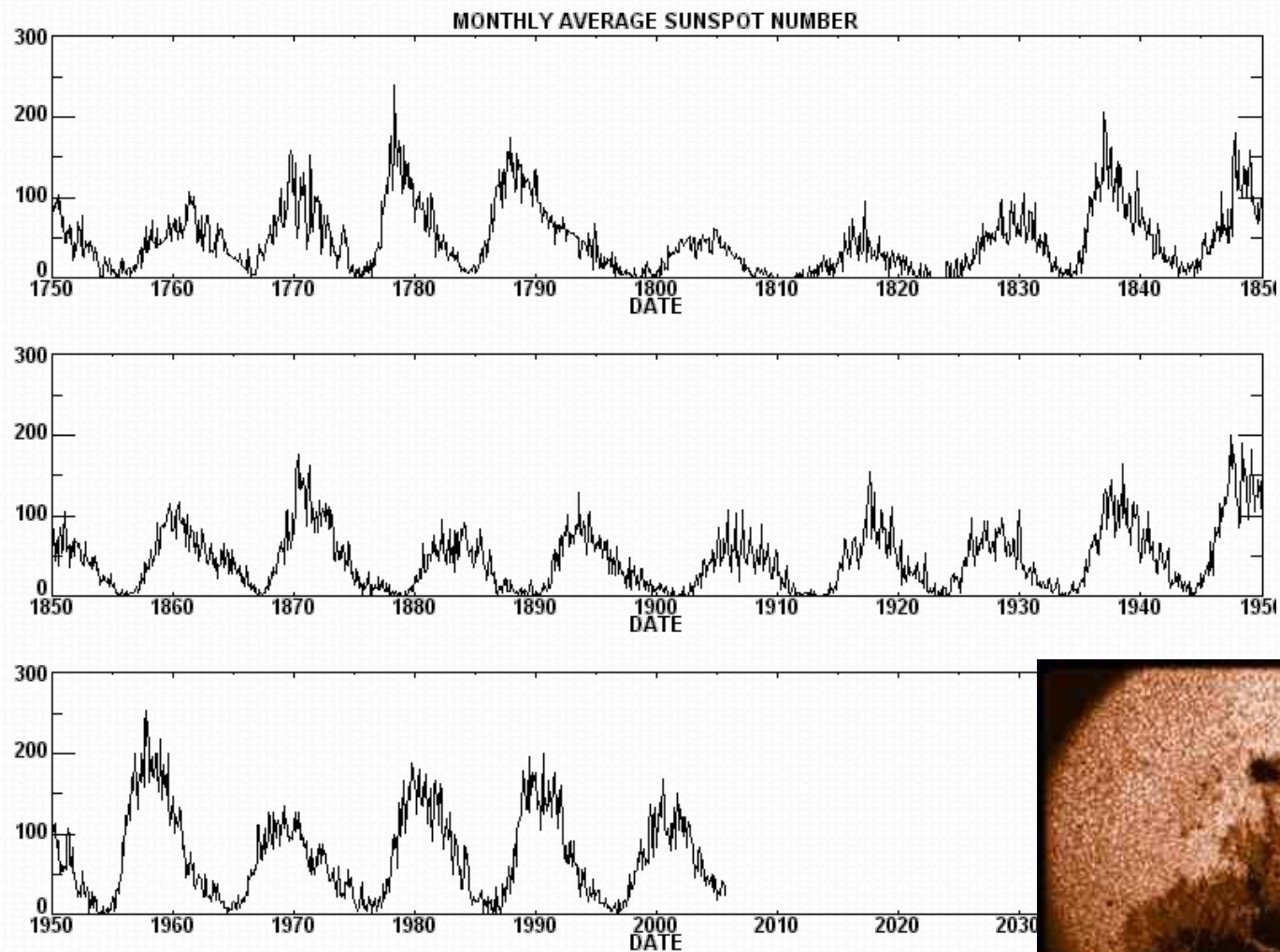
Liczba plam na Słońcu

Temperatura, CO₂ i plamy słoneczne



Zewnętrzne czynniki zmian klimatu

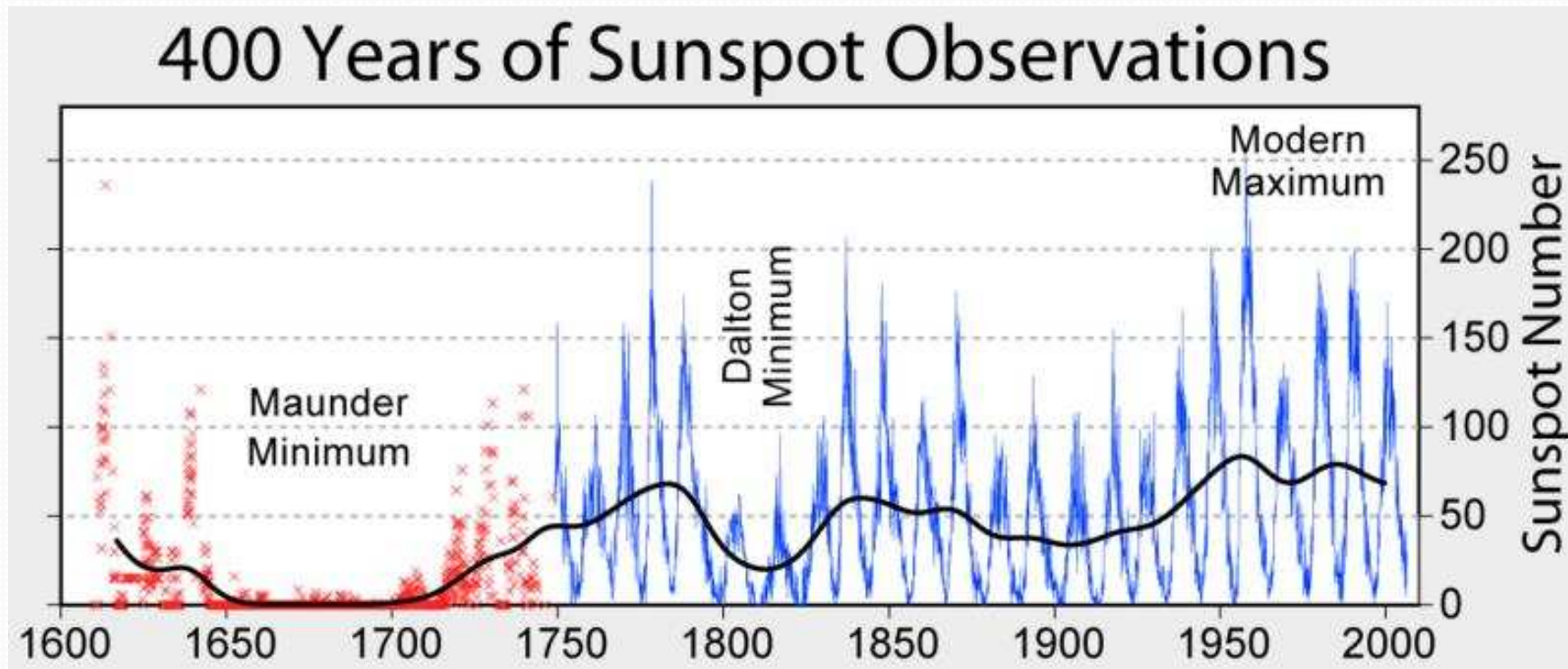
- Plamy na słońcu (sunspots)



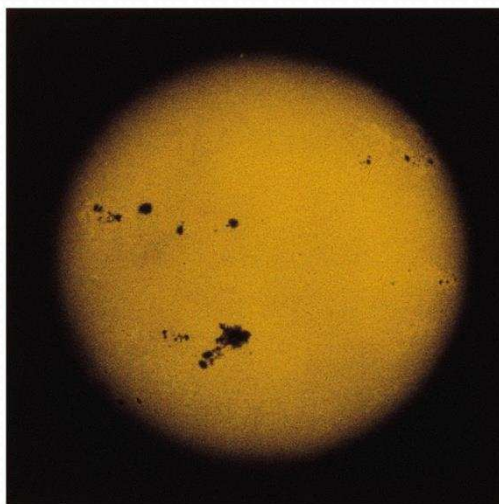
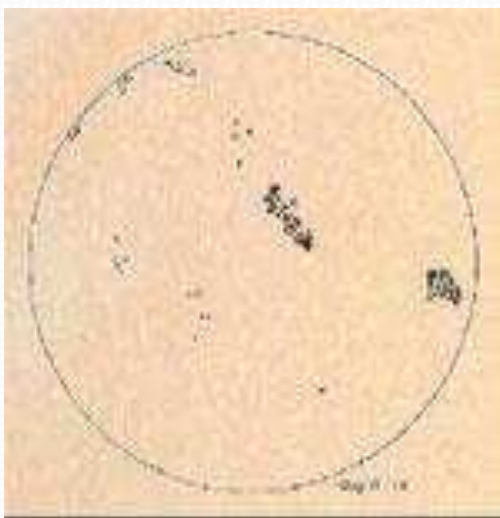
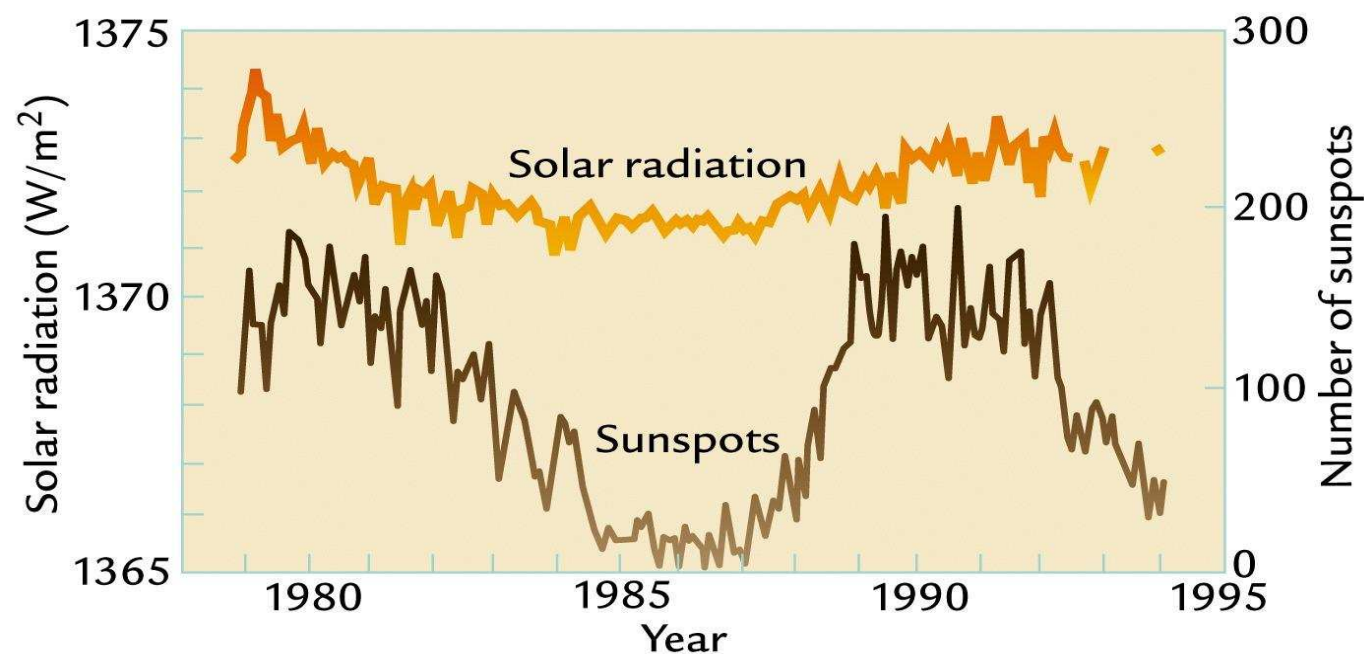
Zewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Plamy na słońcu (sunspots)

Mała Epoka Lodowcowa w powiązaniu z Minimum Maundera – okres zmniejszonej liczby plam słonecznych



Zmiany aktywności słonecznej a liczba plam na słońcu



Cykle Milankovica

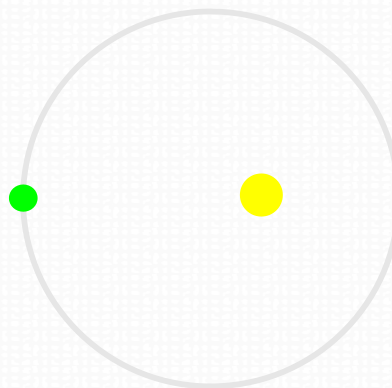
Astronomiczne przyczyny zmienności paleoklimatycznej – ekscentryczność (1)



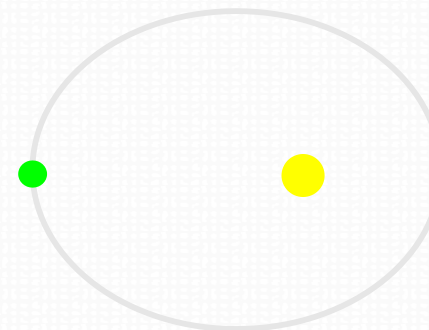
Cykl zmian ekscentryczności trwa około 100 tys. lat. Wraz ze zmianą odległości Ziemi od Słońca niewielkim wahaniom ulega insolacja czyli całkowite promieniowanie słoneczne docierające do Ziemi.

e zmienia się w zakresie 0.0005 0.0607 (obecnie 0.0167)

Milutin Milankovic
profesor matematyki
stosowanej na
Uniwersytecie w
Belgradzie. W latach
1912-14 opublikował 3
krótkie artykuły o
zmienności
parametrów
astronomicznych. Jego
teoria zyskała rozgłos
w latach 40-tych XXw.



orbita bardziej kolista



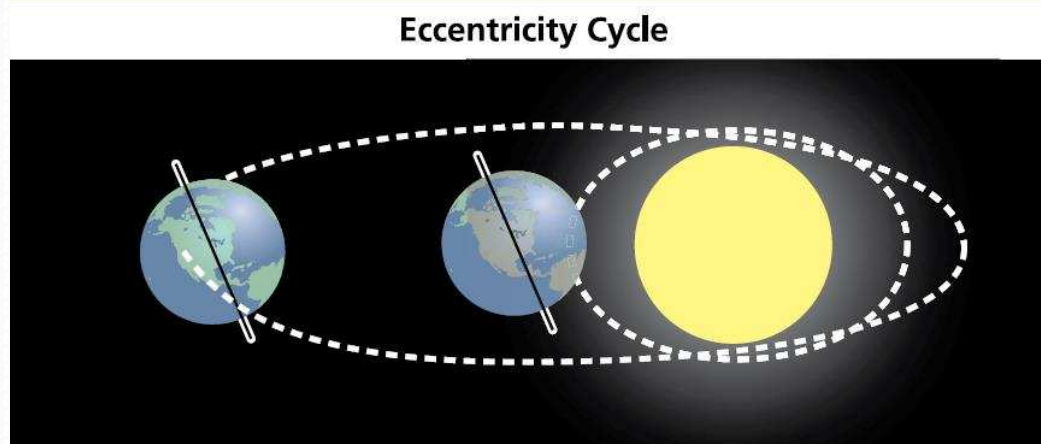
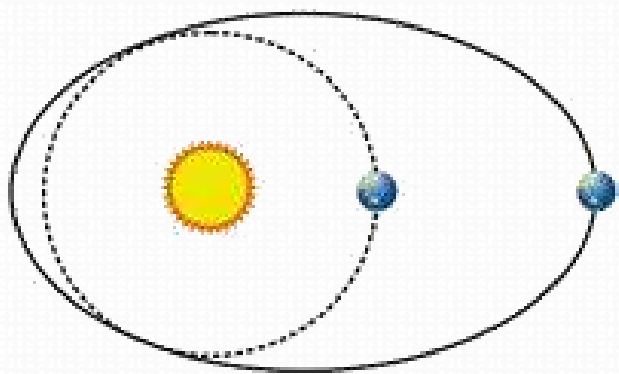
orbita bardziej eliptyczna

Zewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Cykle Milankoviča

(1) Ekscentryczność orbity ziemskiej.

Ziemia krąży wokół Słońca po orbicie, która ma kształt **zbliżony do elipsy**. Słońce znajduje się na osi przechodzącej przez oba ogniska elipsy, w pobliżu jednego z nich. Obecnie ekscentryczność orbity ziemskiej jest niewielka, odległość Ziemi od Słońca zmienia się od 146×10^6 km do 156×10^6 km, czyli o ok. 10×10^6 km.

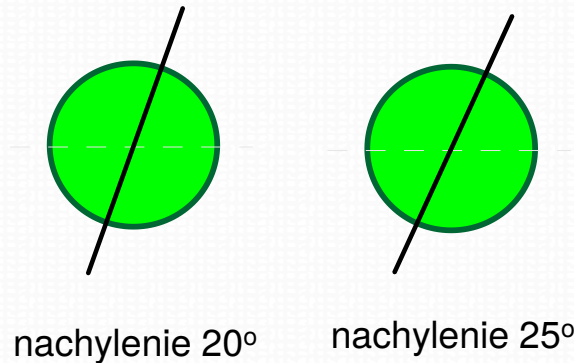


Cykle Milankovica

Astronomiczne przyczyny zmienności paleoklimatycznej – zmiany nachylenia osi (2)

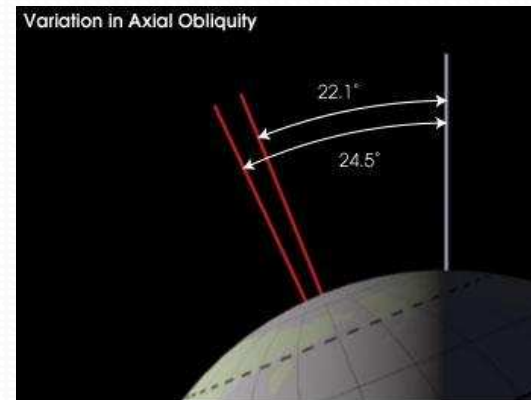


Cykle o długości 41 000 lat – zmiany nachylenia osi ziemskiej do powierzchni ekliptyki



nachylenie osi ziemskiej do powierzchni ekliptyki zmienia się w zakresie 20° - 25° (obecnie 23.5) z okresowością 41 000 lat

Wraz z nachyleniem osi przesunięciu ulegają zwrotniki i koła podbiegunowe --> Większy kąt nachylenia oznacza **większe różnice klimatyczne między strefą gorącą a zimną.**



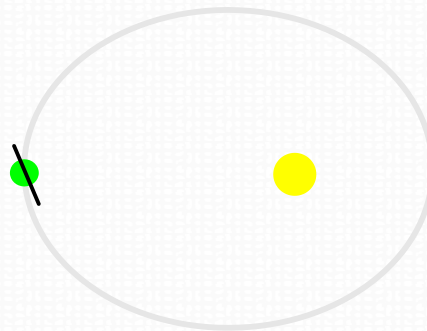
Cykle Milankovica

Astronomiczne przyczyny zmienności paleoklimatycznej – **precesja osi ziemskiej (3)**

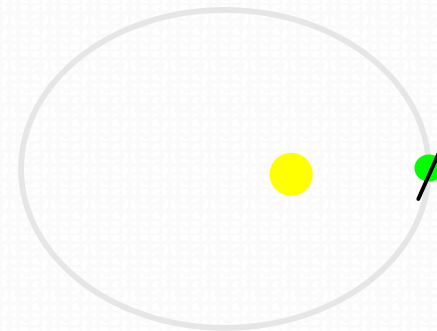


Cykle o długości 23 000 lat – precesja osi ziemskiej

Precesja osi ziemskiej powoduje, że zima na półkuli północnej przypada albo aphelium albo w peryhelium. Zmiany te zachodzą okresowością 19 000 i 23 000 lat.



Zima na półkuli północnej w aphelium



Zima na półkuli północnej w peryhelium

Zewnętrzne czynniki zmian klimatu

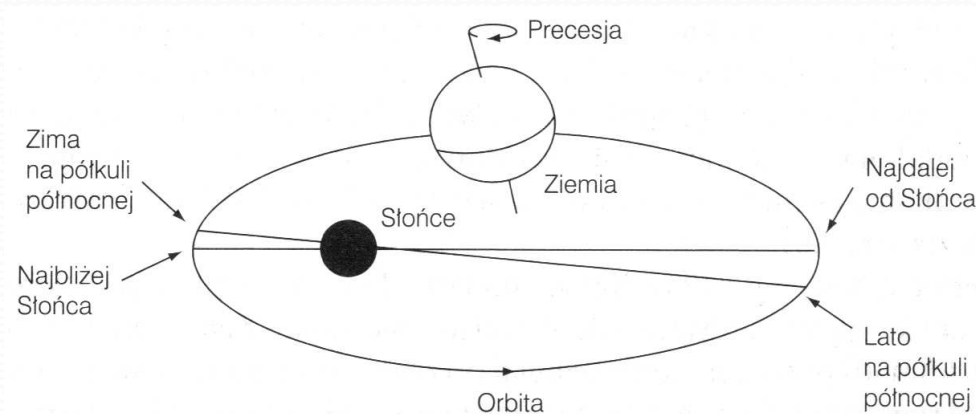
- Cykle Milankoviča

(3) Precesja

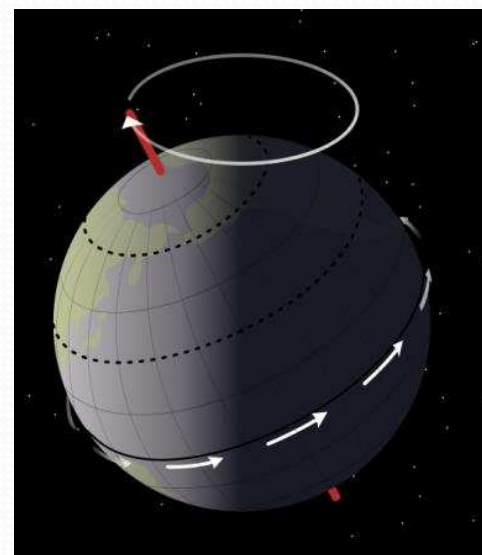
Oś orbity ziemskiej zakreśla stożek wokół prostopadłej do płaszczyzny ekliptyki.

Skutkiem tego ruchu jest **przesuwanie się punktów równonocy po ekliptyce**.

Precesja wpływa również na wygląd nieba oglądanego z rozmaitych miejsc na Ziemi

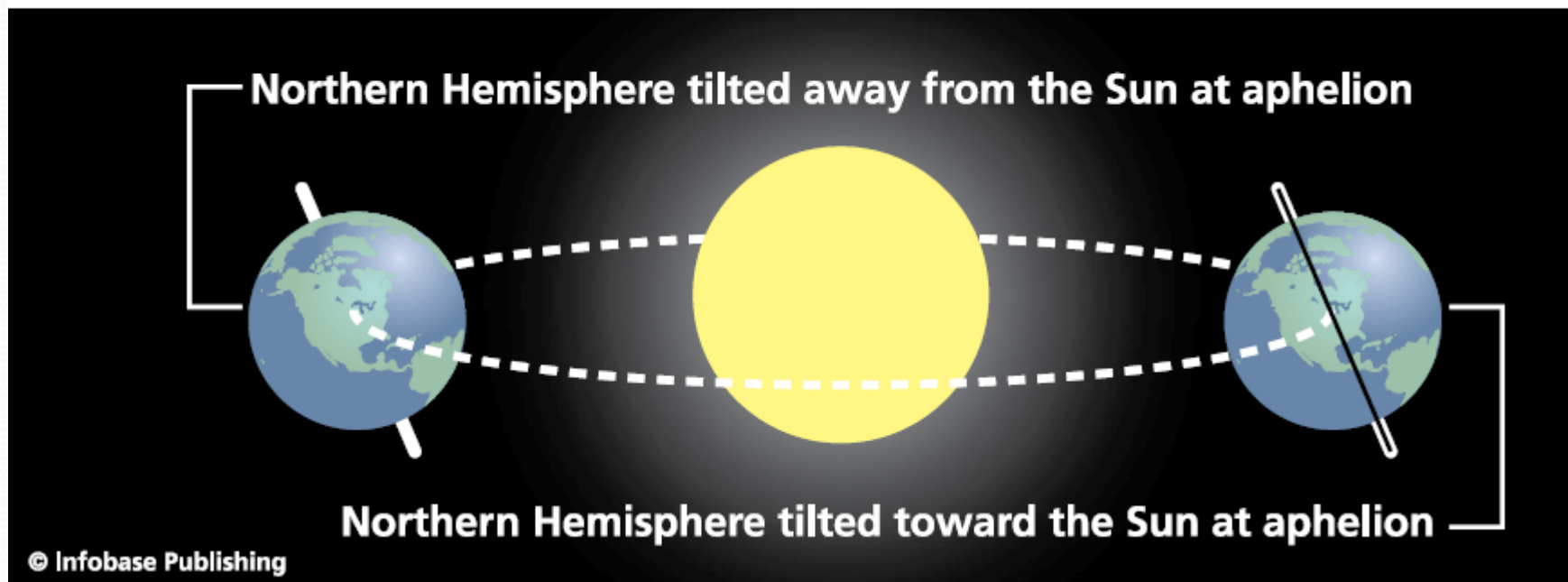


Ryc. 8.4. Cykl precesji orbitalnej



Dzięki precesji punkty równonocy oraz przesilenia letniego i zimowego przesuwają się po ekliptyce. Obecnie przesilenie zimowe na półkuli północnej następuje, gdy Ziemia zbliża się do peryhelium (punktu najbliższemu Słońcu), a letnie, gdy Ziemia zbliża się do aphelium (punktu położonego najdalej od Słońca). Dzięki temu zimy na półkuli północnej są nieco łagodniejsze a lata nieco mniej upalne. Na półkuli południowej kontrasty termiczne między skrajnymi porami roku są większe. 11 000 lat temu było odwrotnie.

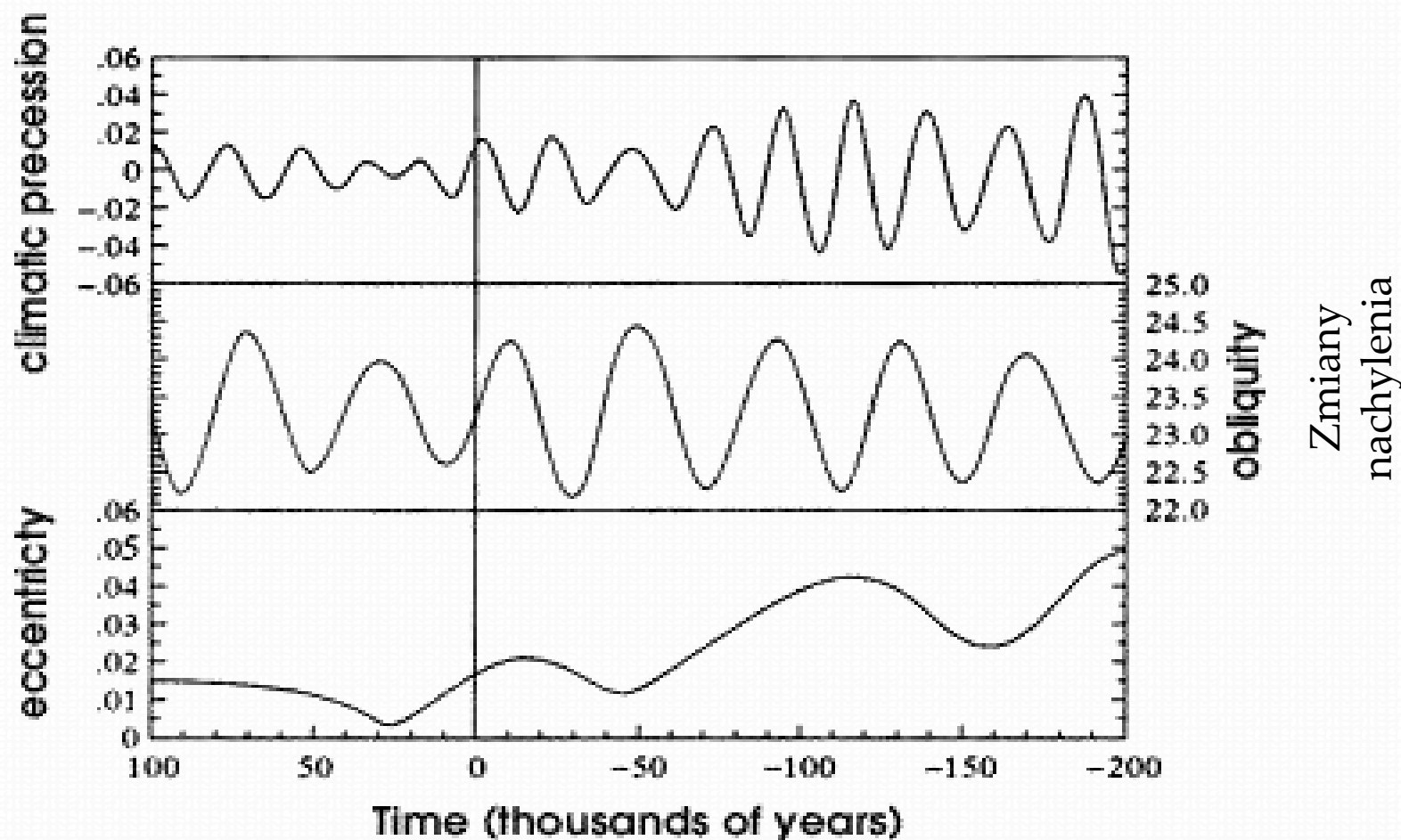
Precession of the Equinoxes



Zewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Nałożenie faz poszczególnych cykli

Milankoviča:



Wewnętrzne czynniki zmian klimatu [2]

Czynniki wewnętrzne (naturalne): [2.1]

- Wybuchy wulkanów [2.1.1]
- Cyrkulacja Oceanu Światowego [2.1.2.]
- Wędrowki kontynentów [2.1.3]

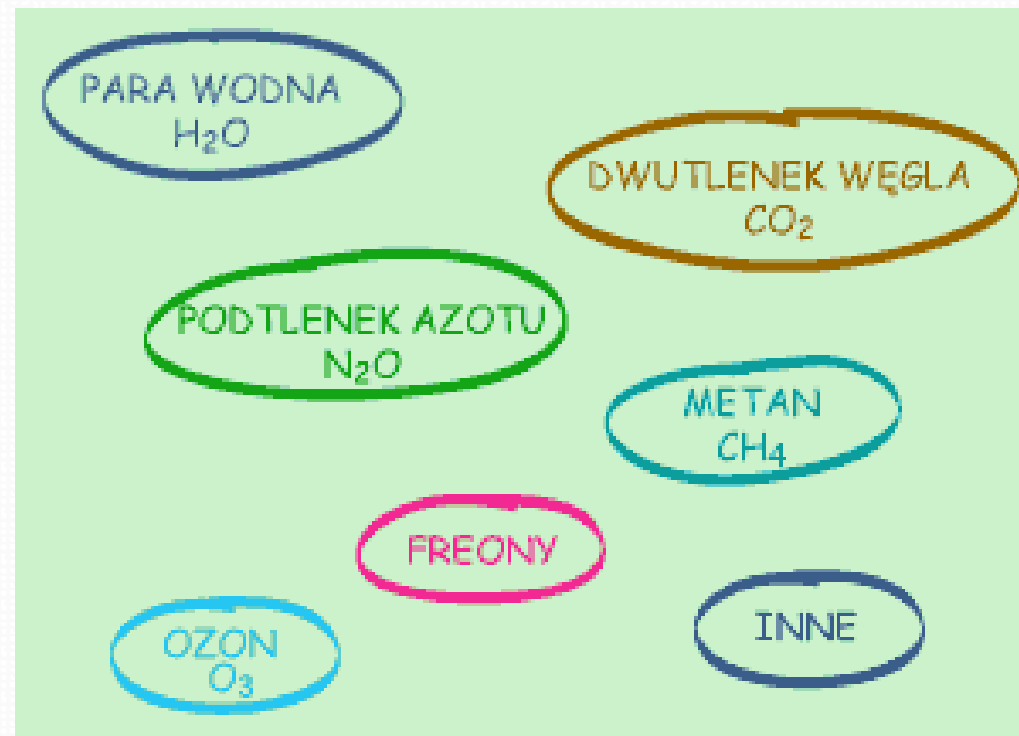
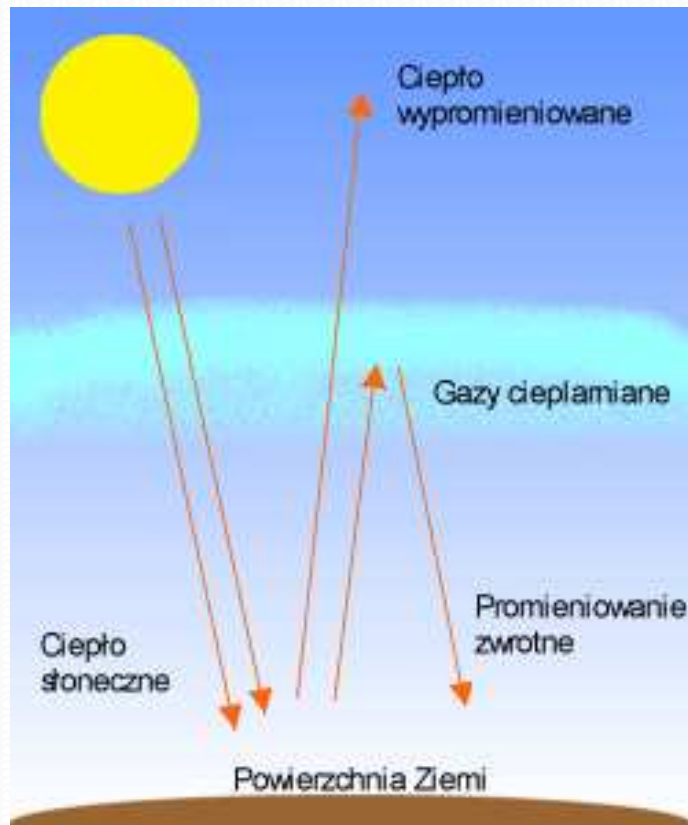
Czynniki wewnętrzne (antropogeniczne): [2.2]

- Gazy cieplarniane [2.2.1]
- Aerosol troposferyczny i chmury [2.2.2]
- Ozon stratosferyczny [2.2.3]
- Zmiany powierzchni lądowej [2.2.4]

Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Gazy cieplarniane (Greenhouse gases, GHG)

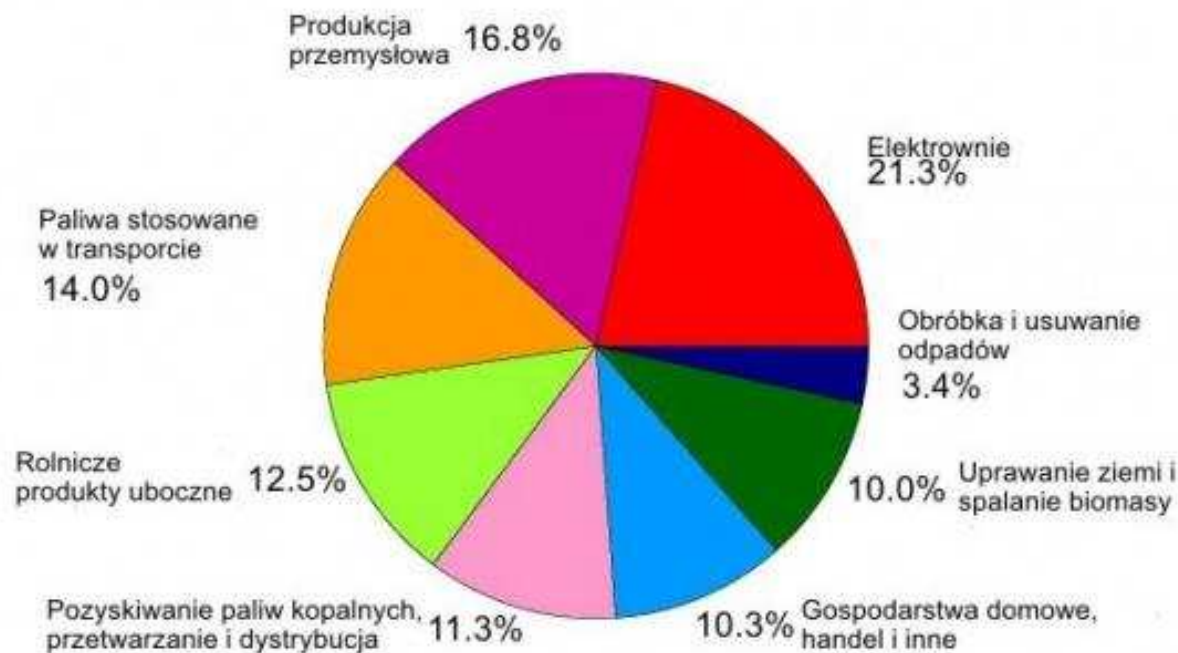
[2.2.1]



Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

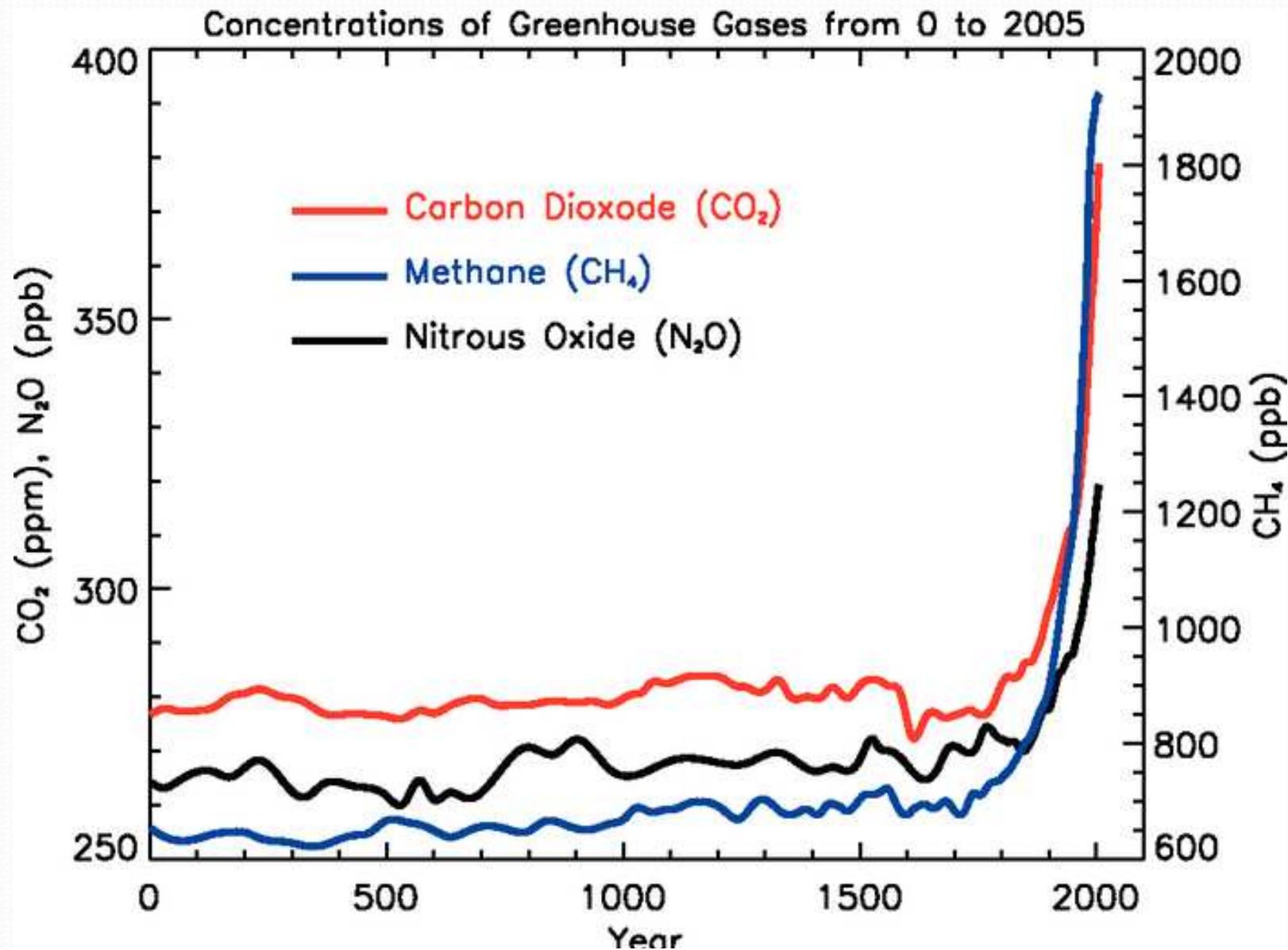
- Gazy cieplarniane GHG

Podział rocznej emisji gazów cieplarnianych



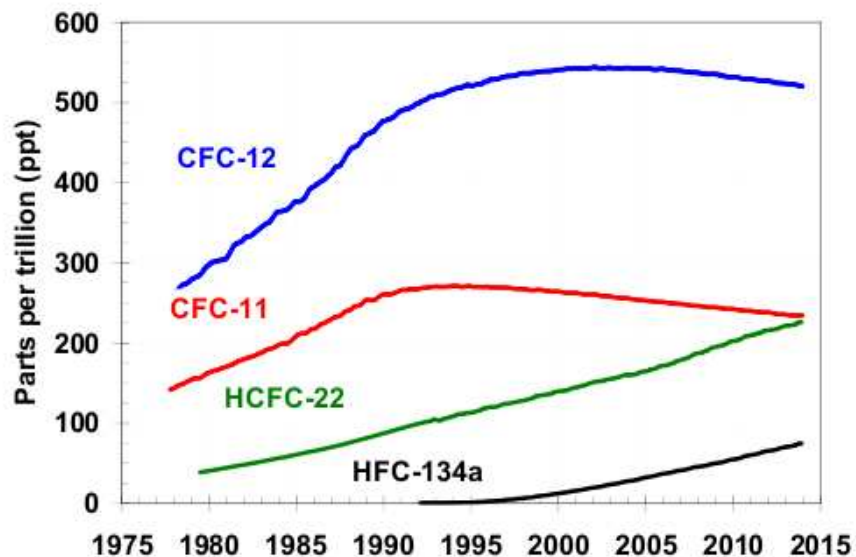
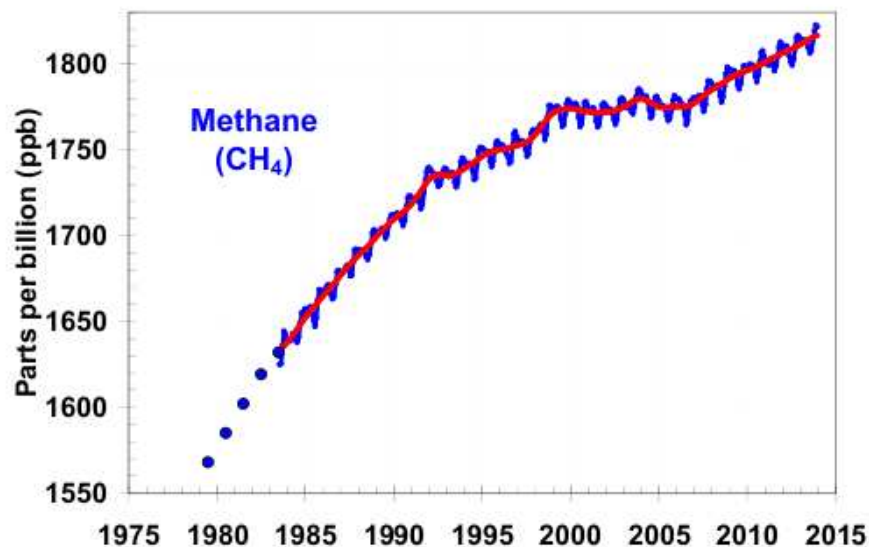
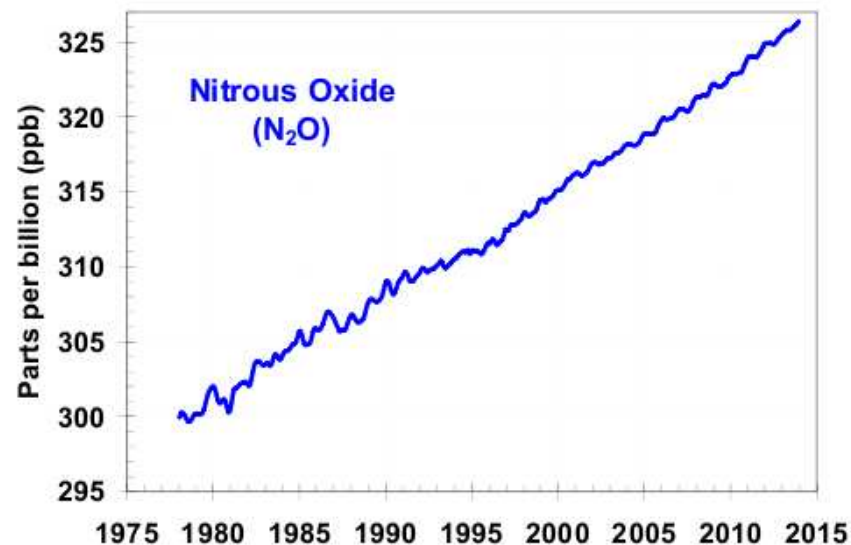
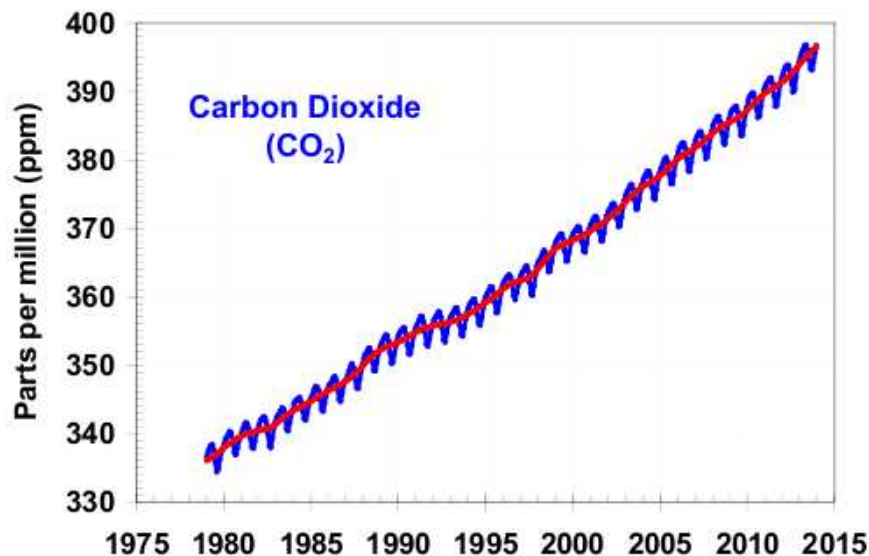
Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Gazy cieplarniane GHG

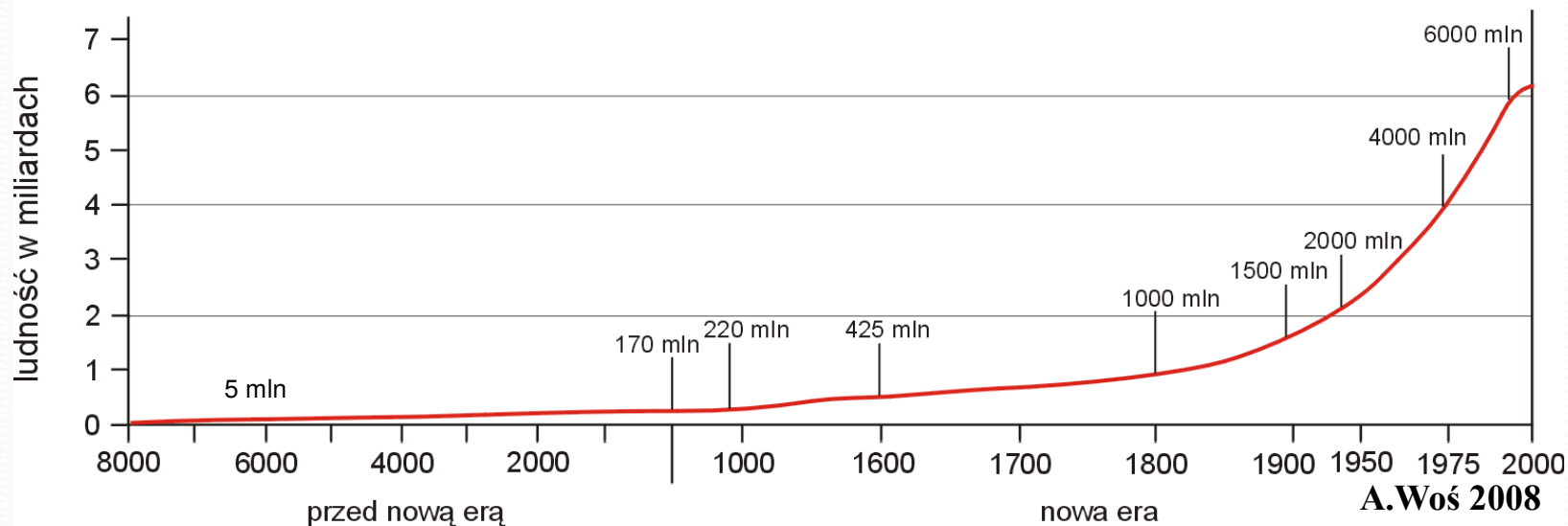


Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

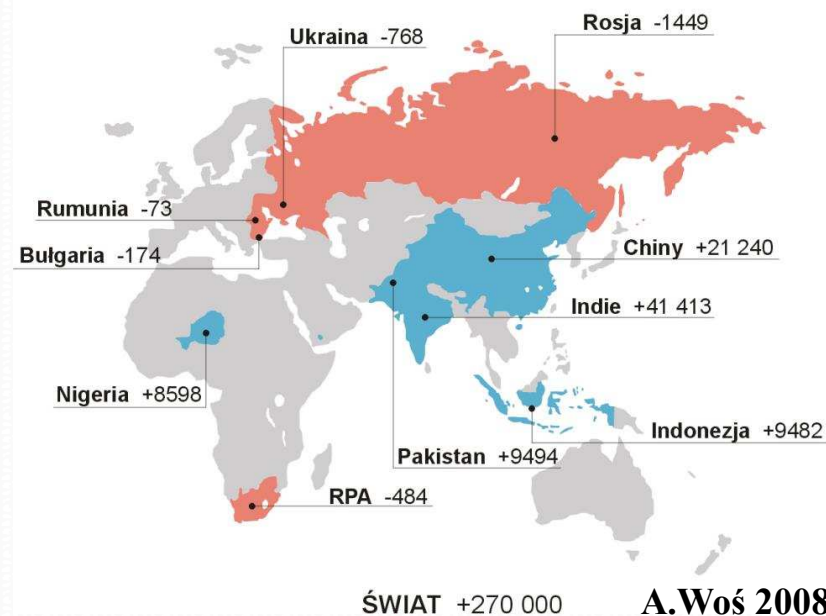
- Gazy cieplarniane GHG



Wzrost liczby ludności w okresie od 8000 r. p.n.e. do 2000 r. n.e.



Dzienne zmiany liczby ludności
(wybrane przykłady)



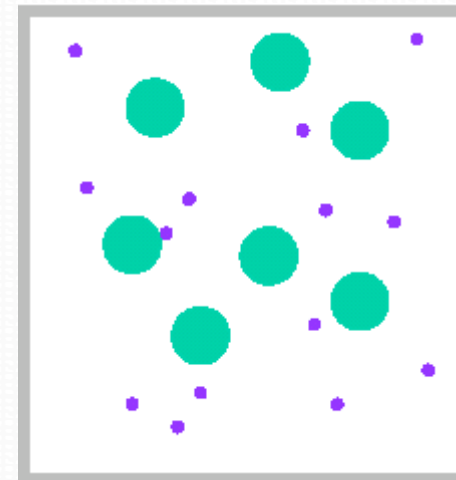
2008:
ponad 7 miliardów ludzi (7 185 970 000)

Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Aerosol troposferyczny i chmury [2.2.2]

Aerozole atmosferyczne to wszystkie drobne cząstki stałe lub ciekłe pochodzenia organicznego i nieorganicznego zawarte w powietrzu. Tworzą wraz z powietrzem roztwór koloidalny.

Jako jądra kondensacji aerozole atmosferyczne odgrywają kluczową rolę w powstawaniu opadów.



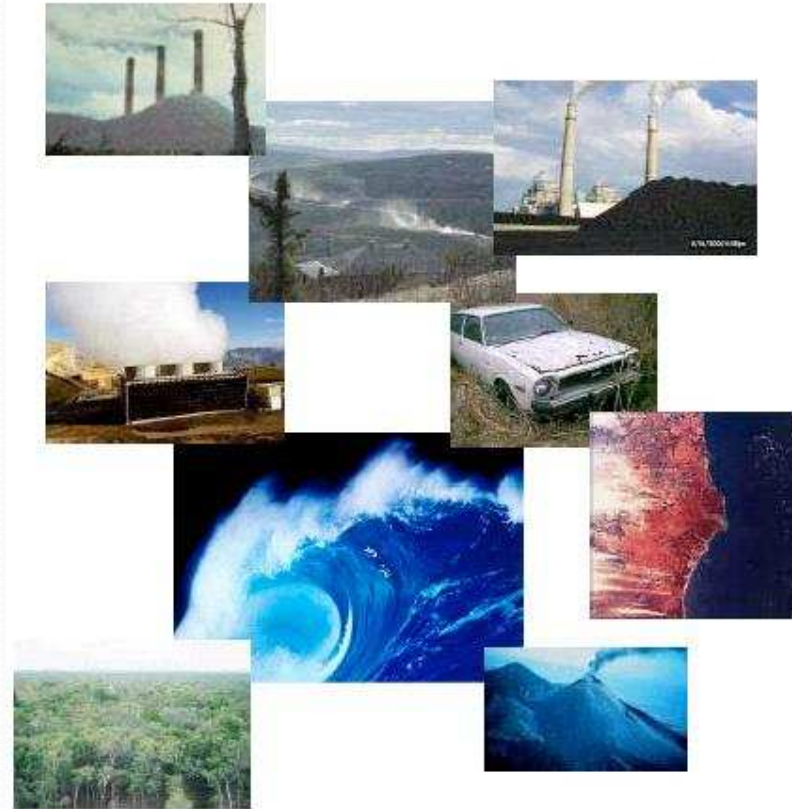
Źródła aerozoli

Antropogeniczne źródła aerozoli (w mln ton/rok)

■ transformacja gaz-cząsteczki	275
■ procesy przemysłowe	56
■ spalanie paliw kopalnych	44
■ likwidacja odpadów	2.5
■ transport	2.5
■ pozostałe	28
SUMA	410

Naturalne źródła aerozoli (w mln ton/rok)

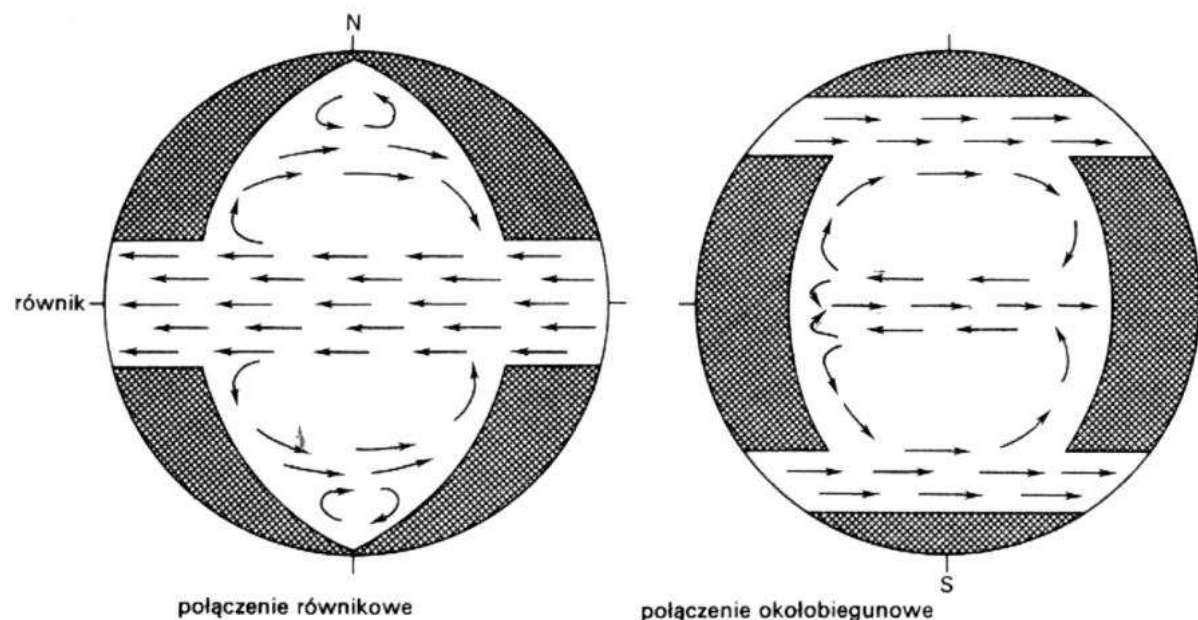
■ kryształki soli (rozbryzgi fal morskich)	1000
■ konwersja gaz-cząsteczki	570
■ unoszenie kurzu przez wiatr	500
■ pożary lasów	35
■ meteoryty	20
■ wulkany (silnie zmienne)	25
SUMA	>2150



Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

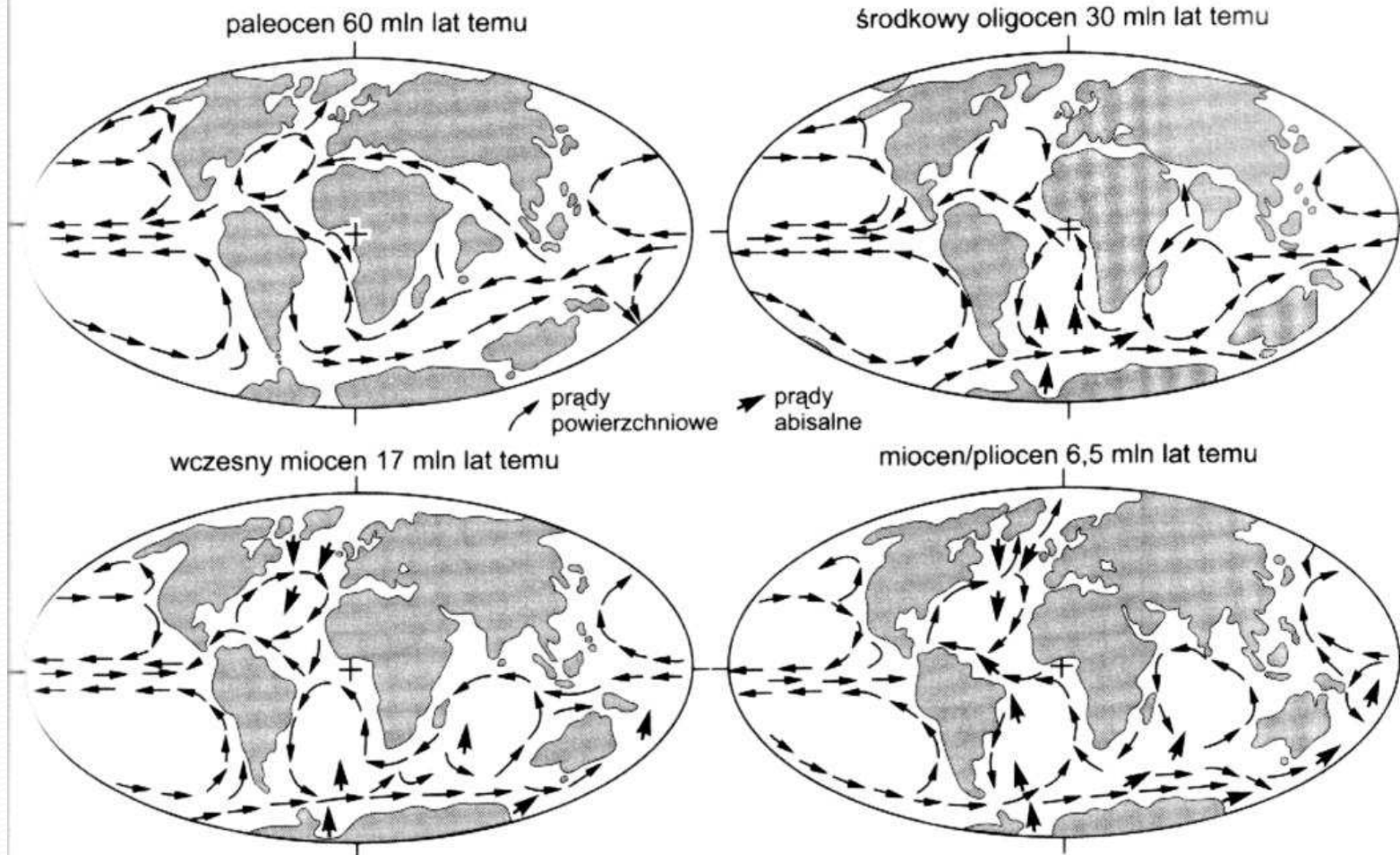
- Wędrowki kontynentów [2.2.3]

ROZKŁAD PRĄDÓW MORSKICH



Bariery i połączenia morskie pełnią ważną rolę w cyrkulacji oceanicznej. Gdyby prąd równikowy mógł swobodnie okrążyć Ziemię (być może nawet kilkakrotnie) zanim odchyli się na północ i południe, to rozmieszczenie ciepła na różnych szerokościach byłoby bardziej równomierne (rysunek lewy). Jeśli zaś przepływ prądu równikowego byłby ograniczony i jednocześnie istniałby ruch okołobiegunowy (rysunek prawy), kontynenty polarne będą odizolowane od cieplejszych wód niższych szerokości, a gradient temperatury pomiędzy równikiem a biegunami będzie znaczny

Ku epoce lodowej



Kenozoiczne dzieje cyrkulacji oceanicznej są zdominowane przez dwa wydarzenia: otwieranie się wokółbiegunowej antarktycznej drogi morskiej 25-30 mln lat temu oraz zamykanie się okołorównikowego połączenia morskiego, zakończone w pliocenie, gdy wynurzył się Przesmyk Panamski. Pytanie, czy zmiany te przyczyniły się w dużym stopniu do rozwoju zlodowacenia kenozoicznego, pozostaje wciąż otwarte. Pokazany na rysunkach układ prądów powierzchniowych jest głównie wynikiem zmian rozkładu lądów i mórz.

Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

Wybuchy wulkanów [2.1.1]

Eksplozywne wybuchy wulkanów oddziałują na promieniowanie, skład chemiczny atmosfery oraz dynamiczne i termiczne wahania w systemie klimatycznym. Wulkany podczas erupcji zwykle emitują także gazy, w większości są to: para wodna (80%), CO_2 (10%), N_2 , SO_2 , H_2S , CO , H_2 , HCl , HBr .

Koncentracja gazów szklarniowych z pojedynczych wybuchów wulkanów **nie ma bezpośredniego wpływu na efekt cieplarniany**

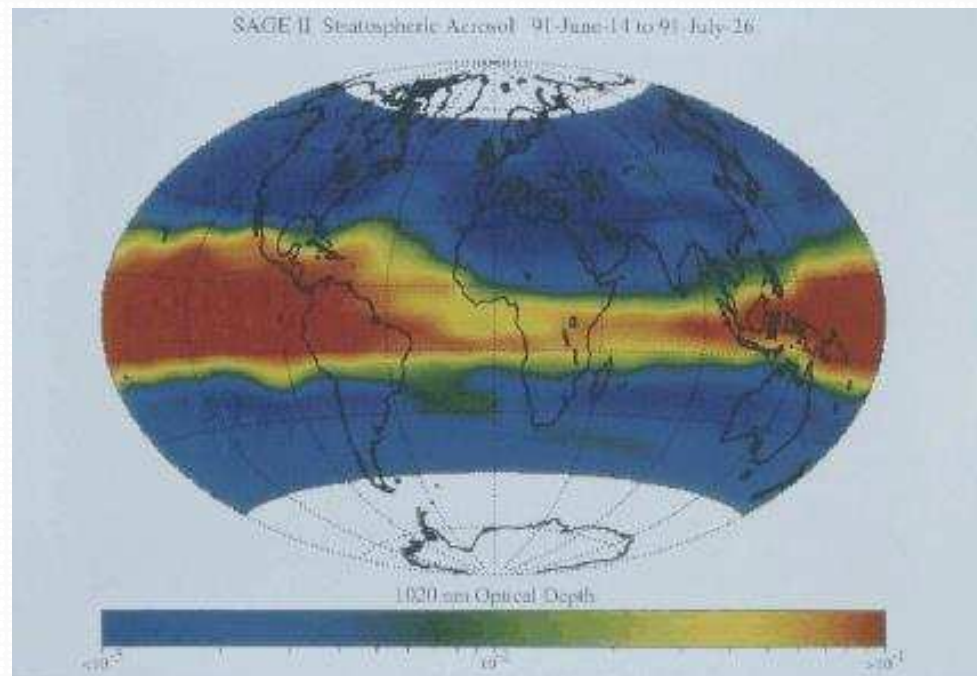


Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

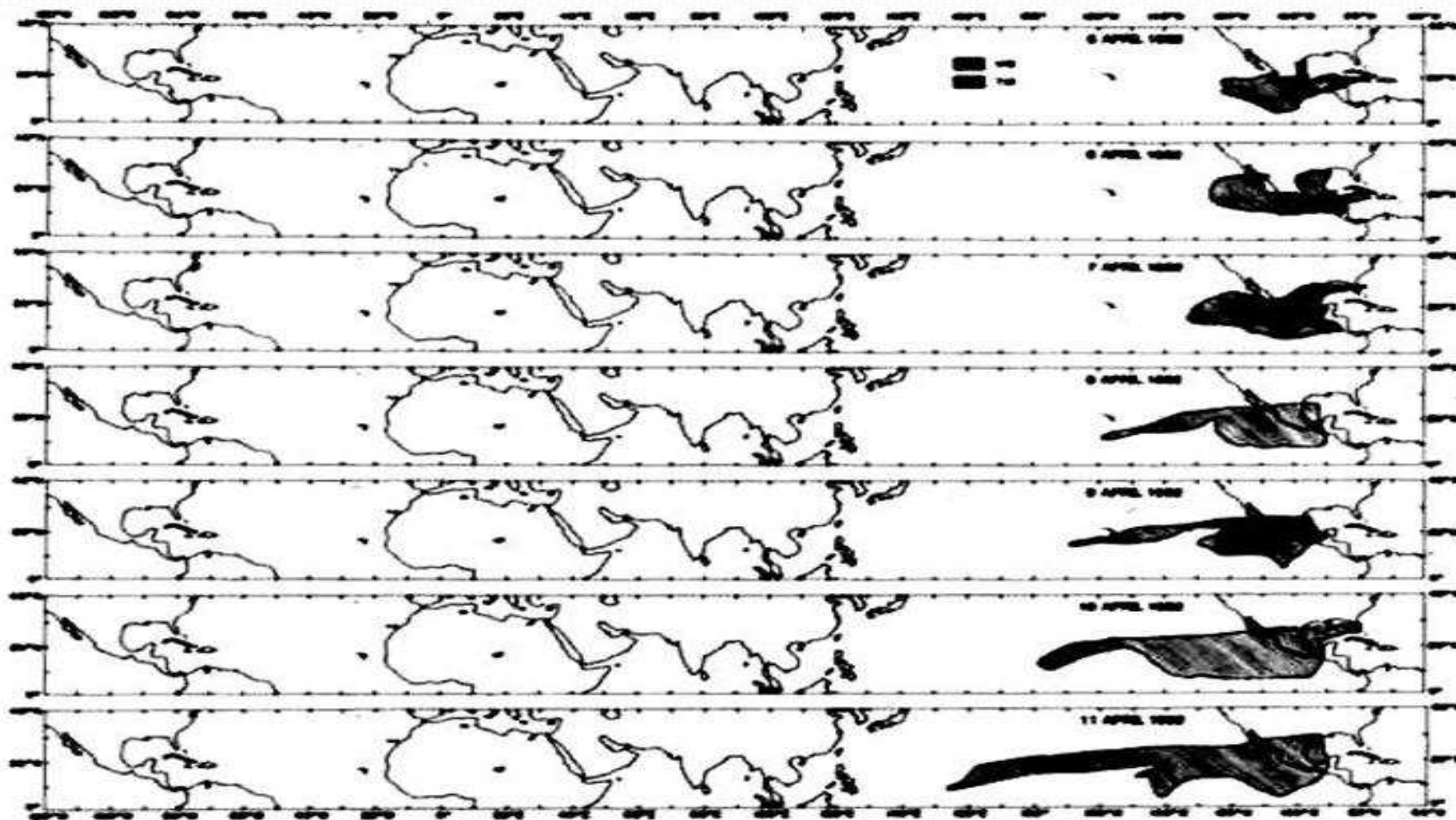
- Wybuchy wulkanów

Gwałtowne, eksplozywne erupcje wulkanów wstrzykują do atmosfery dziesiątki **megaton** gazów siarkowych i pyłów **powyżej granicy troposfery**.

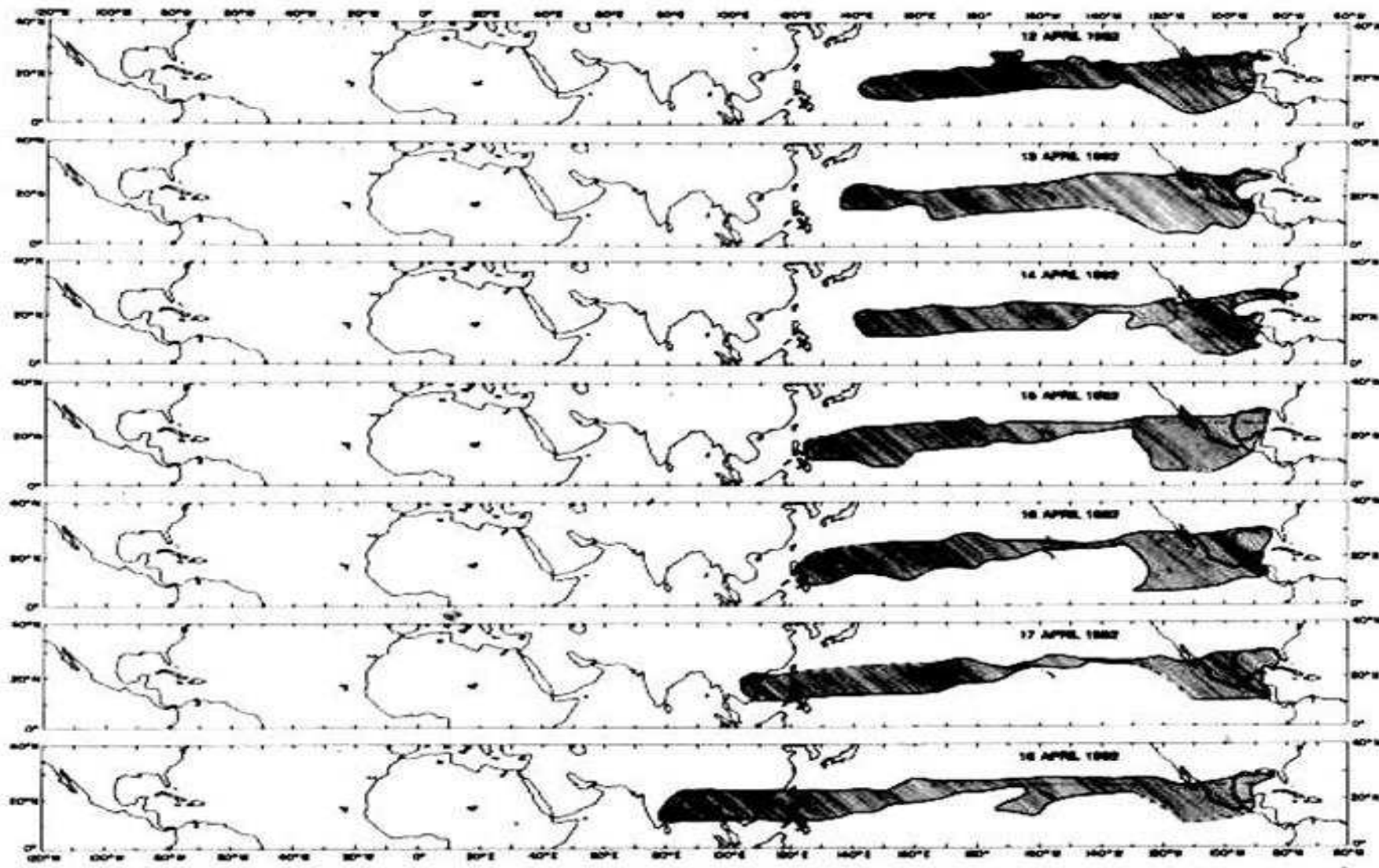
W wyniku reakcji cząsteczek siarki w ciągu kilku tygodni tworzy się kwas siarkowy H_2SO_4 tworząc chmurę aerozolu, która znacząco wpływa na bilans radiacyjny powierzchni ziemi.



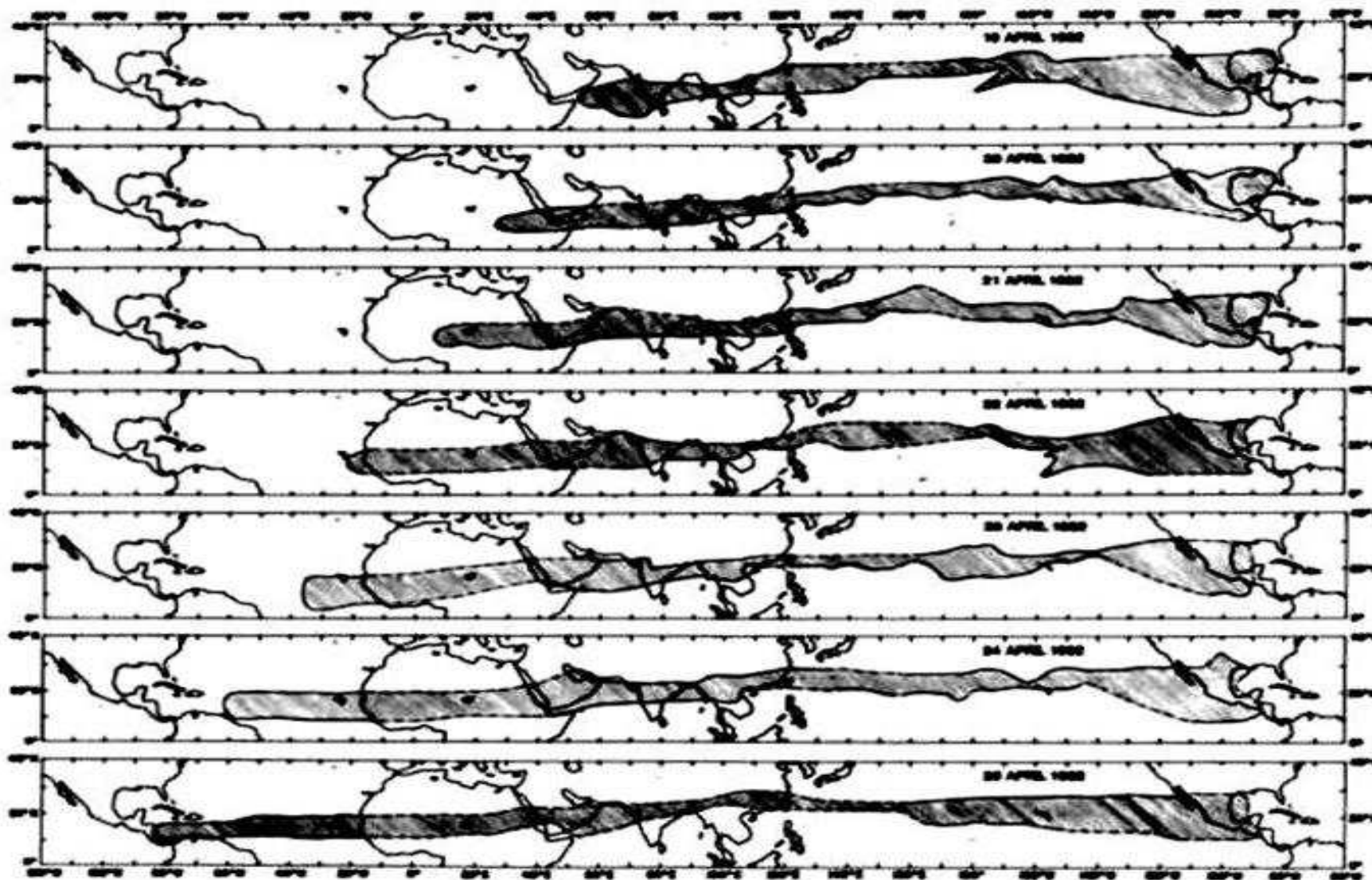
Zasięg rozprzestrzeniania się chmury aerozoli po wybuchu El Chichon w 1982 roku: (6 – 11 kwiecień)



Zasięg rozprzestrzeniania się chmury aerozoli po wybuchu El Chichon w 1982 roku: (12 – 18 kwiecień)



Zasięg rozprzestrzeniania się chmury aerozoli po wybuchu El Chichon w 1982 roku: (19 – 25 kwiecień)



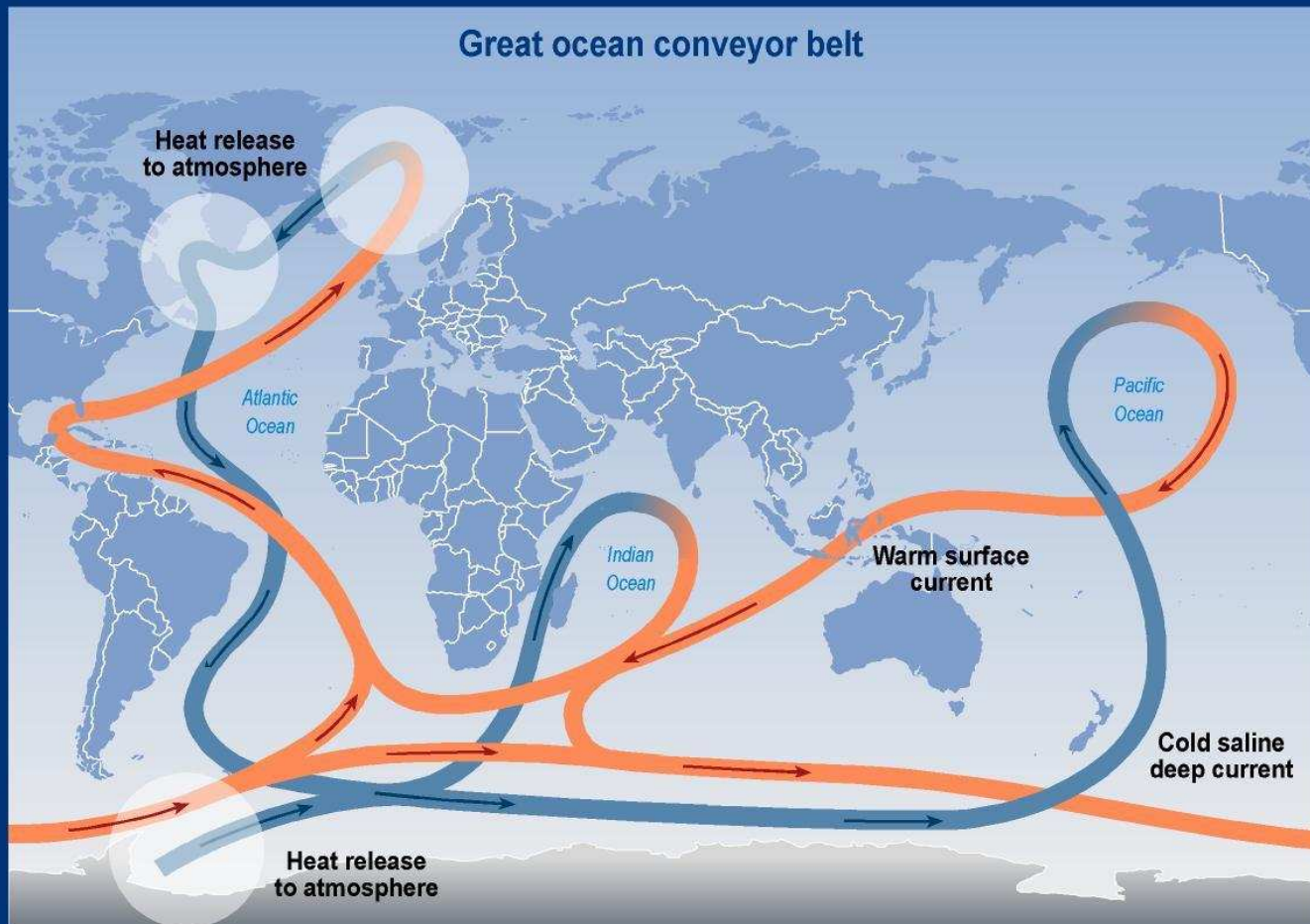
- Chmura aerozoli ulega rozpadowi w ciągu **roku po erupcji**, ale może potem oddziaływać na klimat jeszcze przez **2 – 3 lata**.
- Wulkaniczne cząsteczki aerozoli całkowicie **rozpraszają promieniowanie ultrafioletowe i widzialne**. Absorpcja występuje jedynie dla fal z zakresu **2 – 3 μm** czyli bliskiej i średniej podczerwieni.
- Aerozole występujące w stratosferze **redukuja ilość dopływającego do powierzchni ziemi całkowitego promieniowania krótkofalowego** w wyniku rozpraszania.

Wpływ dużych eksplozywnych erupcji wulkanów na pogodę i klimat

SKUTEK	MECHANIZM	POCZĄTEK	CZAS TRWANIA
Zaburzenie dobowego cyklu przebiegu temperatury powietrza	Ograniczony dopływ promieniowania krótkofalowego i emisji promieniowania długofalowego	natychmiast	1 – 4 dni
Redukcja opadów tropikalnych	Ograniczony dopływ promieniowania krótkofalowego i redukcja parowania	1 – 3 miesiące	3 – 6 miesięcy
Letnie ochłodzenie na obszarach tropikalnych i podtropikalnych półkuli północnej	Ograniczony dopływ promieniowania krótkofalowego	1 – 3 miesiące	1 – 2 lat
Zimowe ocieplenie	Absorpcja promieniowania krótkofalowego i długofalowego w stratosferze	½ roku	1 – 2 lat
Globalne ochłodzenie	Ograniczony dopływ promieniowania krótkofalowego	natychmiast	1 – 3 lat
Globalne ochłodzenie po kilkukrotnej erupcji	Ograniczony dopływ promieniowania krótkofalowego	natychmiast	10 – 100 lat
Spadek zawartości ozonu i uwydatnienie promieniowania UV	Spadek koncentracji ozonu w wyniku zachodzących różnorodnych reakcji chemicznych w aerozolach	1 dzień	1 – 2 lat

Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Cyrkulacja Oceanu Światowego [2.1.2]



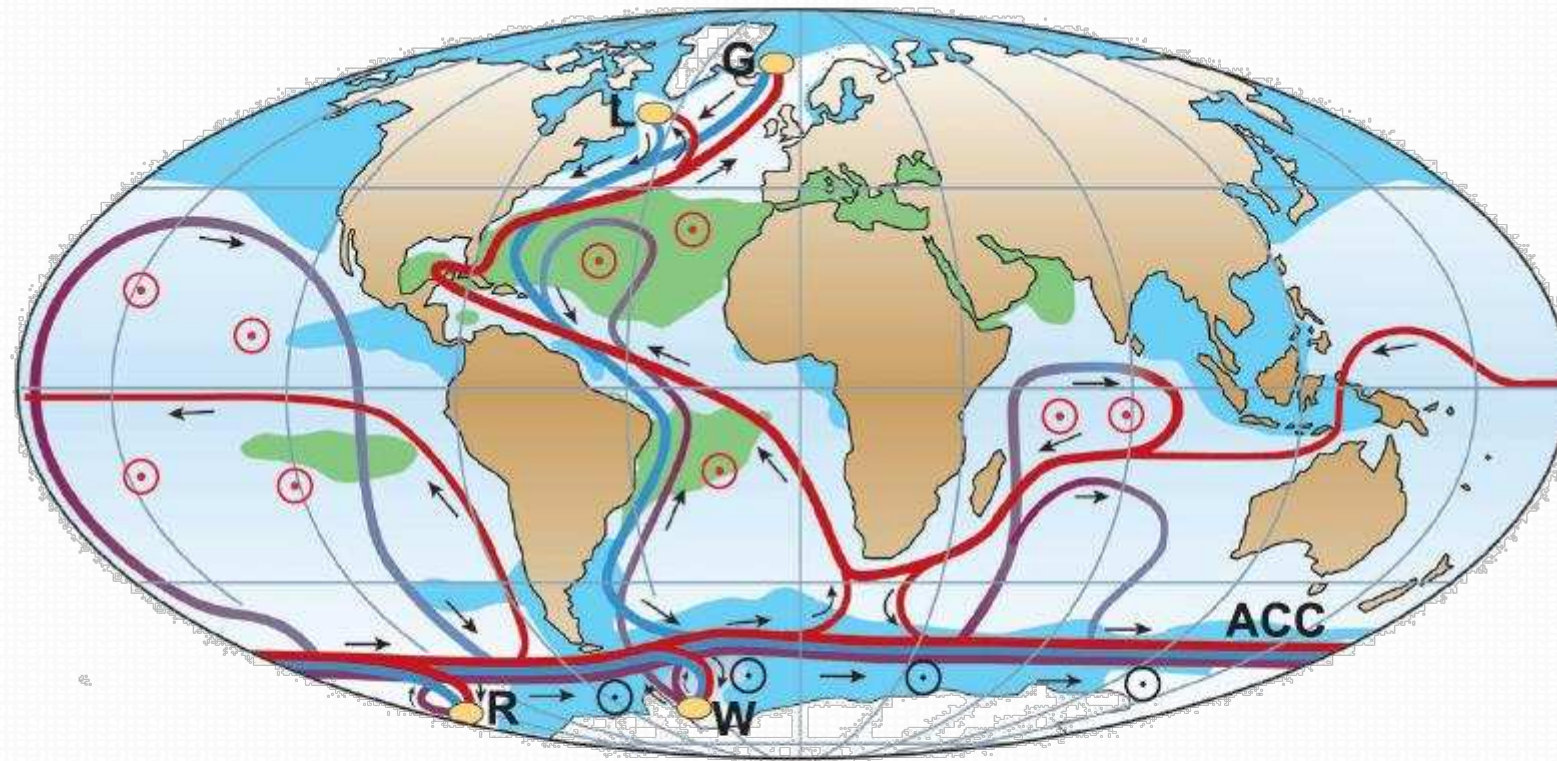
SYR - FIGURE 4-2

[50]

Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Cyrkulacja Oceanu Światowego [2.1.2]

CYRKULACJA TERMOHALINOWA



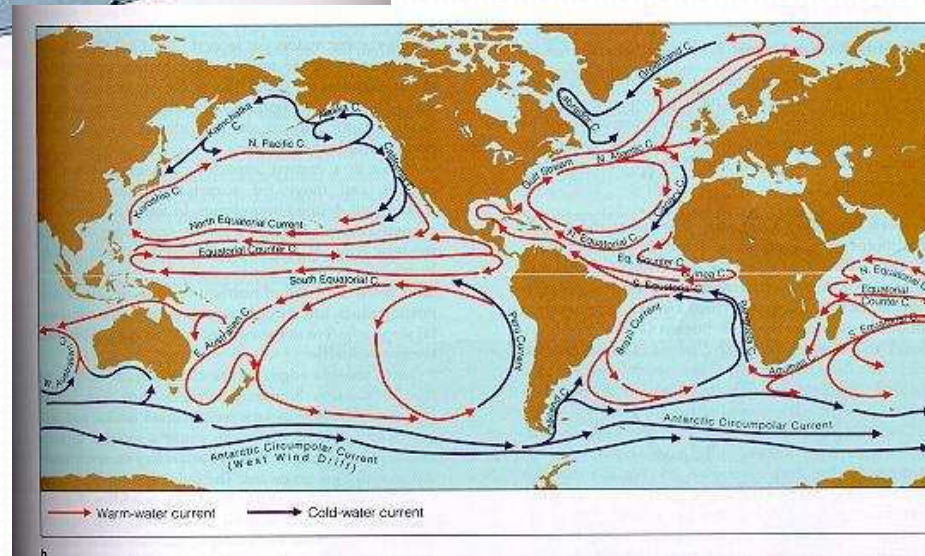
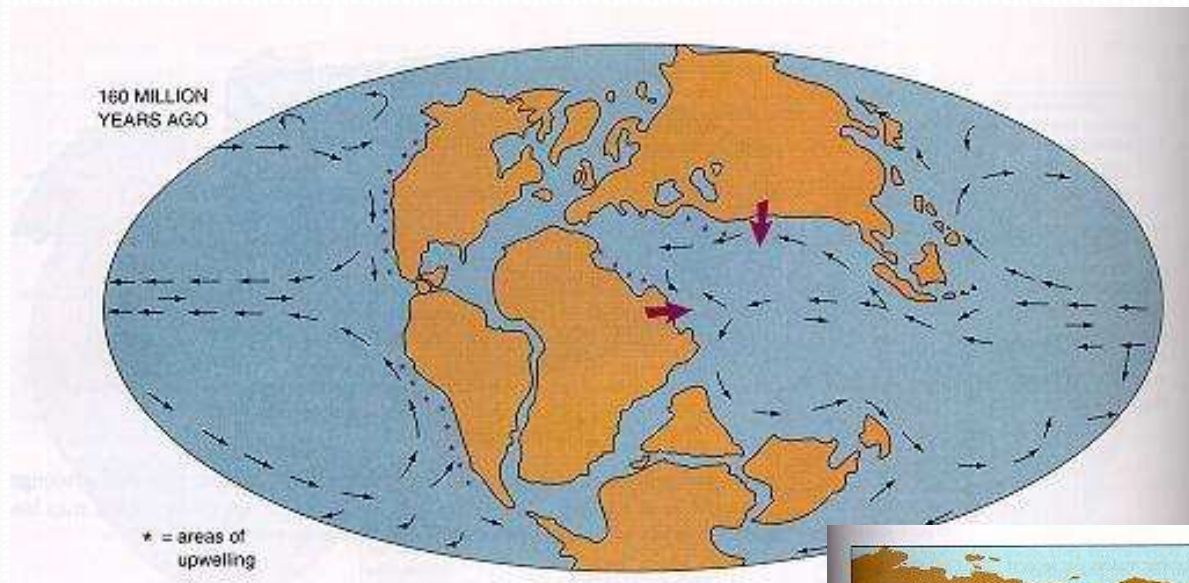
- Surface flow
- Deep flow
- Bottom flow
- Deep Water Formation

- ⊙ Wind-driven upwelling
- ⊗ Mixing-driven upwelling
- Salinity > 36 ‰
- Salinity < 34 ‰

- L Labrador Sea
- G Greenland Sea
- W Weddell Sea
- R Ross Sea

Wewnętrzne czynniki zmian klimatu

- Wędrowki kontynentów a prądy morskie – przykład:



Energia w systemie klimatycznym i przyczyny ocieplenia

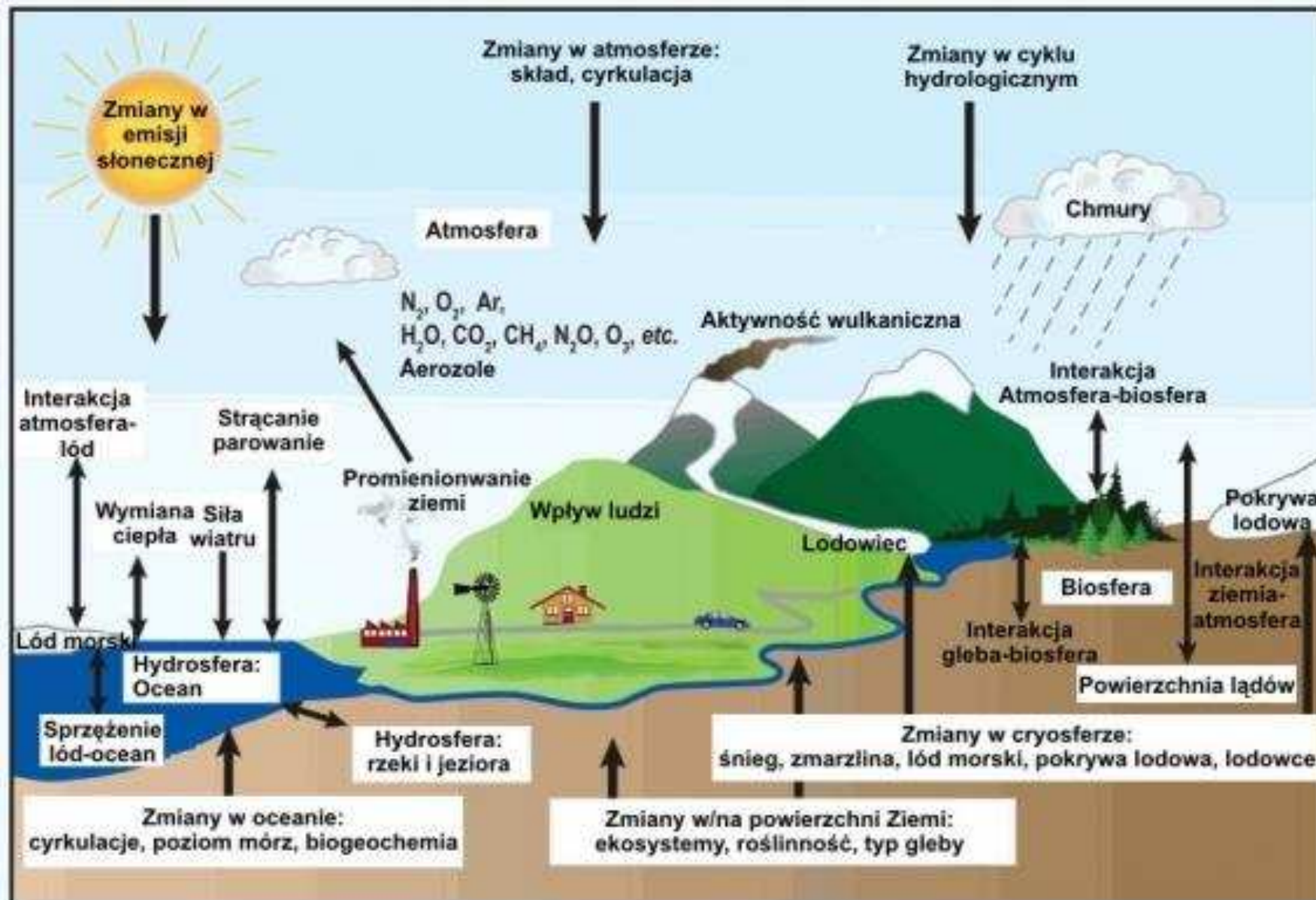
System klimatyczny

System – to zbiór elementów, znajdujących się w określonych relacjach między sobą i otoczeniem (Bertalanffy, 1984),

System klimatyczny – to relacja między atmosferą, hydrosferą, kriosferą, pedosferą i biosferą, urzeczywistniająca się w postaci strumieni energii i substancji, uczestniczących w wymianie między elementami systemu. Ponadto energia podlega wymianie między systemem klimatycznym i jego otoczeniem.

System klimatyczny nie jest systemem izolowanym (bo energia przenika przez jego granice), **ale jednocześnie jest systemem zamkniętym** (ponieważ substancja krąży tylko wewnątrz systemu).

System klimatyczny



FAO 1.2. Figure 1. Schematic view of the components of the climate system, their response and interactions.

System klimatyczny

Stałe (prawie stałe) warunki wejściowe systemu:

- Dopływ energii promieniowania słonecznego,
- Wielkość, kształt i ruchy Ziemi,
- Budowa i ukształtowanie powierzchni Ziemi
- I in.

W strukturze systemu następują nieustanne zmiany, z których część ma **charakter cykliczny** (np. wahania roczne, sezonowe), a część ma **charakter zaburzeń losowych** (np. albedo chmur, zapylenie atmosfery-pożar lasów, wybuch wulkanu, burze pyłowe).

System klimatyczny

– energia w atmosferze

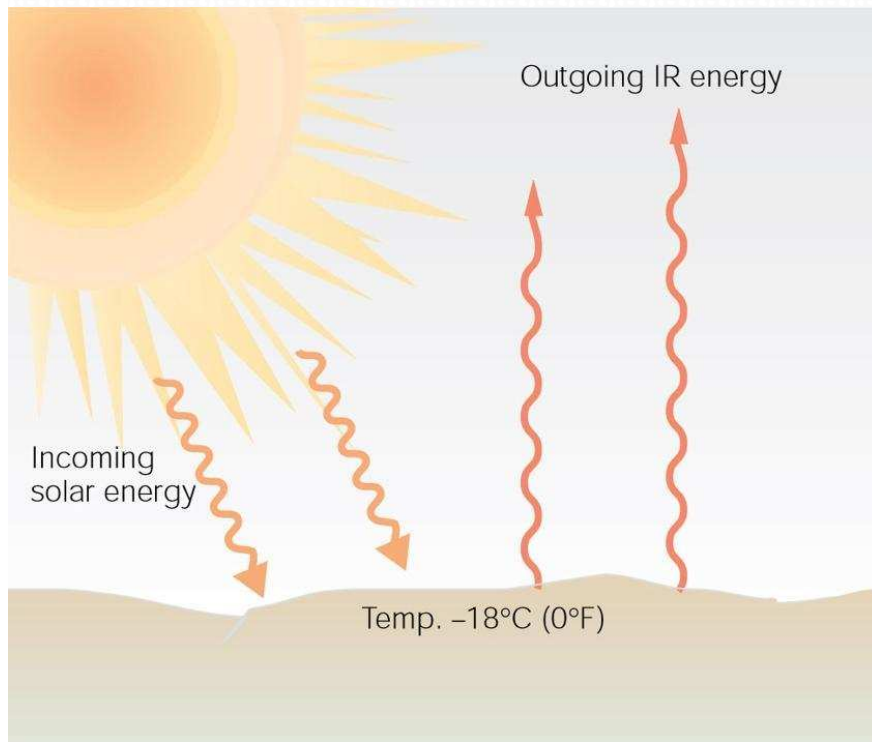
Głównym źródłem energii na Ziemi jest **krótkofalowe promieniowanie słoneczne**. Do Ziemi dochodzi **promieniowanie widzialne i bliskie podczerwieni**. Są to fale o długości 4-0,8 μm maximum energii przypada 0,5 μm .

Pozostałe rodzaje energii:

- **Energia potencjalna** (przyspieszenie ziemskie g x wysokość h),
- **Energia kinetyczna** (jest funkcją prędkości ruchu powietrza) $E_k = 1/2mv^2$ (m -masa, v -prędkość),
- **Ciepło odczuwalne** (ciepło właściwe c x temperatura T),
- **Ciepło utajone** (masa pary wodnej x ciepło parowania)

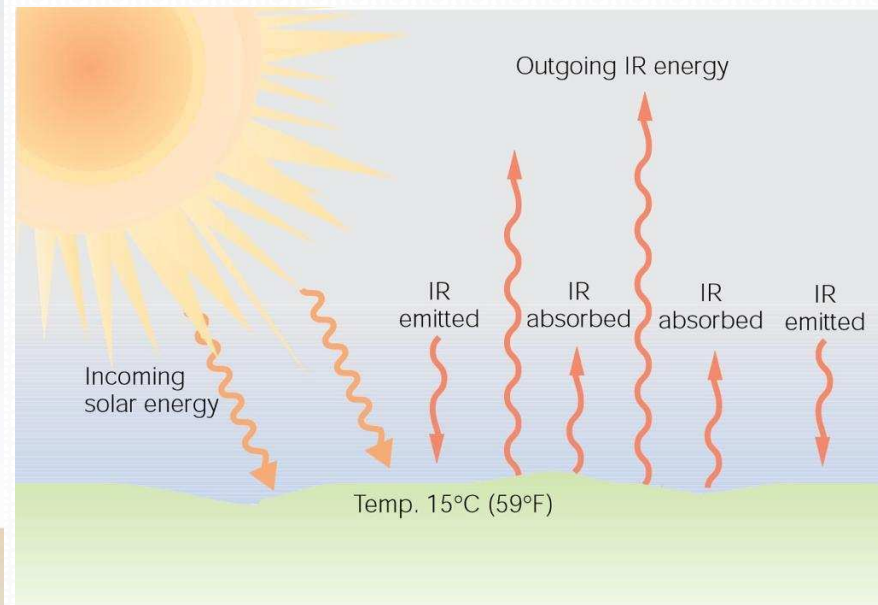
Przyczyny ocieplenia – efekt cieplarniany.

Brak gazów cieplarnianych



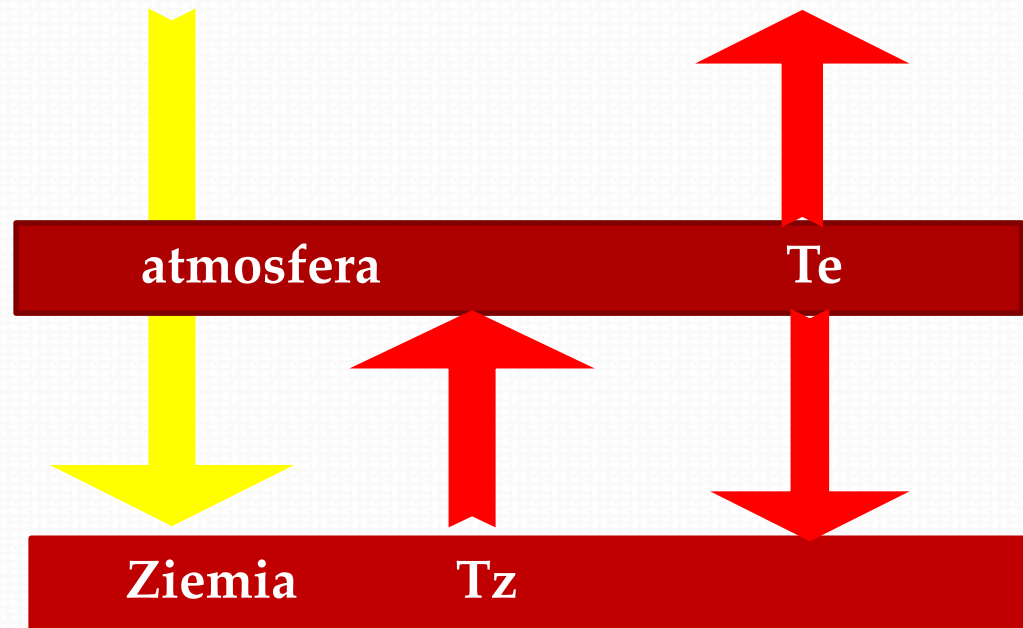
Without greenhouse effect

Obecność gazów cieplarnianych



With greenhouse effect

Efekt szklarniowy

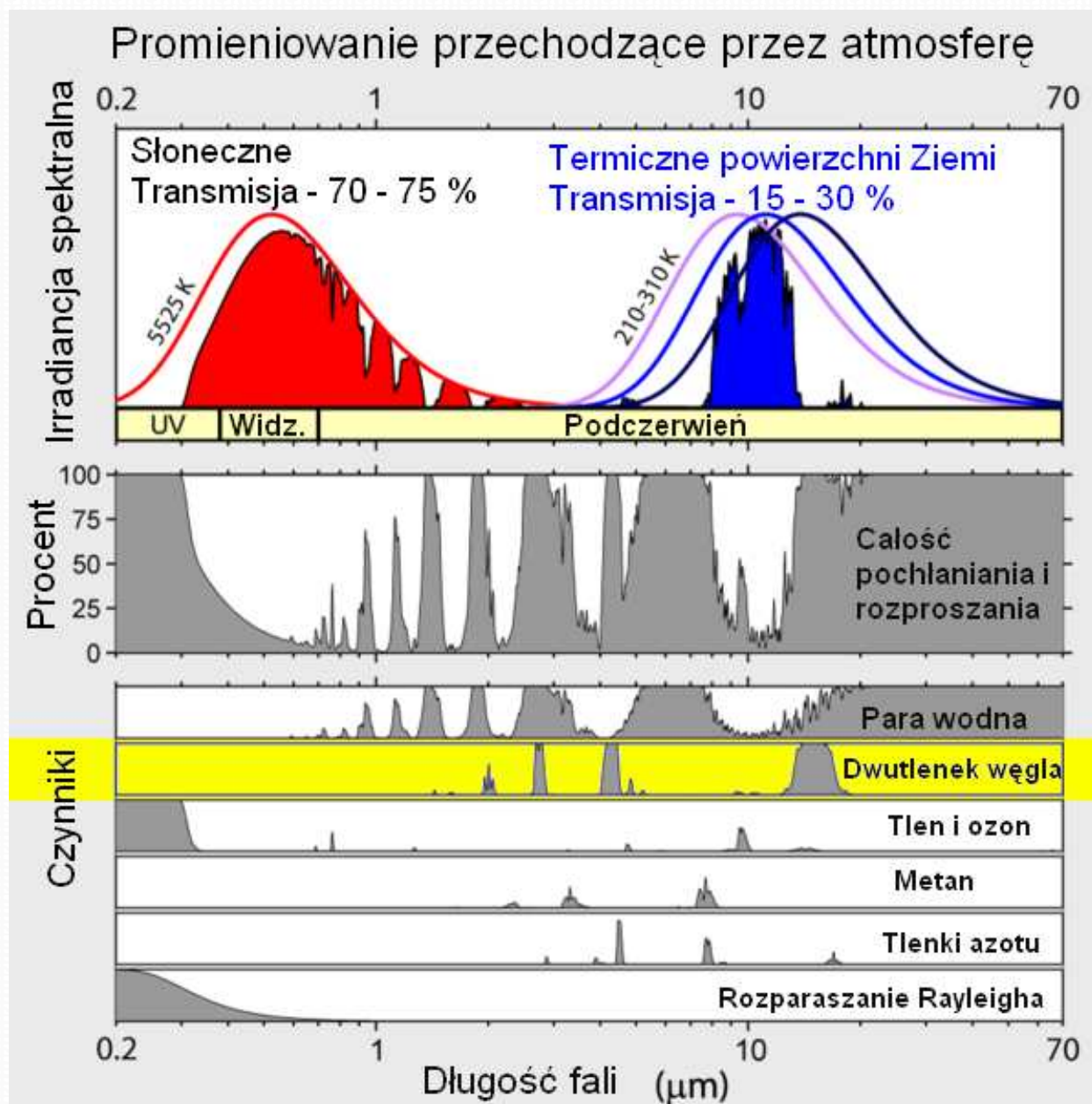


$$\sigma T_e^4 + \sigma T_e^4 = \sigma T_z^4$$

$$T_z = \sqrt[4]{2 \cdot T_e^4} = \sqrt[4]{2} \cdot T_e$$

$$T_z = \sqrt[4]{2} \cdot 254.8 K = 303.0 K \cong 30^\circ C$$

Przyczyny ocieplenia – efekt cieplarniany.

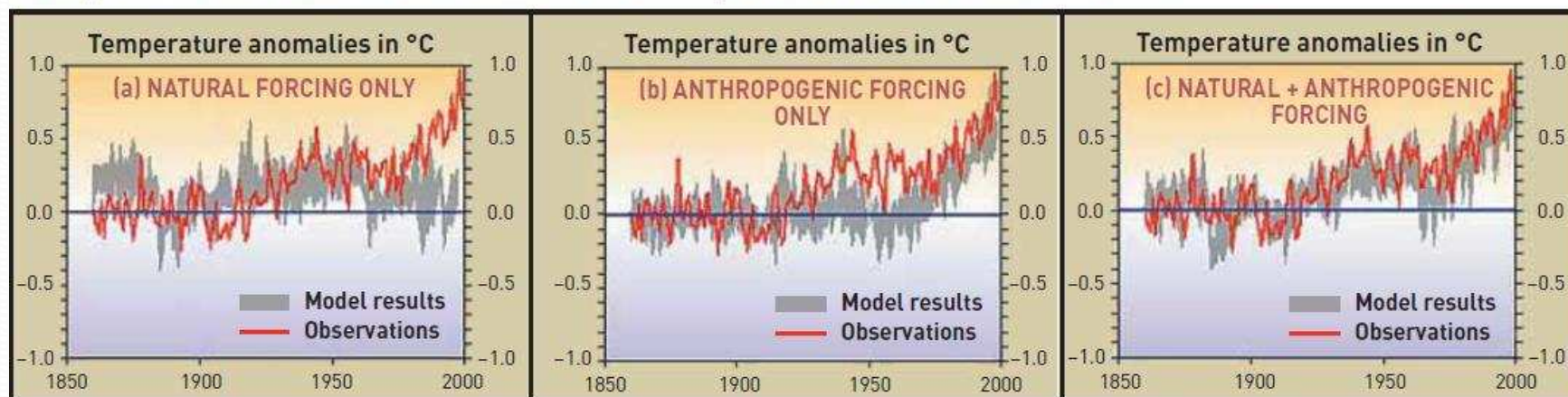


Przyczyny ocieplenia

Spór o ocieplenie

Naturalne czynniki klimatu przestały tłumaczyć obecne zmiany klimatu. Na przykład aktywność słońca i cykle Milankovicia nie wyjaśniają obecnej wysokiej koncentracji gazów cieplarnianych jak dwutlenek węgla i metan. Według naturalnych zmian stężenie tych gazów powinno obecnie maleć.

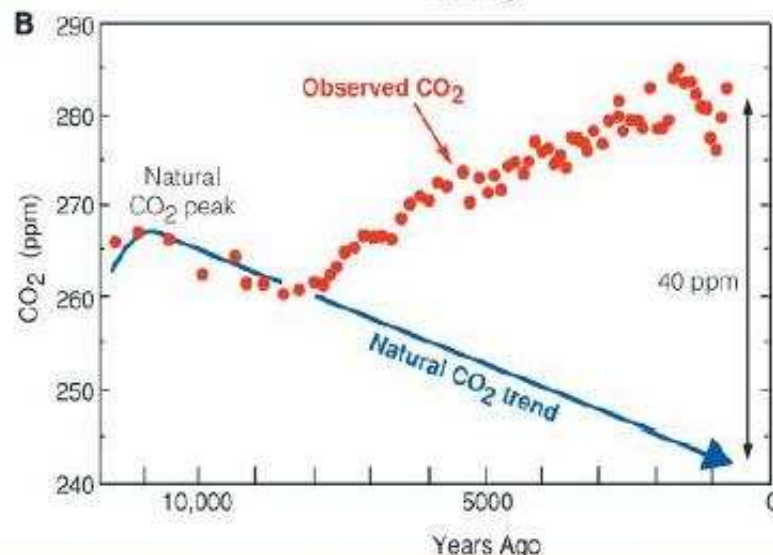
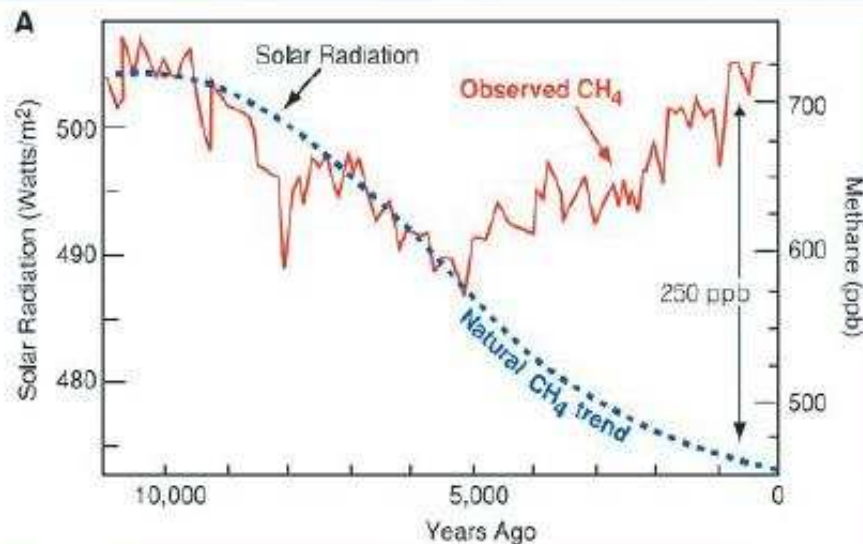
Comparison of modeled and observed temperature trends since 1860



Source: Figure adapted from IPCC (2001) by permission.

Przyczyny ocieplenia

CO₂ i metan: od kiedy ogrzewamy Ziemię?



Dwutlenek węgla i metan przestały korelować z długofalowymi cyklami nasłonecznienia (Milankovitch, 1941) odpowiednio 8 i 5 tys. lat temu. Odpowiada to początkom rolnictwa odpowiednio w Europie (wycinanie lasów) i w Chinach (pola ryżowe).

Koncentracja CO₂ oraz metanu z rdzeni lodowych ze stacji Wostok na Antarktydzie (ostatnie 12 tysięcy lat)

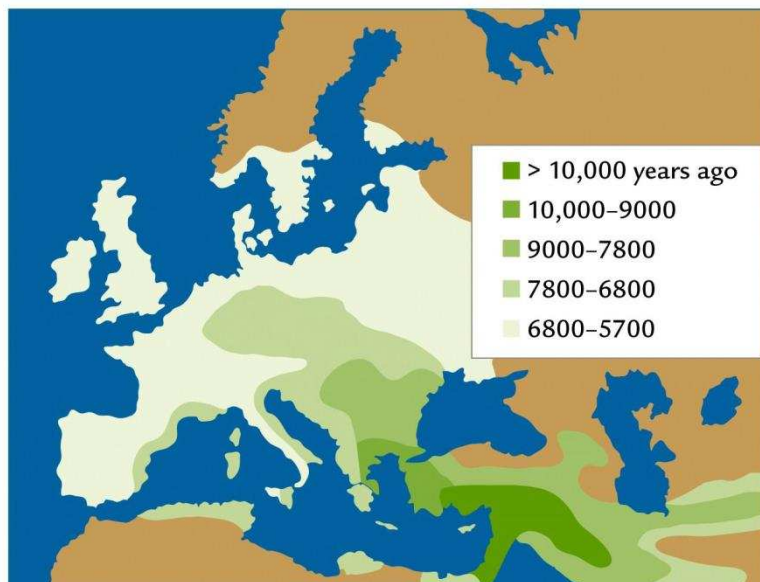
Ruddiman 2007 (Reviews of Geophysics)

Przyczyny ocieplenia

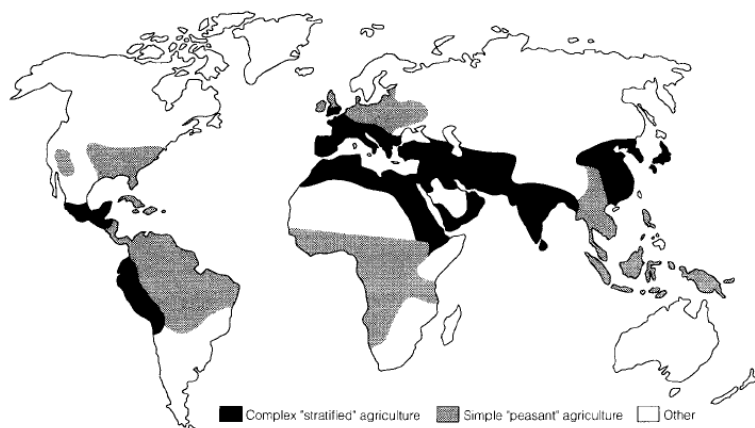
Czy wypaliliśmy dość lasów?

Rolnictwo wkroczyło w obszary leśne ok 8-9 tys. lat temu, dokładnie wtedy gdy przestała spadać koncentracja CO₂.

Bilans obszarów leśnych wyciętych przed rokiem 1 n.e (2000 lat temu) daje ok. 220-250 Gt węgla.

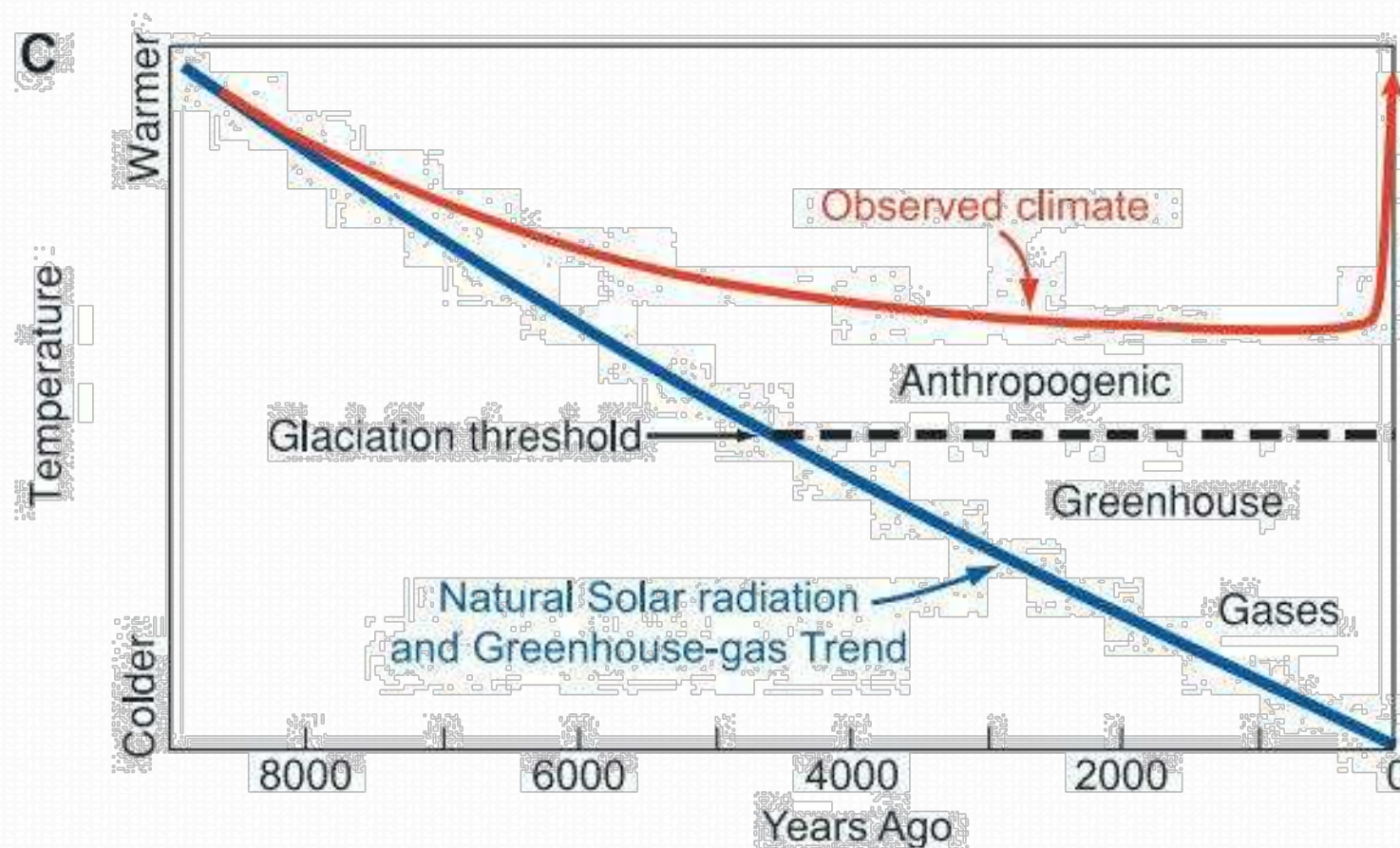


Ruddiman 2003 (Climatic Change)



Rozprzestrzenianie się rolnictwa w Europie (skala w „latach temu”) oraz geografia rolnictwa 2000 lat temu (czarne obszary – rolnictwo intensywne, szare – rolnictwo „prymitywne”)

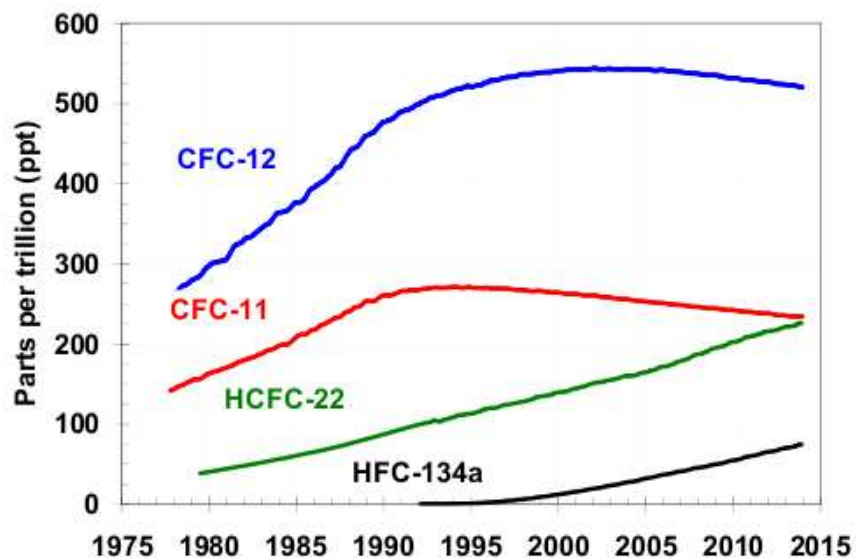
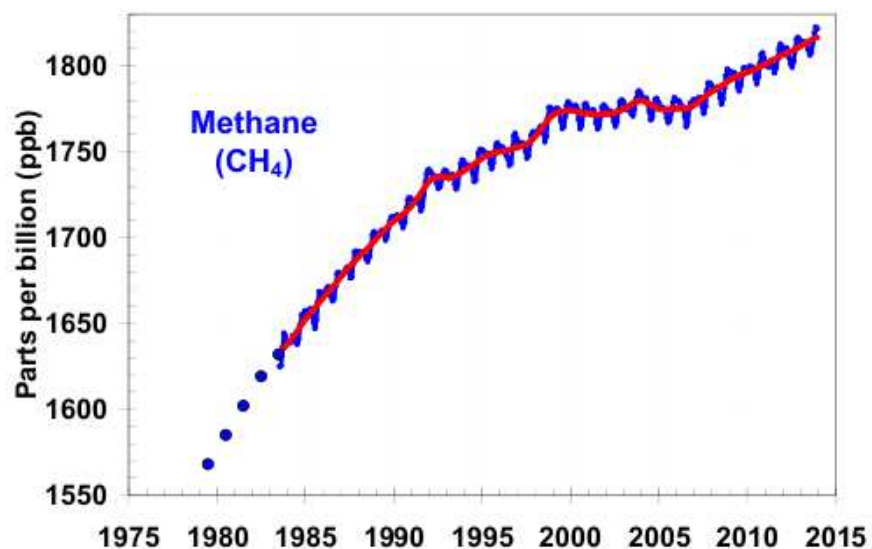
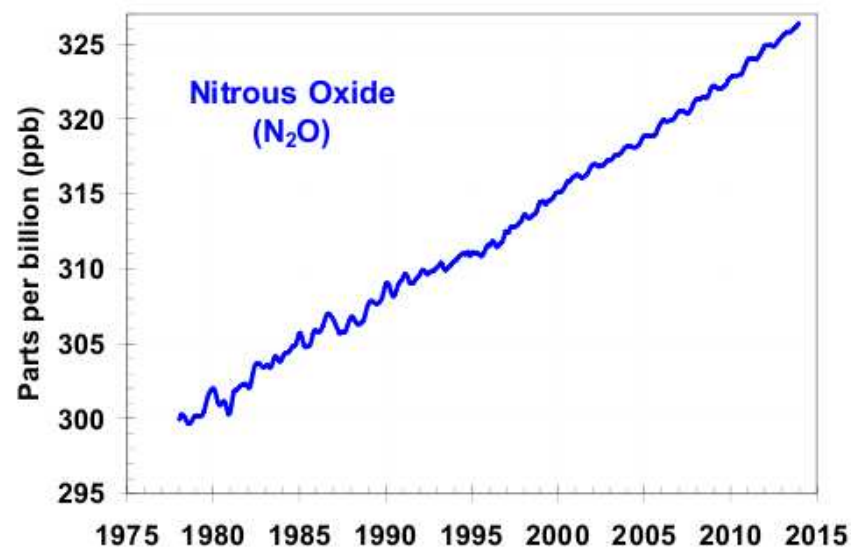
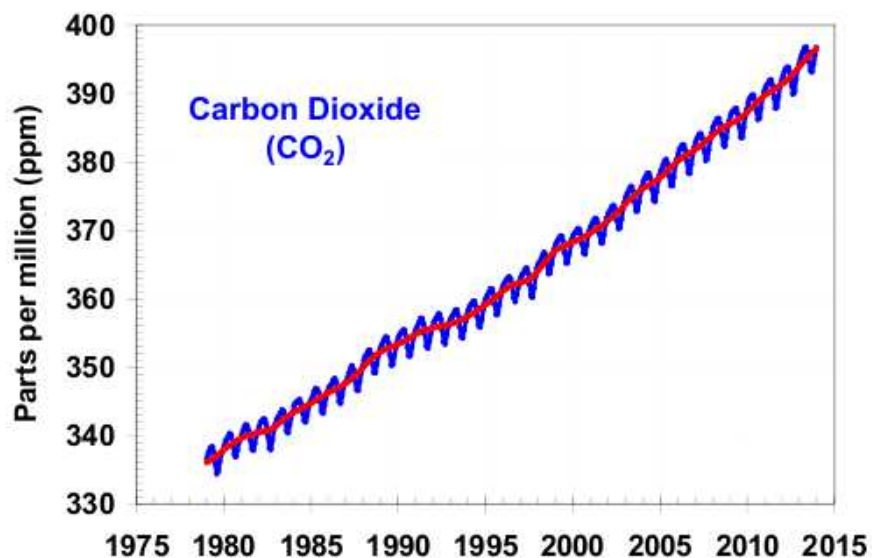
Powstrzymaliśmy zlodowacenie?



Porównanie obecnego interglacjału (holocenu) z poprzednimi pokazuje, że od 4-5 tys lat Ziemia powinna być w kolejnym zlodowaceniu. Wydaje się, że to działalność *Homo sapiens* powstrzymała początek nowej epoki lodowej.

Ruddiman 2007 (Reviews of Geophysics)

Przyczyny ocieplenia – gazy cieplarniane



Przyczyny ocieplenia – gazy cieplarniane

Z punktu widzenia paleoklimatologii obecne **stężenie dwutlenku węgla** jest większe niż w ciągu ostatnich **420 tys. lat**, a prawdopodobnie nawet większe niż kilku milionów lat. Zaś tempo wzrostu CO_2 po 1900 roku jest największe w historii człowieka i prawdopodobnie ewolucji.

Przy **wzroście CO_2 do 800 ppm**, pH oceanu spadnie to takiego poziomu jaki nie wystąpił przez **ostatnie 20 mln lat**. A skorupki otwornic zbudowane z węglanu wapnia zaczną się rozpuszczać. Od czasu rewolucji przemysłowej **kwasowość oceanu spadła o 0,1 pH**.

Stężenie **metanu** w atmosferze **wzrosło o 150% od 1750 roku** z czego ponad połowa jest pochodzenia antropogenicznego. W związku z podpisaniem protokołu montrealskiego emisja freonów powoli ale sukcesywnie spada od 1994 roku, ale obniżona ilość ozonu będzie się jeszcze utrzymywać przez kilkadziesiąt lat.

Potencjał GHG na ocieplenie klimatu

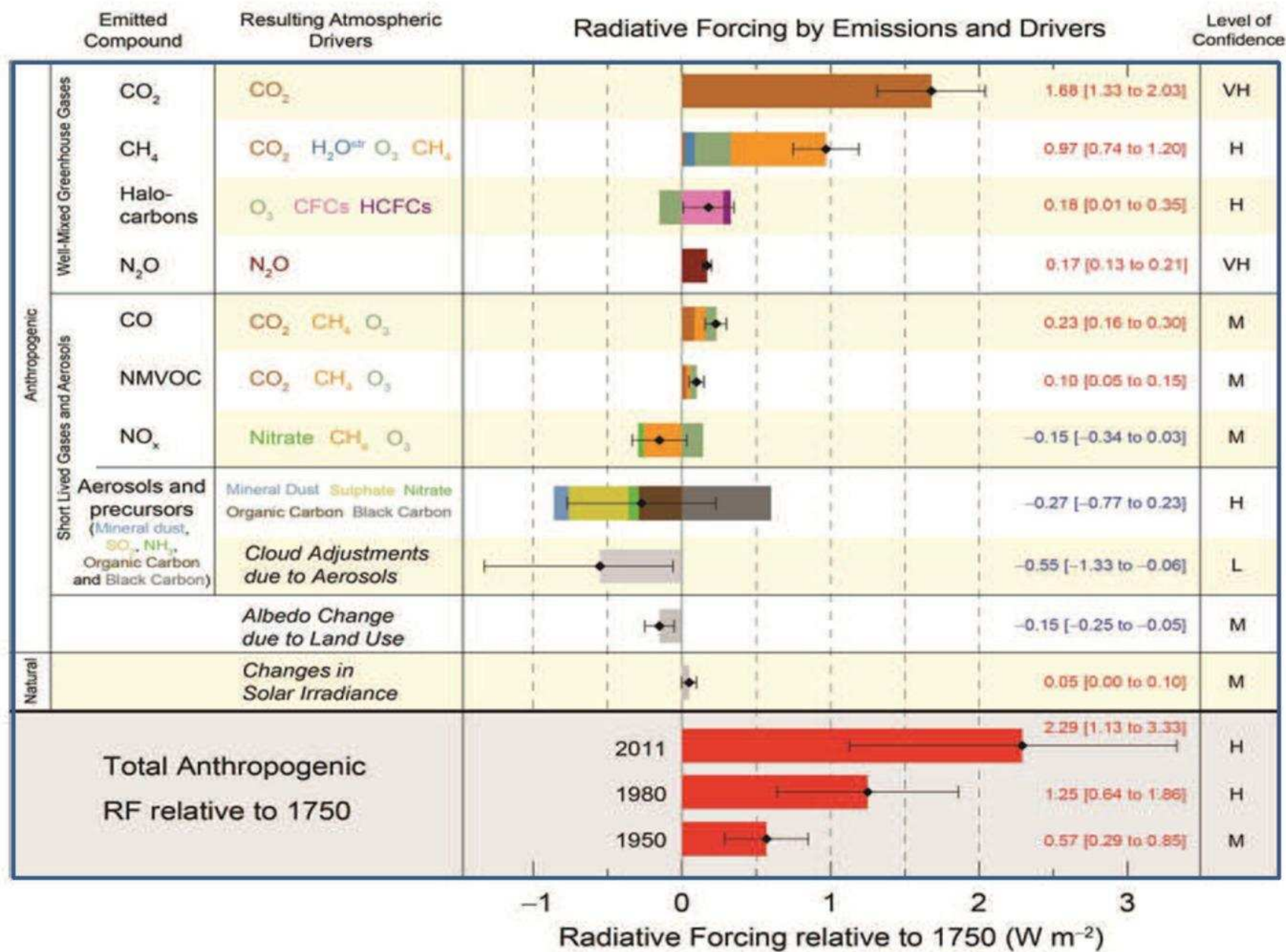
GWP - potencjał tworzenia efektu cieplarnianego

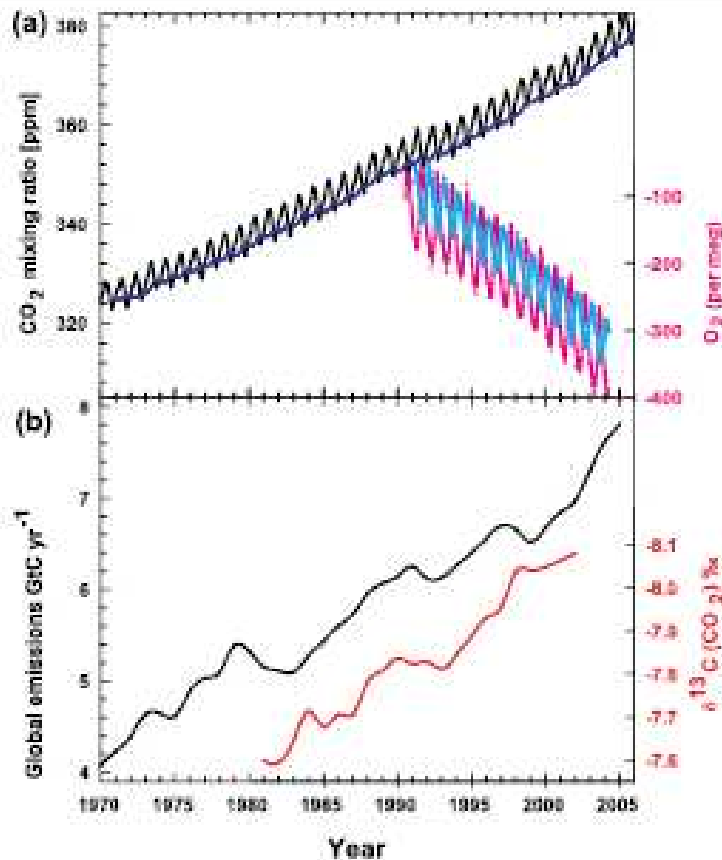
Greenhouse gas	Pre-industrial concentrations*	2008 concentrations	Human source	GWP 100 years
Carbon dioxide (CO ₂)	278 ppm	365 ppm	Fossil fuel combustion, land use changes, cement production	1
Methane (CH ₄)	700 ppb	1745 ppb	Fossil fuels; rice paddies; waste dumps; livestock	25
Nitrous oxide (N ₂ O)	270 ppb	314 ppb	Fertiliser; industrial processes; fossil fuel combustion	298
Hydrofluorocarbons (e.g. HFC-23)	0	14 ppt	Liquid coolants	14,800**
Perfluorocarbons (e.g. CF ₄)	0	80 ppt	Refrigerant; electronics industry and aluminium industry	6,500
Sulphur hexafluoride (SF ₆)	0	4.2 ppt	Insulator in electronics and magnesium industry	22,800

* ppm, parts per million by volume; ppb, parts per billion by volume; ppt, parts per trillion by volume.

** This figure was changed in 2007 from 11,700 to 14,800.²⁵

Wymuszenie radiacyjne gazów wg IPCC (2013)





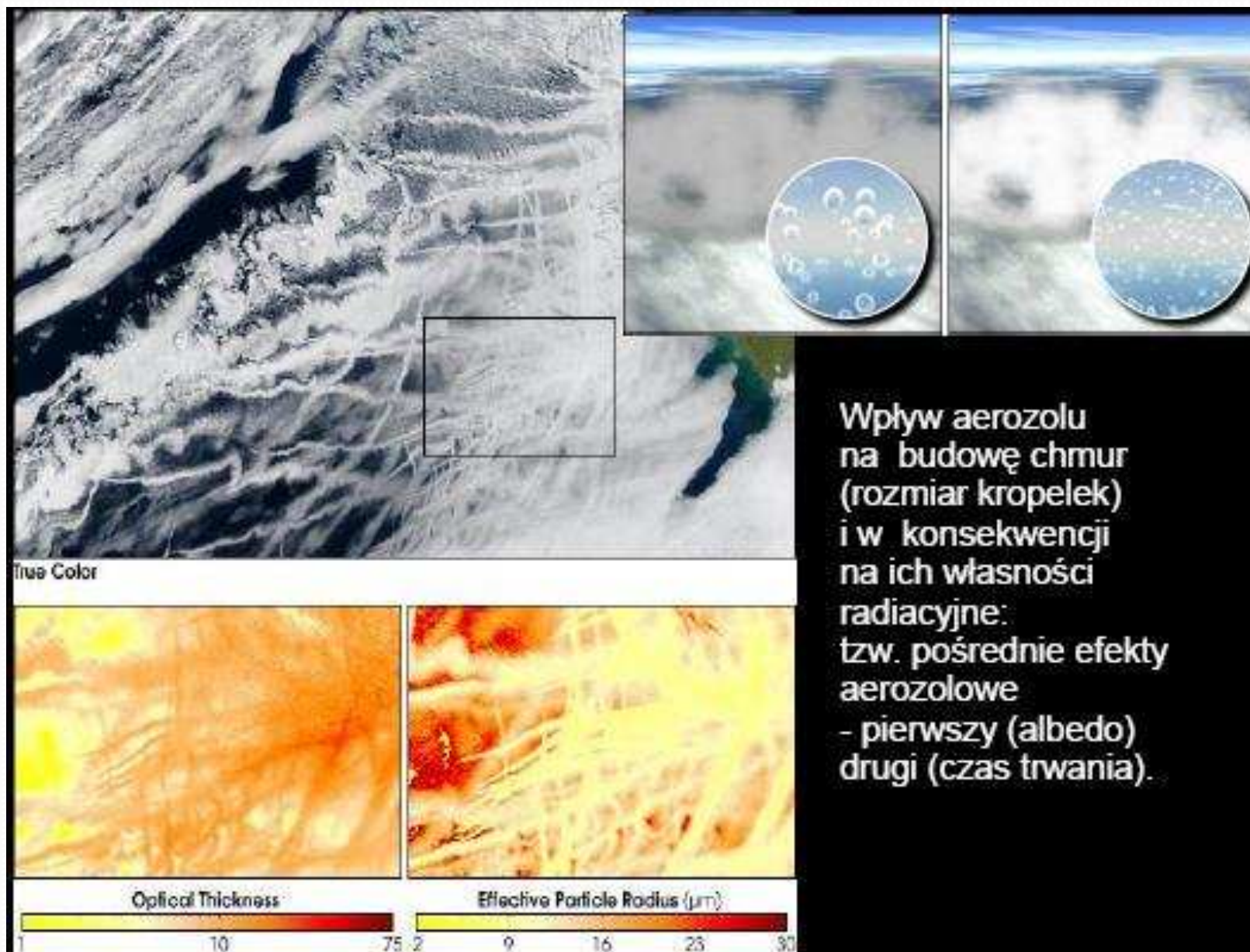
- ^{13}C is going down!
- Carbon in the air is being diluted by ^{12}C from organic carbon
- Consistent with burning fossil fuel
- O_2 is going down!
- Consistent with O_2 being burned and converted to CO_2
- Not volcanism!



**To jednak
człowiek
przyczynia się
do głównej
emisji CO_2**

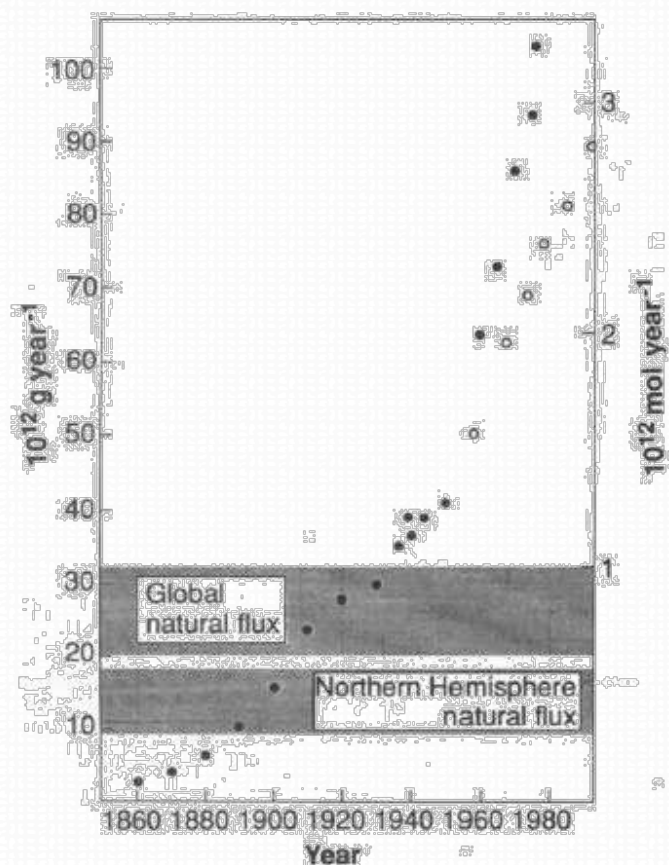
Rośliny w procesie fotosyntezy chętniej pochłaniają lżejszy izotop węgla ^{12}C niż ^{13}C . Zatem w powietrzu powinno znajdować się więcej cięższego izotopu. Pewność o antropogenicznym pochodzeniu dwutlenku węgla jest wynikiem wzrostu udziału lżejszego izotopu pochodzącego ze spalania paliw kopalnych oraz spadku tlenu, co jest naturalnym efektem procesu spalania. Wulkanizm nie przyczynia się do obecnego intensywnego wzrostu CO_2 bo nie powodowałby spadku stosunku izotopów węgla $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ani spadku koncentracji tlenu

Przyczyny ocieplenia – aerozole i chmury



„Direct aerosol effect (forcing)”

- rozpraszanie światła słonecznego przez aerozol



Emisja związków siarki do atmosfery ziemskiej (wg dwóch ocen) – stan na 1992 r. “Wymuszanie” związane z aerozolem oceniano na 1 W/m²

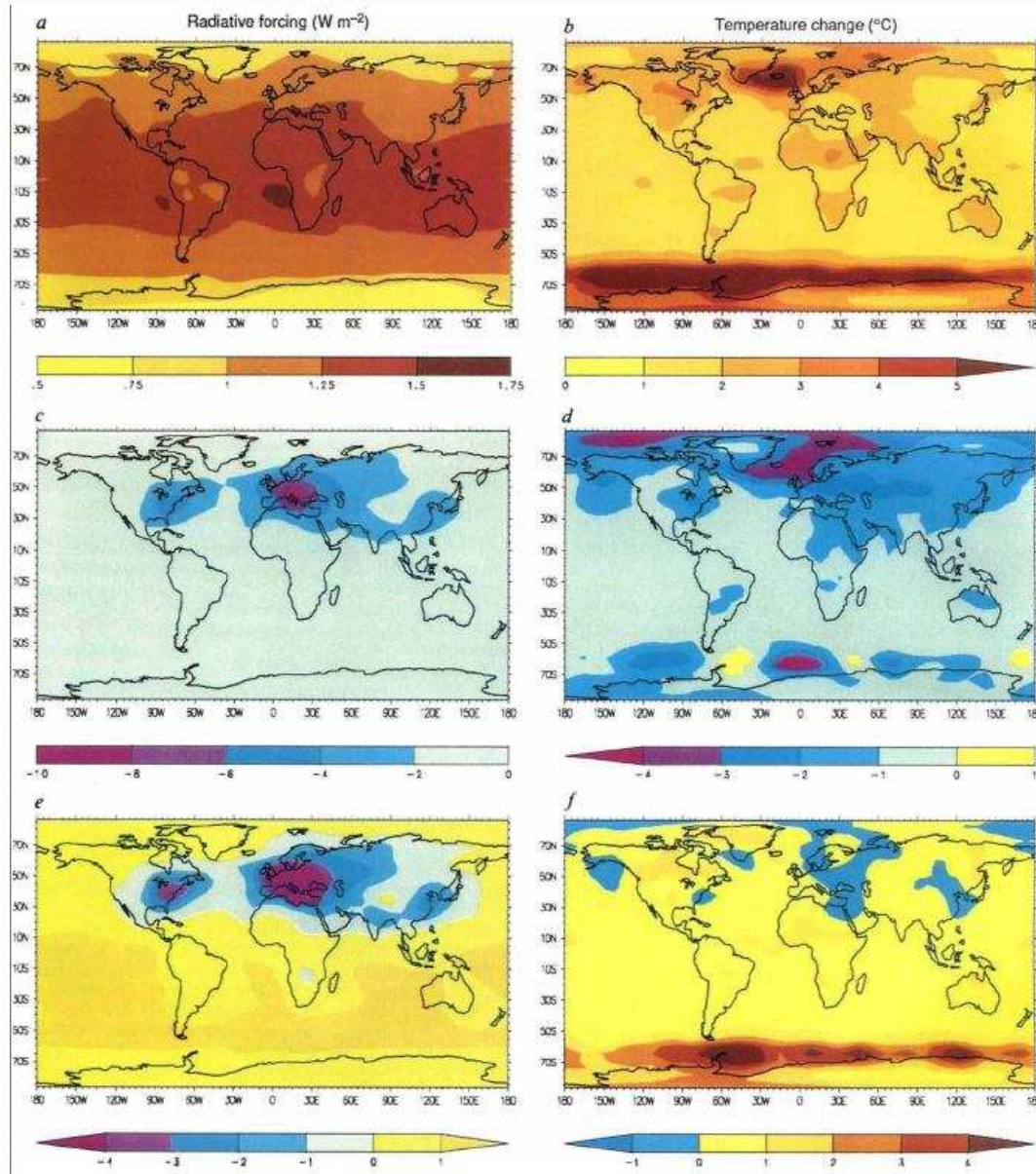
Aerozol (szczególnie zawierający związki siarki) rozprasza światło słoneczne skierowując jego część w kosmos (zwiększając albedo Ziemi) co prowadzi do ochłodzenia powierzchni oraz atmosfery. Emisja związków siarki przez człowieka działa analogicznie do wybuchów wulkanów.

Na początku lat 1990. uważano to za jedyny klimatyczny efekt aerozolu, który - jak wówczas oceniano – mógłby zrównoważyć efekt gazów cieplarnianych.

Obecnie wiemy, że jest to jedynie jeden z kilku efektów klimatycznych aerozolu i nazywamy go **aerozolowym wymuszaniem bezpośrednim**.

Charlson et al. 1992 (Science)

Równowaga?

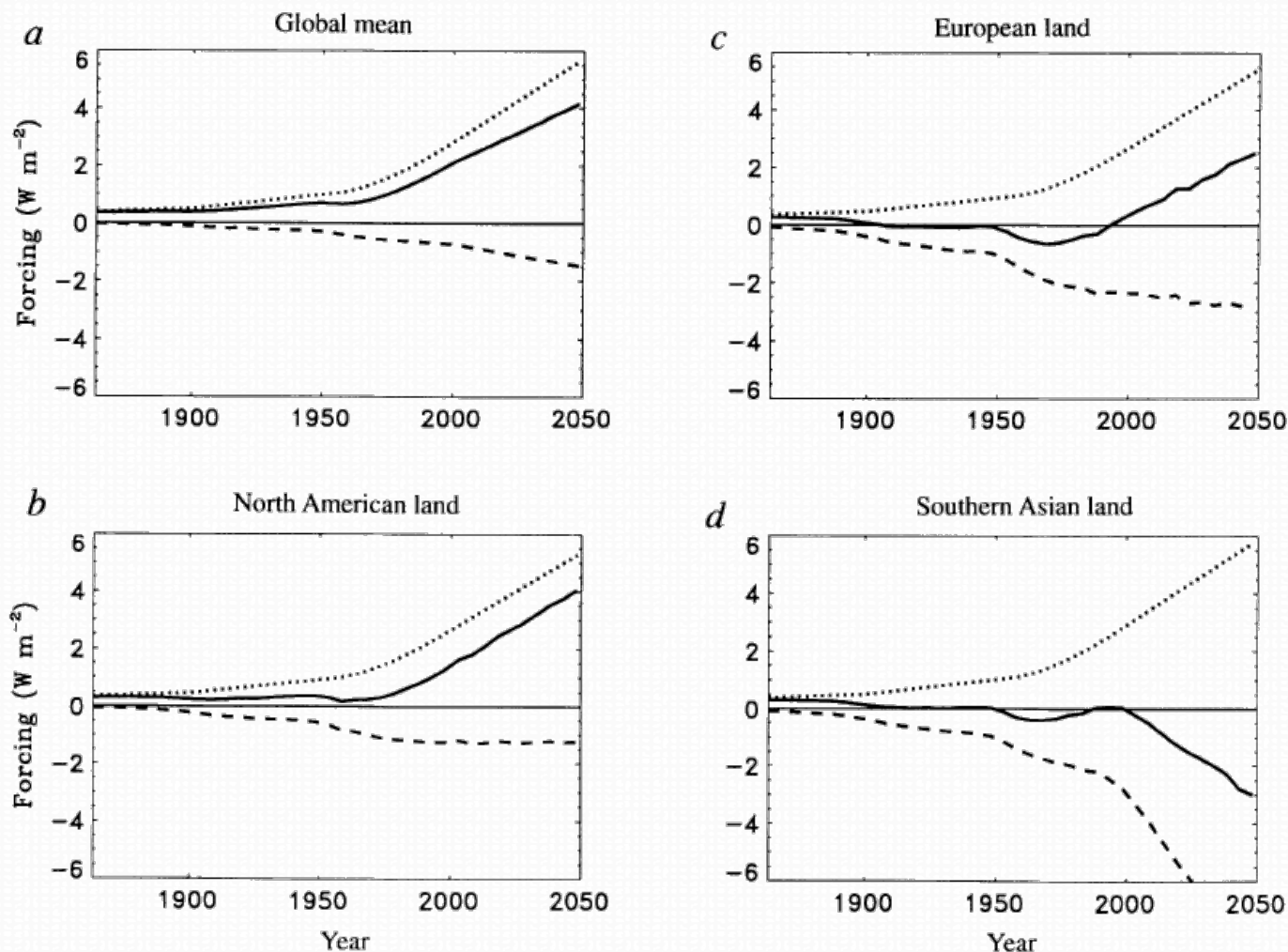


Ocena z roku 1994:

wymuszanie radiacyjne (po lewej) i zmiany temperatury (po prawej) związane z gazami cieplarnianymi (góra), aerozolem (środek) i sumaryczne (dół).

Ówczesna ocena obu “wymuszeń” (+1.26 W/m^2 dla gazów cieplarnianych i -0.95 W/m^2 dla aerozolu zawierającego siarkę) dawała nadzieje na to, że przynajmniej *na razie* nie zmieniamy klimatu w istotny sposób.

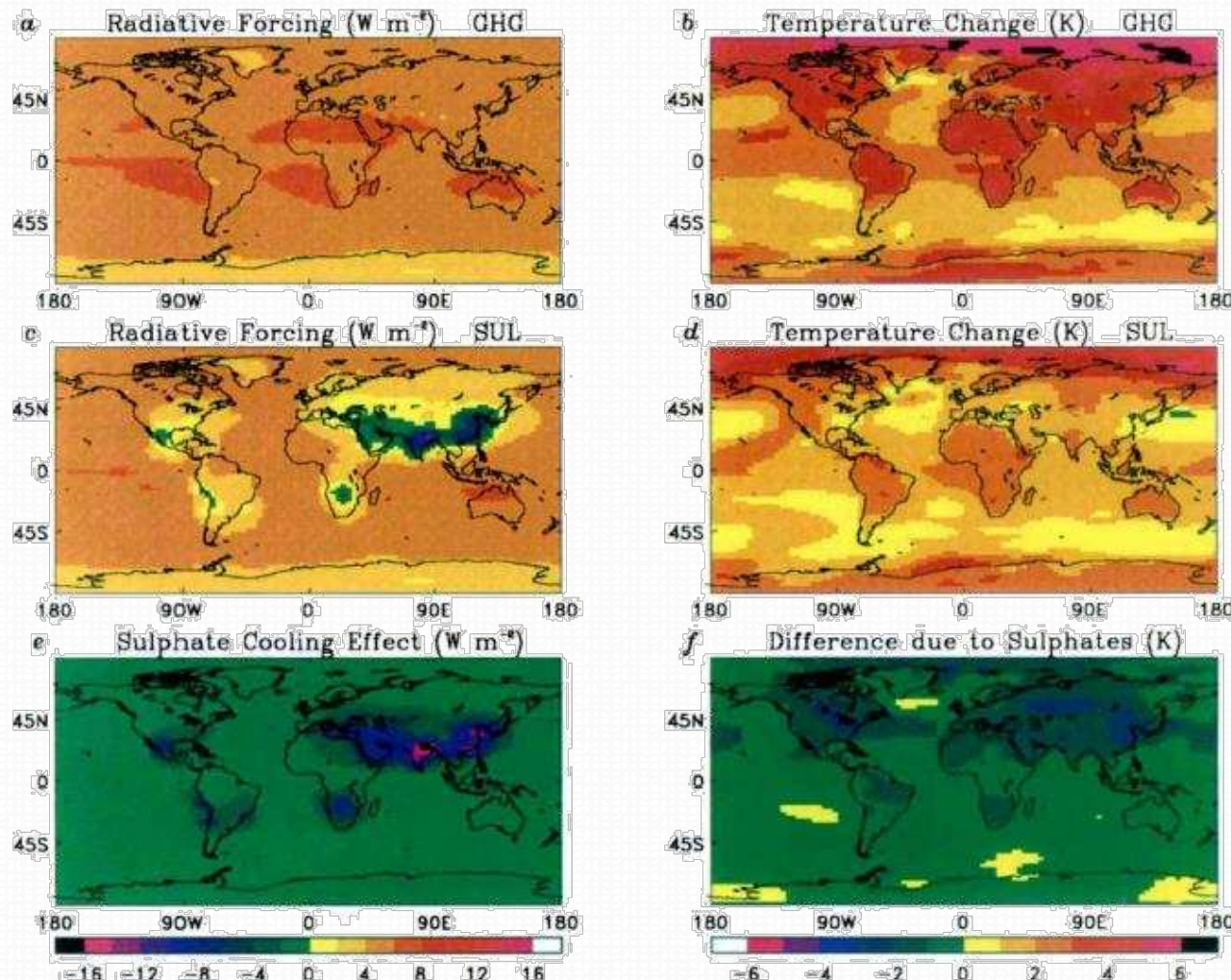
Taylor & Penner 1994 (Nature)



Nawet bez uwzględnienia innych efektów niż bezpośredni wymuszanie aerozolowe (kreski) nie mogło by w przyszłości zrównoważyć gazów cieplarnianych (kropki). Suma (linia ciągła) jest w tej prognozie ujemna tylko w Azji Południowej.

Mitchell 1995 (Nature)

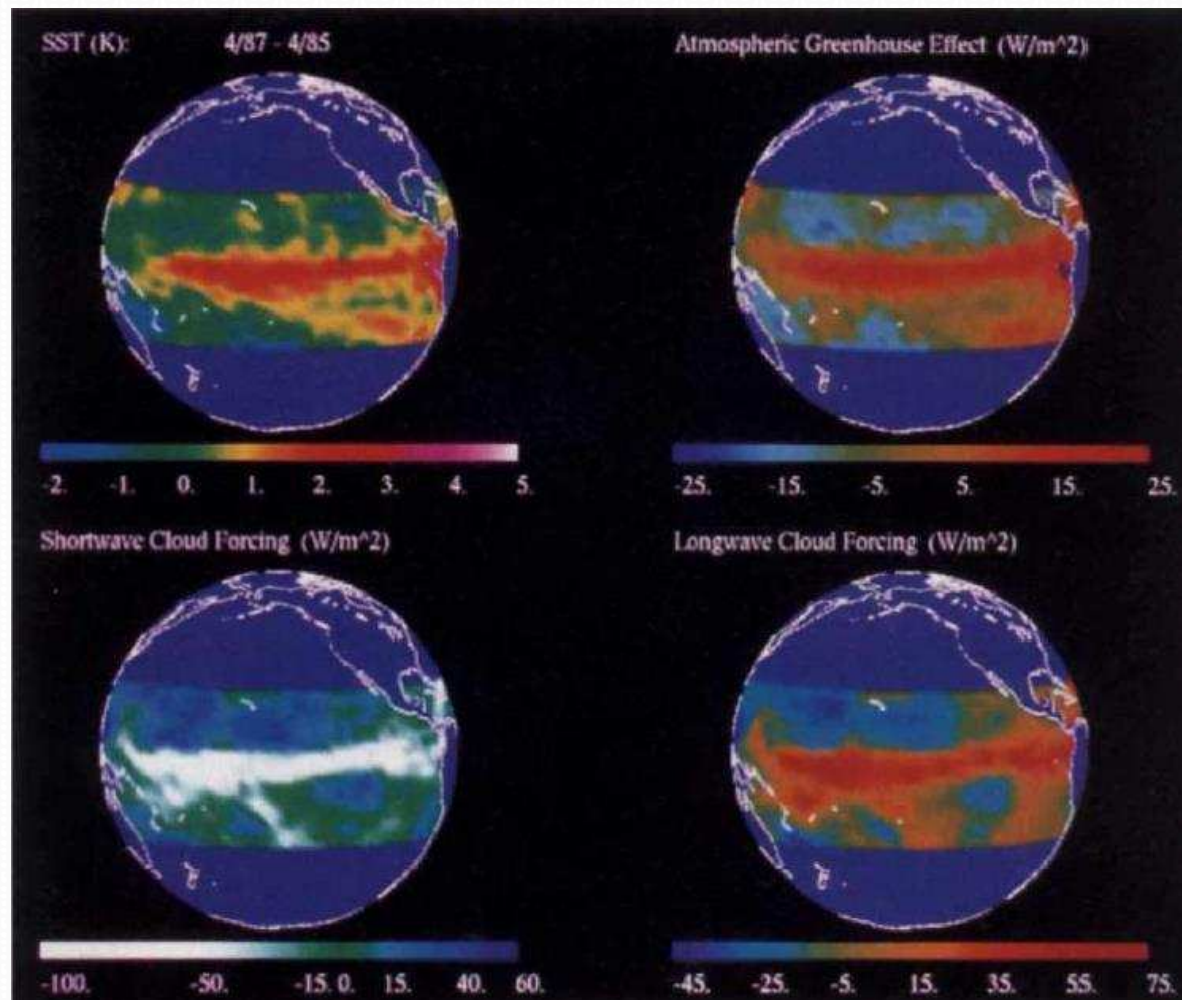
Rozkład geograficzny (ta sama prognoza)



Wymuszenie radiacyjne i zmiany temperatury spowodowane przez gazy cieplarniane (góra) aerozolowe (dół) i ich suma (uwaga: środek) dla lat 2030-2050. Uwzględniony tylko efekt bezpośredni (chłodzący) aerozolu.

Mitchell 1995 (Nature)

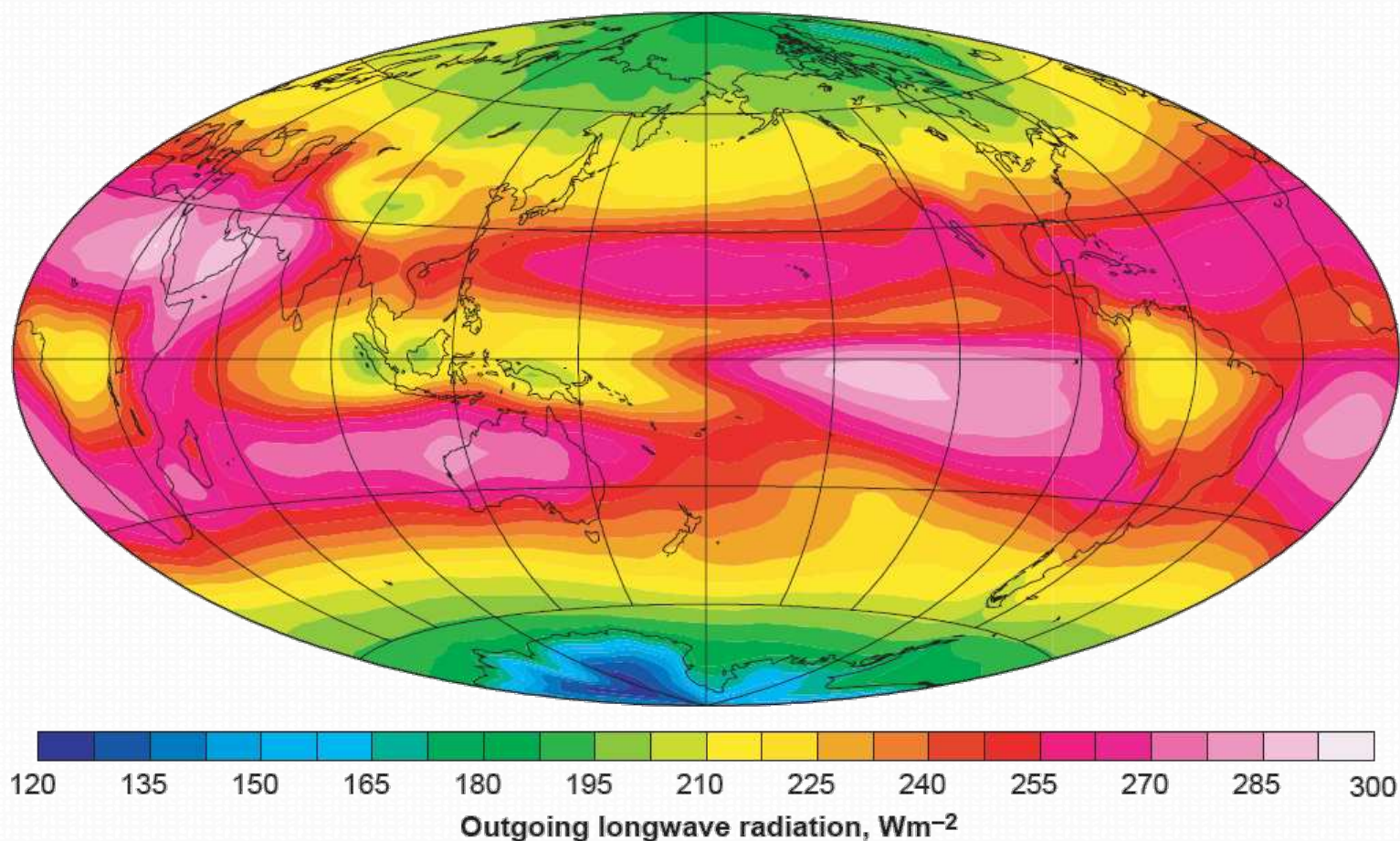
Znaczenie chmur



Zmiany temperatury, atmosferycznego efektu cieplarnianego (para wodna), albedo chmur (rozpraszanie) i efektu cieplarnianego z nimi związanego (absorpcja) podczas El Nino w 1987 roku.

Ramanathan & Collins 1991 (Nature)

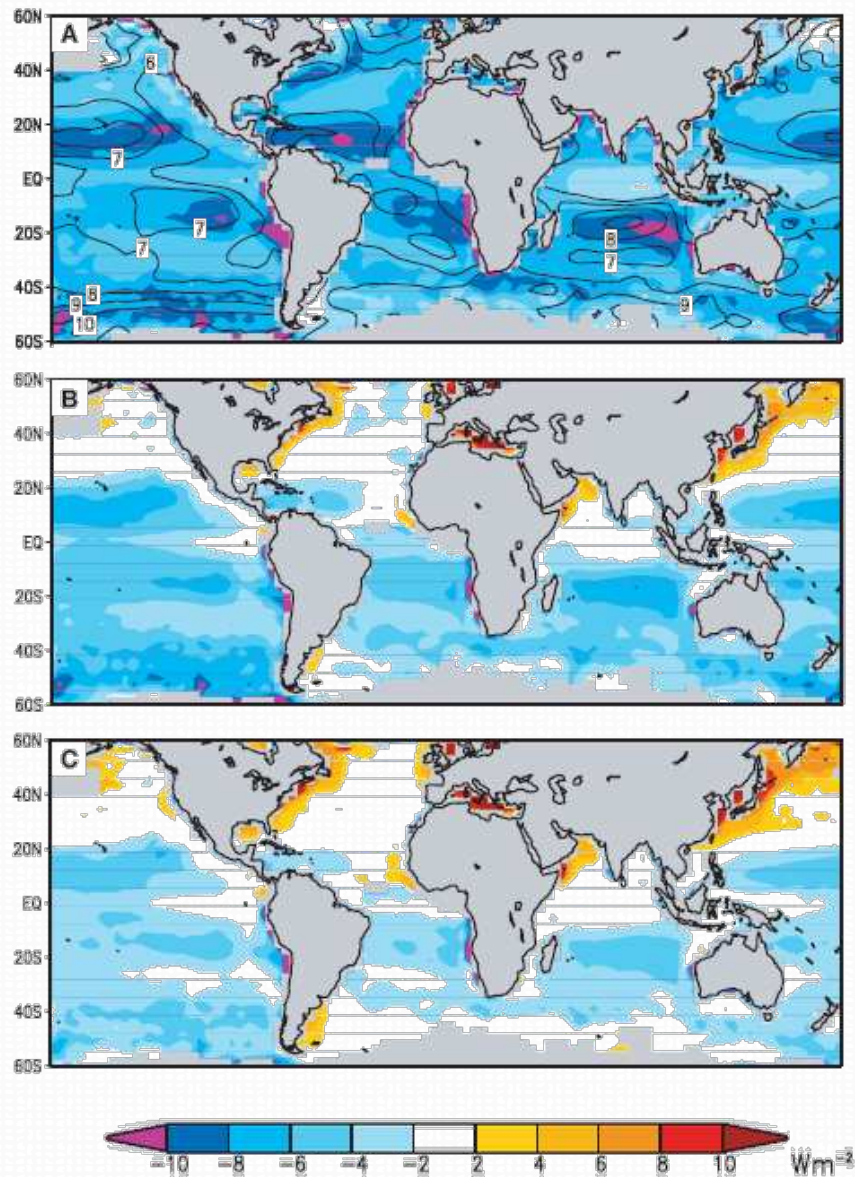
EFEKT CIEPLARNIANY CHMUR



Pokrycie chmurami części obszarów tropikalnych powoduje zmniejszenie emisji długofalowej (podczerwonej) zwiększając tym samym efekt cieplarniany nad częścią tropików (tu o kolorze żółtym i zielonym).

Hartmann 2002 (Science)

Sól morską



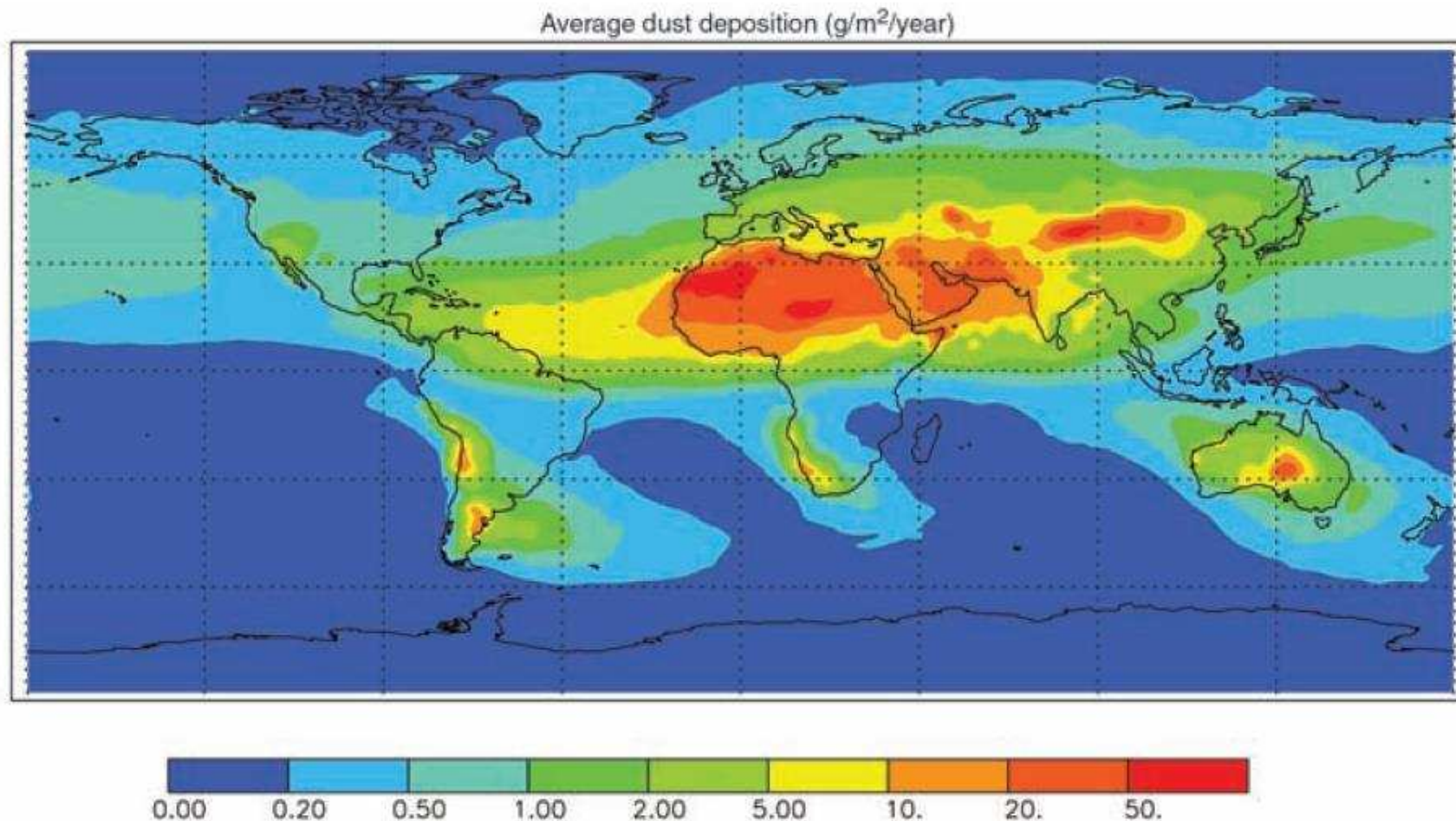
Porównanie wyników modelu klimatycznego i obserwacji satelitarnych albedo Ziemi:

- a) model bez aerozolu
- b) model z aerozolami z wyjątkiem soli morskiej w
- c) j.w. plus sól morską

Nadwyżka rozpraszania w modelu w rejonach przybrzeżnych wynika prawdopodobnie z osobnego liczenia związków siarki i soli. W rzeczywistości łączą się one ze względu na silnie higroskopowe właściwości soli morskiej.

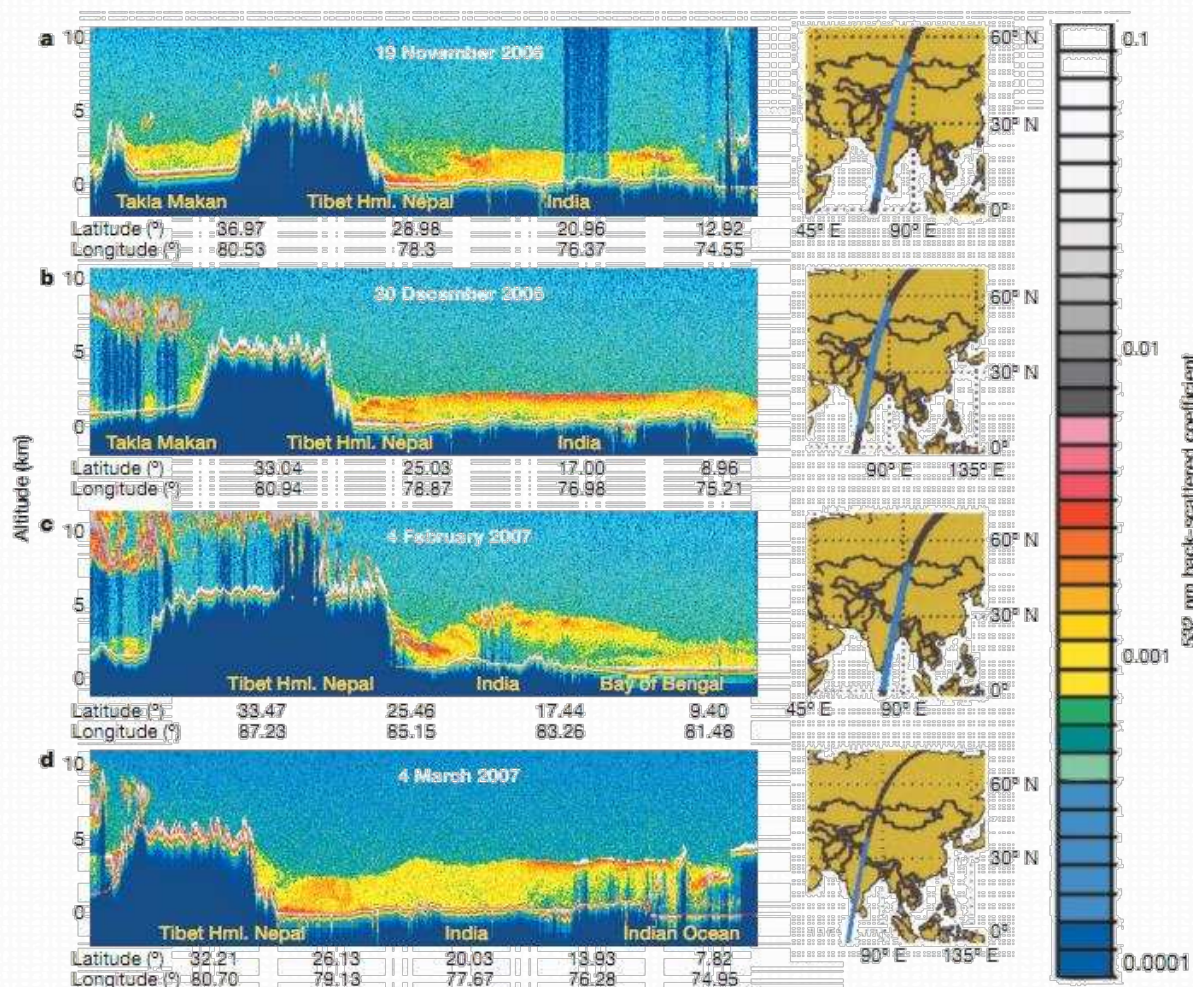
*Haywood, Ramaswamy & Soden 1999
(Science)*

Opad pyłu pochodzenia kontynentalnego



Pył z pustyni i pochodzenia antropogenicznego oziębia powierzchnię ziemi przy czystym niebie (rozpraszanie) ale jednocześnie ogrzewa atmosferę (absorpcja) a także powierzchnię ziemi zakrytą chmurami górami).

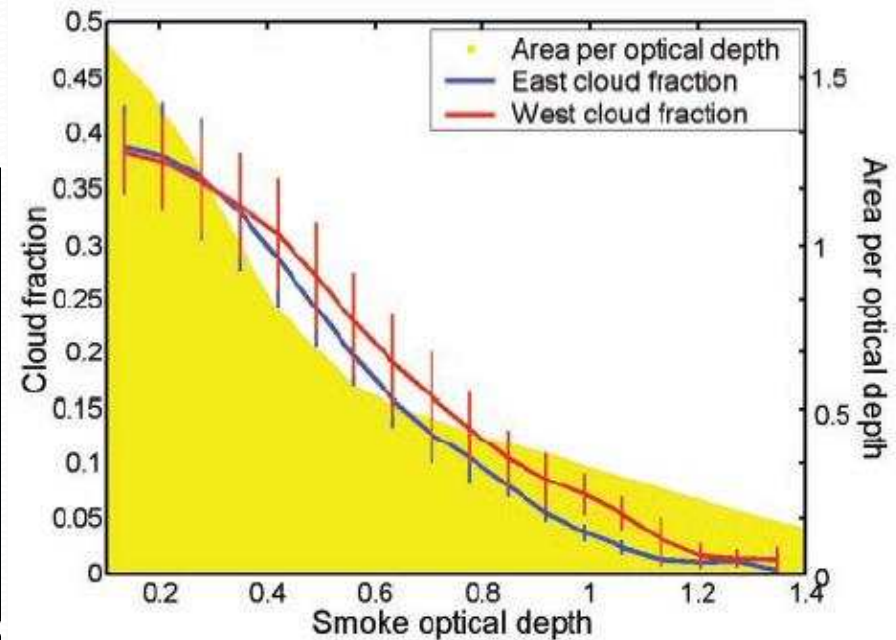
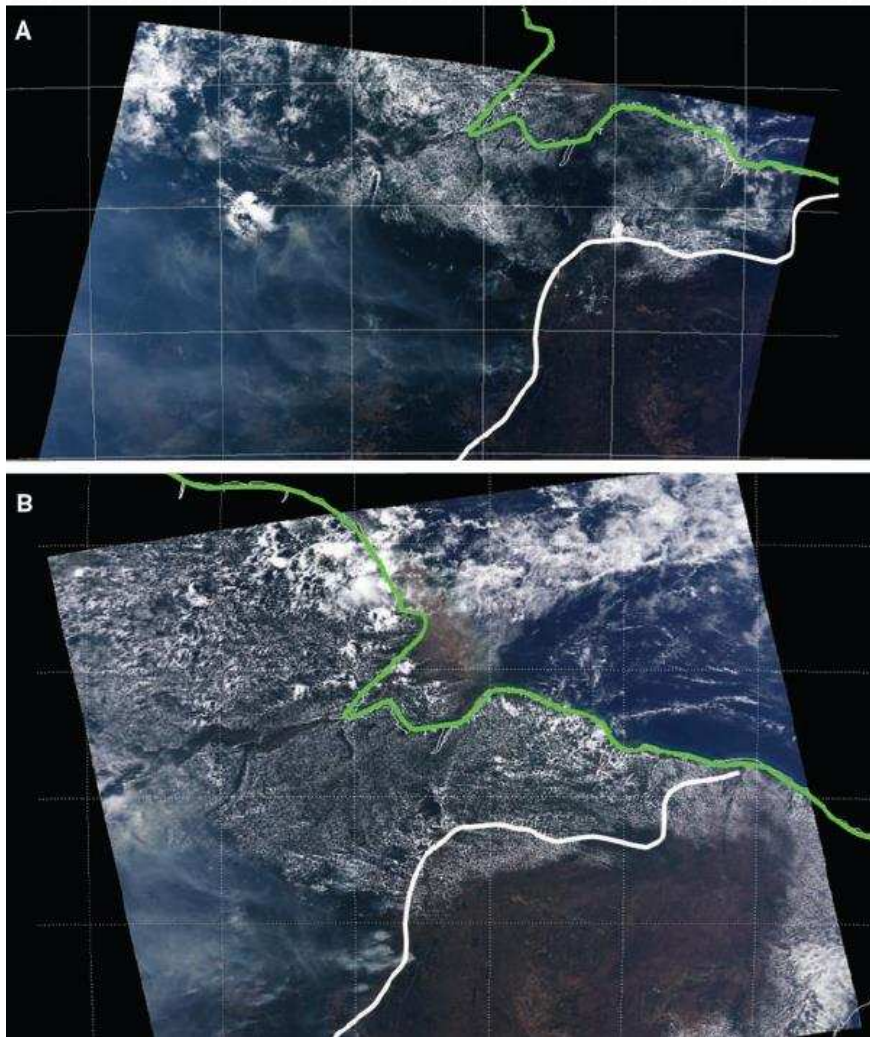
Aerozol zawierający sadzę bezpośrednio grzeje Himalaje



Pomiary z satelitarnego lidaru CALIPSO pokazują, że aerozol (brązowe, żółte i zielone) zalega na wysokościach na których w górach (niebieskie) są lodowce. Ponieważ aerozol ten zawiera sadzę powoduje to bezpośrednie ogrzewania powietrza mającego styczność z lodowcami górskimi. Chmury widoczne są jako obszary białe i szare a cirrusy żółte.

Ramanathan et al. 2007 (Nature)

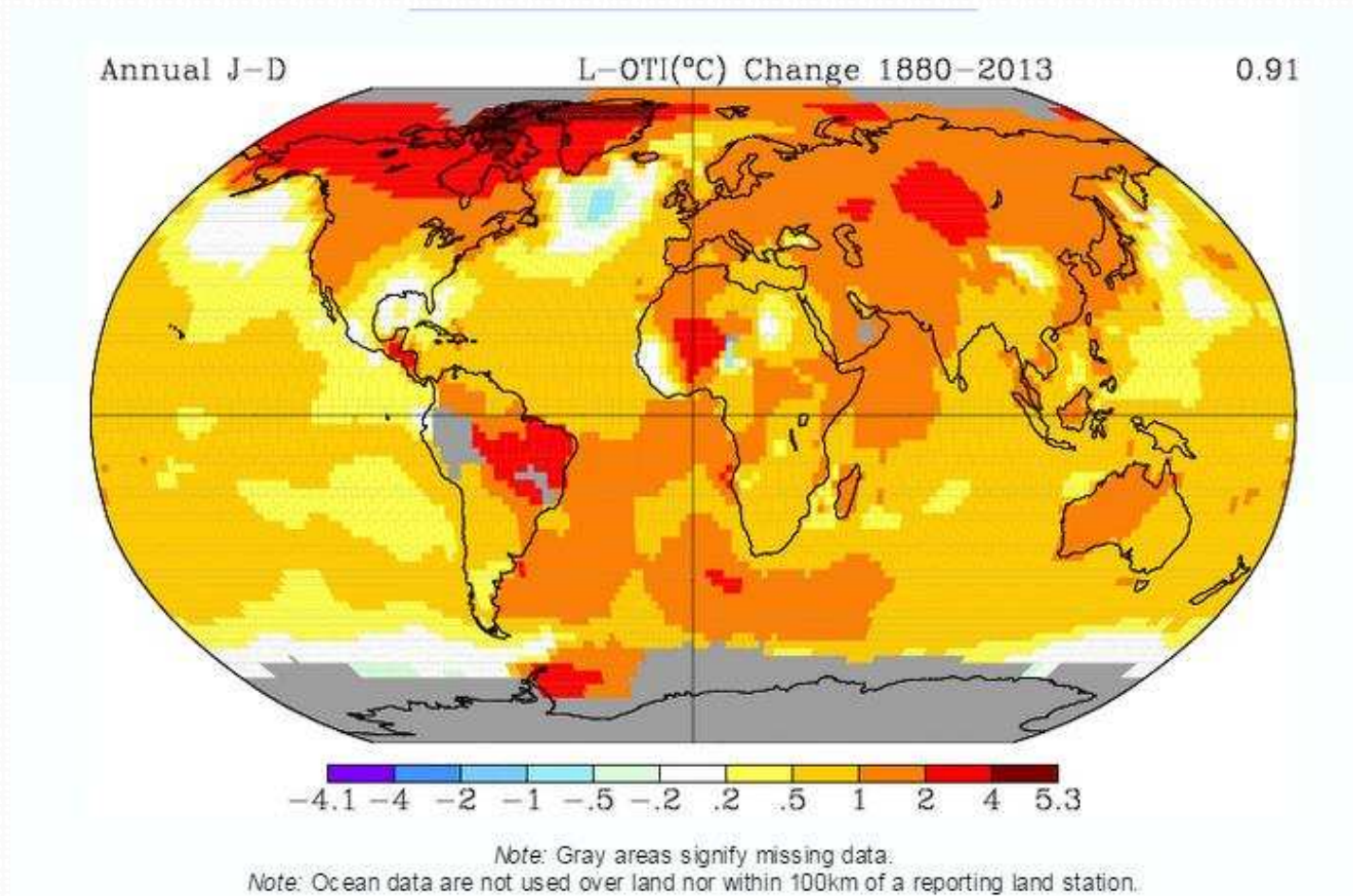
Pożary lasów w Amazonii



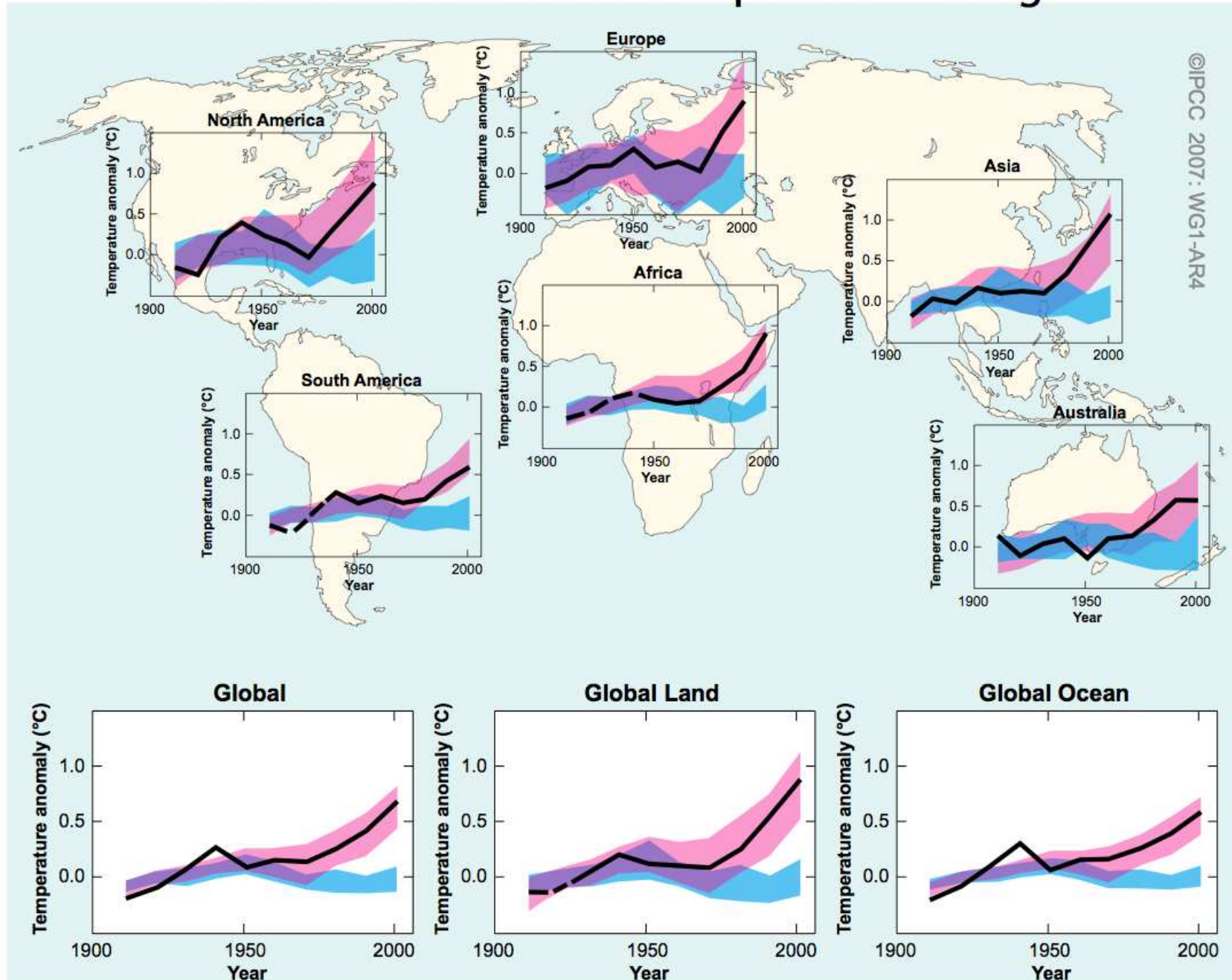
Pożary lasów w Amazonii (dolna lewa część panelu A) widziane rano i południe. Ze zdjęć i wykresu widać, że na zadymionym obszarze nie wytwarzają się cumulusy. Zmienia to “wymuszanie” dymowe z -28 W/m^2 na $+8 \text{ W/m}^2$. Koren et al. 2004 (*Science*)

Symptomy ocieplenia

Zmiany średniej globalnej temperatury (1880-2013)



Global and Continental Temperature Change

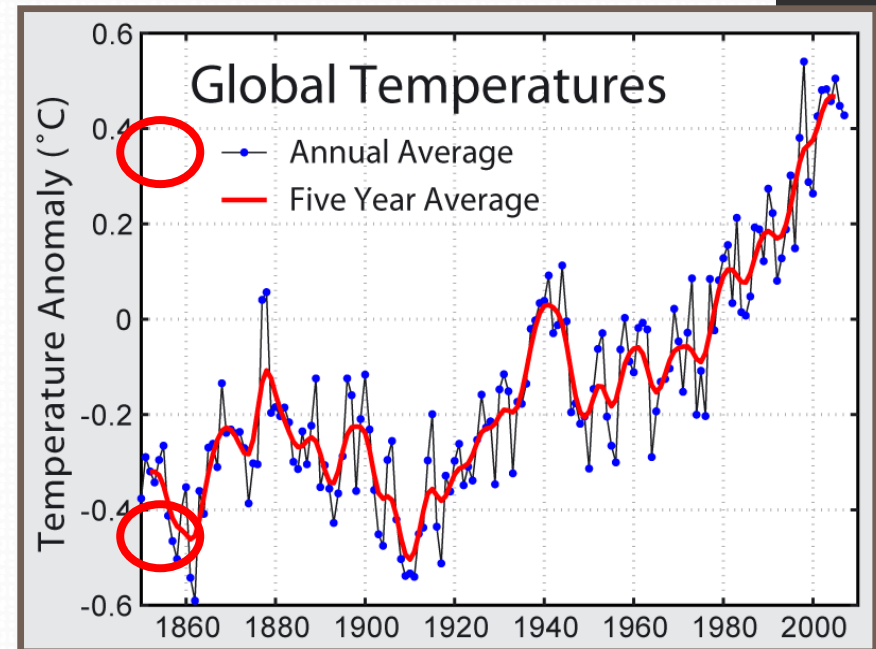


1. wzrost średniej temperatury średnio o $0,8^{\circ}\text{C}$ począwszy od 1860 r., głównie w ostatnich dekadach (*Hansen i in. 1981; NASA's Goddard Institute for Space Studies*)

2. wzrastające tempo ogrzewania:

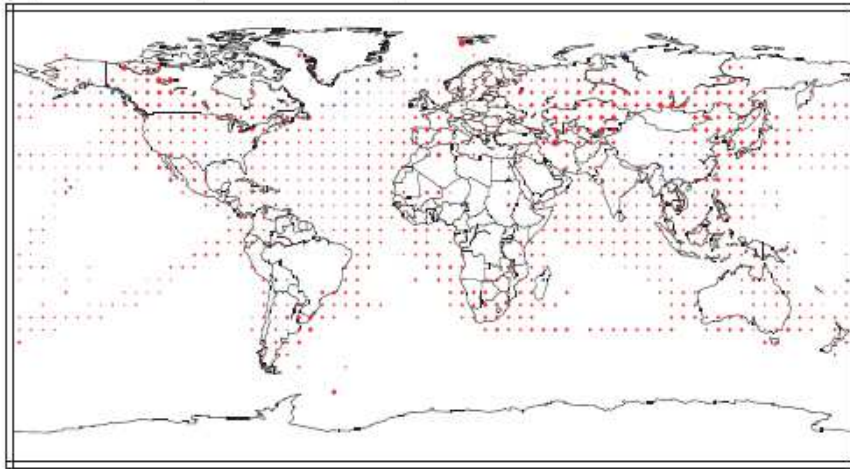
⇒ dwie ostatnie dekady XX w. były najcieplejszymi w ciągu ostatnich 400 lat (za tyle mamy pomiary)

⇒ od momentu rozpoczęcia regularnych pomiarów w 1850r. aż 11 spośród ostatnich 12 lat było najcieplejszymi w historii pomiarów (*raport IPCC*)

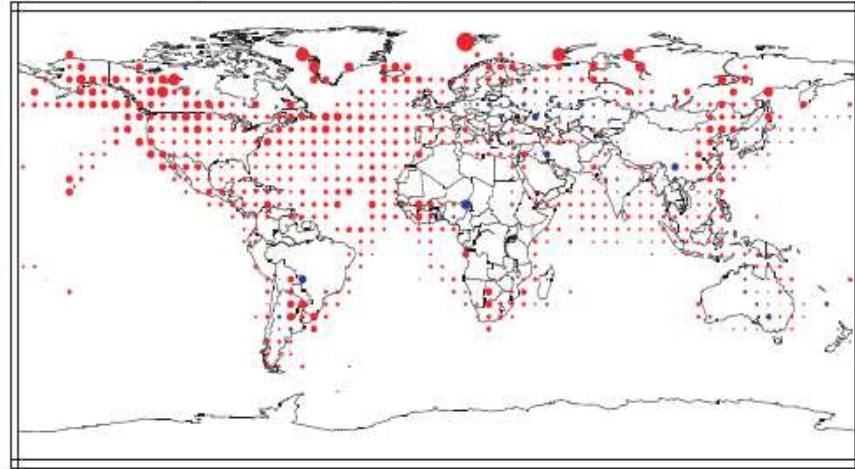


Trendy temperature XX wieku

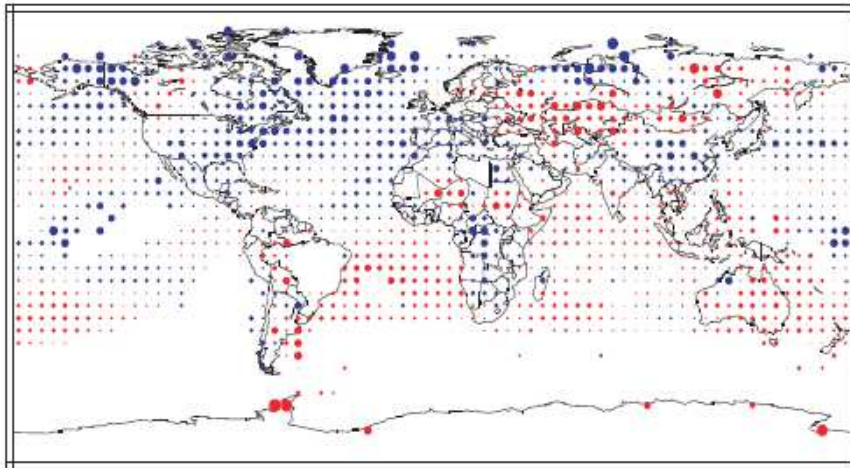
(a) Annual temperature trends, 1901 to 2000



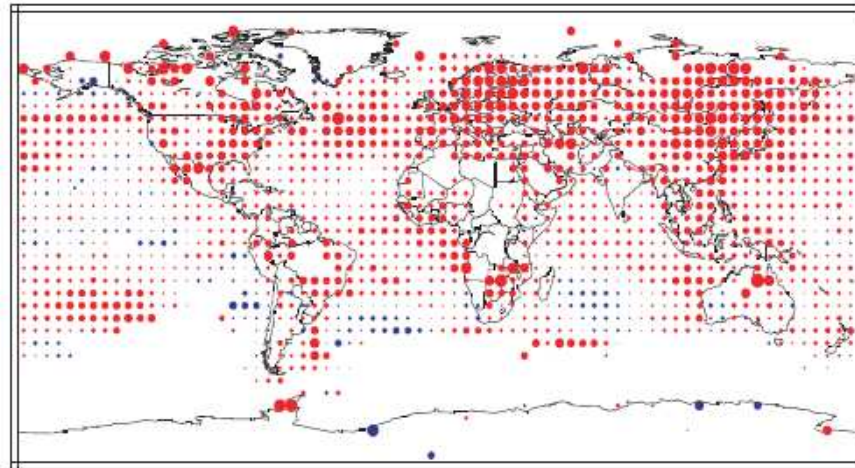
(b) Annual temperature trends, 1910 to 1945



(c) Annual temperature trends, 1946 to 1975



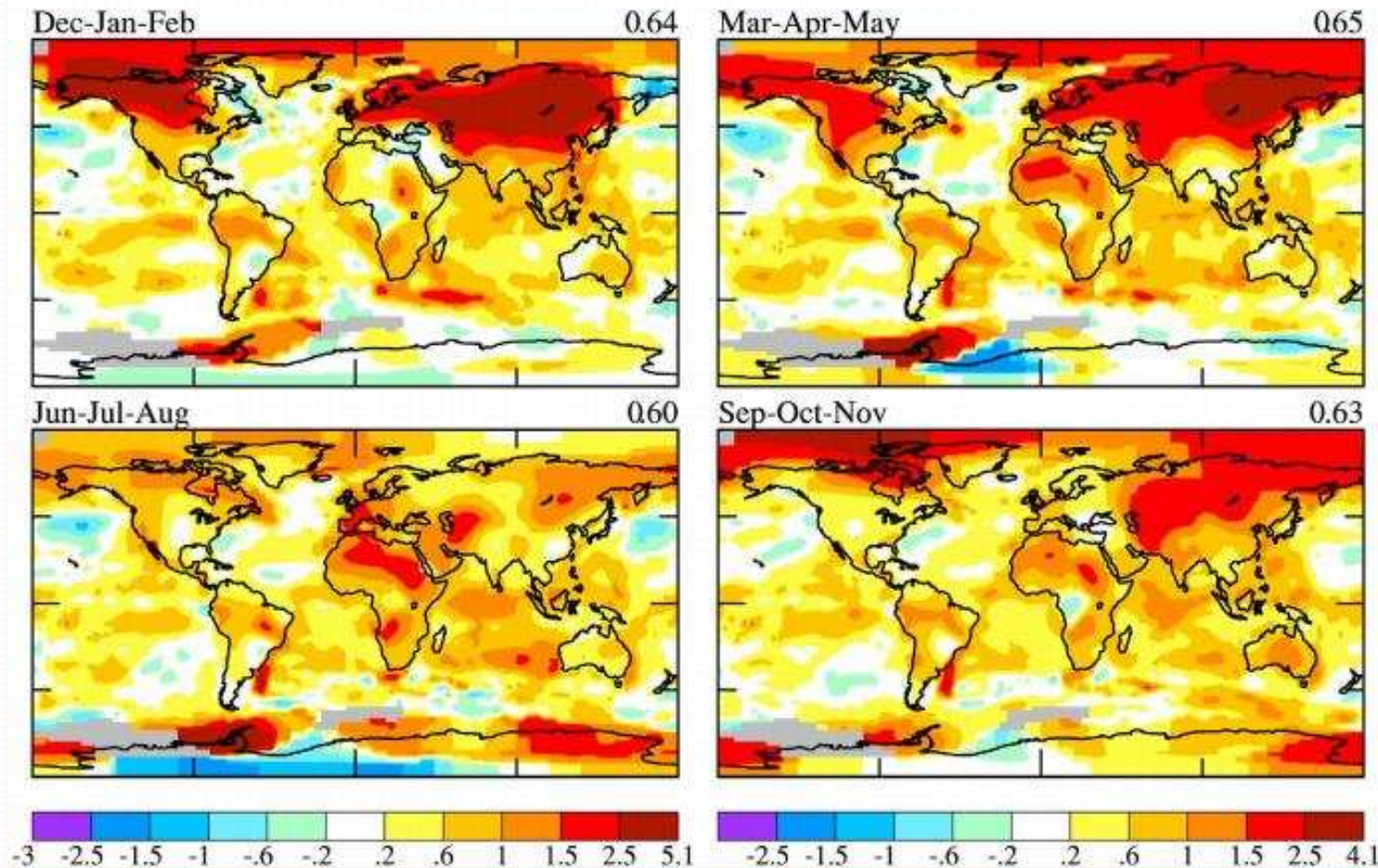
(d) Annual temperature trends, 1976 to 2000



-1 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1
Trend ($^{\circ}\text{C}/\text{decade}$)

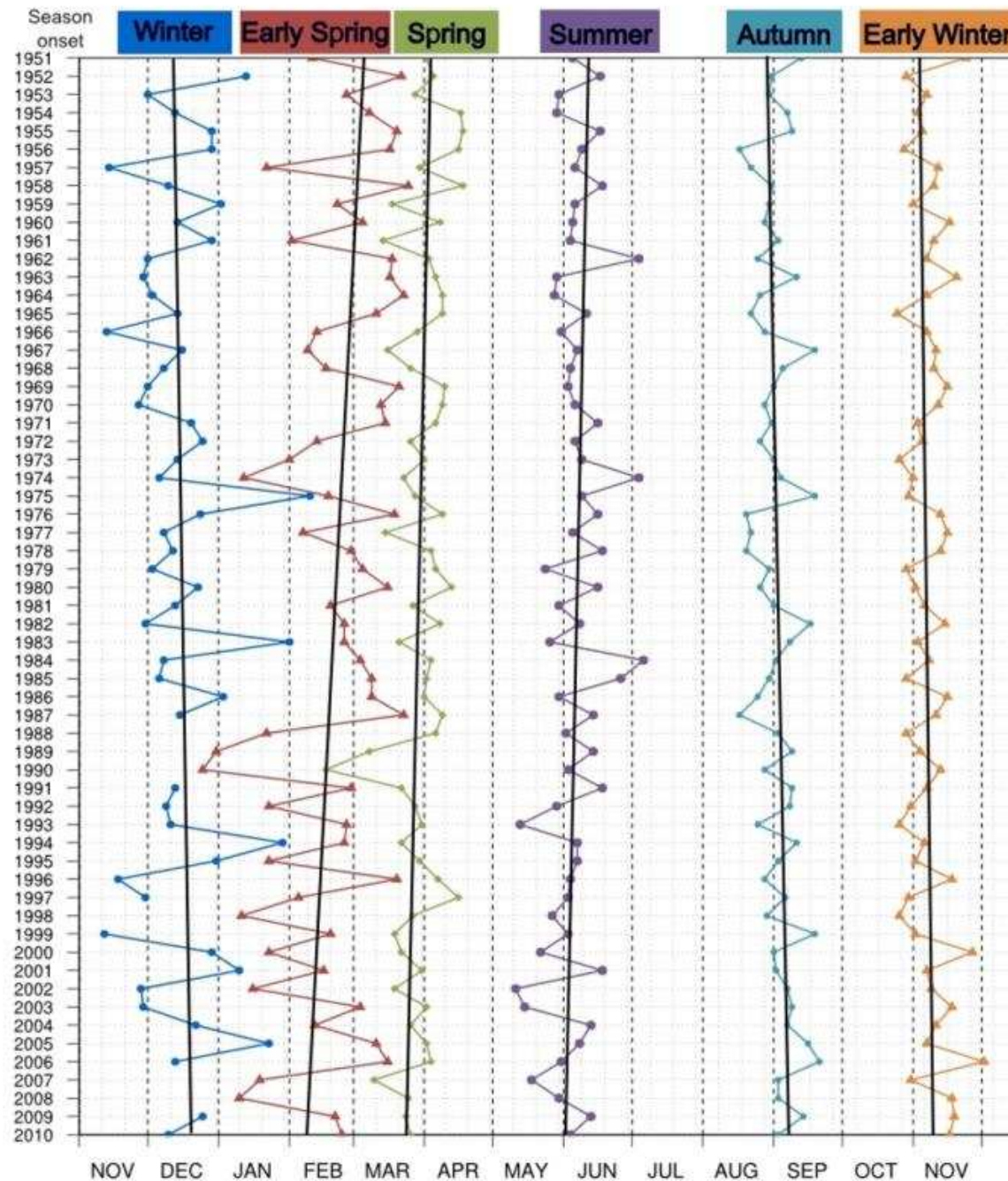
Trendy temperatury poszczególnych por roku

1950-2009 Seasonal Surface Temperature Changes Based on Linear Trends (°C)



Trendy temperatury [C/60 lat] za lata 1950-2009: na naszej półkuli największe zmiany wystąpiły zimą i wiosną.

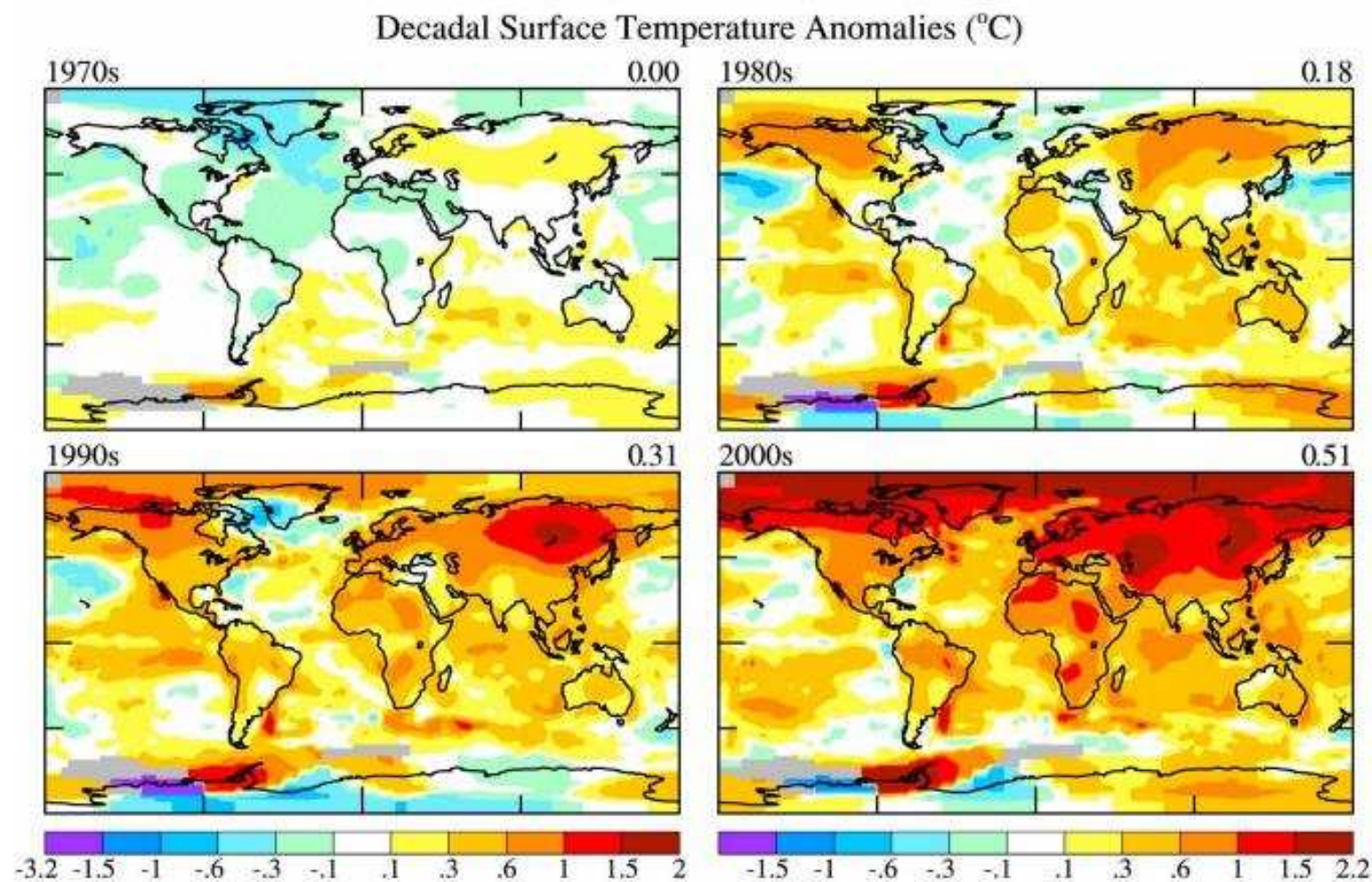
Hansen et al. 2010 (Reviews of Geophysics)



Zmiany sezonowości klimatu Polski (1951-2010)

Czernecki and Miętus 2015
(*Theoretical and
Applied Climatology*)

Anomalie temperatury ostatnich czterech dekad



W ostatnich czterech dekadach każda była istotnie cieplejsza od poprzedniej.

Hansen et al. 2010 (Reviews of Geophysics)

Symptomy ocieplenia

- Ekstremalne upały
- Powodzie i susze
- Wielkie topnienie
- Oceany
- Huragany i inne sztormy
- Ekosystemy i rolnictwo

Symptomy ocieplenia – ekstremalne upały

MIARY NATĘŻENIA UPAŁÓW

Długość:

- długość najdłuższej fali upału w roku
- liczba dni z temperaturą przekraczającą wartość progową

Intensywność:

- najwyższa temperatura maksymalna
- skumulowana suma temperatur powyżej wartości progowej
- średnia miesięczna temperatura maksymalna

Symptomy ocieplenia – ekstremalne upały

FALA UPAŁÓW

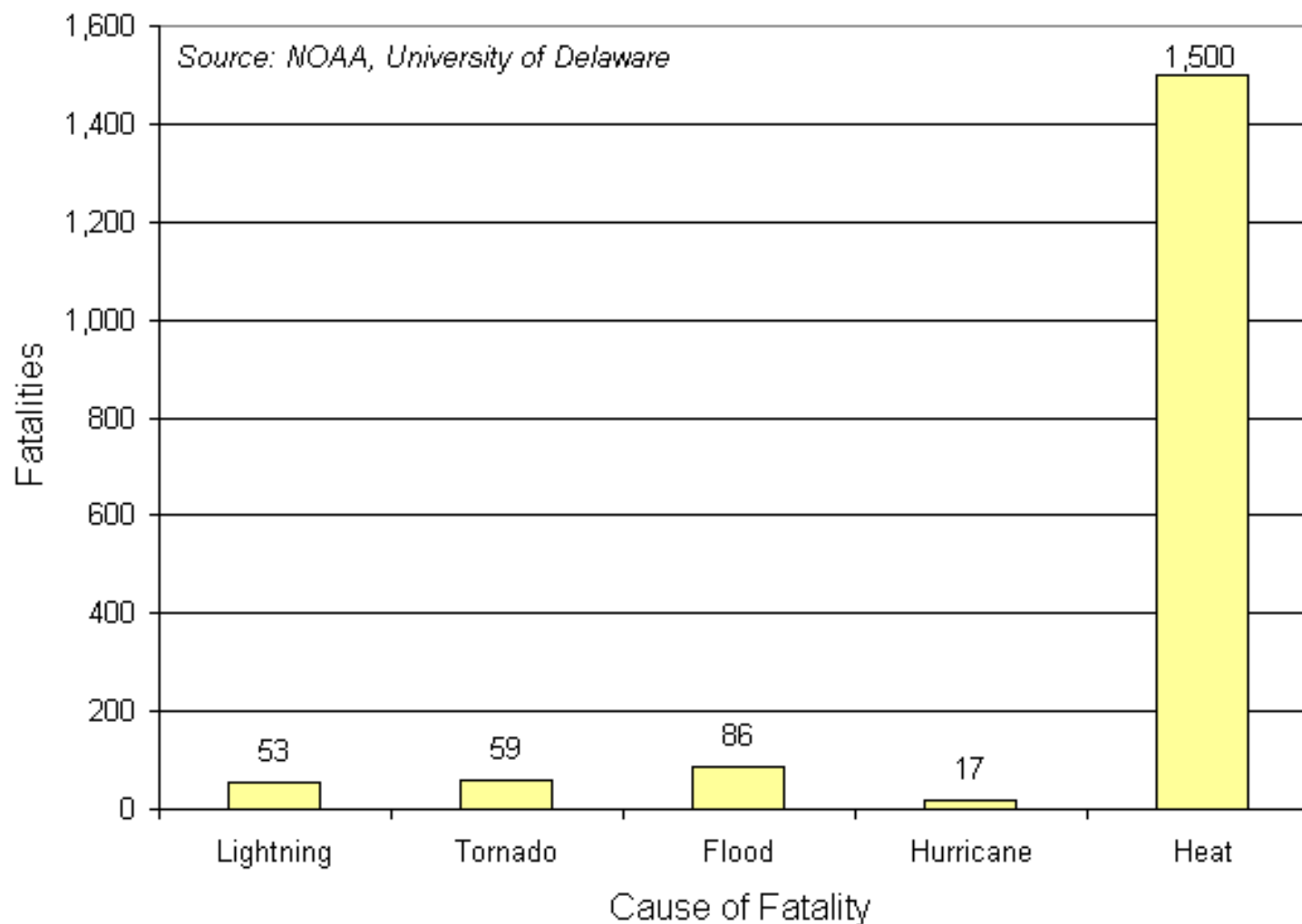
Próg termiczny: $t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$,
 $t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$

Czas trwania: 1 dzień
co najmniej 3 dni
co najmniej 5 dni

$t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ przez co najmniej trzy dni i nie spada poniżej 25°C , średnia $t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$

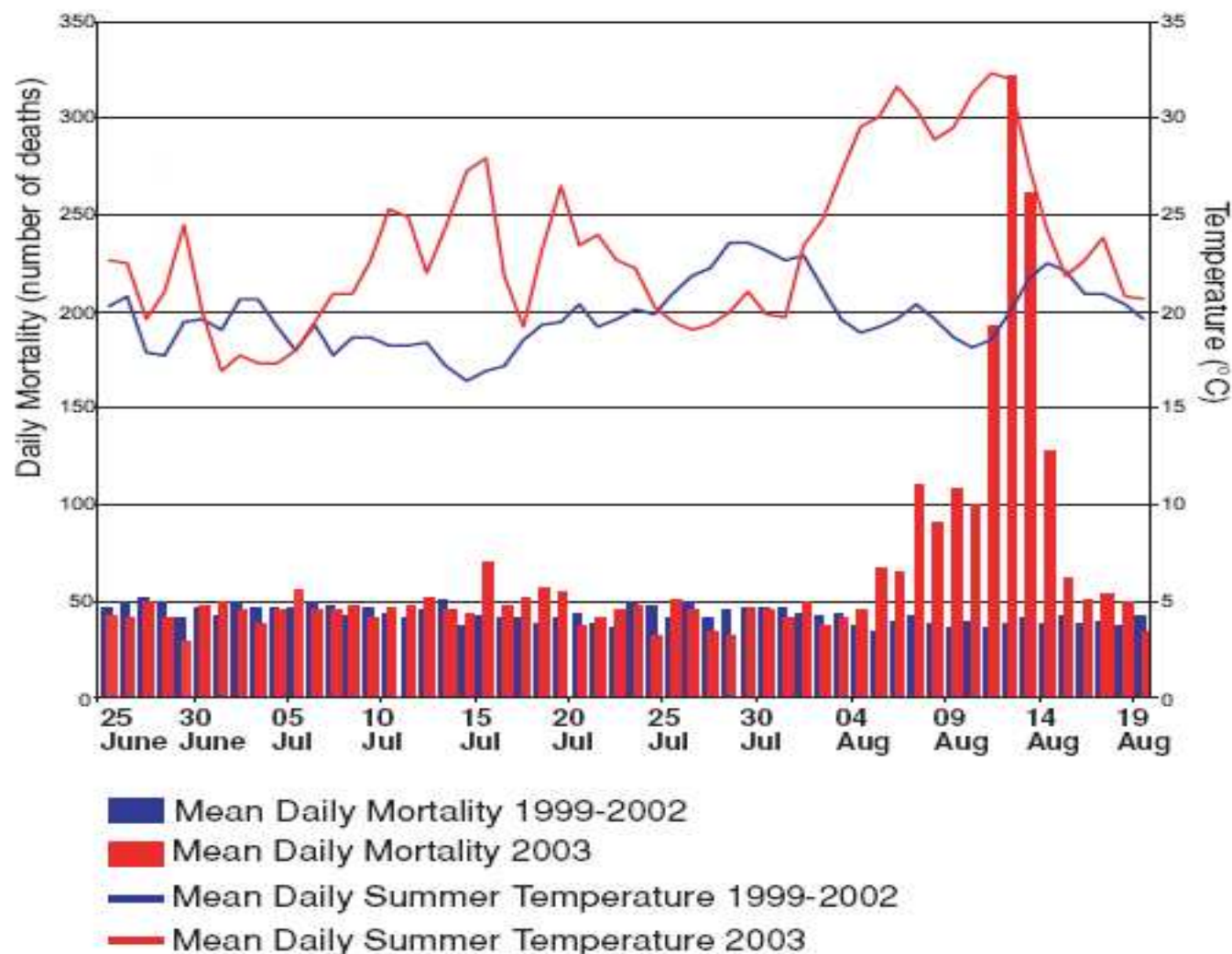
Symptomy ocieplenia – ekstremalne upały

Selected Severe Weather Fatalities in the United States
(Annual Figures Based on a 10-Year Average from 1993 to 2002)

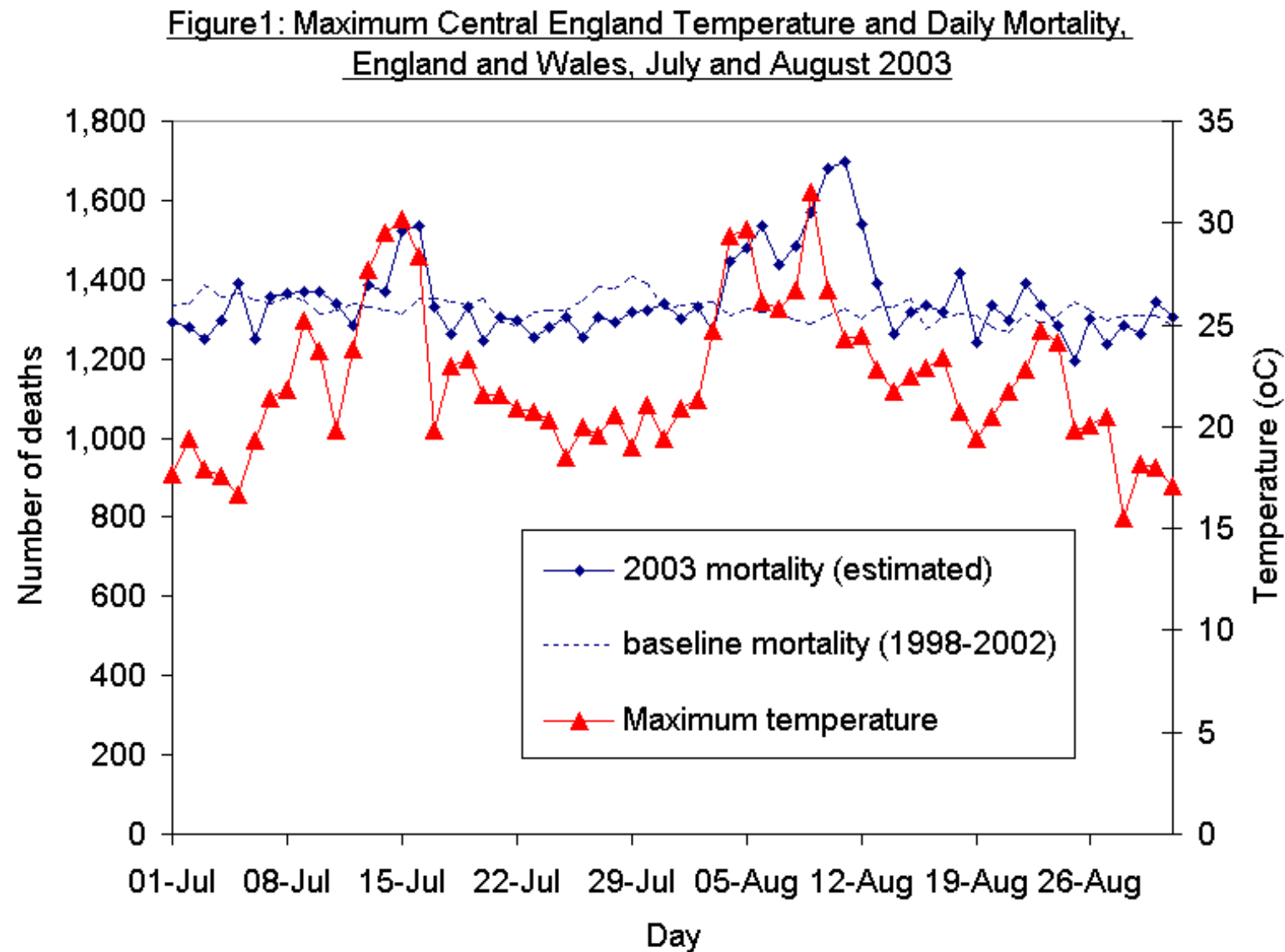


Symptomy ocieplenia – ekstremalne upały

Liczba zgonów w Paryżu latem 2003



Fala upałów w sierpniu 2003 w Anglii i Walii



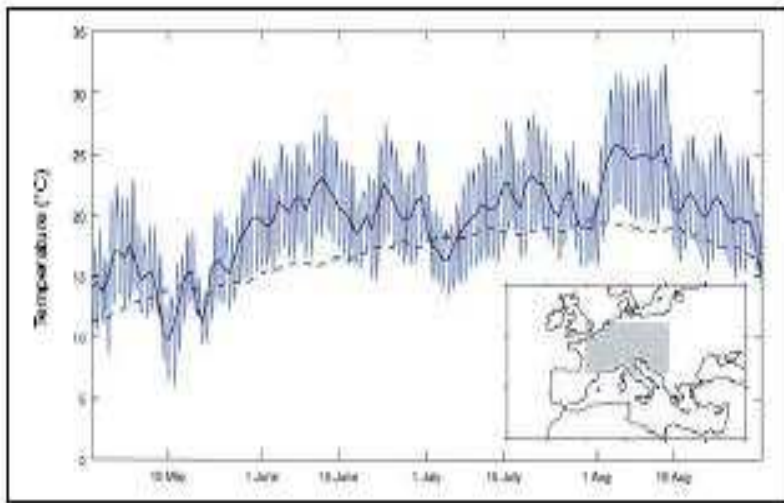
Glenn McGregor, Department of Geography, King's College London

Symptomy ocieplenia – ekstremalne upały

Liczba zgonów wywołanych falą upałów w 2003
według Munich Re, 2004

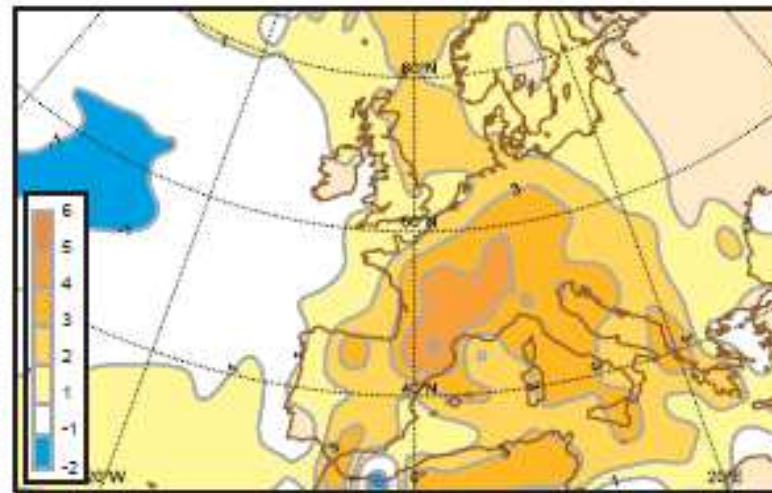
Francja	14 800
Hiszpania	2 000
Portugalia	1 300
Włochy	4 000
Niemcy	3 500
Wielka Brytania	900
Holandia	500

Lato 2003:



Średnia temperatura powietrza na zaznaczonym obszarze Europy według danych ECMWF (European Center for Medium range Weather Forecasting). Dane z godzin 00, 06, 12, 18 GMT i średnia dobowa (linia gruba ciągła) na tle średniej z okresu 1958-2002 według reanaliz ERA-40.

Emily Black, i in., Weather, Vol. 59, No. 8

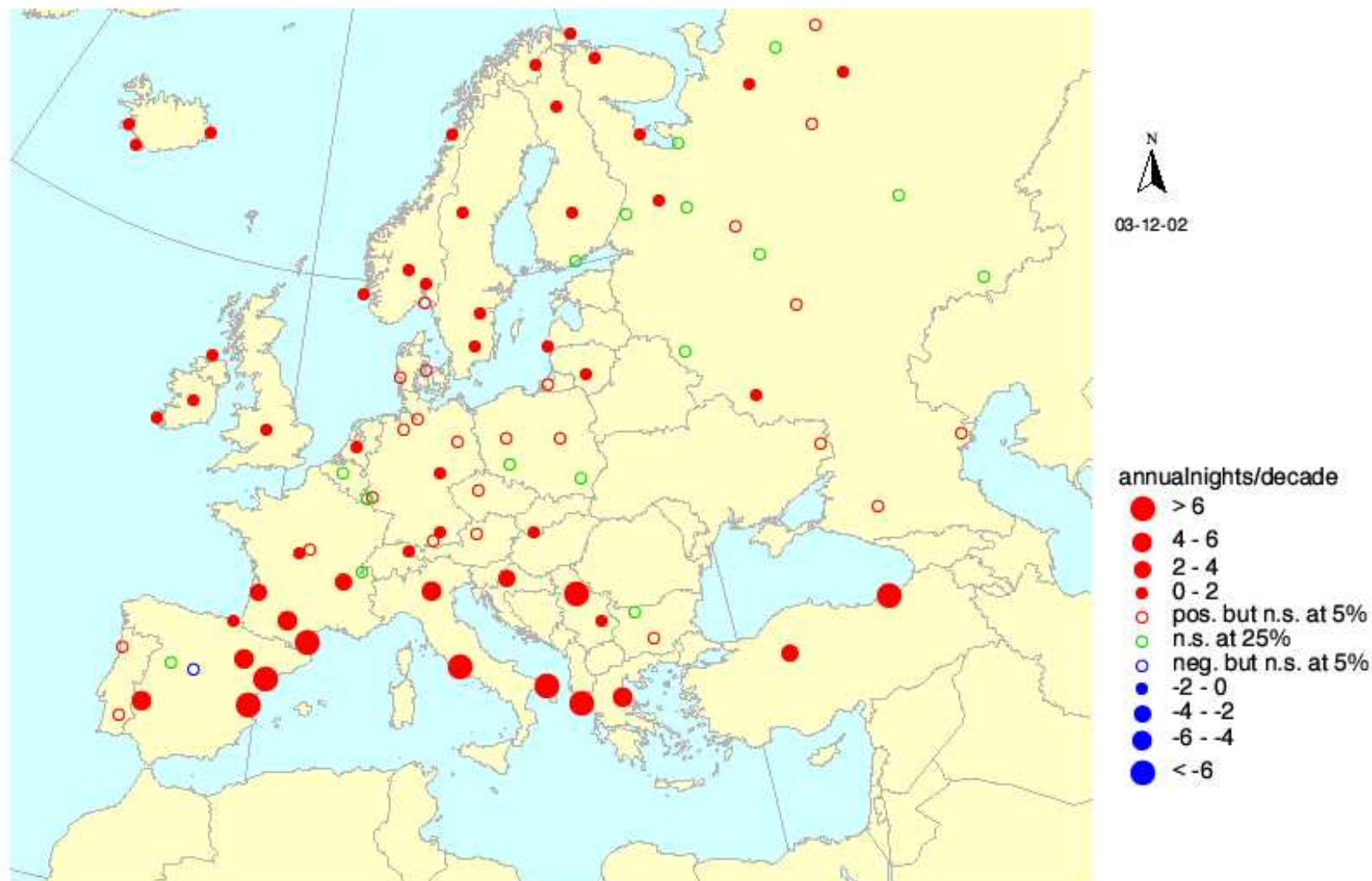


Anomalie średniej temperatury powietrza w Europie według danych ECMWF od średniej z okresu 1958-2002 według reanaliz ERA-40.

F. Grazzini, i in., 2003, ECMWF Newsletter No. 99

Wzrost liczby tropikalnych nocy na dekadę

TR: Tropical nights (TN > 20°C), SUMMER-HALF 1976-1999



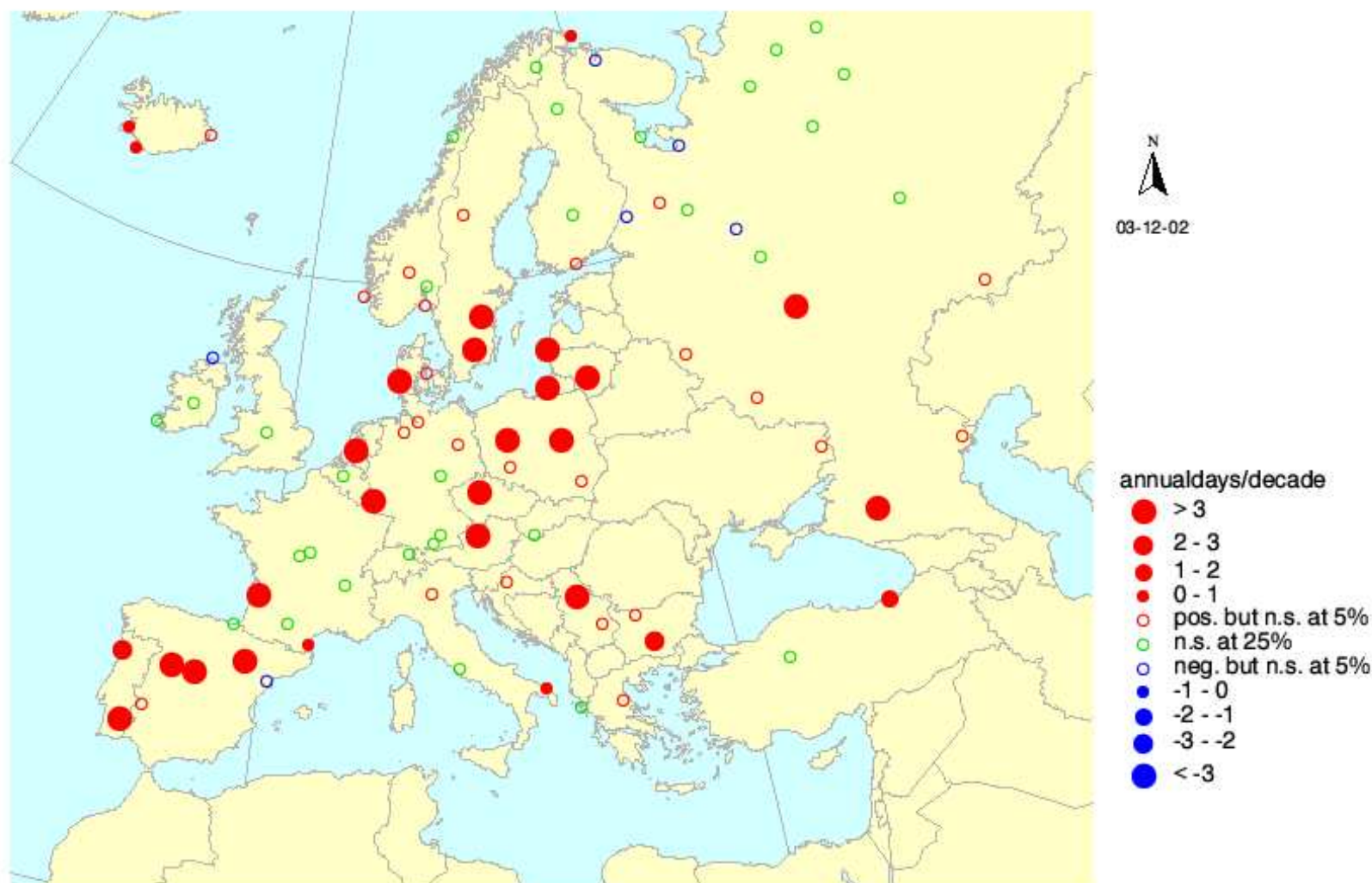
European Climate Assessment & Dataset

< Warning: trends for selected subset of stations! >

Source: <http://www.knmi.nl/samenw/eca/index.html>

Wzrost długości trwania fali upału na dekadę

HWDI: Heat wave duration index, SUMMER-HALF 1976-1999

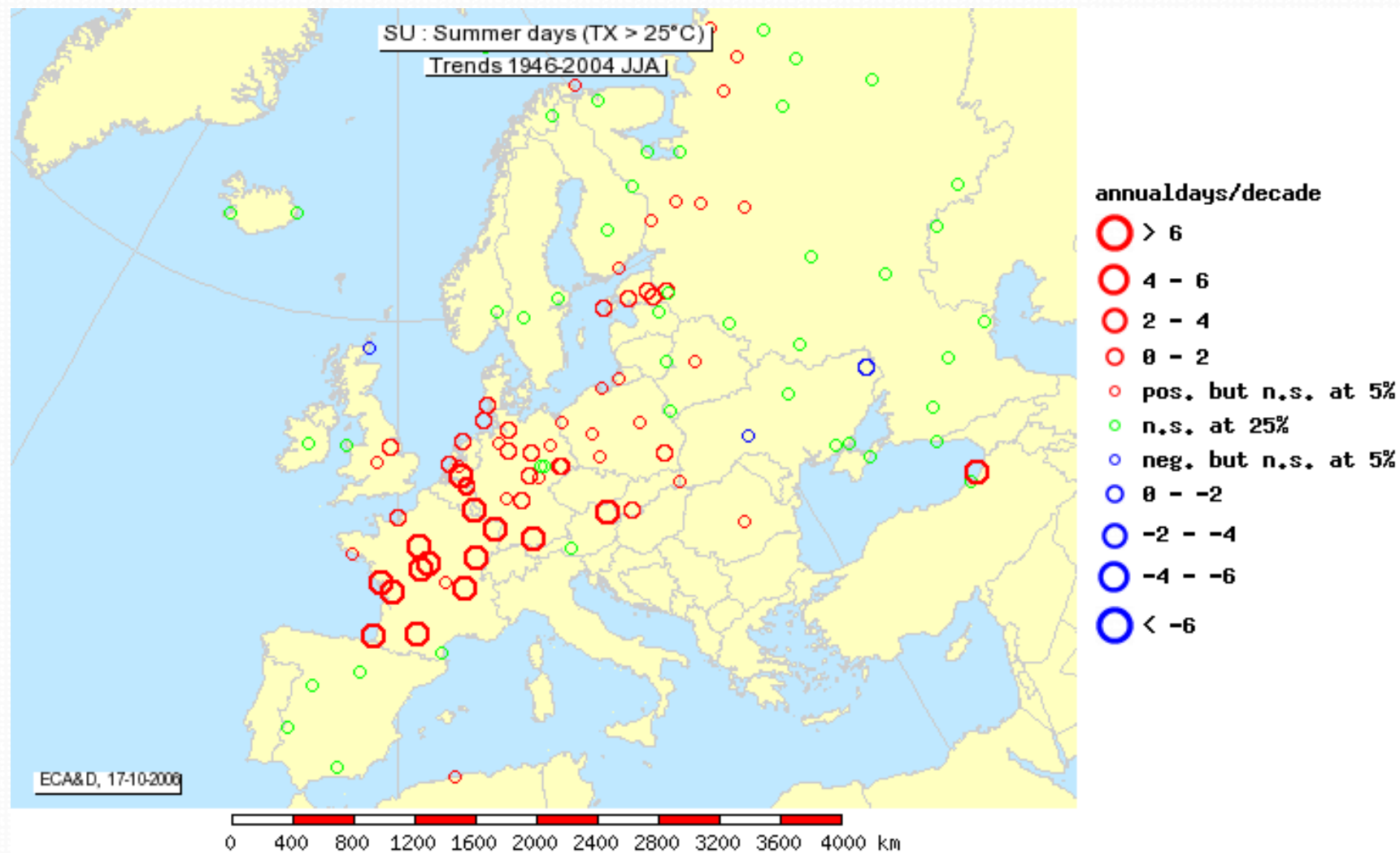


European Climate Assessment & Dataset

< Warning: trends for selected subset of stations! >

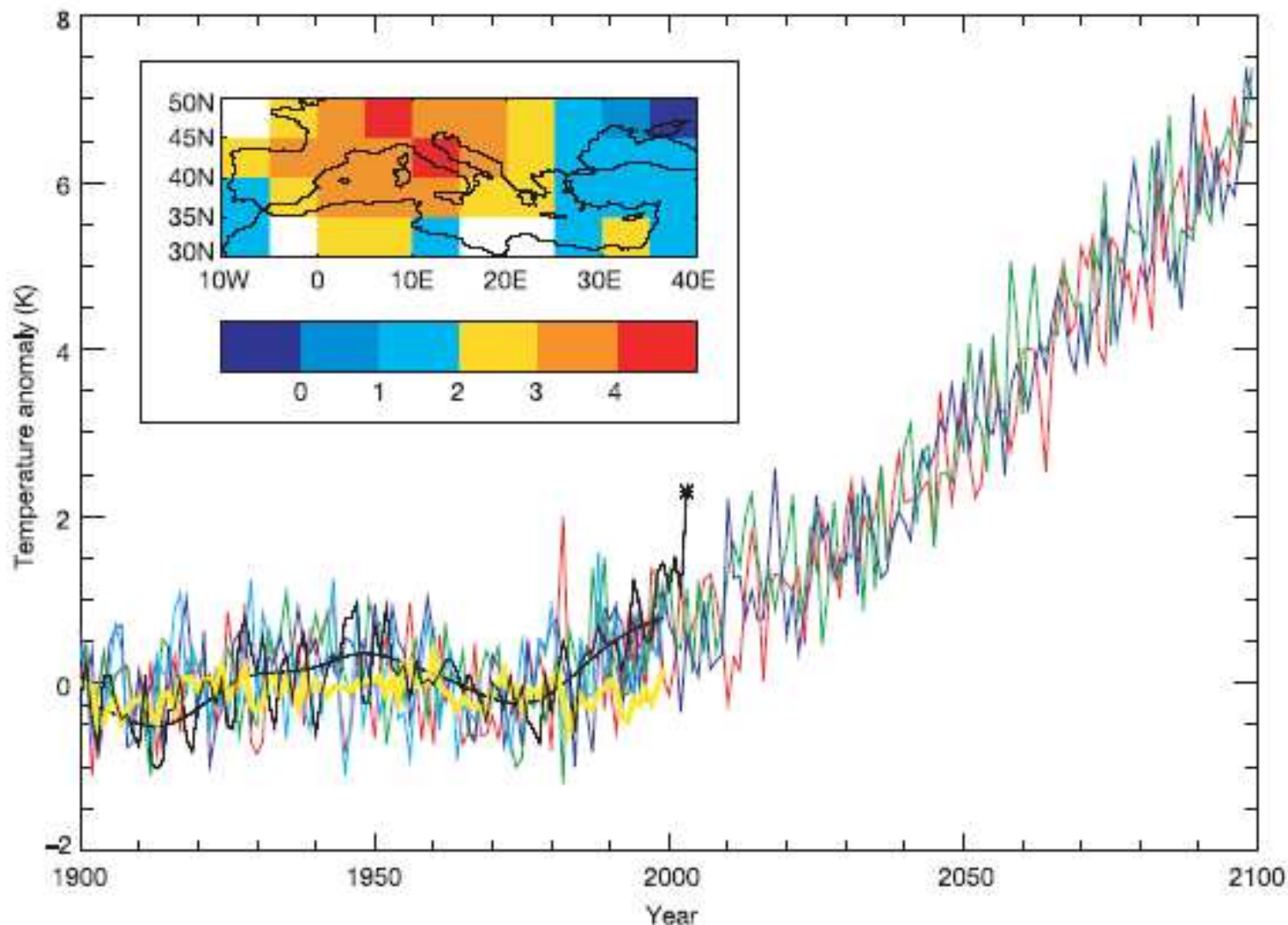
Source: <http://www.knmi.nl/samenw/eca/index.html>

Trend wzrostu częstości dni gorących ($t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) na dekadę



ECA&D European Climate Assessment and Datasets

Lato 2003 może wcale nie być anomalią uwzględniając prognozowany wzrost temperatury

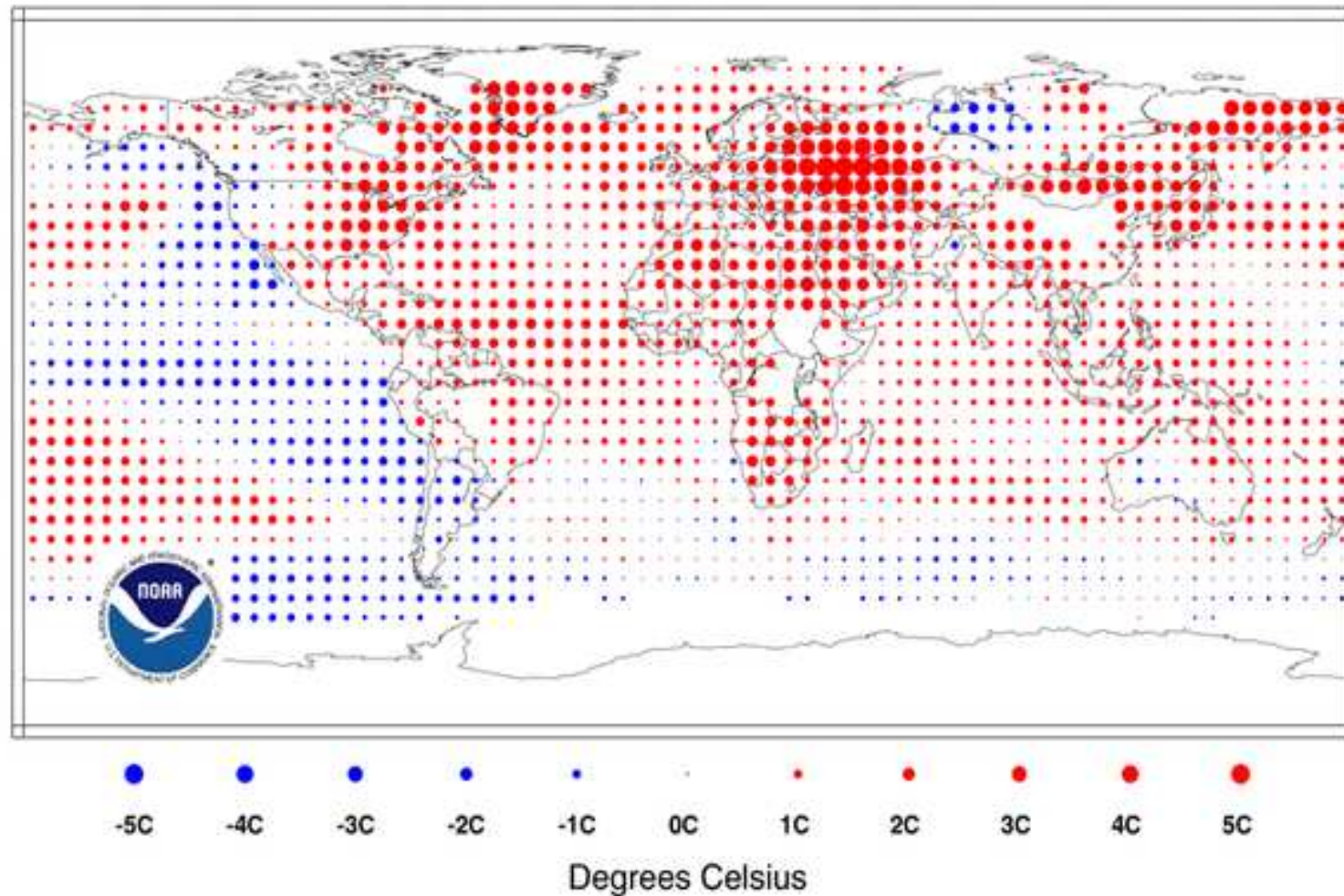


Stott et al., 2004 Nature

Temperature Anomalies Jun-Aug 2010

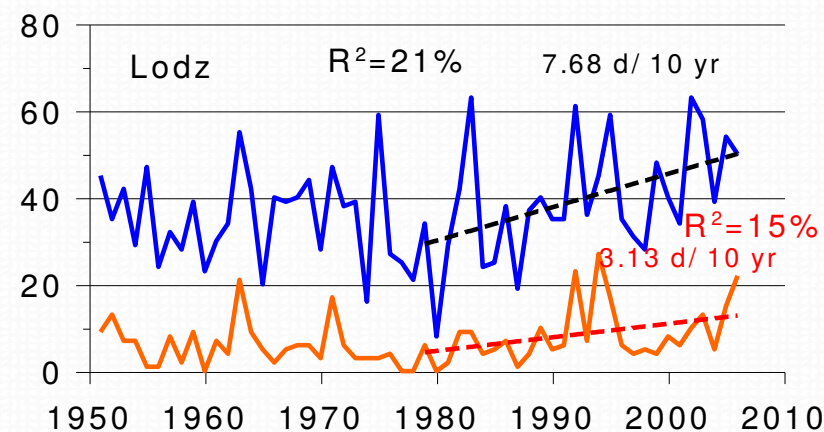
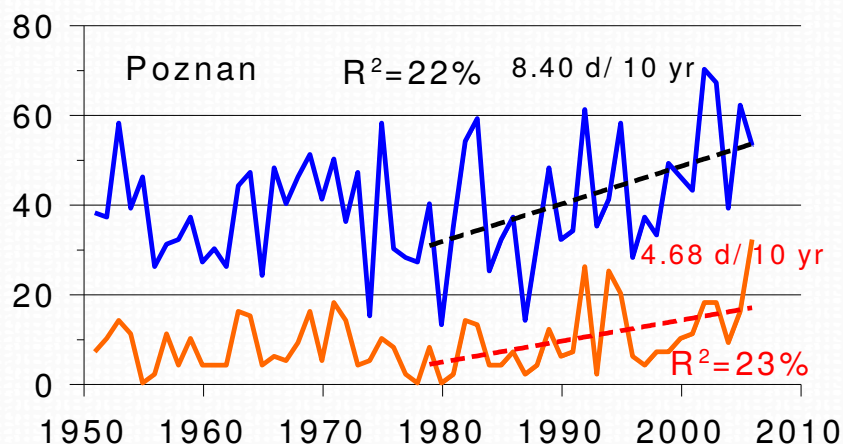
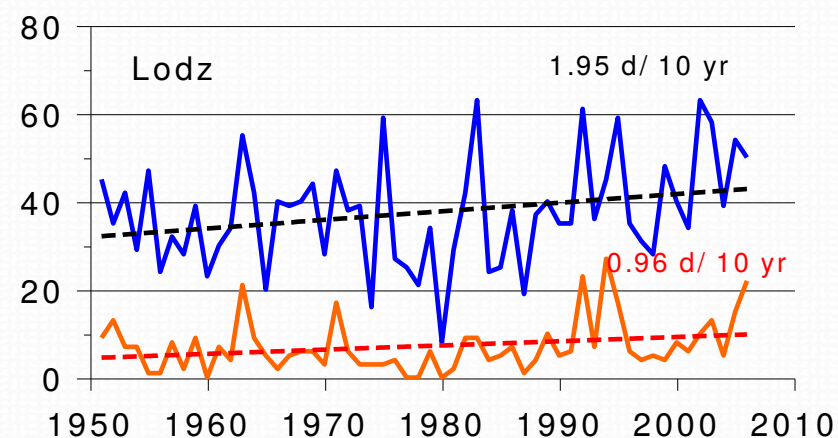
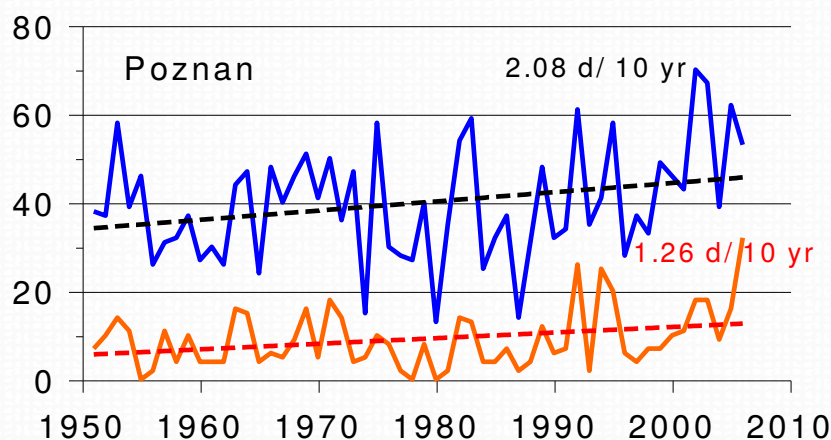
(with respect to a 1971-2000 base period)

National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA



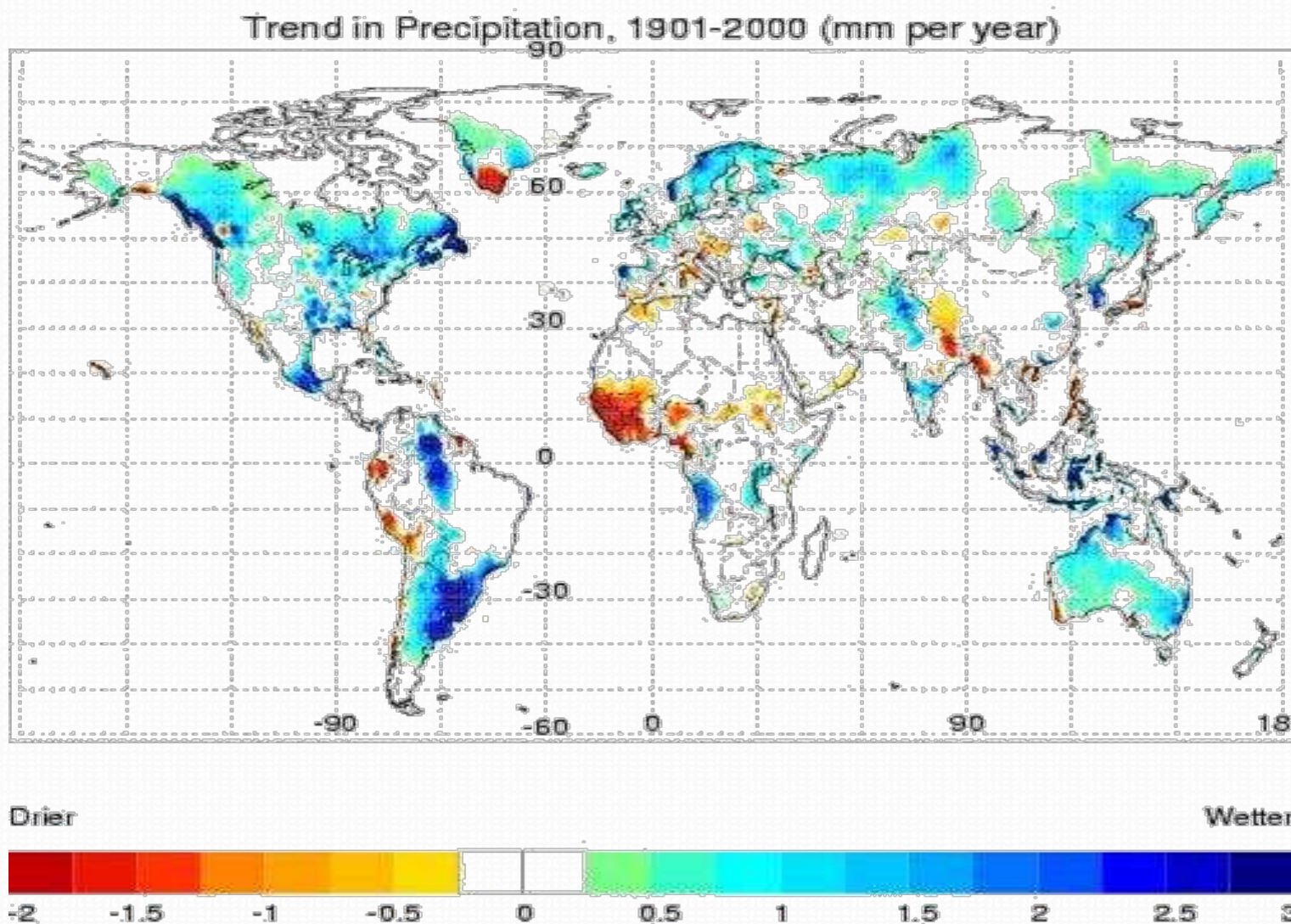
Symptomy ocieplenia – ekstremalne upały

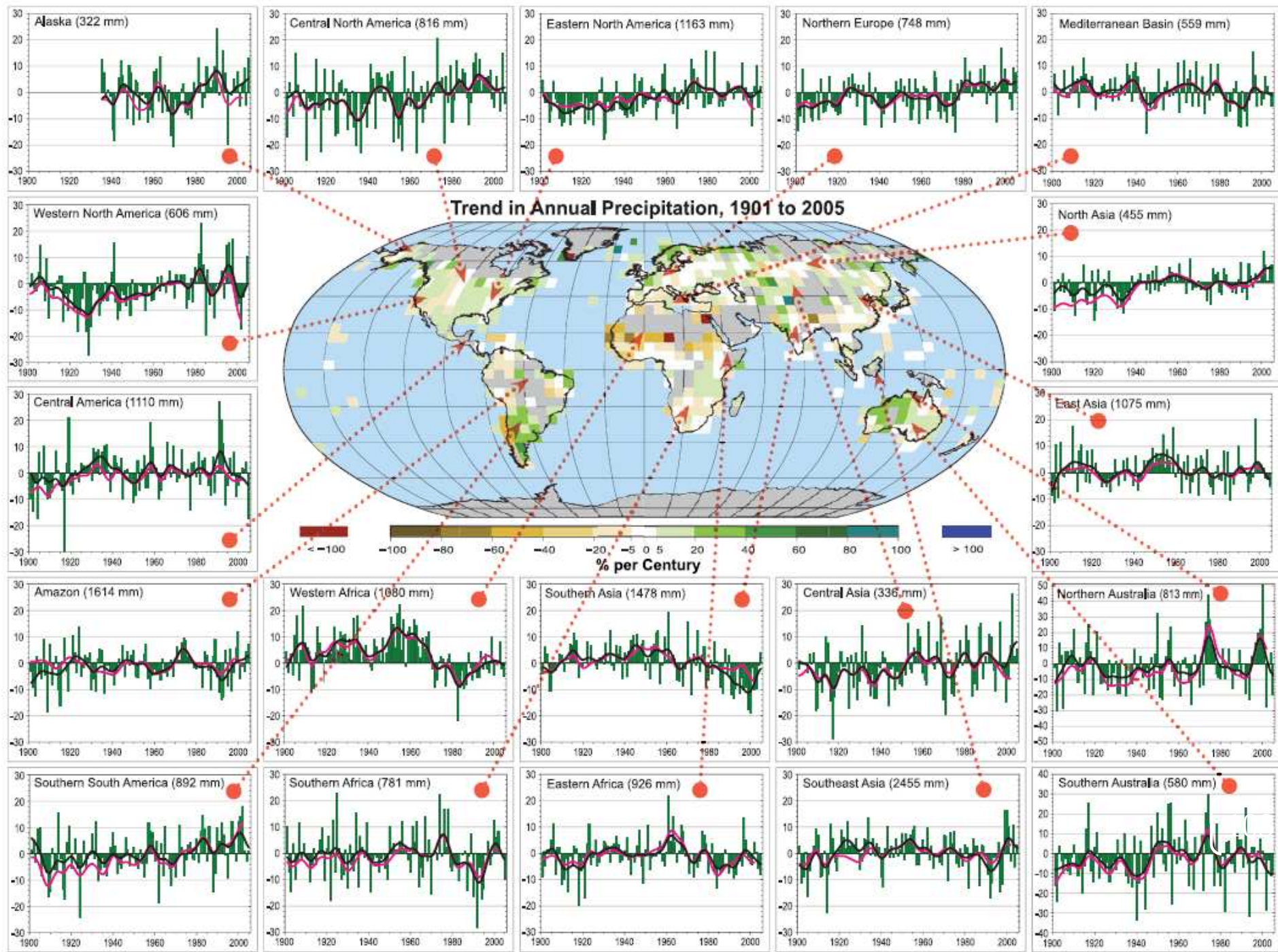
Trend liniowy rocznej liczby dni w temperaturą przekraczającą
25°C, 30°C



Symptomy ocieplenia – powodzie i susze

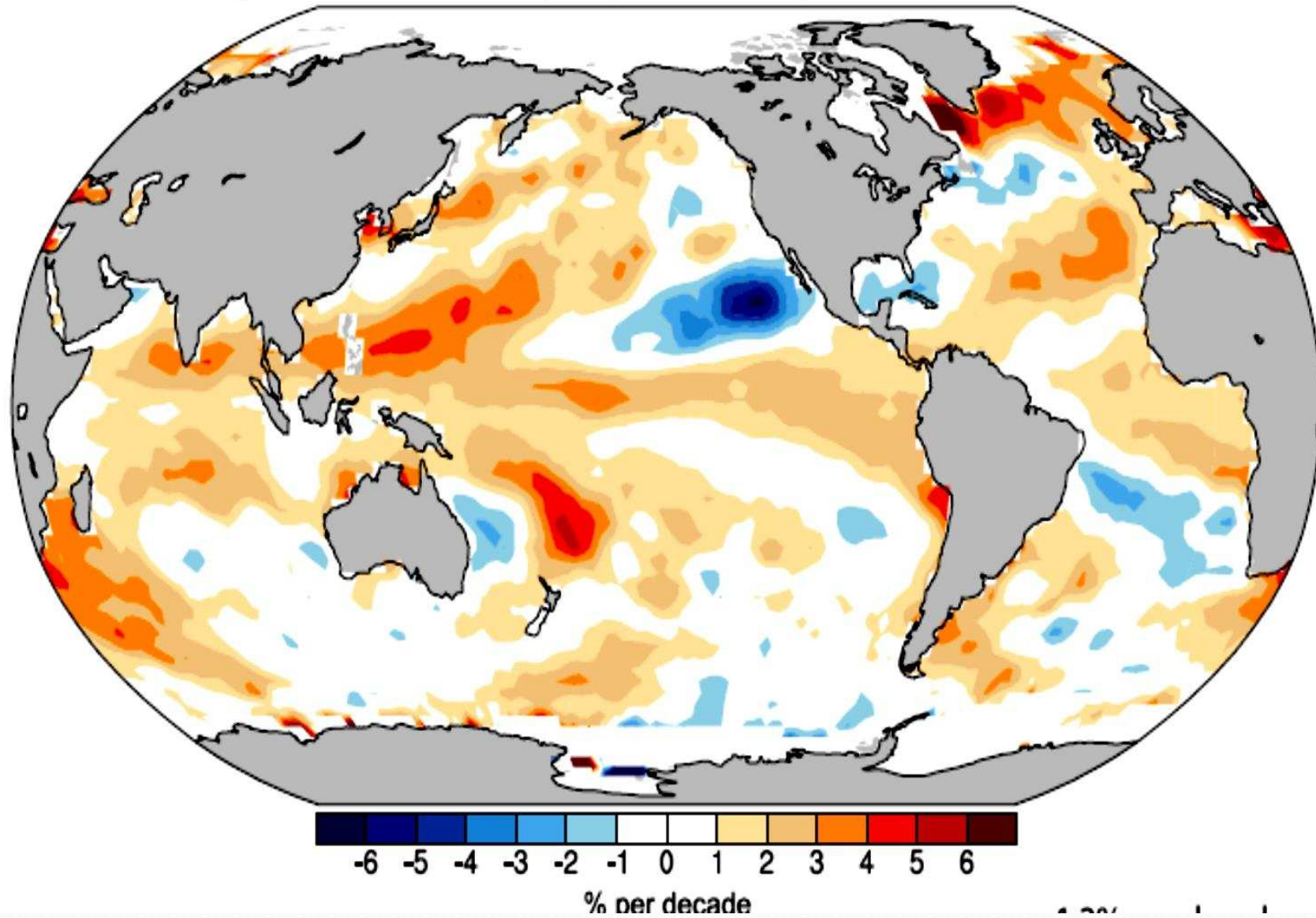
Zmiany sum opadów (1901-2000)





- Opady nad lądami wzrosły o około 1% (średnio na kuli ziemskiej), jest to wartość statystycznie nieistotna.
- Zmiany opadów różnią się w zależności od strefy klimatycznej.
- Wzrost opadów jest obserwowany w wysokich szerokościach geograficznych i w szerokościach okołorównikowych.
- W strefie zwrotnikowej notuje się znaczne spadki rocznych sum opadu.
- Obserwowane są zmiany sezonowych sum opadu – w wyższych szerokościach geograficznych rośnie udział opadów zimowych w rocznej sumie opadu, a spada opadów letnich.
- Nawet tam, gdzie nie obserwuje się zmian rocznych sum opadu, można zauważyć zmiany ekstremalnych sum. Częściej zdarzają się opady nawalne, i udział opadów nawaalnych w rocznej sumie opadów wzrasta. Oznacza to, że częstsze mogą być przypadki powodzi spowodowanych bardzo silnymi opadami, ale również susze i to często w tym samym obszarze.

a) Column Water Vapour, Ocean only: Trend, 1988-2004



% na 10 lat

Trend liniowy wody opadowej w latach 1988-2004

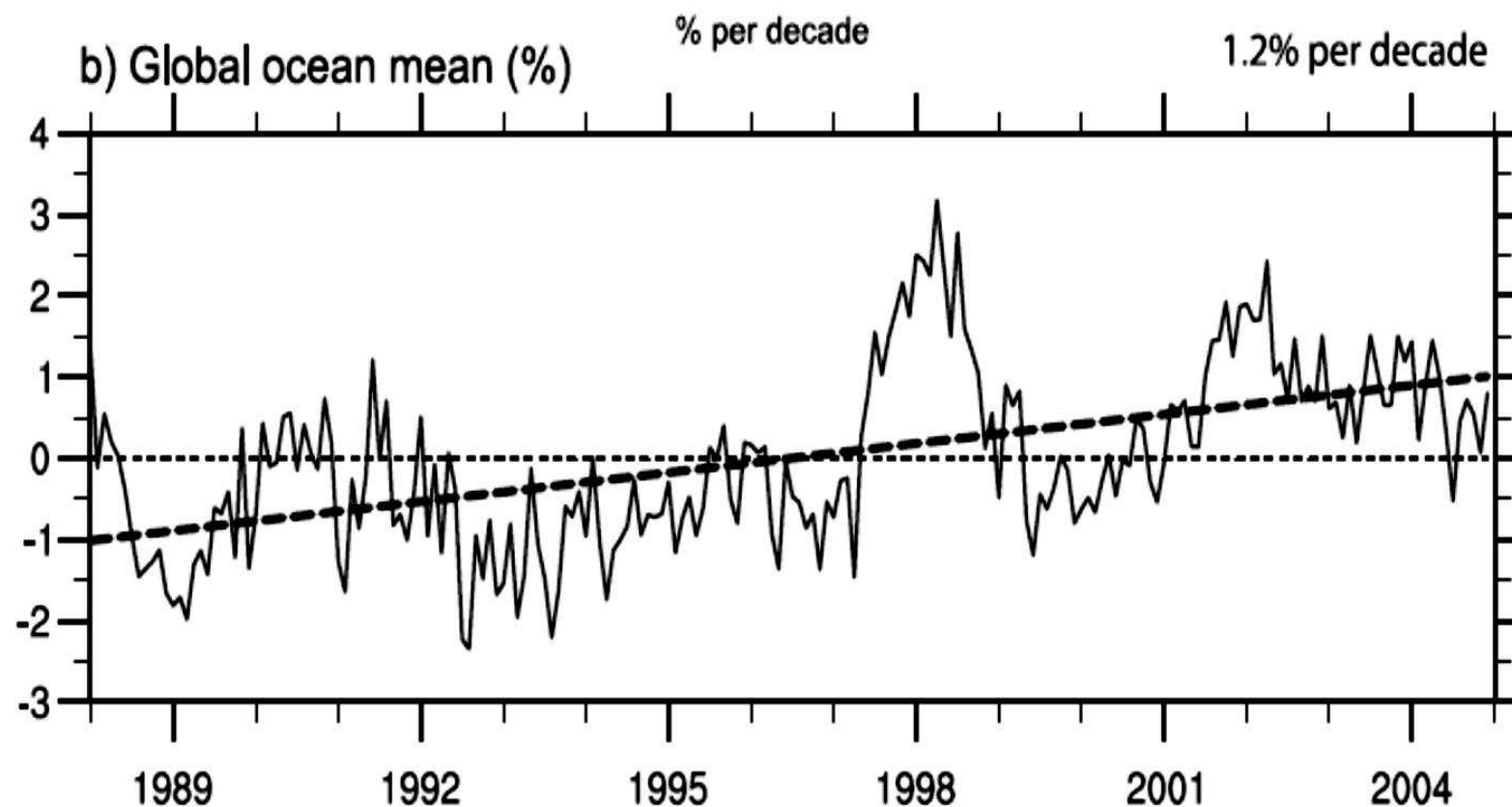


Figure 3.20. Linear trends in precipitable water (total column water vapour) in % per decade (top) and monthly time series of anomalies relative to the 1988 to 2004 period in % over the global ocean plus linear trend (bottom), from RSS SSM/I (updated from Trenberth et al., 2005a).

Symptomy ocieplenia – powódzie i susze



W 2005 powódź nawiedziła stan Maharashtra w Indiach obejmując swym zasięgiem Bombaj, położony na wybrzeżu Morza Arabskiego na zachodnim wybrzeżu Indii. Co najmniej 1,000 osób zginęło.

Przyczyną powodzi były olbrzymie opady deszczu. **26. lipca 2005 roku dobową sumą opadu osiągnęła wartość 944 mm (8 w kolejności najwyższa suma dobową w historii), a następnego dnia 644 mm .**

Symptomy ocieplenia – powodzie i susze



Symptomy ocieplenia – powodzie i susze

Wielka Brytania,
lato 2007

Kombinacja czynników:

prąd strumieniowy, który wpłynął na drogę niżów wędrujących nad Pn. Atlantykiem – był przesunięty ku południowi

szereg niżów przeszedł nad Wielką Brytanią przez poprzednie 12 tygodni przynosząc obfite opady deszczu.



Symptomy ocieplenia – powódzie i susze

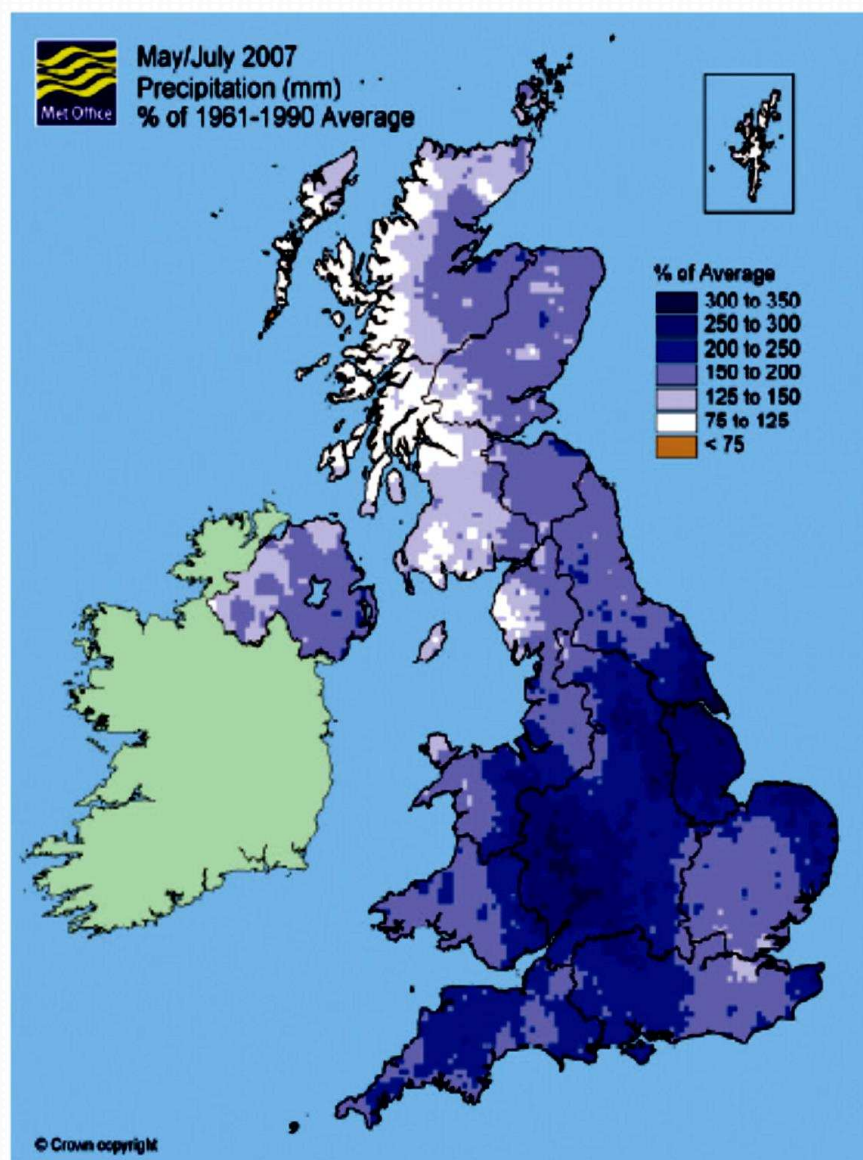


Table 1: Highest May-July rainfall totals for England and Wales

Rank	Year	mm	% of 1971-2000 average
1	2007	415	223
2	1789	349	187
3	1879	342	184
4	1828	330	177
5	1782	329	177
6	1797	324	174
7	1830	323	173
8	1766	319	171
9	1768	317	170
10	1860	315	169
11	1817	313	168
12	1777	312	167
13	1924	308	165
14	1779	307	165
15	1816	304	163



Łódź,
czerwiec 2007

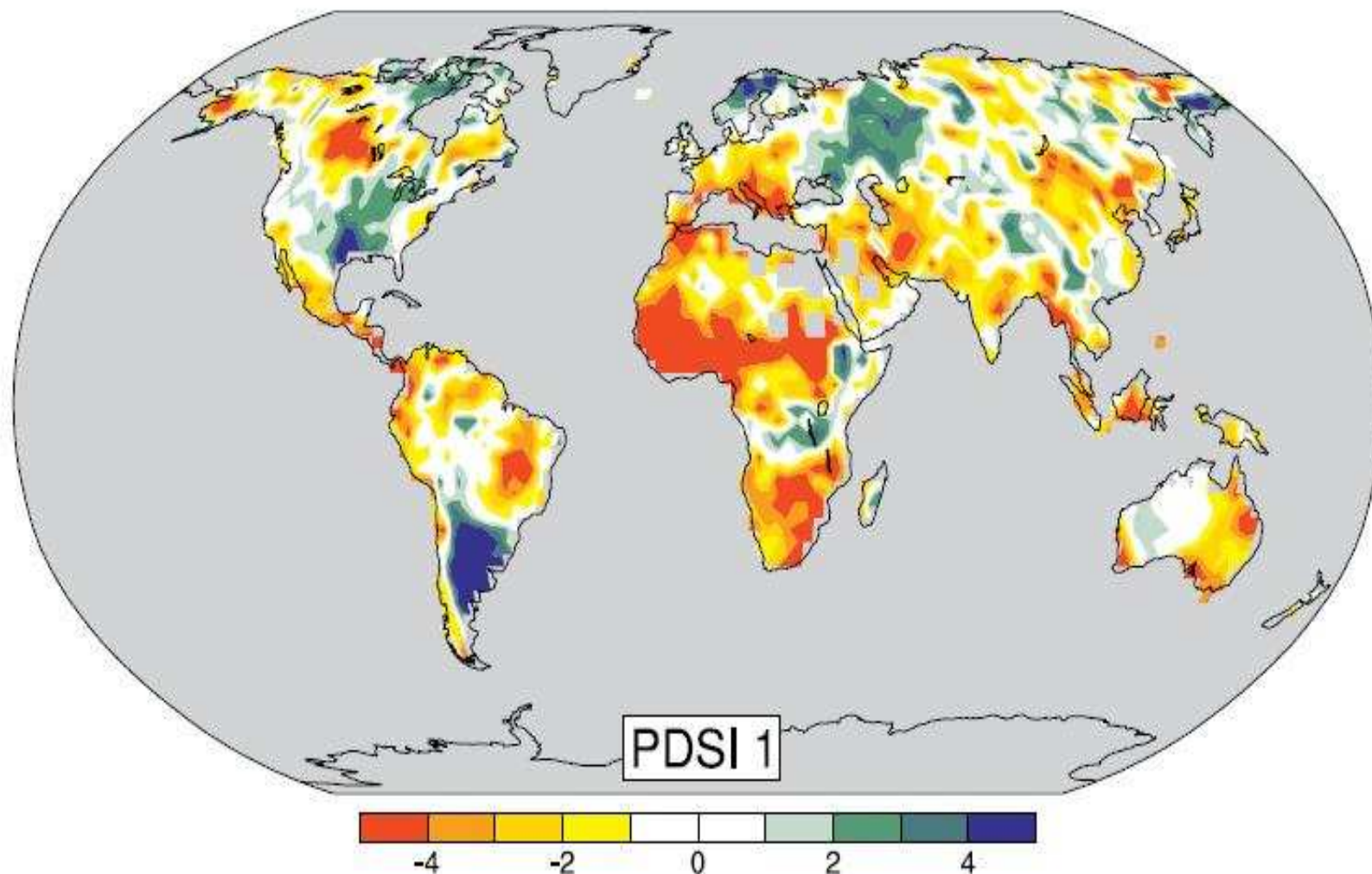
(111)



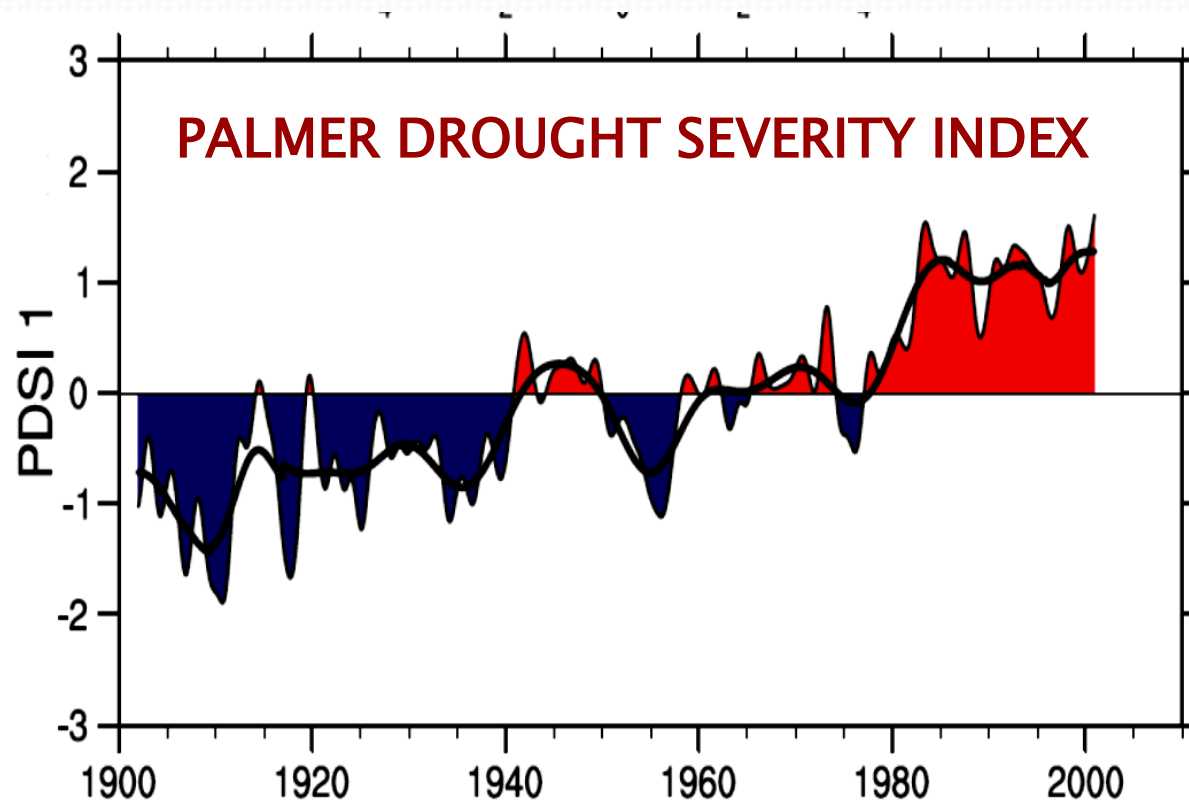
Łódź,
czerwiec 2007

Symptomy ocieplenia – powódzie i susze

PALMER DROUGHT SEVERITY INDEX



Symptomy ocieplenia – powódzie i susze



FAQ 3.2, Figure 1. The most important spatial pattern (top) of the monthly Palmer Drought Severity Index (PDSI) for 1900 to 2002. The PDSI is a prominent index of drought and measures the cumulative deficit (relative to local mean conditions) in surface land moisture by incorporating previous precipitation and estimates of moisture drawn into the atmosphere (based on atmospheric temperatures) into a hydrological accounting system. The lower panel shows how the sign and strength of this pattern has changed since 1900. Red and orange areas are drier (wetter) than average and blue and green areas are wetter (drier) than average when the values shown in the lower plot are positive (negative). The smooth black curve shows decadal variations. The time series approximately corresponds to a trend, and this pattern and its variations account for 67% of the linear trend of PDSI from 1900 to 2002 over the global land area. It therefore features widespread increasing African drought, especially in the Sahel, for instance. Note also the wetter areas, especially in eastern North and South America and northern Eurasia. Adapted from Dai et al. (2004b).

Symptomy ocieplenia – powódzie i susze



Sahel (arab. sahil - wybrzeże) - region geograficzny w Afryce, obejmujący tereny wzdłuż południowych obrzeży Sahary i północnych obrzeży bardziej wilgotnego Sudanu (od Senegalu do Somalii przez Mauretanię, Mali, Niger, Czad, Sudan, Etiopię). Obszar ten cechuje się klimatem półsuchym, z porą wilgotną trwającą tylko w trakcie pory deszczowej, czyli ok. 2-3 miesiące.

Sahel ma duże problemy dostępności do wody pitnej.

Roczna suma opadów wynosi od 100 do 200 mm na północy, do ok. 300 mm na południu.

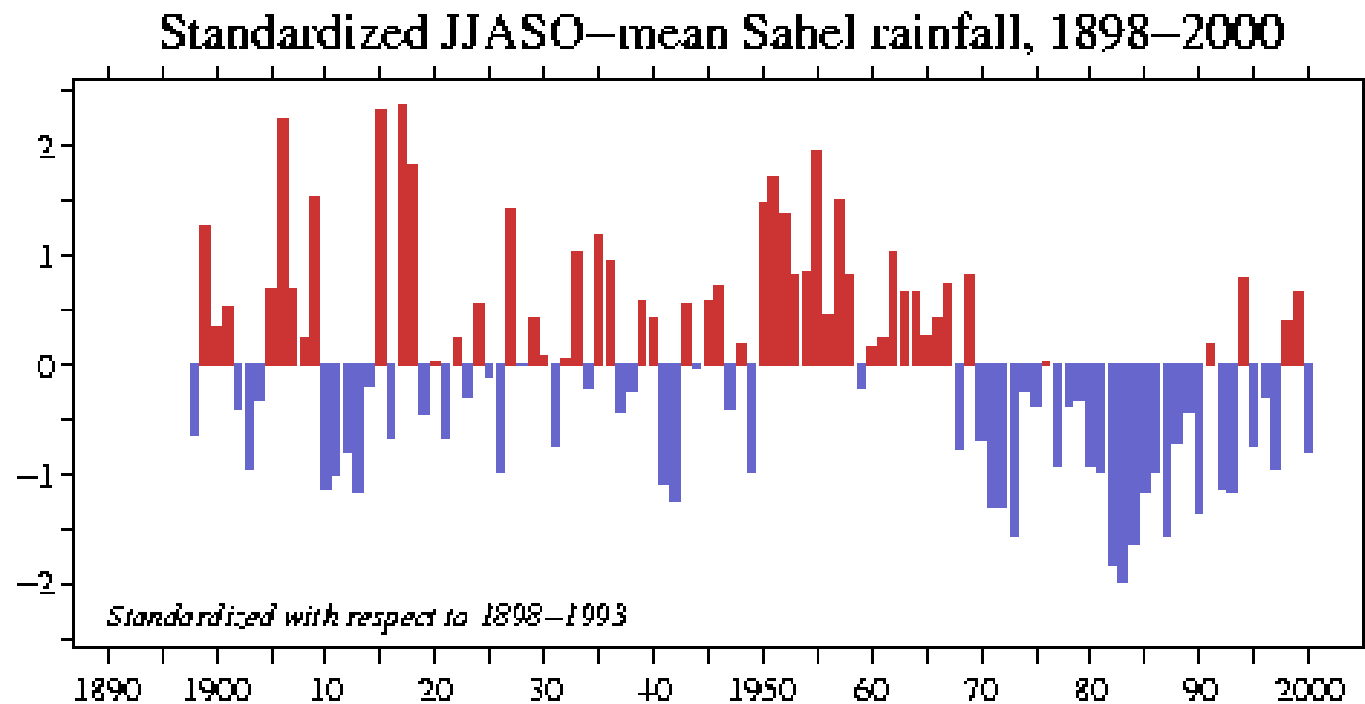
Pora sucha trwa do 10 miesięcy

W wyniku nadmiernego wypalania traw niezbędnego do wypasu coraz większych ilości bydła, Sahel staje się pustynią. Dochodzi do **desertyfikacji** -> migracji ludności



Symptomy ocieplenia – powodzie i susze

Przyczyn suszy należy upatrywać zarówno w czynnikach naturalnych, jak i działalności człowieka. W strefie Sahelu występują wahania klimatu, w wyniku których może znacznie spadać wysokość rocznych opadów w czasie pory deszczowej. Do czynników spowodowanych przez człowieka można zaliczyć wycinanie lasów, nadmierny wypas zwierząt i nadmierną eksploatację terenów rolniczych. Pogłębiło to zjawisko pustoszenia obszarów przyległych do Sahary.



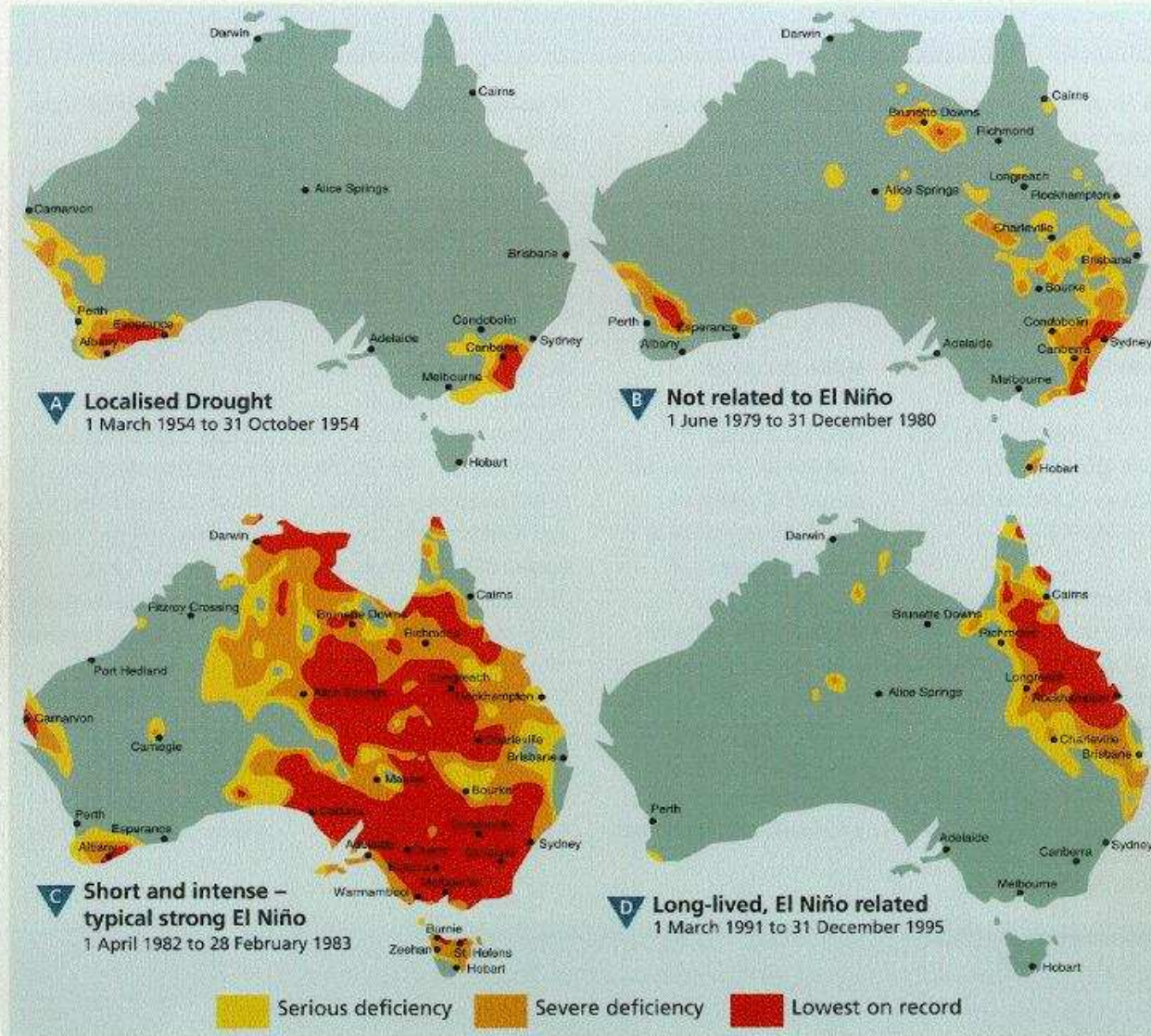
Susze w Australii



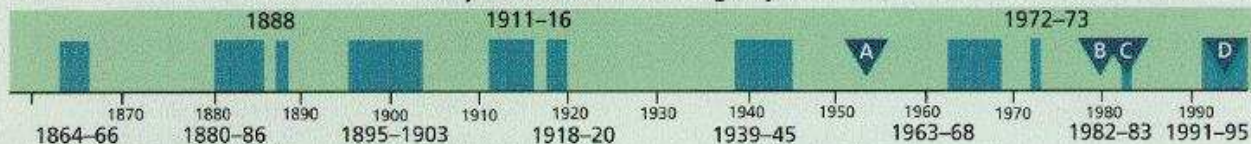
Częstość susz w Australii jest kluczowa dla człowieka i jego gospodarki.

Badania wskazują na występowanie w niektórych rejonach bardzo **ostrych suszy średnio co 18 lat**. Jednakże faktycznie bardzo ostre susze pojawiają się raz na 4-38 lat. Długoletnie serie danych opadowych umożliwiają dokładne zbadanie tego zjawiska.

The spectre of drought

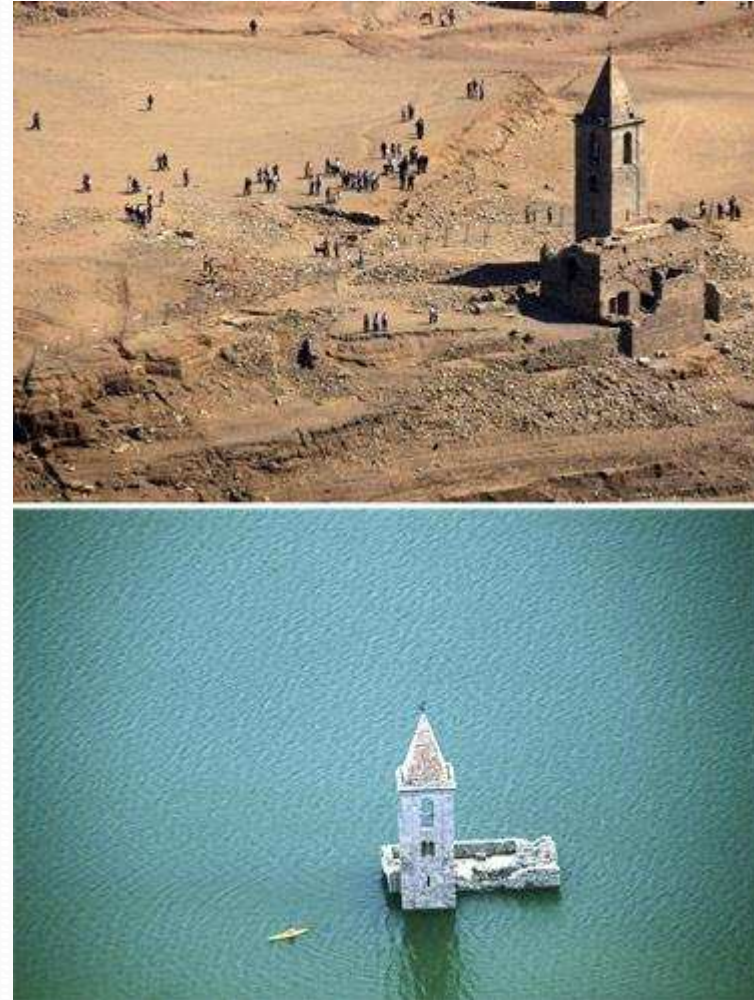


Major Australian drought years

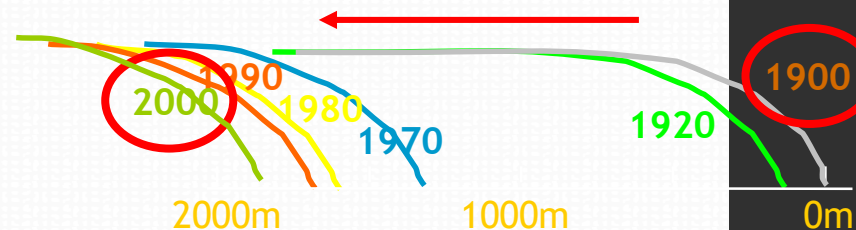


Susza w Hiszpanii

6. kwietnia, 2008 — turyści spacerują wokół świeżo eksponowanych ruin 11-wiecznego kościoła, który jest jedynym widocznym śladem po wiosce Sant Roma, w Hiszpanii. Dolina, w której była wieś w latach 1960-tych została zalana – w dolinie utworzono sztuczny zbiornik wodny dla regionu Katalonia. Obecna susza spowodowała wysuszenie zbiornika.



Stand Gletscherzunge
1920
Rückgang



100 lat ~ 2 km

Symptomy ocieplenia
wielkie topnienie

fot. M. Lamentowicz



Stand Gletscherzunge
2000
Rückgang seit 1900 - 1870 m



1941



Muir Glacier, Alaska

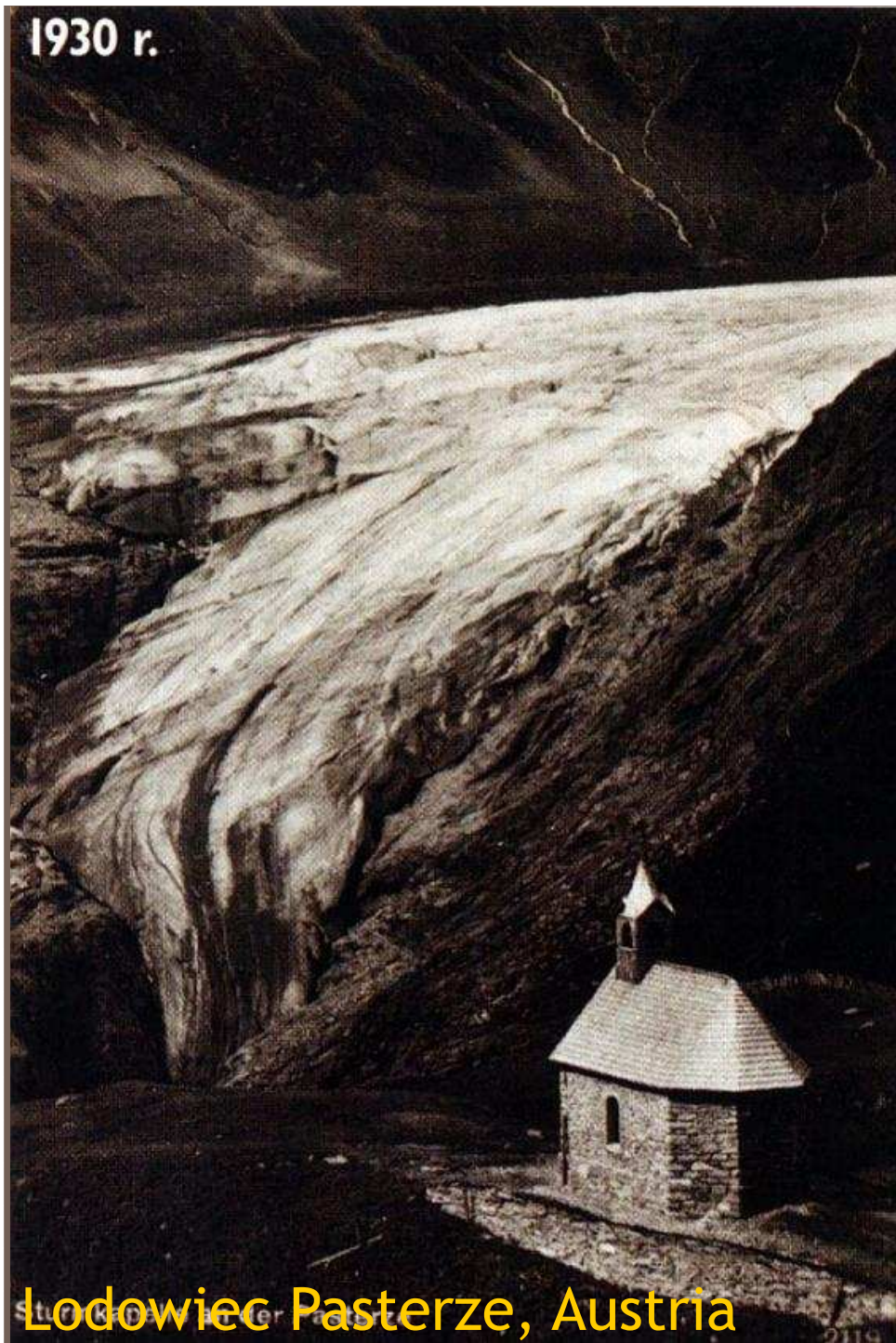
Fot. William O. Field. National Snow and Ice Data Center.
World Data Center for Glaciology, Boulder

2004

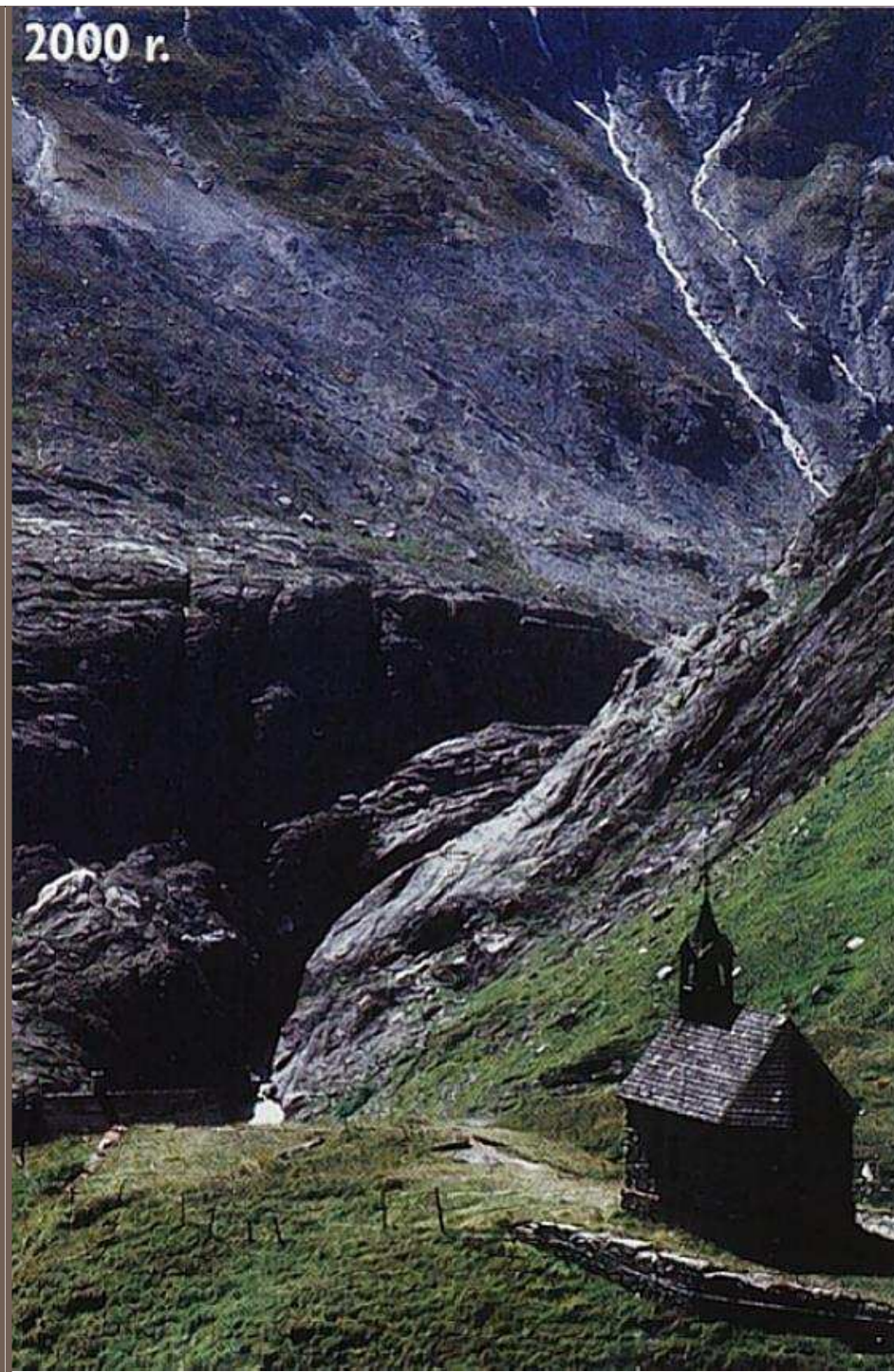


Fot. Bruce F. Molnia. National Snow and Ice Data Center.
World Data Center for Glaciology, Boulder

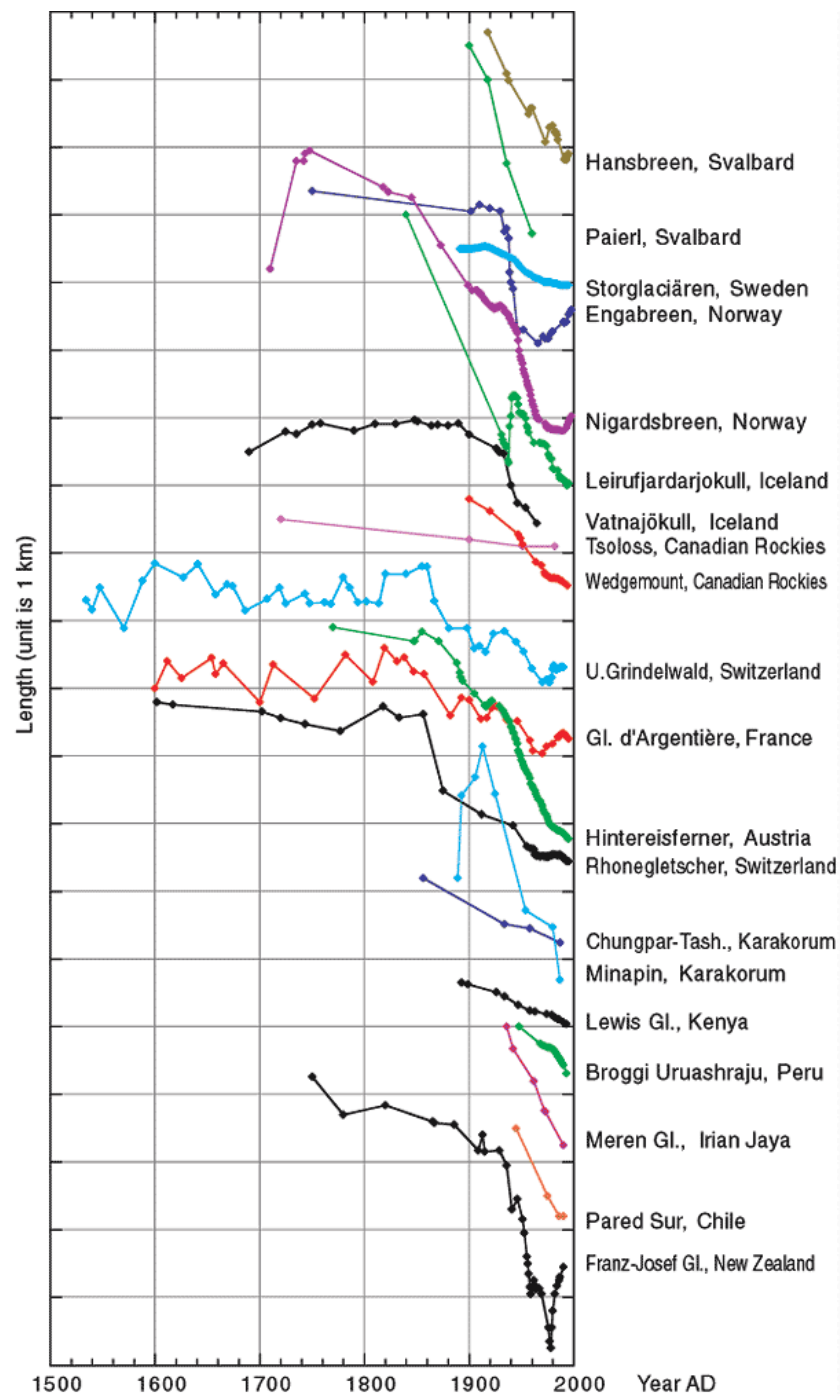
1930 r.



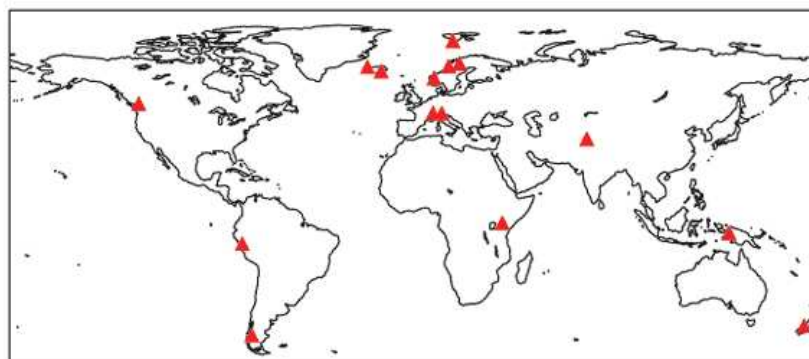
2000 r.



Lodowiec Pasterze, Austria

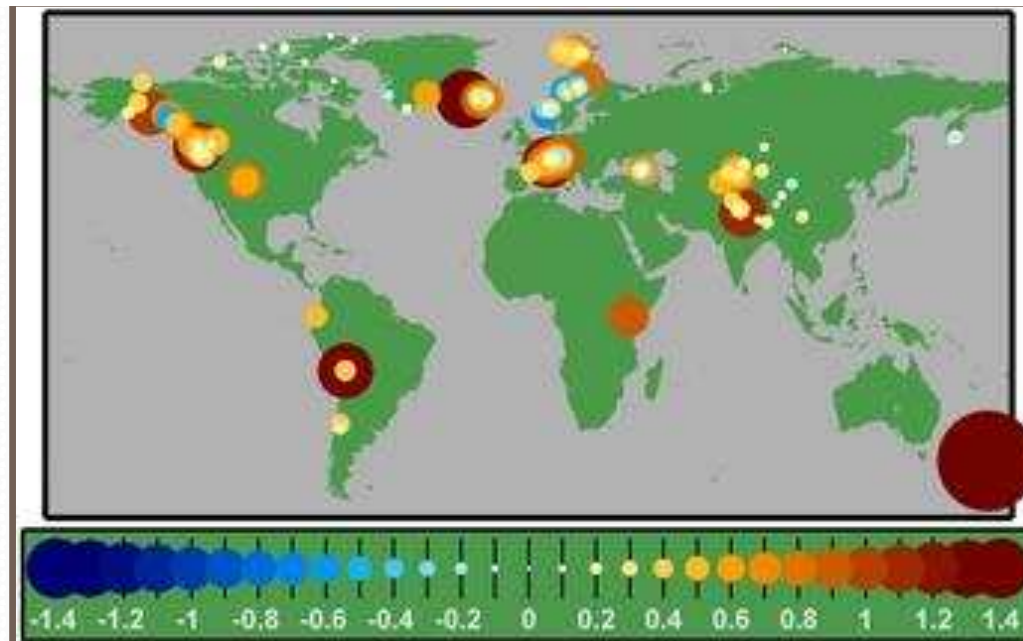


Zmiany długości 20 lodowców z różnych części świata (The World Glacier Monitoring Service)

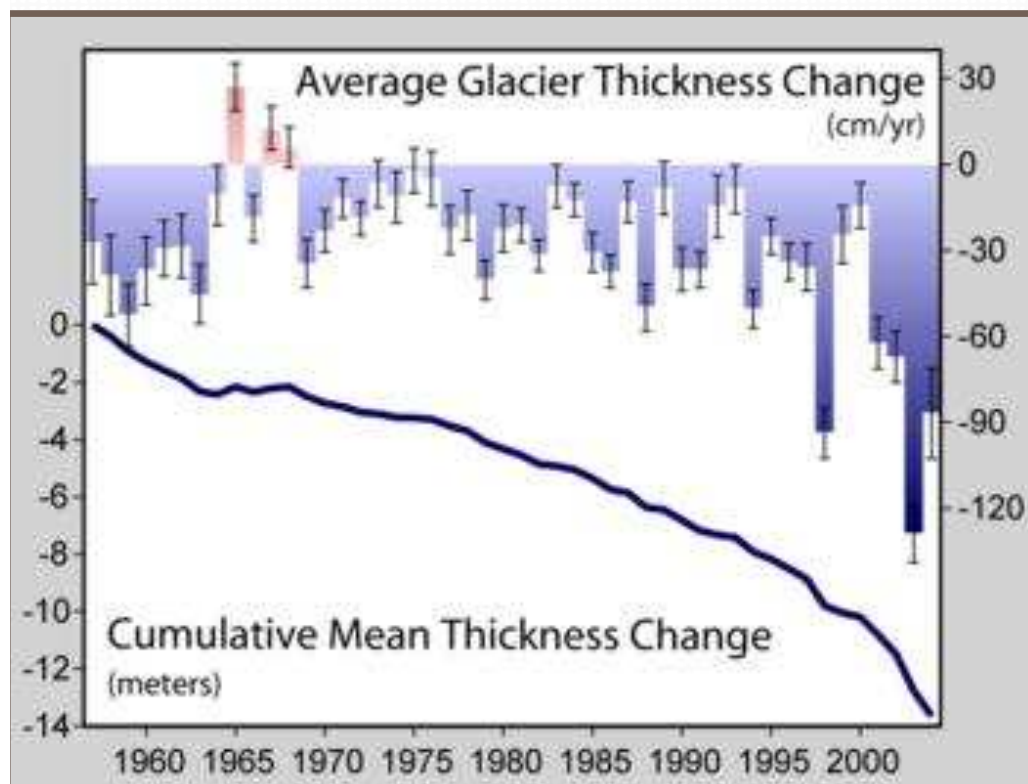


Mapa zmian miąższości lodowców górskich od 1970 r. (m/rok)

- ⇒ badano 173 lodowców górskich w latach 1970-2004 (Dyurgerov and Meier 2005)
- ⇒ wszystkie lodowce, poza skandynawskimi, wykazują spadek miąższości w tempie 0,31 m/rok
- ⇒ najszybciej kurczącym się lodowcem był lodowiec Ivory w Nowej Zelandii (2,4 m/rok); był, bo w 1988 r. całkowicie się wytopił
- ⇒ najszybciej przyrastającym lodowcem jest Engabreen w Norwegii (0,64 m/rok)

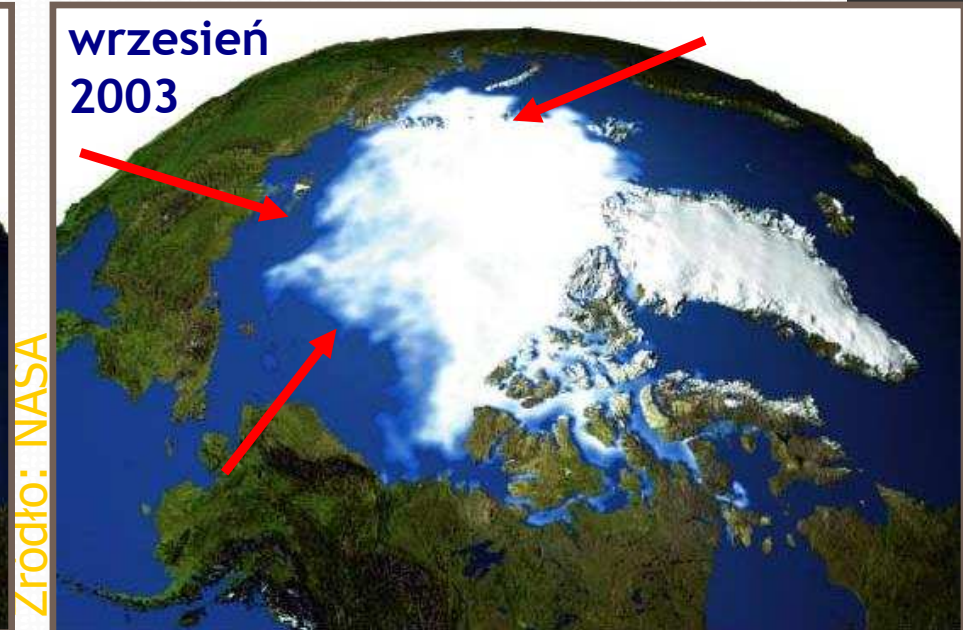


2 x www.globalwarmingart.com



Zmiany w obszarach zajętych lodem morskim

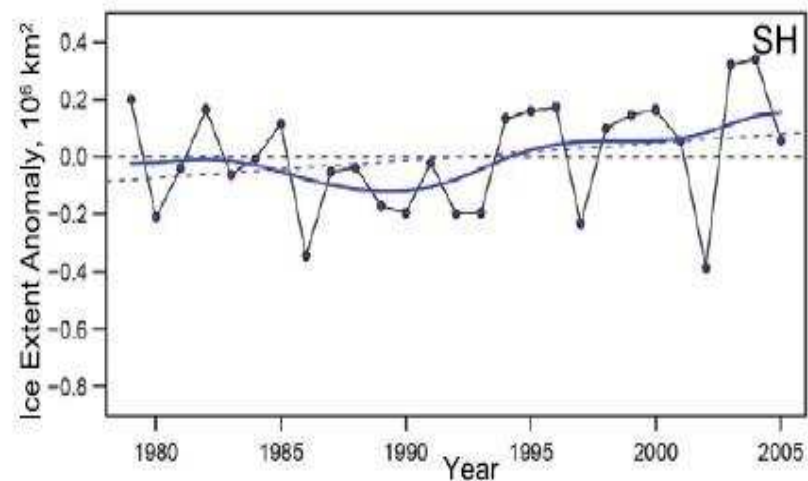
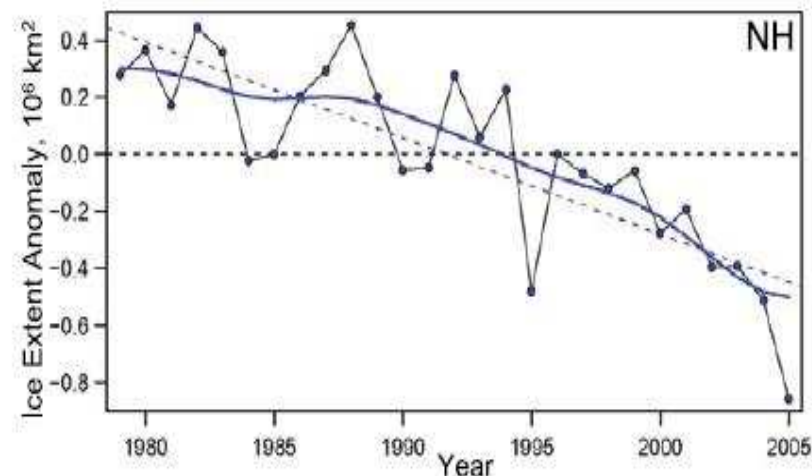
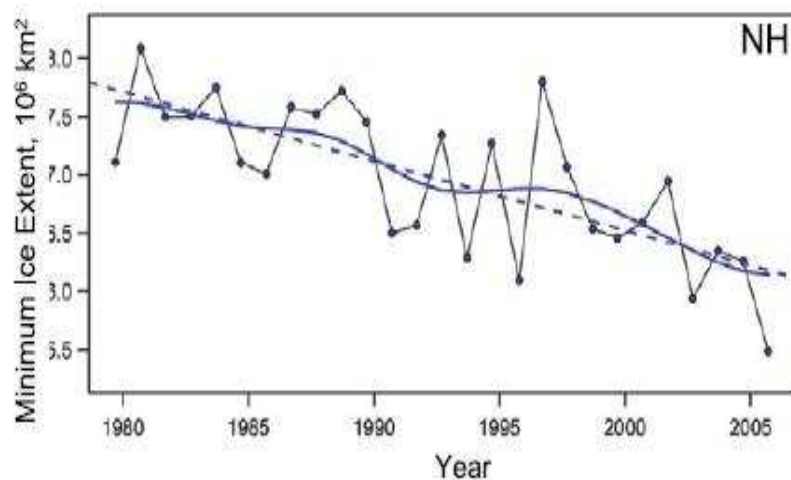
- ⇒ w Arktyce powierzchnia zmniejszyła się od 1979 r. o 20%
- ⇒ dzisiejsza miąższość stanowi 60% stanu sprzed 40 lat
- ⇒ lód morski topi się 3 tygodnie wcześniej aniżeli 30 lat temu
- ⇒ do 2040 r. Arktyka zostanie pozbawiona pokrywy lodowej (?)



Źródło: NASA

Symptomy ocieplenia – wielkie topnienie lodu morskiego

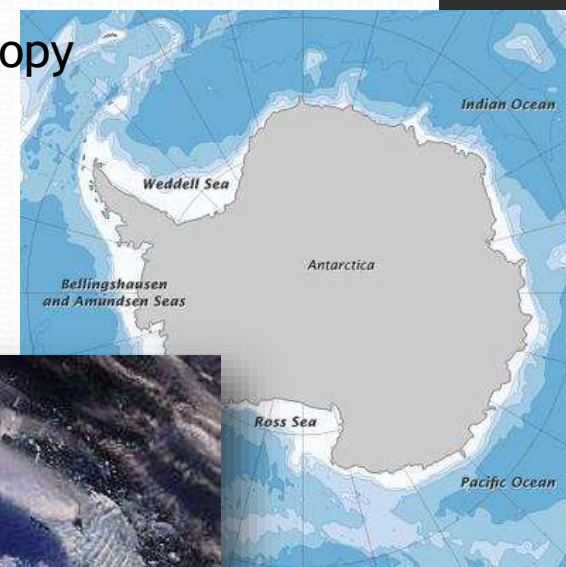
Zasięg lodu morskiego



Strefa marginalna Lodowca Szelfowego Larsena w 2002 r.

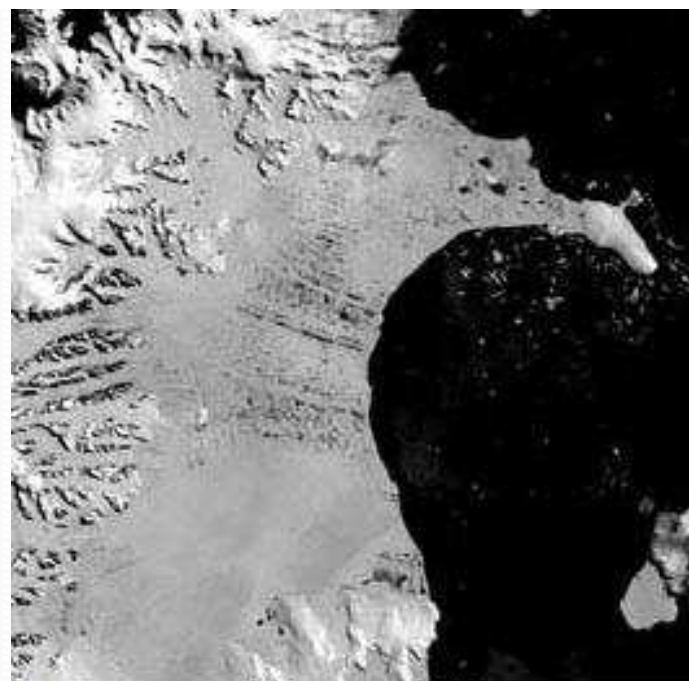
⇒ różnice w temperaturze wody oceanicznej oraz letnie roztopy zmniejszyły lodowiec i pokryły go szczelinami, tak że jego rozpad był nieuchronny

⇒ głębiny wody Morza Weddella, opływającego lodowiec, ociepliły się o $0,32^{\circ}\text{C}$ od 1972r., co wystarczyło do zapoczątkowania topnienia (Shepherd i in. 2003, *Science* 302)

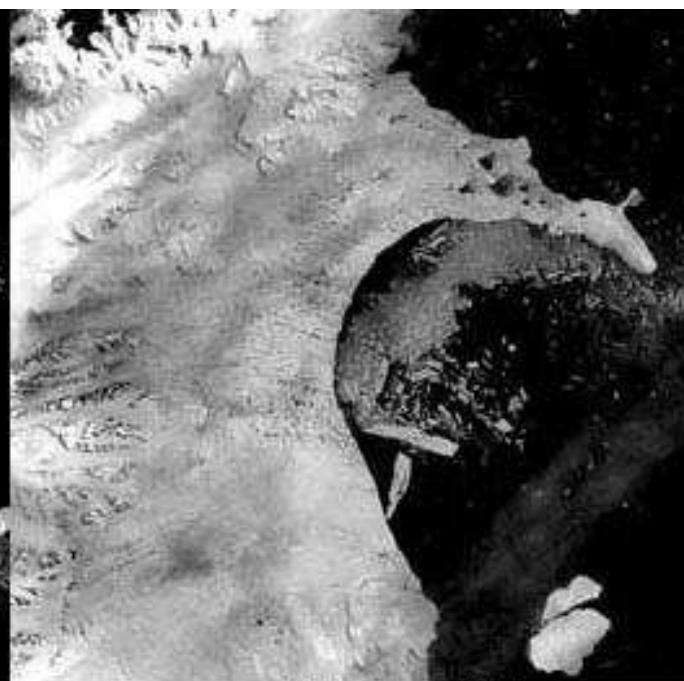


NASA Terra/MODIS imagery

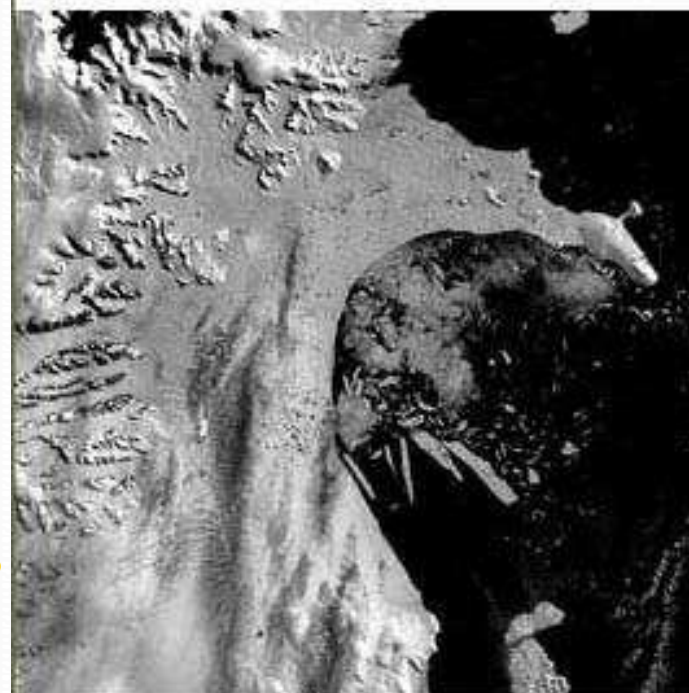
Zmiany w strefie
marginalnej
Lodowca Szelfo-
wego Larsena
31.01-5.03.2002
(35 dni)



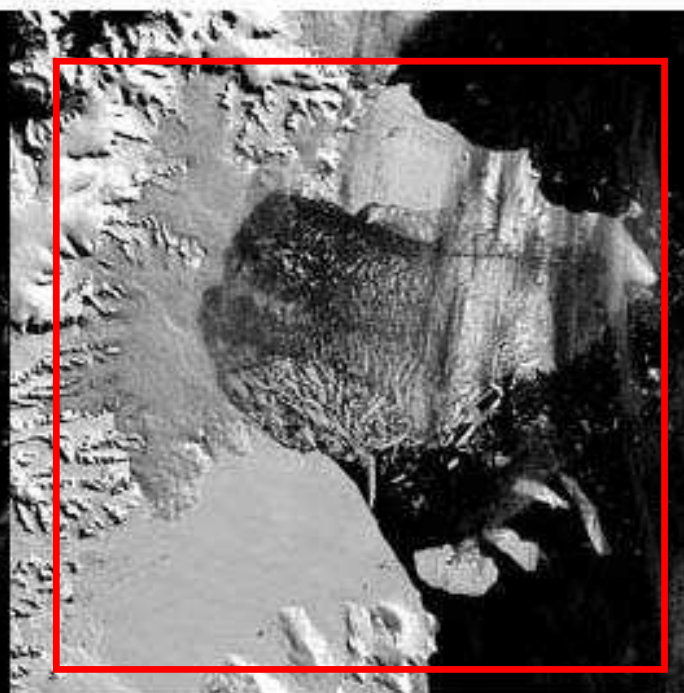
31 January 2002



17 February 2002

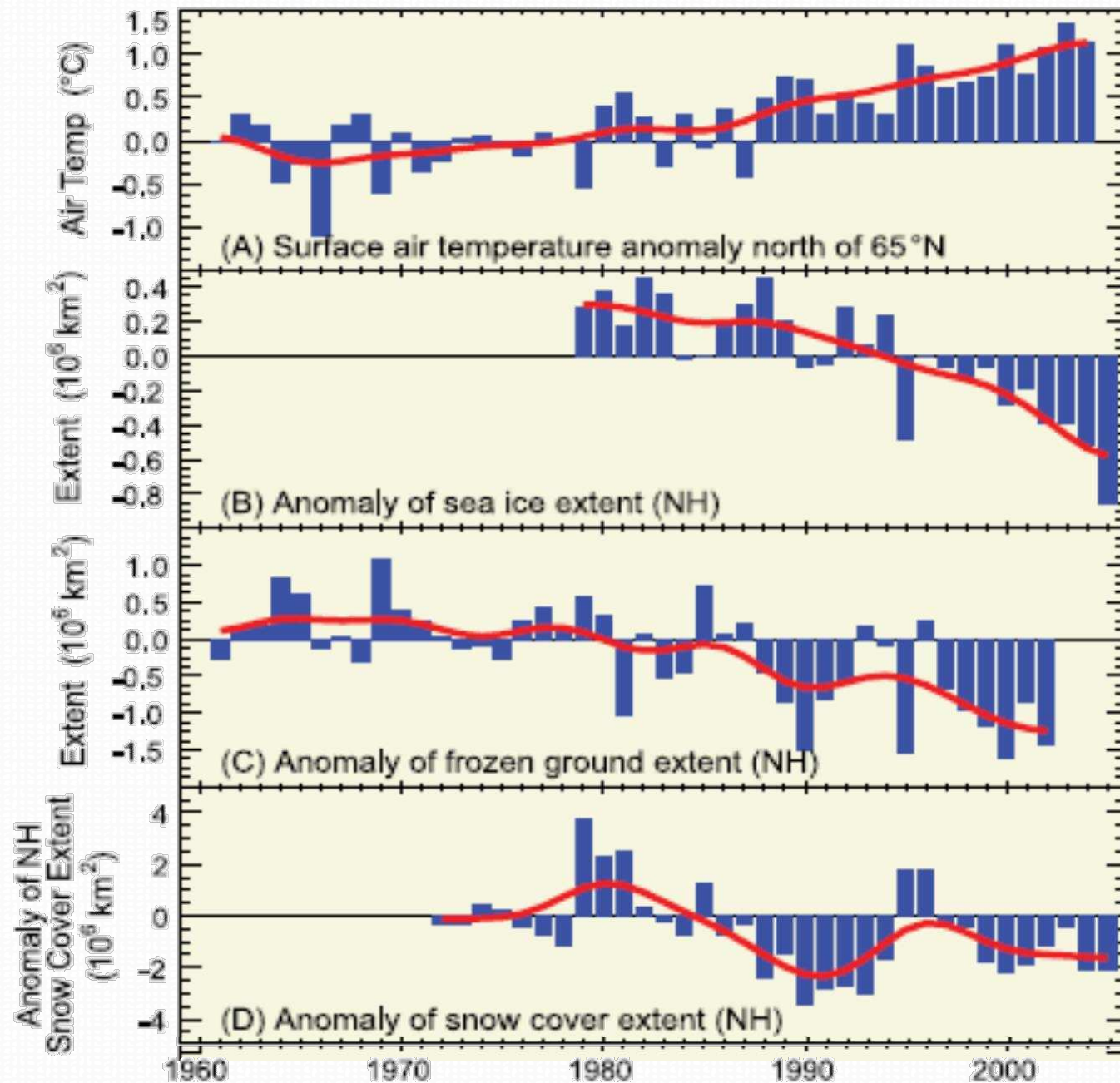


23 February 2002

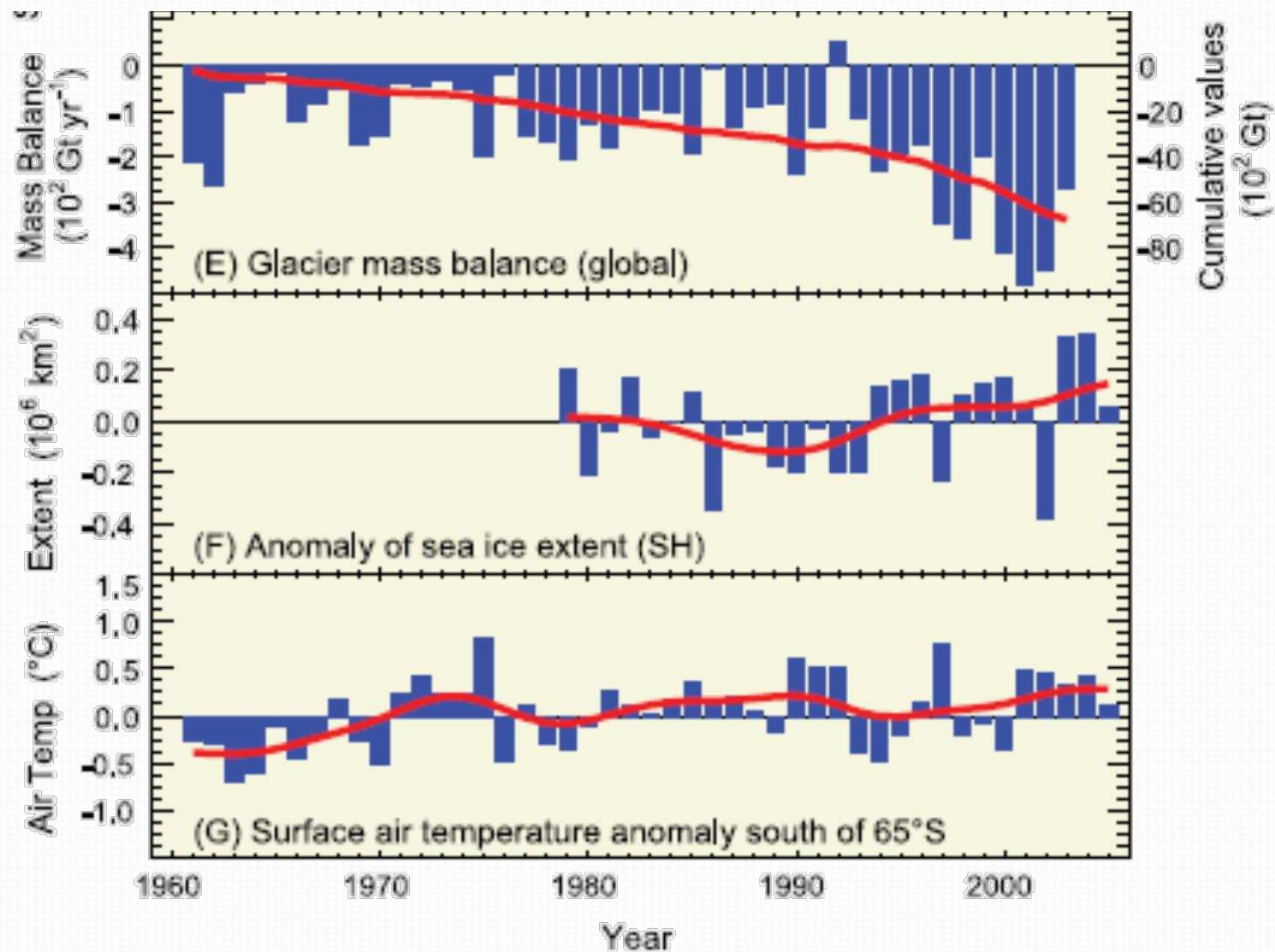


5 March 2002

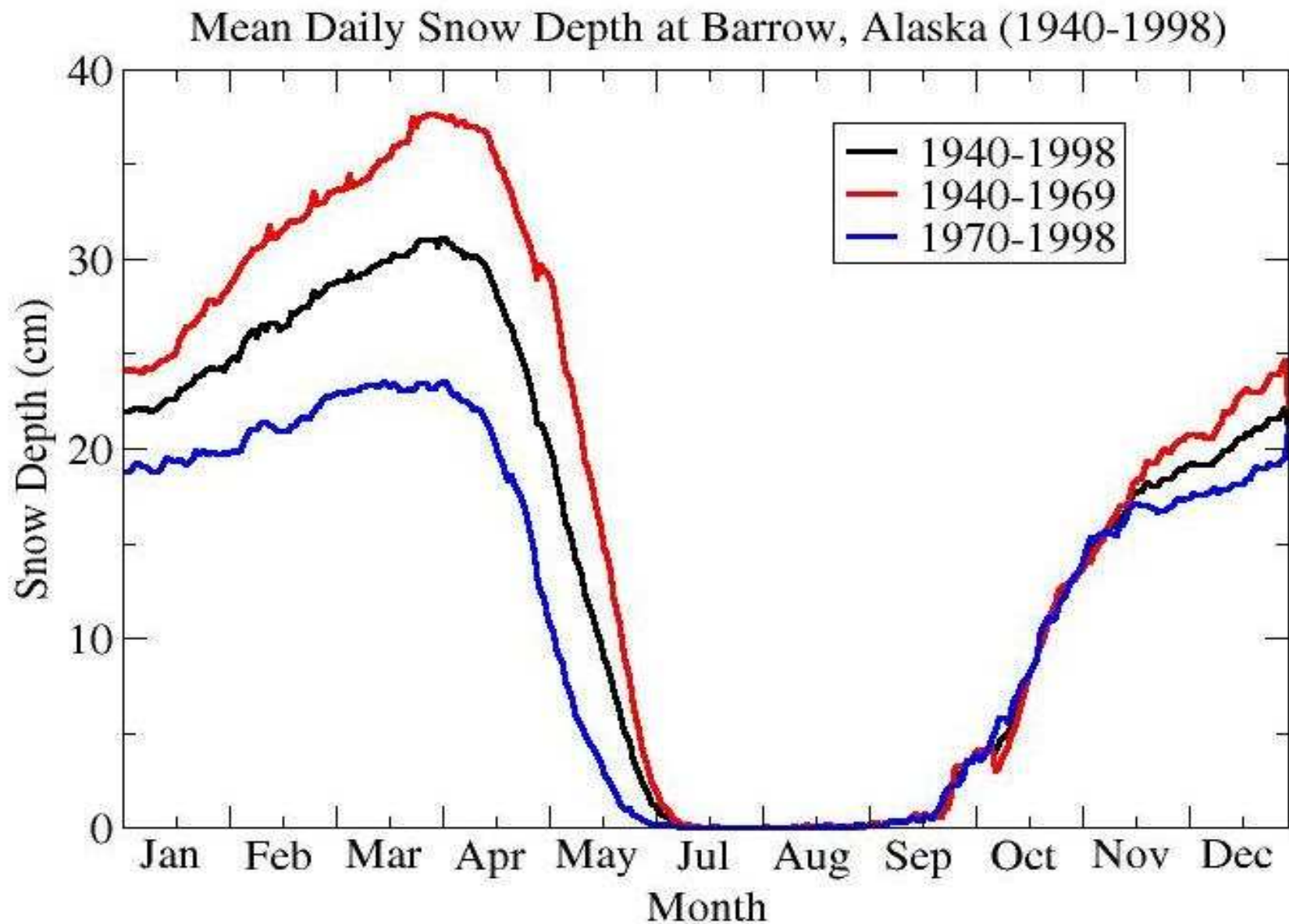
Śnieg i lód na powierzchni Ziemi



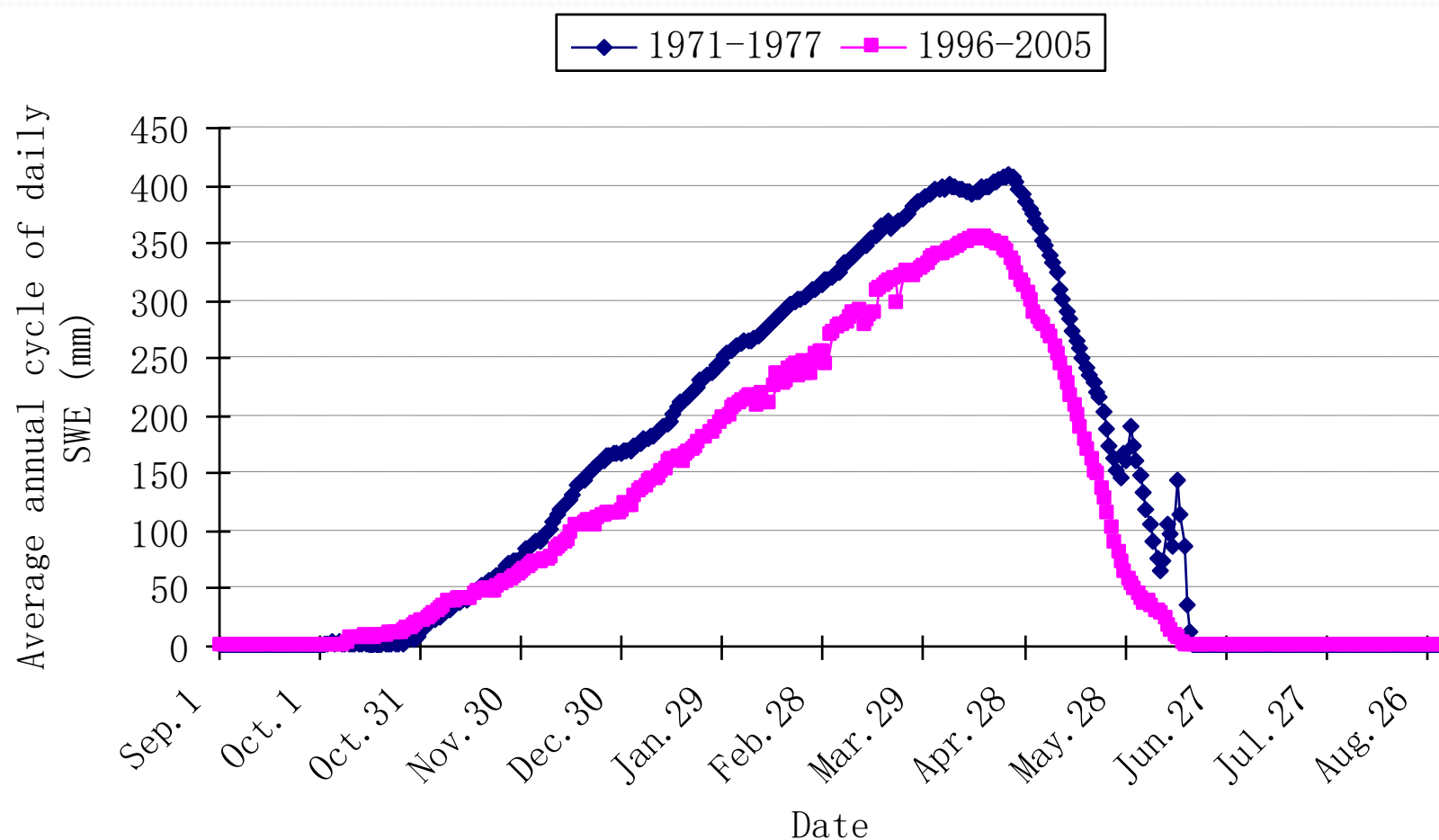
Śnieg i lód na powierzchni Ziemi



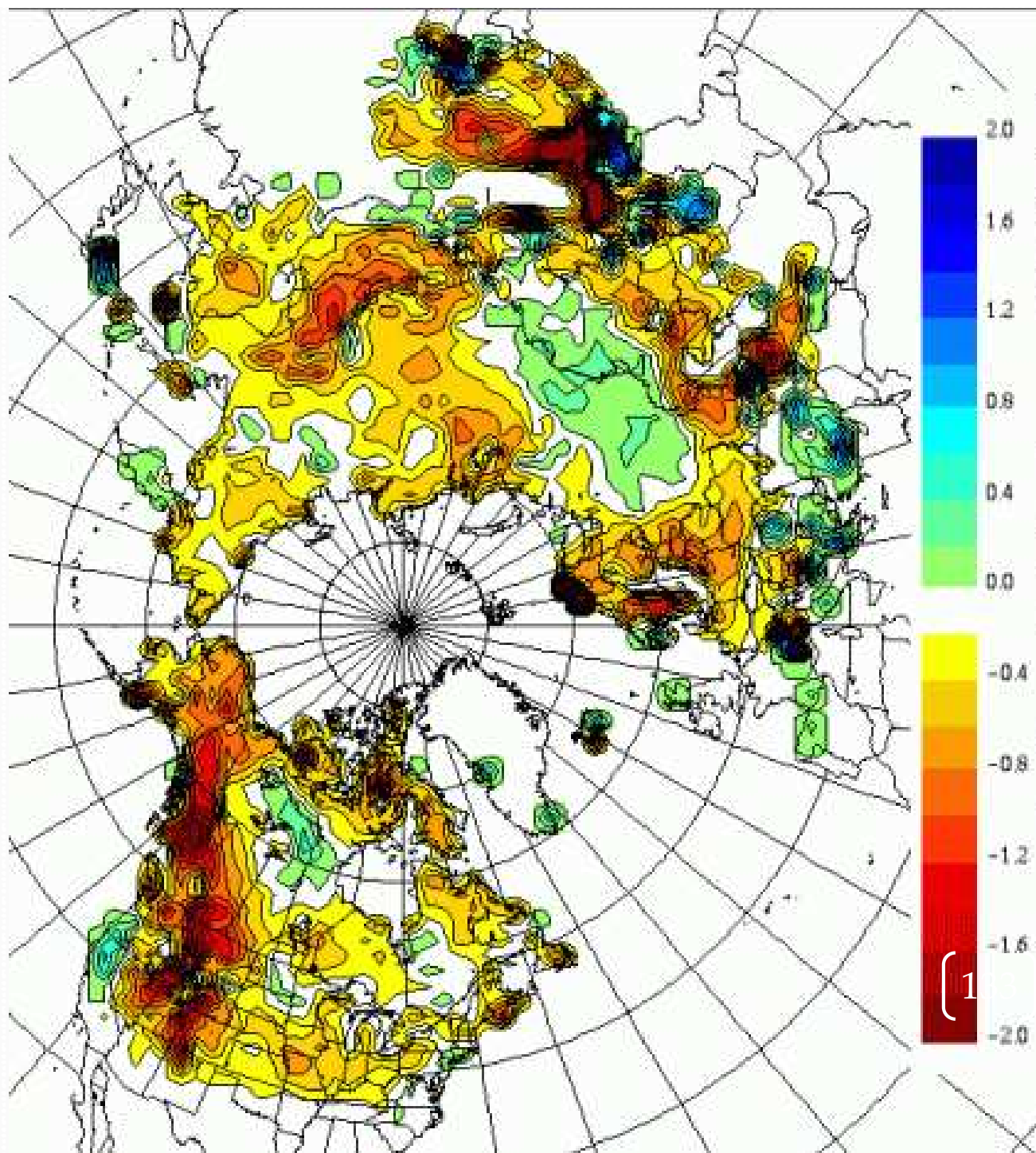
Miażdżość warstw śniegu



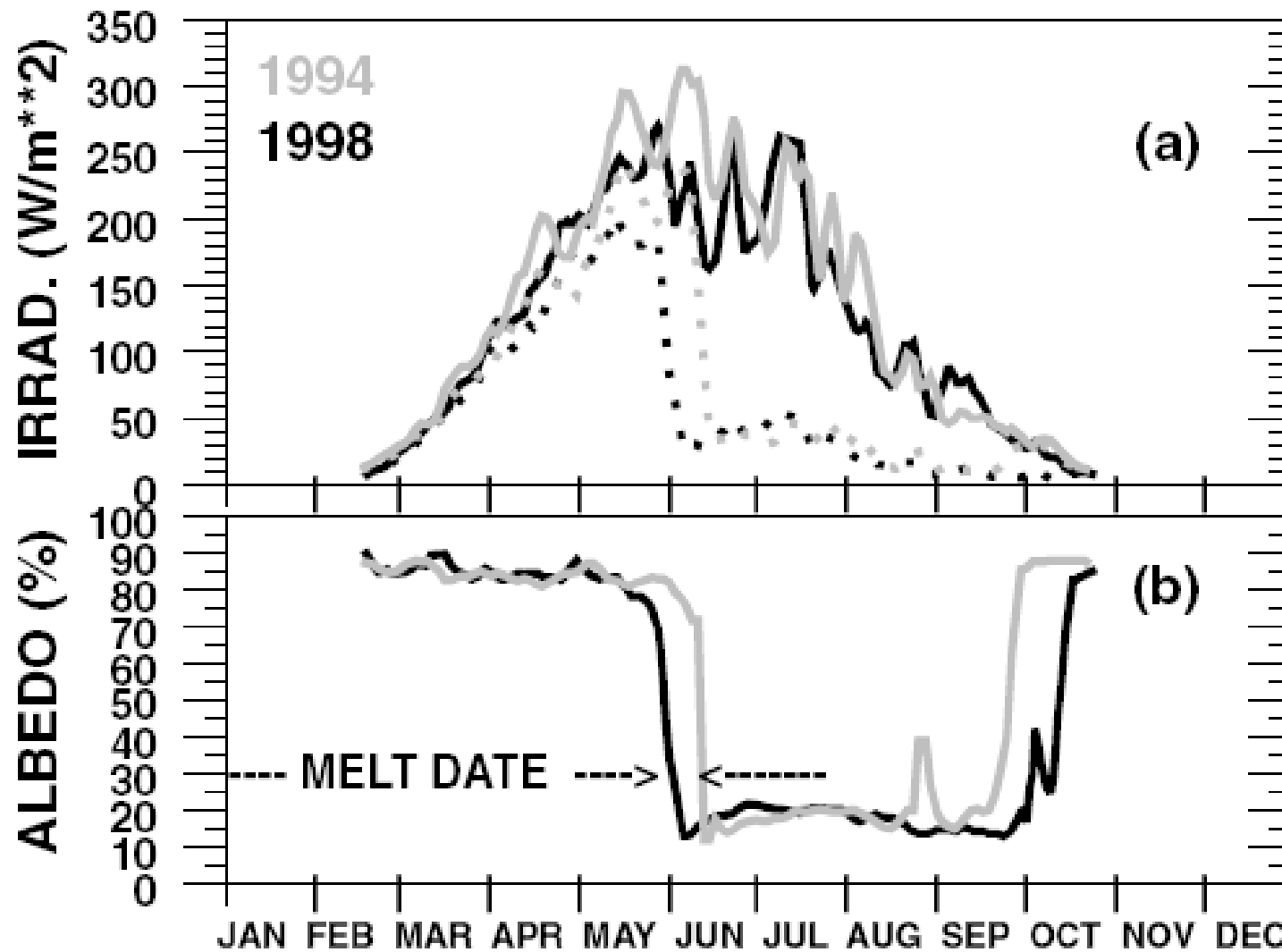
Roczny bieg dobowej akumulacji śniegu w Barkerville



Trend (dni/rok) w
czasie zalegania
pokrywy śnieżnej
w latach
1972-2000

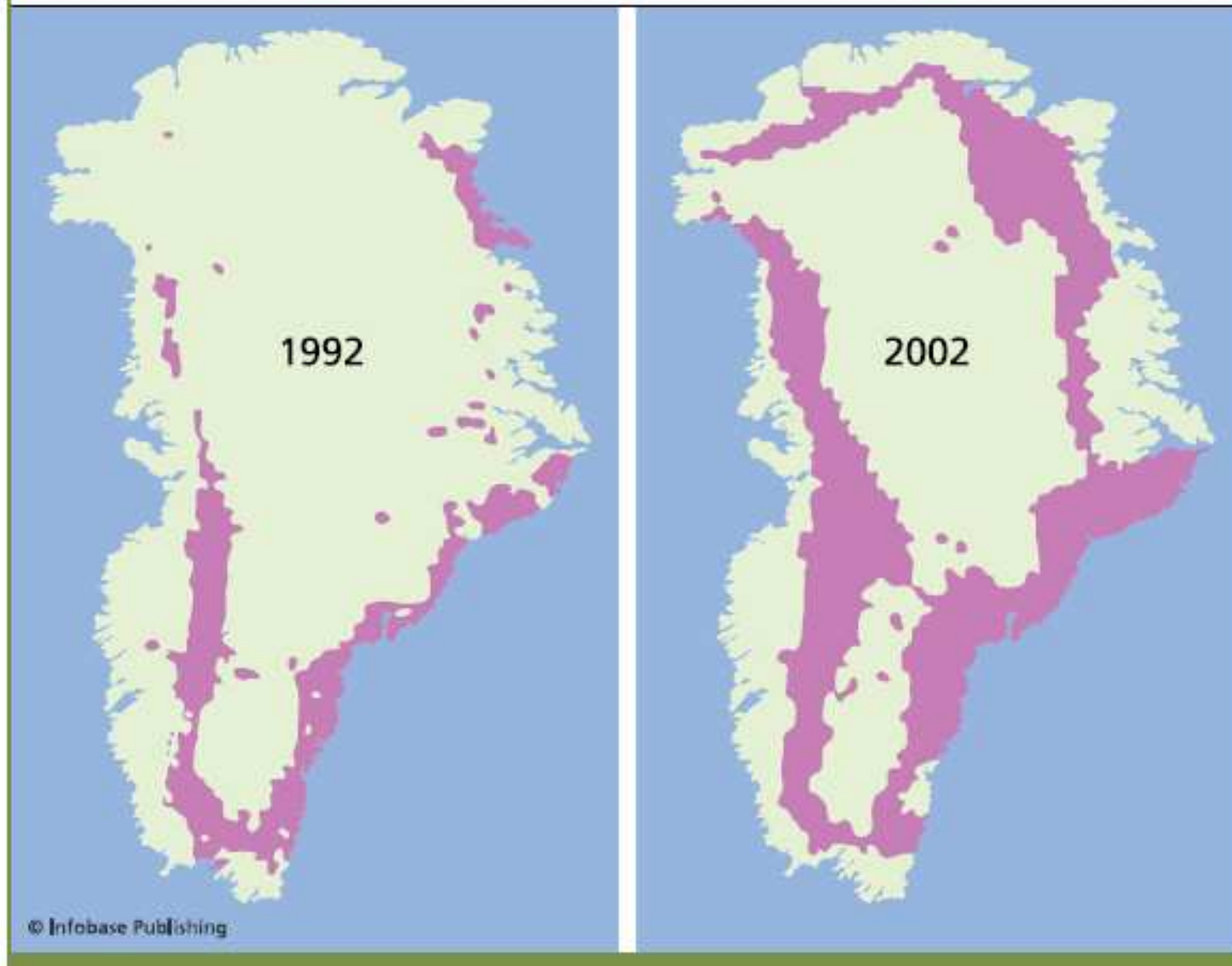


Albedo



Source: Stone et al. (2002), JGR.

Greenland Ice Sheet Melt: 1992 to 2002

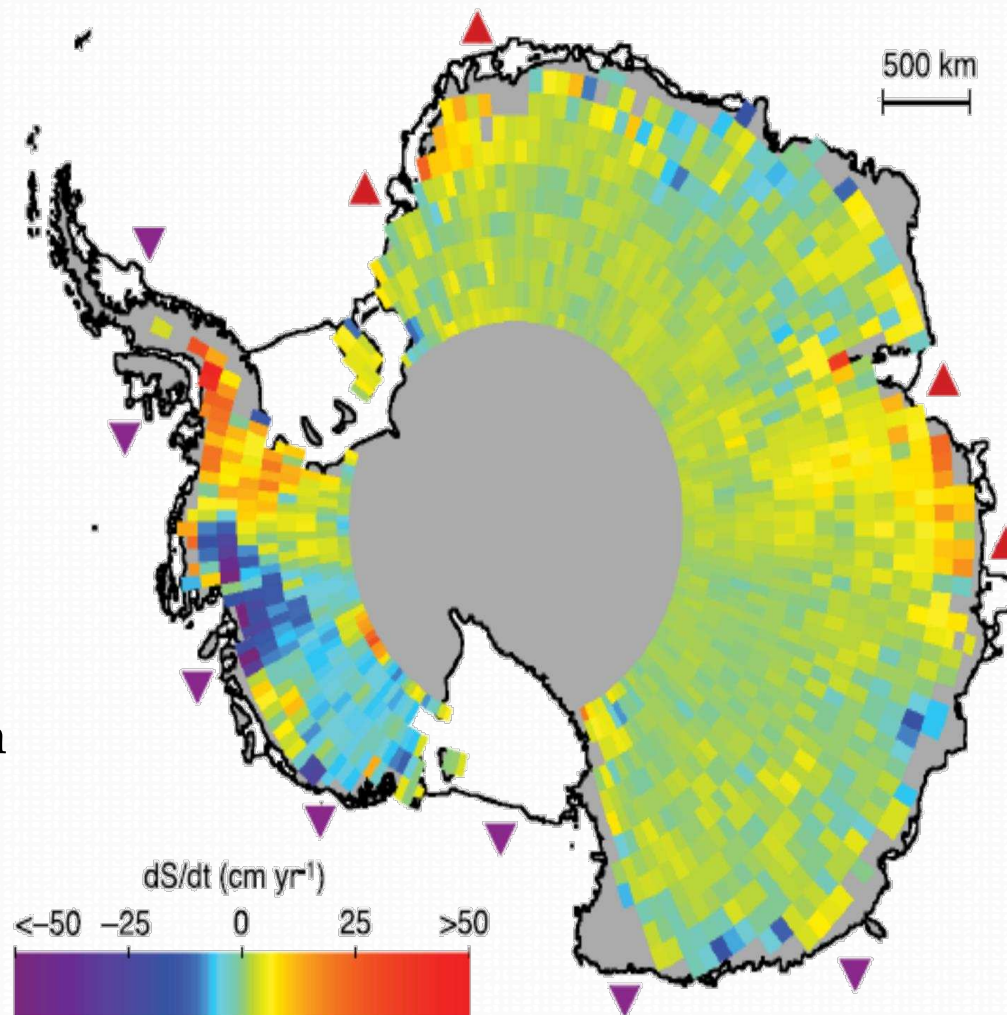


Ice melt on Greenland in 2002 was much more extensive than ice melt in 1992.

ZMIANY GRUBOŚCI LODU W ANTARKTYCE

Szybkość zmian grubości lodu, pomiary altimetrem radarowym ERS w latach 1992-2003.

Położenie lodów szelfowych o zmianach większych niż 30cm/rok zaznaczono trójkątami



IPCC 2013

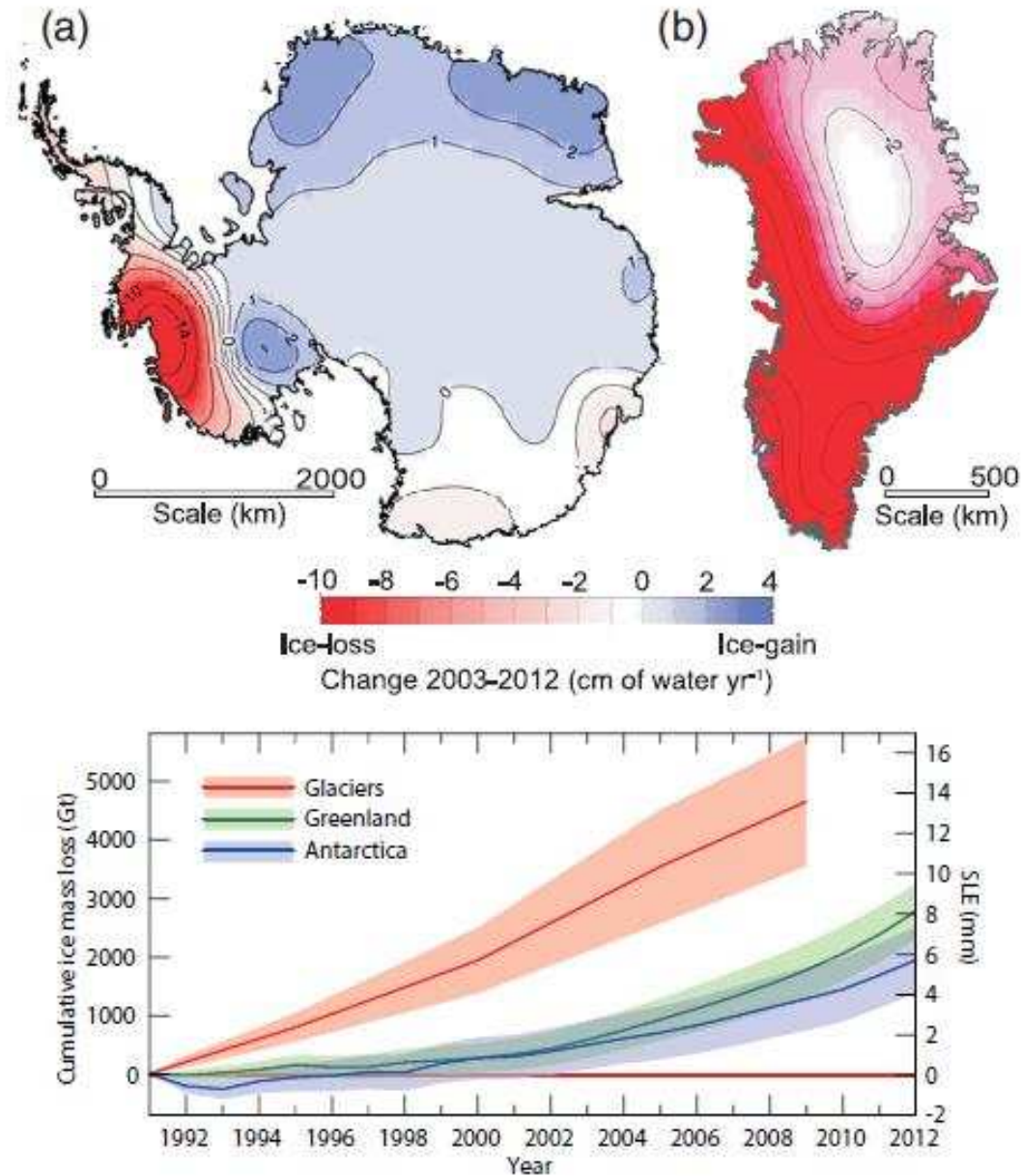


Figure TS.3 | (Upper) Distribution of ice loss determined from Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) time-variable gravity for (a) Antarctica and (b) Greenland, shown in centimetres of water per year (cm of water yr⁻¹) for the period 2003–2012. (Lower) The assessment of the total loss of ice from glaciers and ice sheets in terms of mass (Gt) and sea level equivalent (mm). The contribution from glaciers excludes those on the periphery of the ice sheets. [4.3.4; Figures 4.12–4.14, 4.16, 4.17, 4.25]

Symptomy ocieplenia – wielkie topnienie

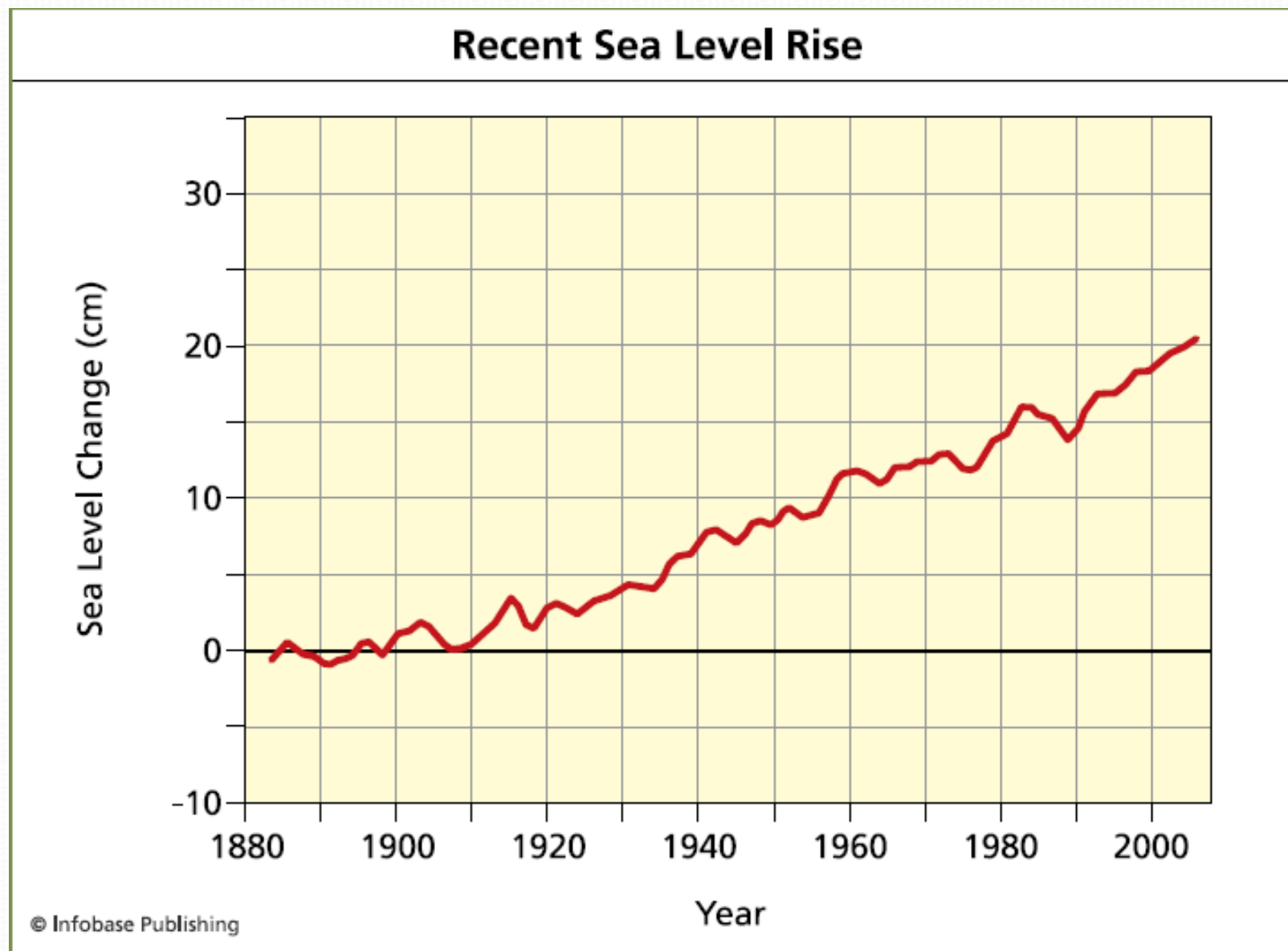


Skutki zaniku wiecznej zmarzliny:

- zapadanie się gruntu
- zagrożenia dla budynków
- zagrożenia dla gazociągów
- problemy z komunikacją
- emisja metanu
- problemy dla zwierząt



Symptomy ocieplenia – oceany i morza



zmiany poziomu morza – pomiary satelitarne

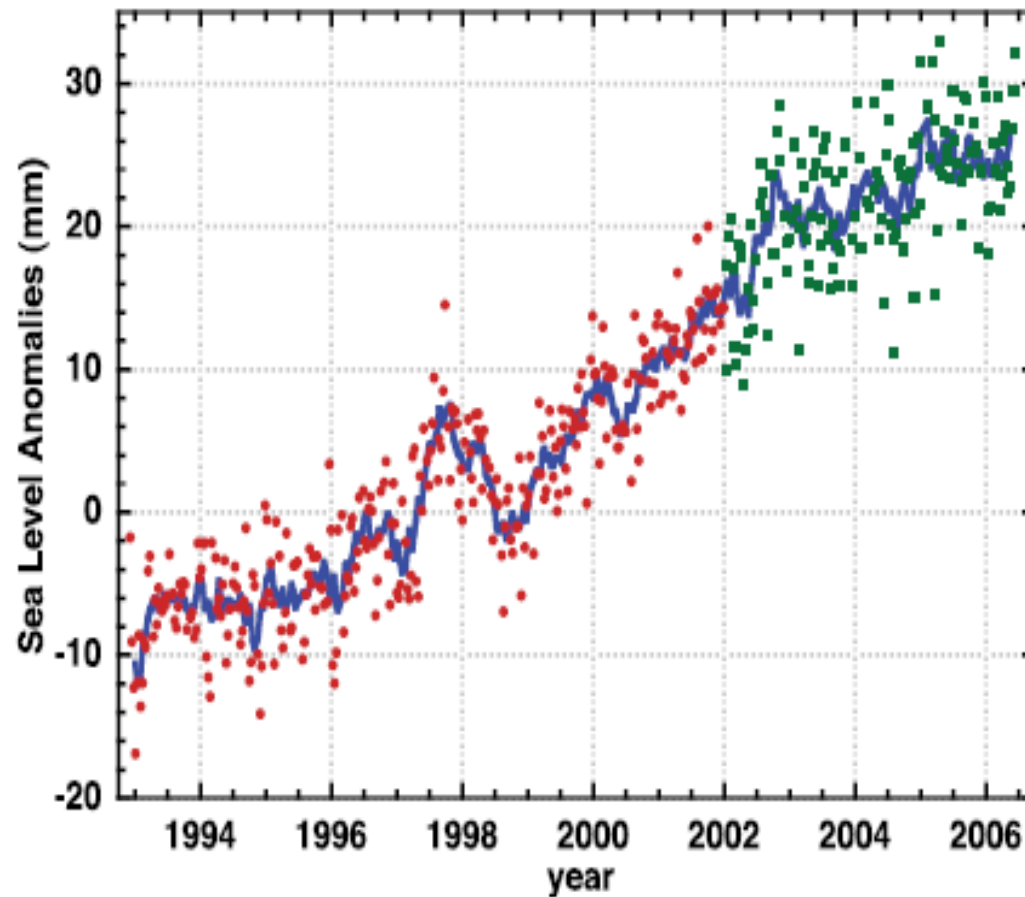
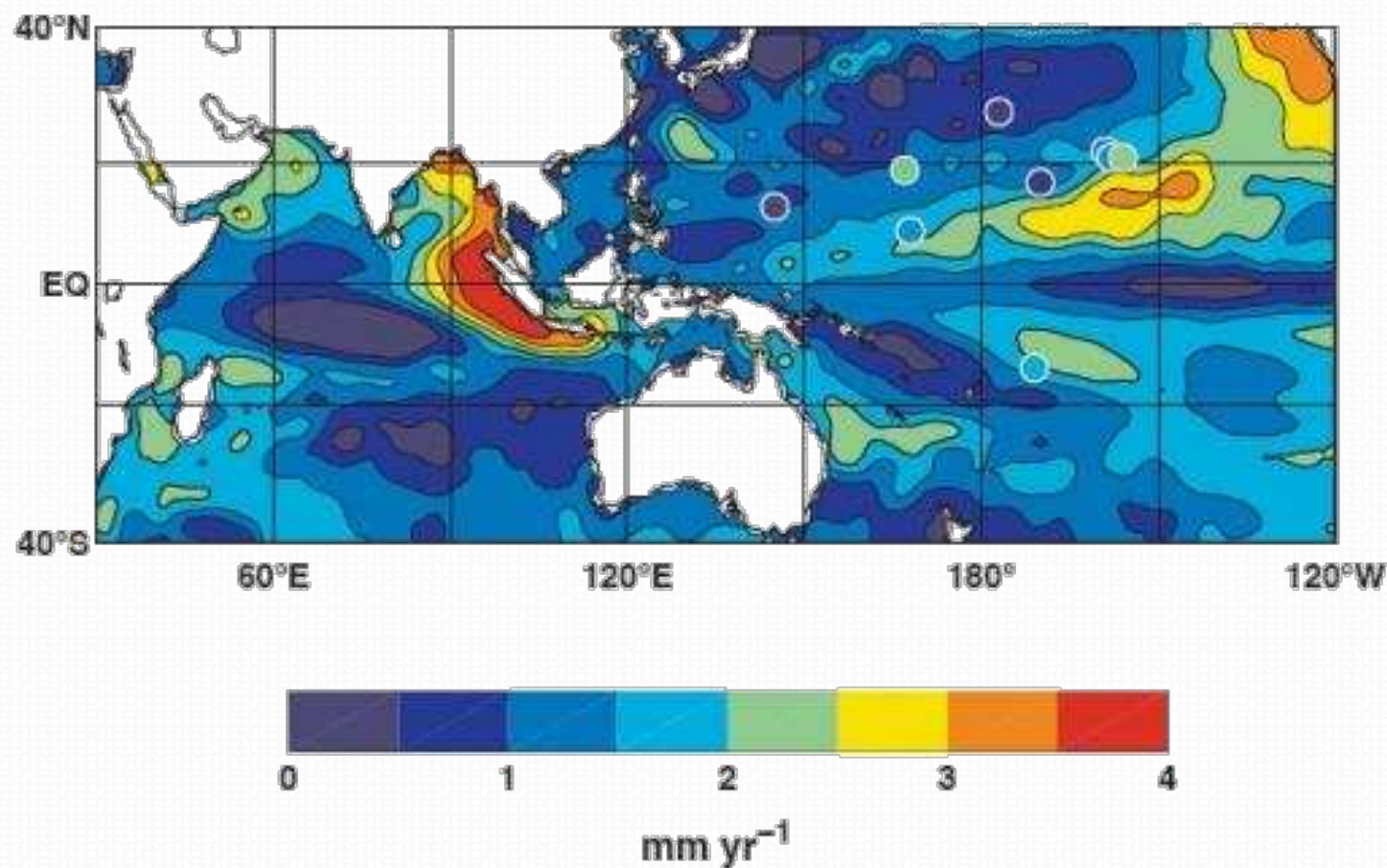


Figure 5.14. Variations in global mean sea level (difference to the mean 1993 to mid-2001) computed from satellite altimetry from January 1993 to October 2005, averaged over 65°S to 65°N. Dots are 10-day estimates (from the TOPEX/Poseidon satellite in red and from the Jason satellite in green). The blue solid curve corresponds to 60-day smoothing. Updated from Cazenave and Nerem (2004) and Leuliette et al. (2004).

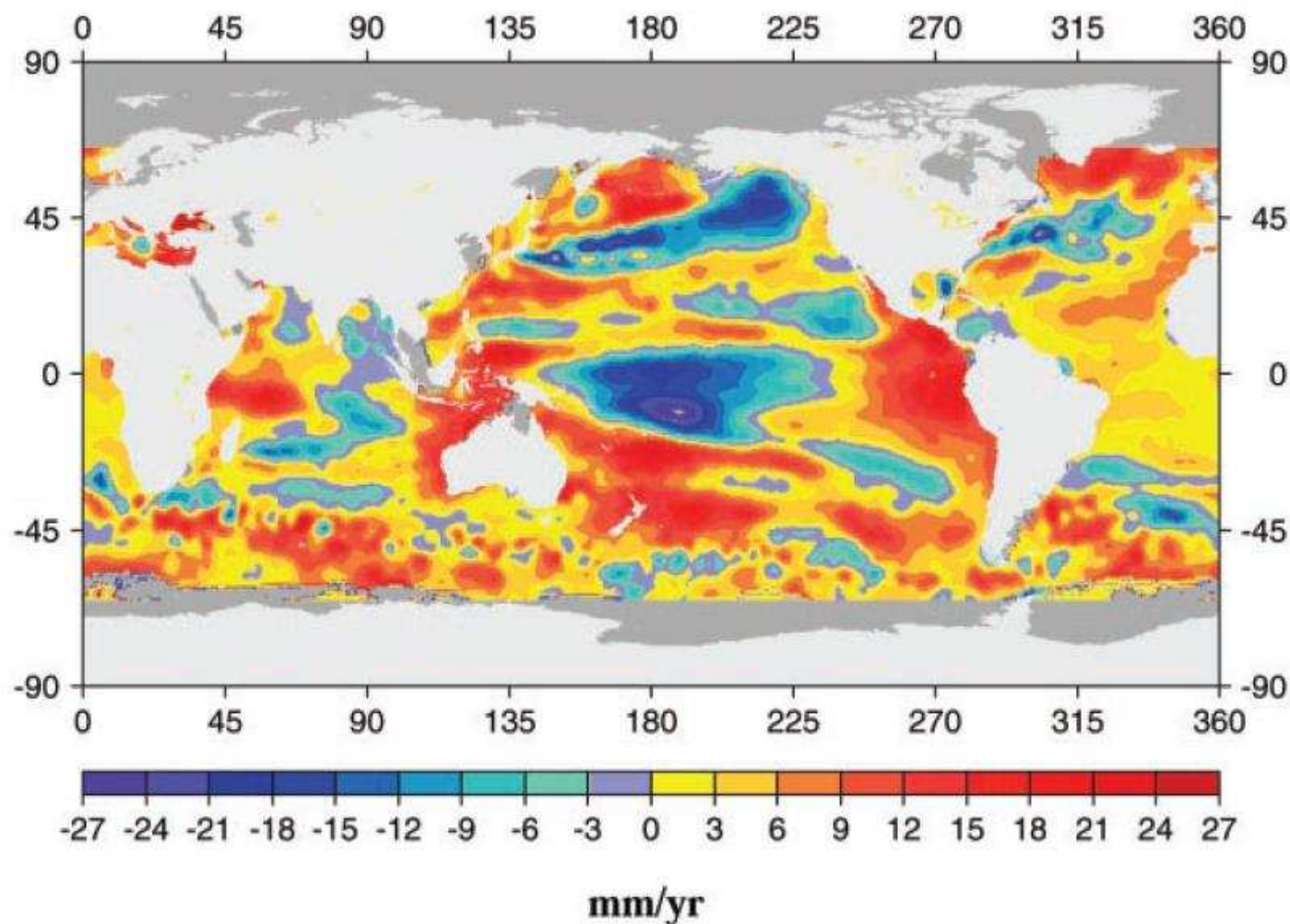
Symptomy ocieplenia – oceany i morza



Zmiany poziomu wody na Oceanie Indyjskim i Pacyfiku Zachodnim na podstawie pomiarów satelitarnych, pomiary ze wskaźników na wyspach oznaczone punktami, dane za lata 1950-2001. Widać, że poziom wody wzrósł we wszystkich przypadkach, choć w sposób nierównomierny

Symptomy ocieplenia – oceany i morza

A Zmiany poziomu morza mierzone satelitarne



Średnio (1993-2003) poziom morza podnosi się o 3.1 ± 0.7 mm/rok z czego rozszerzane termiczne to 1.6 ± 0.5 mm/rok (*Raport IPCC, 2007*).

Cabanes, Casenave & Le Provost 2001 (Science)

Symptomy ocieplenia – oceany i morza

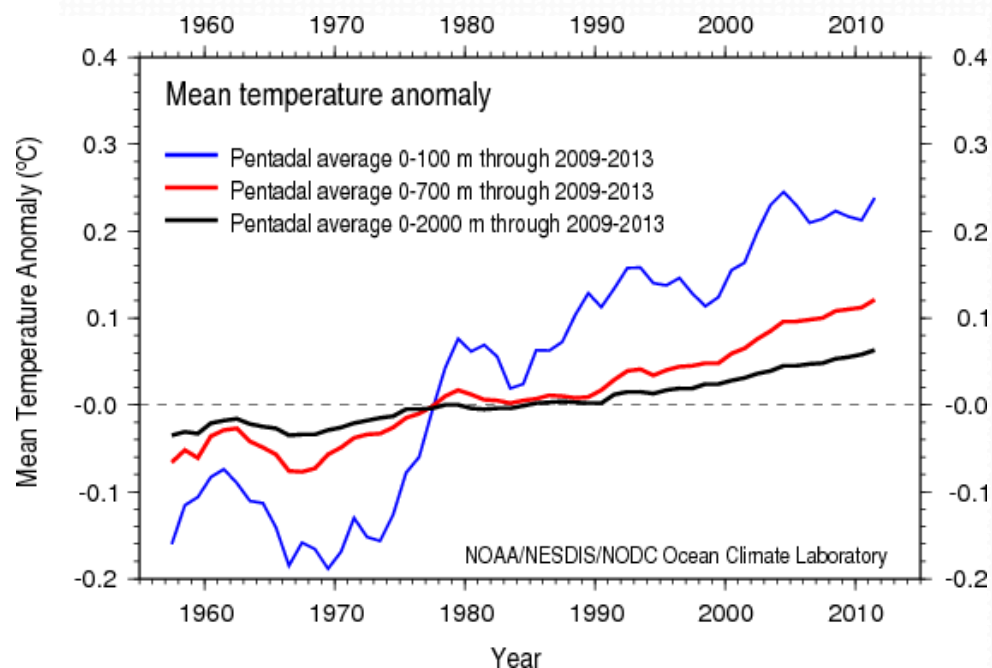
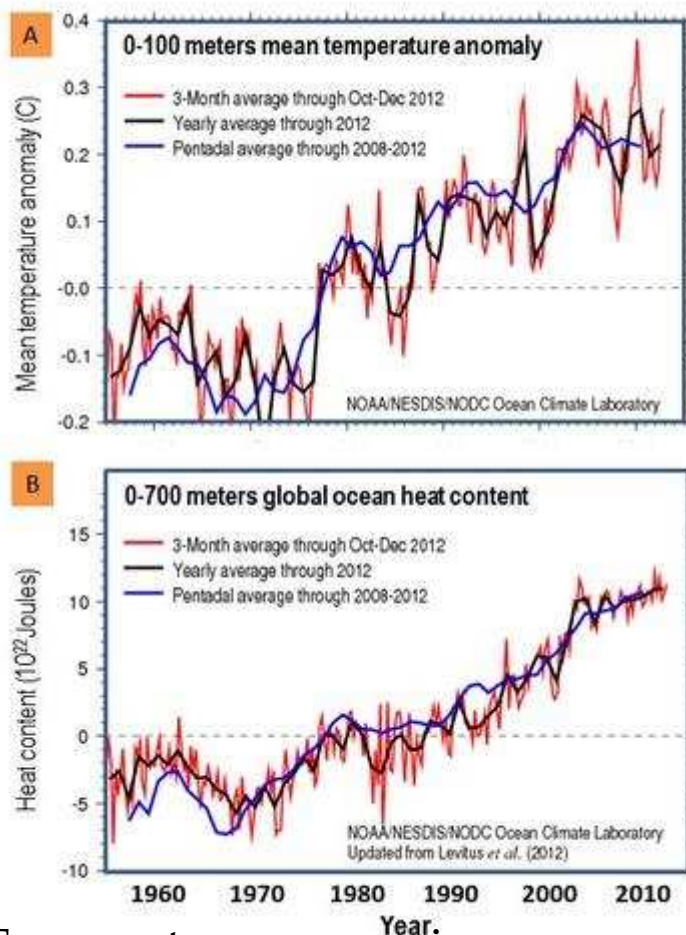
Oceany są coraz cieplejsze. W okresie 1961-2003 globalna temperatura oceanu w warstwie 0-700 m wzrosła o 0.1°C.

Zawartość ciepła w 3 km warstwie także wzrosła o stopniu równoważnym pochłanianiu $0.21 \pm 0.04 \text{ Wm}^{-2}$. Dwie trzecie tej energii jest zaabsorbowane w górnej warstwie (0-700 m).

Od roku 2003 nastąpiło pewne ochłodzenie.

Obserwuje się wielkoskalowe trendy zasolenia wód oceanicznych (w okresie 1955-1998). Spada zasolenie w wysokich szerokościach geograficznych, a rośnie w płytkich wodach oceanów w strefie równikowej i podzwrotnikowej. Spadek zasolenia obserwuje się na Pacyfiku, podczas, gdy w wodach Atlantyku i Oceanu Indyjskiego zasolenie wzrasta.

Symptomy ocieplenia – oceany i morza



Porównanie dziesięcioletnich anomalii temperatury uśrednionych w pionie

Temperatura oceanu i zmagazynowane ciepło na głębokości: a) 0–100 m średnia anomalia temperatury; b) 0–700 m zawartość ciepła w oceanie.

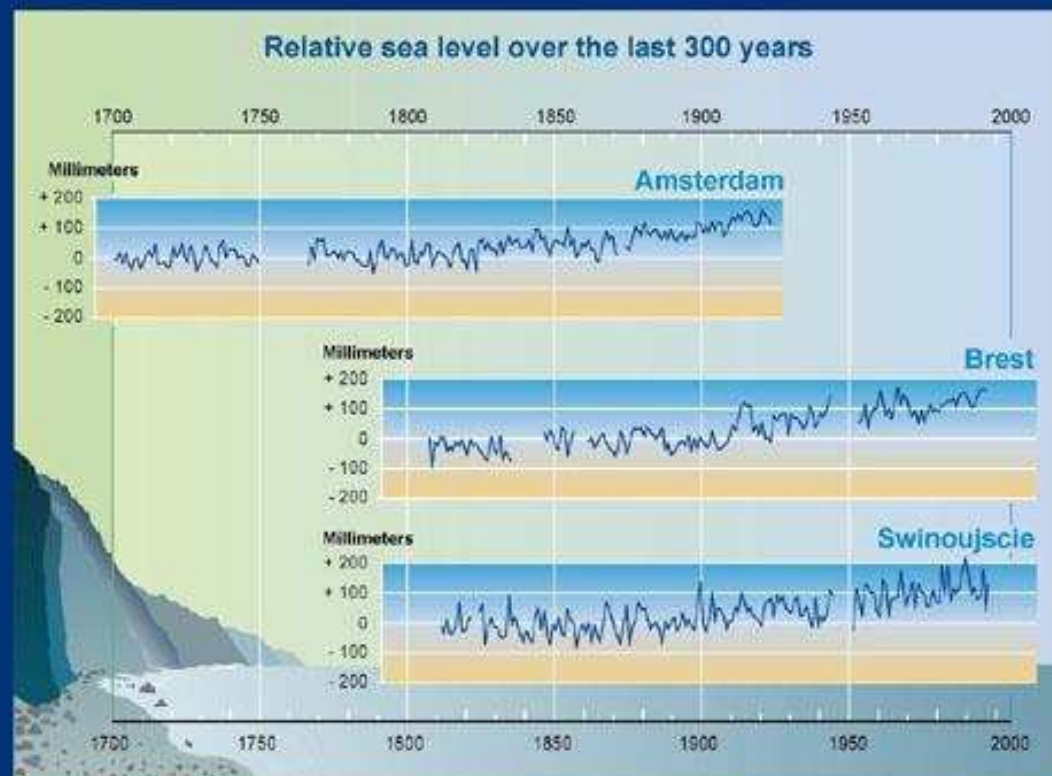
http://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT/index3.html

Main Contributors to Rising Sea Levels

1961-2003 1993-2003

Source of Sea Level Rise	Rate of Sea Level Rise
Ocean Warming	
Glaciers and Ice Caps	
Greenland Ice Sheet	
Antarctic Ice Sheet	
Observed Total Sea Level Rise	

SOURCE: Intergovernmental Panel on Climate Change Report, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*



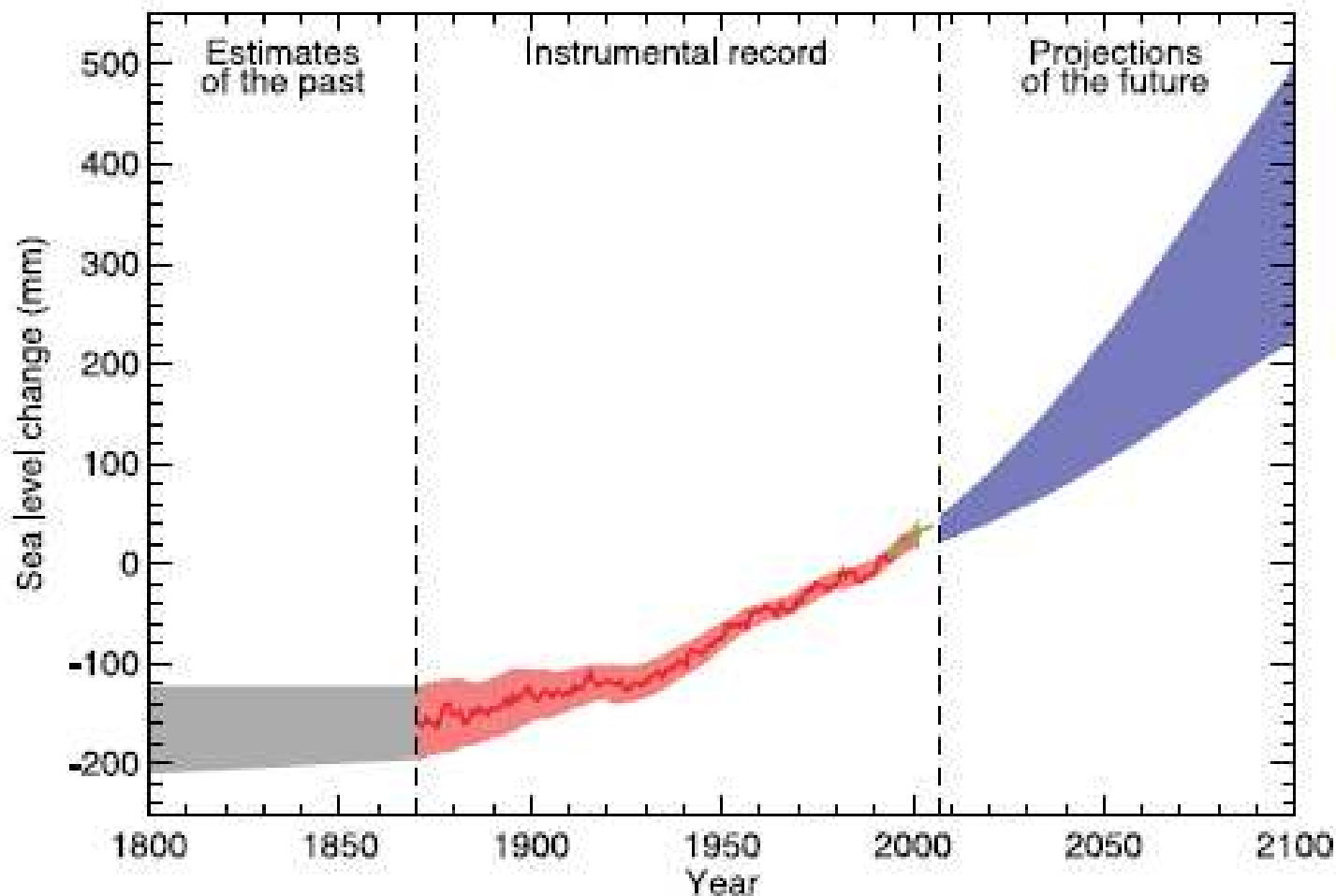
SVR - FIGURE 2-5



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

Symptomy ocieplenia – oceany i morza

Poziom oceanów



Podnoszeniu się poziomu wody towarzyszy **wzmożone występowanie sztormów i huraganów**. Zjawiska te stanowią ogromne zagrożenie dla wysp i rejonów nadbrzeżnych.

Wyspy koralowe są najbardziej zagrożonymi rejonami. Wynika to zarówno z ich małych rozmiarów, jak i niewielkiej wysokości nad poziomem oceanu. Przykładowo, na Wyspach Marshalla średnia odległość między oceanem i laguną wynosi tylko 50 m. Z kolei **maksymalna wysokość nad poziomem morza** popularnych turystycznie **Maledywów to jedynie 3 metry.**

Na **wyspach Tuvalu**, zamieszkałych przez 10 tys. mieszkańców, **większość terenów leży na wysokości mniejszej niż 1 m powyżej linii najwyższego przyływu.** Obecnie odnotowuje się **wzrost jego poziomu o 5,7 mm rocznie.**





Na Tuvalu panuje klimat tropikalny, dzięki położeniu tuż pod równikiem ($5-11^{\circ}$ S). Średnia temperatura dobową wynosi tu $26-32^{\circ}\text{C}$, a opady roczne od 2500 mm na południu do 3600 mm na północy. Od listopada do kwietnia częste są tu huragany tropikalne, zazwyczaj słabe (jednak w 1997 roku wyspy spustoszył katastrofalny huragan). Brak rzek i wody pitnej, która musi być zbierana w zbiornikach z deszczu. Wyspy są w 43% porośnięte lasem.

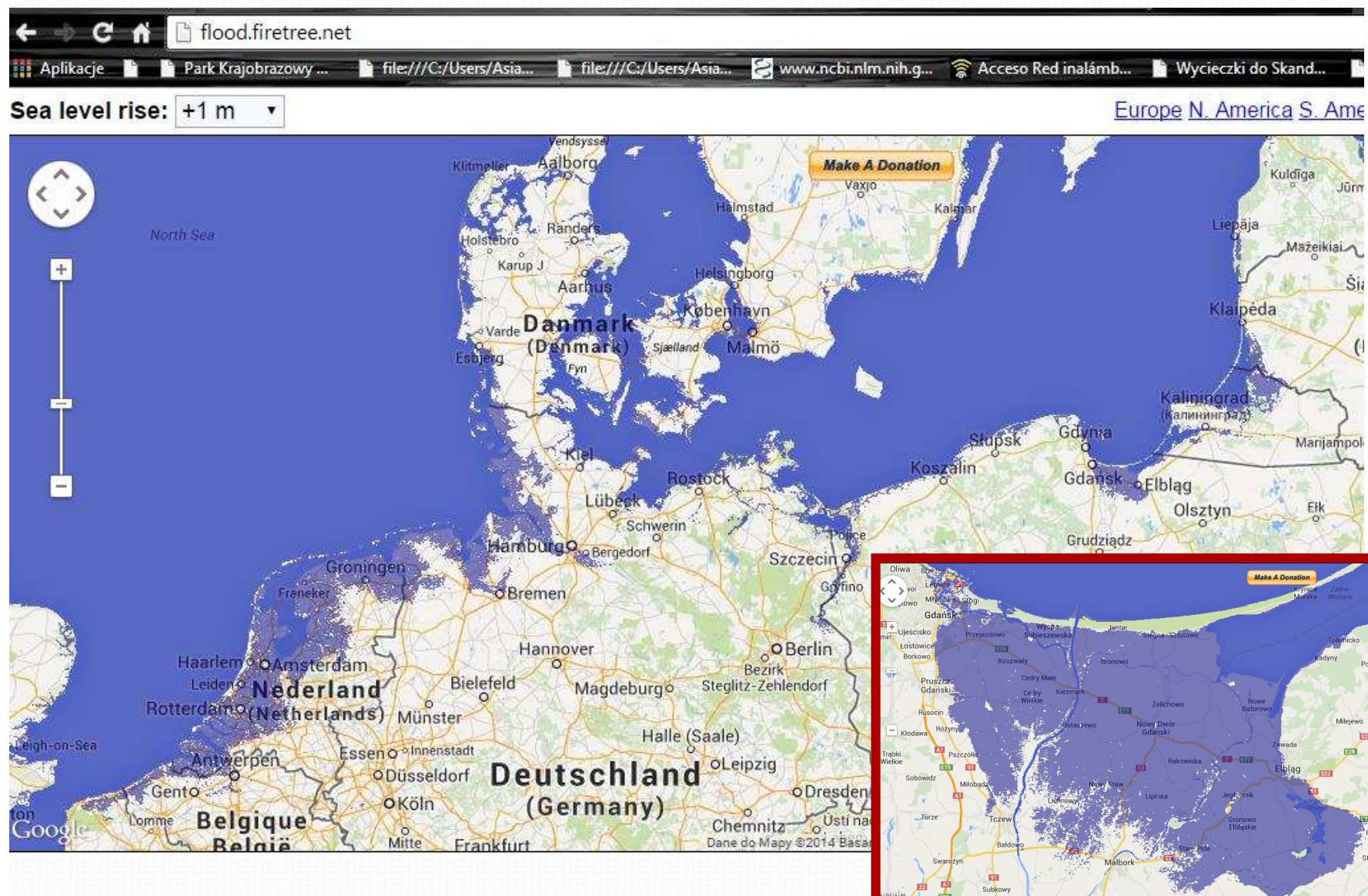


Symptomy ocieplenia – oceany i morza

Zagrożone zalaniem tereny występują na całym świecie. Zagrożone są właściwie **wszystkie tereny nadbrzeżne i porty, w tym Nowy Jork, Wenecja, Londyn, Szanghaj i Gdańska starówka**. Przy podnoszeniu się poziomu wody może być zagrożona właściwie cała infrastruktura nadbrzeżna.

Wielkie niebezpieczeństwo grozi leżącym nad morzami i oceanami **terenom nizinnym, a szczególnie deltom i depresjom**. Tereny takie jak Floryda czy delta Missisipi w USA, Holandia, delta Nilu, Bangladesz lub polskie Żuławy, mogą zostać zalane nagle, podczas sztormu przy wyższym stanie wody. Prowadzenie akcji ratunkowej w takich warunkach byłoby szczególnie trudne.

Symulacje zalanych obszarów przy zadanym wzroście poziomu morza



Symptomy ocieplenia – huragany i sztormy tropikalne

Obraz satelitarny umacniającego się cyklonu Nargis nad Zatoką Bengalską

1. maja 2008, dzień przed uderzeniem w Birnę



8. maja 2008 — cyklon, który uderzył w Birnę 2 i 3 maja spowodował powódź, która zniszczyła region. **Dolne zdjęcie** zrobiono 5. maja 2008 roku z satelity NASA Terra.

Górne zdjęcie zrobiono 15. kwietnia .

Ocenia się, że około 100,000 osób zginęło na skutek przejścia cyklonu.





**Amarillo, Teksas, 6. maja 2008,
najsilniejszy i najbardziej gwałtowny typ burzy.**

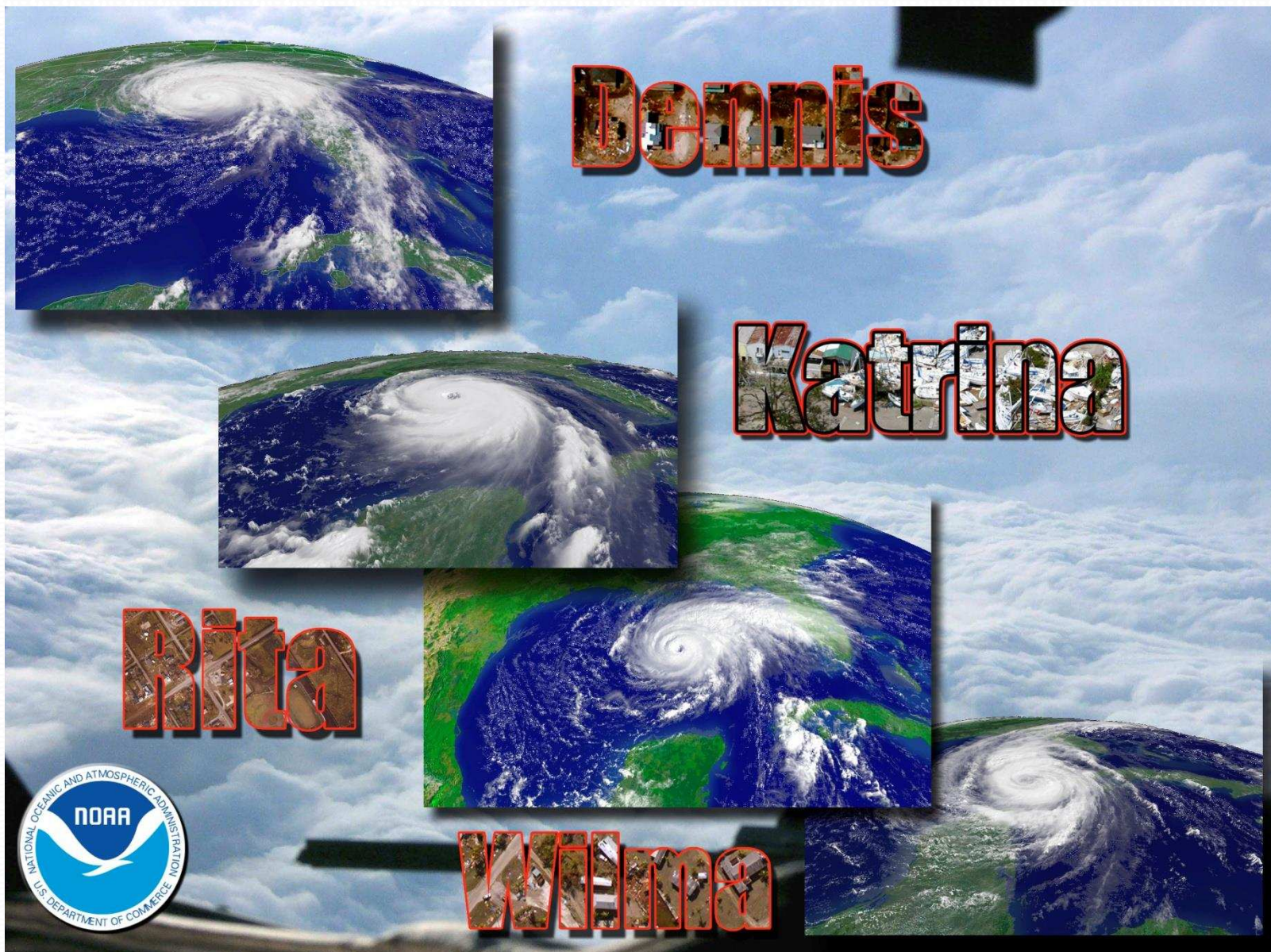
Superkomórka może przekształcić się w tornado. Była ona jedną z rodziny burz, które przyniosły nawalne deszcze z potężnym gradem w zachodnim Teksasie.

**Prowincja Helmand,
w Afganistanie,
7 .maja 2008—
żołnierze piechoty
morskiej USA
uwięzieni w obozie
Dwyer w
południowym
Afganistanie przez
burzę pyłową.**

Latem 2007
Afganistan
nawiedziły
"najgorsze burze
pyłowe w historii"



Częstość i intensywność huraganów (3 i 4 Raport IPCC)



Tornado pod Przemyślem

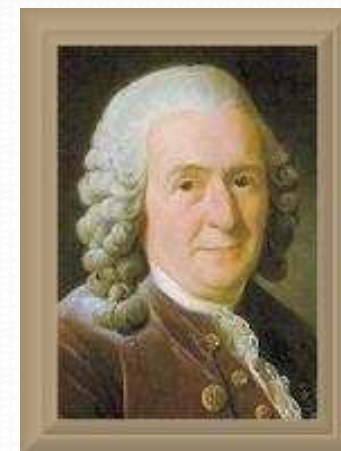


Najbardziej zagrożone rejony w Polsce to: woj. Podkarpackie, **Małopolskie**, Śląskie, Opolskie, Łódzkie (a dokładnie okolice Łodzi), Podlaskie, Warmińsko-Mazurskie, Kujawsko-Pomorskie północna część woj. Lubelskiego, wschodnia część woj. Mazowieckiego oraz całe wybrzeże kraju począwszy od wyspy Wolin, a skończywszy na Mierzei Wiślanej

Symptomy ocieplenia – ekosystemy i rolnictwo

- Zmiany w terminach pojawów fenologicznych
- Zmiany granic zasięgu gatunków i biomów
- Potencjalny wpływ w niedalekiej przyszłości
- Bioróżnorodność i aklimatyzacja
- Produktywność ekosystemów - lasy

Fenologia stała się obiektem zainteresowania nauki od czasów Karola Linneusza.



Fenologia: badanie czasu występowania powtarzających się faz rozwojowych, przyczyn ich zmian w postaci biotycznych i abiotycznych działań, i współzależności między pojawianiem się faz tego samego lub różnych gatunków.

Obserwacje fenologiczne obejmują:

fazy wiosenne: pękanie pąków, listnienie, kwitnienie

fazy letnie: zawiązki owoców, zbiory

fazy jesienne: zmiana koloru liści, opadanie liści

W strefie umiarkowanej **temperatura** jest głównym czynnikiem decydującym o terminach wiosennych i letnich pojavów fenologicznych.

średnie lub sumy skumulowane dodatniej ($>0^{\circ}\text{C}$) temperatury podczas sezonu wegetacyjnego

indeks wychłodzenia – średnie lub sumy skumulowane ujemnych ($<0^{\circ}\text{C}$) temperatur podczas poprzedzającej zimy

innymi czynnikami są:

- promieniowanie,
- wilgotność,
- gleba,
- krajobraz,
- typ ekosystemu,
- czynniki ludzkie (zanieczyszczenie, sposób użytkowania ziemi, miejska wyspa ciepła)

Wczesne fazy wiosny (pylenie
leszczyny i podbiału pospolitego)
występuje **10-20 dni wcześniej** niż
50 lat temu



Fazy wiosny (pojawianie się liści
brzozy, kwitnienie bzu i jabłoni)
występuje **5-15 dni wcześniej** niż 50
lat temu



Północna i górna granica zasięgu wielu gatunków roślin i biomów korelują z położeniem izolinii absolutnego minimum temperatury i sumy temperatur sezonu wegetacyjnego.

Mechanizmy determinujące położenie południowych granic zasięgu (ciepłych) są bardziej skomplikowanej i słabiej znane.

Dla świerku norweskiego ograniczona pokrywa śnieżna i powtarzające się cykle zamarzania i rozmarzania mogą zaburzać rozwój zimowego utwardzania siewek, ograniczając zasięg w klimatach oceanicznych.

U wielu gatunków drzew strefy umiarkowanej, czas rozwijania pąków jest skorelowany z długością i intensywnością zimowych mrozów.

Deficyt wody w glebie okresowo ogranicza produktywność nawet wielu wilgotnych ekosystemów. Chociaż dostępność wody nie jest aktualnie głównym czynnikiem limitującym wzrost lasu lub produktywność w rolnictwie w zlewisku Bałtyku, to zdarza się tak na dobrze drenowanych glebach południowej Szwecji.

Wzrost temperatury prowadzi do **wzrostu parowania** i zmniejszeniu zapasów wody glebowej na skutek wzrostu ewapotranspiracji, zmiany rozkładu opadów mogą zaostrzyć lub załagodzić deficyt wilgoci i ograniczyć produktywność.

Zarówno **czynniki termiczne, jak i okres oświetleniowy** mogą decydować o zahamowaniu wzrostu i rozpoczęciu fazy twardnienia jesienią.

Wiele gatunków drzew wymaga **długiego okresu niskich temperatur (wychłodzenia)** do zainicjowania rozwoju pąków i u tych gatunków ocieplenie okresu zimowego może opóźnić okres wzrostu, mimo iż temperatury mają już wartości charakterystyczne dla okresu wiosennego.

Globalnie, widoczne są zmiany rozkładu gatunków lądowych zgodne ze współczesnym ociepleniem.

W rejonie Bałtyku występuje kilka gatunków, których zasięgi występowania przesunęły się ku biegunowi i ku wyższym wysokościom bezwzględny.

W Skandynawii zasięg buka, lipy, dębu i świerku zmieniał się równolegle do sumy temperatur okresu wegetacyjnego w ciągu ostatnich 8000 lat. Współczesne tempo zmian klimatycznych jest większe od analogicznych zmian w przeszłości.

buk



lipa



dąb



świerk



{ 163 }

Obecnie naturalnie regenerujący się ostrokrzew, wskaźnik łagodnego klimatu, migruje na wschód i północ koincepując z wędrówką izotermy stycznia 0°C.

brzoza



sosna



jarzębina



wierzba



ostrokrzew



W szwedzkiej części Gór Skandynawskich górna granica zasięgu brzozy, sosny, jarzębiny, świerka i wierzby przesunęła się o 100-150 m ku górze koincepując z wzrostem średniej temperatury roku o 0.8°C od końca XIX wieku

Wielkość całkowitego wzrostu górnej granicy zasięgu lasu w XX wieku zależy od warunków topoklimatycznych i **jest ograniczona do fragmentów osłoniętych przed wiatrem z pokrywą śnieżną zalegającą przez pewien okres.**

Umacnianie się stanowisk brzozy w "pasach transgresji" znacząco zmieniło ogólny charakter subalpejskiego/ dolnego alpejskiego krajobrazu i dało początek **dodatniemu sprzężeniu** prowadząc do dalszych zmian i uodporniło je na krótkookresowe ochłodzenia.

Wszystkie przesunięcia zasięgów ku górze i związane z nimi transformacje krajobrazu w XX wieku wystąpiły **bez znacznych opóźnień.**

Nowy zasięg sosny może być **najwyższym** w czasie ostatnich 4000 ^{14}C lat. Wynika stąd, że **XX wiek był nadzwyczaj ciepły z perspektywy późnego holocenu.**

Zwierzęta **powielają** na ogół zmiany w strukturze środowiska; z tego powodu zmiany zasięgu występowania gatunków nawiązują do zasięgu zmian roślinności (pożywienia).

Skutkiem zmian zasięgu gatunków może okazać się i **ich wymieranie**, z powodu utraty siedlisk, opóźnień transformacji itp.

Granica zasięgu obszarów lęgowych ptaków dla gatunków dominujących w południowej Finlandii przesunęły się średnio o 18.8 km na północ w ciągu 12 lat od 1974-1979 do 1986-1989 (Brommer, 2004).

Gatunki charakterystyczne dla północnej Finlandii nie zmieniły zasięgu swych obszarów lęgowych

Inwazje związane ze zmianami klimatu

Wyraźnym przejawem klimatycznego oddziaływanie są wielkoskalowe zmiany struktury ekosystemów występujące gdy zestaw gatunków o różnej historii rozprzestrzeniania się masowo podczas okresu łagodzenia warunków klimatycznych.

Argiope bruennichi , poprzednio ograniczony do południowo-wschodniej Europy, w ostatnim czasie opanował regiony północne, skolonizował Niemcy, Polskę, Danię i Szwecję.



Wśród czynników powodujących gwałtowną ekspansję pająka *Argiope bruennichi* występują:

- ✗ wzrost liczby słonecznych i suchych dni latem
- ✗ powodzie na dużych rzekach w Europie
- ✗ ustalenie dużych otwartych siedlisk z powodu wylesiania

Zmiany klimatyczne są jednym z czynników kontrolujących inwazję **szrotówka kasztanowcowiaczka** w Europie (łącznie z regionem Bałtyku) – szkodnika niszczącego kasztanowce.



szrotówek kasztanowcowiaczek

**kasztanowiec
zdevastowany
przez
szrotówka kasztanowcowiaczka**



Łabędź niemy



Zmiany klimatu, obok wpływu na zmiany zasięgu geograficznego gatunków mogą wpływać na zmiany **obszarów zimowania i lęgowego** gatunków migrujących; szczególnie ptaków, nietoperzy i owadów.

Ciepłe zimy ostatnich lat przyczyniają się do **skrócenia odległości migracji** do regionów zimowania, a czasem nawet prowadzą do **zimowania w obszarach lęgowych**.

Udział osobników prowadzących osiadły tryb życia wzrasta

Obserwowane są zmiany **kierunków migracji** oraz zmiany **terminów migracji**.



Gęś gęgawa

© Jurek Grzesiak

Zmiany zasięgu biomów

wysokościowe zmiany zasięgu roślin są dobrze udokumentowane w wielu regionach Europy. **Wyższe temperatury i dłuższy sezon wegetacyjny**, związane ze zmianami klimatu, otworzyły nowe regiony dla kolonizacji przez poszczególne formacje roślinne

W rejonie Bałtyku udokumentowano jedynie, że:

endemiczne gatunki górskie są zagrożone przez migrujące ku górze bardziej konkurencyjne subalpejskie zarośla i drzewa.



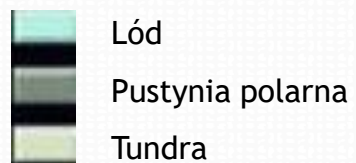
Przewidywane skutki

Chociaż rośliny mają zdolność aklimatyzacji i adaptacji, niektóre ze spodziewanych zmian mogą zwiększyć ryzyko niekorzystnych zjawisk pogodowych w porównaniu z ich aktualną częstością

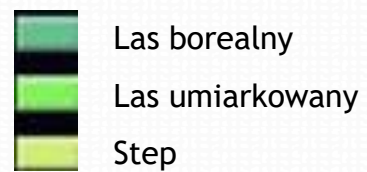
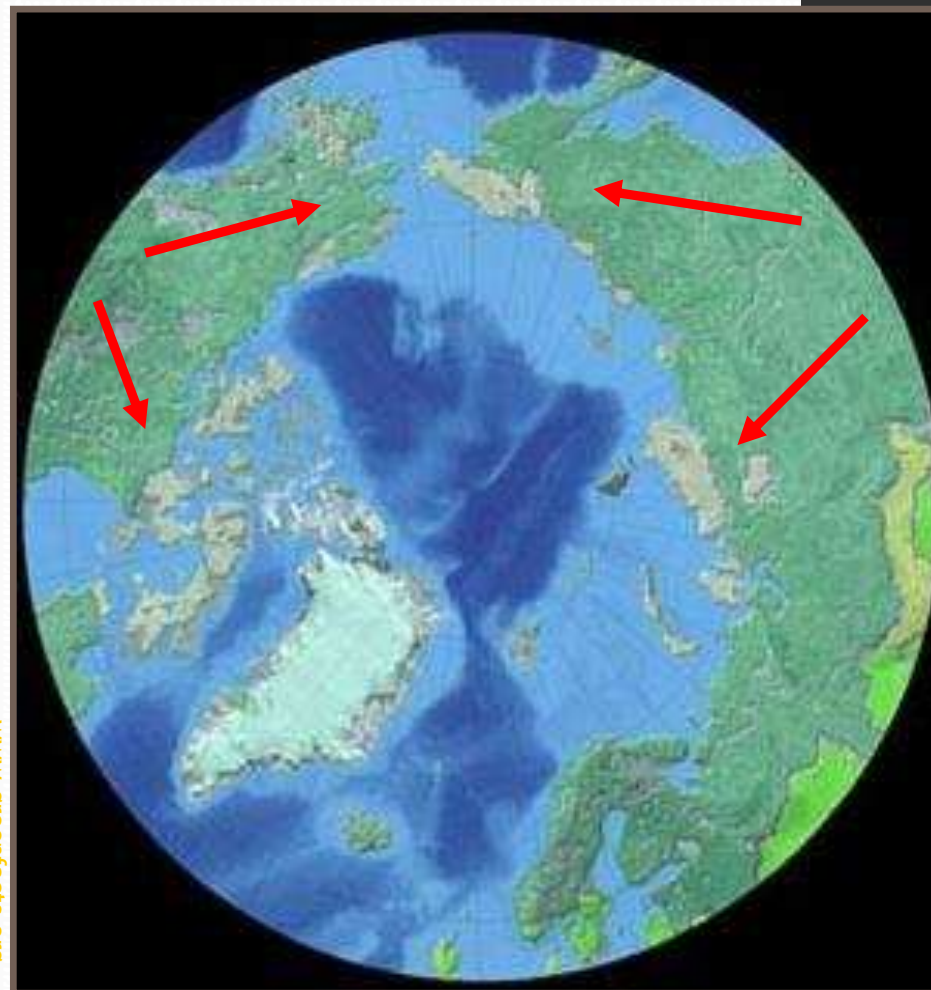
Dla danego ekosystemu, funkcjonalnie zróżnicowane zbiorowości mają większe możliwości adaptacji do zmian i zmienności klimatu niż mniej zróżnicowane.

Regiony fitogeograficzne

współczesne



przewidywane, 2090-2100



www.greenfacts.org

Projekcje na przyszłość wg IPCC AR5

Scenariusz	Charakterystyka
RCP8.5	Scenariusz zakłada zwiększenie emisji GHG a w konsekwencji wzrostu wymuszenia radiacyjnego do $8,5 \text{ W/m}^2$ do 2100 roku. Oparty o wcześniejszy scenariusza A2.
RCP6	Stabilizacja nie przekraczająca 6 W/m^2 , osiągnięta po 2100 roku. Wykorzystanie technologii i strategii obniżającej emisję GHG.
RCP4.5	Stabilizacja nie przekraczająca $4,5 \text{ W/m}^2$, osiągnięta przed 2100 rokiem. Wykorzystanie technologii i strategii obniżającej emisję GHG.
RCP2.6/ RCP3-PD	Maksimum wymuszenia radiacyjnego $\sim 3 \text{ W/m}^2$ przed 2100 a następnie spadek do $2,6 \text{ W/m}^2$

Nazwa scenariuszy pochodzi od spodziewanej wielkości radiacyjnego wymuszenia na koniec XXI wieku.

Projekcje na przyszłość wg IPCC AR5

Table 1. Types of representative concentration pathways.

Name	Radiative Forcing ¹	Concentration ²	Pathway shape
RCP8.5	>8.5 W/m ² in 2100	> ~1370 CO ₂ -eq in 2100	Rising
RCP6	~6 W/m ² at stabilization after 2100	~850 CO ₂ -eq (at stabilization after 2100)	Stabilization without overshoot
RCP4.5	~4.5 W/m ² at stabilization after 2100	~650 CO ₂ -eq (at stabilization after 2100)	Stabilization without overshoot
RCP3-PD ³	peak at ~3W/m ² before 2100 and then decline	peak at ~490 CO ₂ -eq before 2100 and then decline	Peak and decline

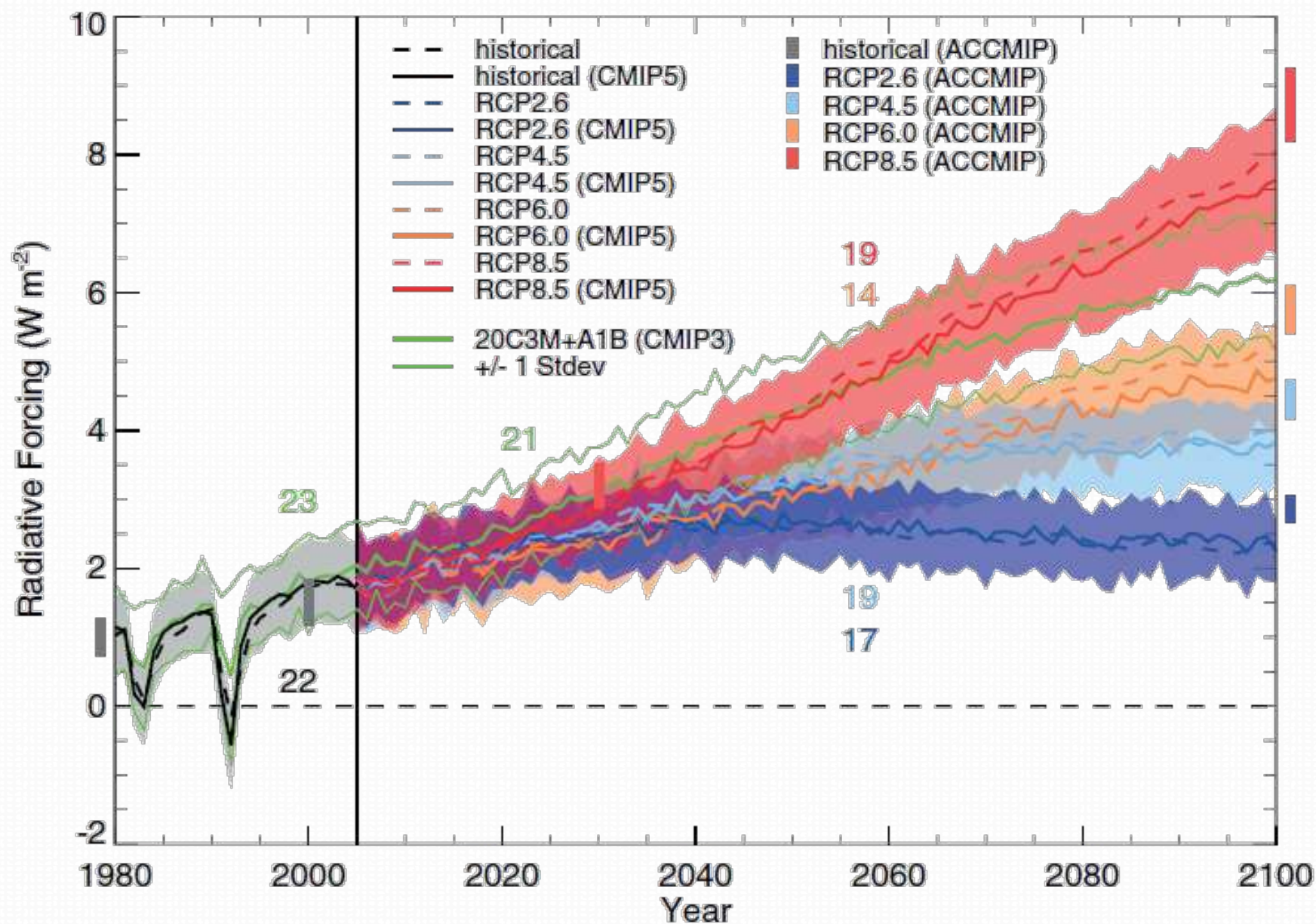
Notes:

¹ Approximate radiative forcing levels were defined as $\pm 5\%$ of the stated level in W/m². Radiative forcing values include the net effect of all anthropogenic GHGs and other forcing agents.

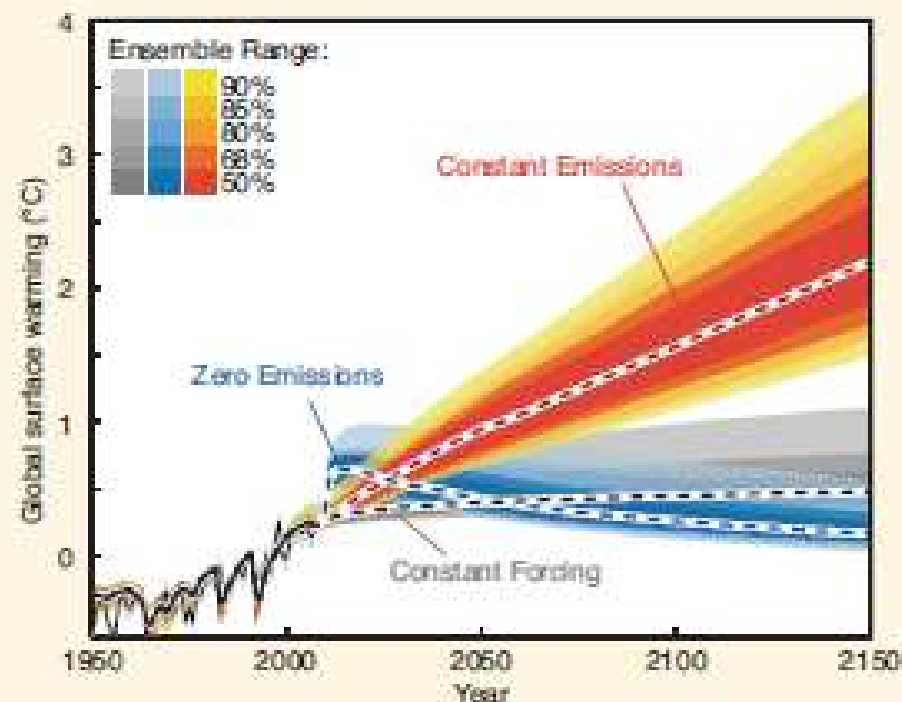
² Approximate CO₂ equivalent (CO₂-eq) concentrations. The CO₂-eq concentrations were calculated with the simple formula $\text{Conc} = 278 * \exp(\text{forcing}/5.325)$. Note that the best estimate of CO₂-eq concentration in 2005 for long-lived GHGs only is about 455 ppm, while the corresponding value including the net effect of all anthropogenic forcing agents (consistent with the table) would be 375 ppm CO₂-eq.

³ PD = peak and decline.

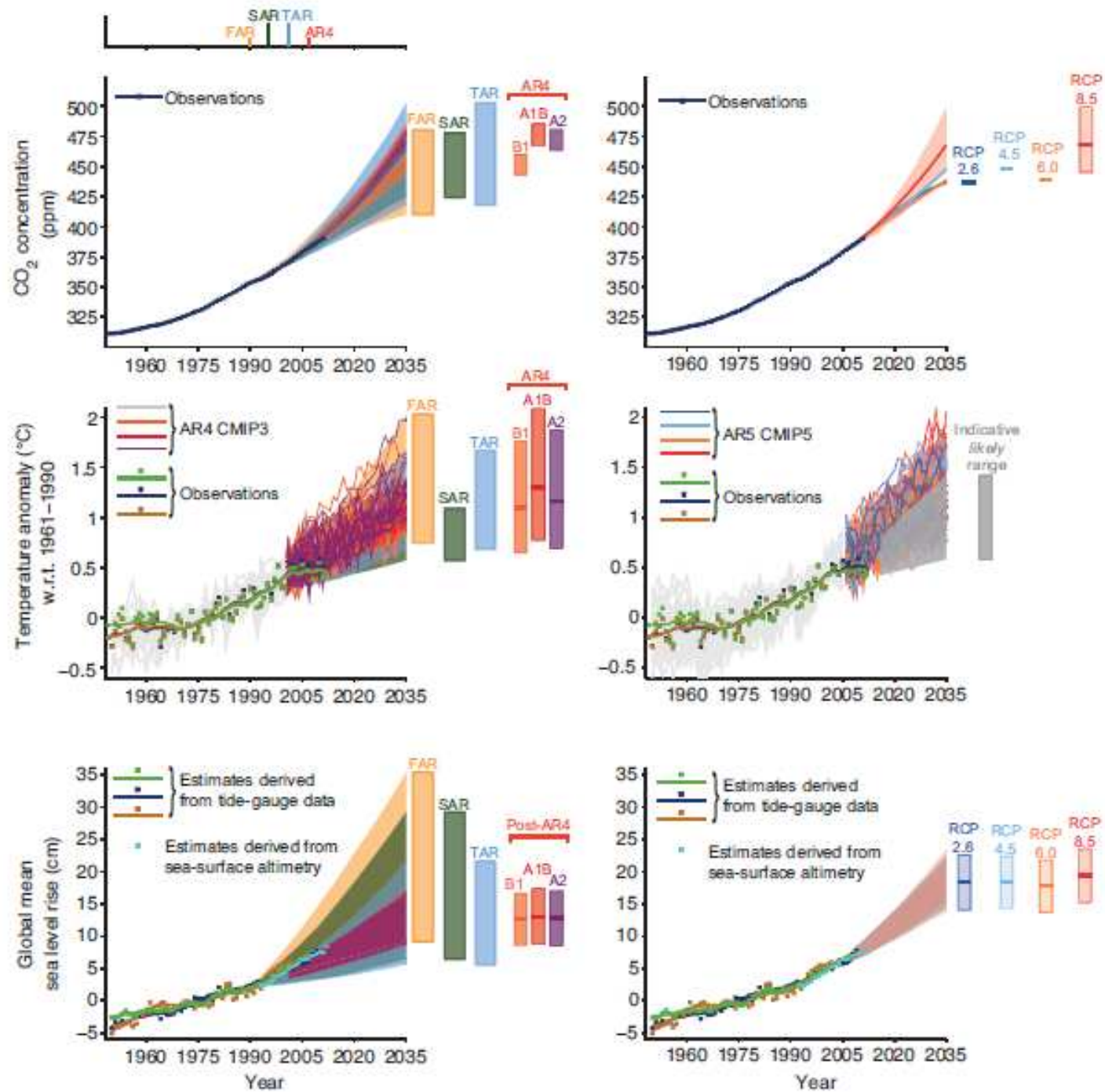
Projekcje na przyszłość wg IPCC AR5



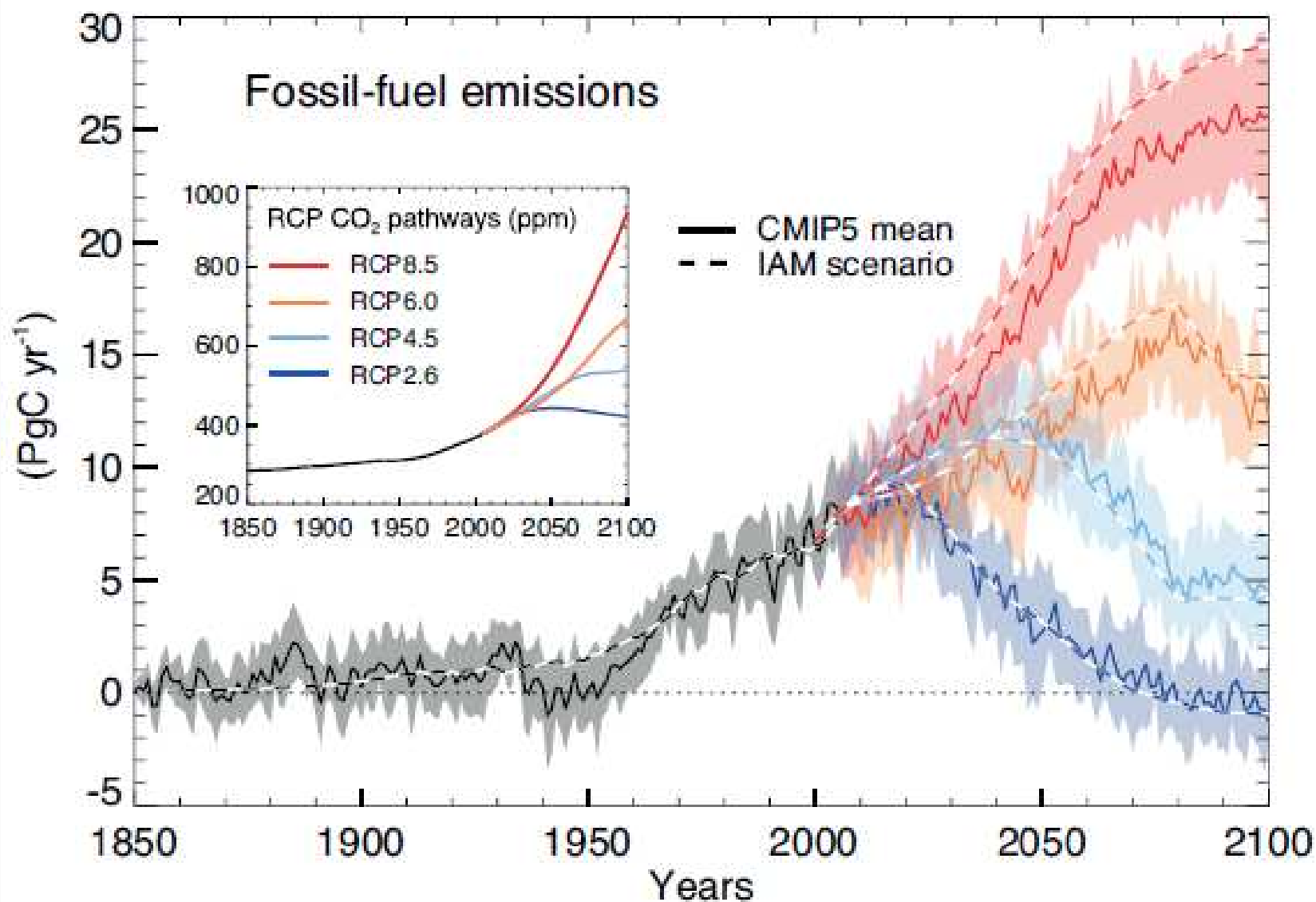
Projekcje na przyszłość wg IPCC AR5



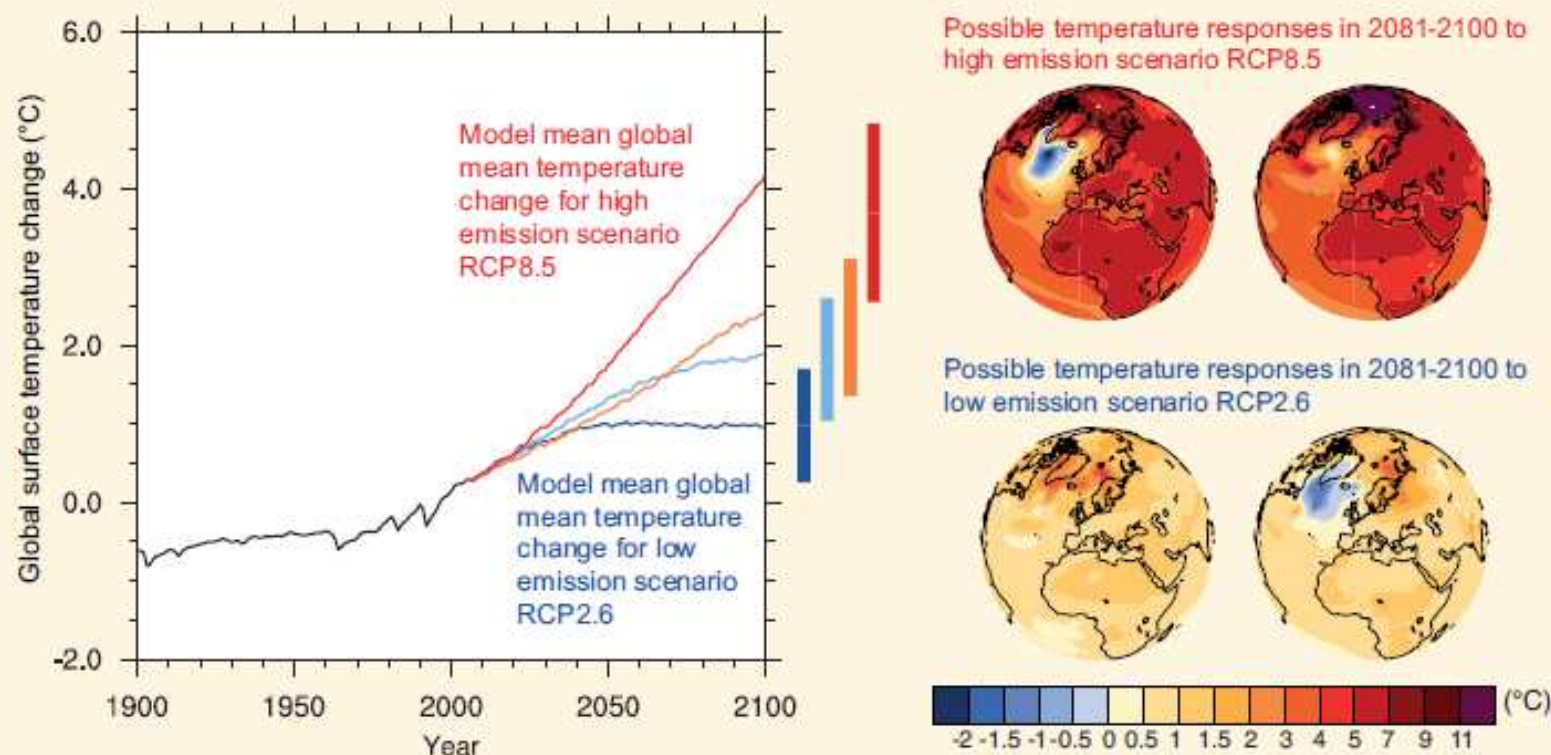
FAQ 12.3, Figure 1 | Projections based on the energy balance carbon cycle model Model for the Assessment of Greenhouse Gas-Induced Climate Change (MAGICC) for constant atmospheric composition (constant forcing, grey), constant emissions (red) and zero future emissions (blue) starting in 2010, with estimates of uncertainty. Figure adapted from Hare and Meinshausen (2006) based on the calibration of a simple carbon cycle climate model to all Coupled Model Intercomparison Project Phase 3 (CMIP3) and Coupled Climate Carbon Cycle Model Intercomparison Project (C4MIP) models (Meinshausen et al., 2011a; Meinshausen et al., 2011b). Results are based on a full transient simulation starting from pre-industrial and using all radiative forcing components. The thin black line and shading denote the observed warming and uncertainty.



Projekcje na przyszłość wg IPCC AR5



Zmiany temperatury powietrza na XXI wiek w stosunku do lat 1986-2005 – dwa skrajne scenariusze



FAQ 12.1, Figure 1 | Global mean temperature change averaged across all Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) models (relative to 1986–2005) for the four Representative Concentration Pathway (RCP) scenarios: RCP2.6 (dark blue), RCP4.5 (light blue), RCP6.0 (orange) and RCP8.5 (red); 32, 42, 25 and 39 models were used respectively for these 4 scenarios. *Likely* ranges for global temperature change by the end of the 21st century are indicated by vertical bars. Note that these ranges apply to the difference between two 20-year means, 2081–2100 relative to 1986–2005, which accounts for the bars being centred at a smaller value than the end point of the annual trajectories. For the highest (RCP8.5) and lowest (RCP2.6) scenario, illustrative maps of surface temperature change at the end of the 21st century (2081–2100 relative to 1986–2005) are shown for two CMIP5 models. These models are chosen to show a rather broad range of response, but this particular set is not representative of any measure of model response uncertainty.

Projekcje zmian temperatury według różnych modeli klimatu wg RCP4.5



Figure 12.9 | Surface air temperature change in 2081–2100 displayed as anomalies with respect to 1986–2005 for RCP4.5 from one ensemble member of each of the concentration-driven models available in the CMIP5 archive.

Zmiany temperatury wg różnych scenariuszy IPCC

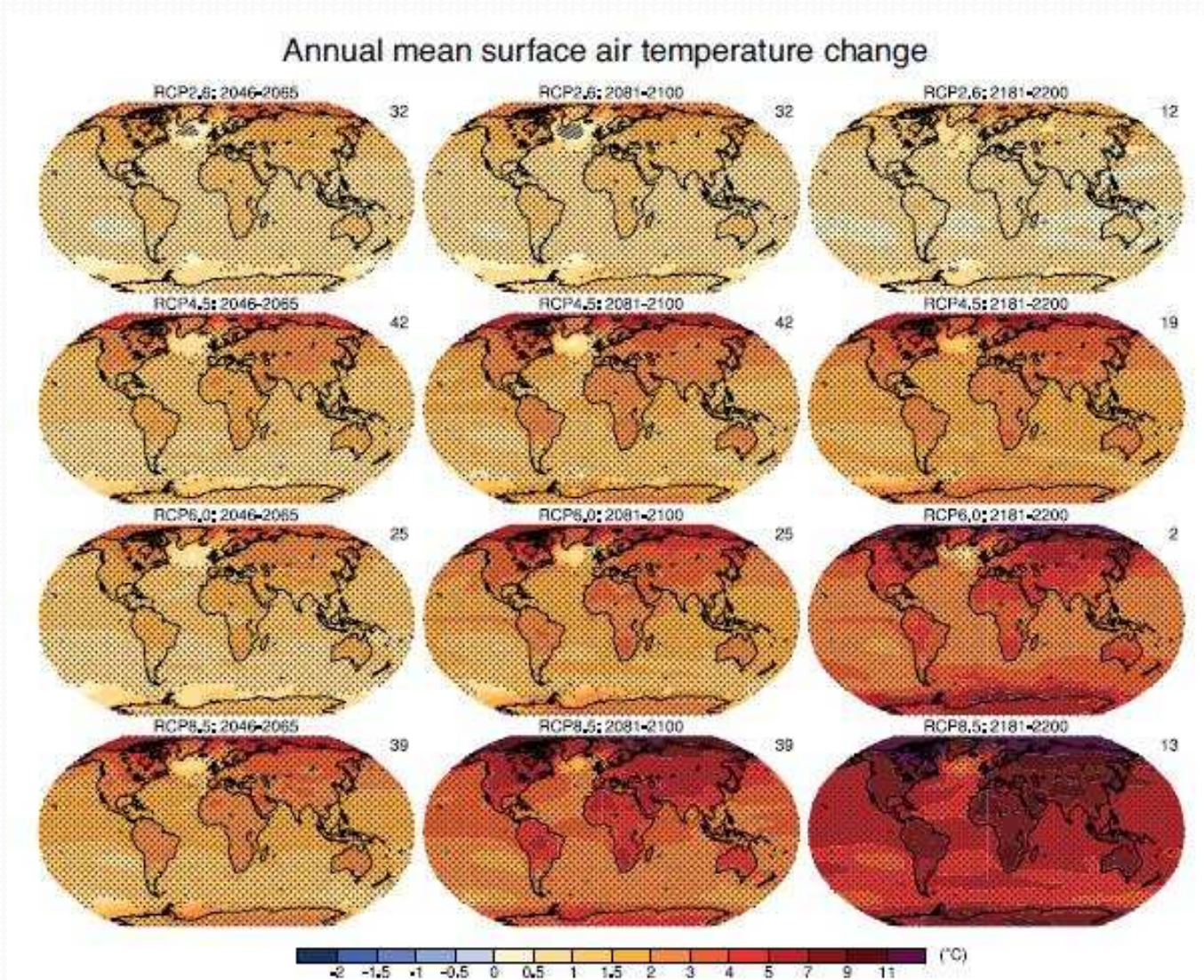


Figure 12.11 | Multi-model ensemble average of surface air temperature change (compared to 1986–2005 base period) for 2046–2065, 2081–2100, 2181–2200 for RCP2.6, 4.5, 6.0 and 8.5. Hatching indicates regions where the multi-model mean change is less than one standard deviation of internal variability. Stippling indicates regions where the multi-model mean change is greater than two standard deviations of internal variability and where at least 90% of the models agree on the sign of change (see Box 12.1). The number of CMIP5 models used is indicated in the upper right corner of each panel.

Zmiany temperatury i opadów na lata 2016-2035 w stosunku do lat 1986-2005

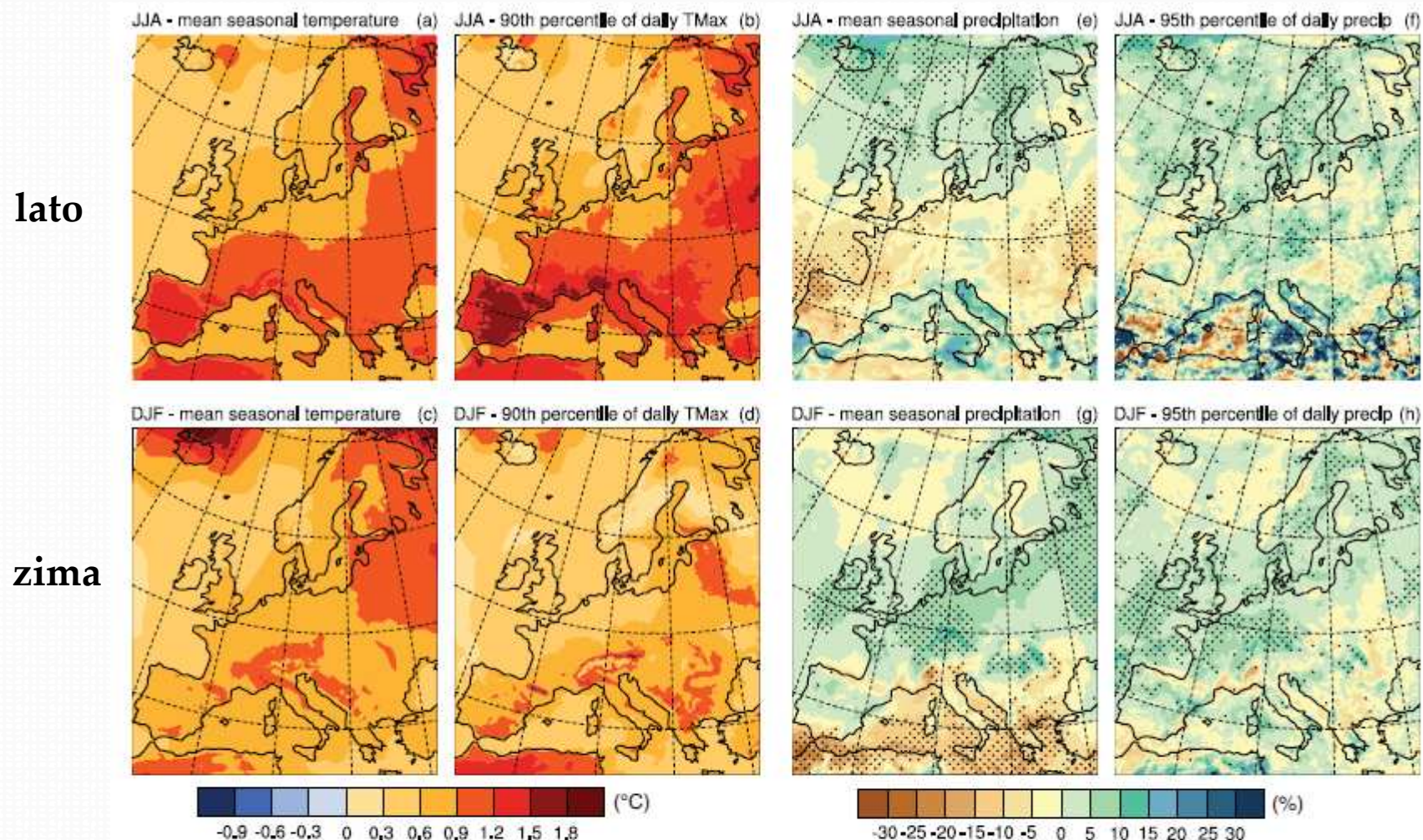


Figure 11.18 | European-scale projections from the ENSEMBLES regional climate modelling project for 2016–2035 relative to 1986–2005, with top and bottom panels applicable to June, July and August (JJA) and December, January, February (DJF), respectively. For temperature, projected changes (°C) are displayed in terms of ensemble mean changes of (a, c) mean seasonal surface temperature, and (b, d) the 90th percentile of daily maximum temperatures. For precipitation, projected changes (%) are displayed in terms of ensemble mean changes of (e, g) mean seasonal precipitation and (f, h) the 95th percentile of daily precipitation. The stippling in (e–h) highlights regions where 80% of the models agree in the sign of the change (for temperature all models agree on the sign of the change). The analysis includes the following 10 GCM-RCM simulation chains for the SRES A1B scenario (naming includes RCM group and GCM simulation): HadRM3Q0-HadCM3Q0, ETHZ-HadCM3Q0, HadRM3Q3-HadCM3Q3, SMHI-HadCM3Q3, HadRM3Q16-HadCM3Q16, SMHI-RCM, DMI-ARPEGE-UMI-ESCM, MPI-ESCM, MPI-ESCM, MPI-ESCM, MPI-ESCM (Barnes et al., 2013).

Zmiany opadów na lata 2081-2100 w stosunku do lat 1986-2005

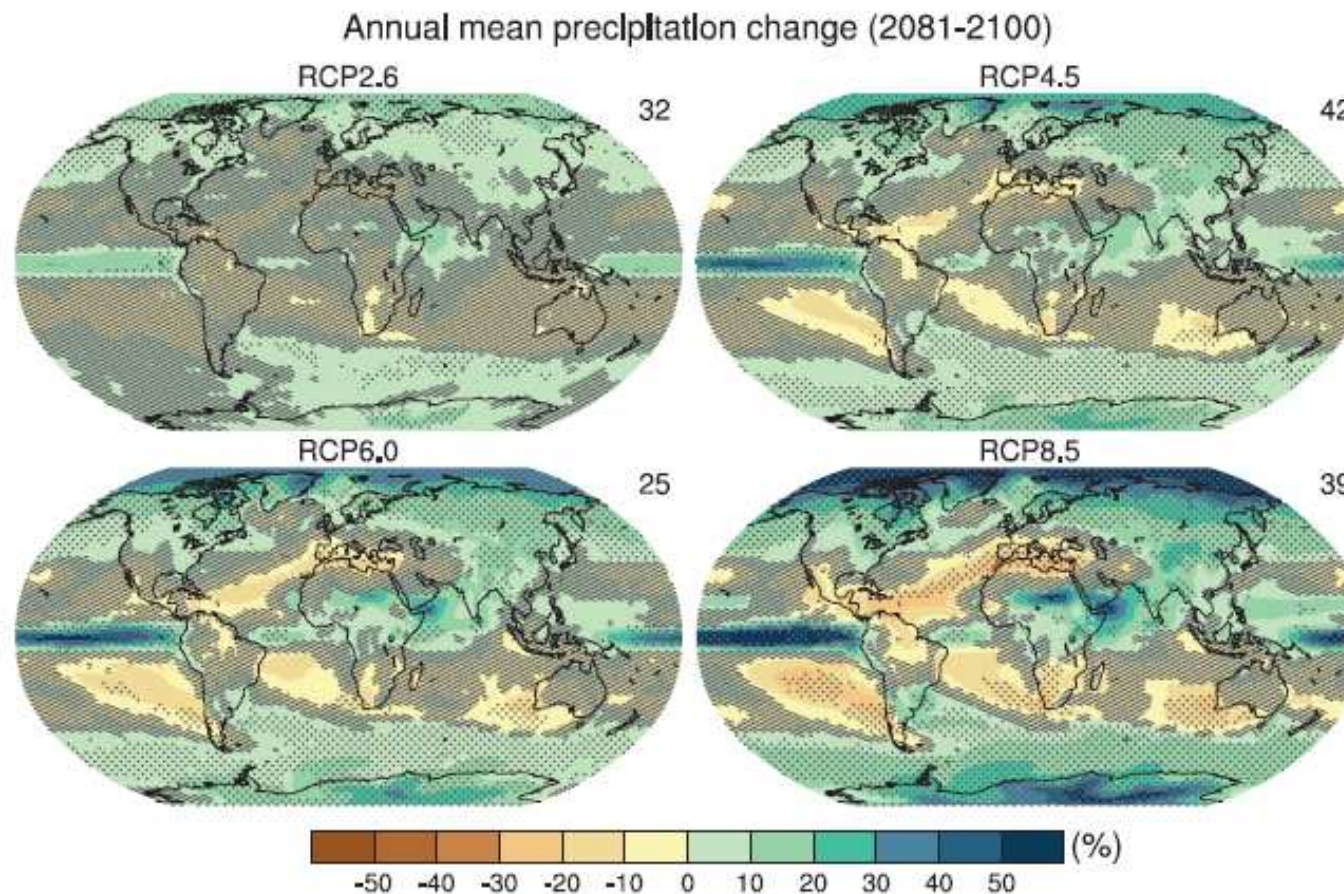


Figure TS.16 | Maps of multi-model results for the scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 in 2081–2100 of average percent change in mean precipitation. Changes are shown relative to 1986–2005. The number of CMIP5 models to calculate the multi-model mean is indicated in the upper right corner of each panel. Hatching indicates regions where the multi-model mean signal is less than 1 standard deviation of internal variability. Stippling indicates regions where the multi-model mean signal is greater than 2 standard deviations of internal variability and where 90% of models agree on the sign of change (see Box 12.1). Further detail regarding the related Figure SPM.8b is given in the TS Supplementary Material. (Figure 12.22; Annex I)

Zmiany zasolenia u temperatury powierzchni oceanów na lata 2016-2035 w stosunku do lat 1986-2005

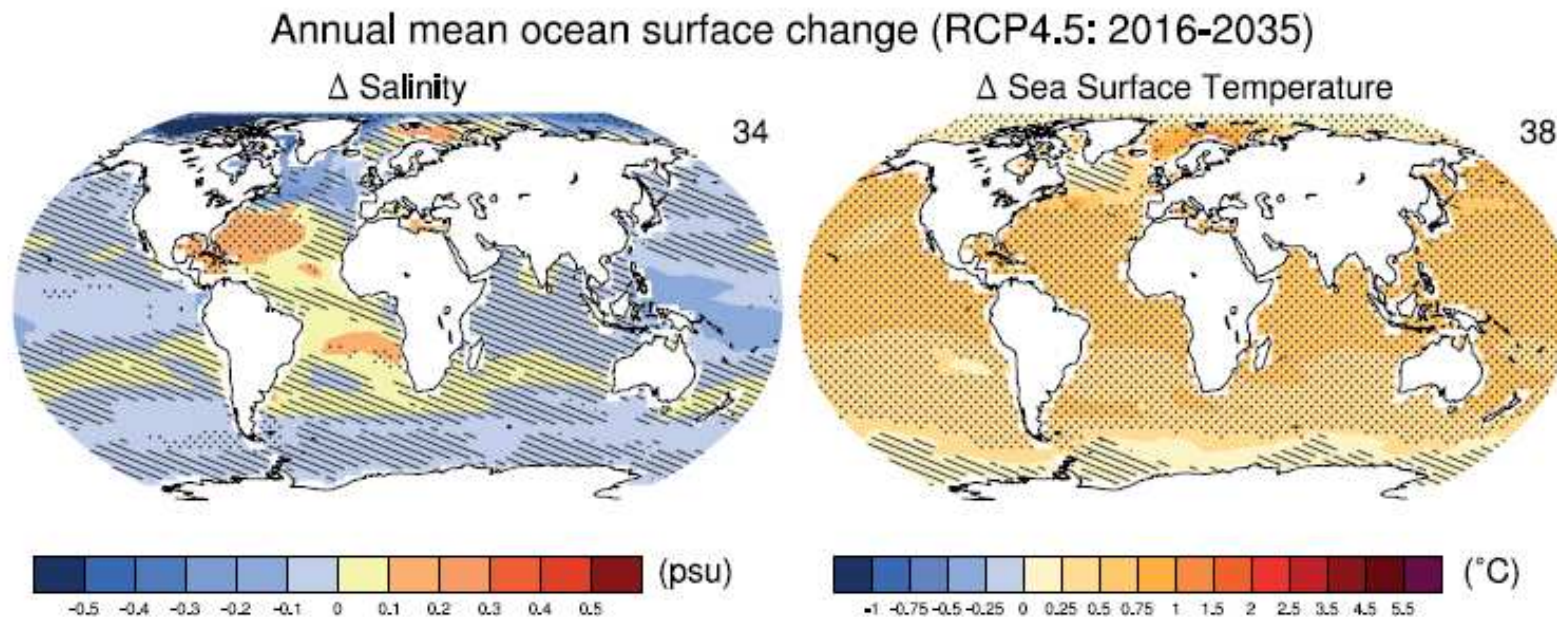
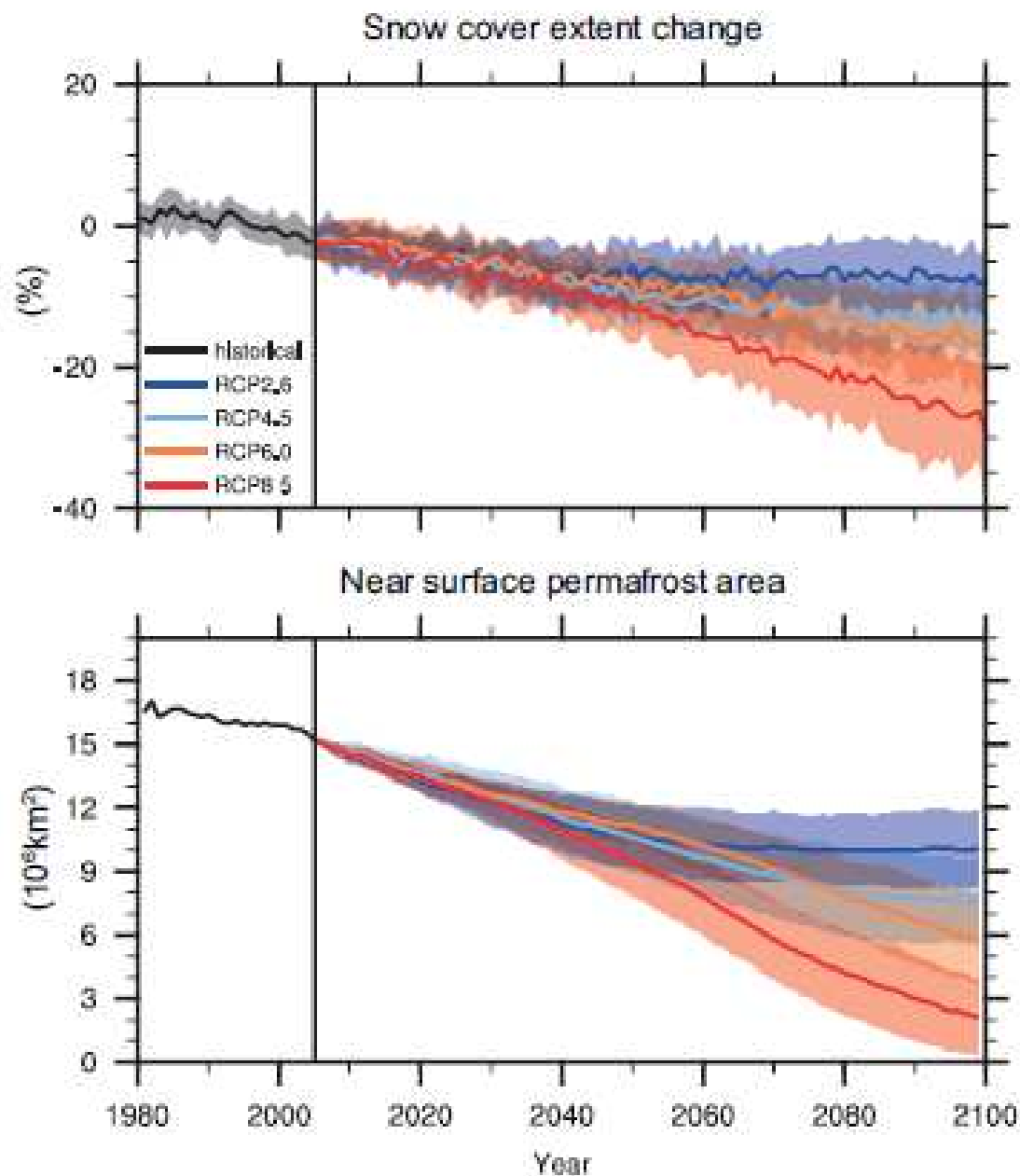
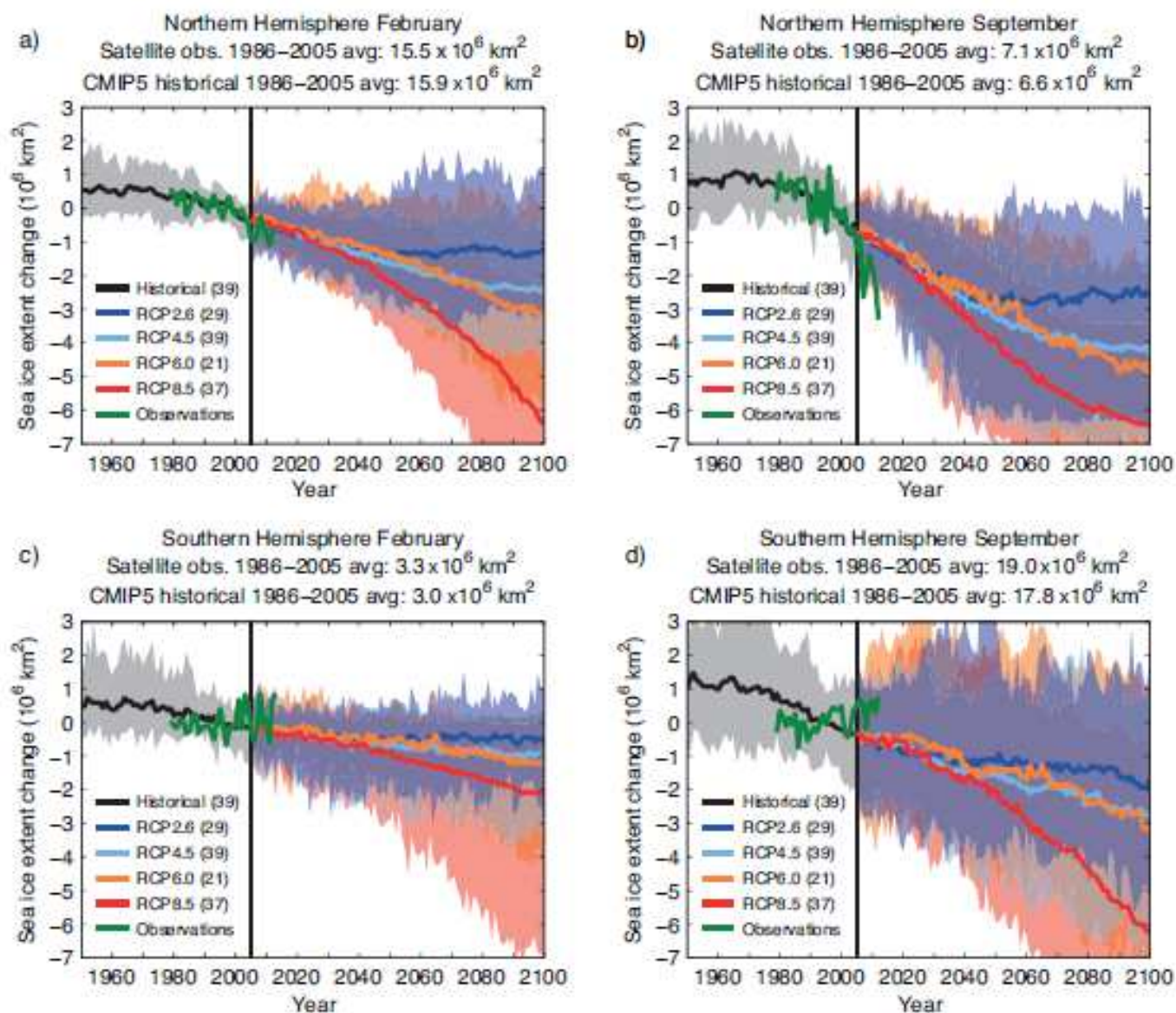


Figure 11.20 | CMIP5 multi-model ensemble mean of projected changes in sea surface temperature (right panel; °C) and sea surface salinity (left panel; practical salinity units) for 2016–2035 relative to 1986–2005 under RCP4.5. The number of CMIP5 models used is indicated in the upper right corner. Hatching and stippling as in Figure 11.10.

Zmiany zasięgu pokrywy śnieżnej i wiecznej zmarzliny



Zmiany zasięgu lodu morskiego



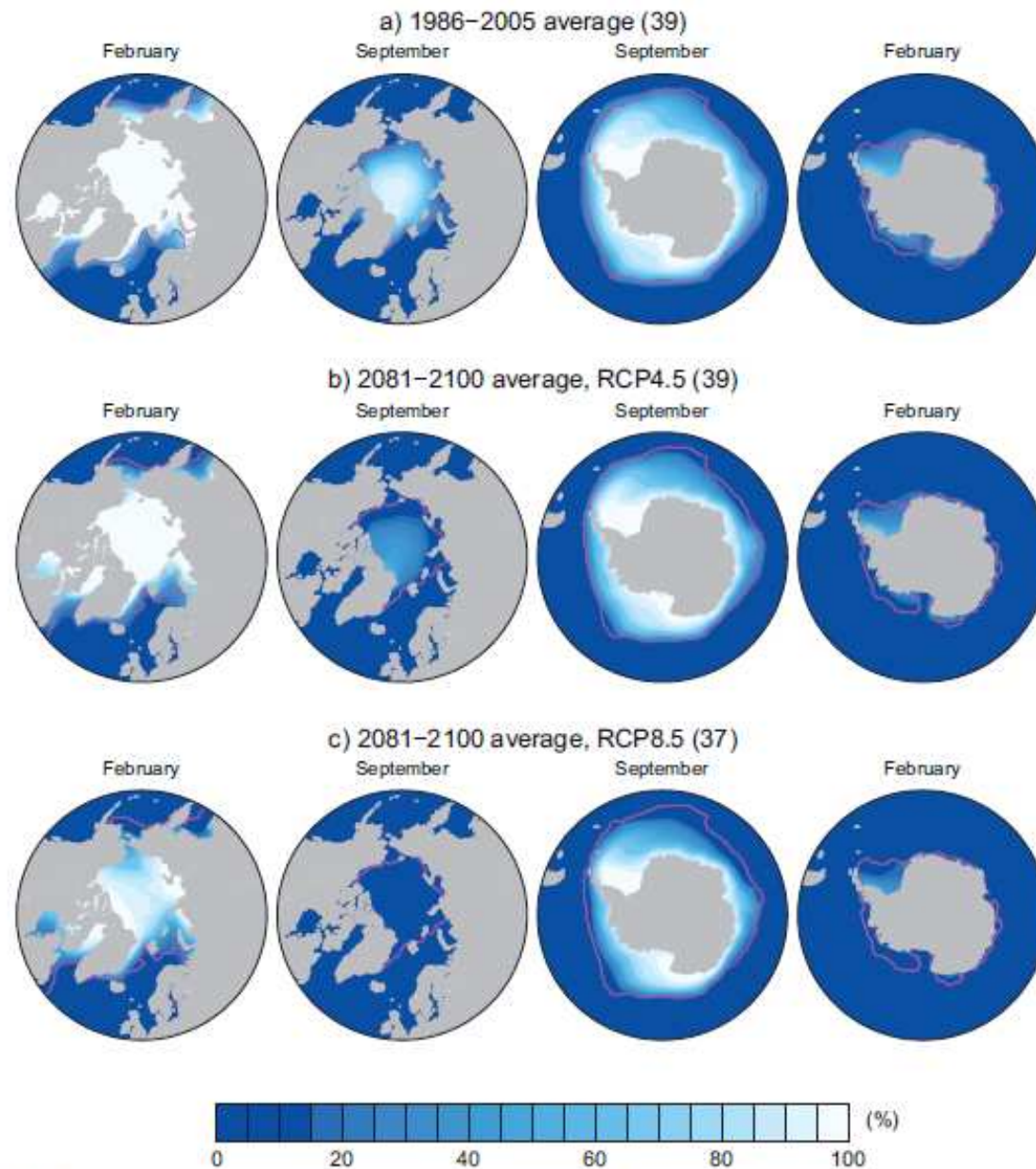


Figure 12.29 | February and September CMIP5 multi-model mean sea ice concentrations (%) in the Northern and Southern Hemispheres for the periods (a) 1986–2005, (b)

Zmiany kwasowości oceanów wg różnych scenariuszy

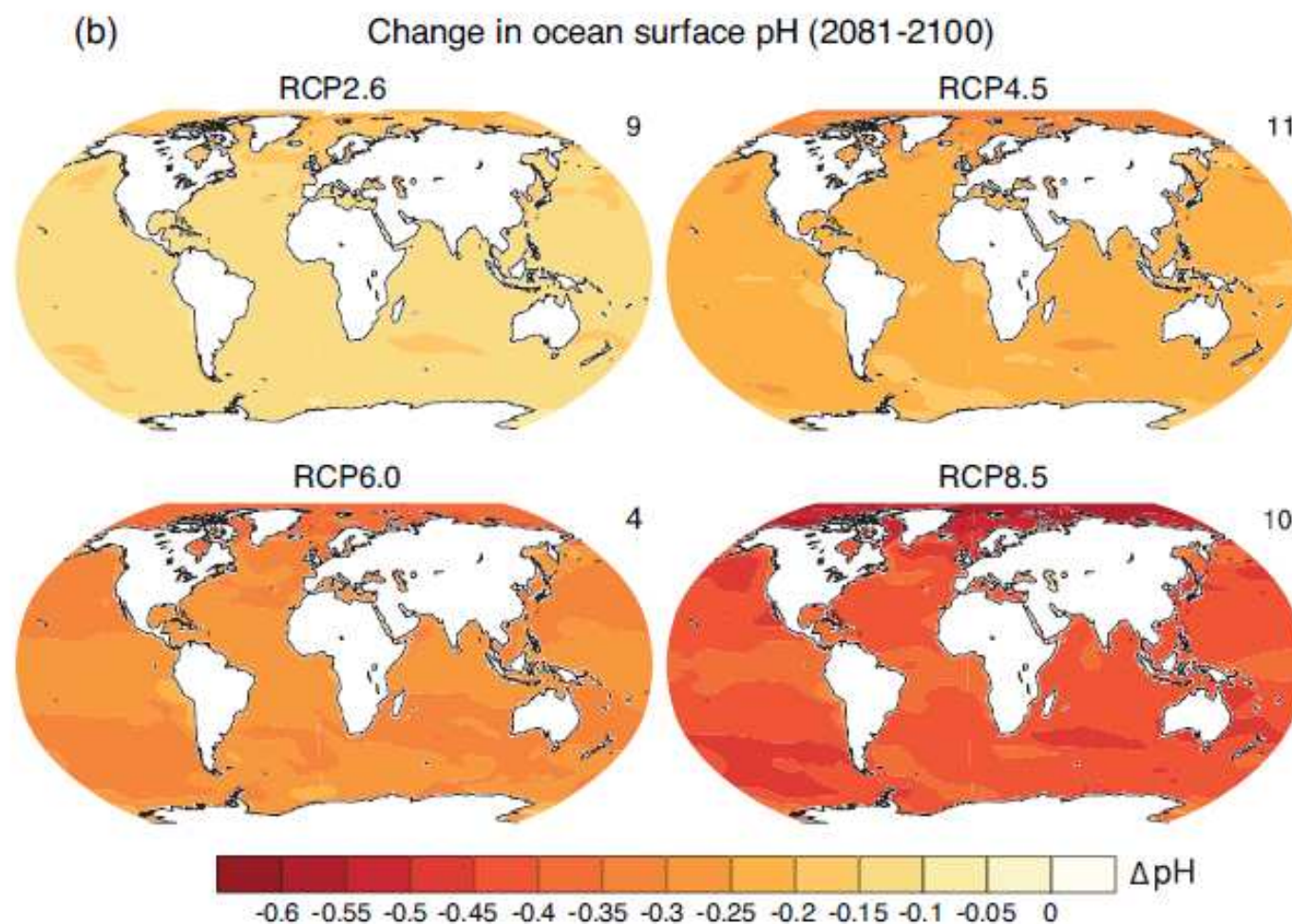
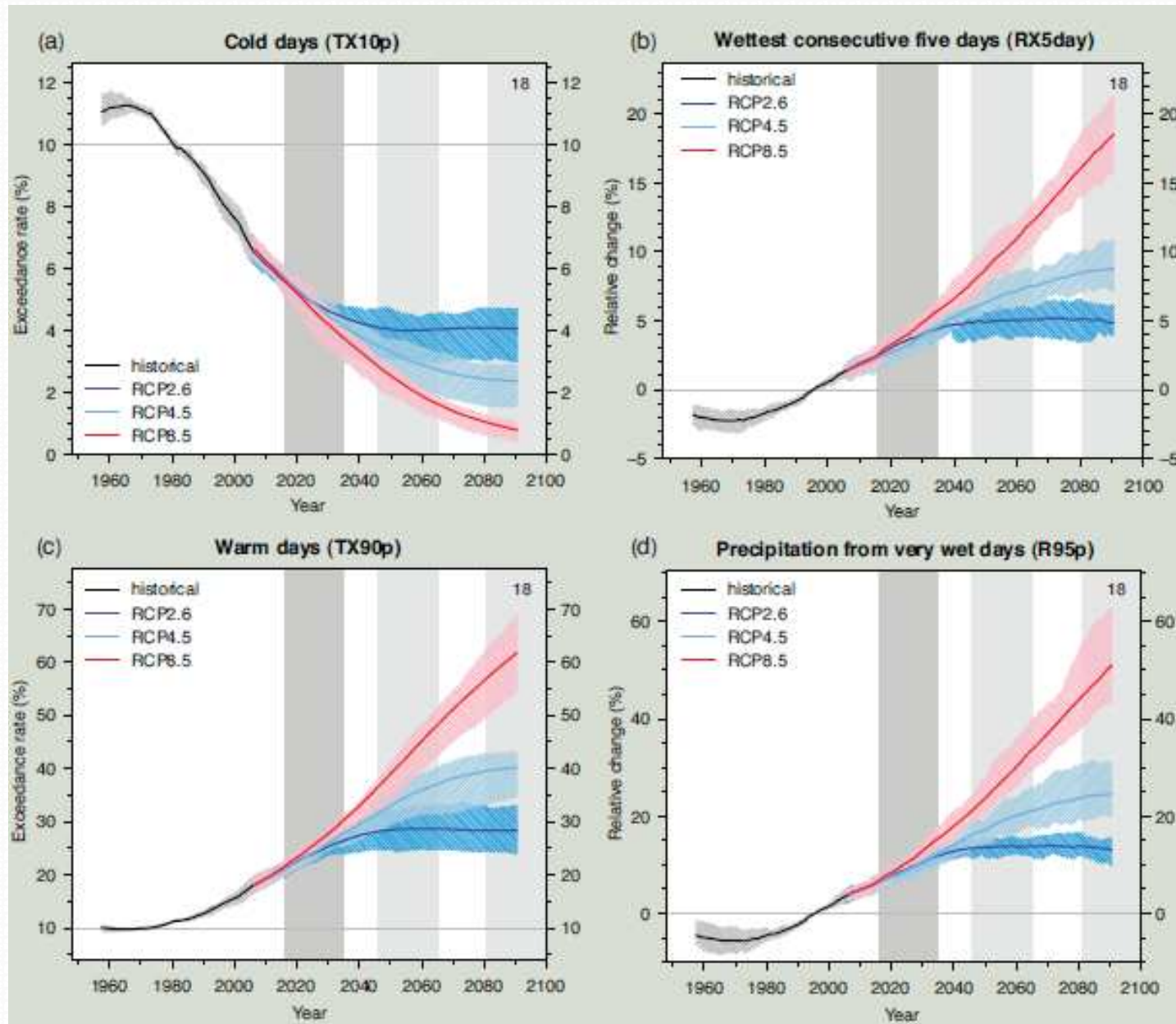
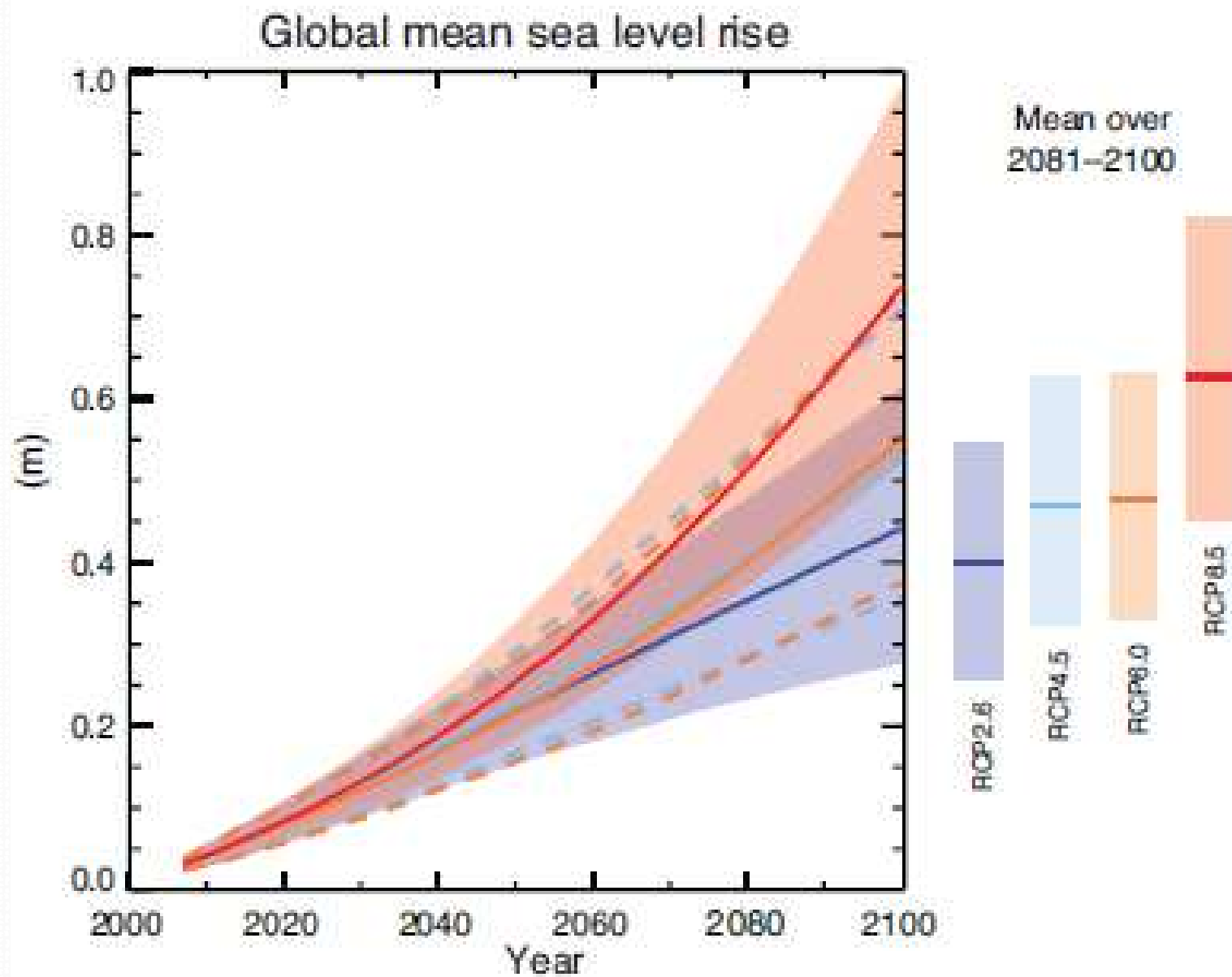


Figure TS.20 | (a) Time series (model averages and minimum to maximum ranges) and (b) maps of multi-model surface ocean pH for the scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 in 2081–2100. The maps in (b) show change in global ocean surface pH in 2081–2100 relative to 1986–2005. The number of CMIP5 models to calculate the multi-model mean is indicated in the upper right corner of each panel. Further detail regarding the related Figures SPM.7c and SPM.8.d is given in the TS Supplementary Material. [Figure 6.28]

Zmiany indeksów klimatycznych



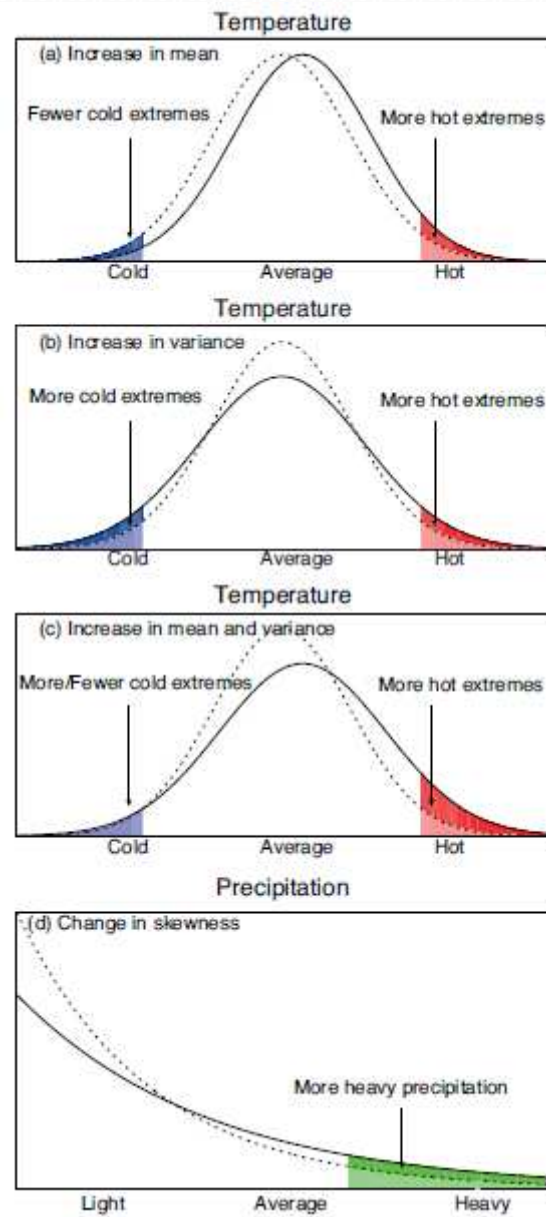
Zmiany poziomu morza



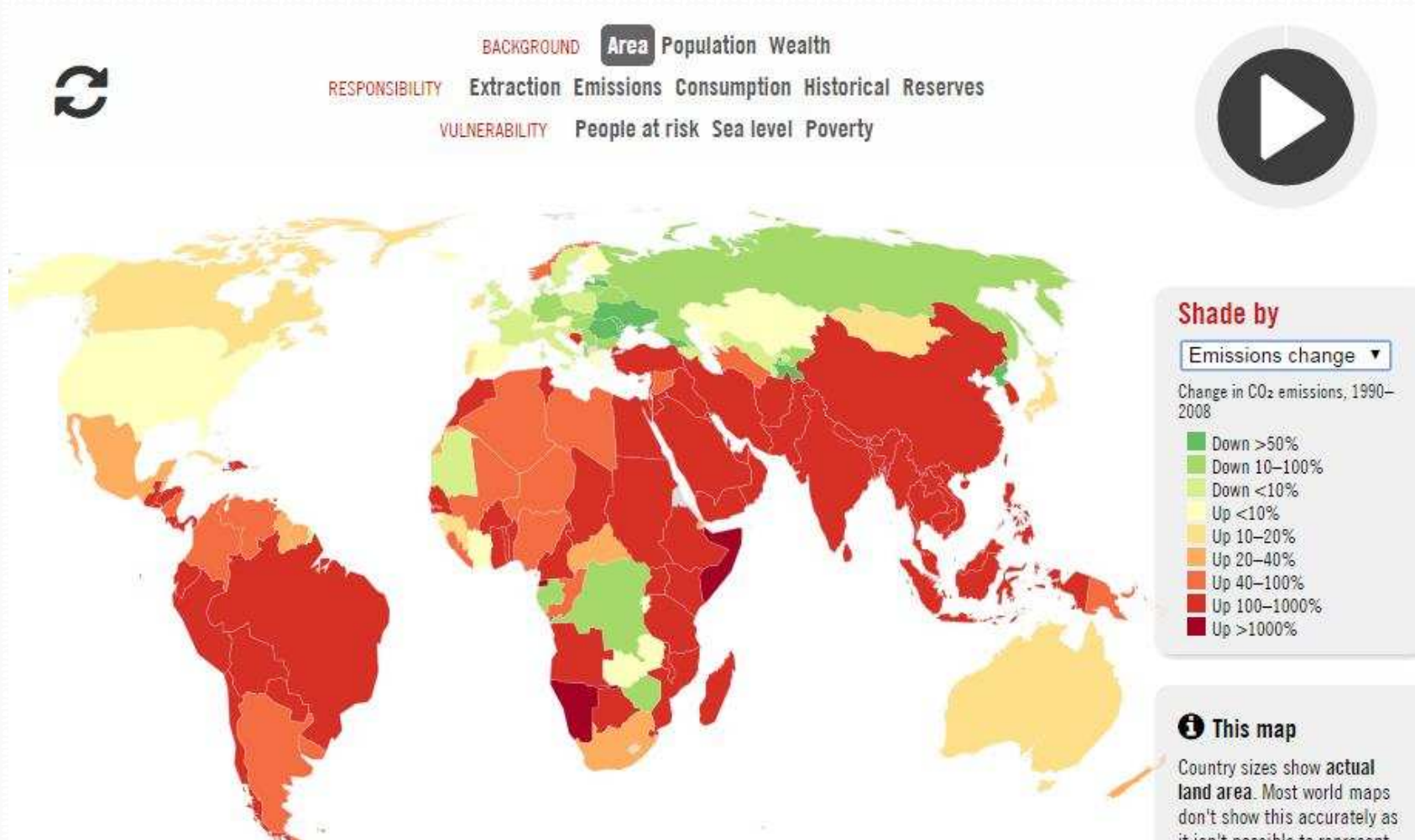


Dziękuję za uwagę!





Climate Variability and Extremes
during the Past 100 Years OZON



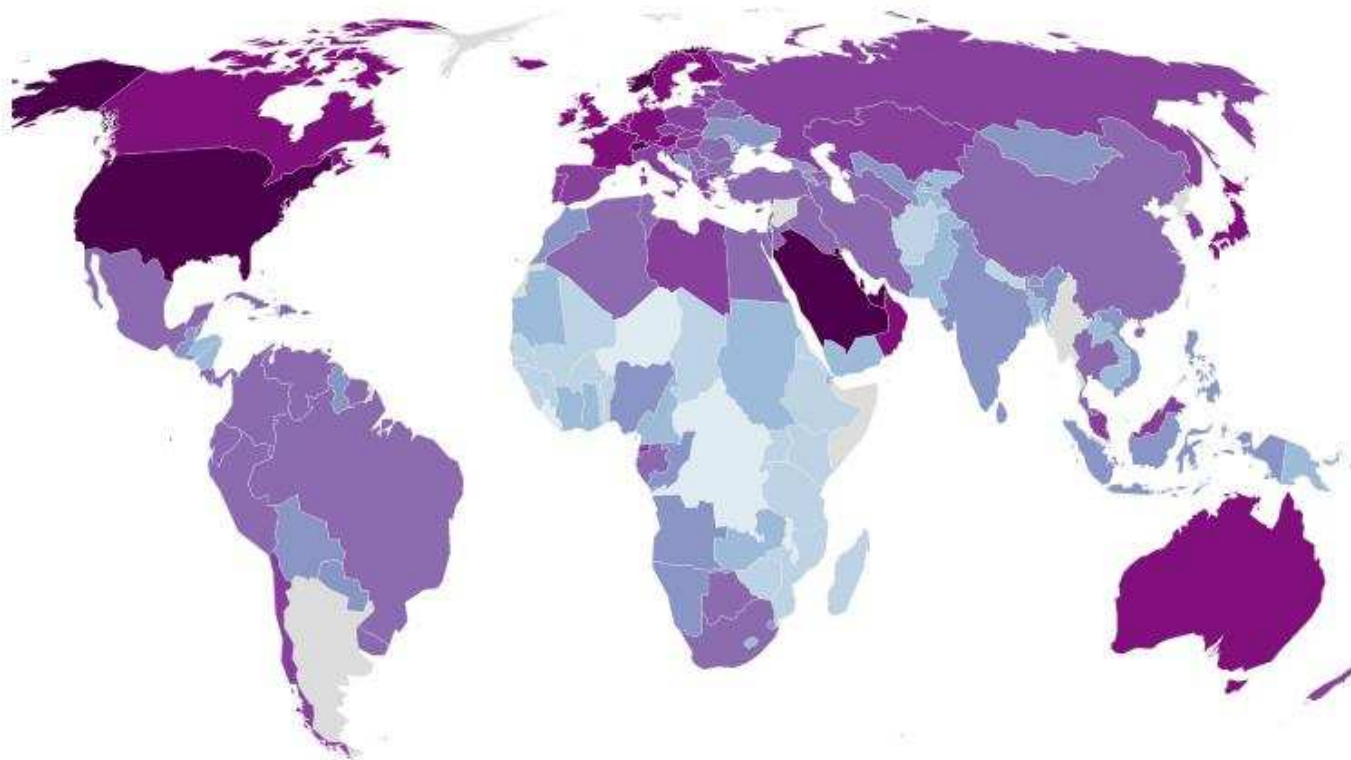
http://www.theguardian.com/environment/ng-interactive/2014/sep/23/carbon-map-which-countries-are-responsible-for-climate-change?CMP=fb_gu



BACKGROUND **Area** Population Wealth

RESPONSIBILITY Extraction Emissions Consumption Historical Reserves

VULNERABILITY People at risk Sea level Poverty



Shade by

GDP per person ▼

Gross domestic product per person based on PPP, 2010

- < \$500
- \$500–1000
- \$1000–2500
- \$2500–5000
- \$5000–10000
- \$10000–20000
- \$20000–35000
- \$35000–50000
- > \$50000

i This map

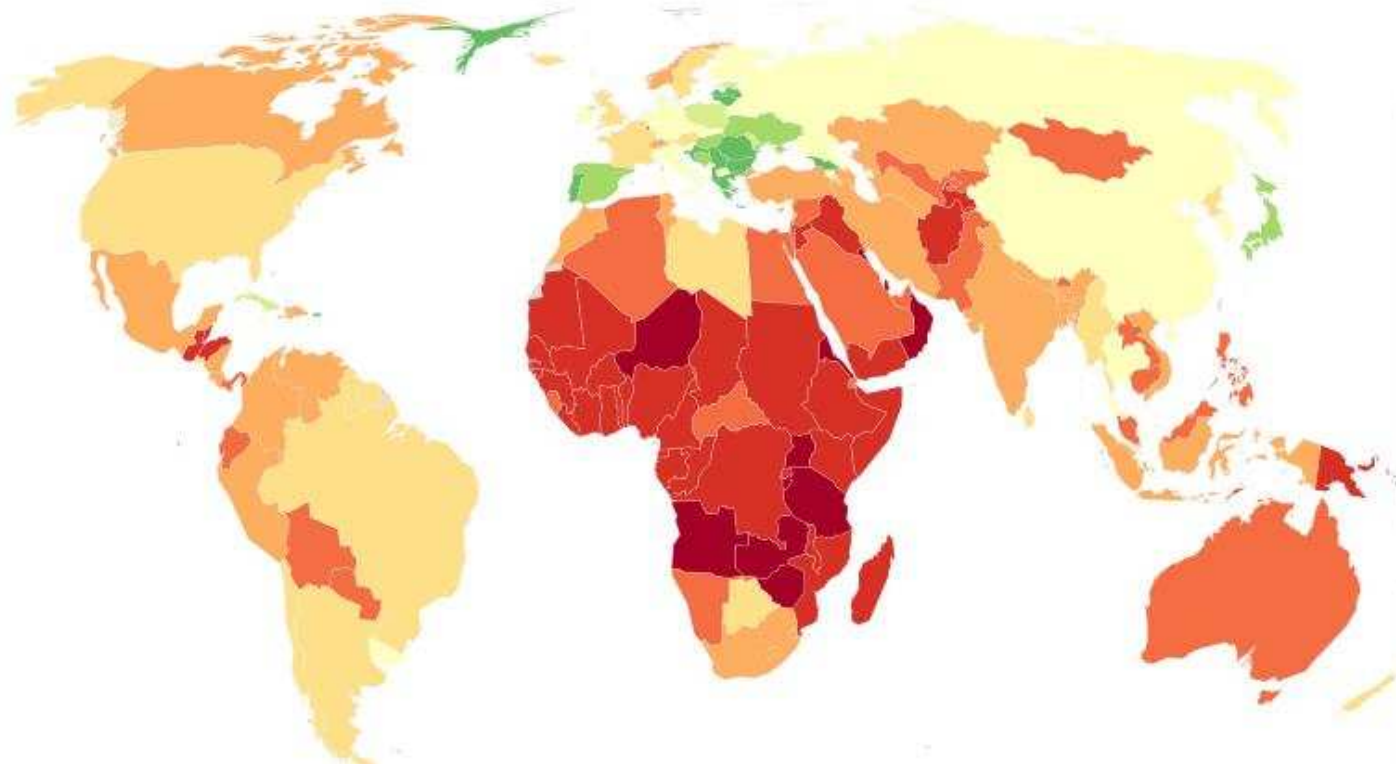
Country sizes show **actual land area**. Most world maps don't show this accurately as it isn't possible to represent



BACKGROUND **Area** Population Wealth

RESPONSIBILITY Extraction Emissions Consumption Historical Reserves

VULNERABILITY People at risk Sea level Poverty



Shade by

Population growth ▾

Annual rate of population change, 2010

- Down >0.25%
- Down 0.25–0.1%
- Down <0.1%
- Up <0.5%
- Up 0.5–1%
- Up 1–1.5%
- Up 1.5–2%
- Up 2–3%
- Up >3%

i This map

Country sizes show **actual land area**. Most world maps don't show this accurately as it isn't possible to represent



BACKGROUND Area Population Wealth

RESPONSIBILITY Extraction **Emissions** Consumption Historical Reserves

VULNERABILITY People at risk Sea level Poverty



Shade by

CO₂ per person ▾

CO₂ per person from energy and cement, 2008 (tonnes)

- < 0.25
- 0.25–0.5
- 0.5–1
- 1–3
- 3–6
- 6–10
- 10–15
- 15–20
- > 20

i This map

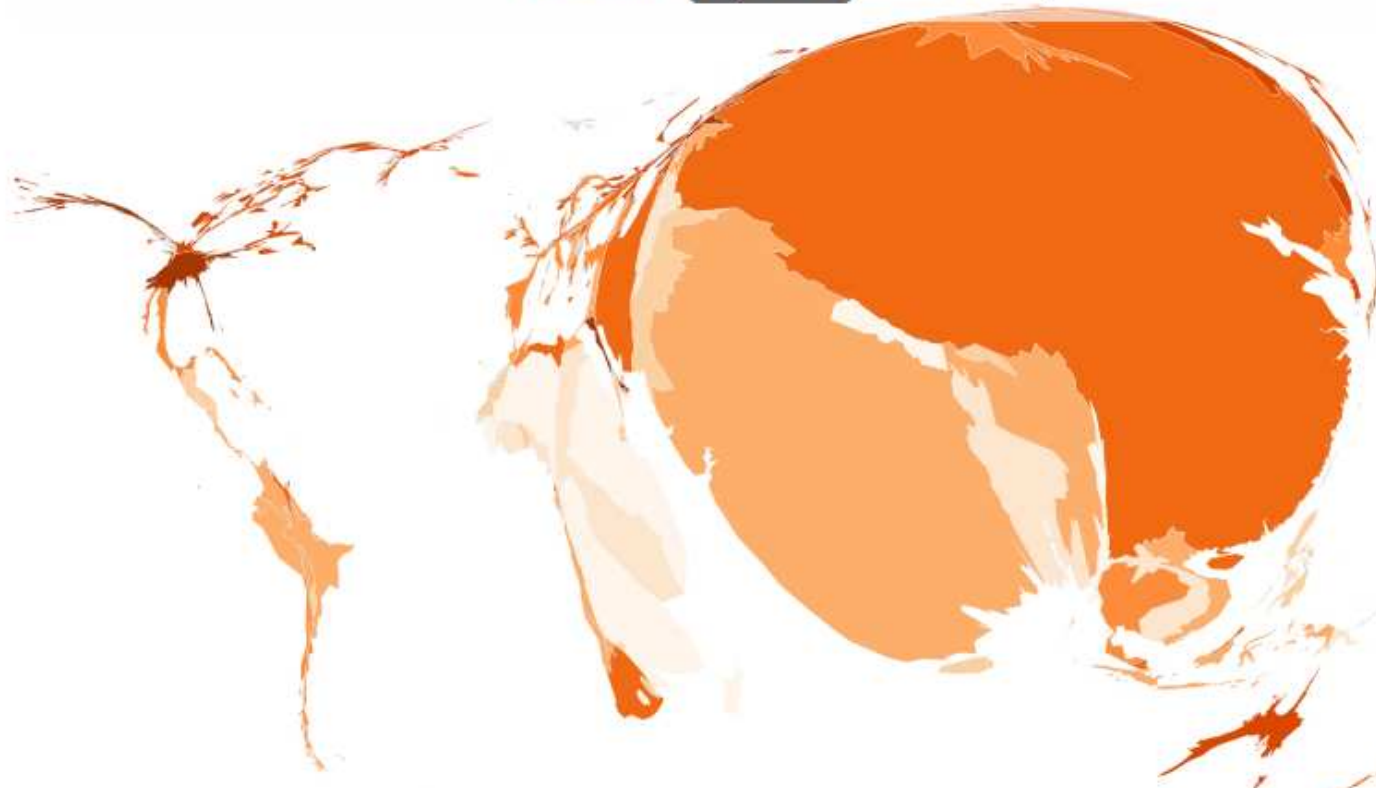
Countries are sized to show their annual CO₂ emissions from fossil fuel use and cement production. This is



BACKGROUND Area Population Wealth

RESPONSIBILITY Extraction Emissions Consumption Historical Reserves

VULNERABILITY People at risk Sea level Poverty



Shade by

CO₂ per person ▼

CO₂ per person from energy and cement, 2008 (tonnes)

- < 0.25
- 0.25–0.5
- 0.5–1
- 1–3
- 3–6
- 6–10
- 10–15
- 15–20
- > 20

i This map

Country sizes show the number of people injured, left homeless, displaced or requiring emergency assistance due to floods, droughts or extreme



BACKGROUND Area Population Wealth

RESPONSIBILITY Extraction Emissions Consumption Historical Reserves

VULNERABILITY People at risk **Sea level** Poverty



Shade by

CO₂ per person ▼

CO₂ per person from energy and cement, 2008 (tonnes)

- < 0.25
- 0.25–0.5
- 0.5–1
- 1–3
- 3–6
- 6–10
- 10–15
- 15–20
- > 20

i This map

Country sizes show the number of people living less than 5m above sea level. Some low-lying populations will find themselves exposed to rising sea levels in the coming decades and centuries.