



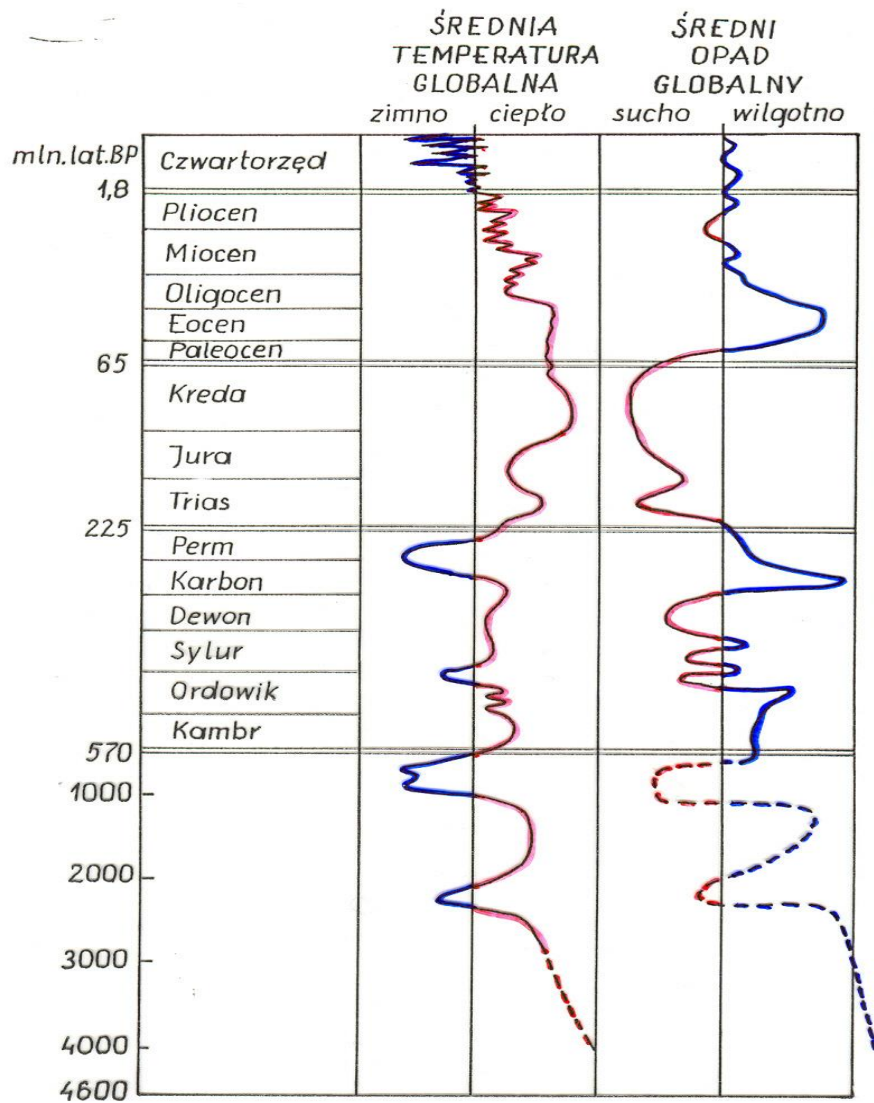
NICOLAUS COPERNICUS
UNIVERSITY
IN TORUŃ

Współczesne i przyszłe zmiany klimatu globalnego

Rajmund Przybylak

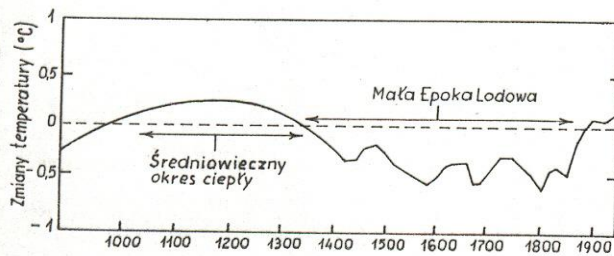
rp11@umk.pl

16.12.2023

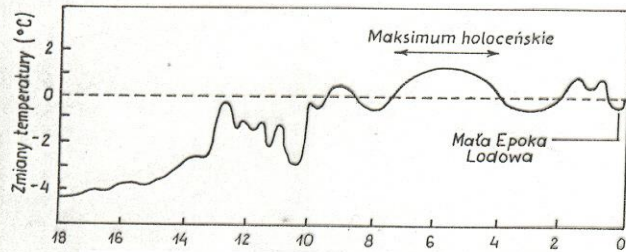


Rys. 1.1. Zgeneralizowane zmiany temperatury i opadów atmosferycznych w historii życia Ziemi. Trendy oznaczono linią przerywaną dla okresów dla których jest bardzo mało danych. Krzywe reprezentują jedynie względne wielkości szacunkowych odchyłeń analizowanych elementów od wartości współczesnych.

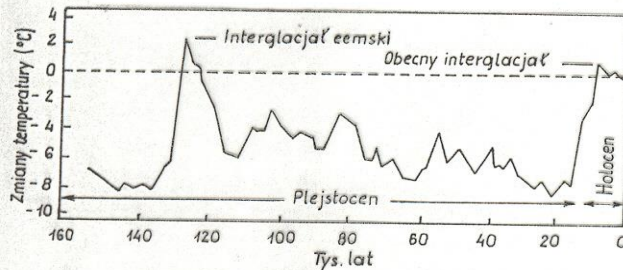
Zródło: Frakes, 1979.



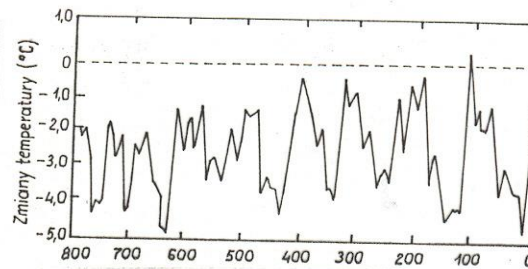
Rys. 1. Zmiany temperatury powietrza dla ostatnich 1000 lat oszacowanych z różnych źródeł (indeksów pierścieni drzew i różnych rodzajów zapisów pisanych), głównie z obszaru zachodniej Europy i wschodniej Amer. Pn.. Pokazano odchylenia temperatury od jej wartości dla 1900 r.
Bradley R. S. i Eddy J. A., 1991, *EarthQuest*, 5, 1.



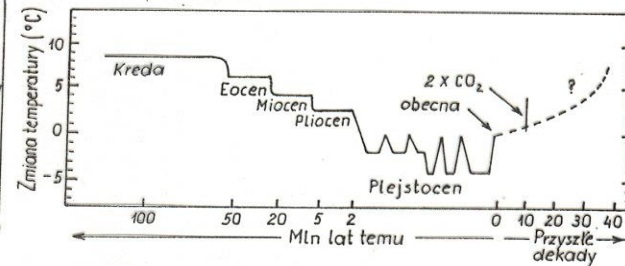
Rys. 2. Zmiany temperatury regionalnej w ostatnich 18000 latach oszacowane z różnych źródeł. Pokazano odchylenia temperatury od jej wartości dla 1900 r.
Bradley R. S. i Eddy J. A. 1991, *EarthQuest*, 5, 1.



Rys. 3. Temperatura powietrza w pobliżu Antarktydy (na podstawie stosunku ciężkiego izotopu wodoru z rdzenia lodowego Vostok). Pokazano odchylenia temperatury od jej wartości dla 1900 r.
Bradley R. S. i Eddy J. A. 1991, *EarthQuest*, 5, 1.



Rys. 4. Oszacowanie temperatury powietrza dla ostatnich 800 tys. lat na podstawie stosunku izotopów tlenu O^{16} do O^{18} w skorupkach planktonu znajdującego się na dnie morza. Wykorzystanie izotopów tlenu jest oparte o założenie, że zmiany temperatury globalnej w przybliżeniu naśladują globalne zmiany objętości lodu. Pokazano odchylenia temperatury od jej współczesnych wartości.
Imbrie J. i in. 1984, w: A. Berger i in. (red), *Milankovitch and Climate*, s. 269-305.

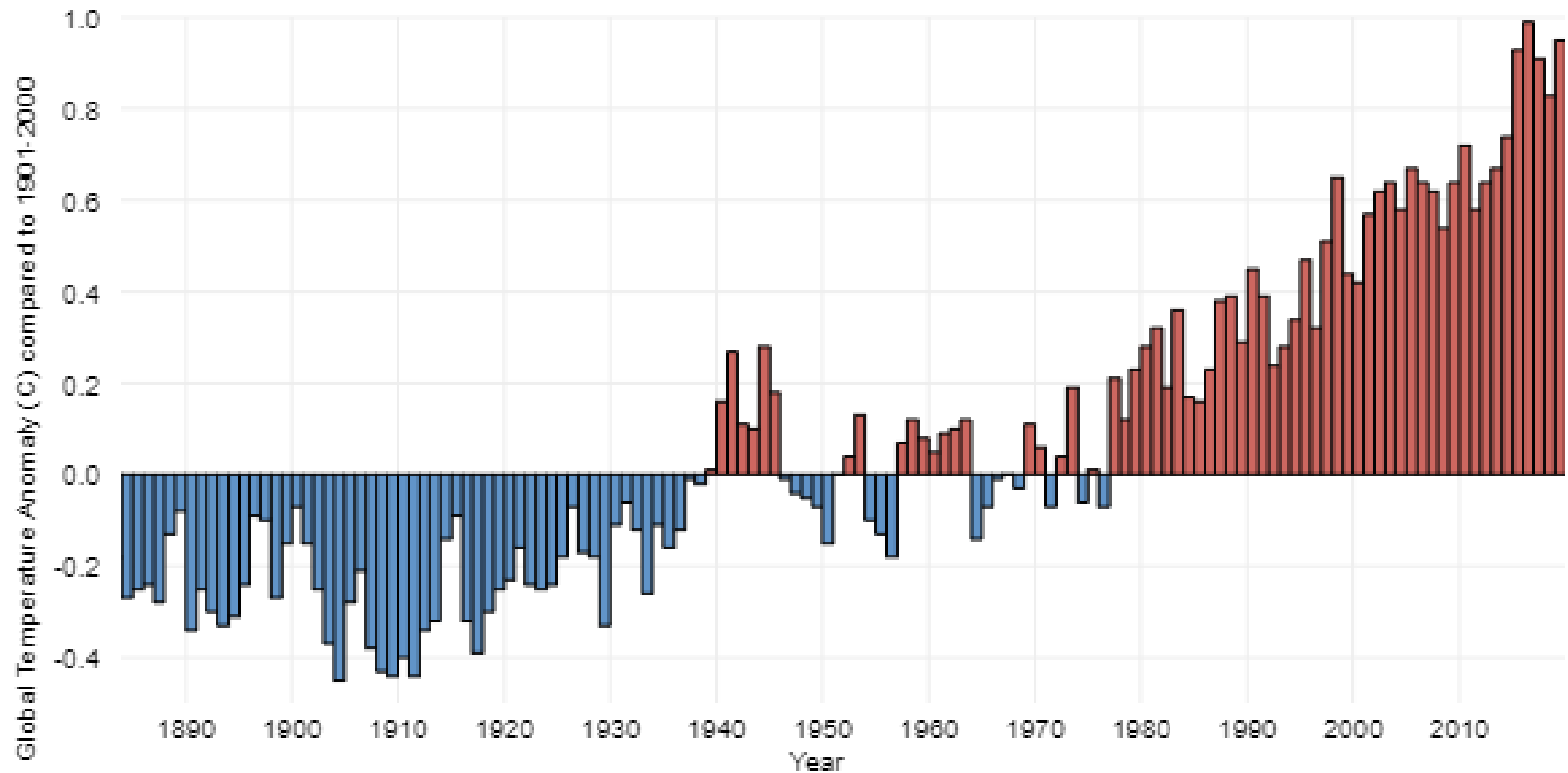


Rys. 5. Schematyczna rekonstrukcja średniej temperatury globalnej w okresie ostatnich 100 mln lat w oparciu o różne osady morskie i lądowe.
Crowley T. J., 1990, *J. of Climate*, 3, s. 1282-1292.

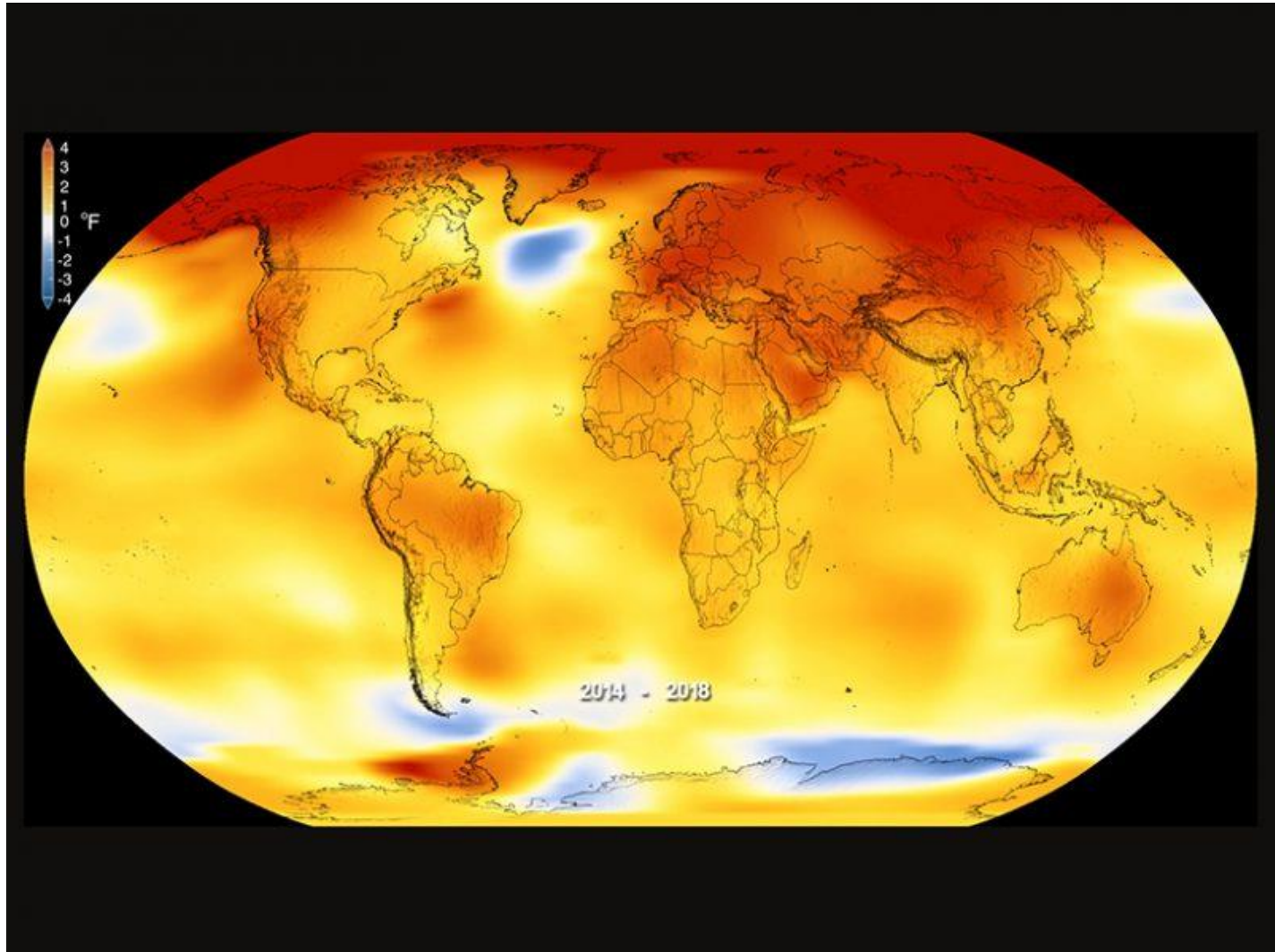
**Czy klimat globalny się
ocieplił w ostatnich 160-
170 latach?**

Zmiany średniej temperatury rocznej w okresie 1880-2019

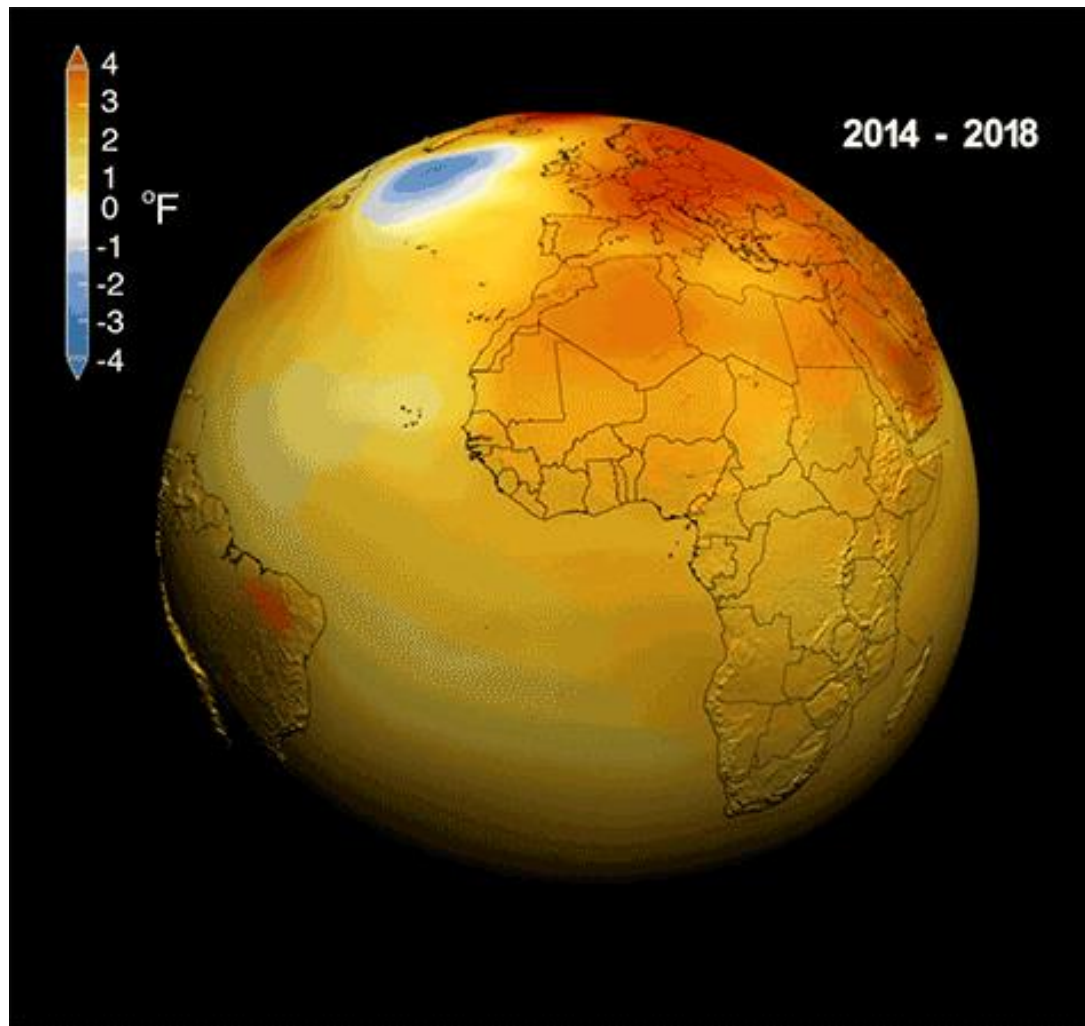
<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>



Anomalie temperatury powietrza na kuli ziemskiej w latach 2014-2018 względem okresu 1951-1980 (NASA's Goddard Space Flight Center, EOS 2019)

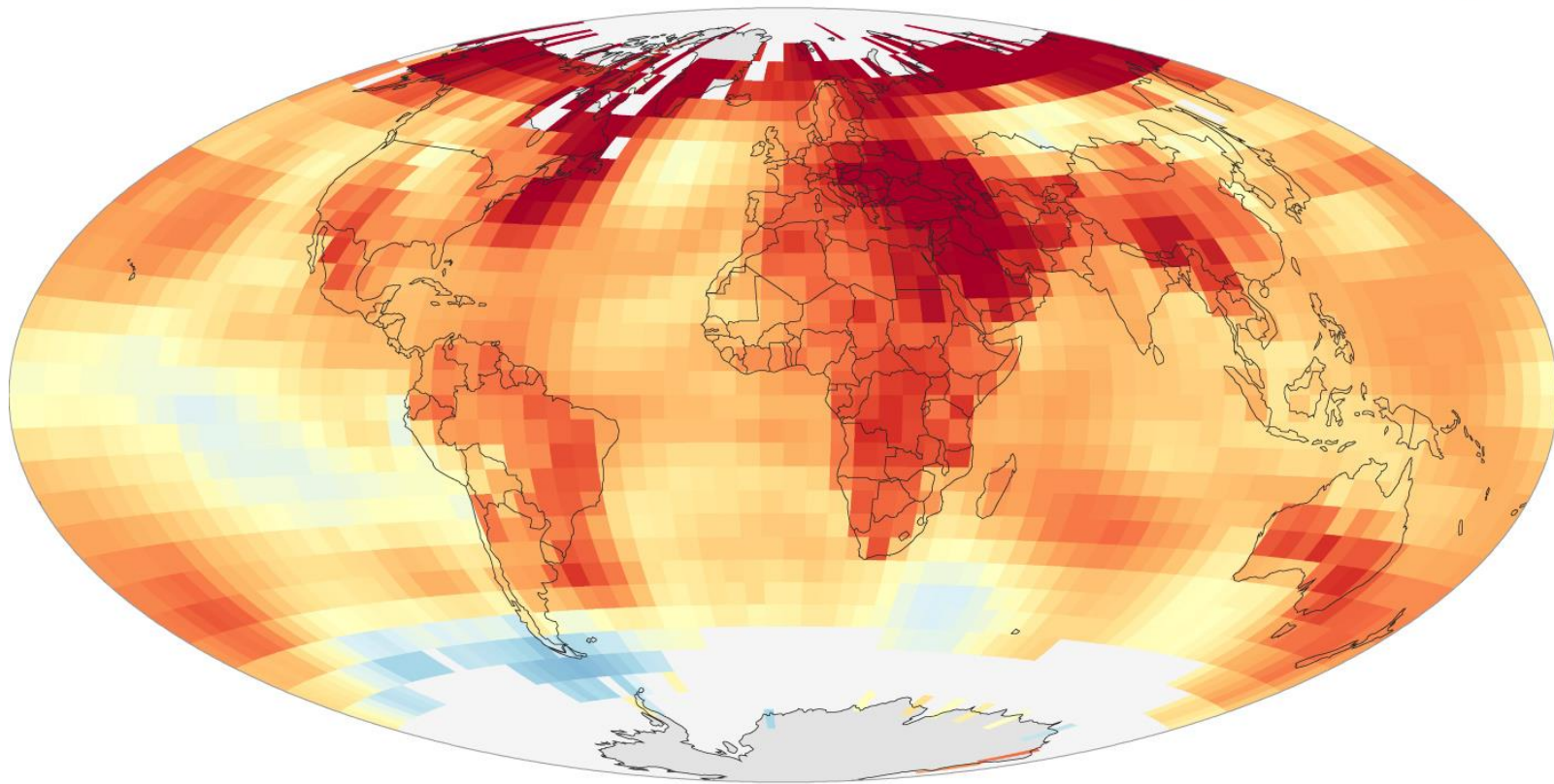


Anomalie temperatury powietrza na kuli ziemskiej w latach 2014-2018 względem okresu 1951-1980 (NASA's Goddard Space Flight Center, EOS 2019)



Trendy temperatury powietrza na kuli ziemskiej w latach 1990-2019

RECENT TEMPERATURE TRENDS (1990-2019)



Change in temperature ($^{\circ}\text{F}/\text{decade}$)

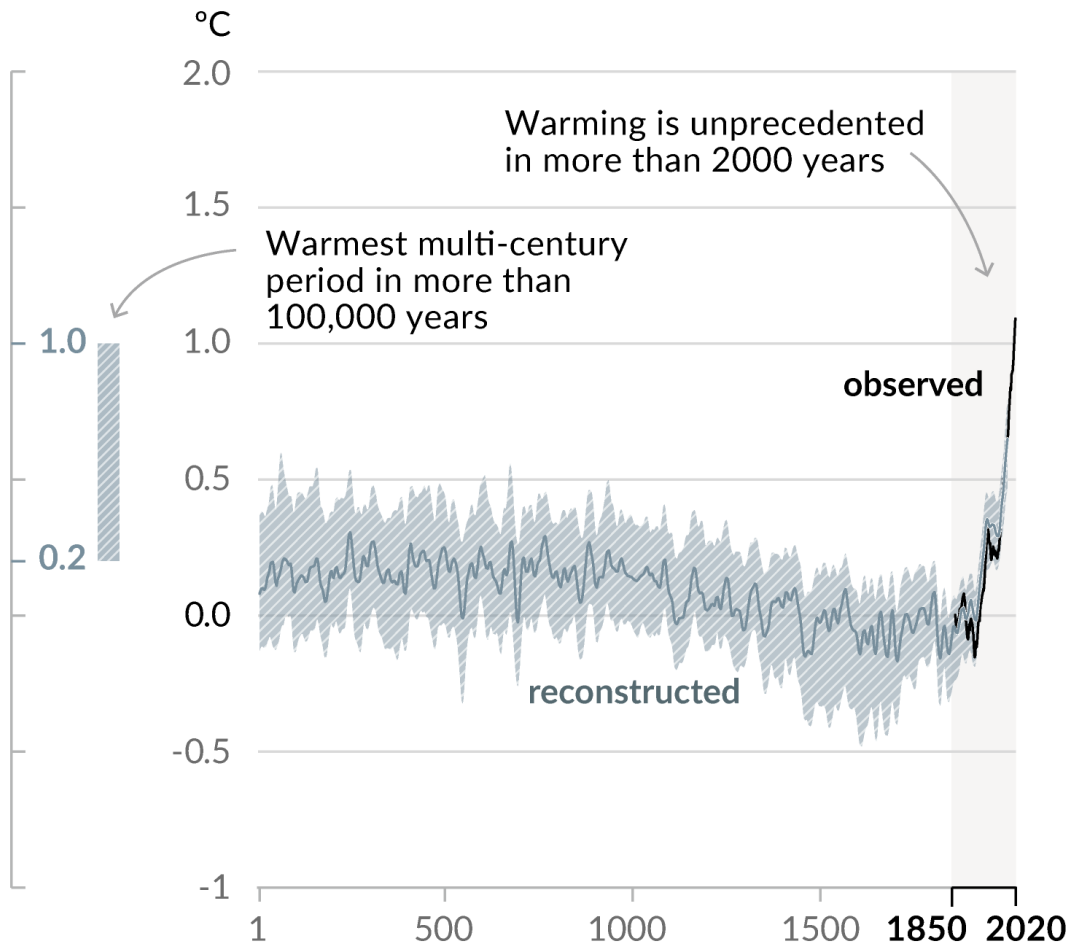


NOAA Climate.gov
Data: NCEI

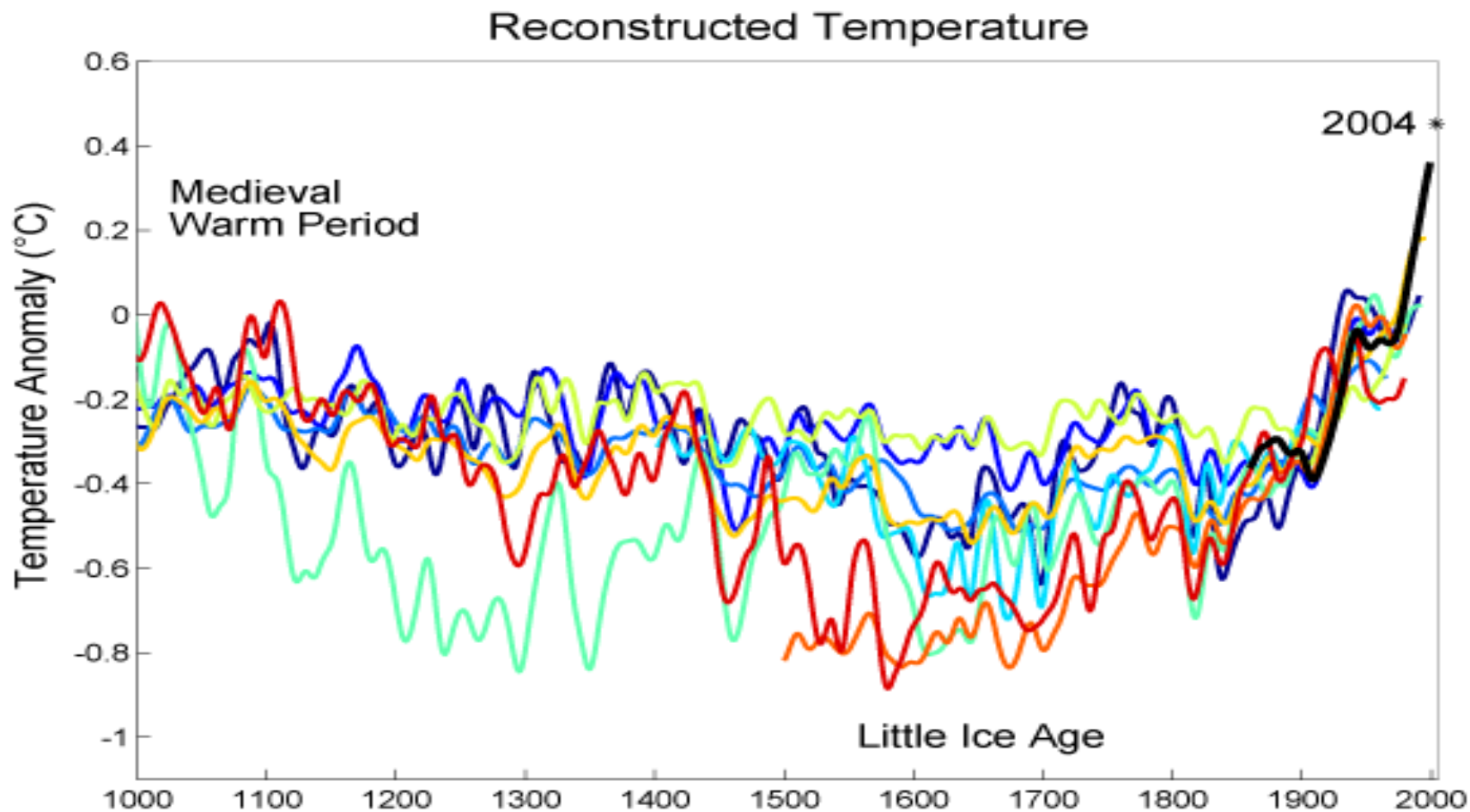
<https://climate.nasa.gov/climate-resources/101/video-global-temperature-variation/>

Zmiany średniej temperatury rocznej w ostatnich 2000 lat zrekonstruowanej (1-2000) i obserwowanej (1850-2020) (IPCC 2021)

a) Change in global surface temperature (decadal average) as **reconstructed** (1-2000) and **observed** (1850-2020)

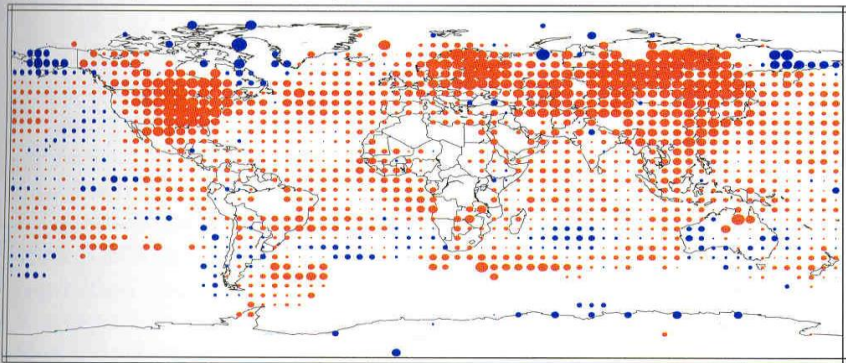


Zmiany średniej temperatury rocznej w ostatnim tysiącleciu wg 9 różnych rekonstrukcji (linia czerwona – Moberg et al. 2005)

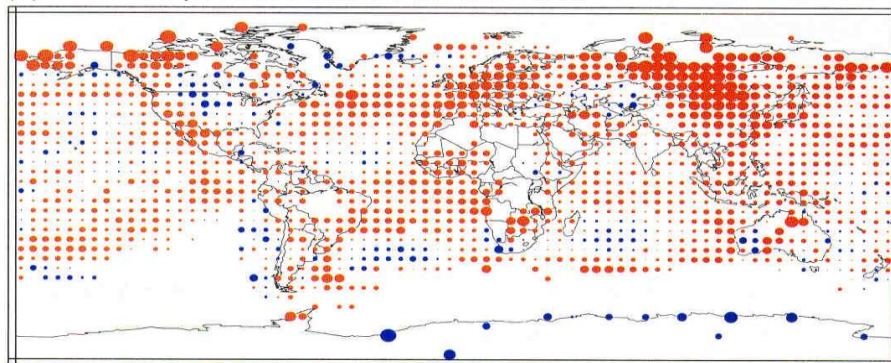


Trendy średnich sezonowych temperatury powietrza, 1976-2000

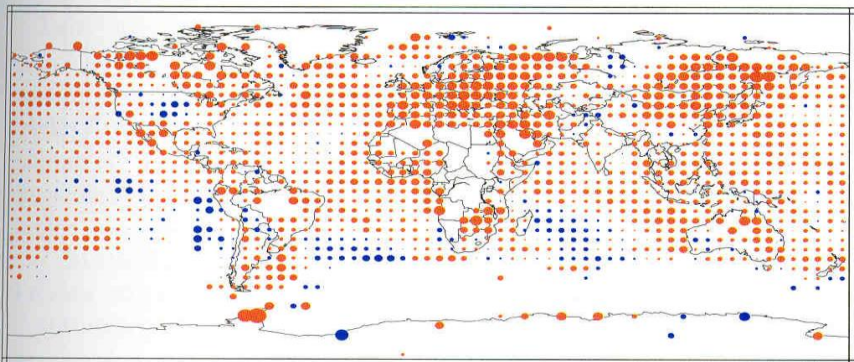
(a) DJF temperature trends, 1976 to 2000



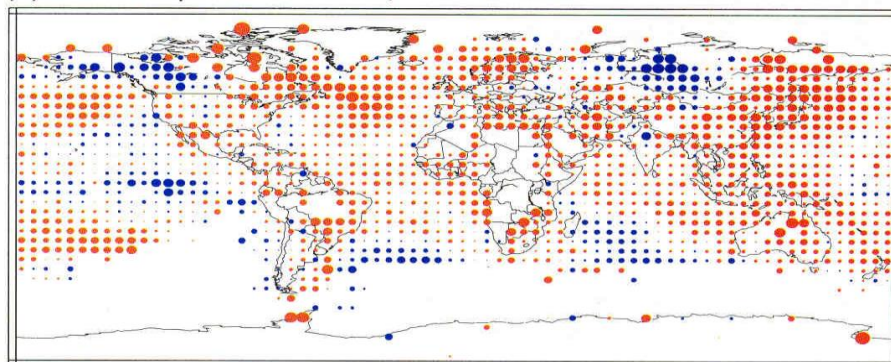
(b) MAM temperature trends, 1976 to 2000



(c) JJA temperature trends, 1976 to 2000



(d) SON temperature trends, 1976 to 2000

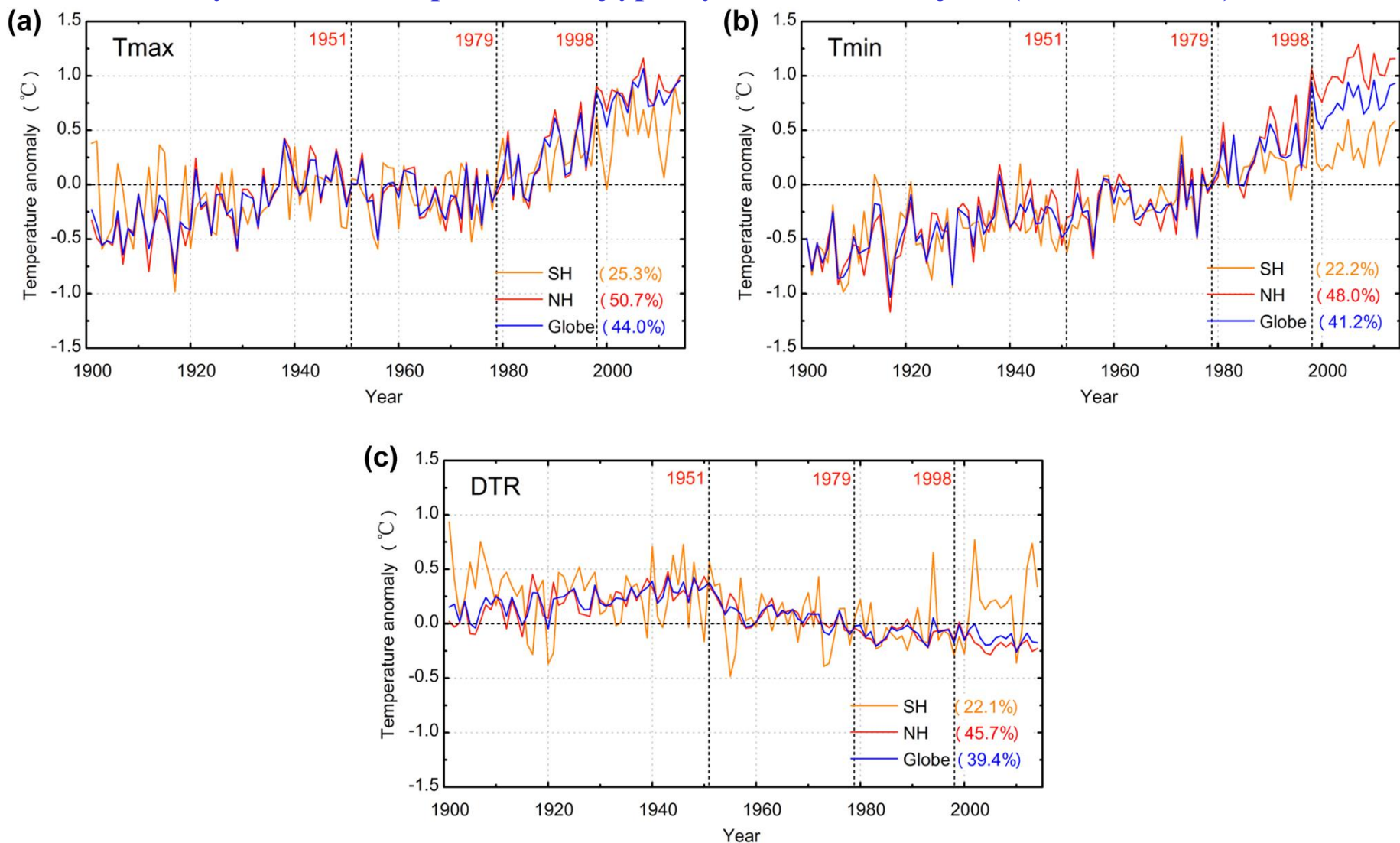


-1 -0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1
Trend ($^{\circ}\text{C}/\text{decade}$)

Figure 2.10: (a) to (d) Seasonal surface temperature trends for the period 1976 to 2000 ($^{\circ}\text{C}/\text{decade}$), calculated from combined land-surface air and sea surface temperatures adapted from Jones *et al.* (2001). The red, blue and green circles indicate areas with positive trends, negative trends and little or no trend respectively. The size of each circle reflects the size of the trend that it represents. Trends were calculated from seasonally averaged gridded anomalies with the requirement that the calculation of seasonal anomalies should include all three months. Trends were calculated only for those grid boxes containing seasonal anomalies in at least 16 of the 24 years.

Anomalie dobowej temperatury maksymalnej (Tmax) i minimalnej (Tmin) oraz amplitudy dobowej temperatury powietrza (DTR) względem 1961-1990, 1901-2014.

Liczby w nawiasach przedstawiają pokrycie obszaru stacjami (Sun et al. 2019)



Trendy amplitudy dobowej temperatury powietrza, 1950-1993 (tylko ze stacji wiejskich)

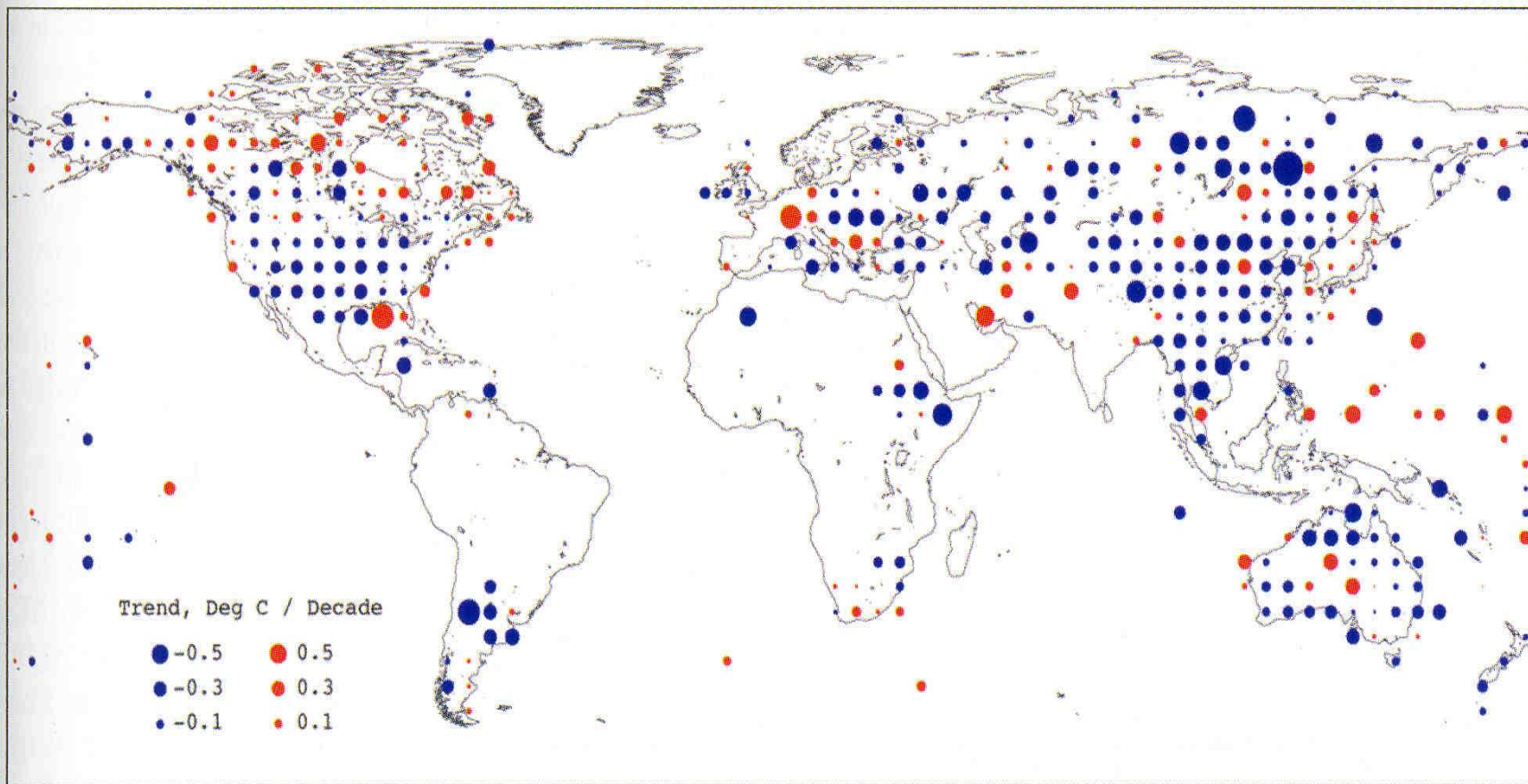
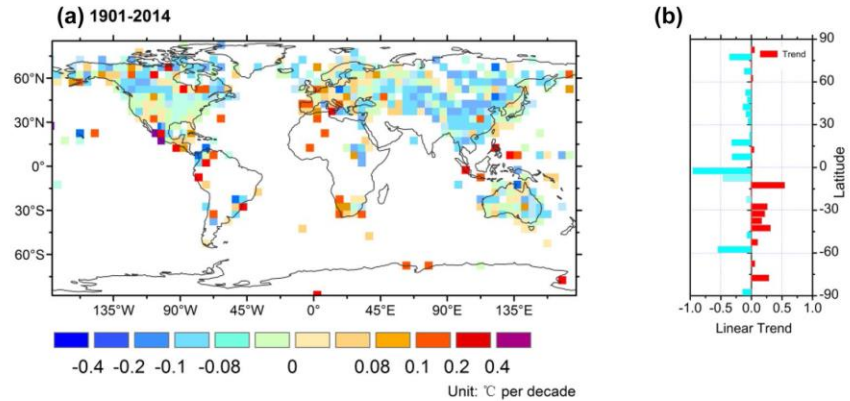


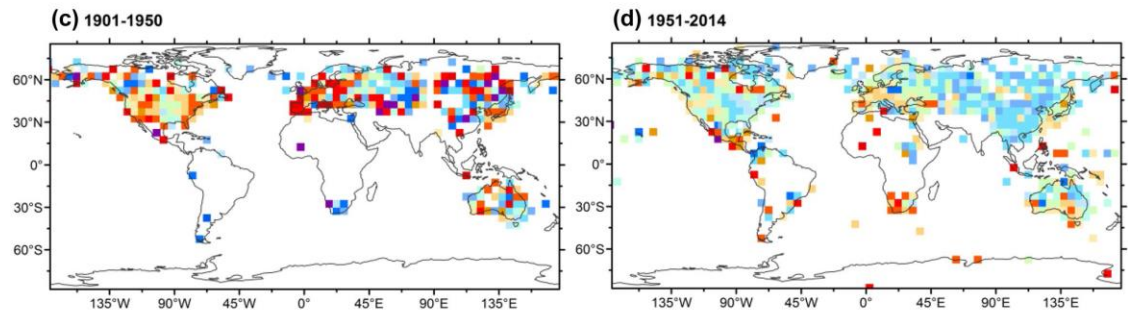
Figure. 2.2: Trends in annual diurnal temperature range (DTR, °C/decade), from 1950 to 1993, for non-urban stations only, updated from Easterling *et al.* (1997). Decreases are in blue and increases in red. This data set of maximum and minimum temperature differs from and has more restricted coverage than those of mean temperature used elsewhere in Section 2.2.

Trendy amplitudy dobowej temperatury powietrza, 1901-2014 (Sun et al. 2019)

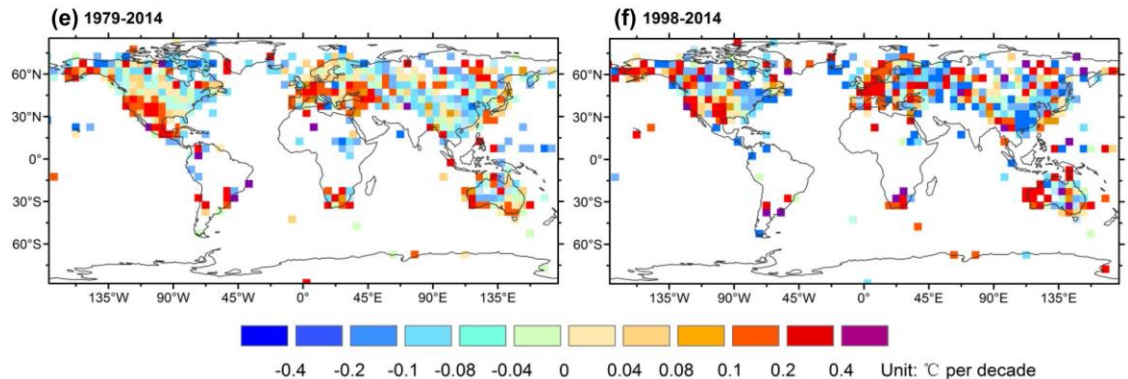
a 1901–2014



c 1901–1950, d 1951–2014



e 1979–2014, f 1998–2014



Indeksy termiczne, 1700-2000

a) temperatura globalna, b) średnia SAT z lądu – średnia SST, c) średnia amplituda roczna (lato - zima), d) $T(52,5^{\circ}\text{N}-67,6^{\circ}\text{N}) - T(22,5^{\circ}\text{N}-37,5^{\circ}\text{N})$, e) $T_{\text{NH}} - T_{\text{SH}}$

za Braganza i in. (2003)

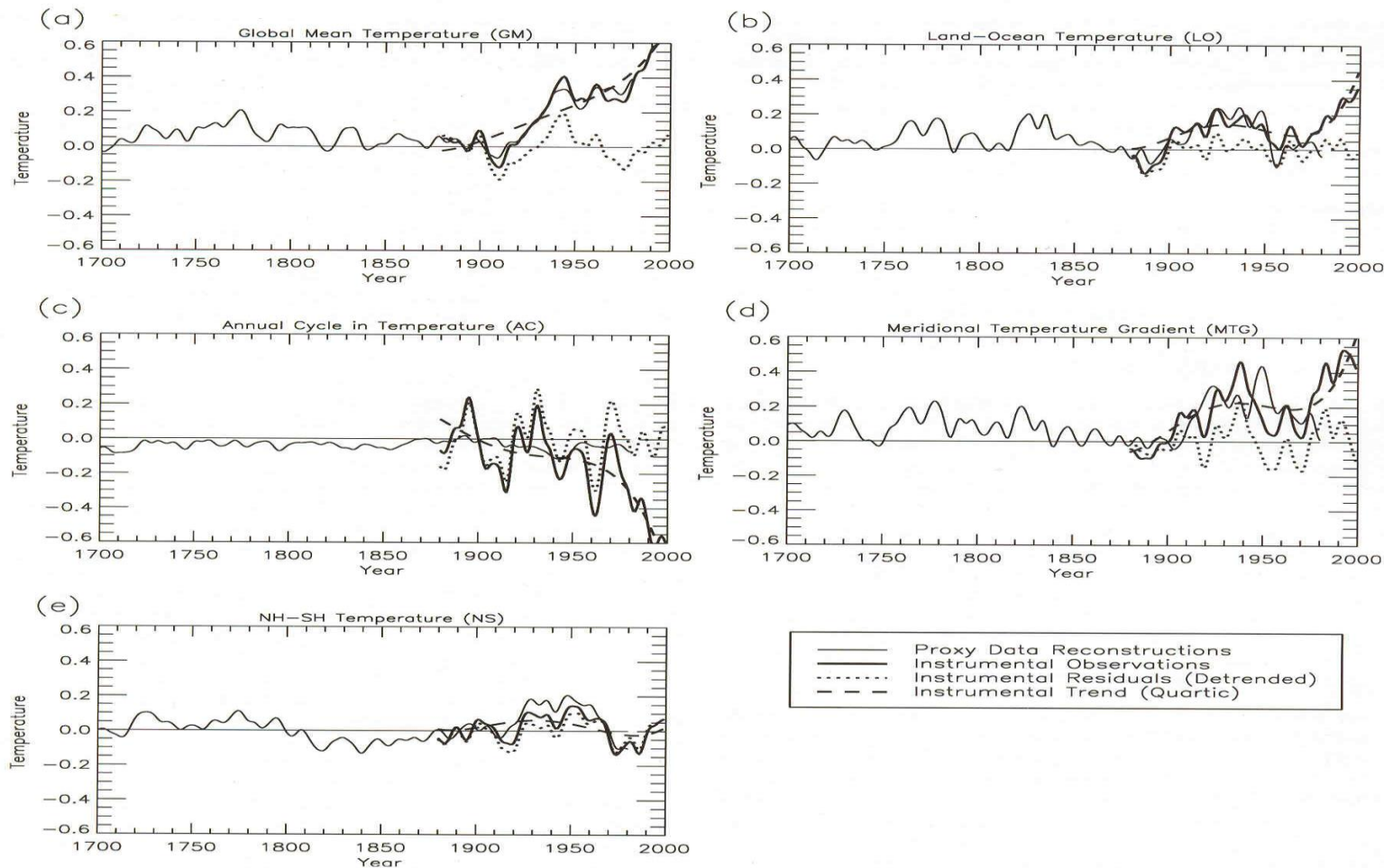


Fig. 2a-e Low-pass filtered (decadal) time series of each of the indices from proxy data reconstructions (1700–1880) and instrumental observations (1880–1999). Also shown are the 4th order

polynomial trend fitted to the instrumental observations and the low-pass filtered residual from this trend, which represent the decadal, detrended observed time series

Anomalie zawartości ciepła w górnej 300 m warstwie oceanu, 1948-1998

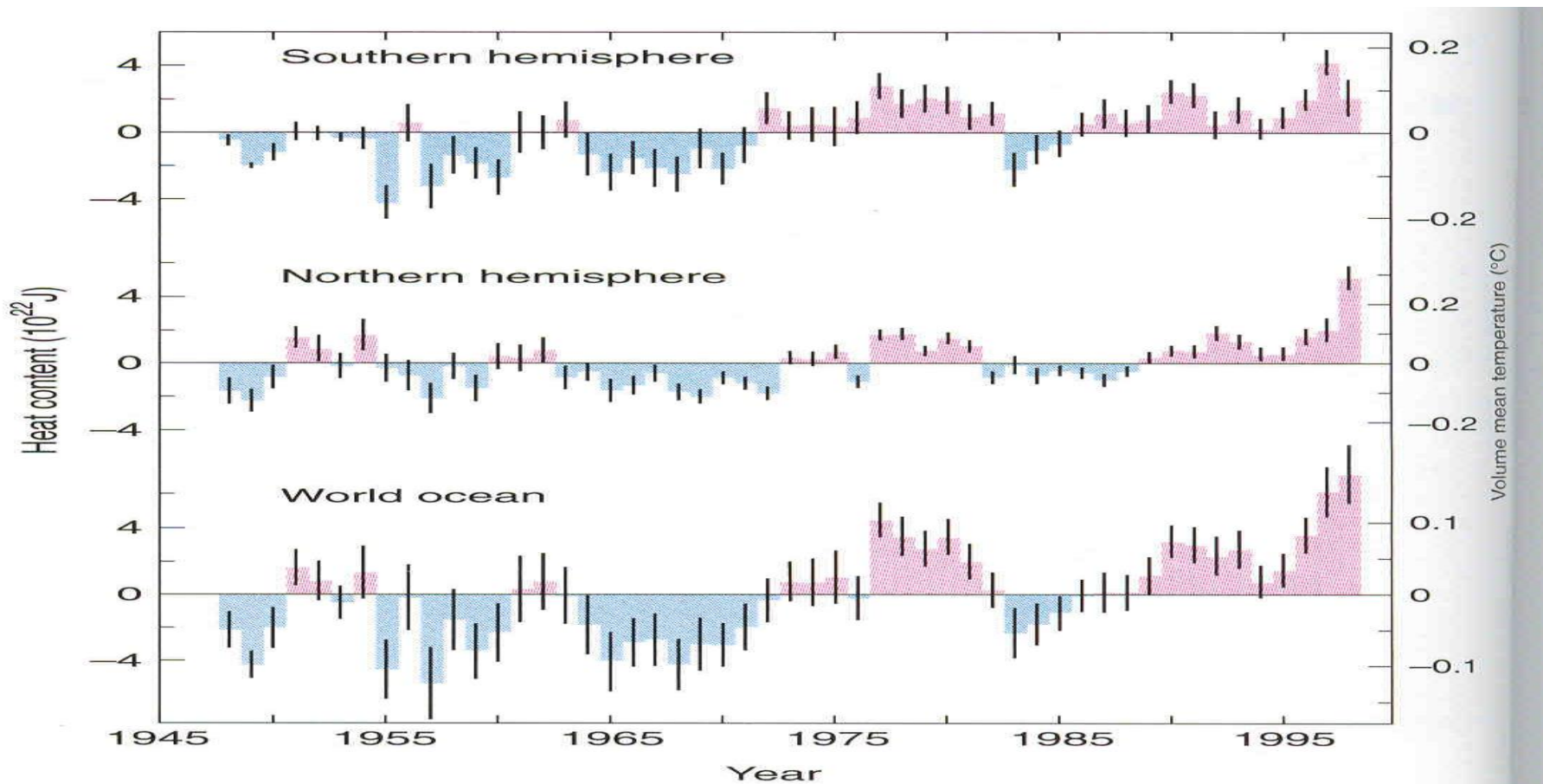
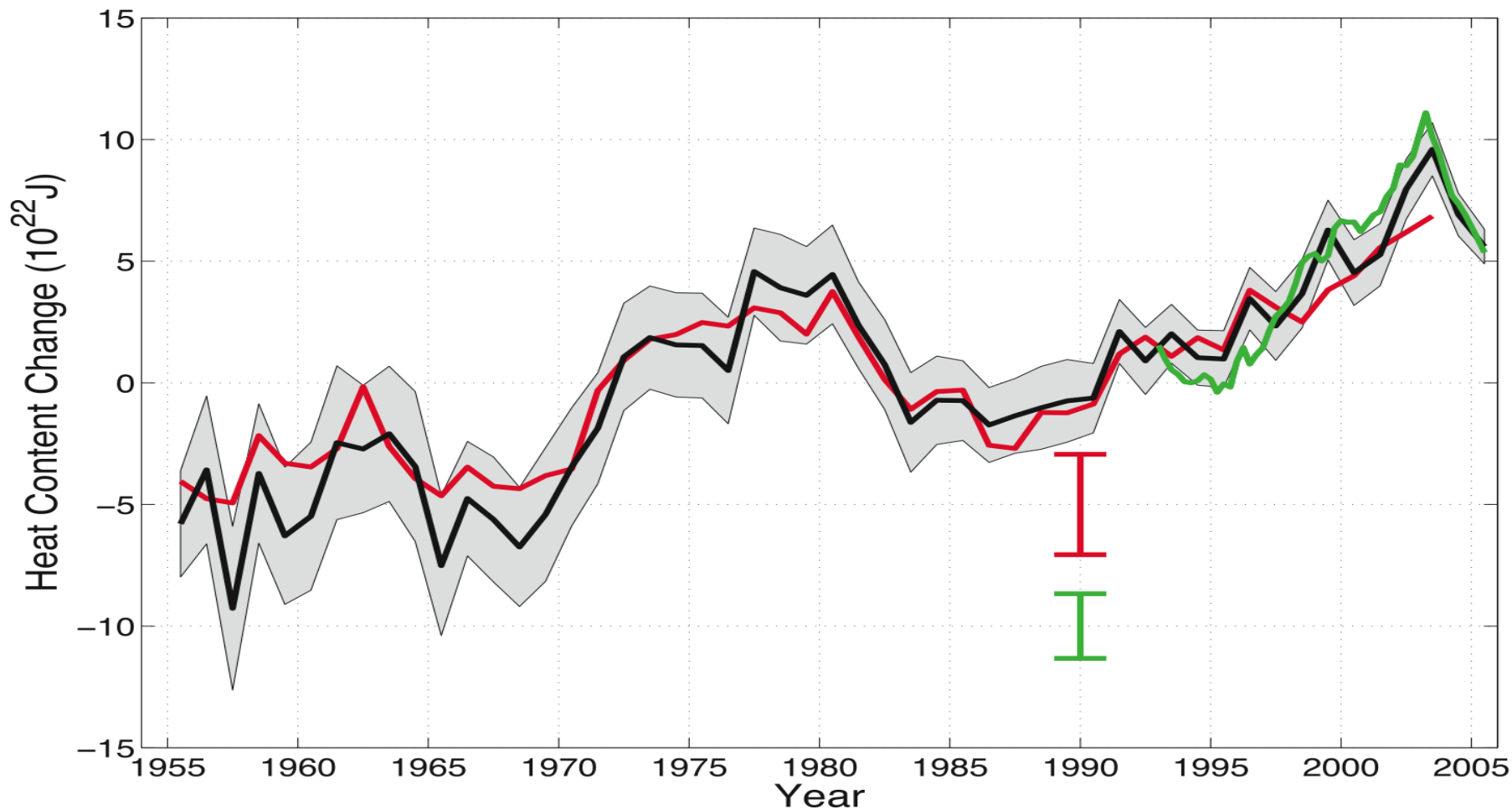


Figure 2.11: Time-series for 1948 to 1998 of ocean heat content anomalies in the upper 300 m for the two hemispheres and the global ocean. Note that 1.5×10^{22} J equals $1 \text{ watt-year-m}^{-2}$ averaged over the entire surface of the earth. Vertical lines through each yearly estimate are \pm one standard error (Levitus *et al.*, 2000b).

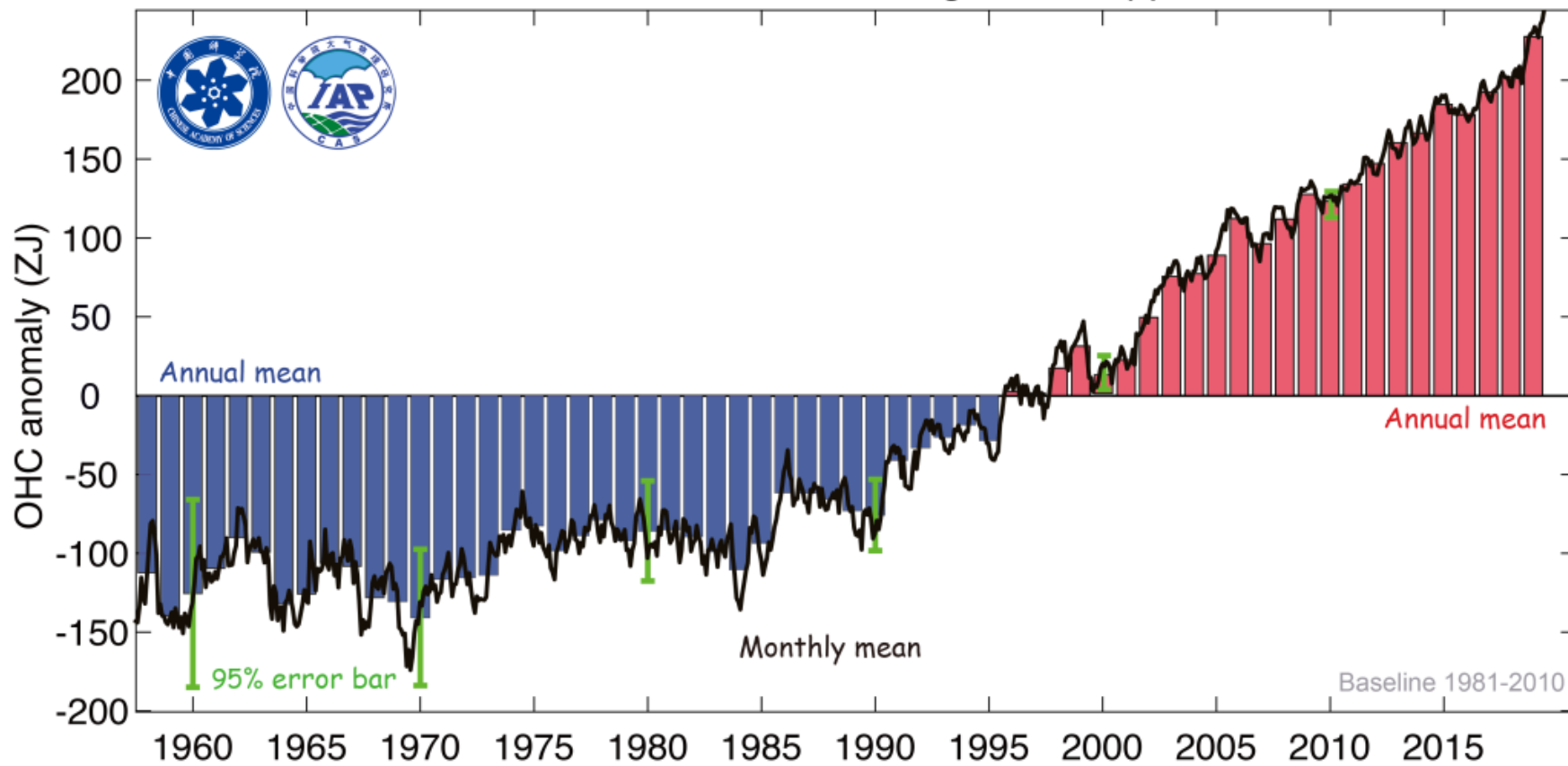
Anomalie średnich rocznych zawartości ciepła w oceanie w warstwie 0-700 m. Czarna i czerwona linie – odchylenia od średnich z okresu 1961-1990, zielona – od 1993-2003 (IPCC 2007)



Anomalie średnich rocznych zawartości ciepła w oceanie w warstwie 0-2000 m, 1955-2019

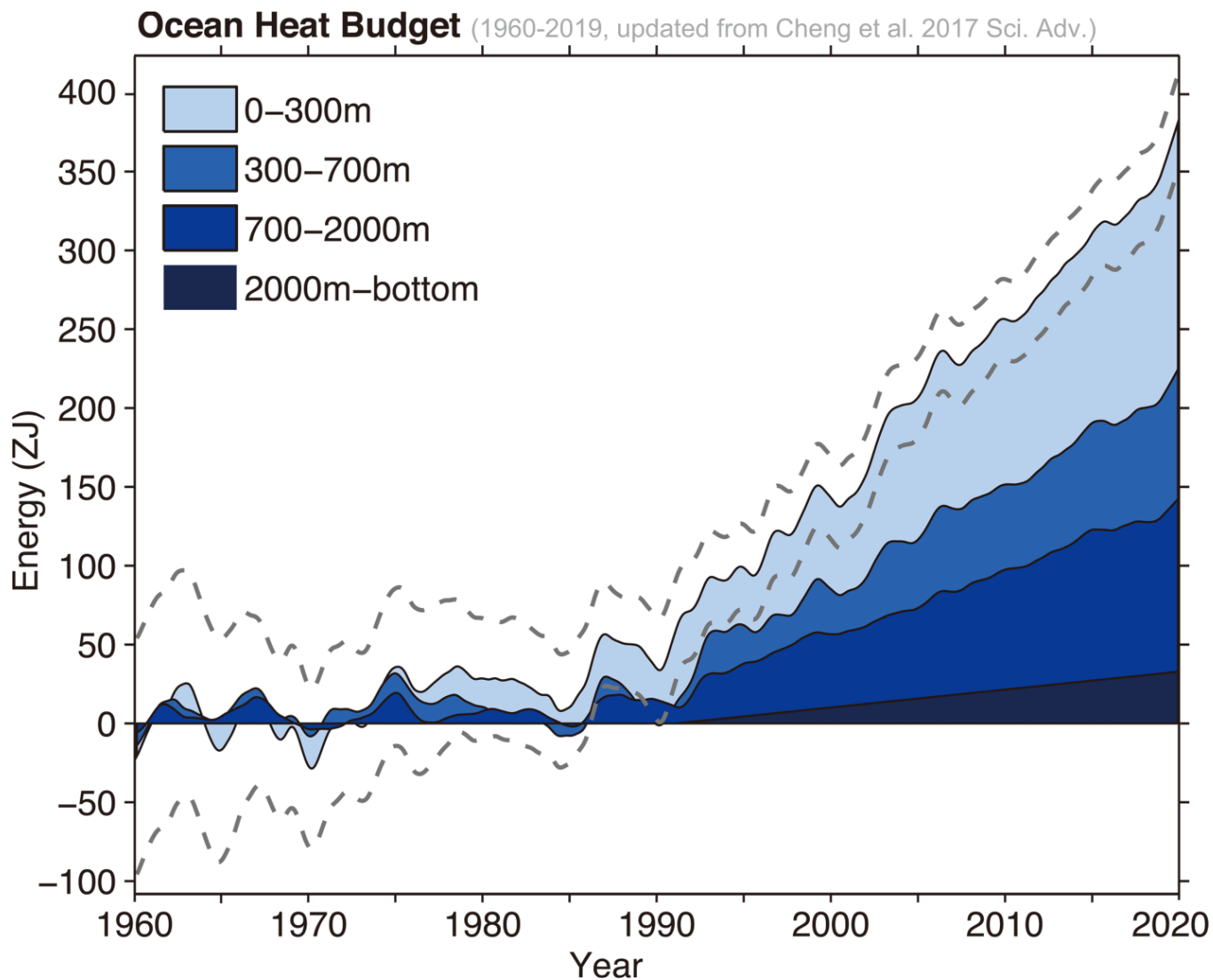
(Cheng et al. 2020)

Global ocean heat content change in the upper 2000 m



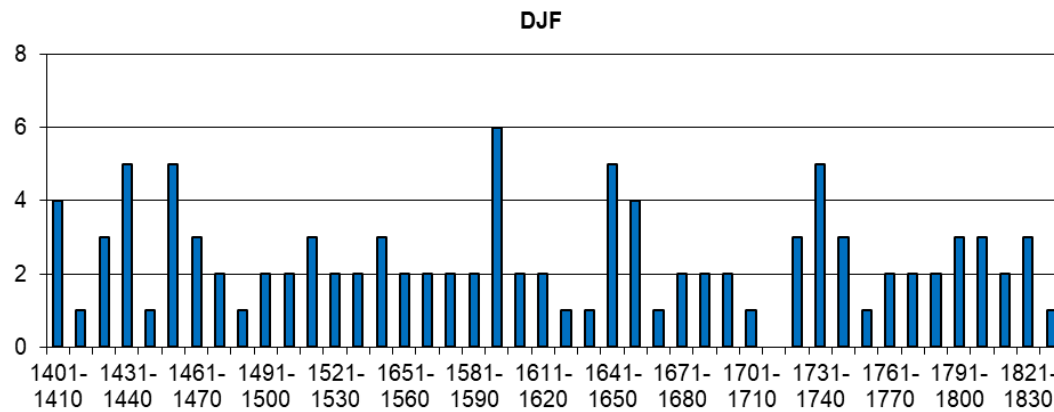
Bilans zawartości ciepła w oceanie w warstwie do 2000 m i poniżej, 1960-2019. $ZJ=10^{21}$ dżuli

(Cheng et al. 2020)

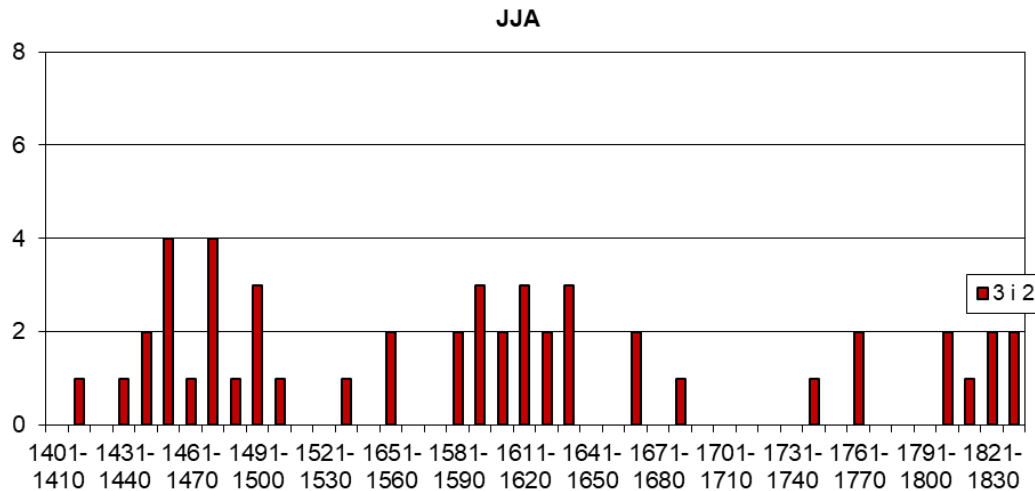
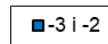


POLSKA

Częstość dekadowa występowania ekstremalnie chłodnych i bardzo chłodnych zim (DJF) oraz ekstremalnie ciepłych i bardzo ciepłych lat (JJA) w Polsce w okresie 1401-1500 (za Przybylak i in. 2004, zaktualizowane)



a)

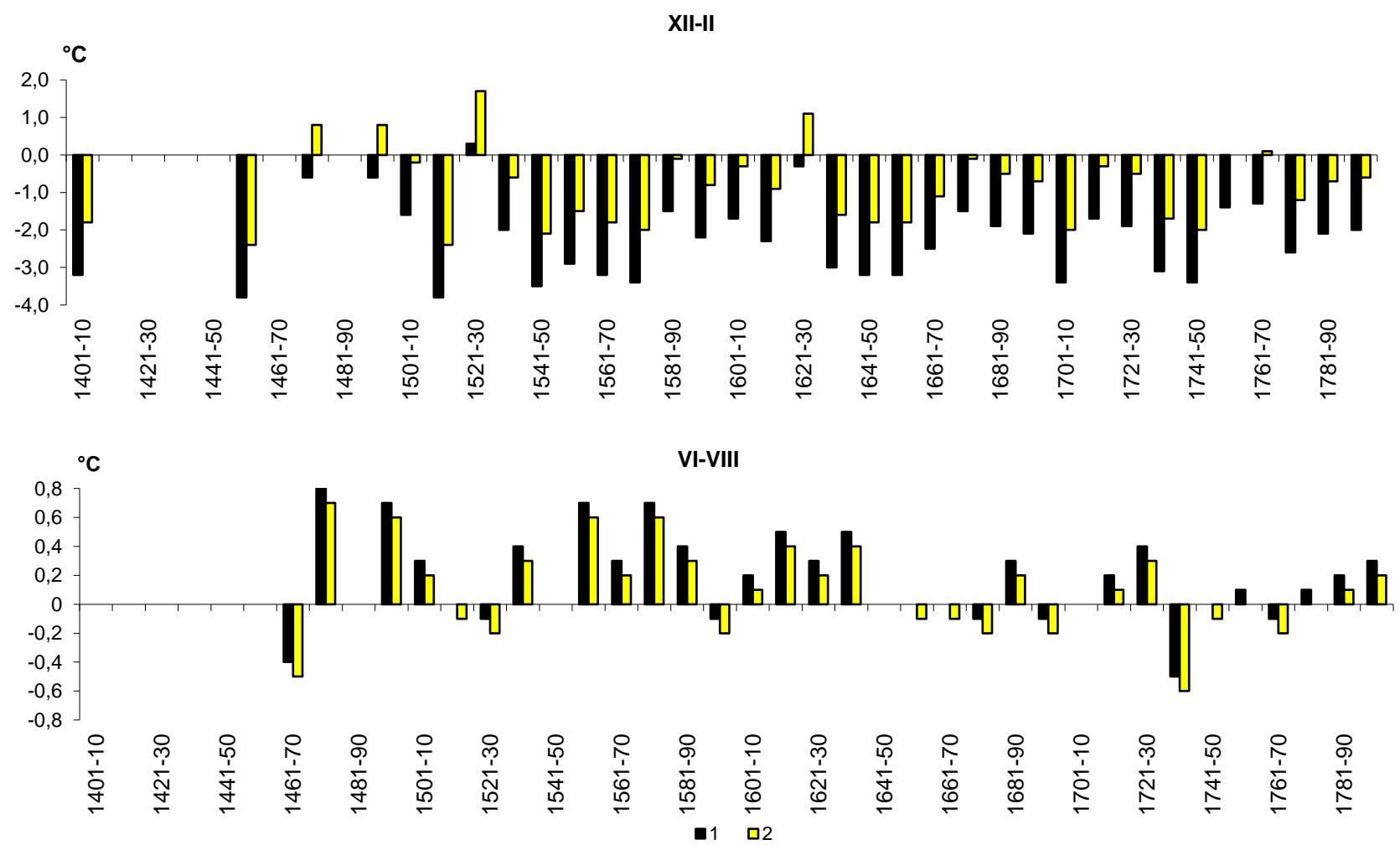


b)

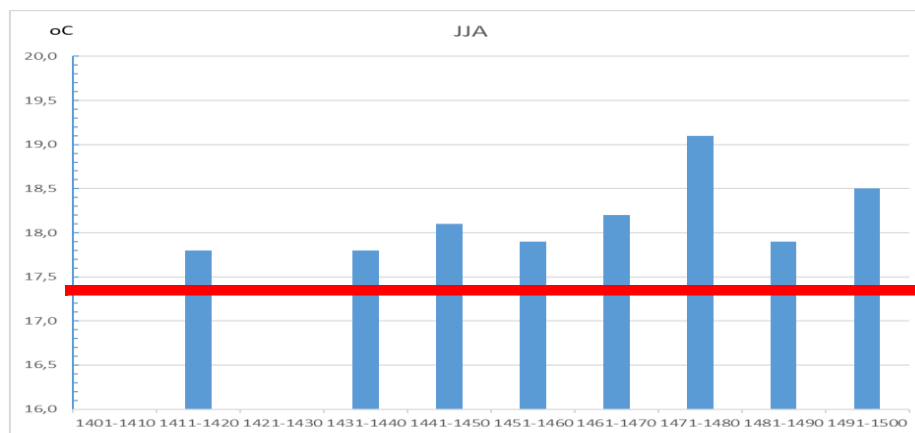


Rekonstrukcje średnich dekadowych temperatury powietrza w Polsce w okresie 1401-1800: a) zimy (XII-II) i b) lata (VI-VIII) (Przybylak 2011)

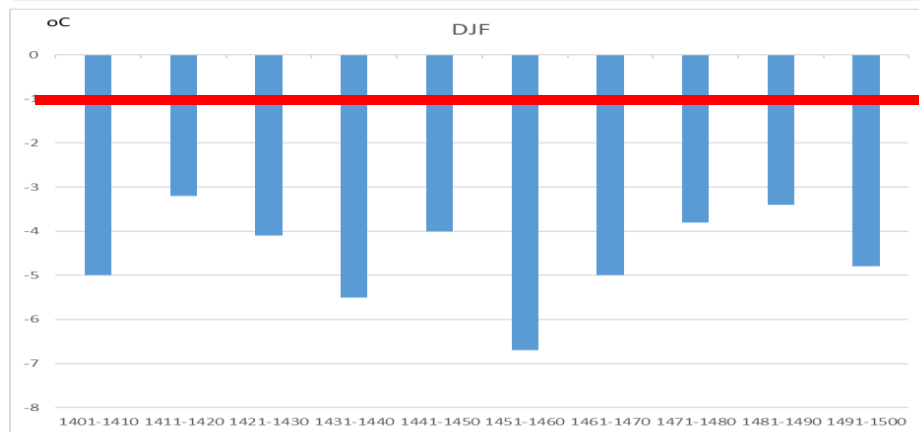
1 i 2 - anomalie w stosunku do odpowiednich średnich z okresów 1901-1960 i 1789-1850



Nowa rekonstrukcja średnich dekadowych wartości temperatury powietrza zimy (DJF) i lata (JJA) w Polsce w 15 wieku (za Przybylak i in. 2023)



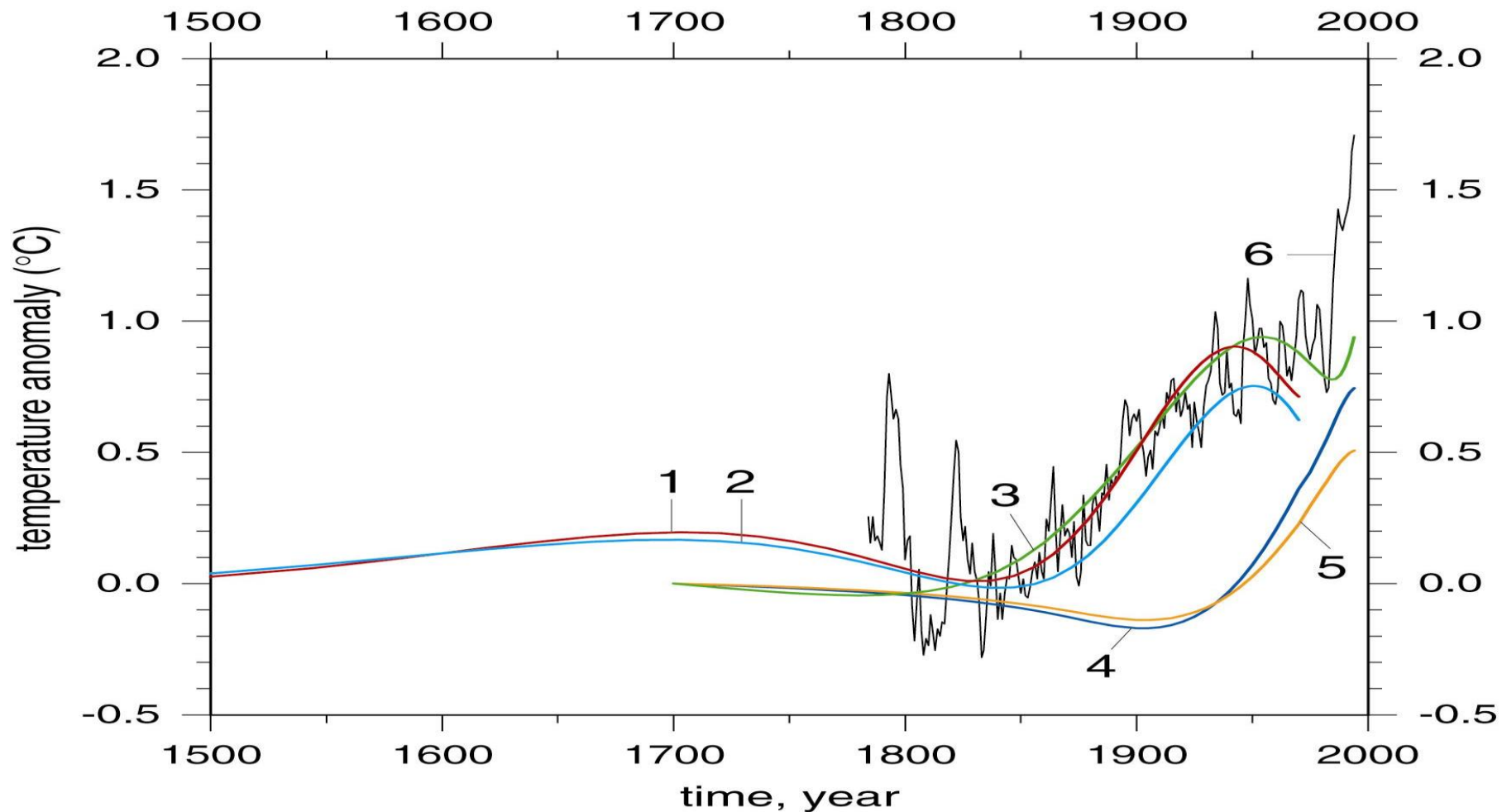
17,4 (1981-2010)



-0,9 (1981-2010)

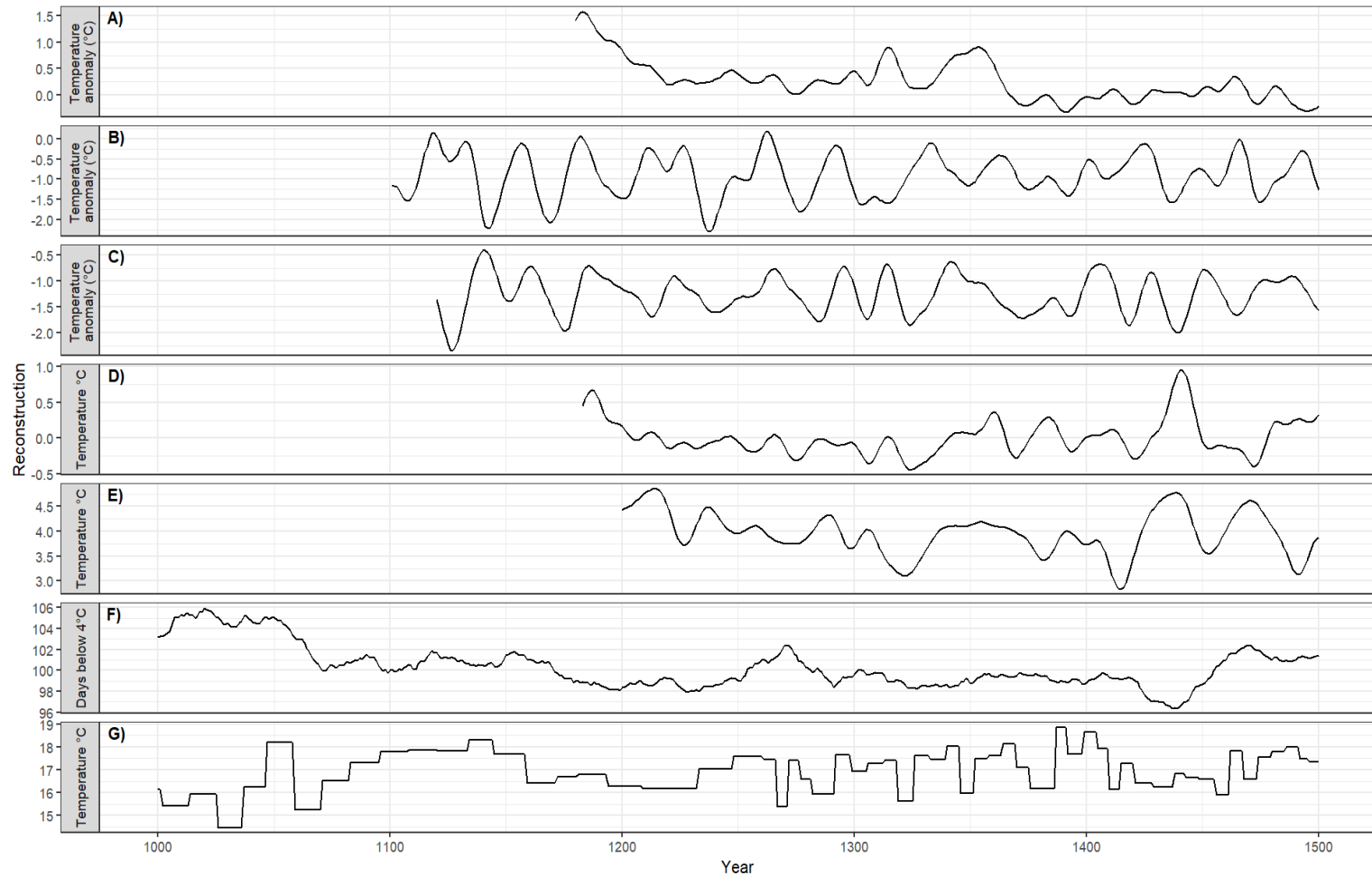
Źródło: IMGW-PIB 2021

Rekonstrukcje średniej rocznej temperatury powierzchni gruntu (krzywe 1-5) w Polsce w okresie 1500-2000 na tle średniej rocznej temperatury powietrza z Warszawy (krzywa 6), 1779-2000 (za Majorowicz i in. 2004)



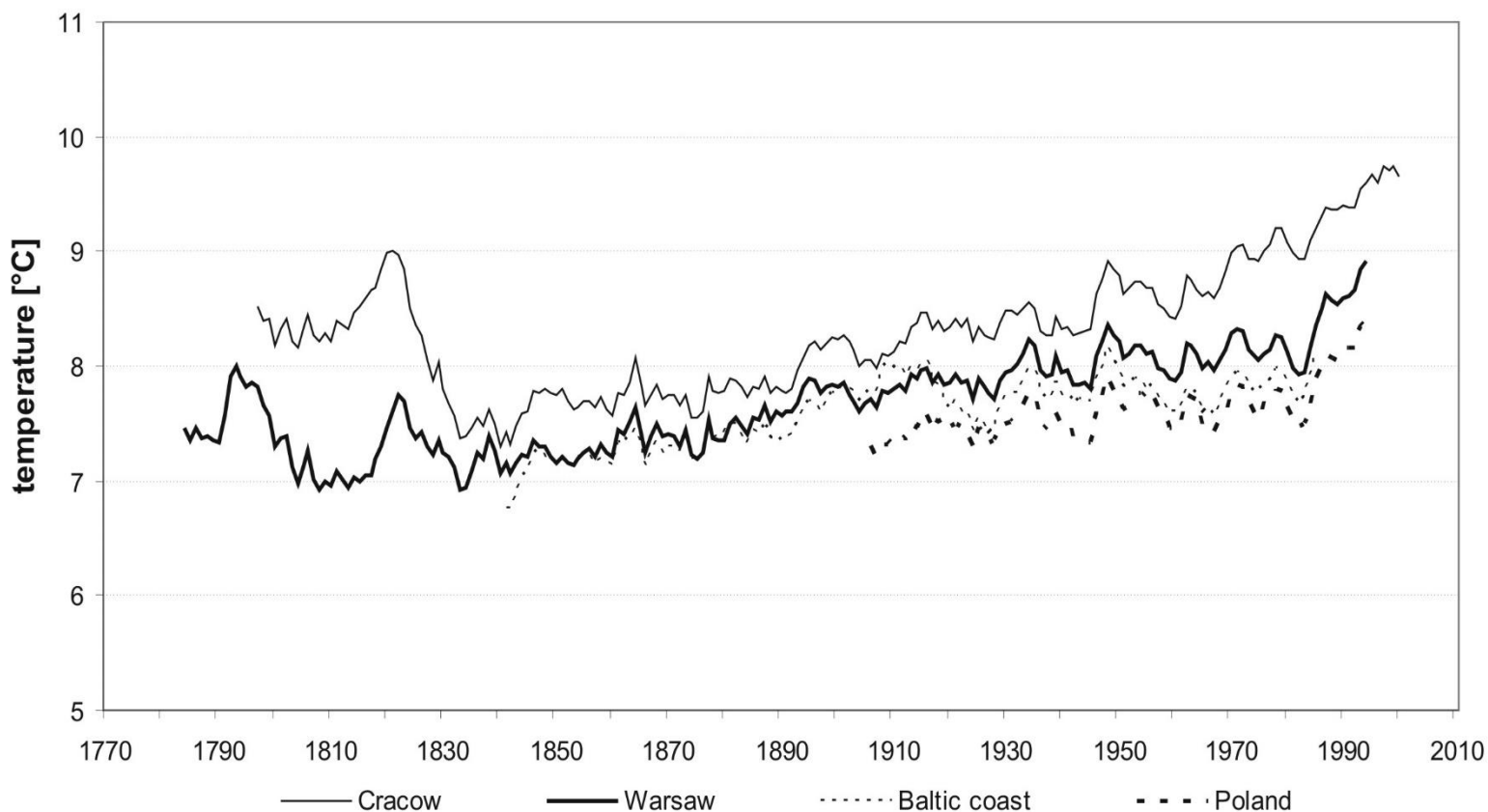
Rekonstrukcje średniej temperatury powietrza w Polsce w okresie 1001-1500 (Przybylak i in. 2023)

A) luty-marzec, Region Kujawsko-Pomorski, B) luty-marzec, Malopolska, C) grudzień-marzec, Malopolska, D) luty-marzec, Region Kujawsko-Pomorski (za Koprowski et al. 2012), E) listopad-kwiecień, Północna Polska (za Balanzategui et al. 2017), F) liczba dni poniżej 4°C (XI-III), NE Polska (za Hernández-Almeida et al. 2015), G) sierpień, NE Polska



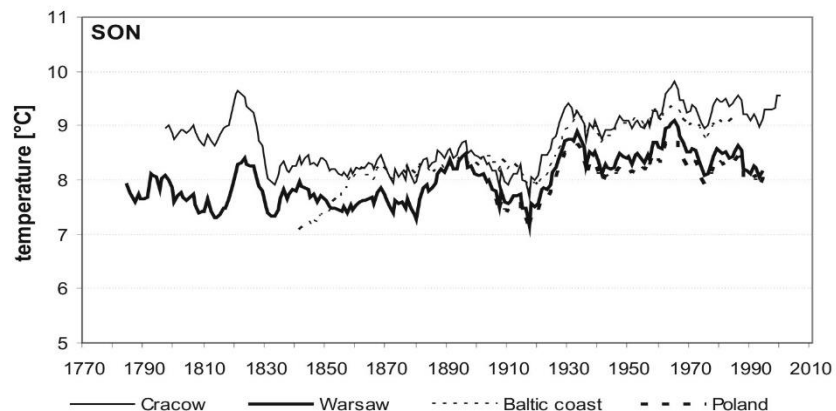
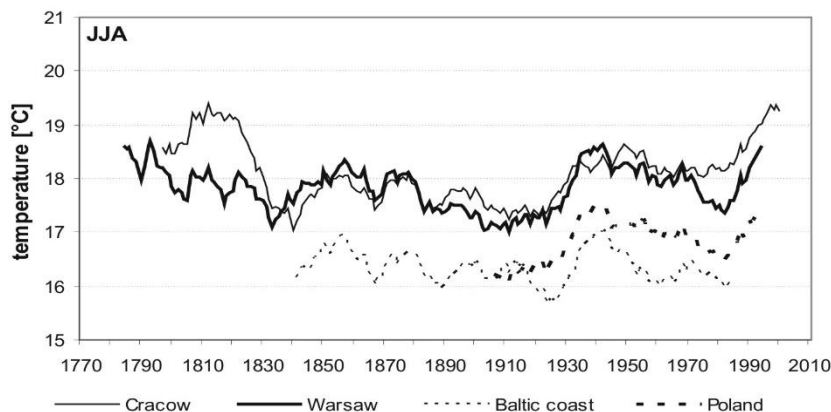
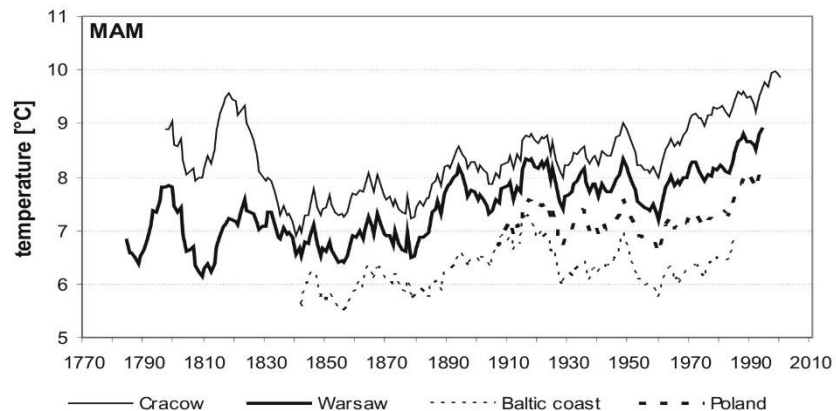
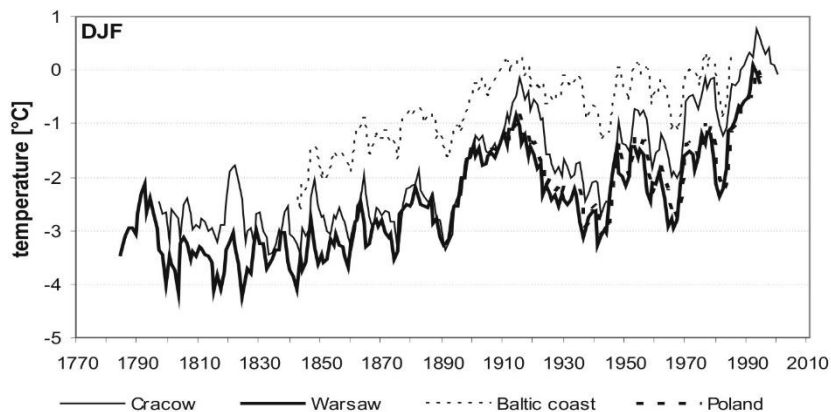
Wieloletni przebieg 11-letnich średnich ruchomych rocznej temperatury powietrza w Polsce w okresie obserwacji instrumentalnych (za Przybylak 2010)

Objaśnienia: Dane dla Krakowa za Trepieńska (1971) i Matuszko (2007, ed.), dla Warszawy za Lorenc (2000), dla wybrzeża Bałtyku za Miętus (1996), i dla Polski (za Żmudzka 2008)

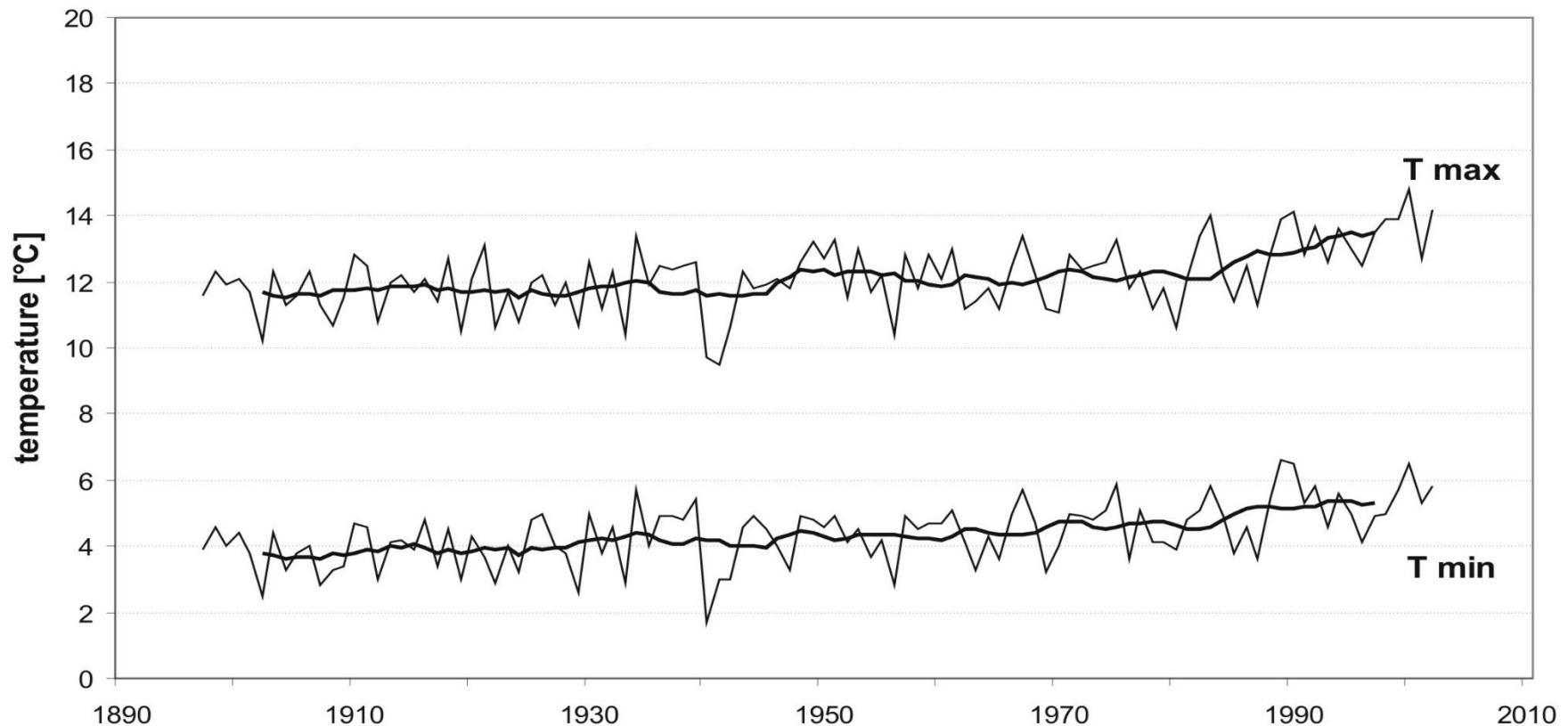


Wieloletni przebieg 11-letnich średnich ruchomych sezonowych wartości temperatury powietrza w Polsce w okresie obserwacji instrumentalnych (za Przybylak 2010)

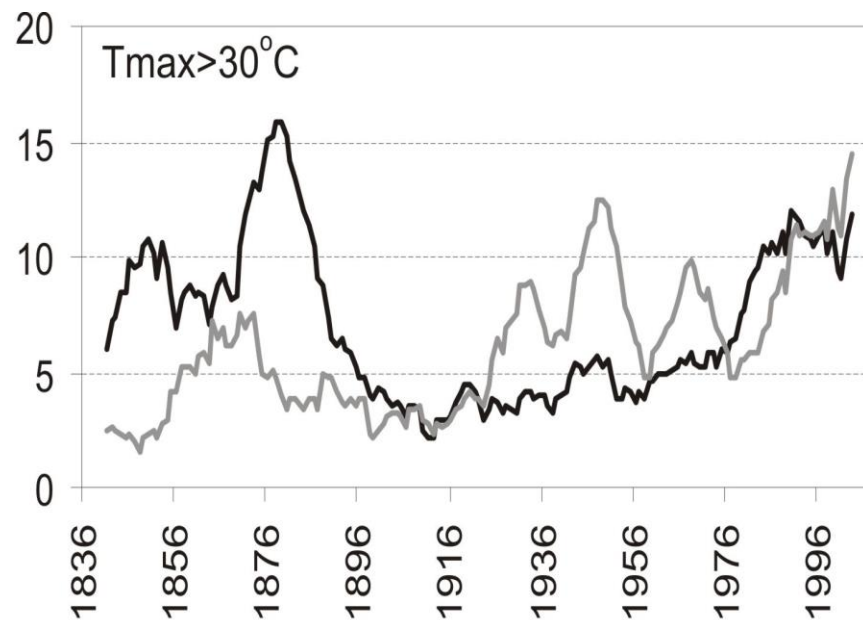
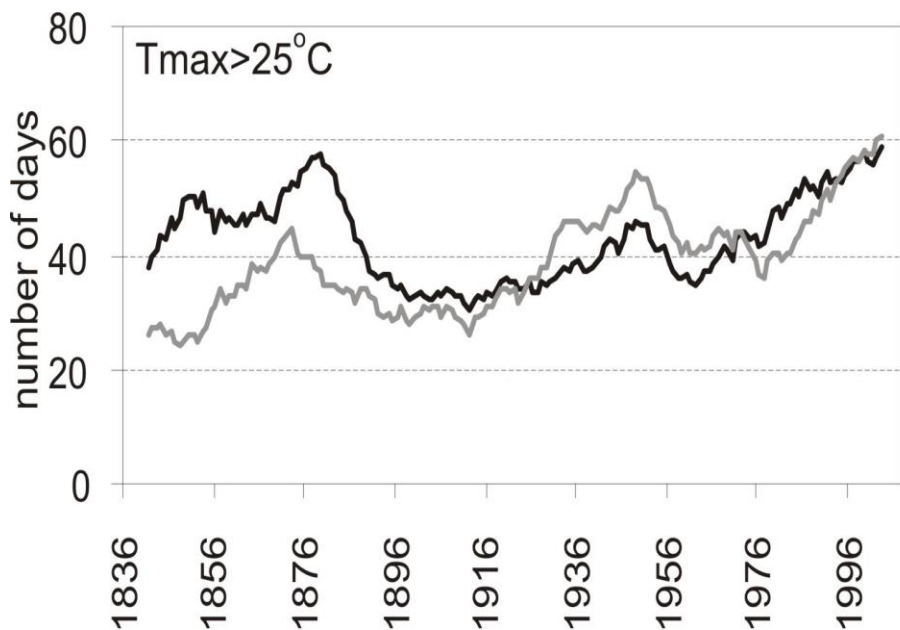
Objaśnienia: Dane dla Krakowa za Trepieńska (1971) i Matuszko (2007, ed.), dla Warszawy za Lorenc (2000), dla wybrzeża Bałtyku za Miętus (1996), i dla Polski (za Żmudzka 2008). DJF – zima, MAM- wiosna, JJA-lato, SON- jesień



**Wieloletni przebieg średnich rocznych wartości temperatur ekstremalnych w Warszawie, 1893-2002 (wg danych Lorenc 2007).
Objaśnienia: linia cienka – zmiany z roku na rok,
gruba linia – 11-letnie średnie ruchome (za Przybylak 2010)**



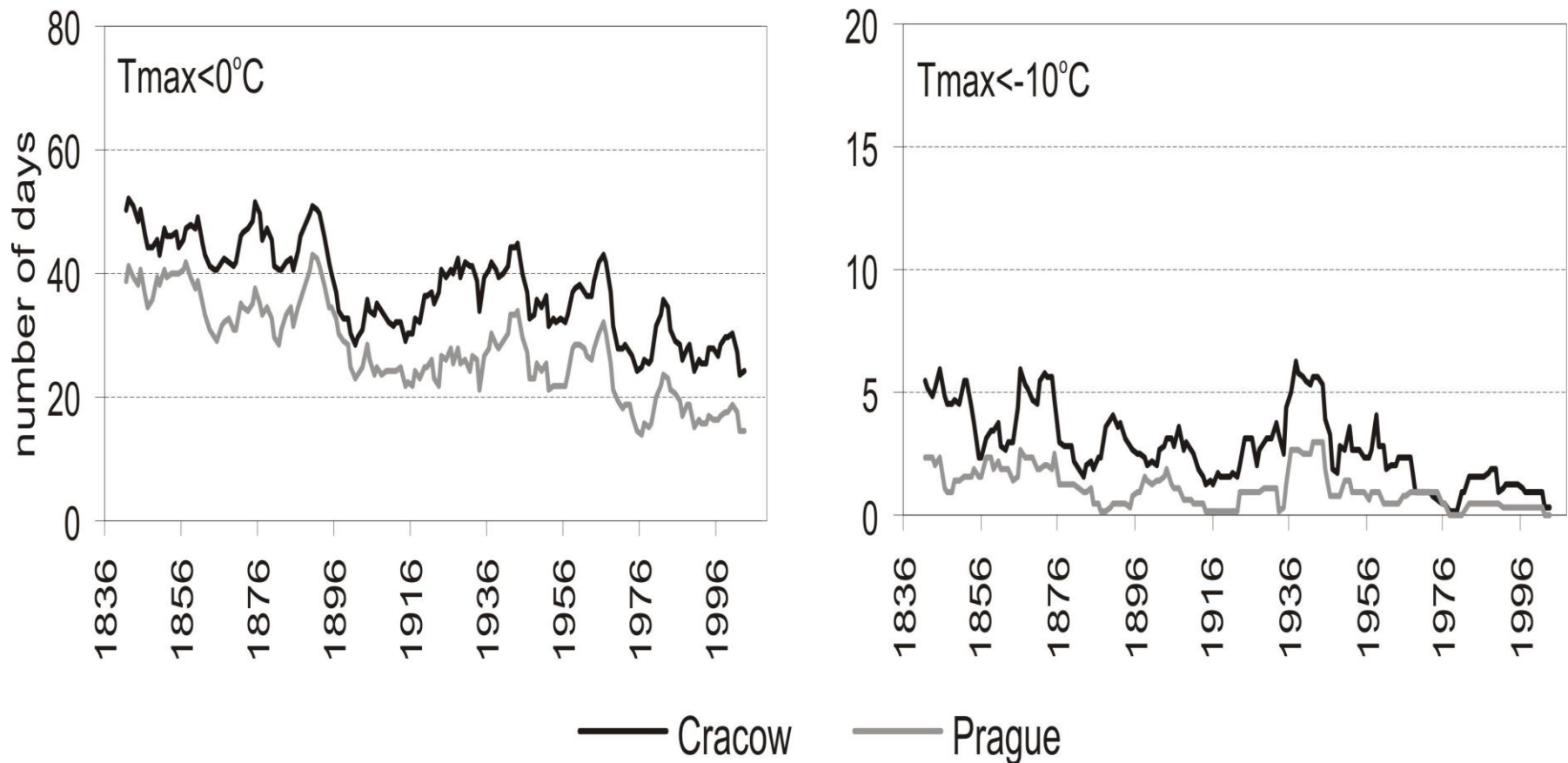
Przebieg liczby gorących ($T_{max}>25^{\circ}\text{C}$) i upalnych ($T_{max}>30^{\circ}\text{C}$) dni wyrównany za pomocą średnich ruchomych 11-letnich w Krakowie i Pradze w okresie 1836-2007 (za Piotrowicz 2010)



— Cracow

— Prague

Przebieg liczby dni mroźnych ($T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$) i bardzo mroźnych ($T_{max} < -10^{\circ}\text{C}$) wyrównany za pomocą średnich ruchomych 11-letnich w Krakowie i Pradze w okresie 1836-2007 (za Piotrowicz 2010)

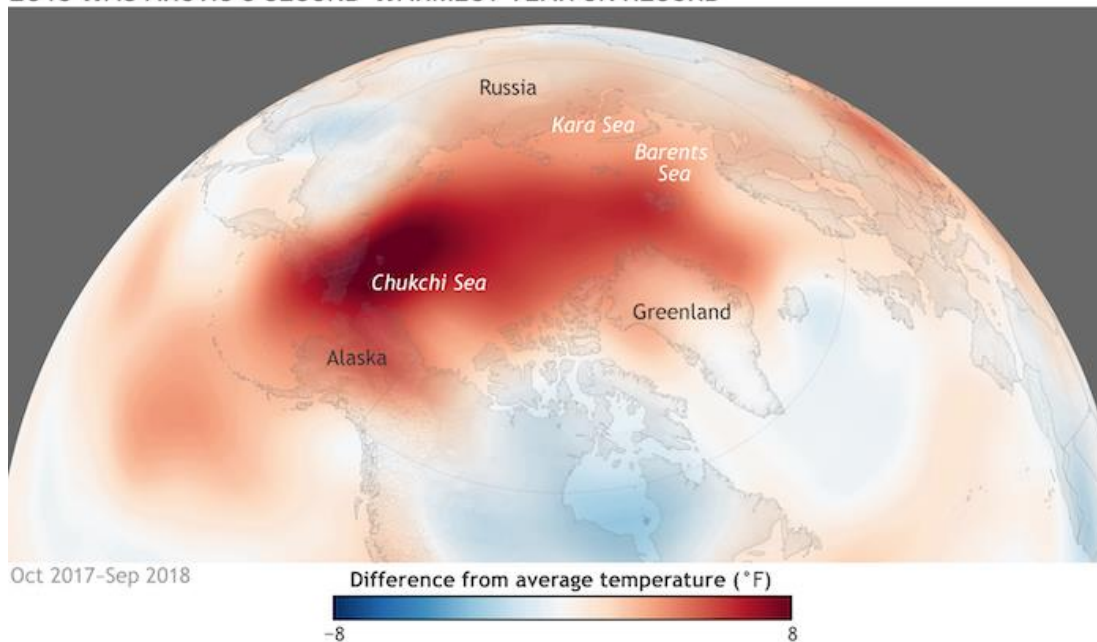


Arktyka

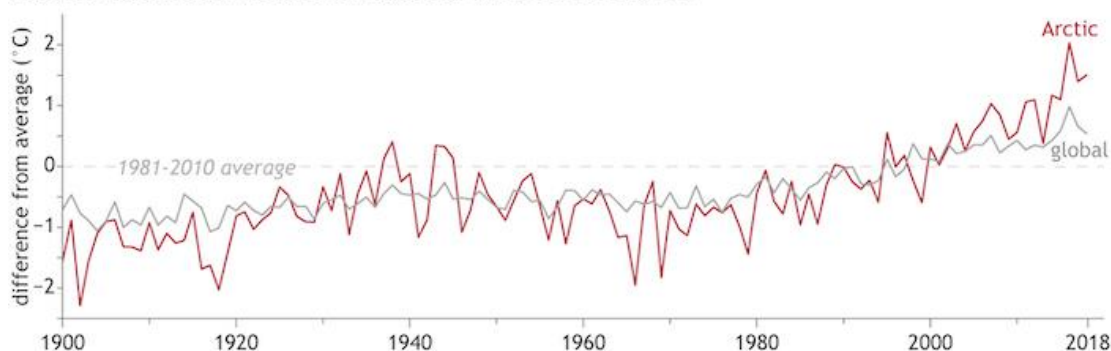
Anomalie temperatury powietrza w okresie X 2017-IX 2018 względem okresu 1981-2010 (mapka)

Przebieg anomalii temperatury w Arktyce w latach 1900-2018 względem średniej z lat 1981-2010 (rysunek dolny)

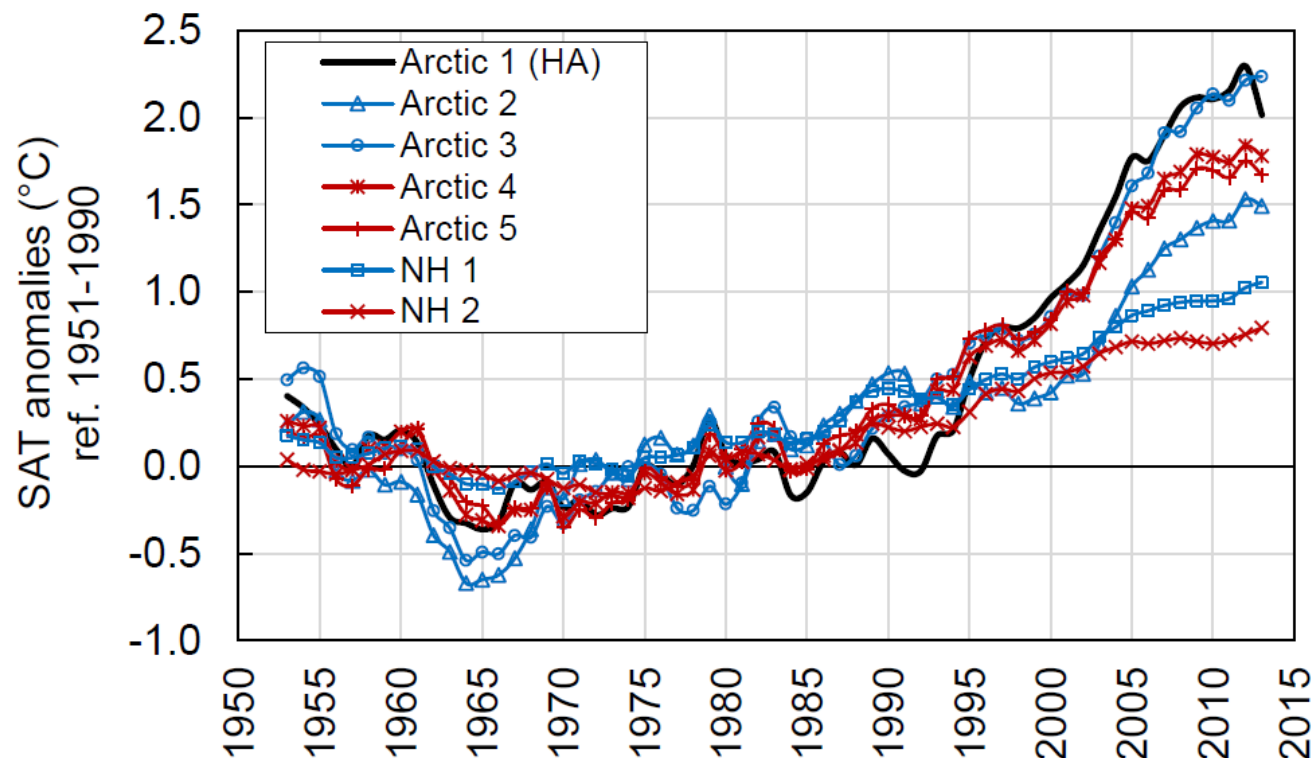
2018 WAS ARCTIC'S SECOND-WARMEST YEAR ON RECORD



ARCTIC WARMING TWICE AS FAST AS GLOBAL AVERAGE

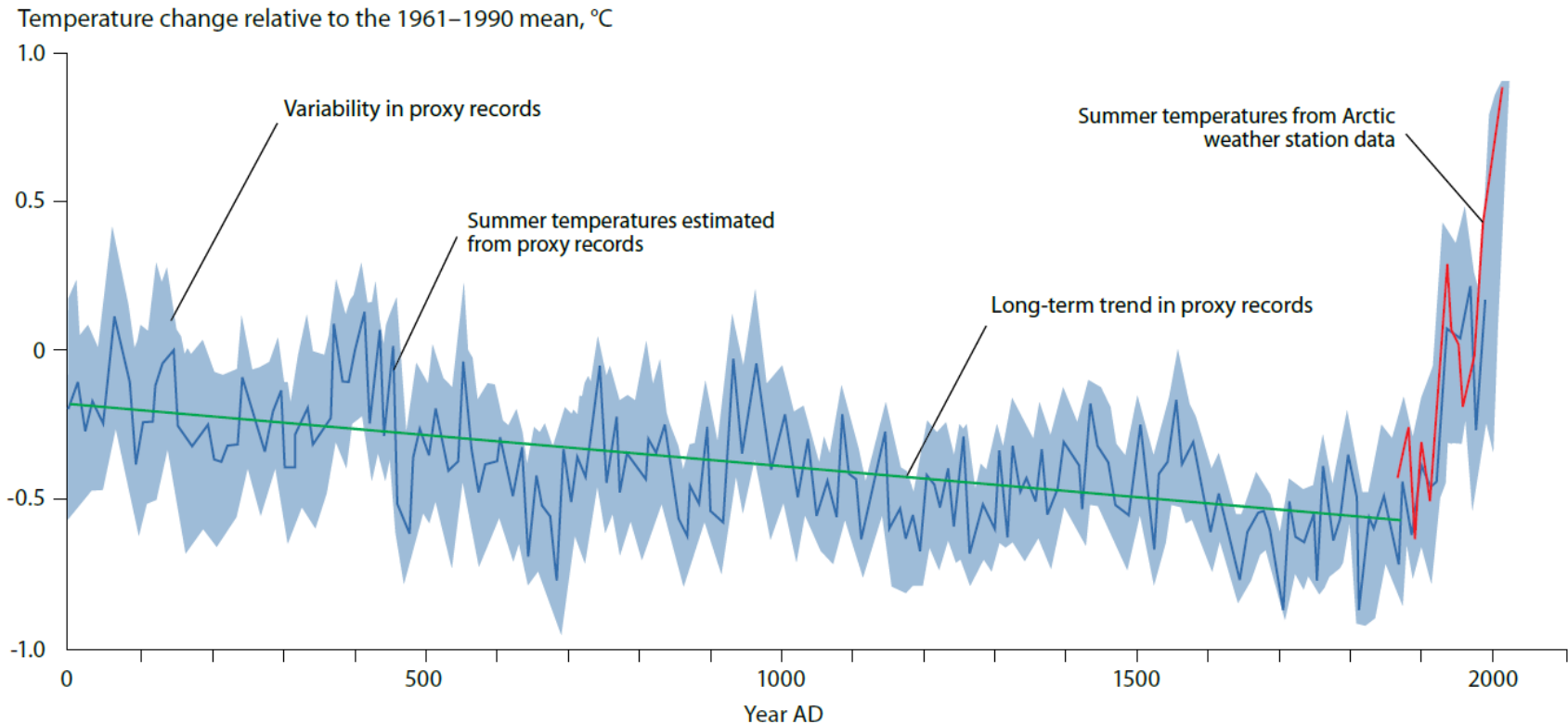


Średnie 5-letnie konsekwentne anomalie temperatury powietrza w Arktyce wysokiej (Arctic 1), w strefie 60-90°N (Arctic 2-5) i na półkuli północnej (NH1-NH2), 1951-2015 (Przybylak i Wyszyński 2020)



Temperatura lata w Arktyce w ostatnich 2000 lat zrekonstruowana na podstawie osadów jeziornych, rdzeni lodowcowych i pierścieni drzew (AMAP)

Long-term change in summer Arctic air temperatures, as estimated from lake sediments, ice cores and tree rings ('proxy' records)



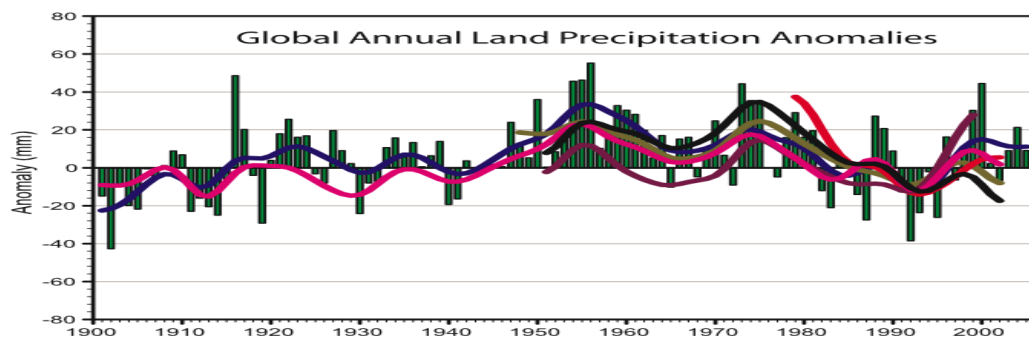
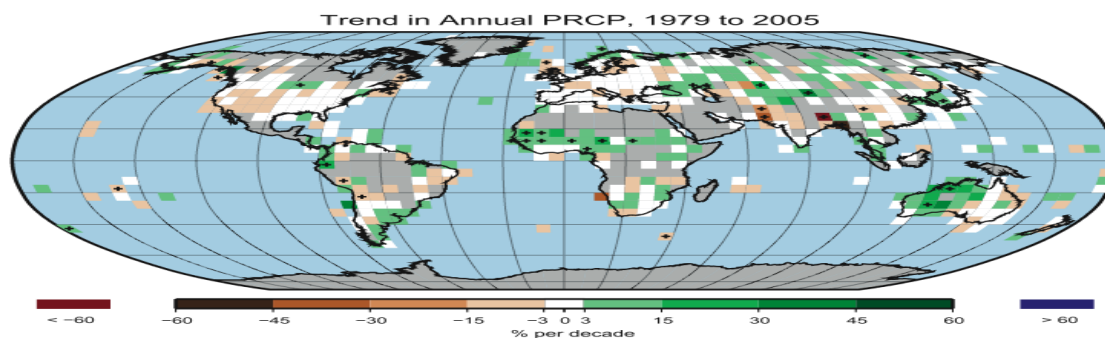
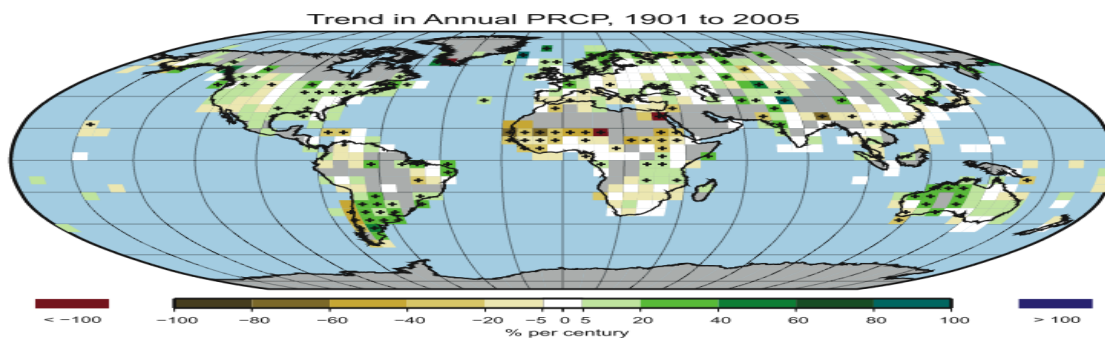
Czy klimat się ocieplił?

- Przedstawione wyniki pomiarów termometrycznych jednoznacznie dowodzą, iż w ostatnim stuleciu klimat się ocieplił o ok. **1,0°C**.
- Ocieplenie jest większe przy powierzchni Ziemi niż w pozostałej części troposfery.

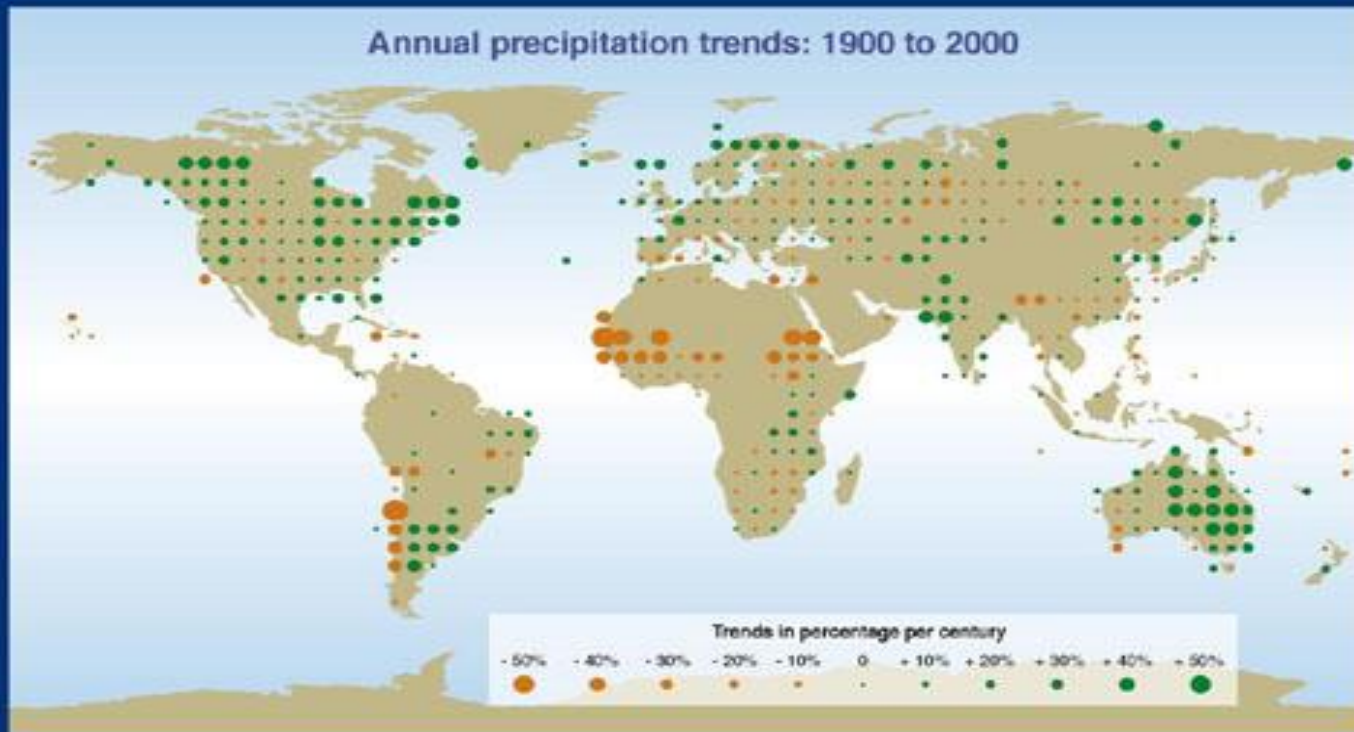
**Czy klimat stał się
wilgotniejszy?**

Trendy rocznych opadów w okresie 1901-2005 (górny rysunek, %/100 lat) i w okresie 1979-2005 (środkowy rysunek, %/10 lat) względem 1961-1990 oraz anomalie rocznych opadów względem 1961-1990 w okresie 1900-2005.

Wyrównane krzywe prezentują zmiany dla różnych zbiorów danych (IPCC 2007)



Trendy rocznych sum opadów atmosferycznych, 1900-2000 (IPCC 2001)

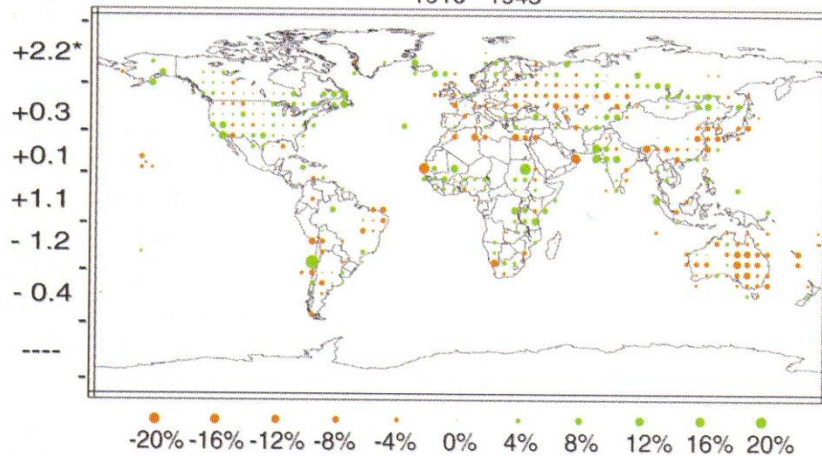


SYR - FIGURE 2-6a

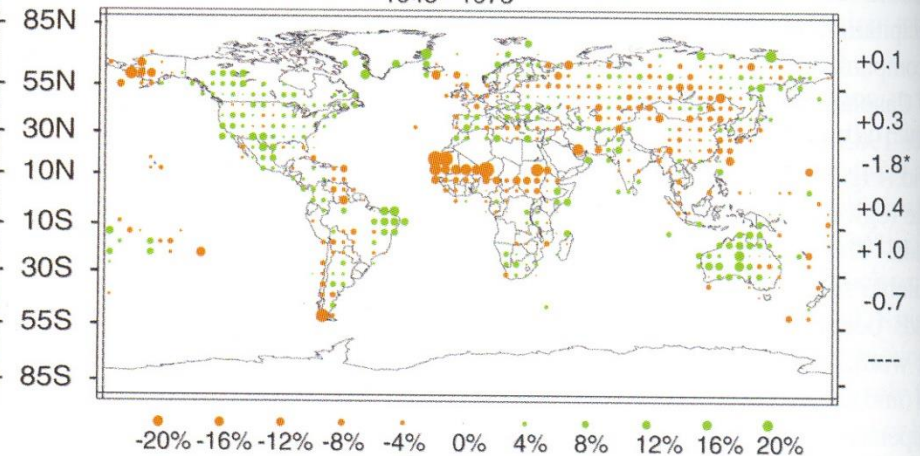
Trendy rocznych sum opadów w różnych okresach XX wieku (IPCC 2001)

(ii)

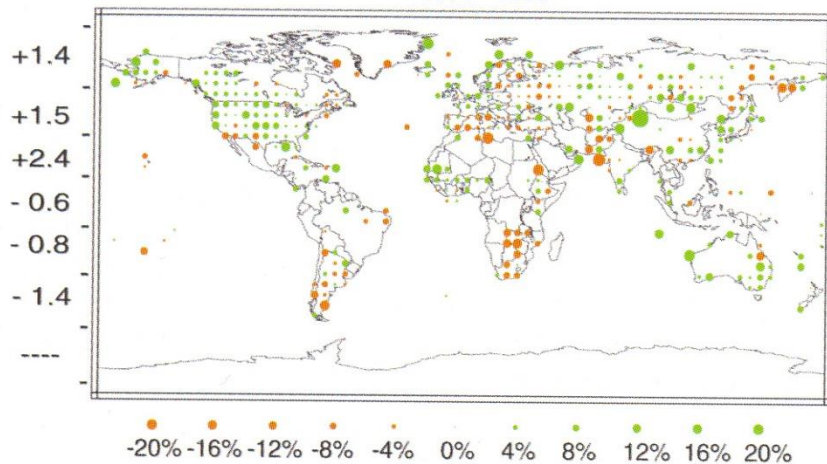
Trends (%/decade) in Annual Precipitation
1910 - 1945



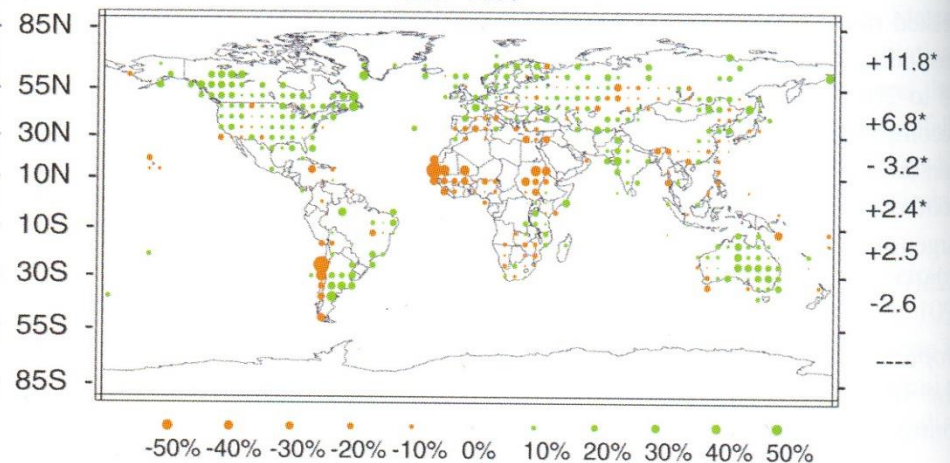
Trends (%/decade) in Annual Precipitation
1946 - 1975



Trends (%/decade) in Annual Precipitation
1976 - 1999



Trend (%/century) in Annual Precipitation
1900 - 1999



Trendy średniego rocznego ciśnienia pary wodnej, 1975-1995

(w procentach średniej wartości z okresu 1975-1995)

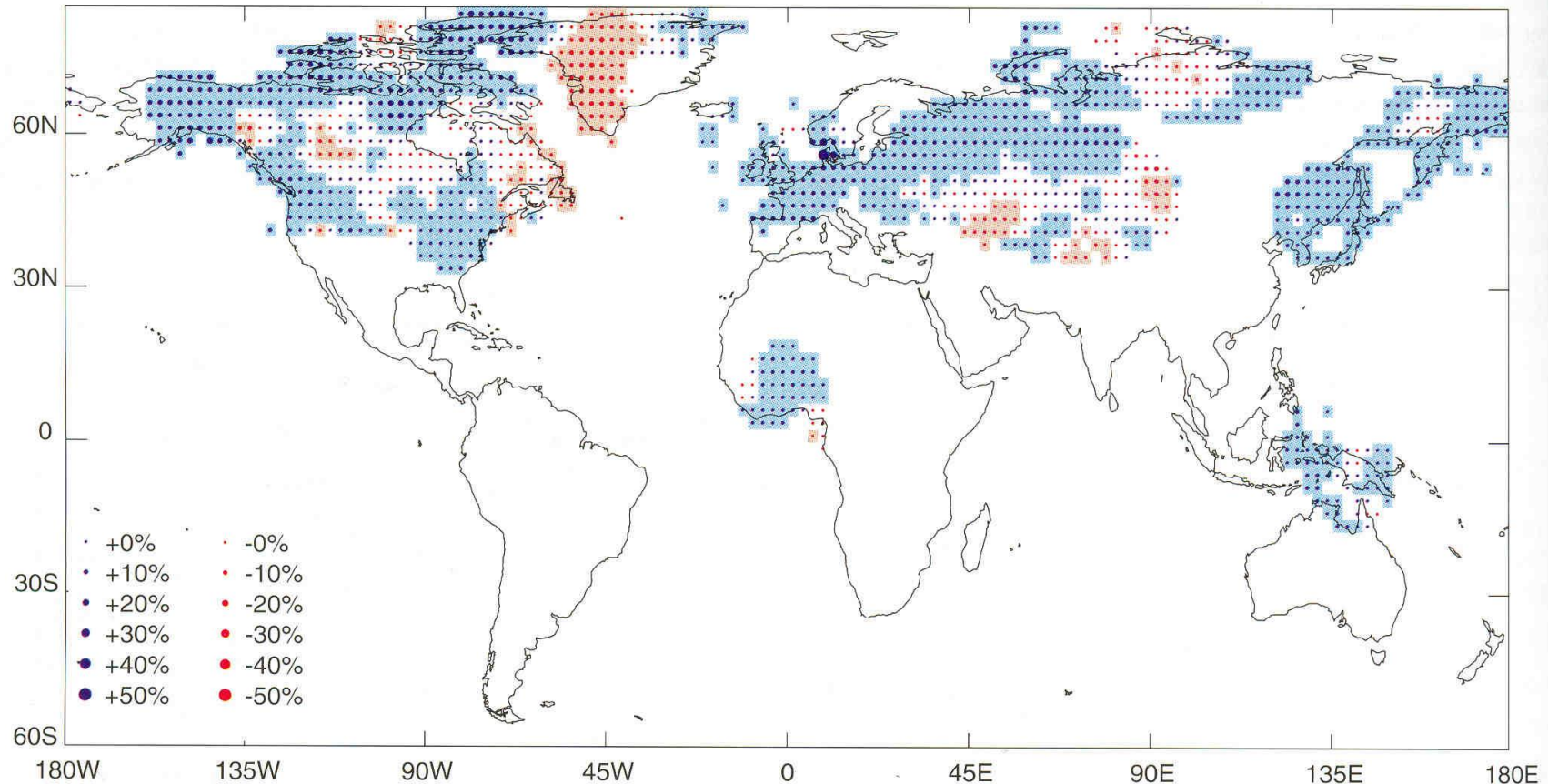


Figure 2.26: Trends in annual mean surface water vapour pressure, 1975 to 1995, expressed as a percentage of the 1975 to 1995 mean. Areas without dots have no data. Blue shaded areas have nominally significant increasing trends and brown shaded areas have significant decreasing trends, both at the 5% significance level. Biases in these data have been little studied so the level of significance may be overstated. From New *et al.* (2000).

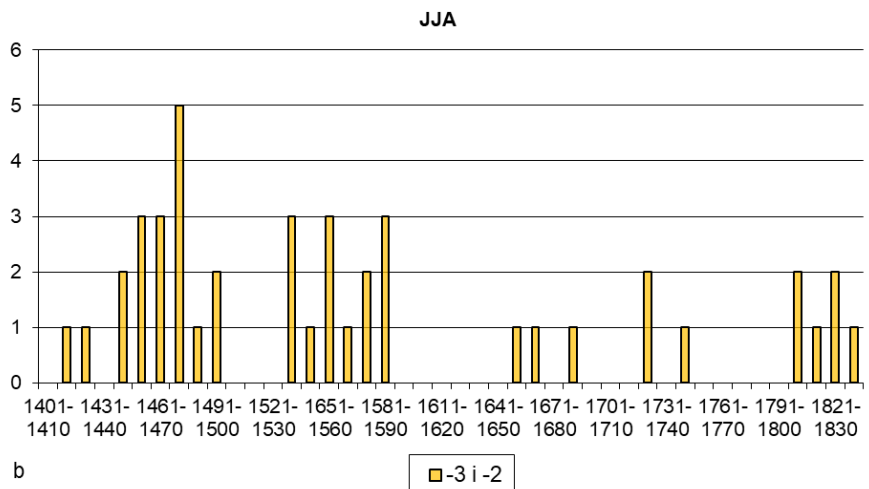
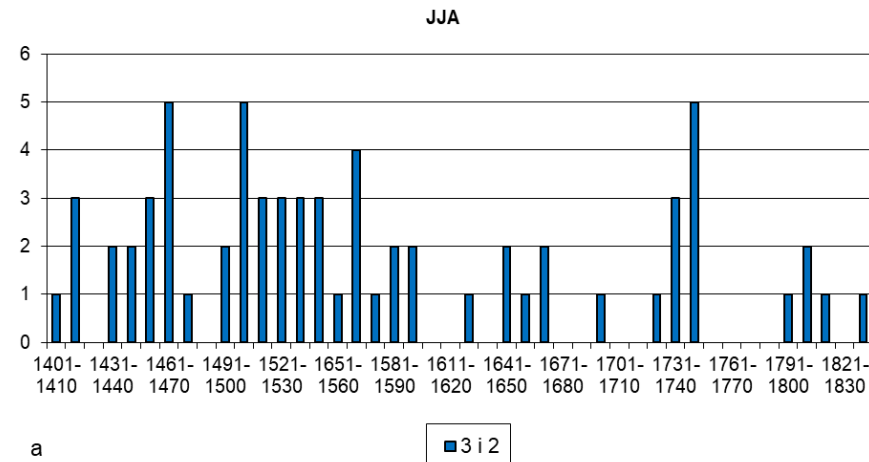
POLSKA

Opady atmosferyczne

Częstość występowania ekstremalnie ciepłych i wilgotnych oraz chłodnych i suchych zim (DJF) i lat (JJA) w Polsce w okresie 1401 - 1840 (za Przybylak i in. 2004, zaktualizowane)

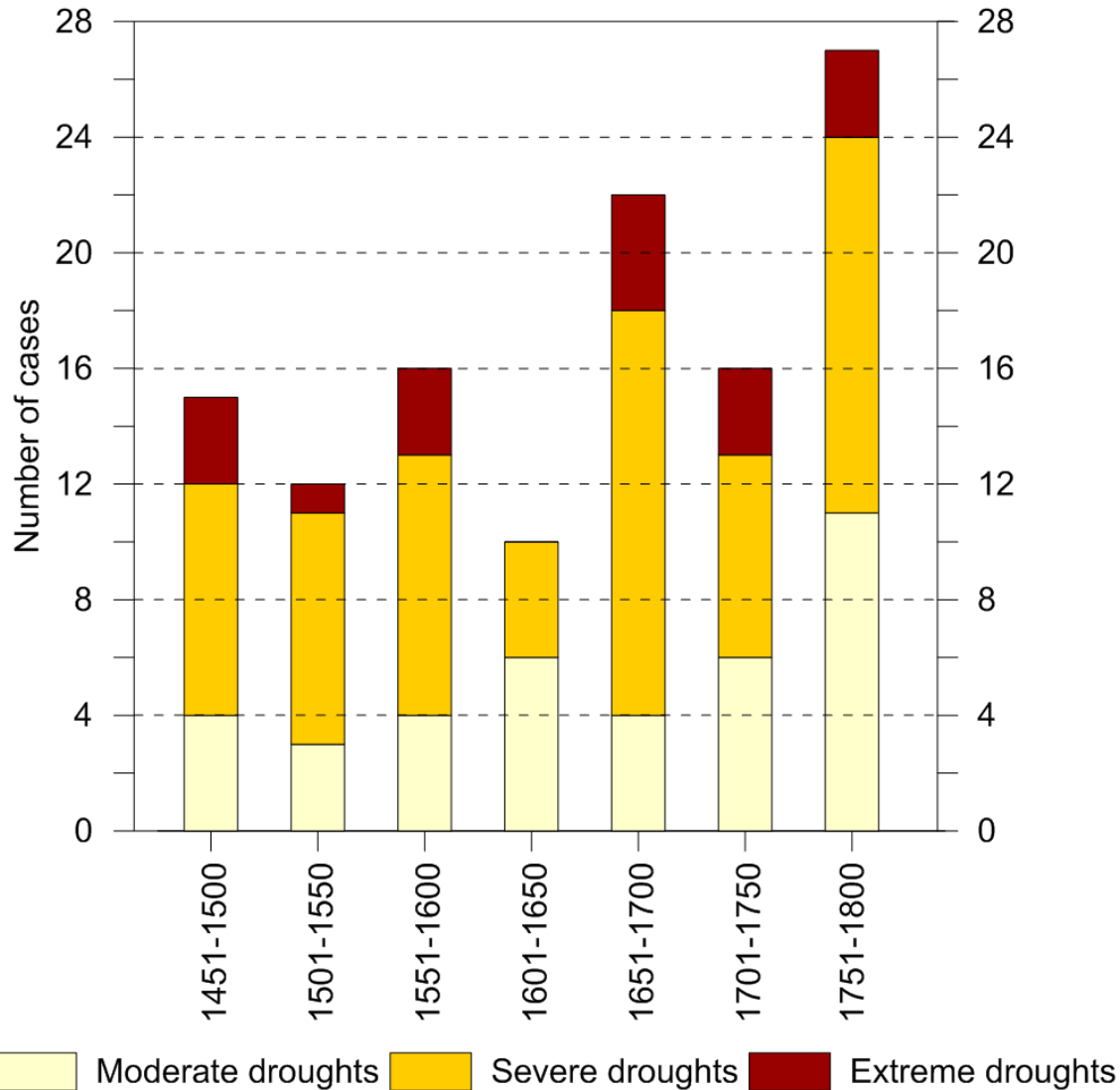
Period	Air temperature				Precipitation				Extreme situations	
	DJF		JJA		DJF		JJA			
	2 i 3	-2 i -3	2 i 3	-2 i -3	2 i 3	-2 i -3	2 i 3	-2 i -3	Total	%
1401-1450	1	12	4	3	7	3	8	4	42	12,5
1451-1500	3	13	13	5	3	2	11	14	64	18,9
1501-1550	7	12	2	0	7	7	17	4	56	16,6
1551-1600	1	14	7	0	1	3	10	9	45	13,4
1601-1650	0	11	10	0	0	0	3	0	24	7,1
1651-1700	4	11	3	1	1	0	4	3	27	8,0
1701-1750	2	12	1	3	6	0	9	3	36	10,7
1751-1800	0	10	0	0	1	0	1	0	12	3,6
1801-1840	0	9	7	2	2	1	4	6	31	9,2
1501-1840	18	104	47	14	28	16	67	43	337	
%	6,1	34,2	13,0	2,6	7,8	4,8	20,7	10,8		100,0

Częstość dekadowa występowania ekstremalnie wilgotnych i bardzo wilgotnych lat (JJA) oraz ekstremalnie suchych i bardzo suchych lat w Polsce w okresie 1401-1500 (za Przybylak i in. 2004, zaktualizowane)

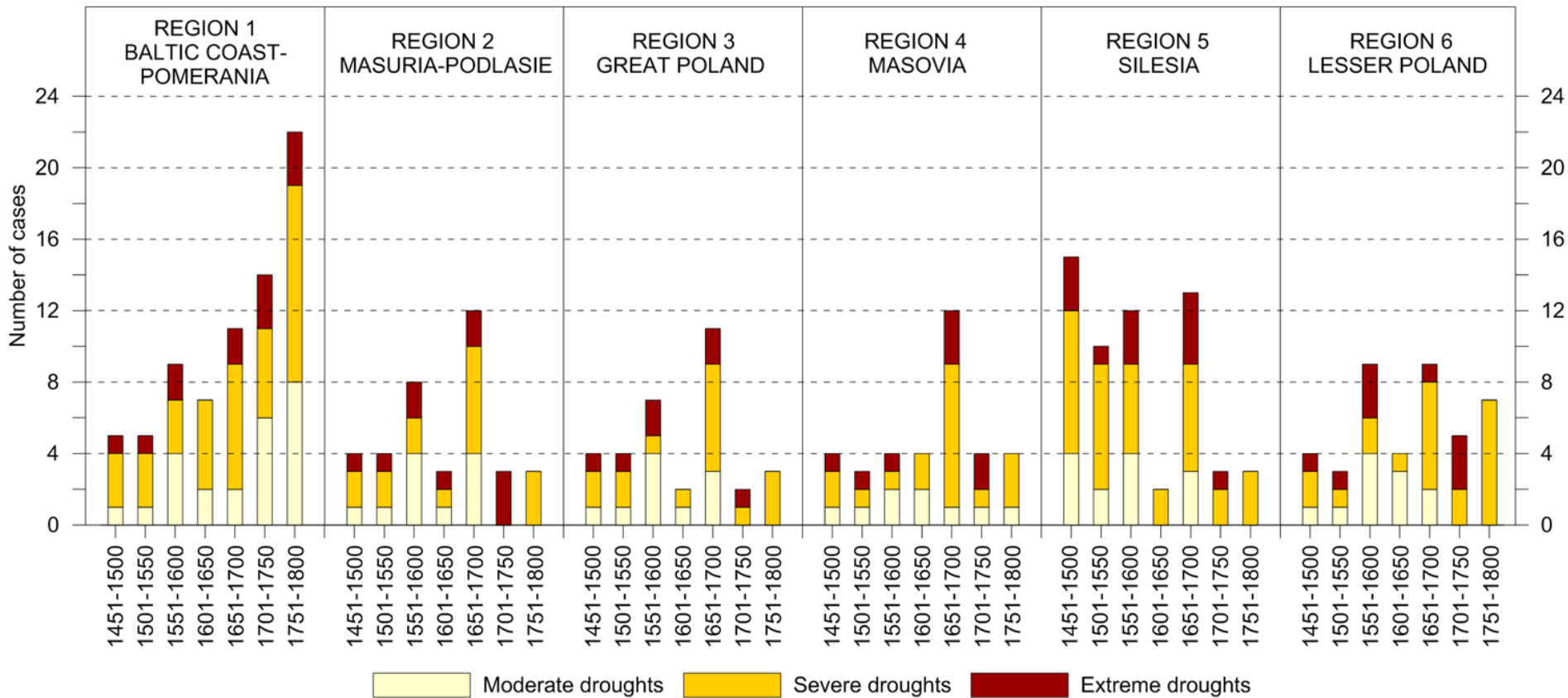


Susze

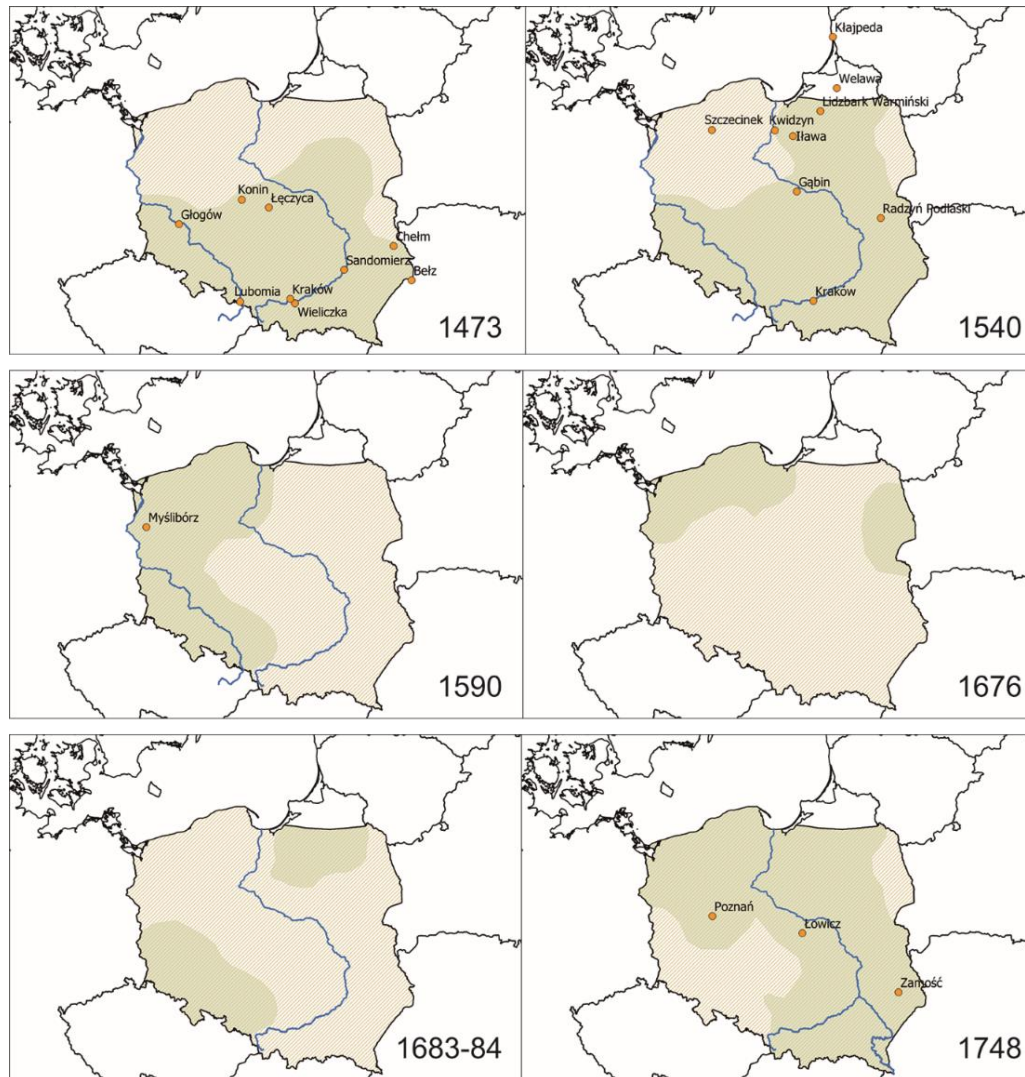
Częstość występowania trzech kategorii susz w Polsce, 1451–1800 (wg Przybylak i in. 2020)



Częstość występowania trzech kategorii susz w sześciu regionach Polski, 1451–1800 (wg Przybylak i in. 2020)

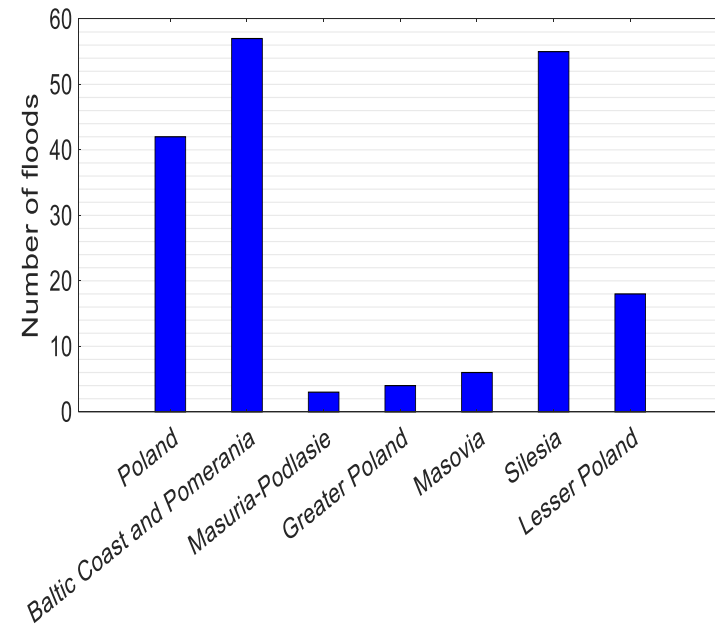
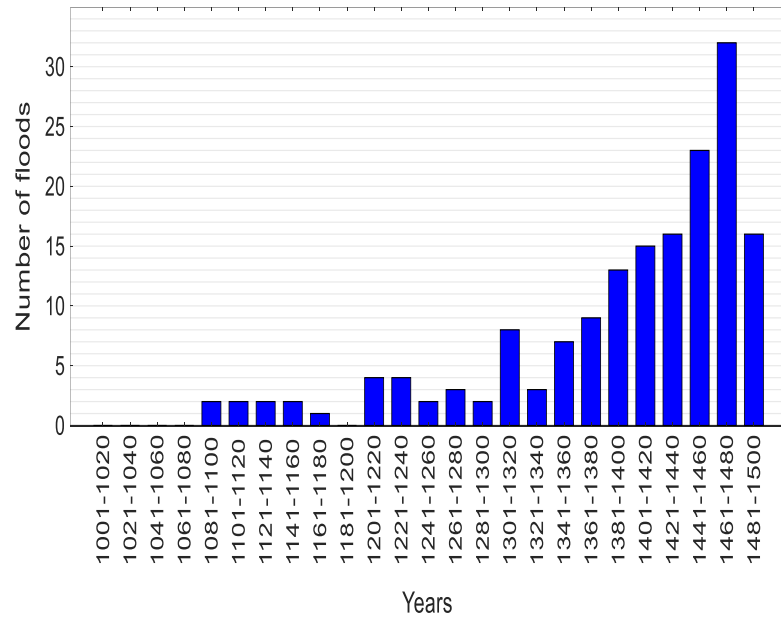


Największe susze w Polsce w okresie 1451-1800 i ich rozkład przestrzenny (kolor ciemny) (wg Przybylak i in. 2020)



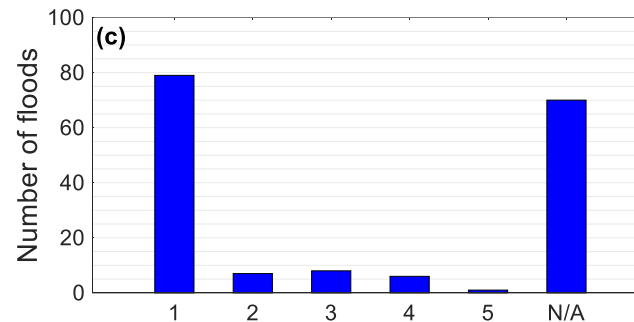
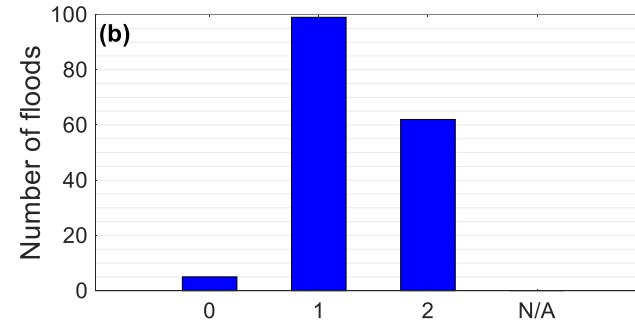
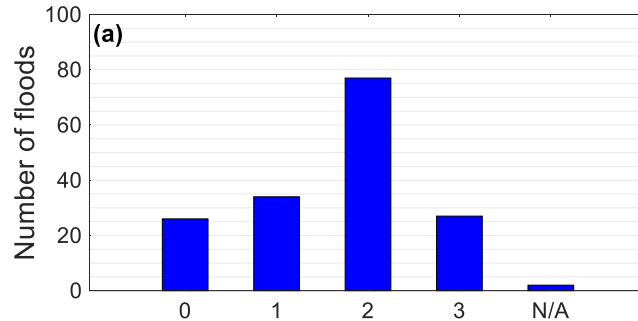
Powodzie

Liczba powodzi w Polsce w okresie 1001-1500 (za Ghazi i in. 2023)



Liczba powodzi w Polsce wg kategorii ich intensywności zaproponowanych przez a) Brazdil et al. (2006), b) Bariendos i Coeur (2004) oraz geneza powodzi (c) wg kryteriów Lambora (1954) (za Ghazi i in. 2023)

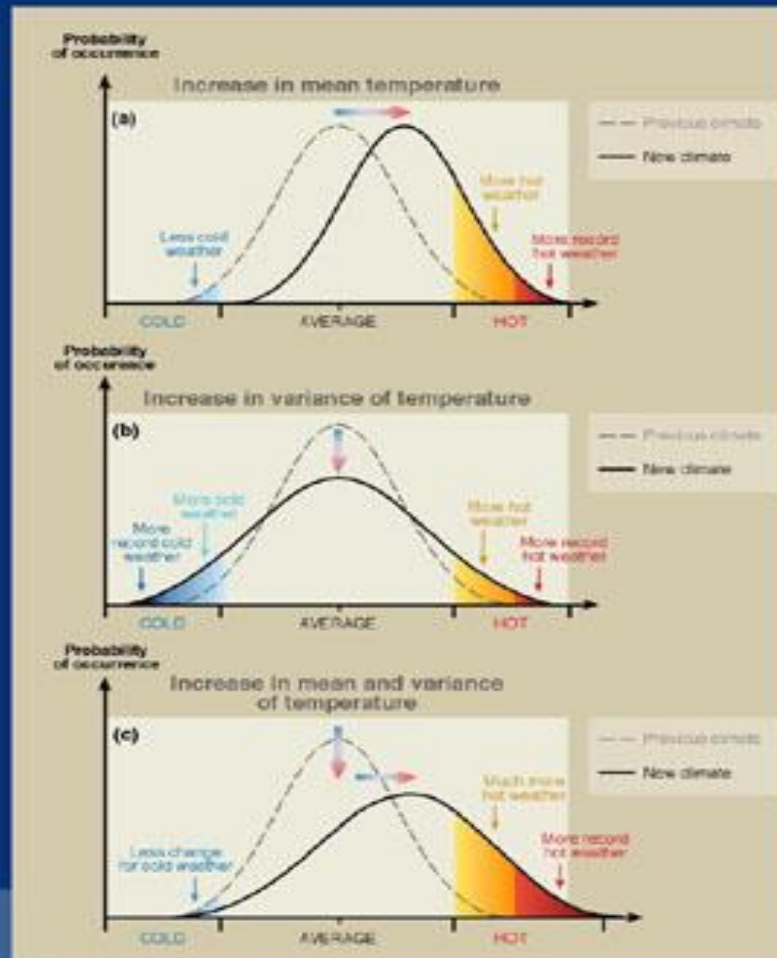
N/A – brak informacji w źródłach



Objaśnienie: Brazdil et al.: 0 – powódź, 1 – mała regionalna powódź, 2 – ponadprzeciętna lub ponadregionalna powódź, 3 - ponadprzeciętna lub ponadregionalna powódź o wymiarze katastrofy
Bariendos and Coeur: 0 – zwykła (wysoki stan), 1 – bardzo silna (extraordinary), 2 – katastrofalna
Lambor: 1 – deszcz, 2 – topnienie śniegu, 3 - sztormowa, 4 - zimowa, 5 - antropogeniczna

Czy klimat stał się bardziej zmienny i ekstremalny?

Effects on extreme temperatures



SYR - FIGURE 4-1

Zmiany liczby dni z przymrozkiem (lewy panel) i czasu trwania fal ciepła (prawy panel; okresy > 5 dni z $T_{max} > 5^{\circ}\text{C}$ od średniej z okresu 1961-1990)

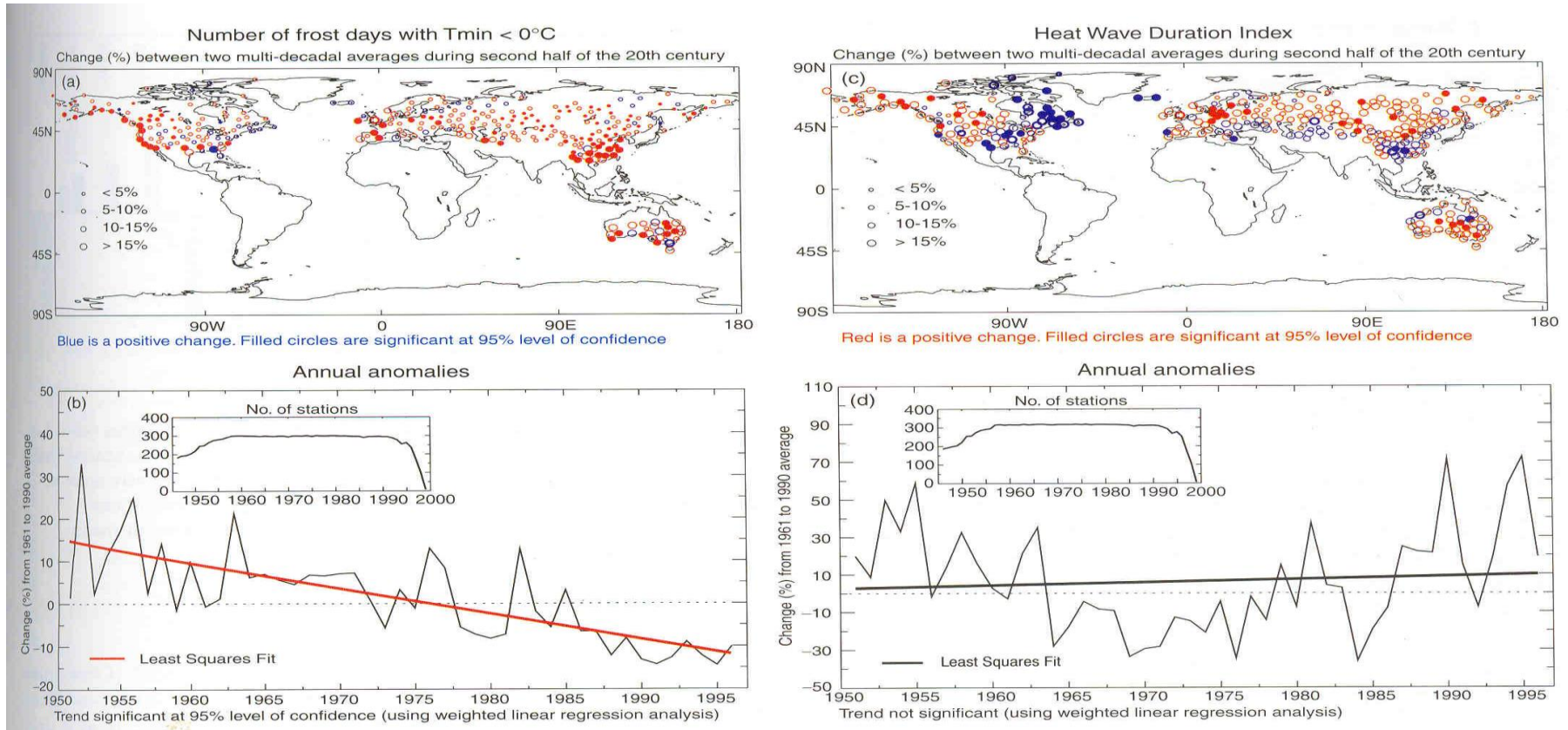


Figure 2.33: Changes in the number of frost days (a, b) and in heat-wave duration (c, d) from Frich *et al.* (2001). Panel (a) shows the percent changes in the total number of days with a minimum temperature of less than 0°C between the first and last half of the period, approximately 1946 to 1999. The red circles indicate negative changes and the blue circles indicate positive changes. Panel (c) shows percentage changes in the maximum number of consecutive days (for periods with >5 such days) with maximum temperatures $>5^{\circ}\text{C}$ above the 1961 to 1990 daily normal. The changes are for the first and second half of the period, approximately 1946 to 1999. The red circles indicate positive changes and the blue circles indicate negative changes. In both panels, the size of each circle reflects the size of the change and solid circles represent statistically significant changes. Panels (b) and (d) show the average annual values of these quantities expressed as percentage differences from their 1961 to 1990 average values. The trend shown in panel (b) is statistically significant at the 5% level.

Trendy fal upałów na kuli ziemskiej 1950-2014

Trendy w dniach/dekadę (a–d) i °C/dekadę (e–h)

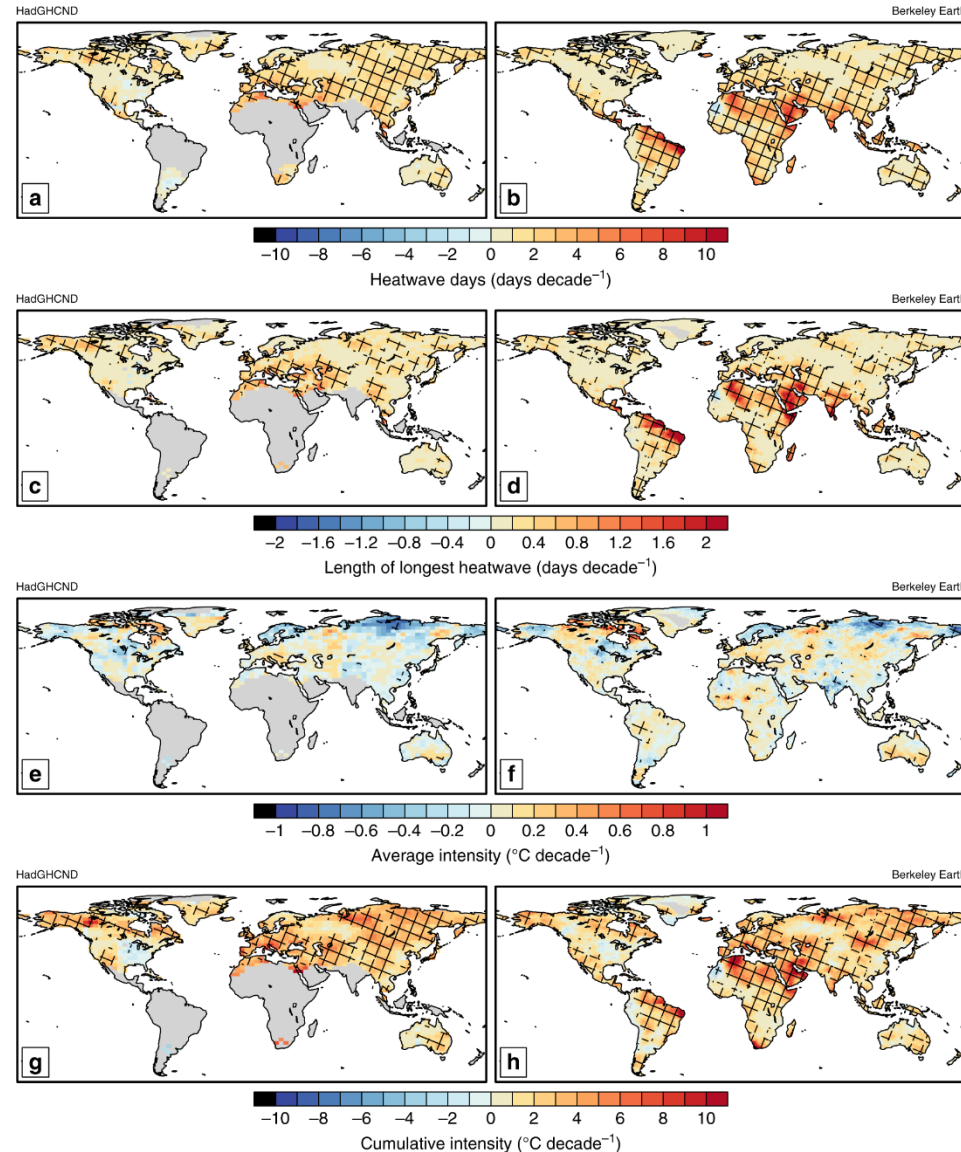
Trendy:

Dni w sezonowych falach upałów
(a, b);

Długości najdłuższych
fal (c, d);

Średniej intensywności
fal (e, f);

Skumulowanych wartości ciepła w
falach (g, h)

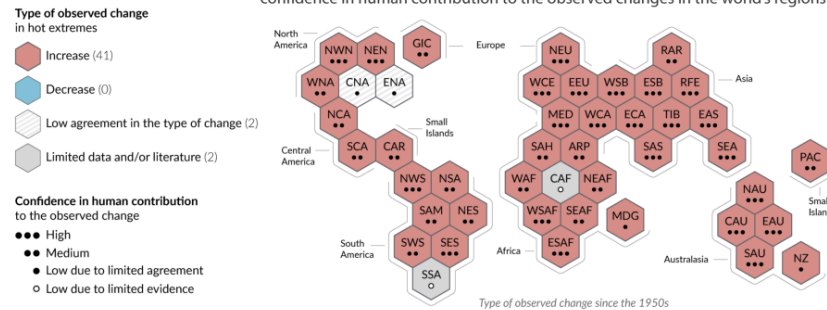


Źródło: Perkins-Kirkpatrick, Lewis (2020)

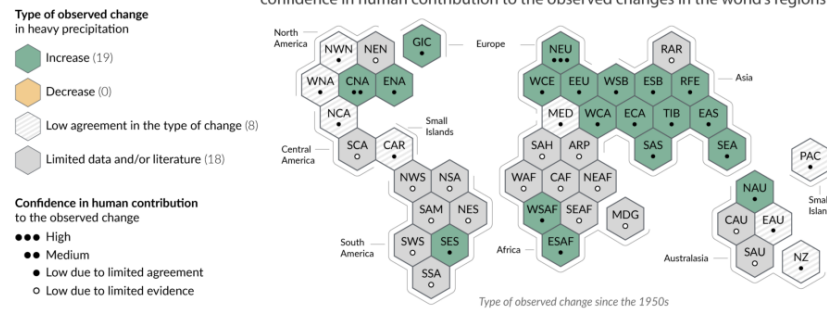
Częstość występowania dni gorących (a), ulewnych opadów (b) i susz w regionach WMO (IPCC 2021)

Climate change is already affecting every inhabited region across the globe with human influence contributing to many observed changes in weather and climate extremes

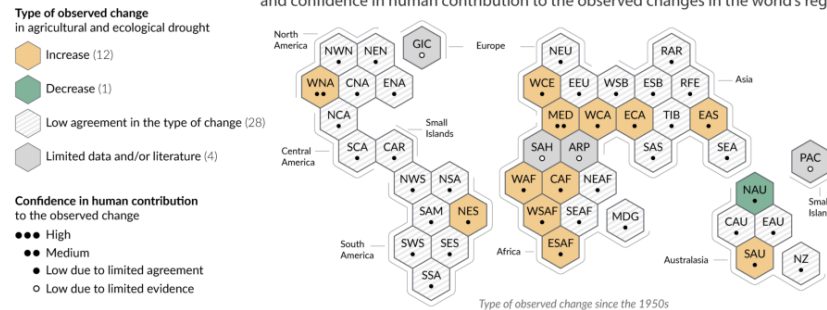
a) Synthesis of assessment of observed change in **hot extremes** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



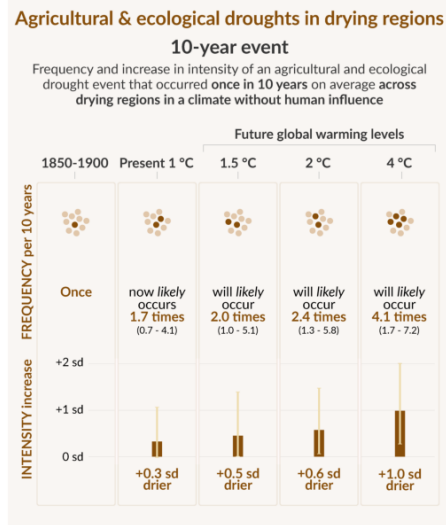
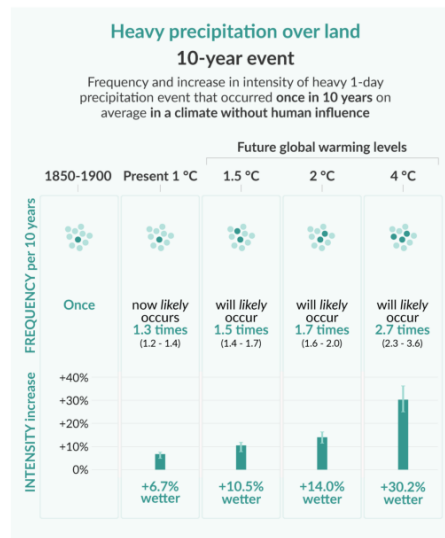
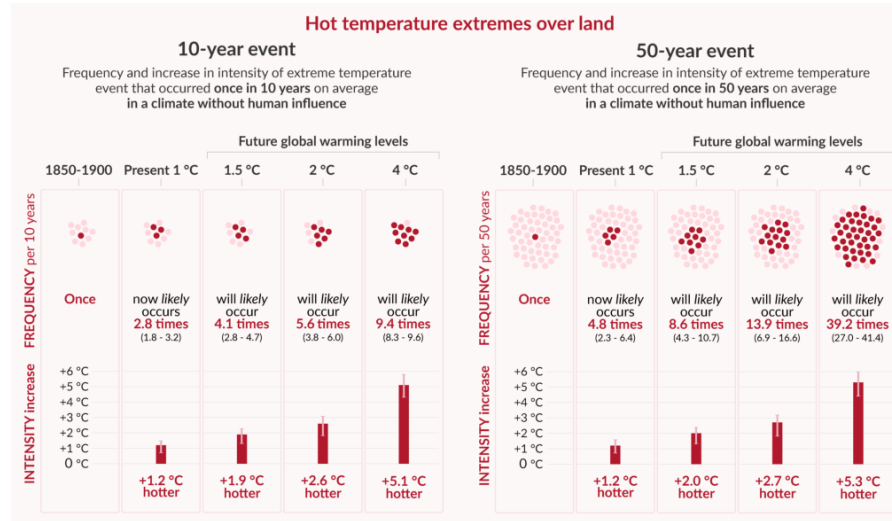
b) Synthesis of assessment of observed change in **heavy precipitation** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



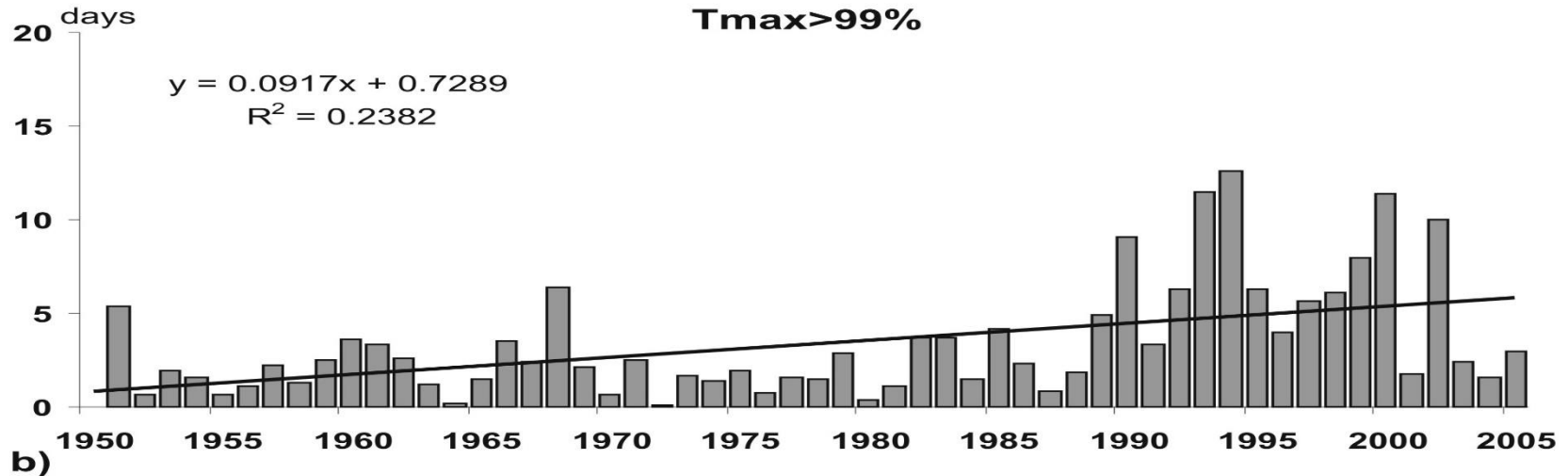
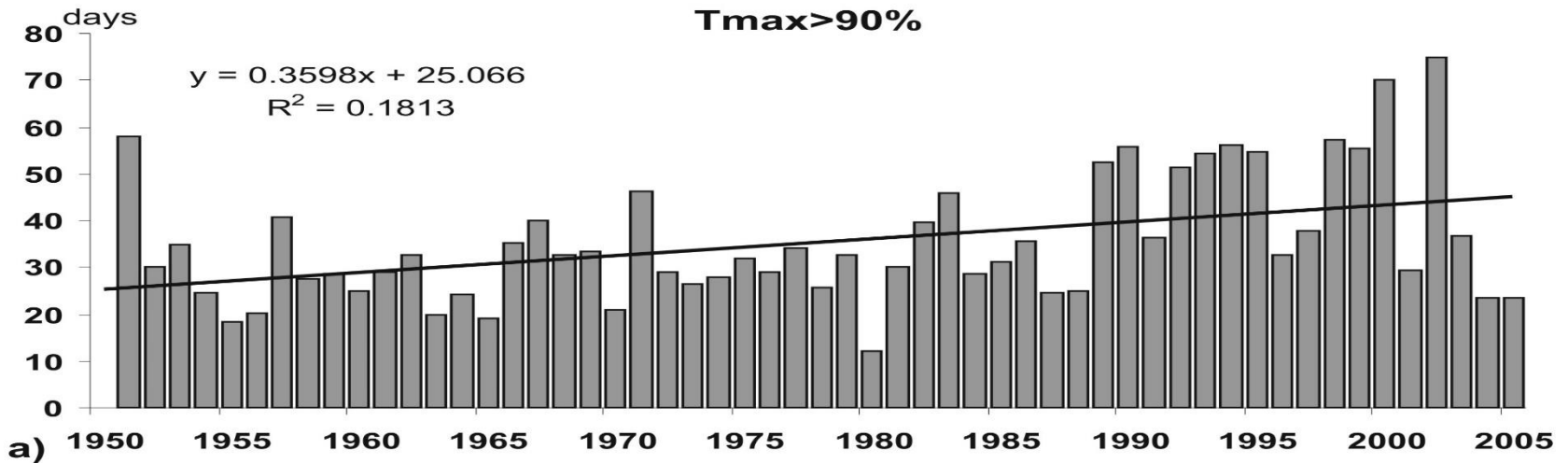
c) Synthesis of assessment of observed change in **agricultural and ecological drought** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



Częstość występowania wysokich temperatur ekstremalnych, ulewnych opadów i susz w przyszłości oraz ich intensywności (IPCC 2021)



Obszarowo uśredniona roczna liczba dni w Polsce z temperaturą maksymalną powyżej 90 (a) i 99 (b) percentyla, 1951-2005 (Przybylak i in. 2007)



Zmiany (%) maksymalnych opadów pentadowych (lewy panel) i udziału opadów najwyższych (górne 5 procent, prawy panel) pomiędzy 1 i 2 połową okresu 1946-1999

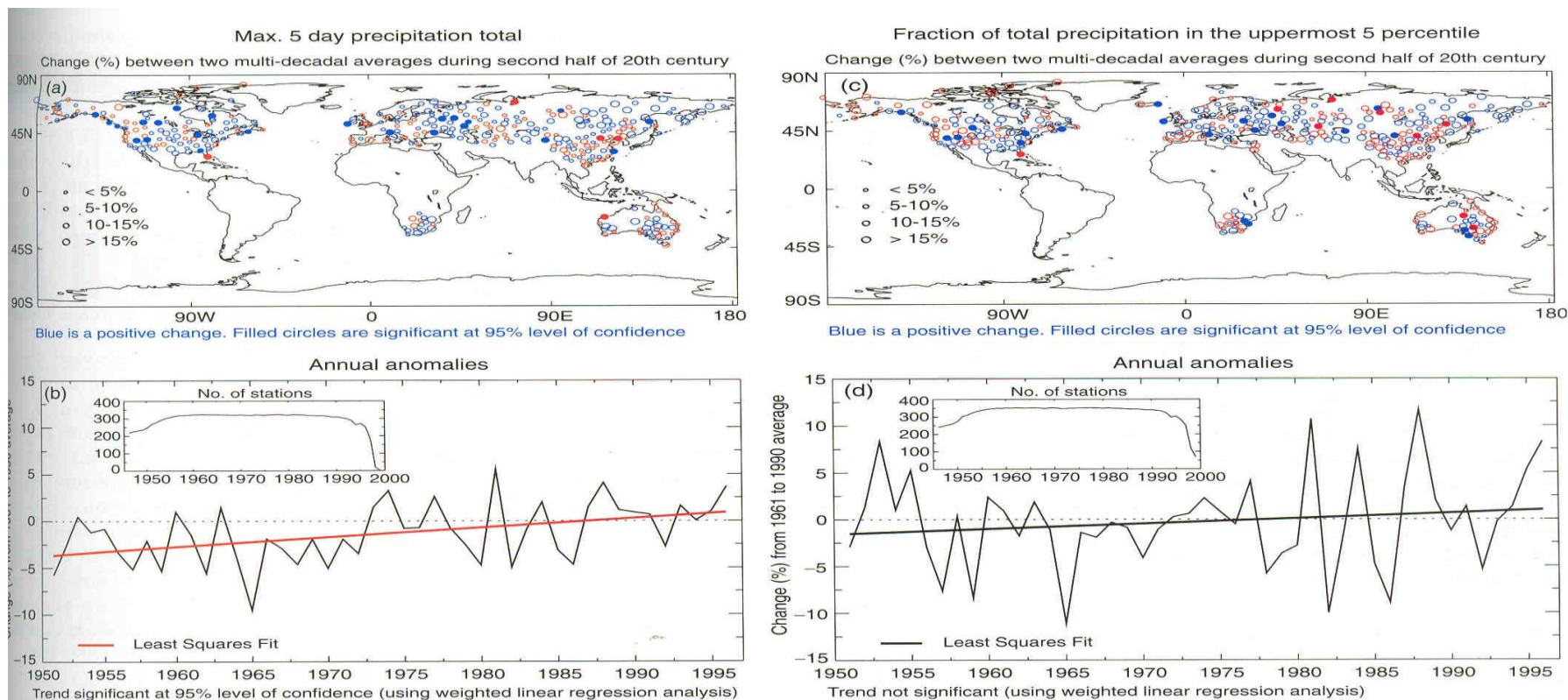
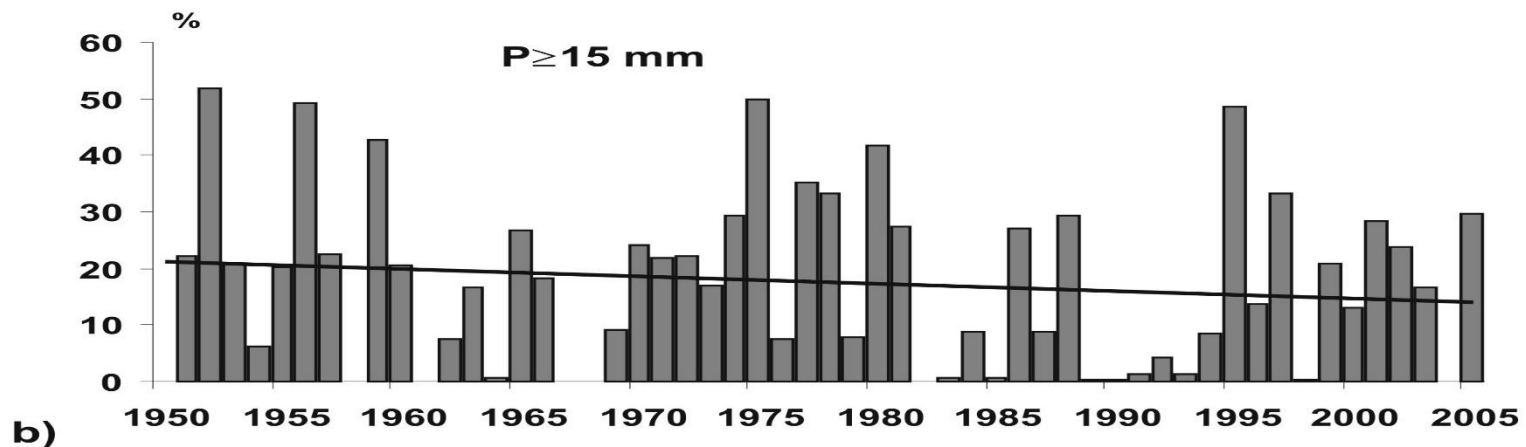
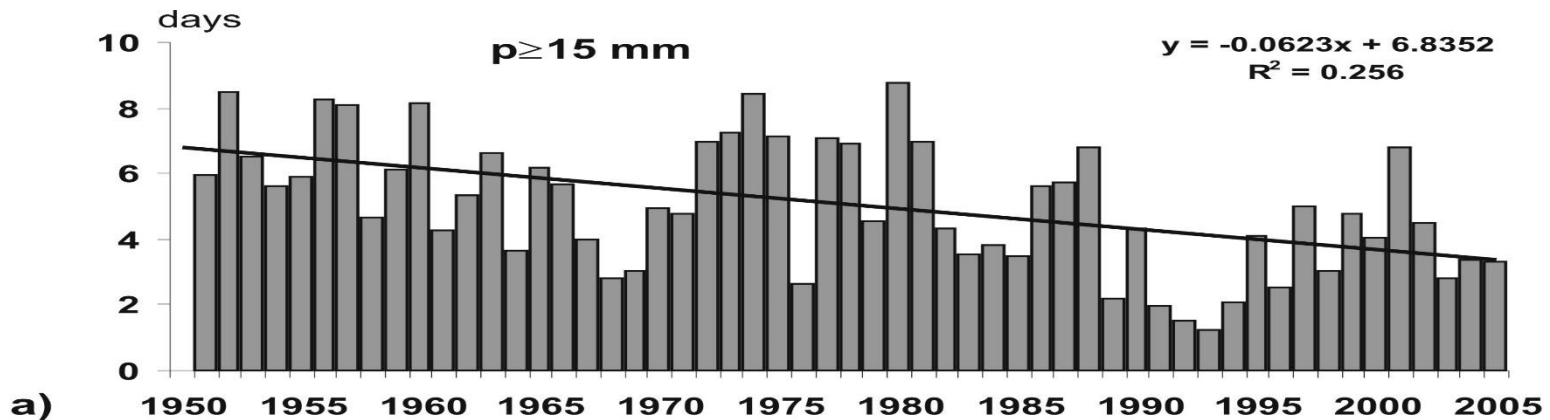


Figure 2.36: Changes in the maximum annual 5-day precipitation total (a, b) and in the proportion of annual precipitation occurring on days on which the 95th percentile of daily precipitation, defined over the period 1961 to 1990, was exceeded (c, d). The analysis shown is from Frich *et al.* 2001). Panels (a) and (c) show percentage changes in these quantities between the first and last half of the period, approximately 1946 to 1999. In both panels, the red circles indicate negative changes and the blue circles indicate positive changes. The size of each circle reflects the size of the change and solid circles represent statistically significant changes. Panels (b) and (d) show the average annual values of the quantities expressed as percentage differences from their 1961 to 1990 average values. The trend shown in panel (b) is statistically significant at the 5% level.

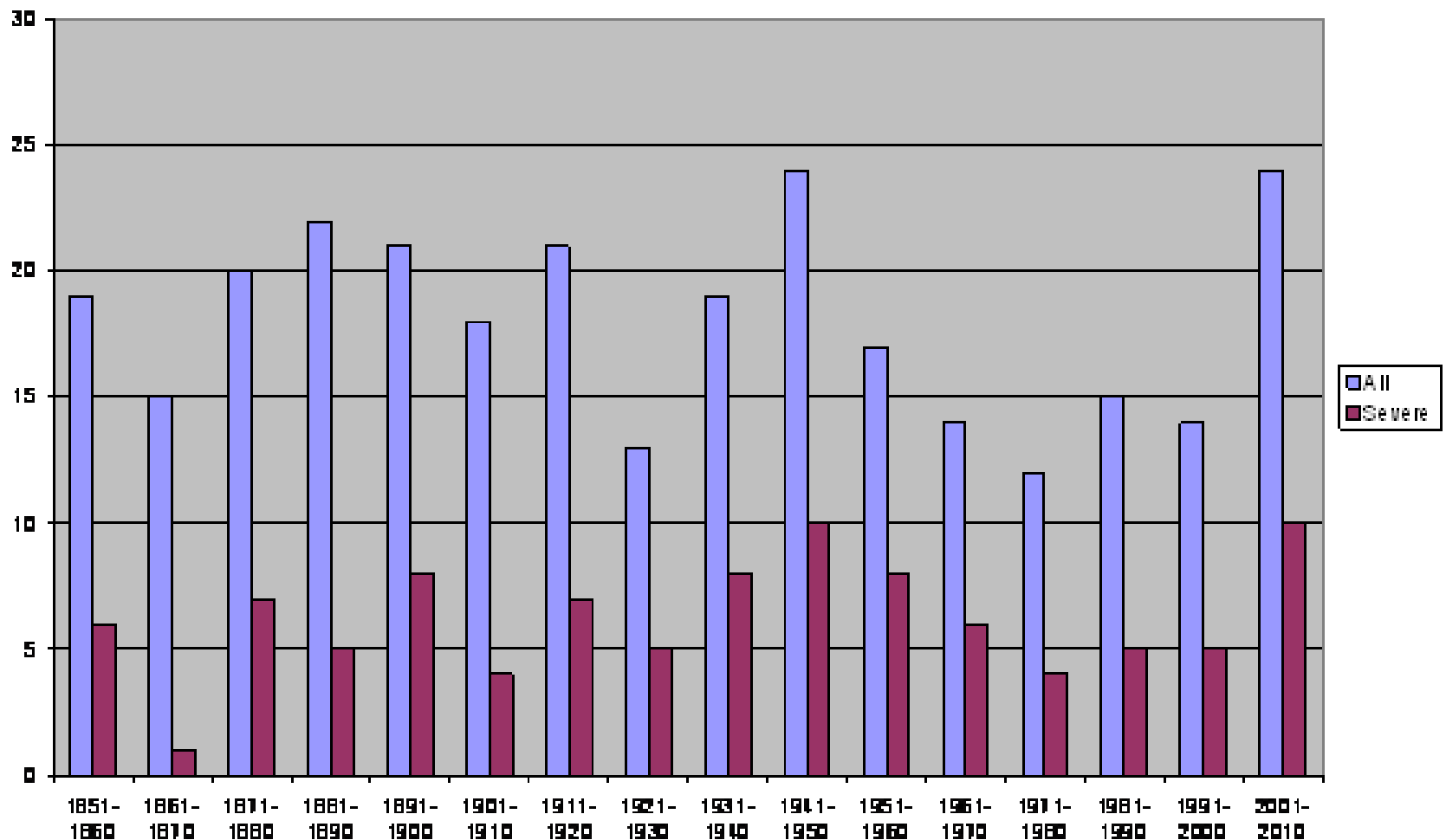
- (a) Średnia roczna liczba dni w Polsce z opadem > 15 mm
 (b) Zmiany wielkości pokrycia obszaru Polski ze znacznie większym udziałem od normy w sumie rocznej opadów dobowych > 15 mm, 1951-2005 (Przybylak i in. 2007)



Liczba huraganów w USA w okresie 1851-2010

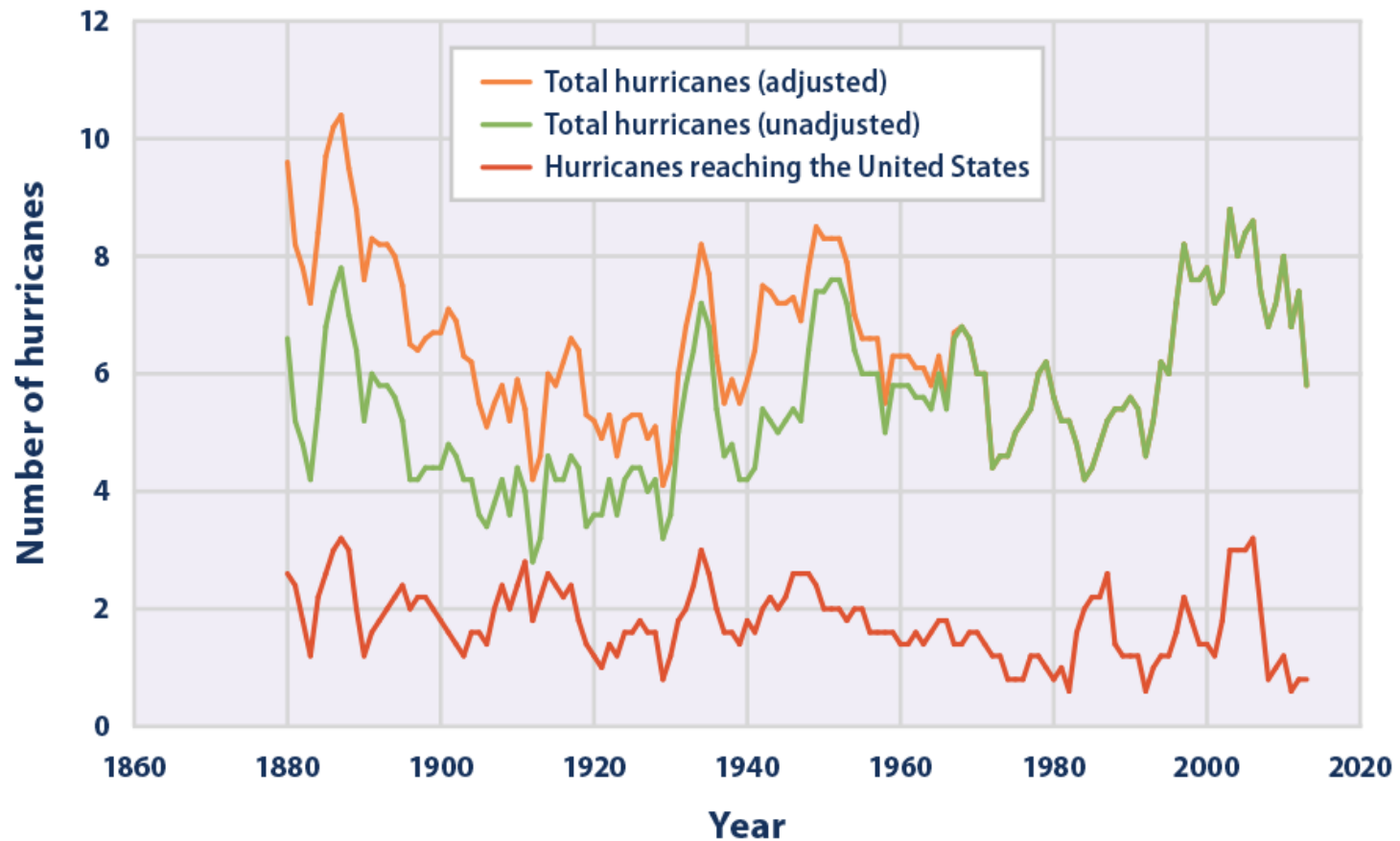
US Hurricane Strikes

Source: National Weather Service. 2007-2010 assumed to equal 2001-2004

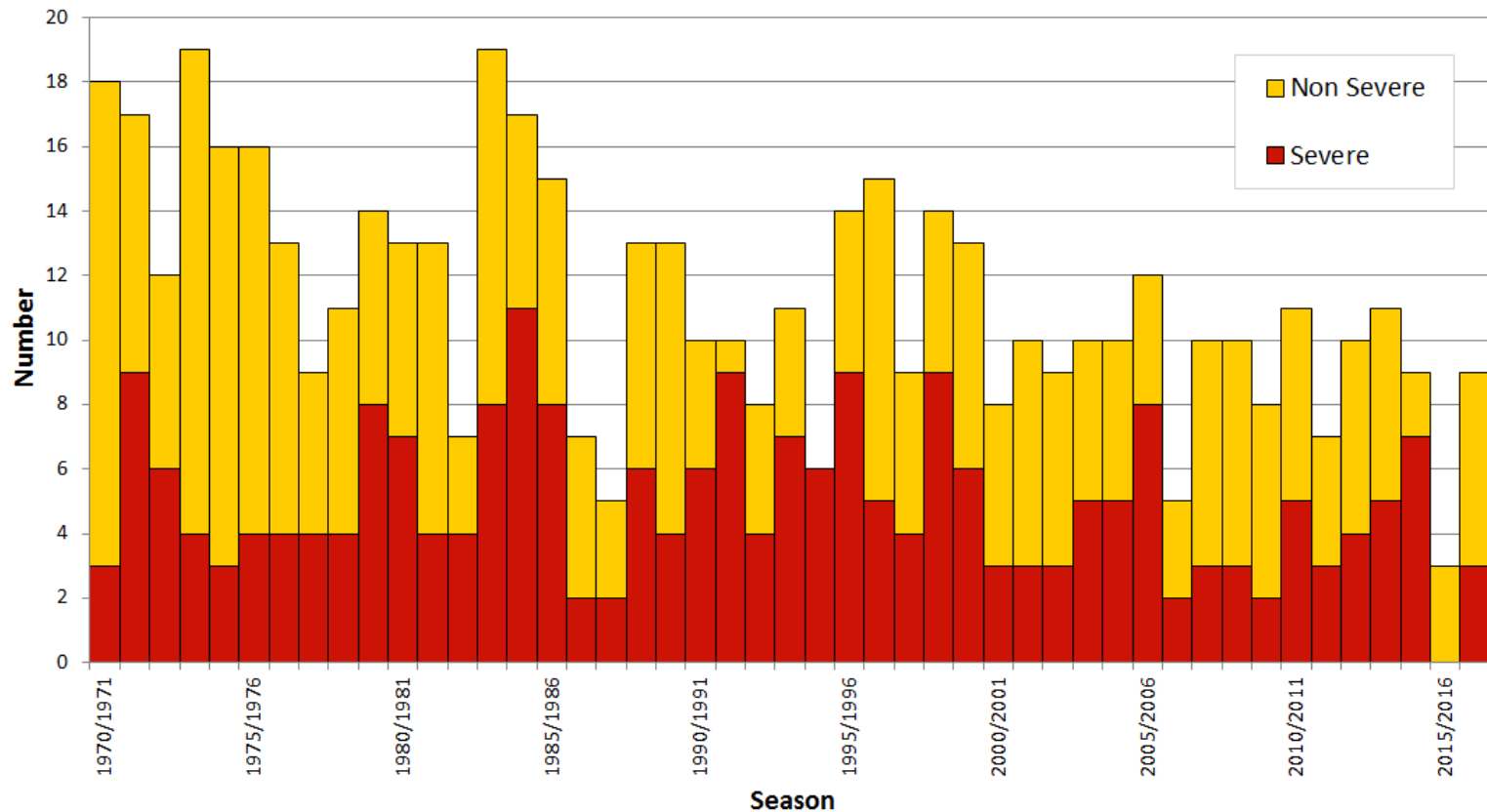


Liczba huraganów nad Atlantykiem Północnym (górne dwa wykresy) oraz w USA (dolny wykres), 1878-2015

Źródło: NOAA, 2016; Vecchi and Knutson, 2011



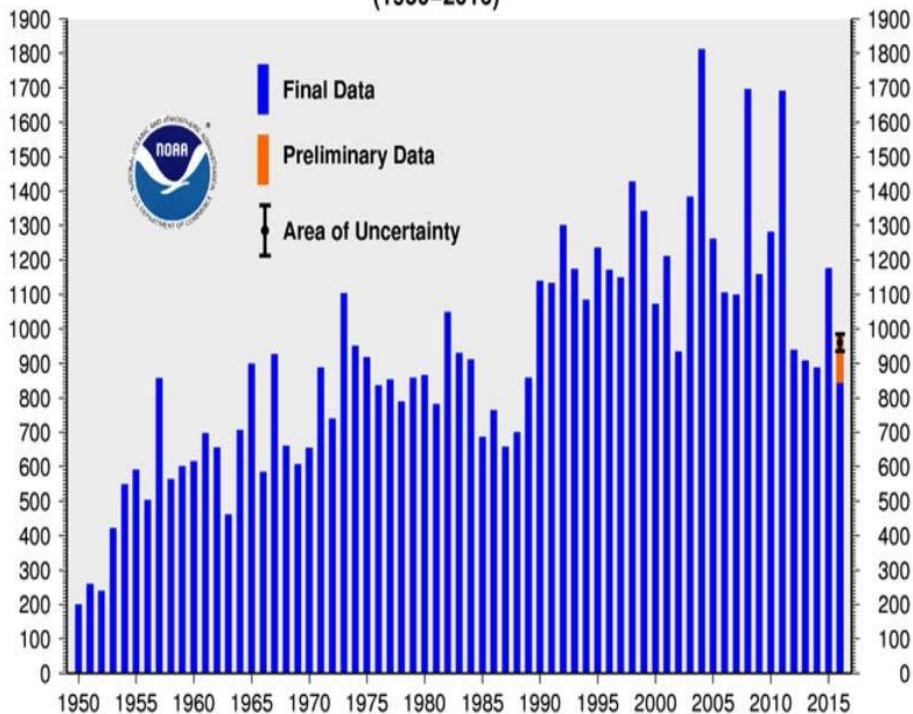
Liczba huraganów silnych (severe) i słabych (non severe) w regionie Australii, 1970-2017



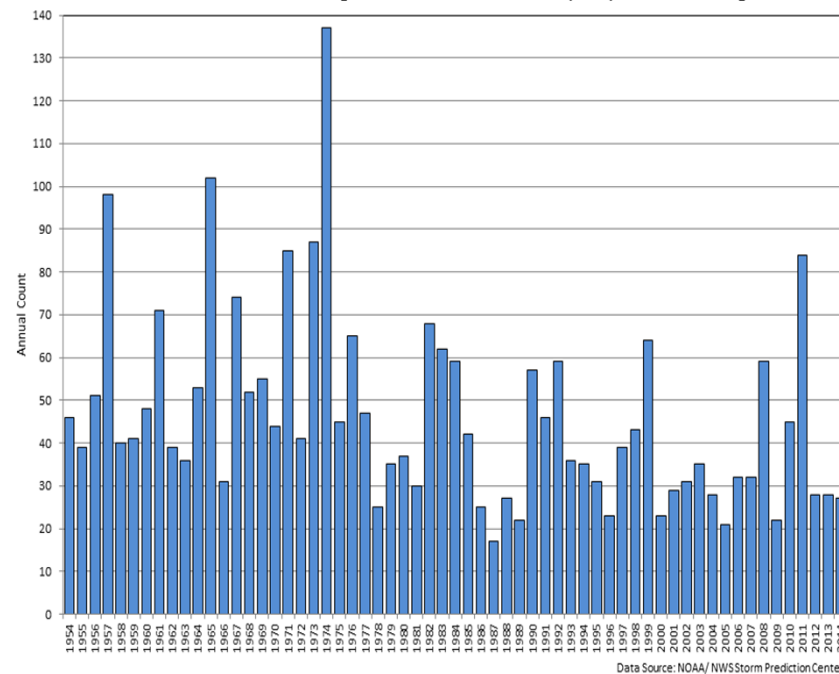
Roczna liczba tornad na świecie (1950-2016) – lewy rysunek i w USA (1954-2014) – prawy rysunek

Jan-Dec Total Number of Tornadoes

(1950-2016)



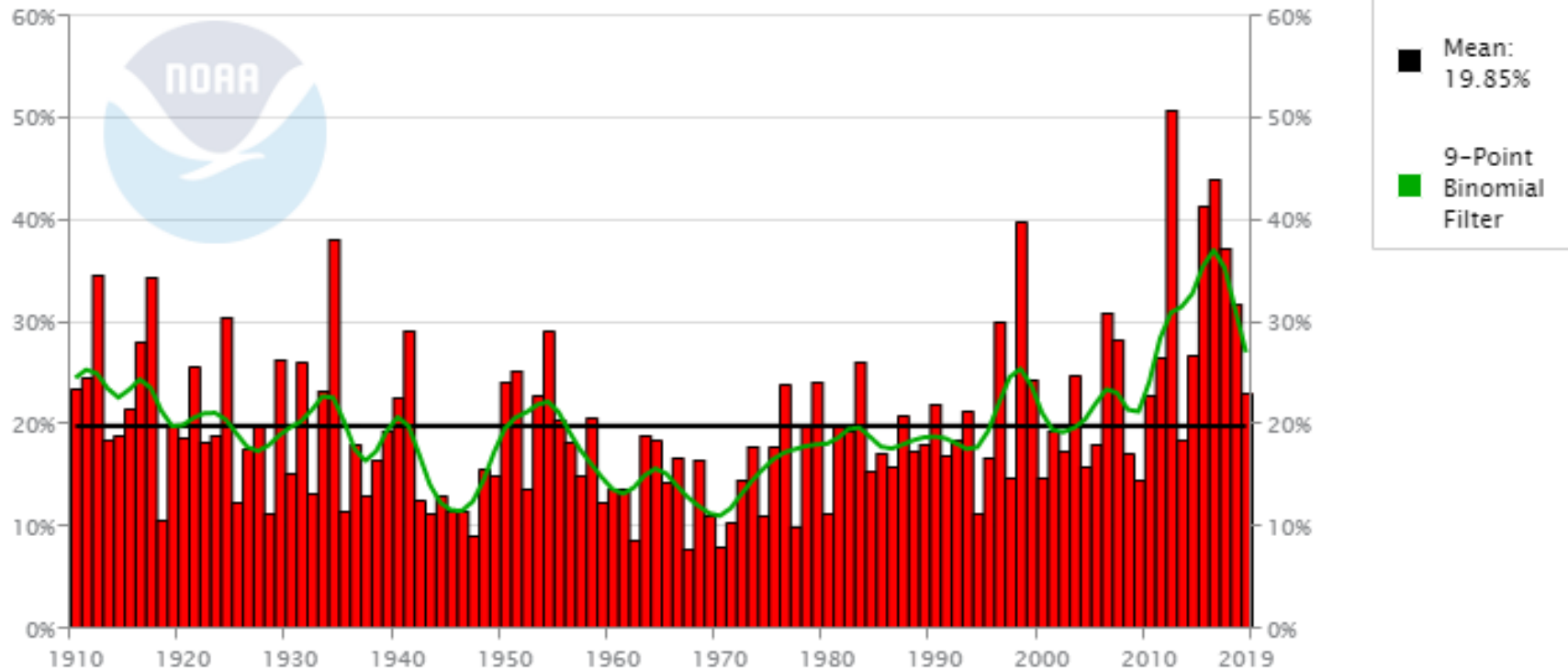
U.S. Annual Count of Strong to Violent Tornadoes (F3+), 1954 through 2014



Indeks ekstremalności klimatu USA w okresie 1910-2019

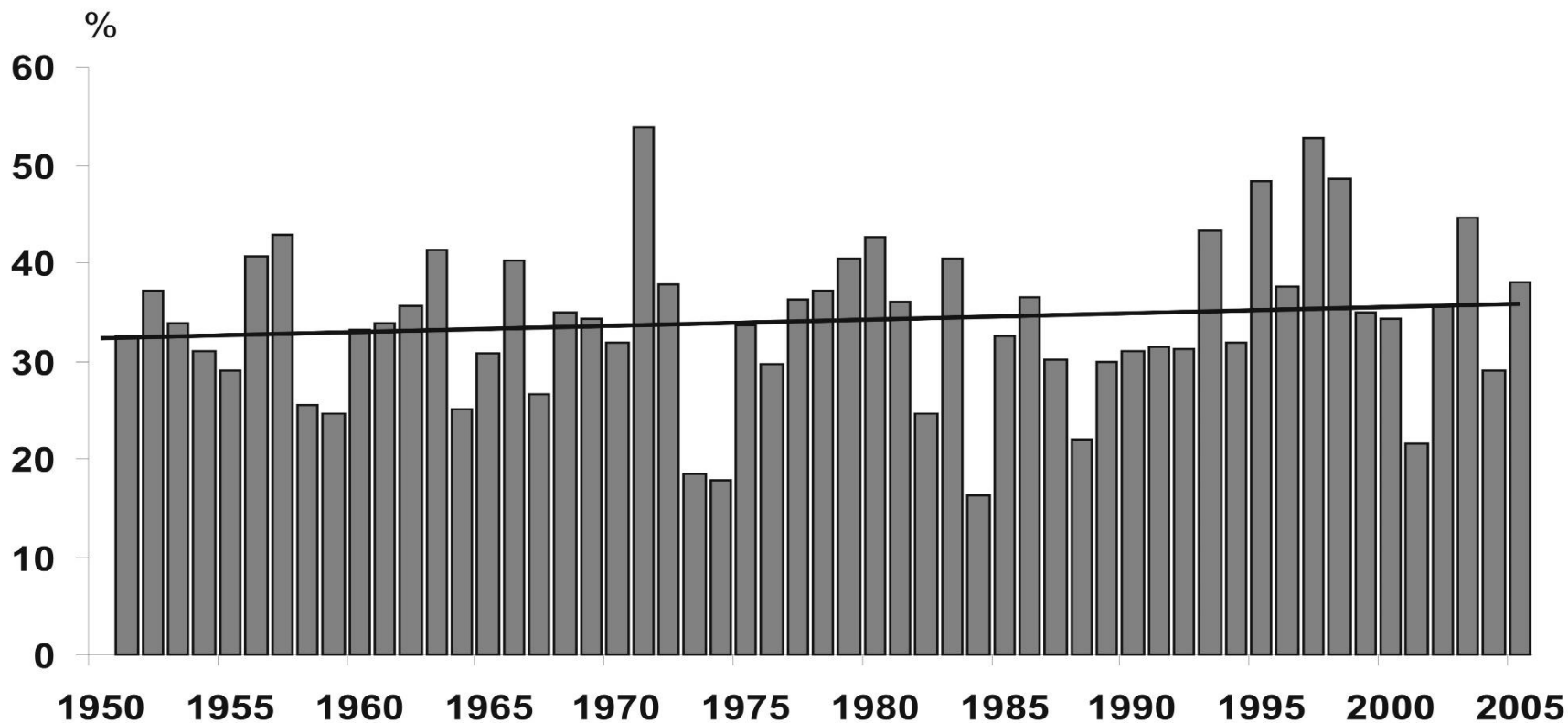
<https://www.ncdc.noaa.gov/extremes/cei/graph>

Contiguous U.S. Without Tropical Cyclone Indicator
Annual (January–December)



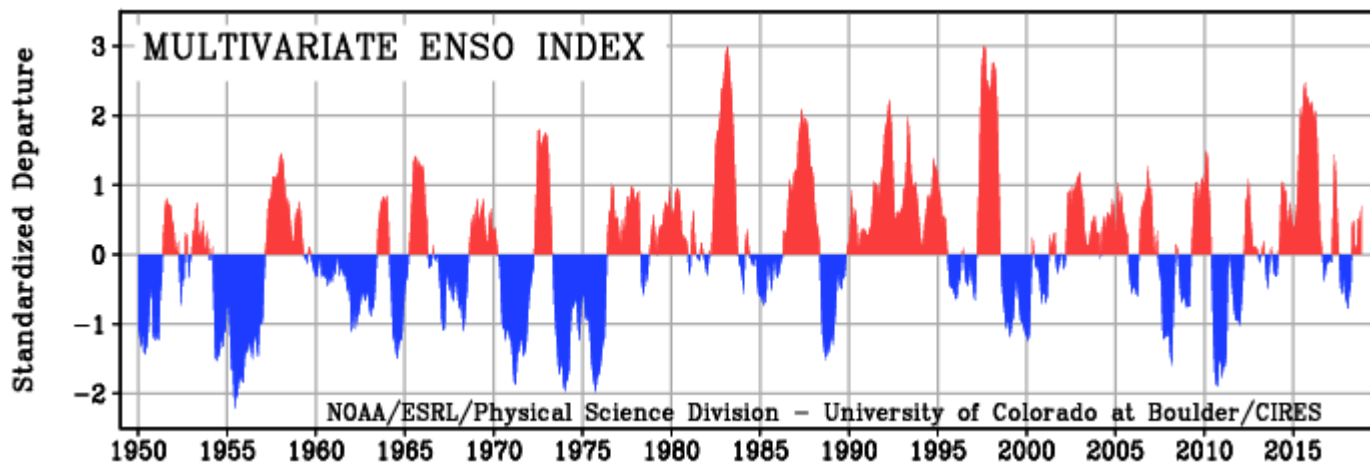
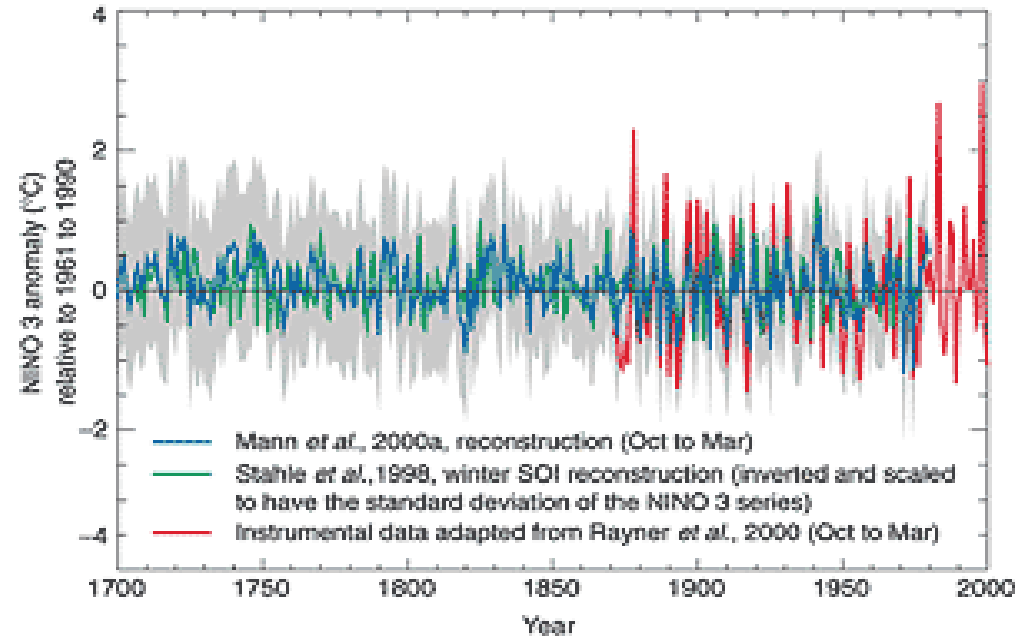
Indeks ekstremalności klimatu Polski w okresie 1951-2005

(Przybylak i in. 2007)

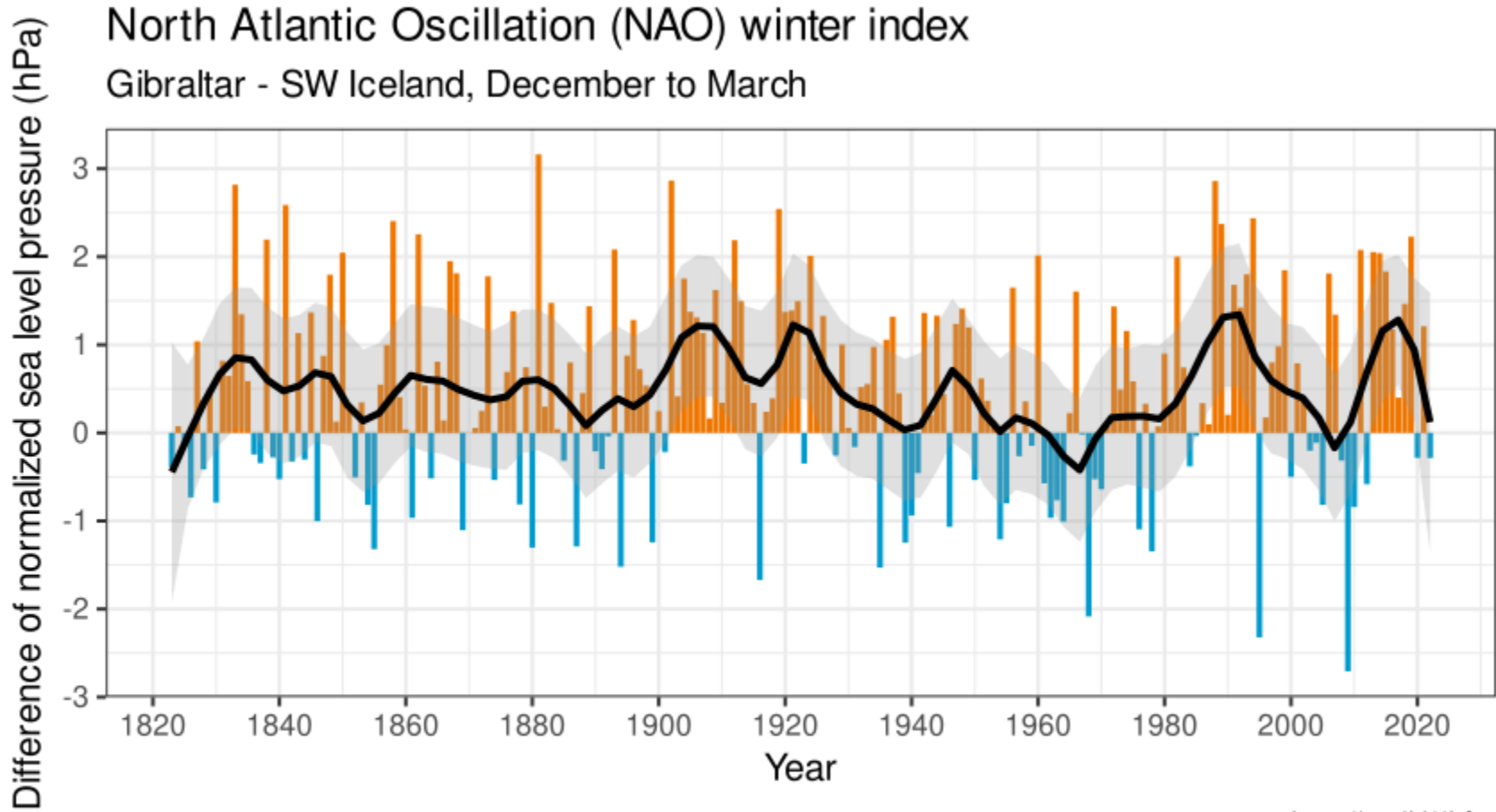


Czy zmieniła się cyrkulacja atmosferyczna i oceaniczna?

- **Rekonstrukcja indeksu Oscylacji Południowej (ENSO) i zjawiska El-Nino od 1700 r.**
- **Linia czerwona – dane obserwacyjne; linie pozostałe -rekonstrukcje**



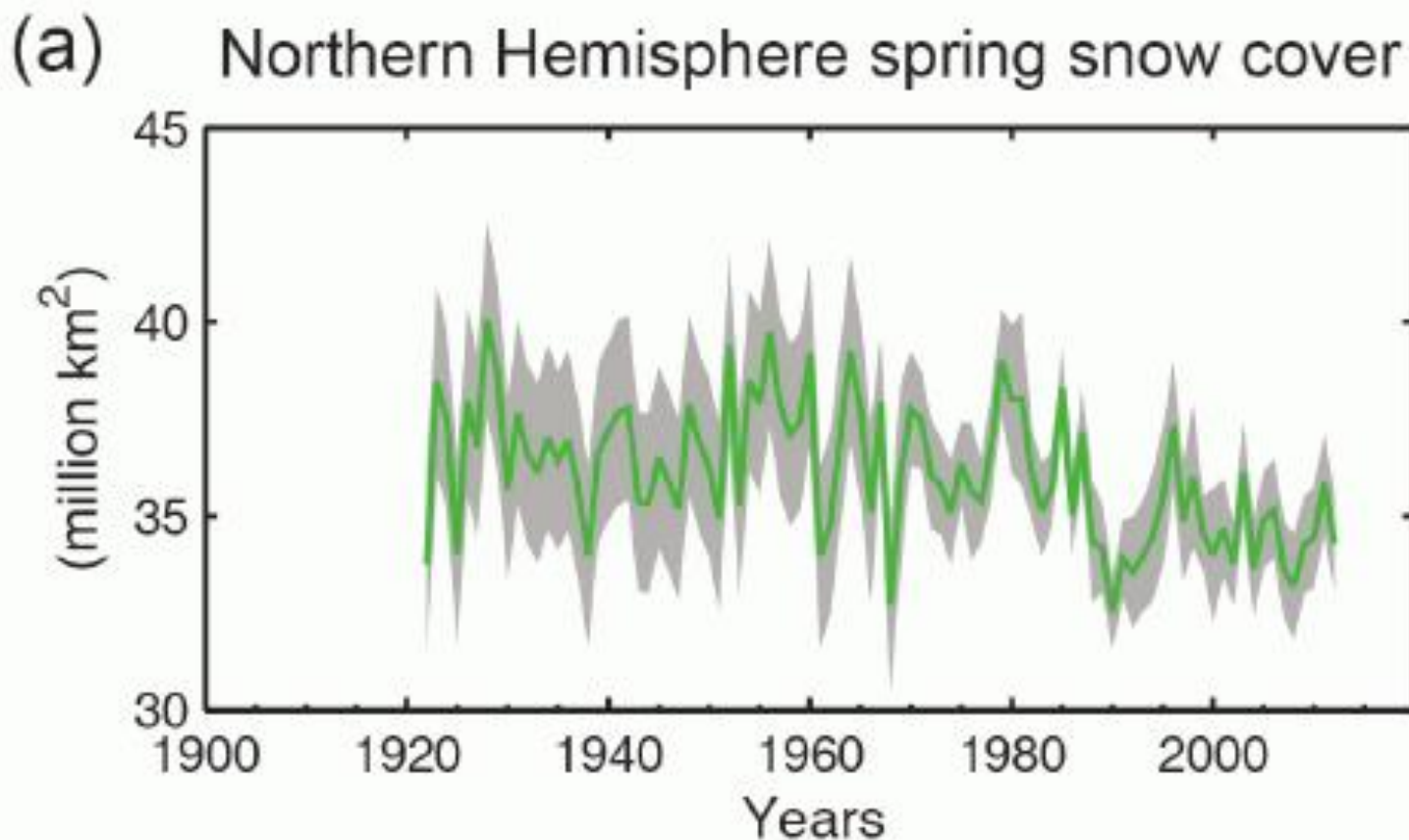
Indeks Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO), 1823-2022



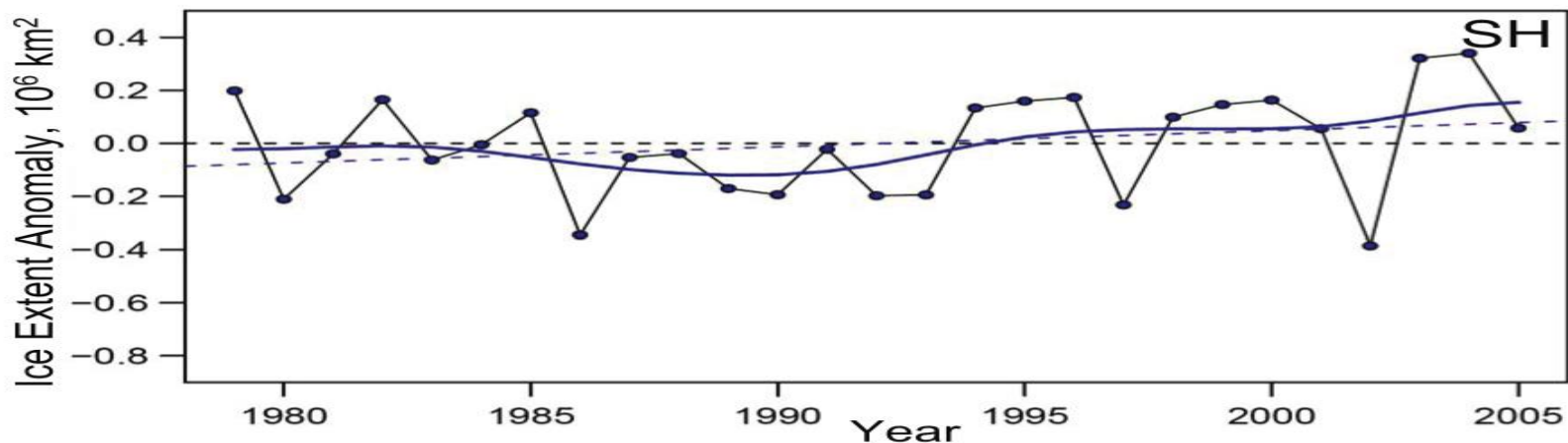
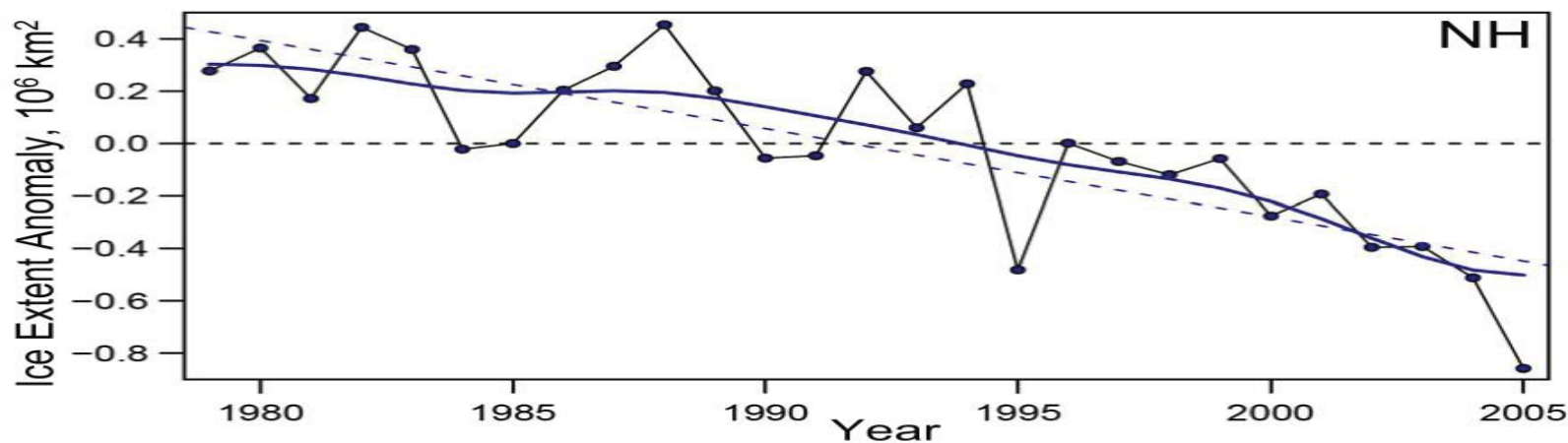
[https://w.wiki/4b\\$m](https://w.wiki/4b$m)
Data : Climatic Research Unit, University of East Anglia.
Jones, P.D., Jónsson, T. and Wheeler, D. (1997)
Updated regularly. Accessed 2023-11-22

**Czy obserwowane trendy są
wewnętrznie zgodne?**

Zmiany powierzchni zajmowanej przez pokrywę śnieżną w okresie marzec-kwiecień na Półkuli Północnej, 1922-2013 (Brown 2000, updated). Do 1972 – dane z obserwacji stacyjnych, dalej pomiary satelitarne



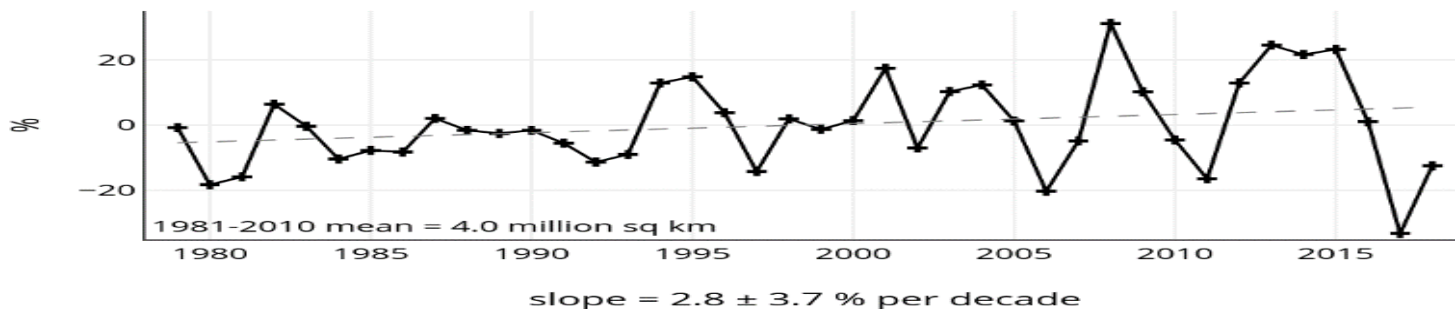
Zmiany powierzchni lodów morskich w Arktyce (rys. górny) i w Antarktyce (rys. dolny), 1979-2005 (IPCC 2007)



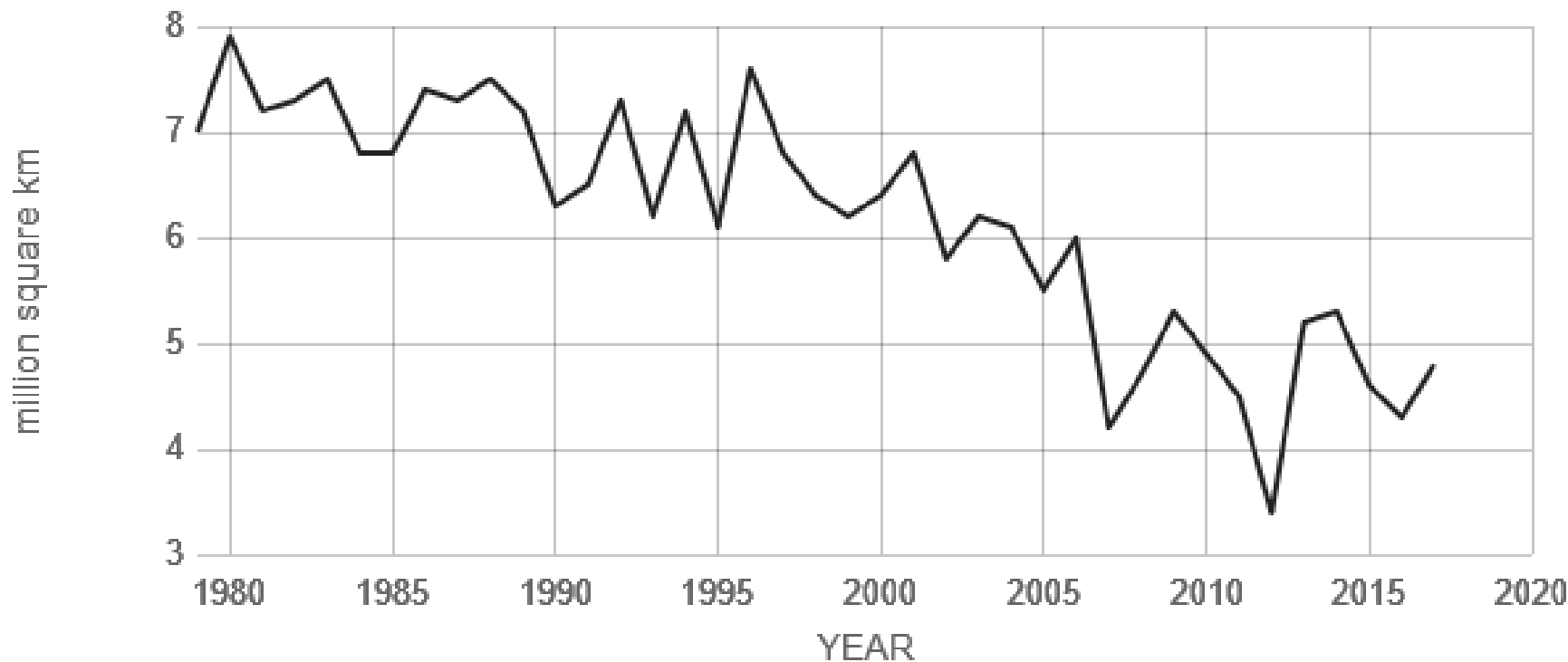
Pobity rekord powierzchni lodów w we wrześniu w Antarktyce od 1979



Southern Hemisphere Extent Anomalies Mar 1979 - 2018



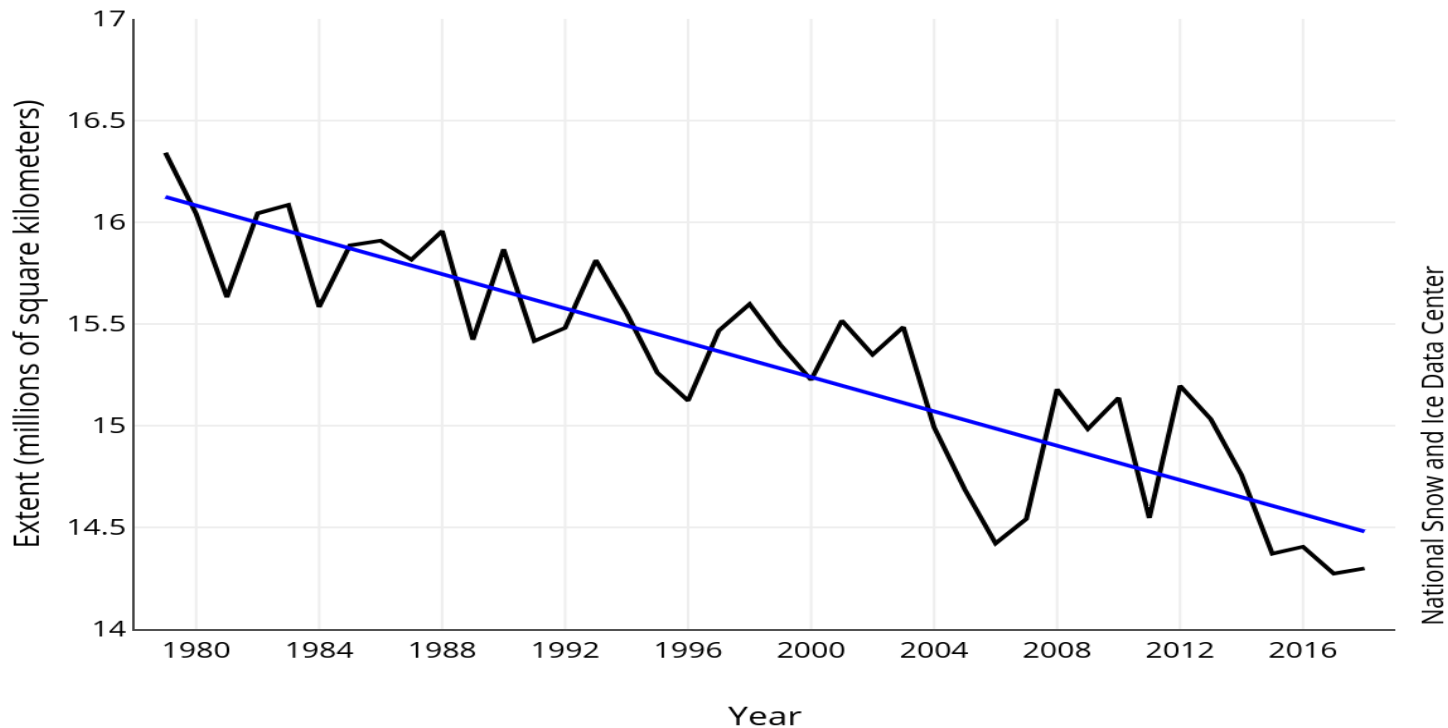
Zmiany średniej powierzchni lodów morskich w Arktyce we wrześniu, 1979-2017



Source: climate.nasa.gov

Zmiany średniej powierzchni lodów morskich w Arktyce w marcu, 1979-2018

Average Monthly Arctic Sea Ice Extent
March 1979 - 2018

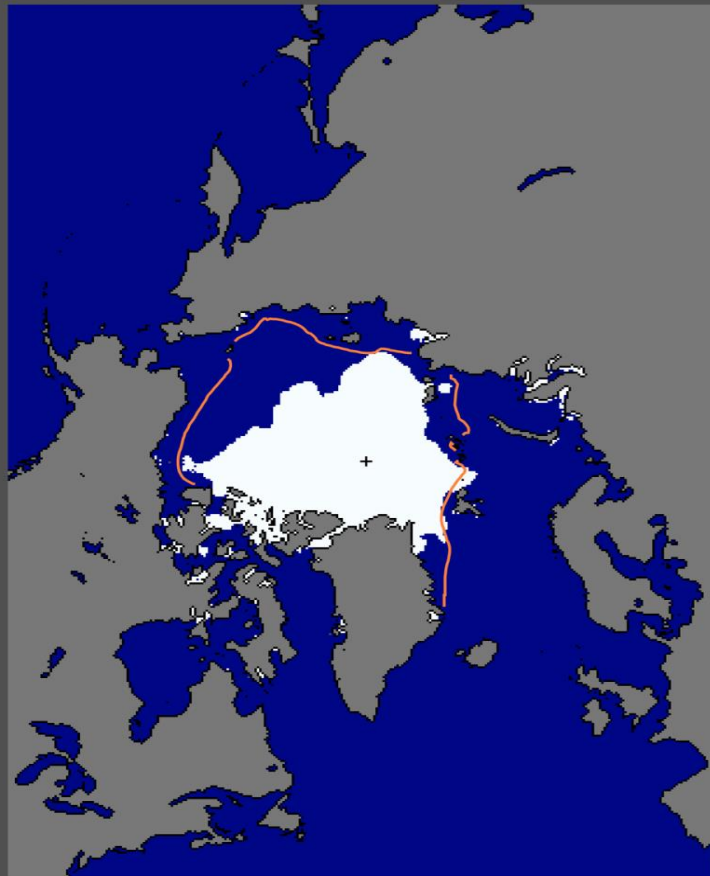


Zasięg i powierzchnia lodów morskich w Arktyce w dniu 22.09. 2008 r. (lewy rysunek) i we wrześniu 2010 r. (prawy rysunek)

Przejścia Północno-Zachodnie i Północno-Wschodnie są wolne od lodu.

W tym roku (VI-IX) po raz pierwszy jacht rosyjski Piotr I opłynął dookoła Arktykę bez pomocy lodolamacza

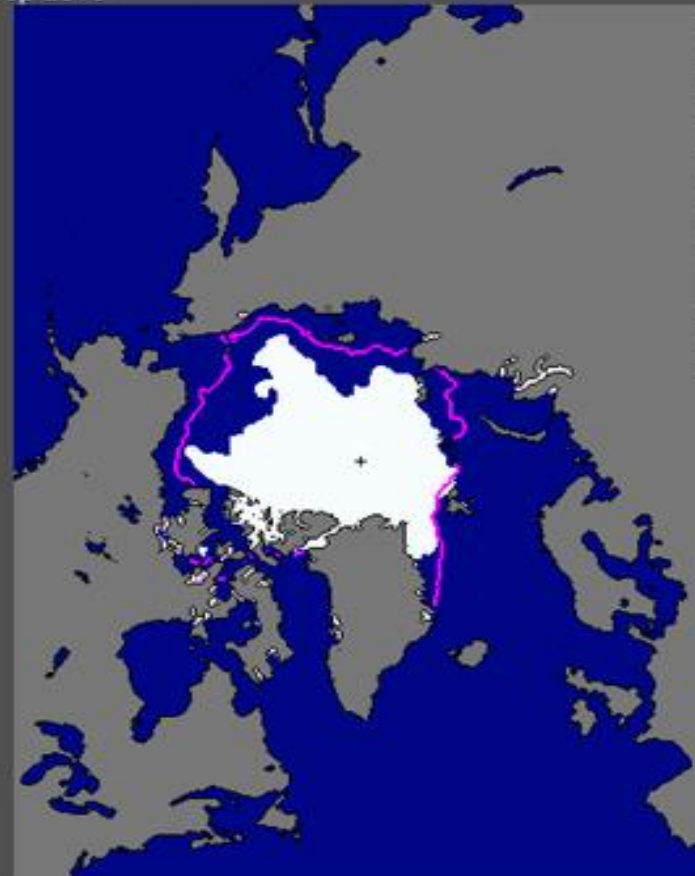
Sea Ice Extent
09/22/2008



National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO

normal
ice edge

Sea Ice Extent
Sep 2010

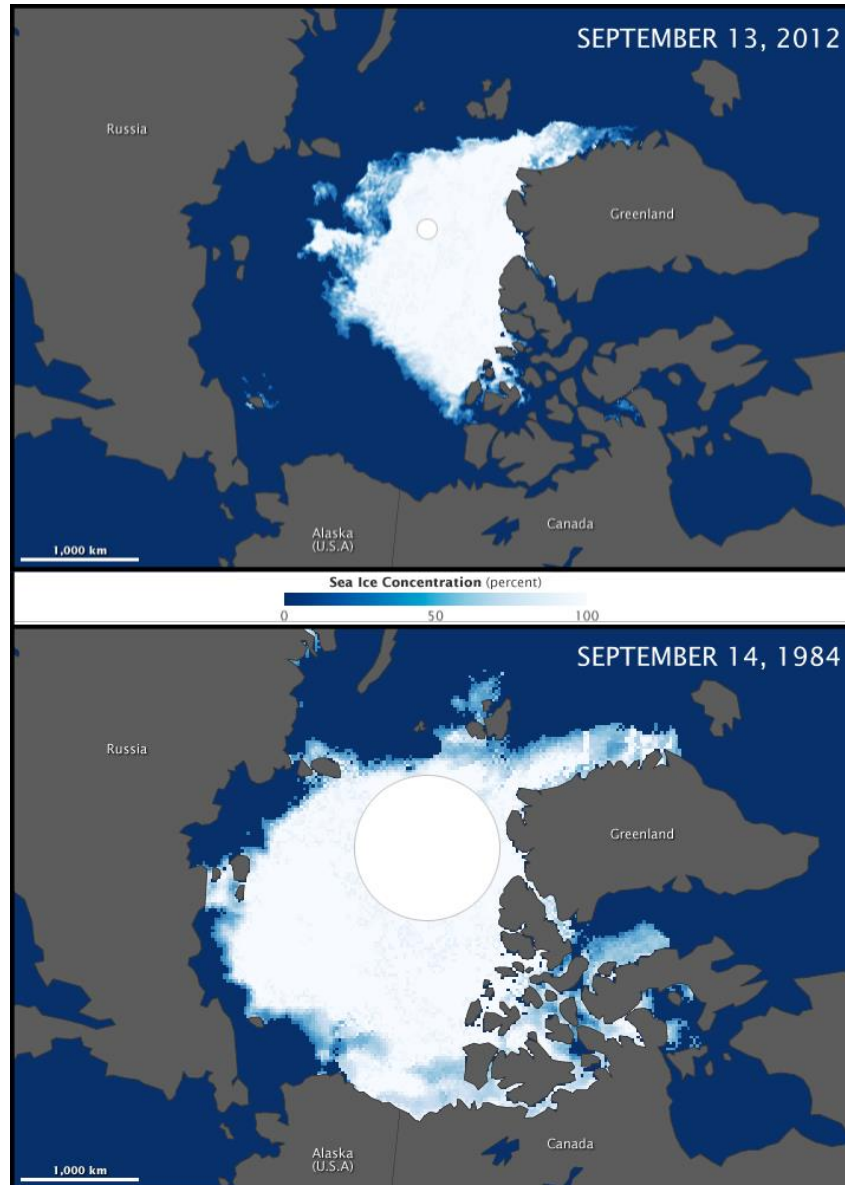


National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO

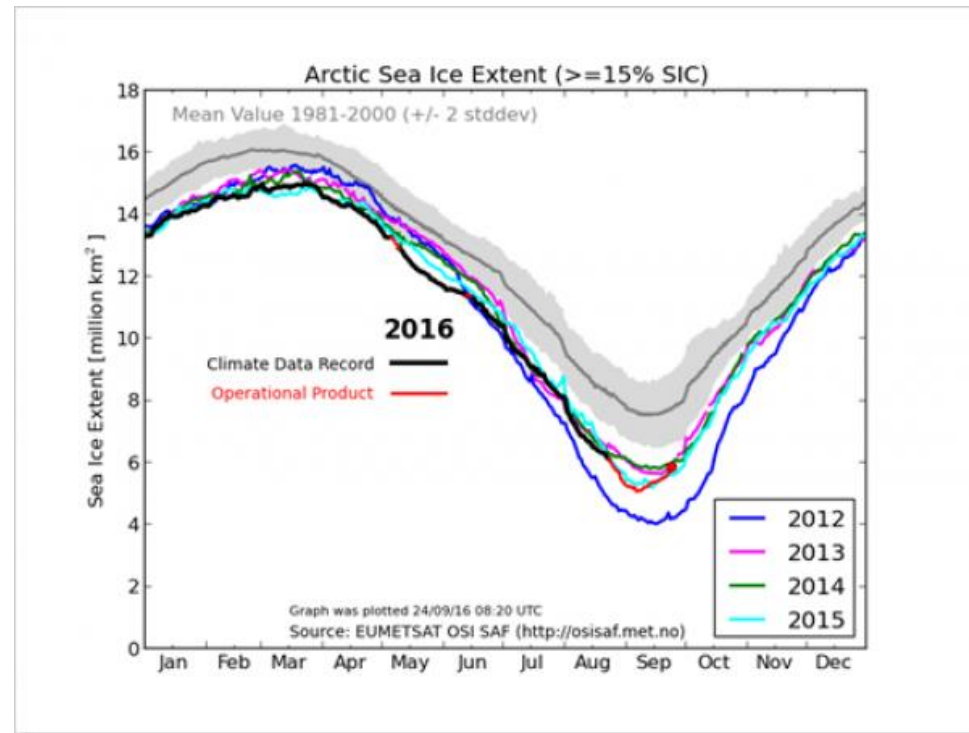
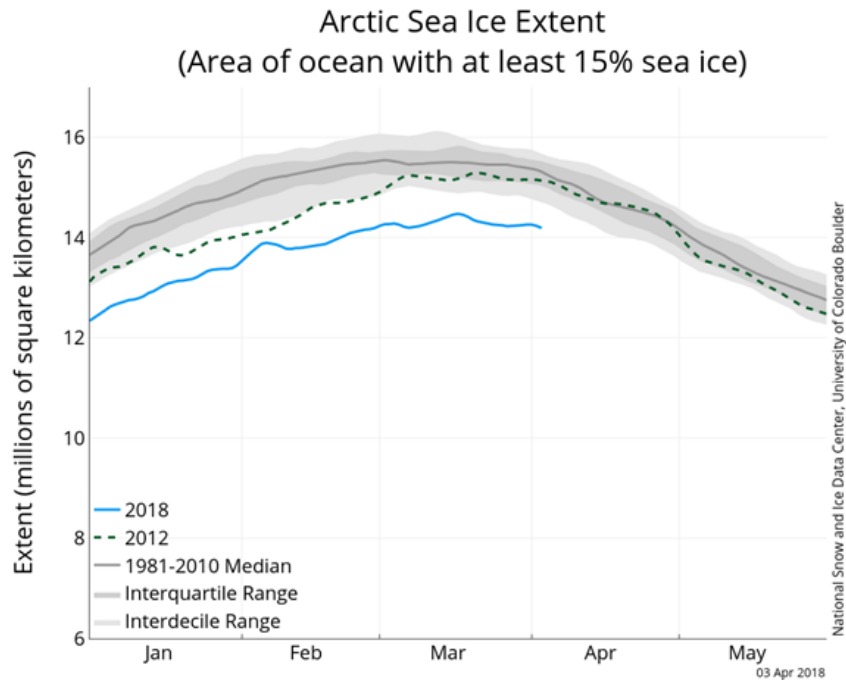
median
ice edge

Total extent = 4.9 million sq km

Zmiany minimalnej powierzchni lodu morskiego między wrześniem 1984 r. i 2012 r. (NSIDC Boulder)

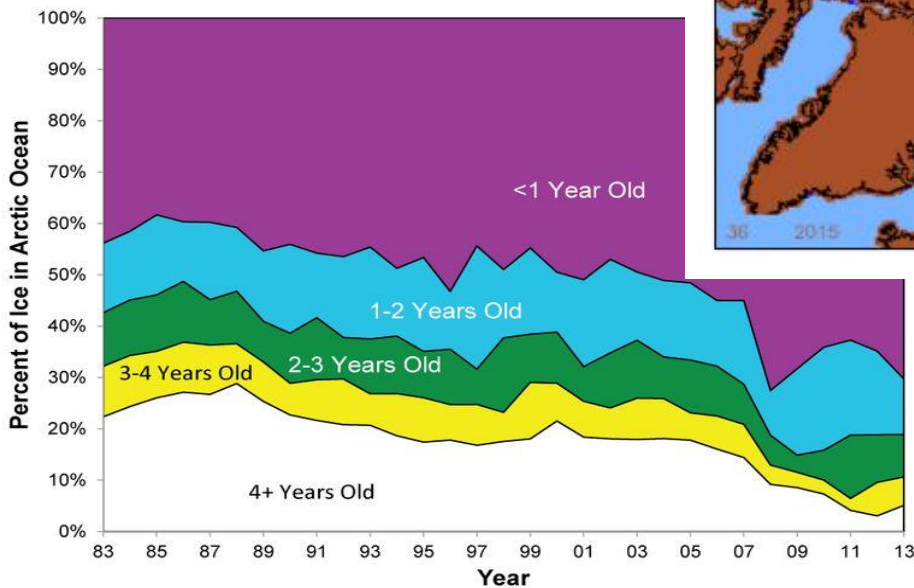
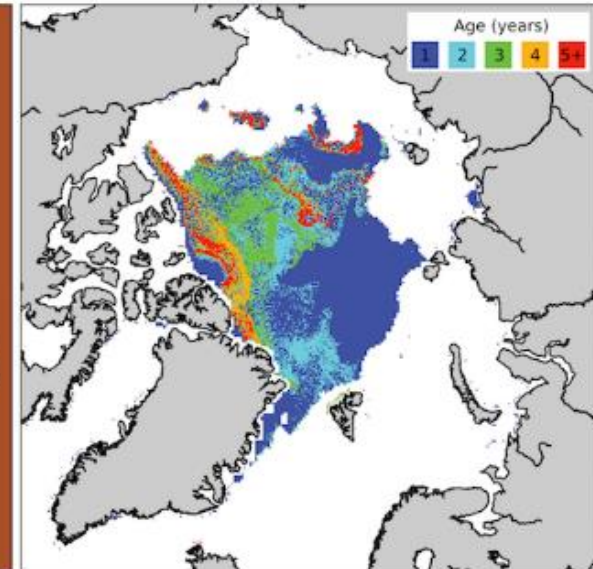
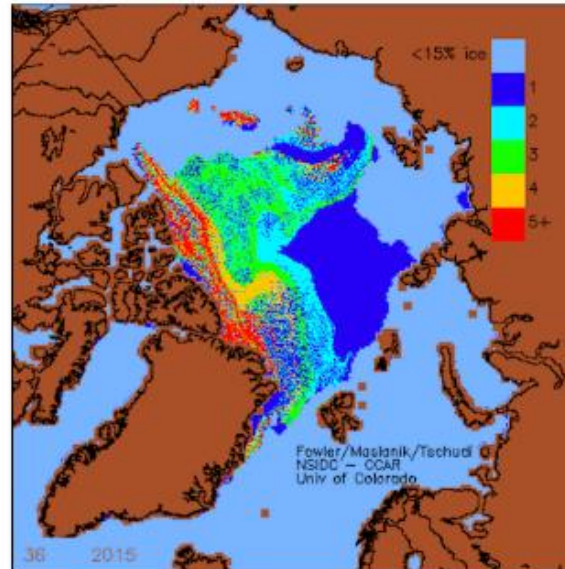


Powierzchnia lodów morskich w Arktyce w ostatnich latach na tle wielolecia



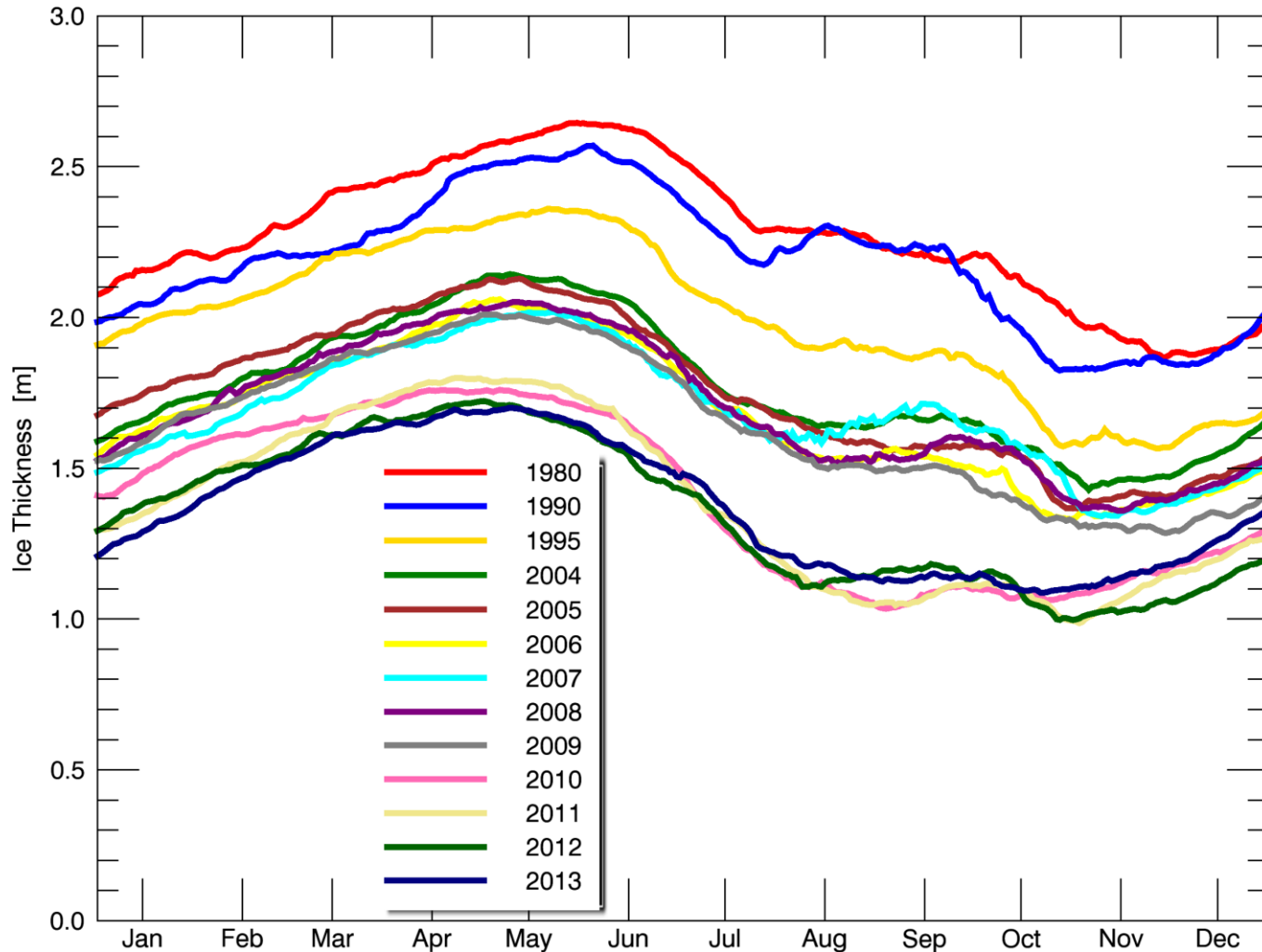
Struktura wiekowa lodów morskich w Arktyce w latach 1983-2013 (dolny rysunek) i jej rozkład przestrzenny w 2015 r. (górny rysunek)

Sea Ice Age
2015 Week 36



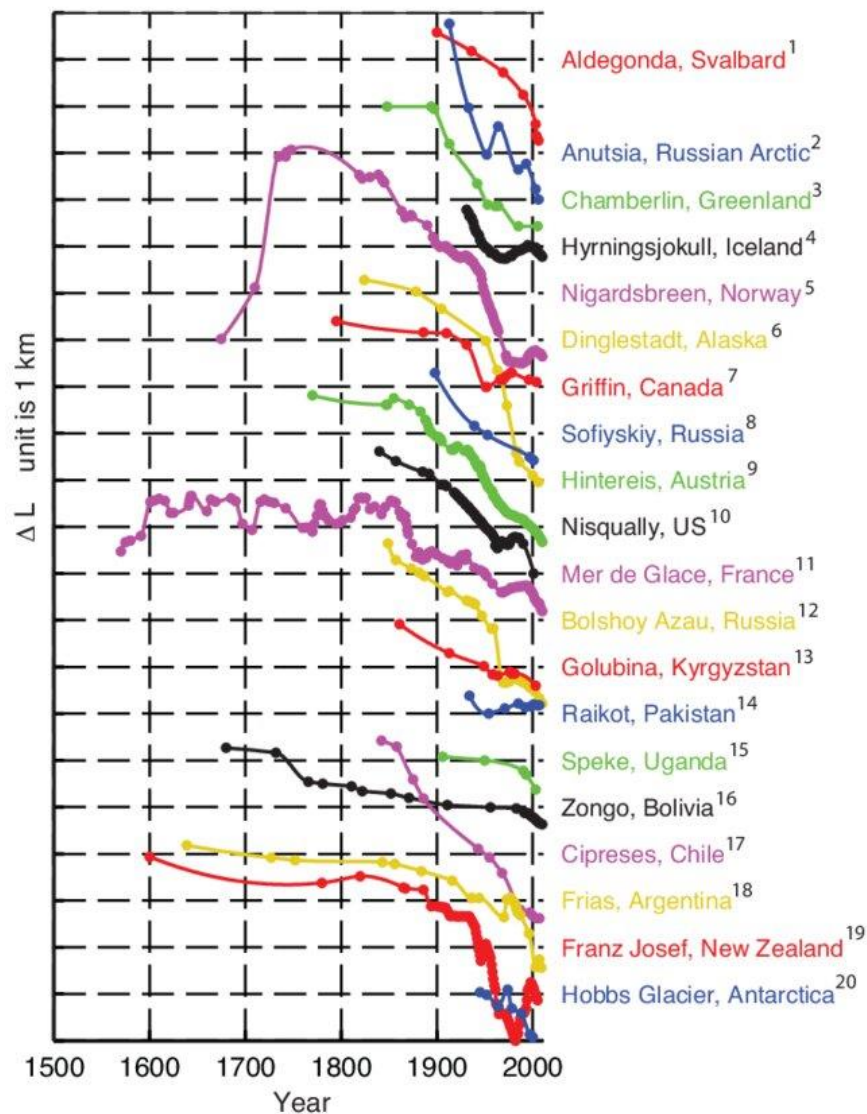
Zmiany grubości lodu morskiego w Arktyce, 1980-2013

Daily Average Arctic Sea Ice Thickness from PIOMAS



<https://www.bing.com/videos/search?q=sea+ice+age+Arctic&&view=detail&mid=552D15C14ACDDB10BE79552D15C14ACDDB10BE79&rvsmid=203D5E3E9EC417EF8A5C203D5E3E9EC417EF8A5C&FORM=VDQVAP>

Zmiany długości 20 lodowców leżących w różnych regionach świata (mapka) (za Leclercq i in. 2014)



Recesja lodowców na Kilimandzaro (American Scientist 2019)



1928



2000

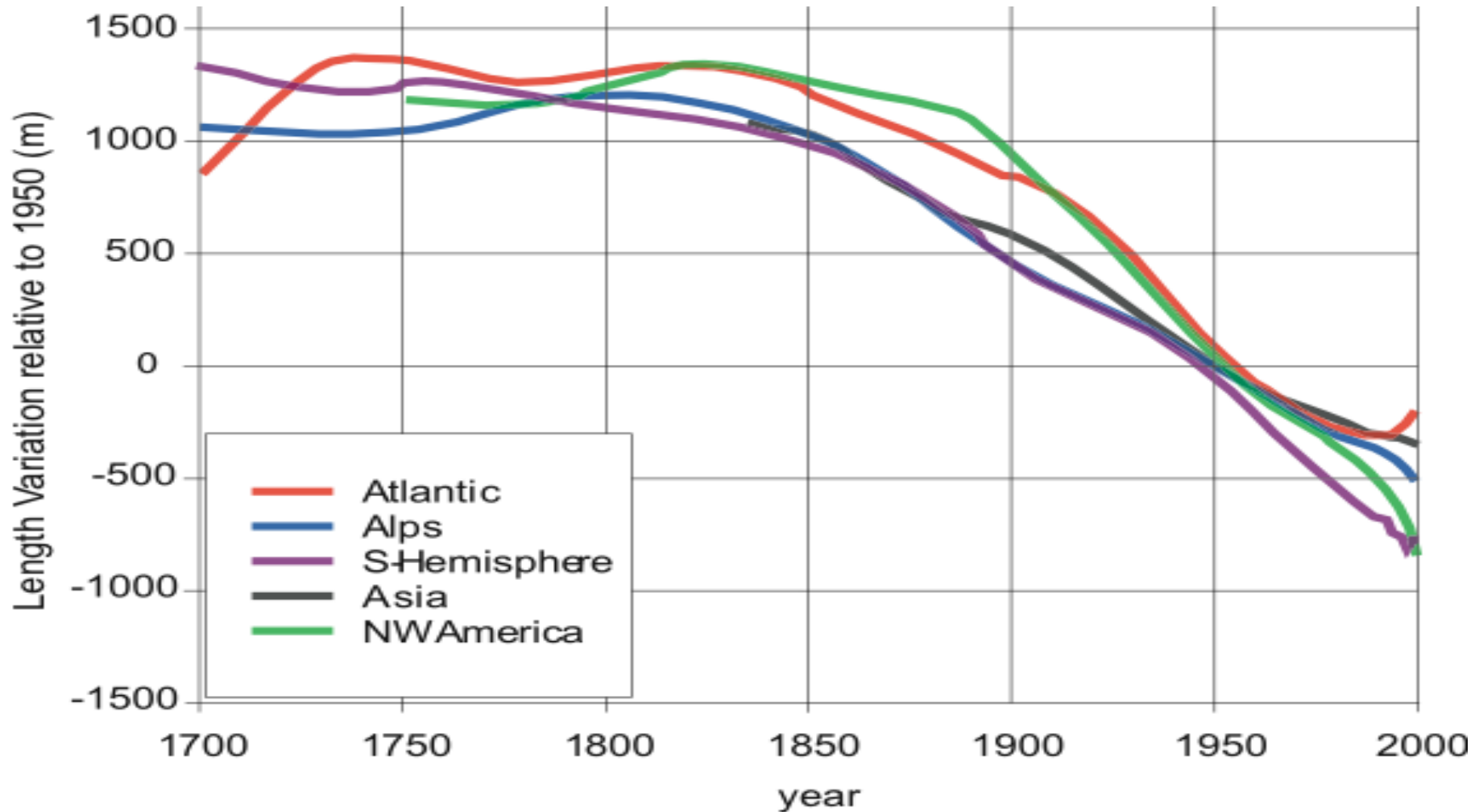


1912

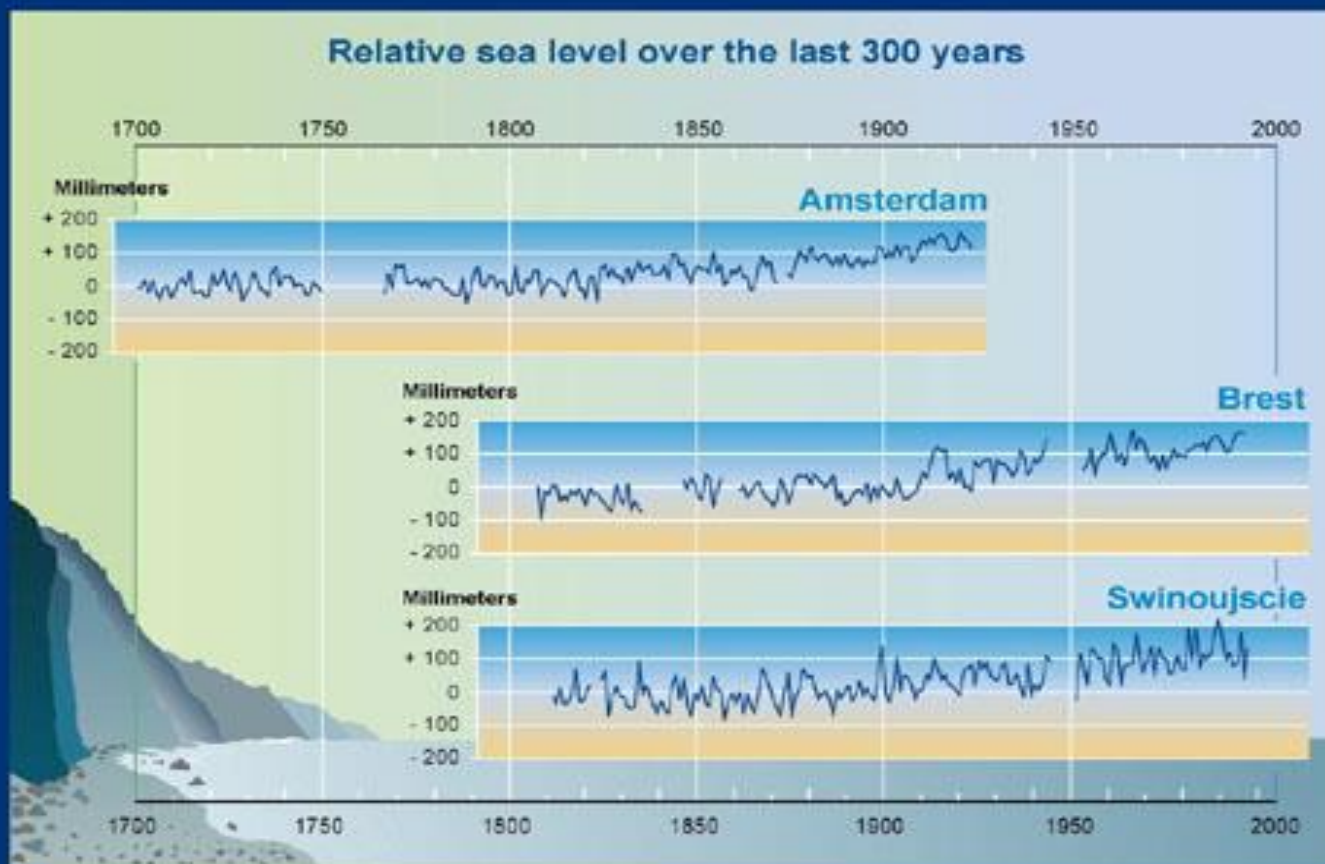


2006

Zmiany średnich długości lodowców w poszczególnych regionach świata względem 1950 r. (Oerlemans 2005)

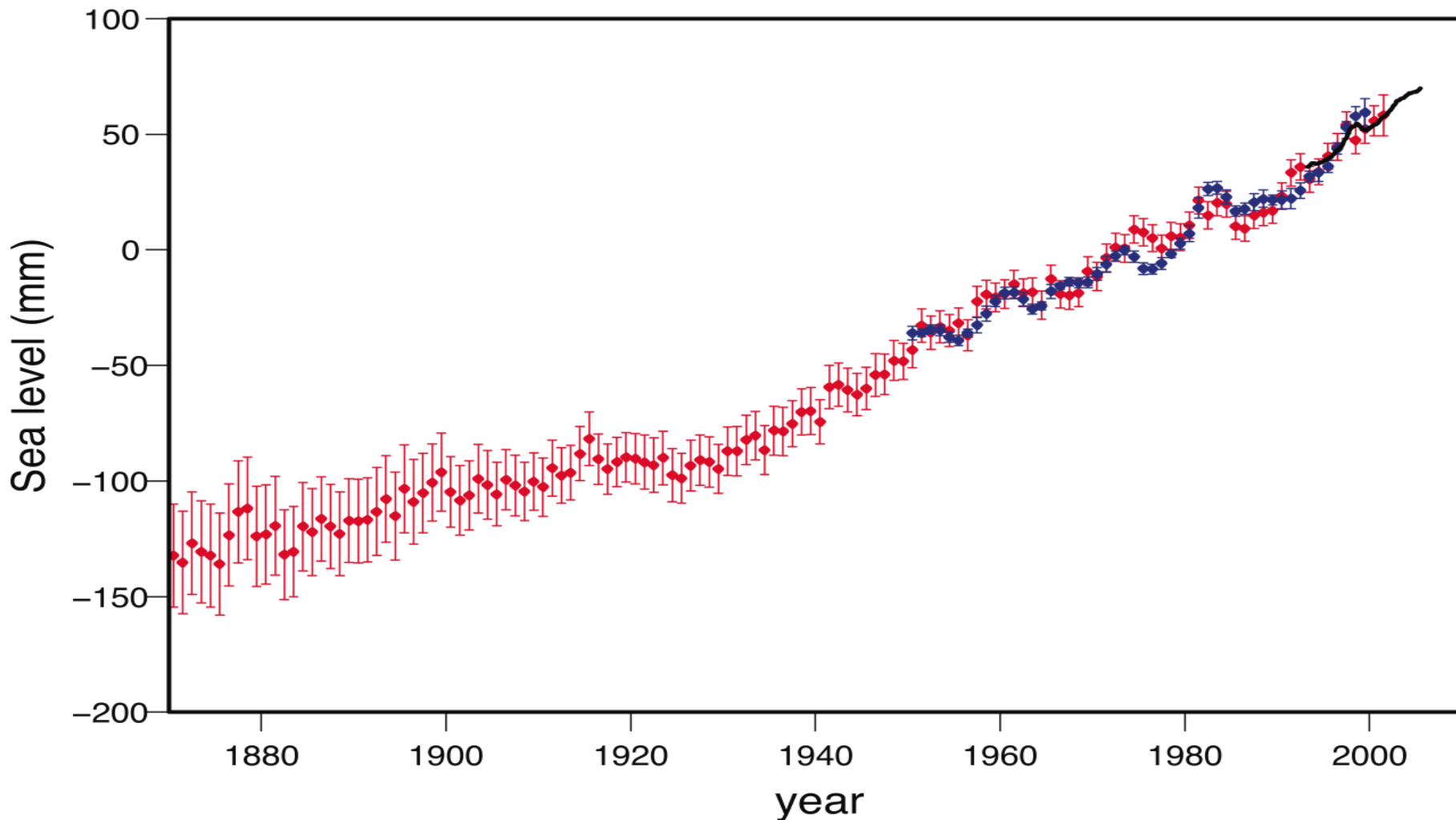


Zmiany poziomu morza w wybranych portach w ostatnich 300 latach (IPCC 2001)

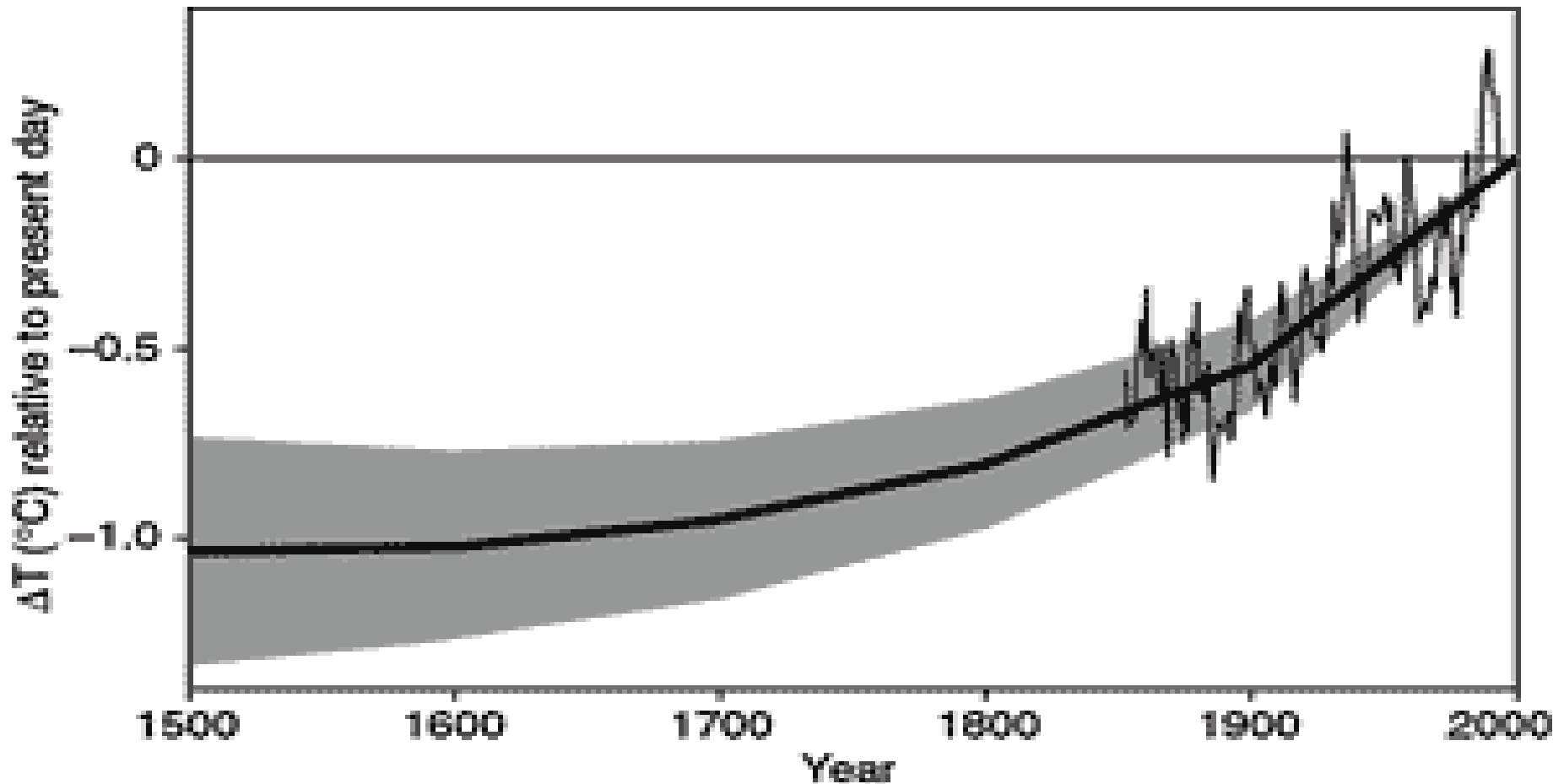


Anomalie zmian poziomu morza w okresie 1870-2005

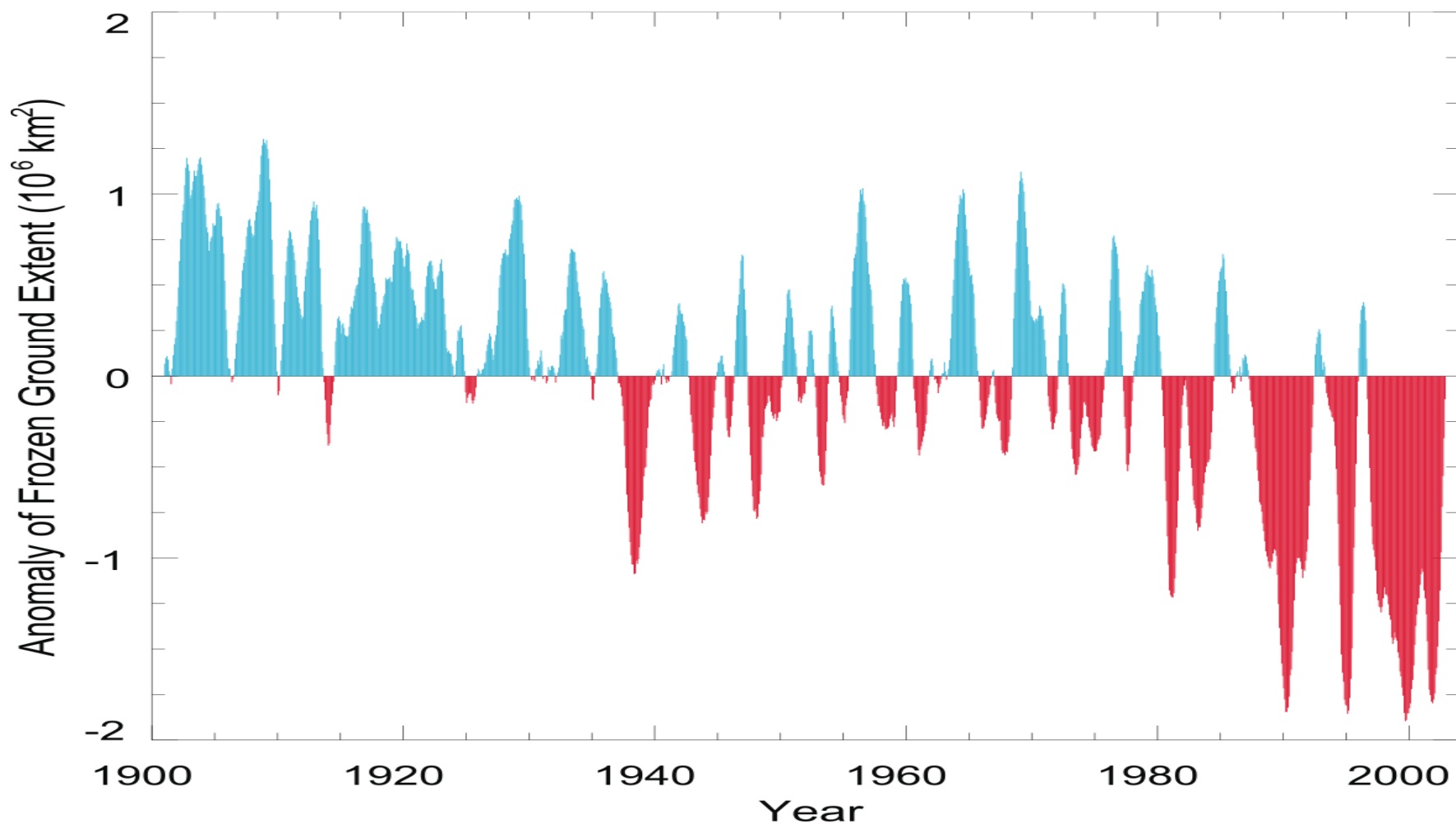
Linia czerwona – wartości zrekonstruowane (Church and White, 2006); linia niebieska – wartości zmierzone mareografami od 1950 r. (Holgate and Woodworth, 2004); linia czarna – wartości zmierzone altimetrią satelitarną. Anomalie względem 1961-1990 a dla satelit 1993-2001.



**Zrekonstruowana roczna temperatura powierzchni
gruntu (linia gruba wyrównana) na tle średniej
temperatury globalnej, 1500-2000 (Huang 2000)**



Anomalie zasięgu i powierzchni zamrożonego gruntu (permafrost+warstwa aktywna) na półkuli północnej w okresie 1901-2002 (Zhang i in. 2003)



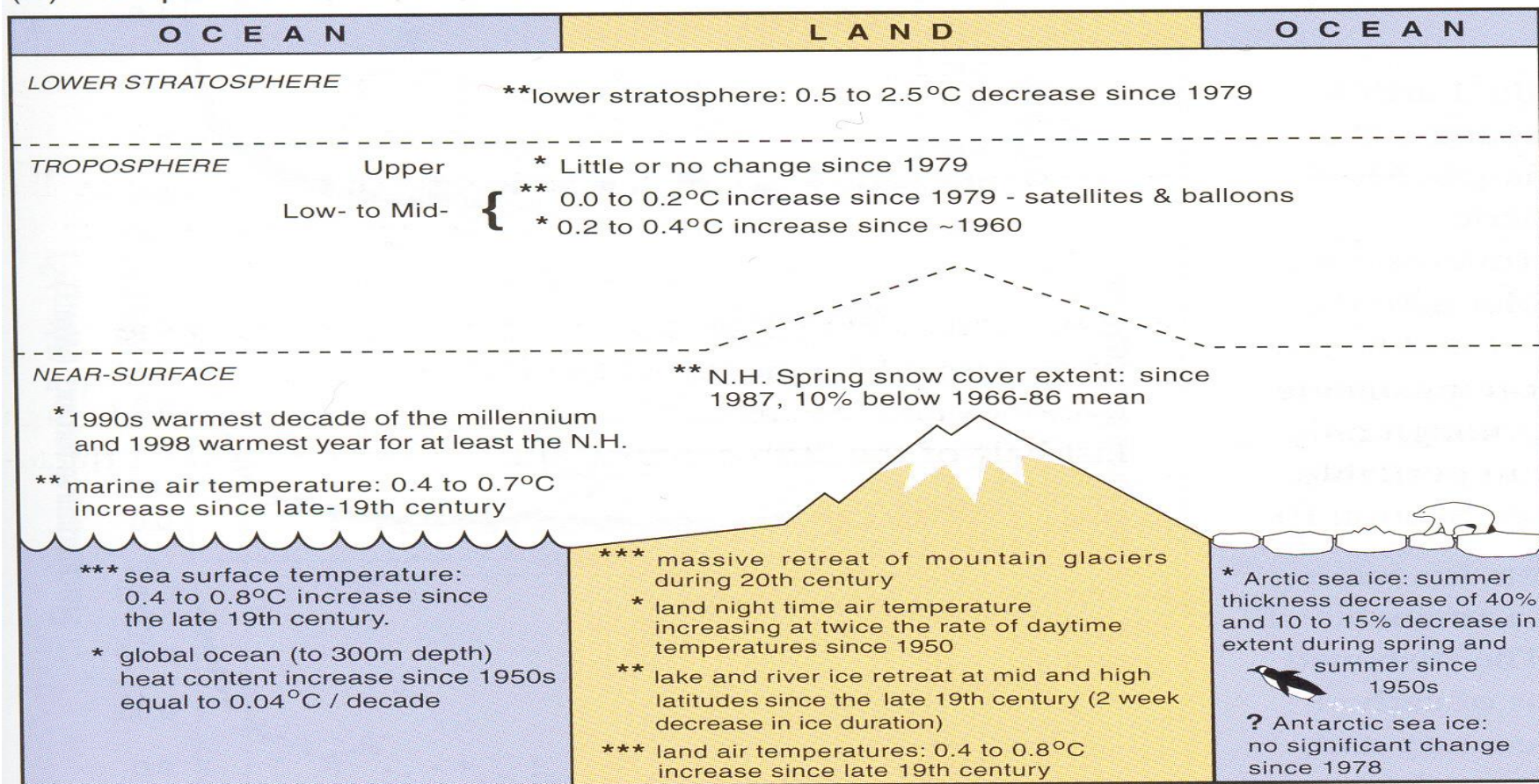
Skutki degradacji permafrostu



Houses undermined by melting Permafrost

Zmiany różnych termicznych wskaźników – podsumowanie (IPCC 2001)

(a) Temperature Indicators

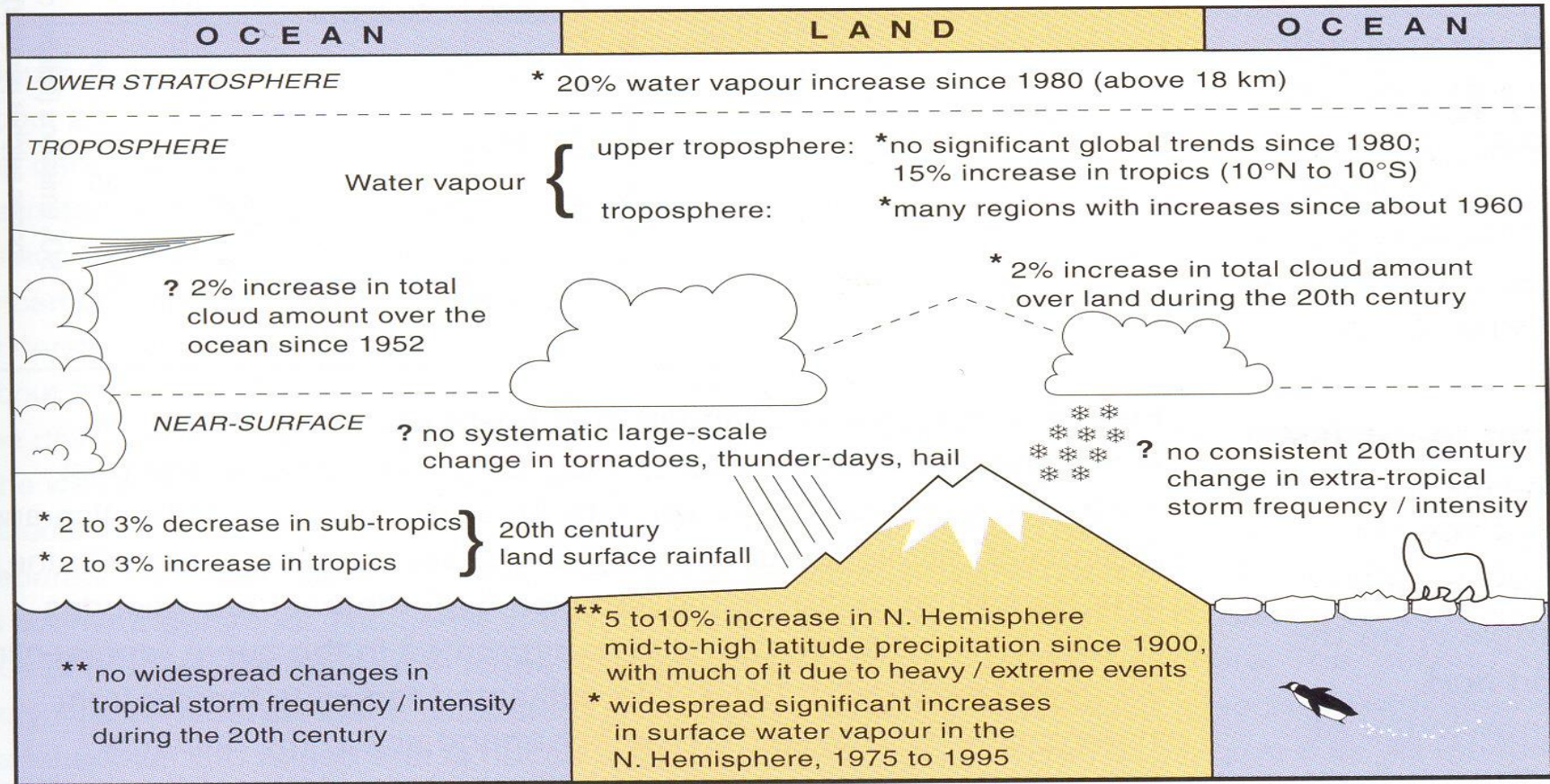


Likelihood: {

- *** Virtually certain (probability > 99%)
- ** Very likely (probability ≥ 90% but ≤ 99%)
- * Likely (probability > 66% but < 90%)
- ? Medium likelihood (probability > 33% but ≤ 66%)

Zmiany różnych hydrologicznych wskaźników – podsumowanie (IPCC 2001)

(b) Hydrological and Storm related Indicators



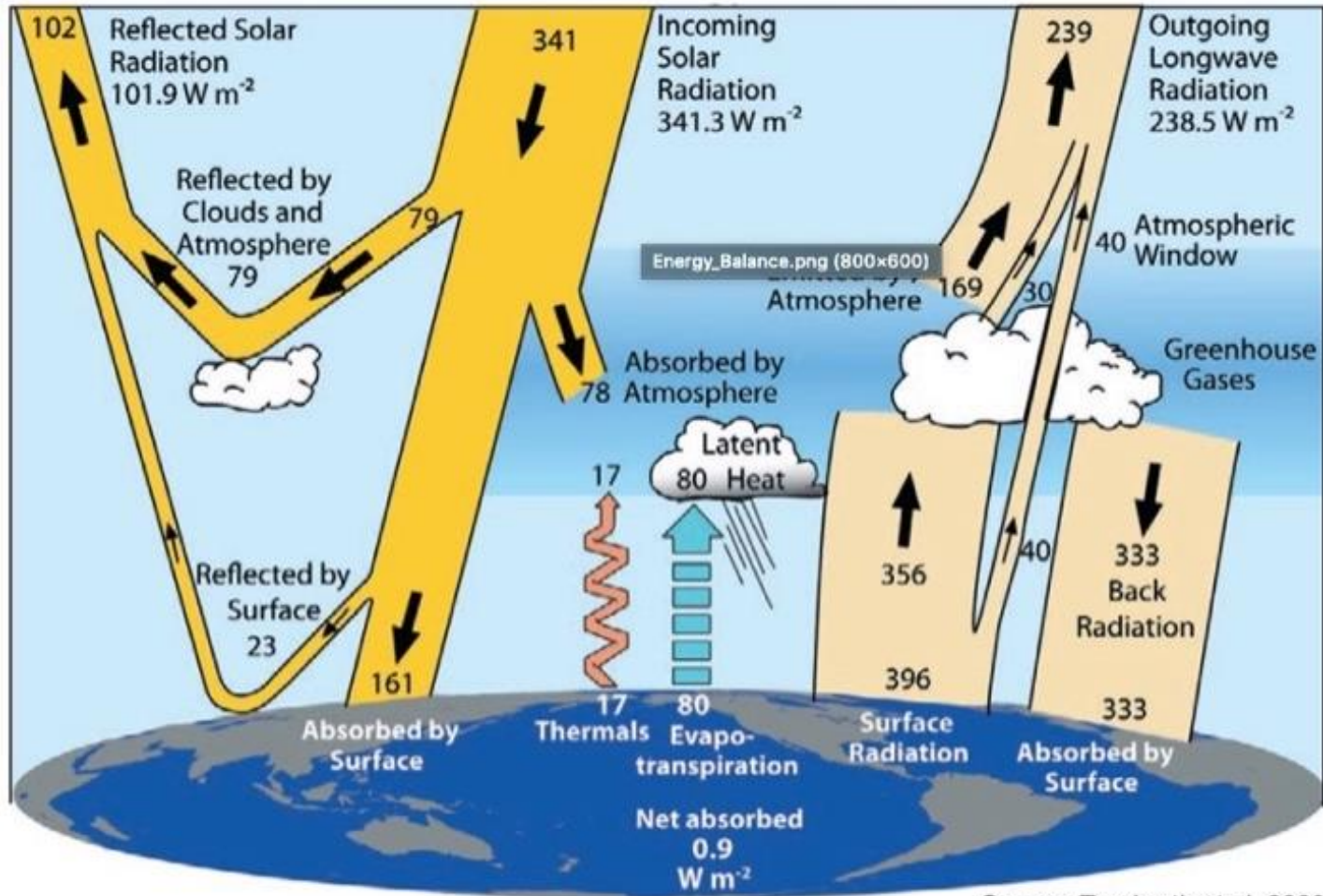
- Likelihood:**
- *** Virtually certain (probability > 99%)
 - ** Very likely (probability ≥ 90% but ≤ 99%)
 - * Likely (probability > 66% but < 90%)
 - ? Medium likelihood (probability > 33% but ≤ 66%)

Przyczyny współczesnej zmienności klimatu

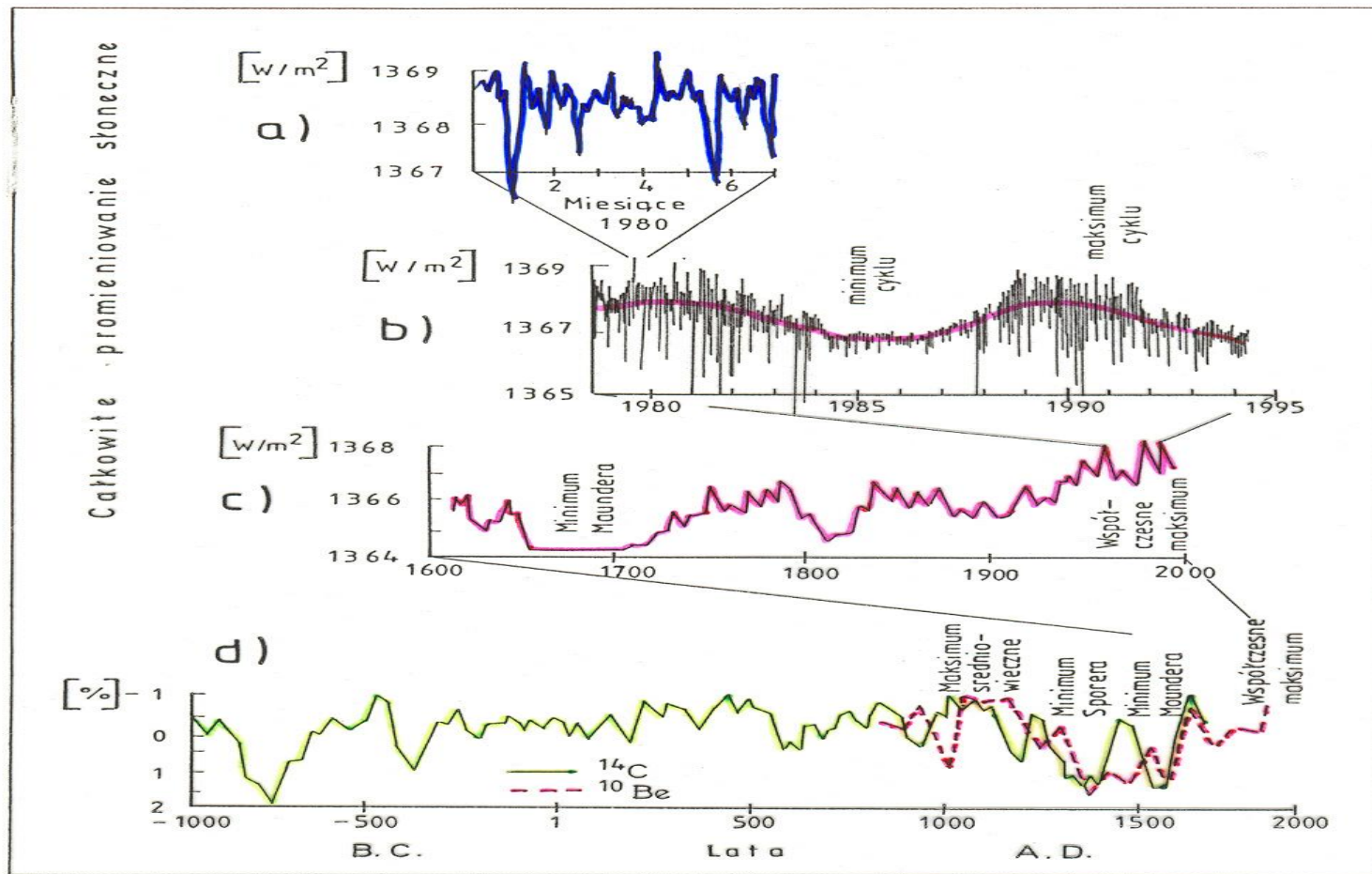
- **1. Zespół czynników naturalnych:**
 - a) stała słoneczna
 - b) aktywność wulkaniczna
 - c) cyrkulacja atmosferyczna
- **2. Zespół czynników antropogenicznych:**
 - a) gazy cieplarniane
 - b) aerozol atmosferyczny (siarczanowy)

Promieniowanie słoneczne

Earth's Energy Balance



Source: Trenberth et al. 2009



Rys. 2. Zmiany wielkości dopływu promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi (W/m^2) w różnych skalach czasowych.

a) Zarejestrowane zmiany z dnia na dzień w okresie siedmiu miesięcy w czasie wysokiej aktywności słonecznej (1980 rok);

b) Zmiany zaobserwowane w okresie ostatnich 15 lat pokazujące istnienie 11-letniego cyklu o amplitudzie dochodzącej do 0,1%.

c) Rekonstrukcja zmian promieniowania słonecznego od ok. 1600 r. w oparciu o zapisy historyczne liczby plam słonecznych i przypuszczalnej jasności powierzchni Słońca w okresie trwania (70 lat) tzw. minimum Maundera. Oszacowane wartości zmian posiadają większą amplitudę niż obserwowane wartości.

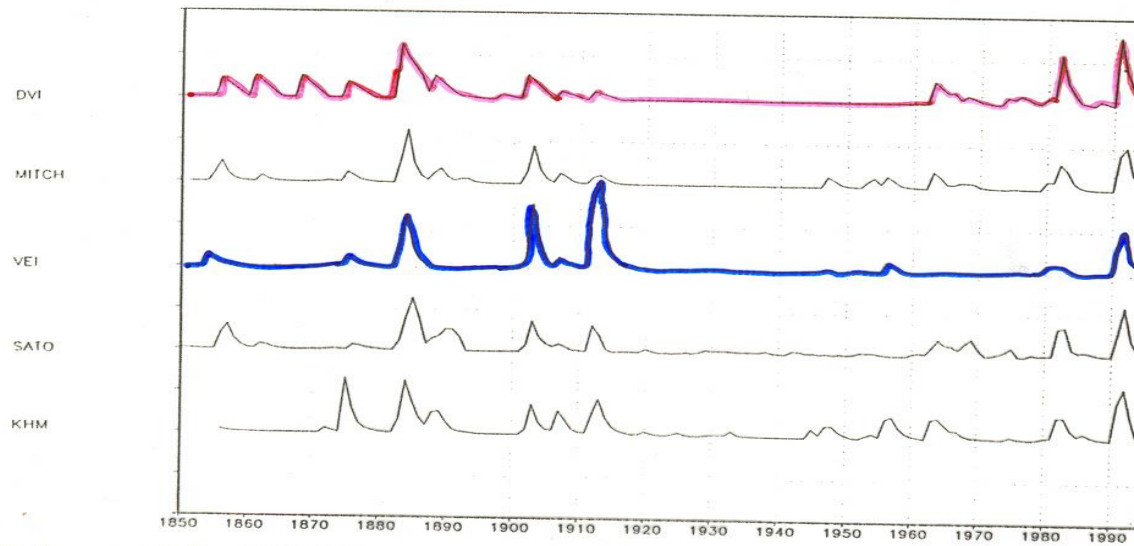
d) Długookresowy zapis aktywności słonecznej zrekonstruowany w oparciu o przypuszczalne zmiany dopływu promieniowania słonecznego otrzymane z pomiarów zmian izotopów ^{14}C i ^{10}Be .

Źródło: Lean J. and Rind D., 1996, *Consequences*, 2, 27-36.

Aktywność wulkaniczna

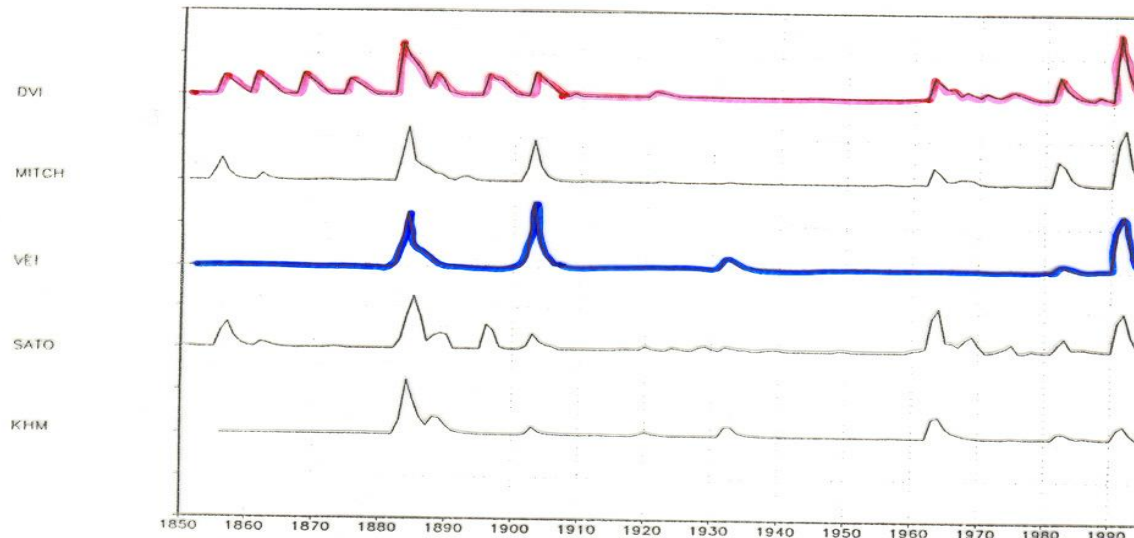


Półkula północna

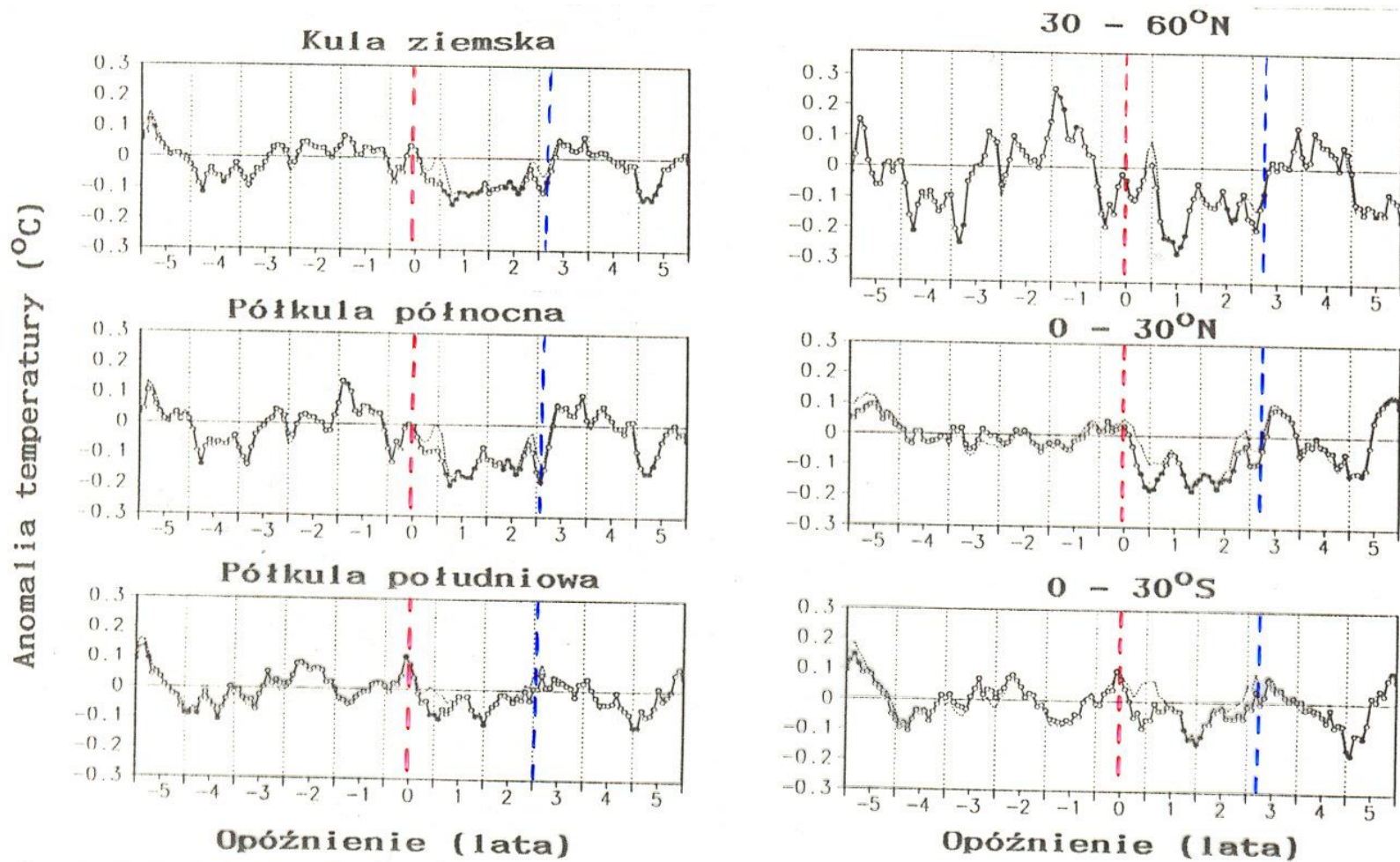


Rys. 1. Zmienność indeksów wulkanicznych uśrednionych dla Półkuli północnej wyrażonych jako grubość optyczna (τ) przy $\lambda=0,55 \mu\text{m}$. Przestrzeń między liniami zerowymi krzywych odpowiada grubości optycznej równej 0,2.

Półkula południowa



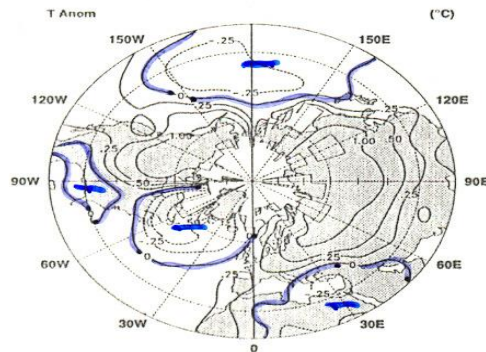
Rys. 2. Jak rys. 1, lecz dla Półkuli południowej.
Źródło: Robock A., Free M. P., 1995, *J. of Geophys. Res.*, 100, 11, 549-11, 567.



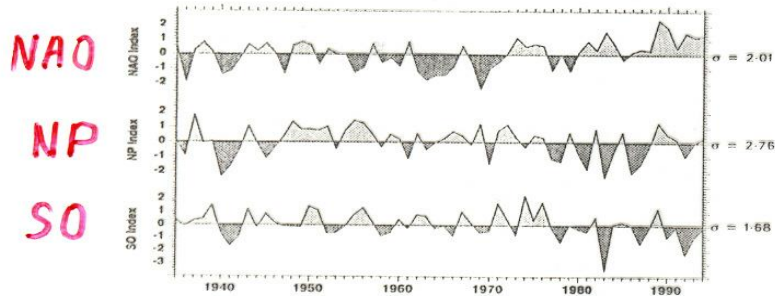
Rys. 7. Średnie anomalie temperatury powietrza dla różnych obszarów obliczone po wybuchach wulkanów: Krakatau (1883), Santa Maria (1902), Katmai (1912), Agung (1963), El Chichon (1982) i Pinatubo (1991). Odchylenia istotnie różniące się od zera są zaznaczone. Linia przerywana bez kropek jest tą samą analizą przeprowadzoną bez usuwania wpływu ENSO.

Źródło: Robock A., Mao J., 1995, J. of Climate, 8, 1086-1103.

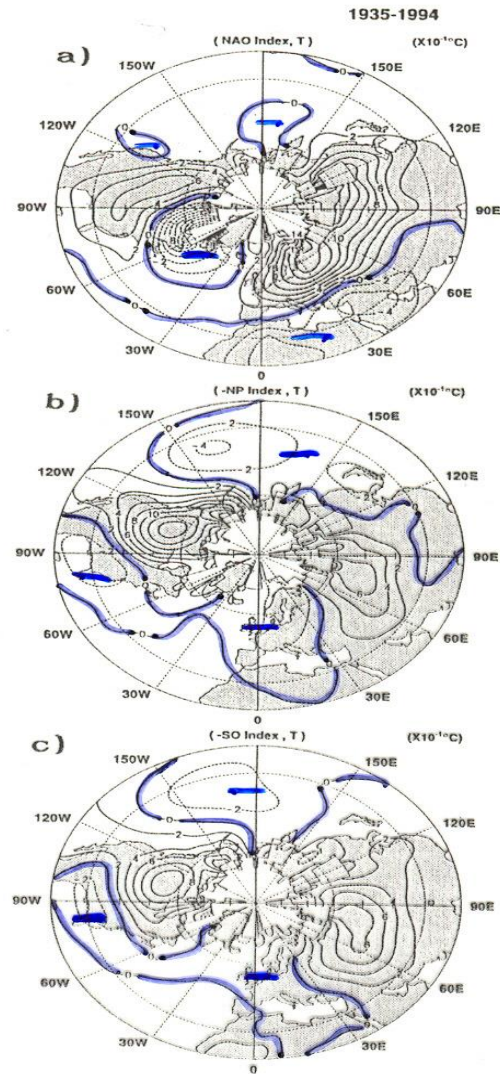
Cyrkulacja atmosferyczna



Rys. 1. Średnie anomalie temperatury zimy (XII-III) z okresu 1977-1994 obliczone względem średniej z okresu 1951-1980. Ujemne anomalie przedstawiono za pomocą linii przerywanych.



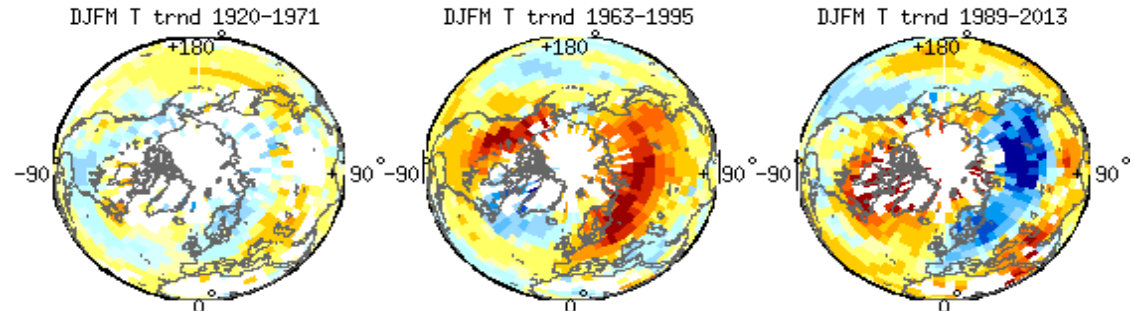
Rys. 2. Przebieg zimowych (XII-III) wartości indeksów cyrkulacji atmosferycznej: NAO, NP i SO w okresie 1935-1994. Wartości są znormalizowane względem średniej z okresu 1935-1994. Po prawej stronie są zamieszczone ich odchylenia standardowe.



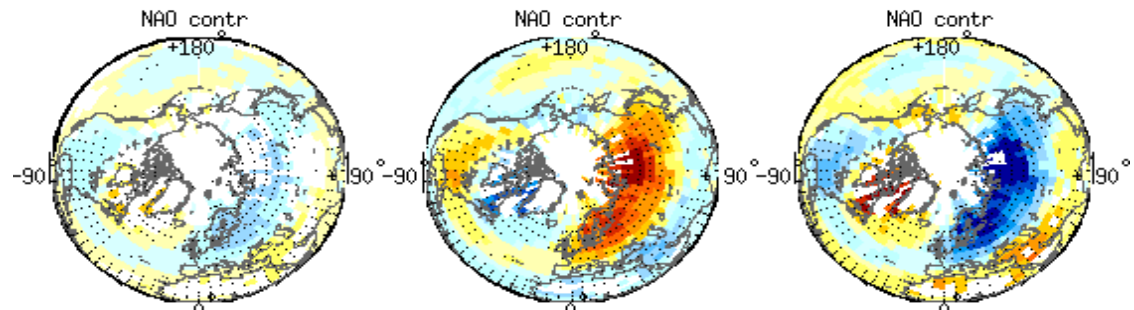
Rys. 3. Zmiany temperatury powietrza ($\times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$) odpowiadające odchyleniu o jednostkę indeksów: a) NAO, b) NP i c) SO obliczone dla zim (XII-III) z okresu 1935-1994. Indeksy NP i SO zostały pomnożone przez minus jeden.

Wpływ zmienności NAO na temperaturę powietrza zimy na półkuli północnej (za Hegerl i in. 2019)

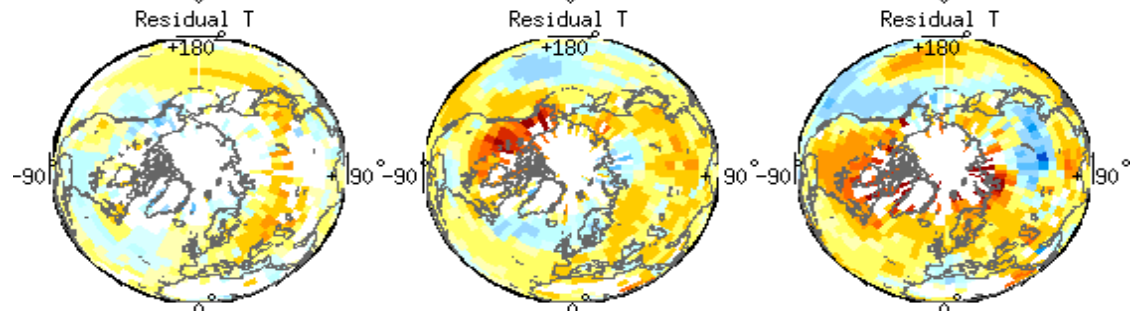
Trendy oC/10 lat



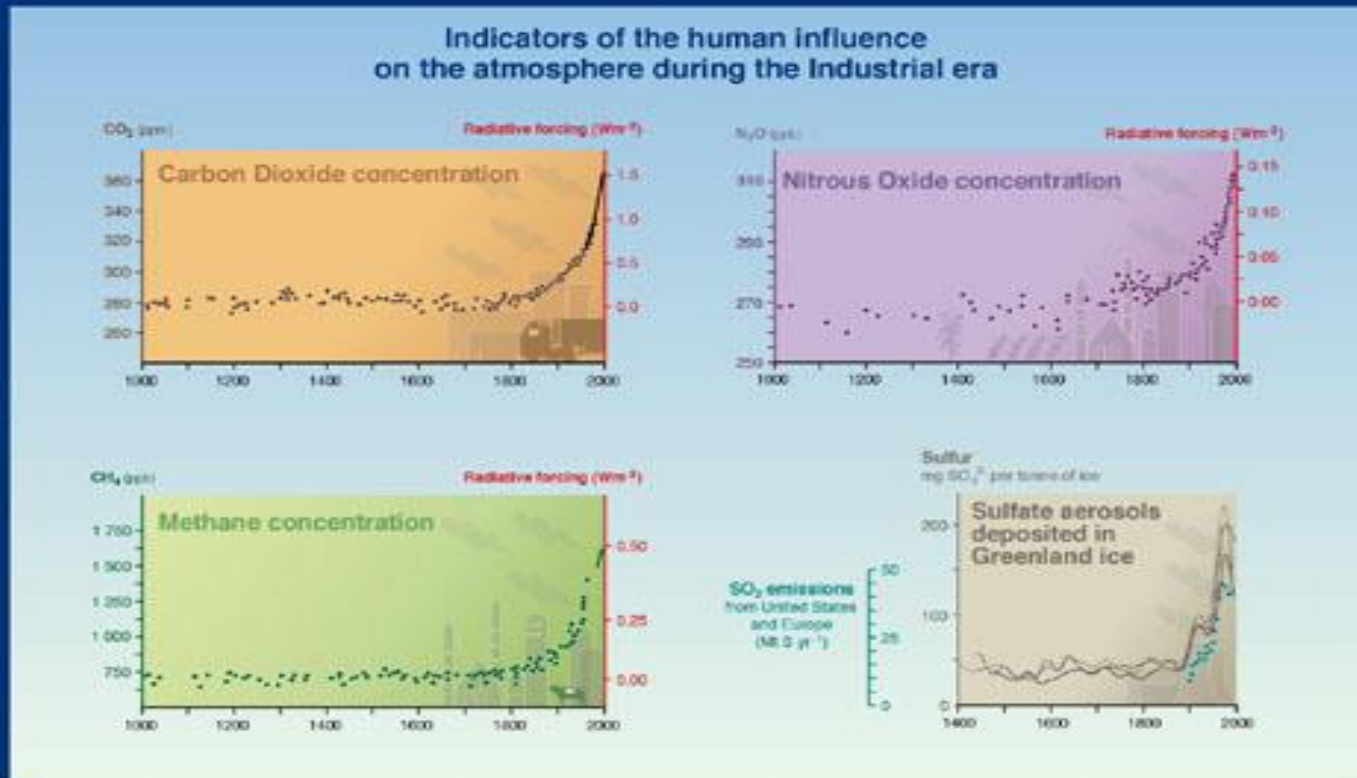
Udział NAO w zmianach



Trend temperatury bez NAO

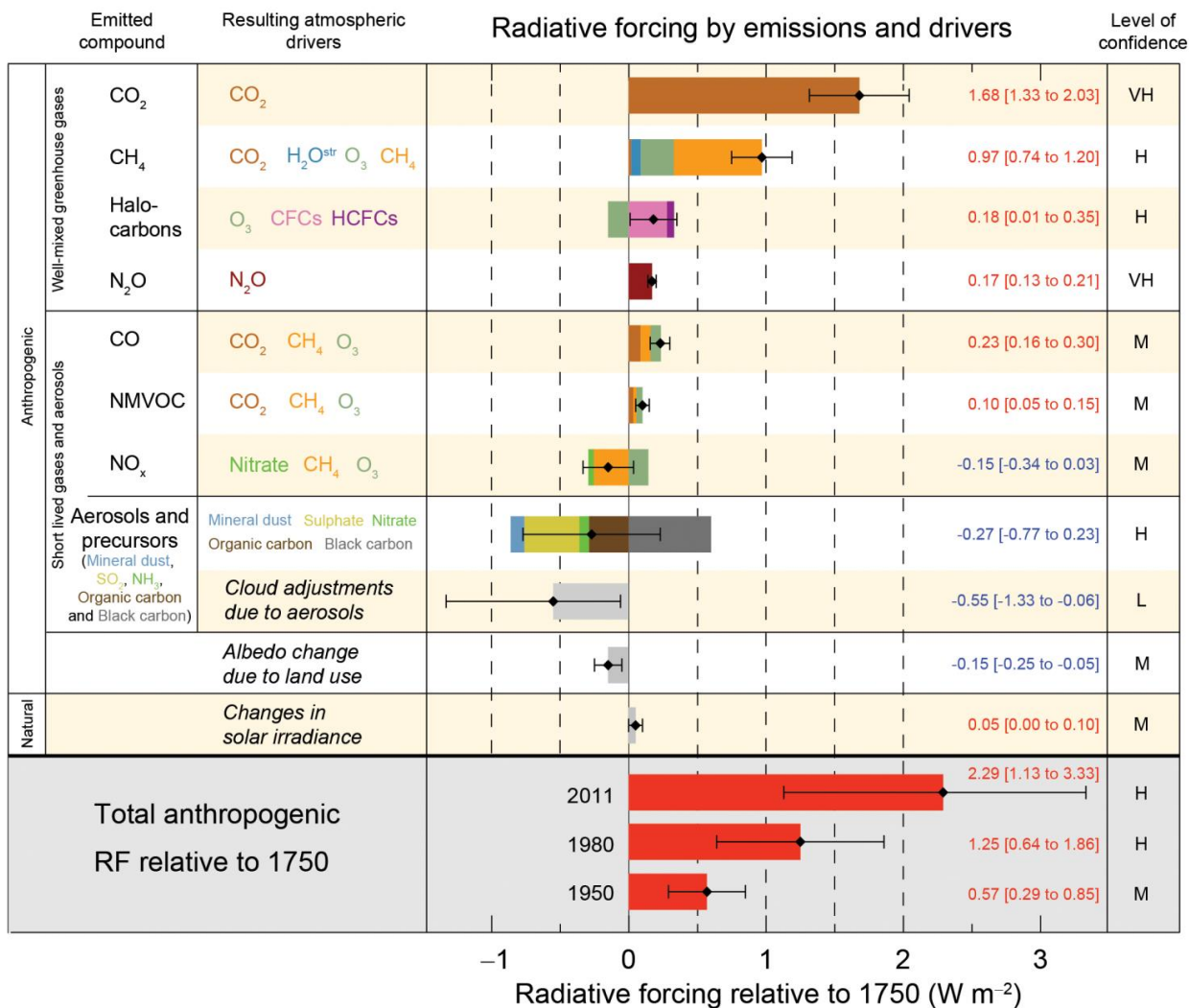


Koncentracja CO₂, CH₄, N₂O i aerozolów siarczanowych w ostatnim tysiącleciu (IPCC 2001)



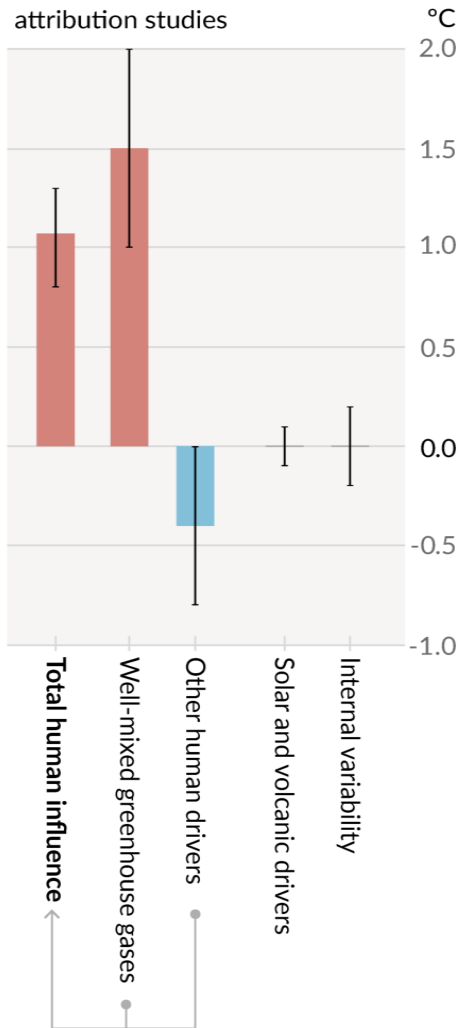
SYR - FIGURE 2-1
WG1 FIGURE SPM-2

Naturalne i antropogeniczne czynniki zmian klimatu i ich ocena energetyczna od 1750 do 2011 roku (IPCC 2013)

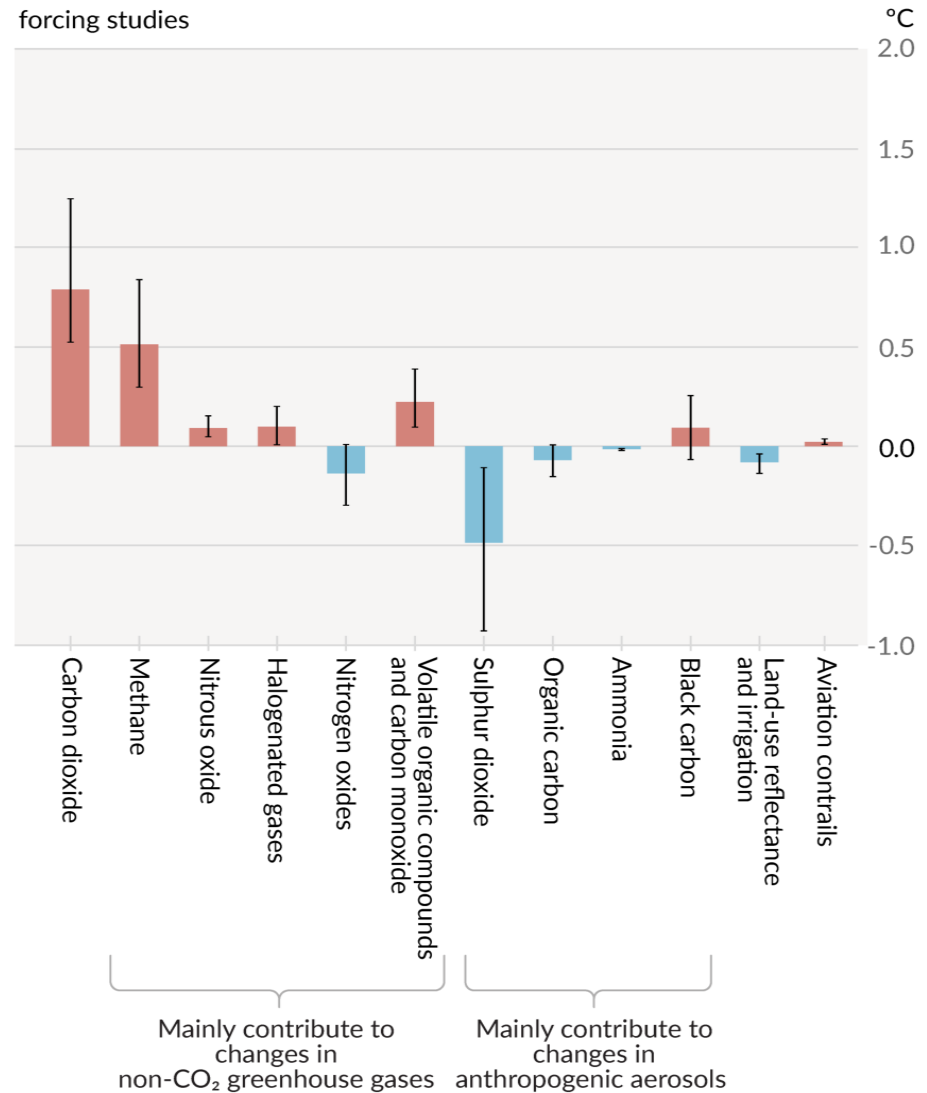


Naturalne i antropogeniczne czynniki zmian klimatu i ich ocena energetyczna (IPCC 2021)

b) Aggregated contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from attribution studies

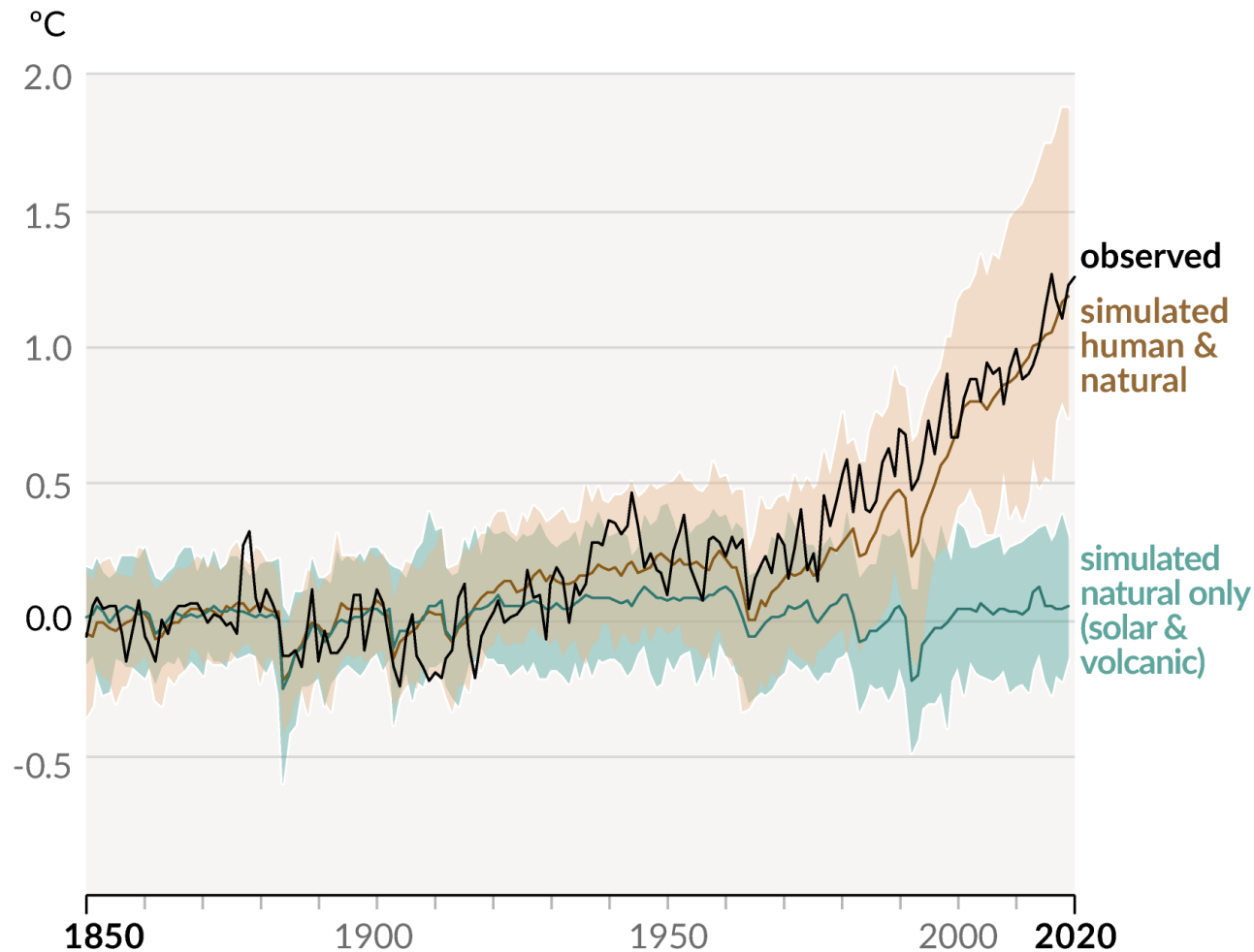


c) Contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from radiative forcing studies

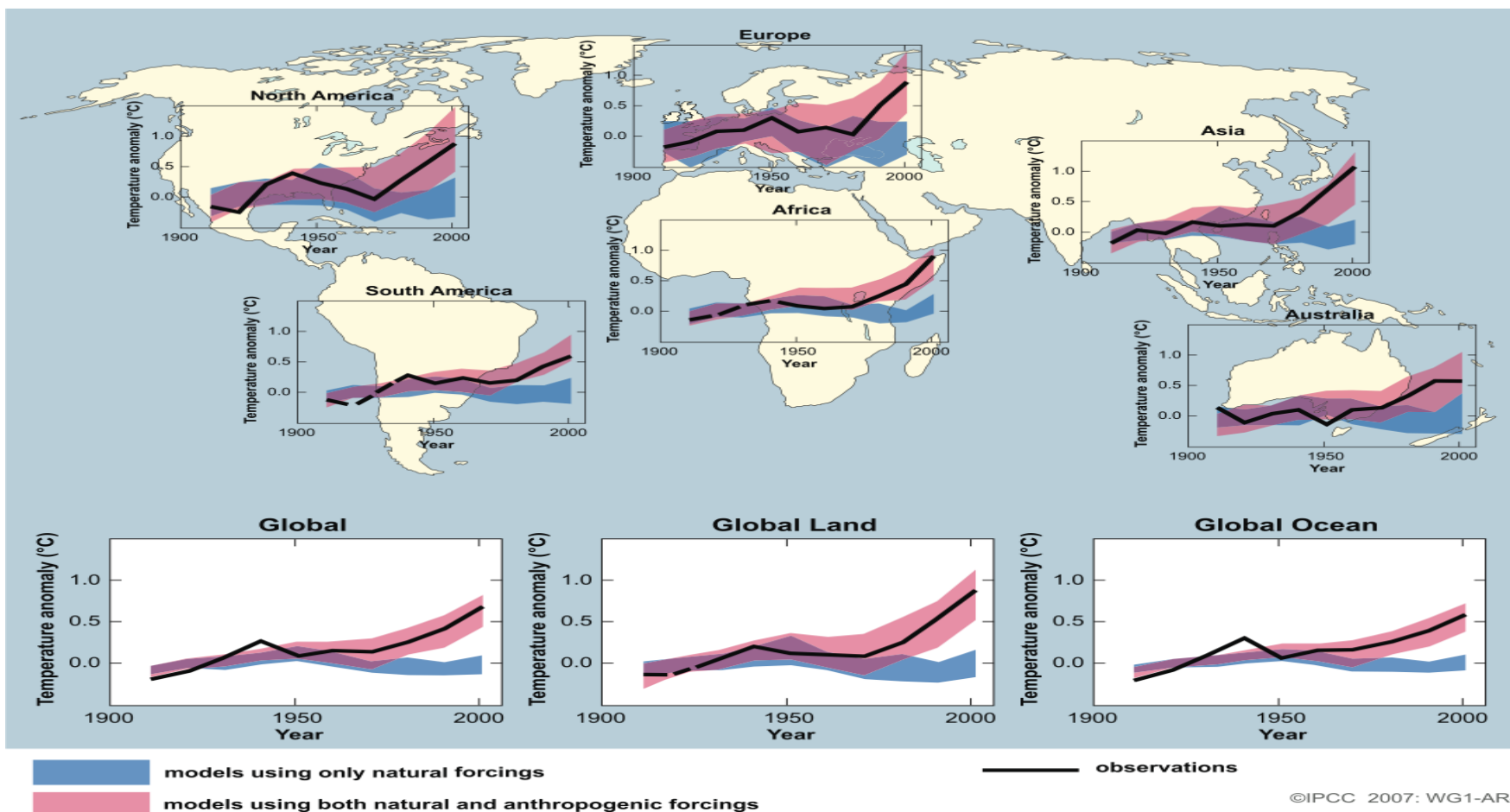


Zmiany średniej temperatury rocznej obserwowanej i symulowanej w okresie 1850-2020 (IPCC 2021)

b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850-2020)



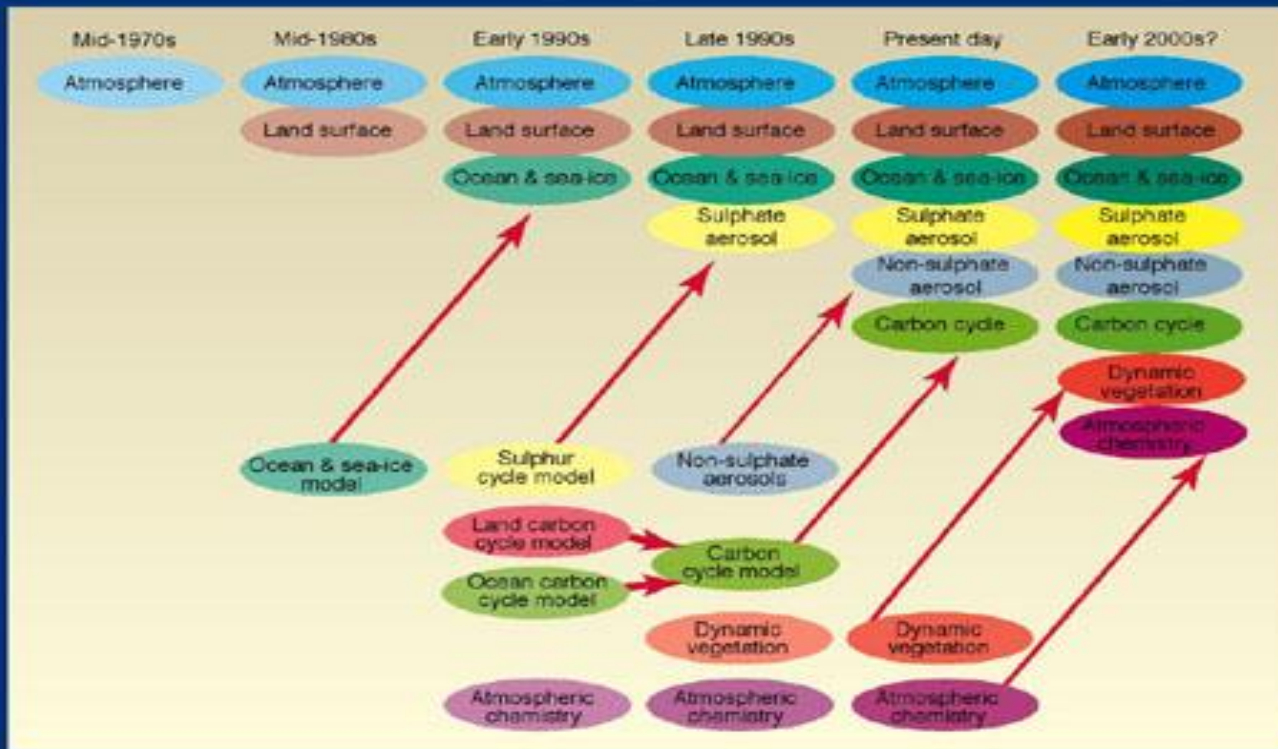
Porównanie obserwowanych zmian temperatury (linia czarna, średnie 10-letnie) i symulowanych przy wykorzystaniu czynników naturalnych (niebieska wstęga) oraz naturalnych i antropogenicznych (różowa wstęga) w okresie 1906-2005 (IPCC 2007)



Klimat XXI wieku

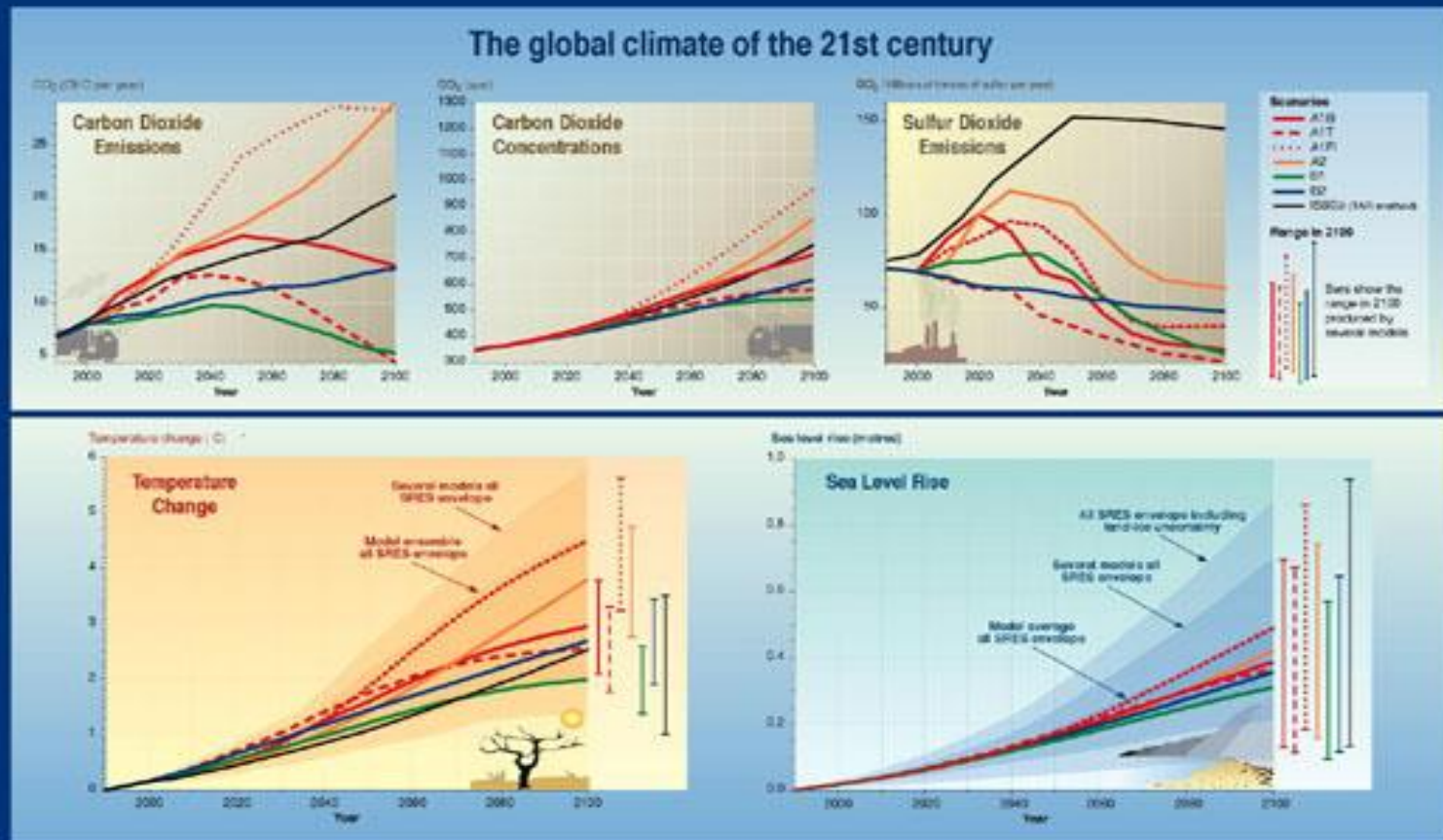
Rozwój modeli klimatycznych (IPCC 2001)

The development of climate models, past, present and future



WG1 - TS - BOX 3
FIGURE 1

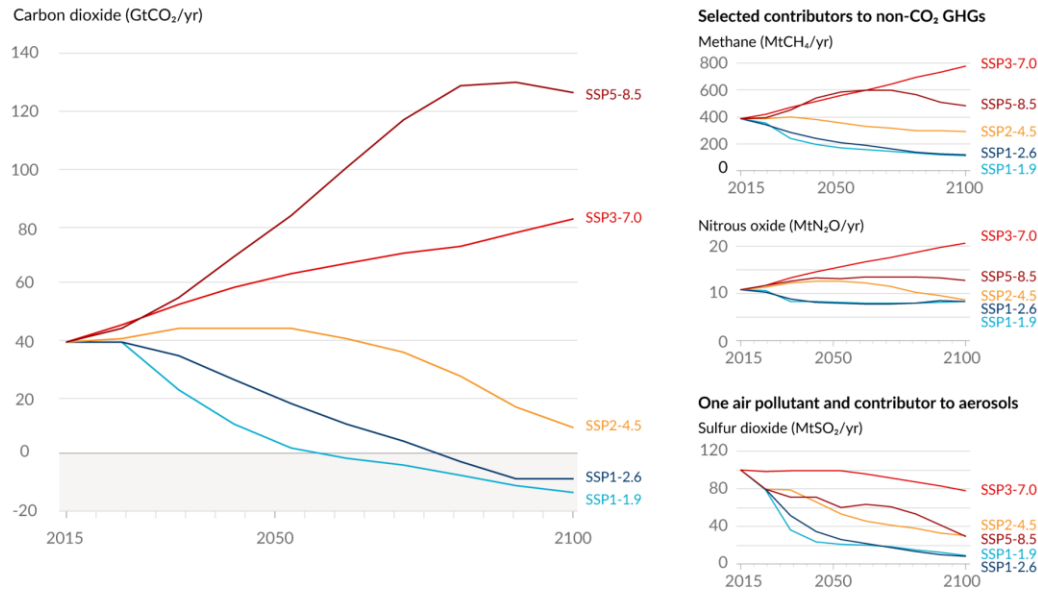
Antropogeniczne czynniki zmian klimatu oraz zmiany temperatury i poziomu mórz w XXI wieku (IPCC 2001)



BASED ON
FIGURE SPM-5
OF THE WG1

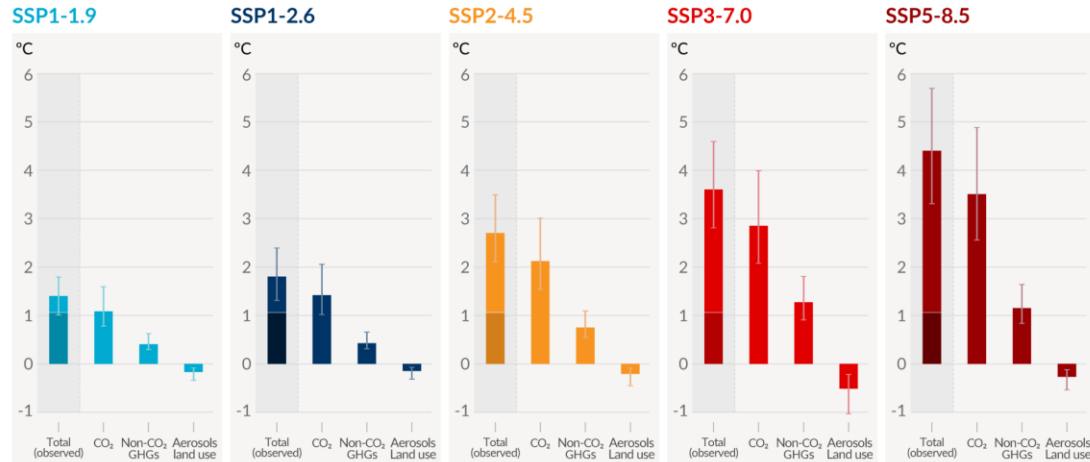
Antropogeniczne czynniki zmian klimatu (IPCC 2021)

a) Future annual emissions of CO₂ (left) and of a subset of key non-CO₂ drivers (right), across five illustrative scenarios



b) Contribution to global surface temperature increase from different emissions, with a dominant role of CO₂ emissions

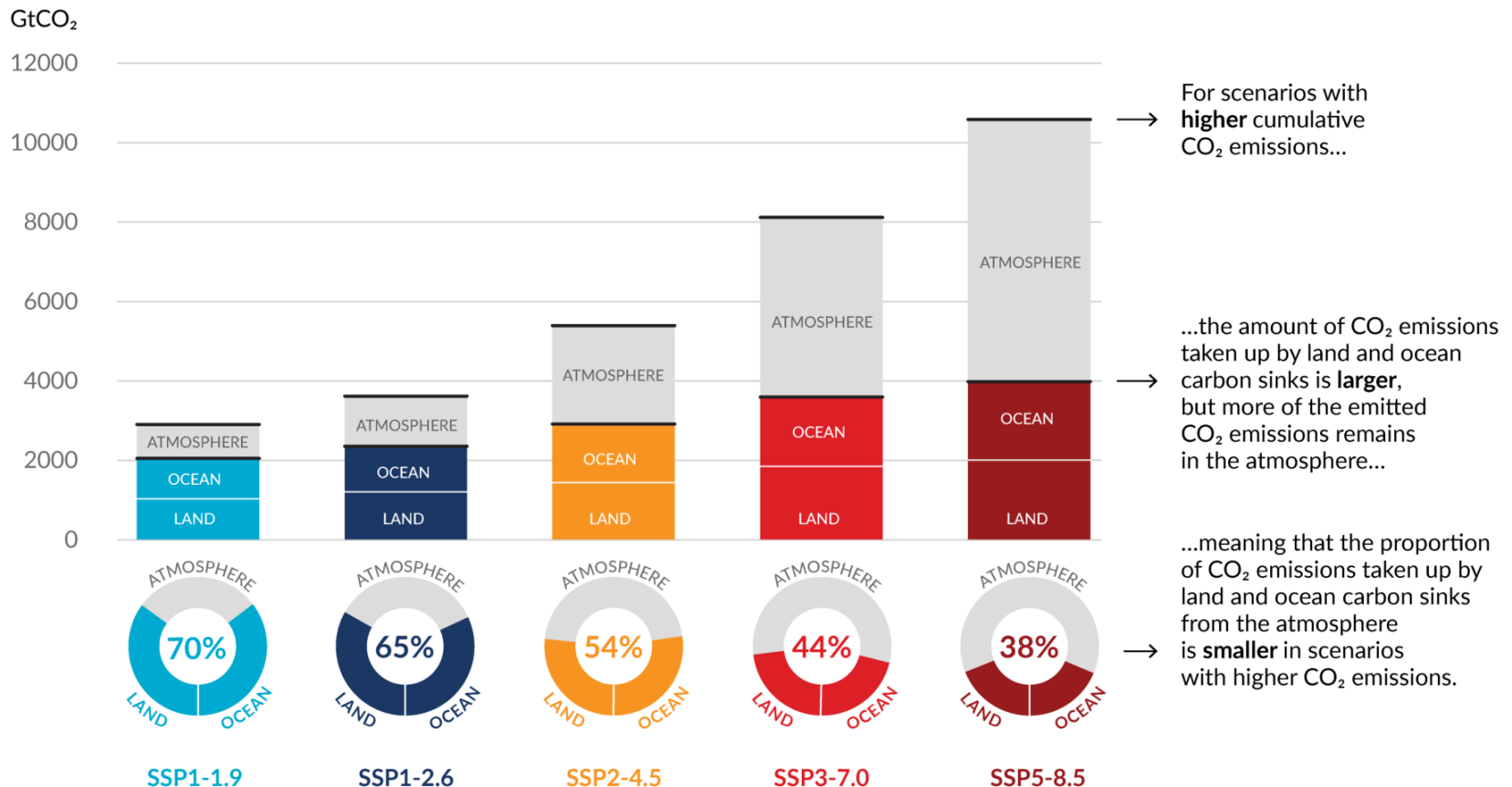
Change in global surface temperature in 2081-2100 relative to 1850-1900 (°C)



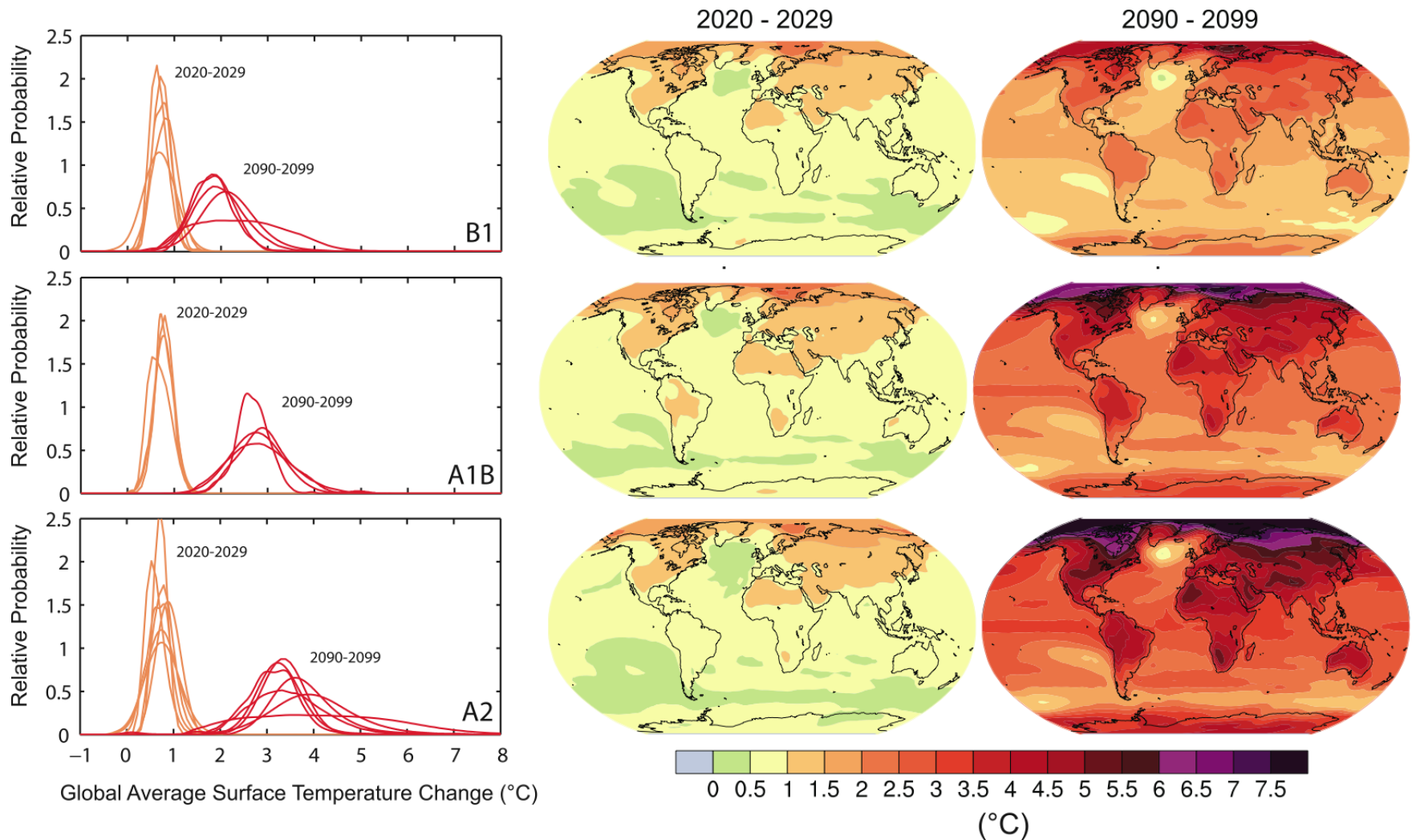
Total warming (observed warming to date in darker shade), warming from CO₂, warming from non-CO₂ GHGs and cooling from changes in aerosols and land use

Całkowita emisja CO₂ akumulowana na lądach, oceanach i w atmosferze (IPCC 2021)

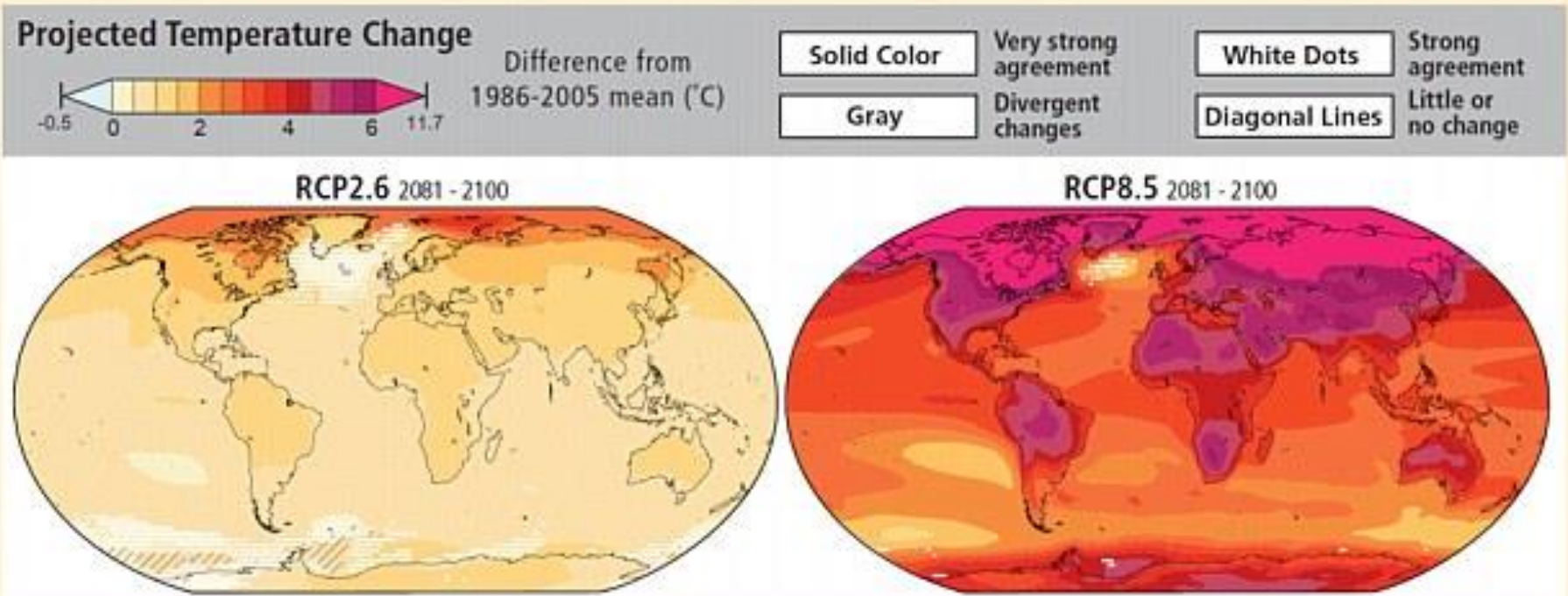
Total cumulative CO₂ emissions **taken up by land and oceans** (colours) and remaining in the atmosphere (grey) under the five illustrative scenarios from 1850 to 2100



Scenariusze zmian temperatury powietrza dla okresów 2020-2029 i 2090-2099 względem okresu 1980-1999 dla scenariuszy B1, A1B i A2 (IPCC 2007)



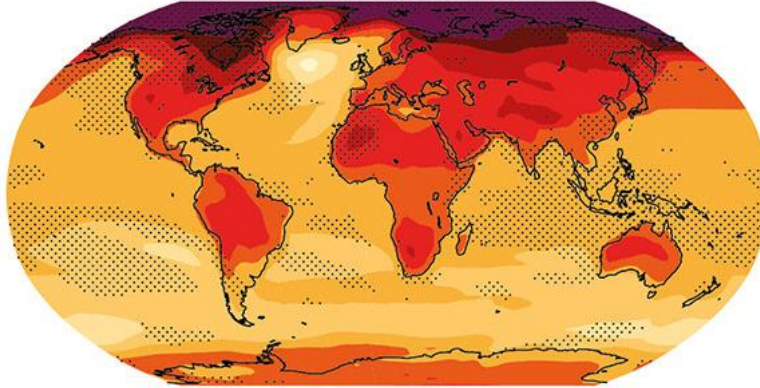
Scenariusze zmian temperatury powietrza dla okresu 2081-2100 względem okresu 1986-2005 dla scenariuszy RCP2.6 i RCP8.5 (IPCC 2013)



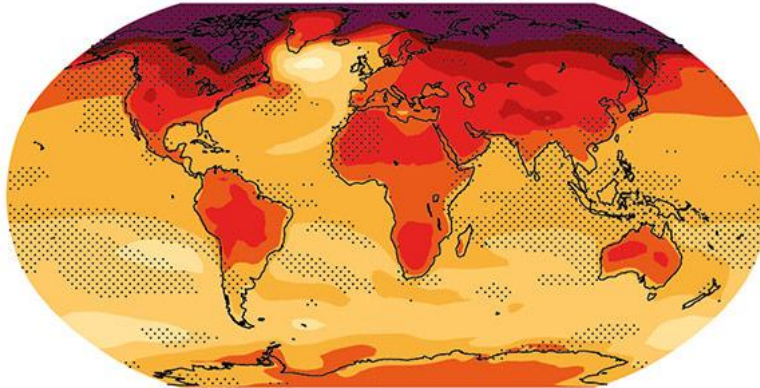
Zmiany temperatury i opadów atmosferycznych na kuli ziemskiej wraz z ociepleniem się średniej globalnej temperatury o 1°C (IPCC 2013)

temperature scaled by global T (°C per °C)

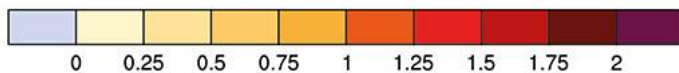
CMIP3 : 2080-2099



CMIP5 : 2081-2100

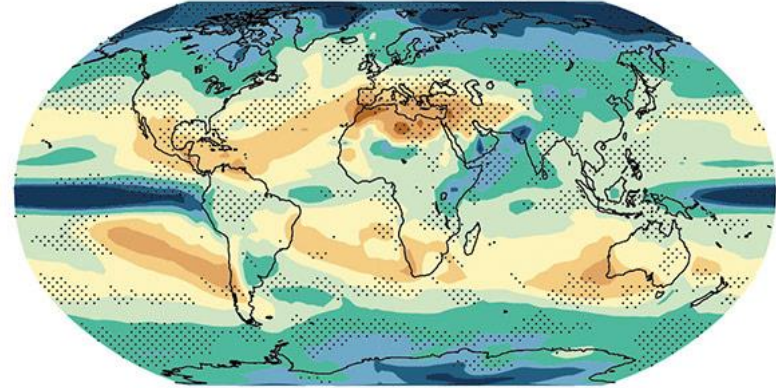


(°C per °C global mean change)

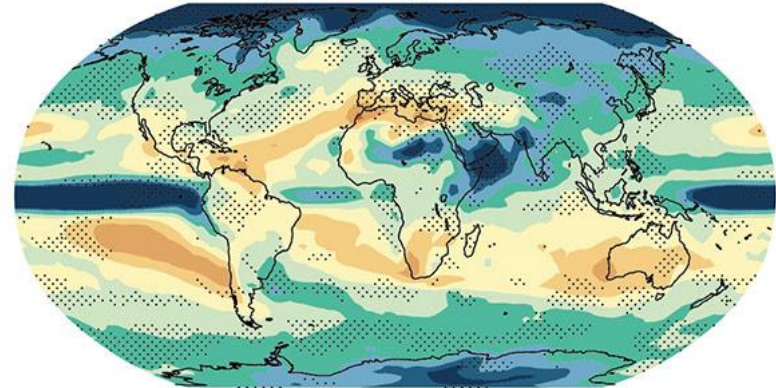


precipitation scaled by global T (% per °C)

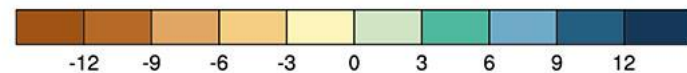
CMIP3 : 2080-2099



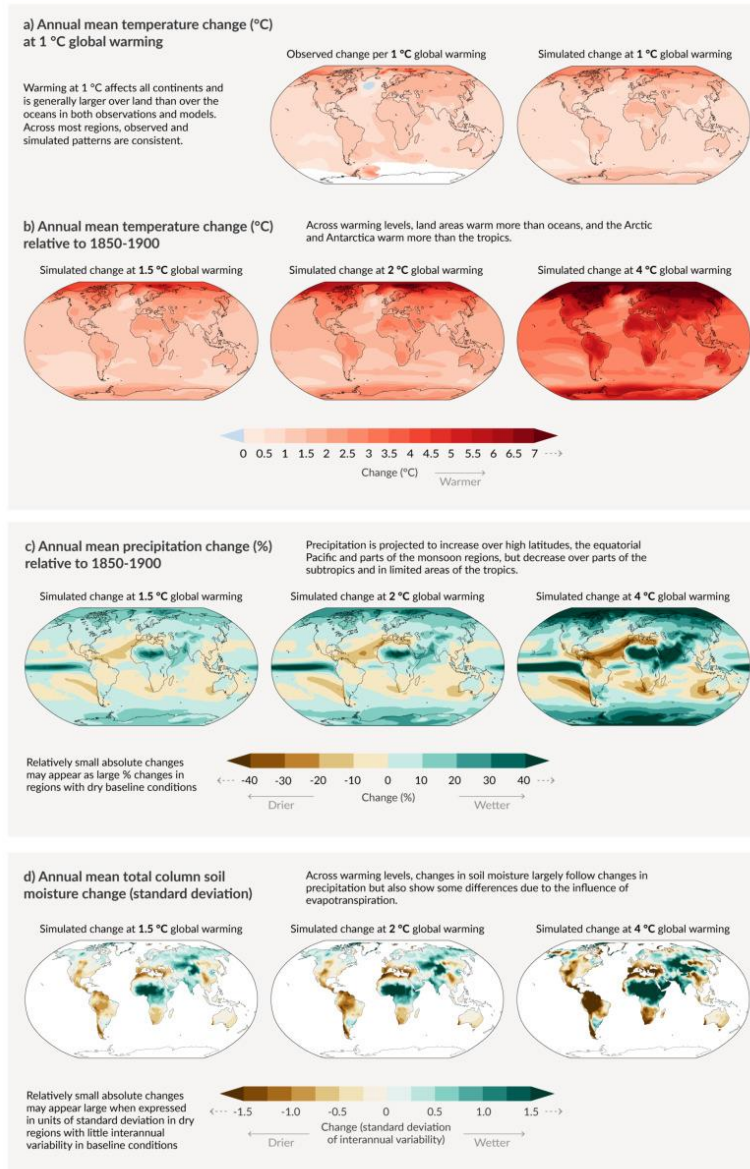
CMIP5 : 2081-2100



(% per °C global mean change)

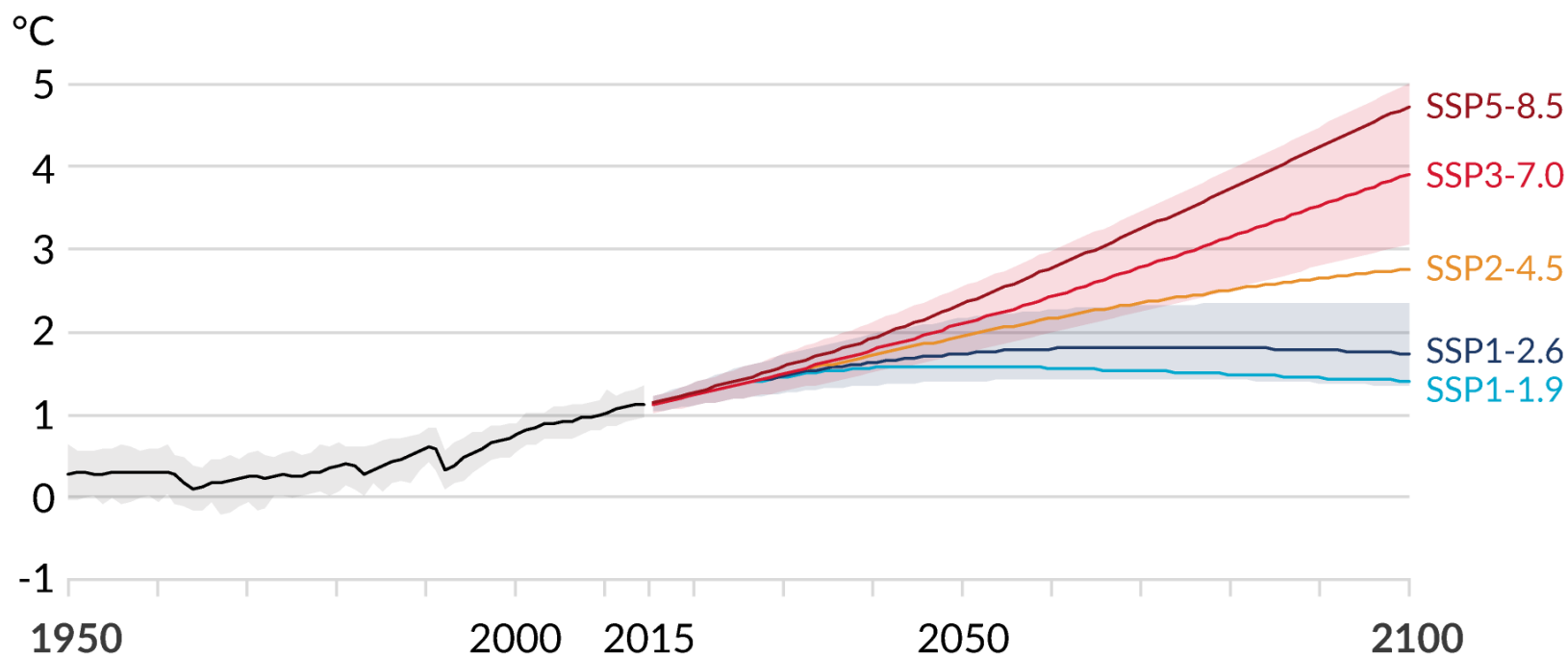


Rozkład przestrzenny zmian temperatury powietrza (a, b), opadów atmosferycznych (c) oraz wilgotności gleby (d) na kuli ziemskiej wraz z różnymi scenariuszami wzrostu temperatury globalnej (IPCC 2021)



Zmiana temperatury powietrza w stosunku do okresu 1850-1900, obserwowana (czarna linia, 1950-2015) i symulowana do 2100 r. wg 5 najnowszych scenariuszy emisji (IPCC 2021)

a) Global surface temperature change relative to 1850-1900



Zmiany wybranych ekstremów obserwowanych (1900-2005) i symulowanych za pomocą 9 modeli między okresami 2080-2099 i 1980-1999.
a) i b – dni mroźne, c i d) – fale upałów; e i f – długość sezonu wegetacyjnego (IPCC 2013)

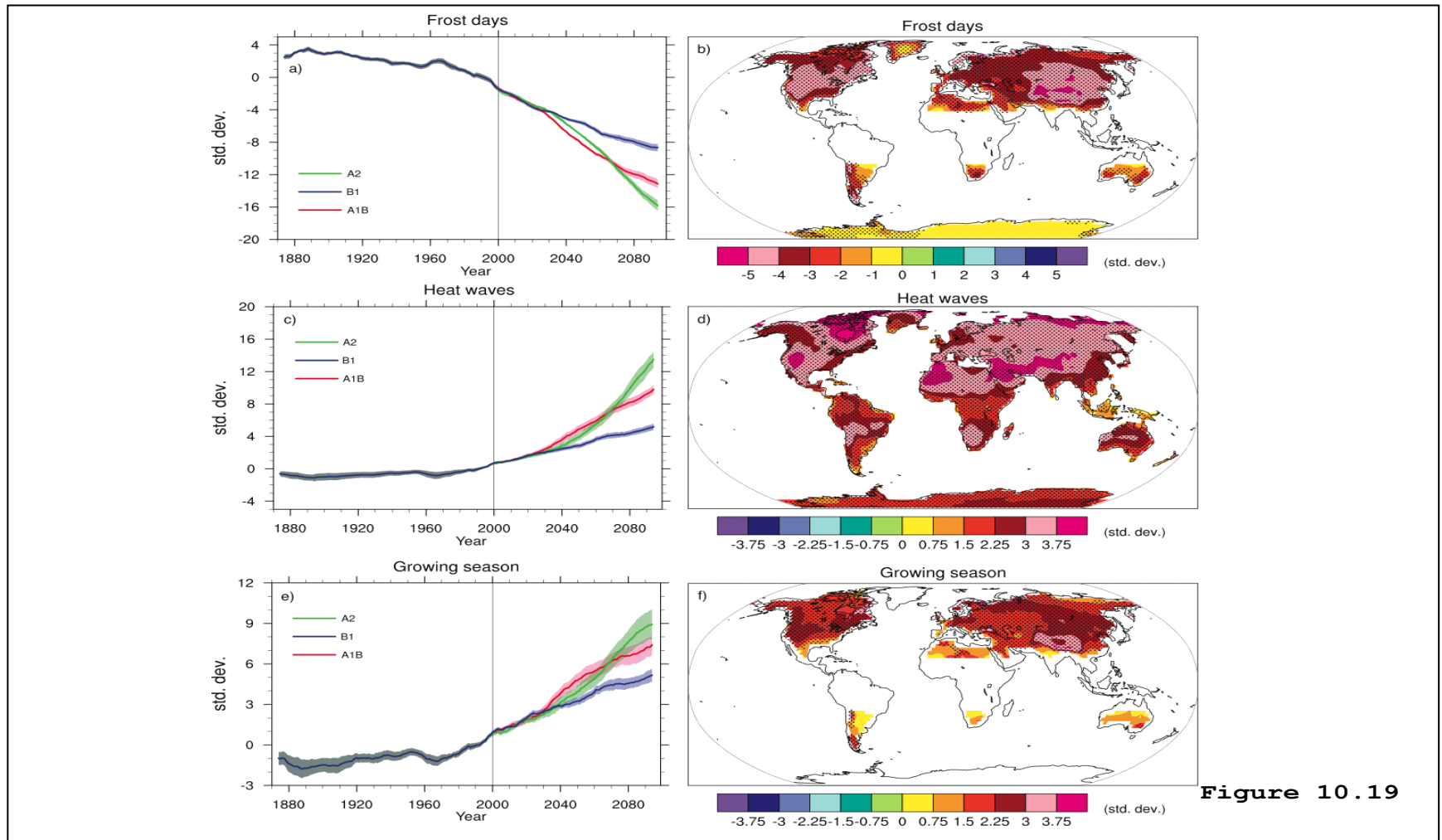
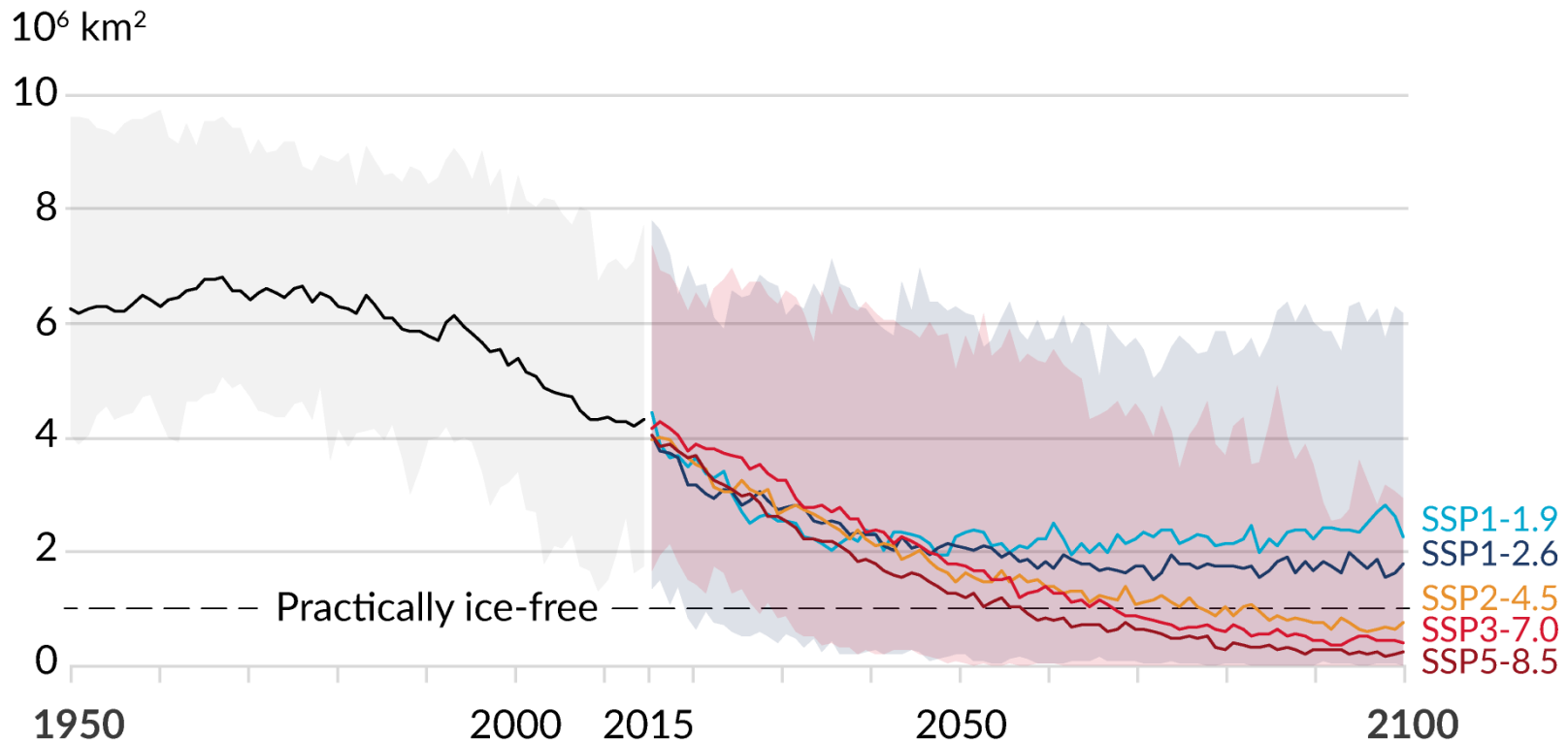


Figure 10.19

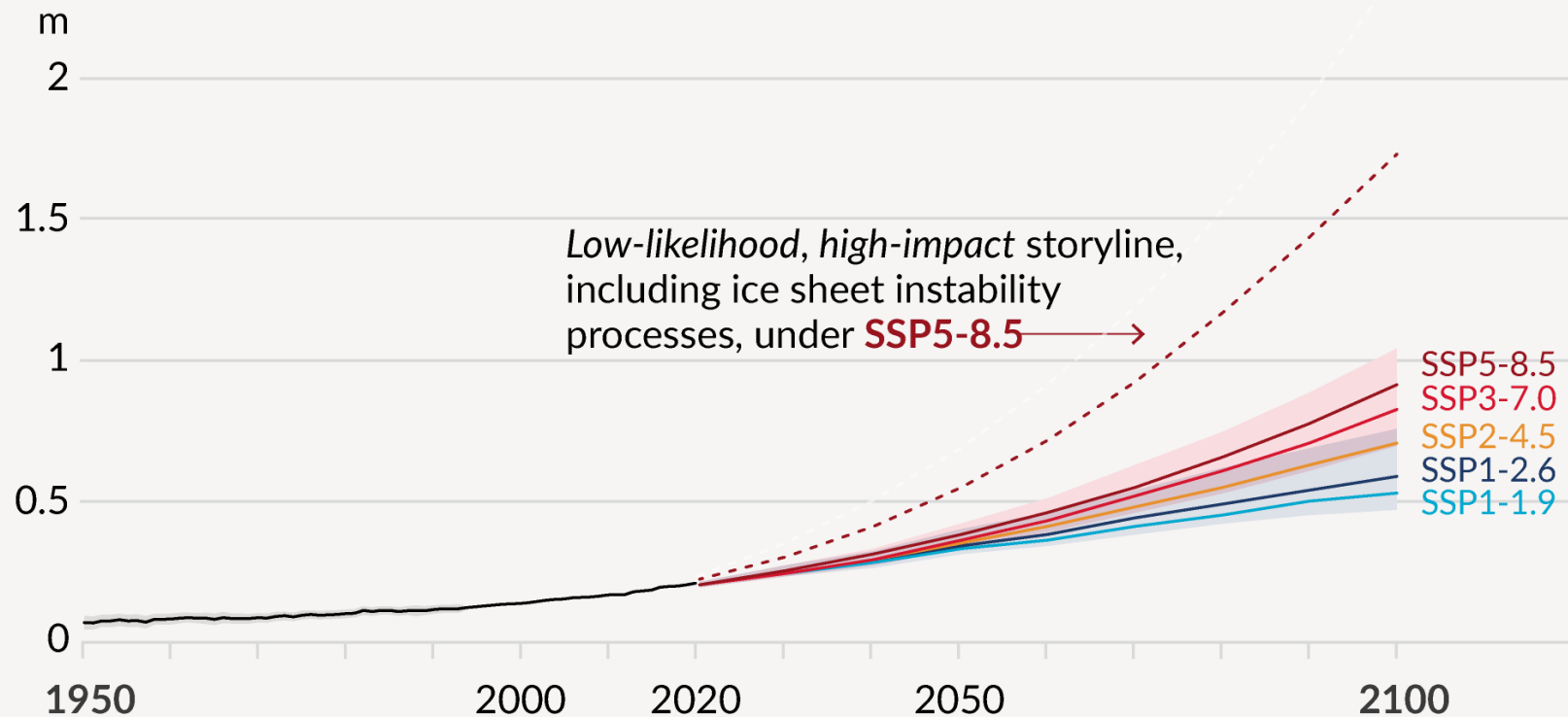
Obserwowane (1950-2015, czarna linia) i symulowane (kolorowe linie) zmiany powierzchni lodu morskiego we wrześniu wg 5 nowych scenariuszy emisji (IPCC 2021)

b) September Arctic sea ice area



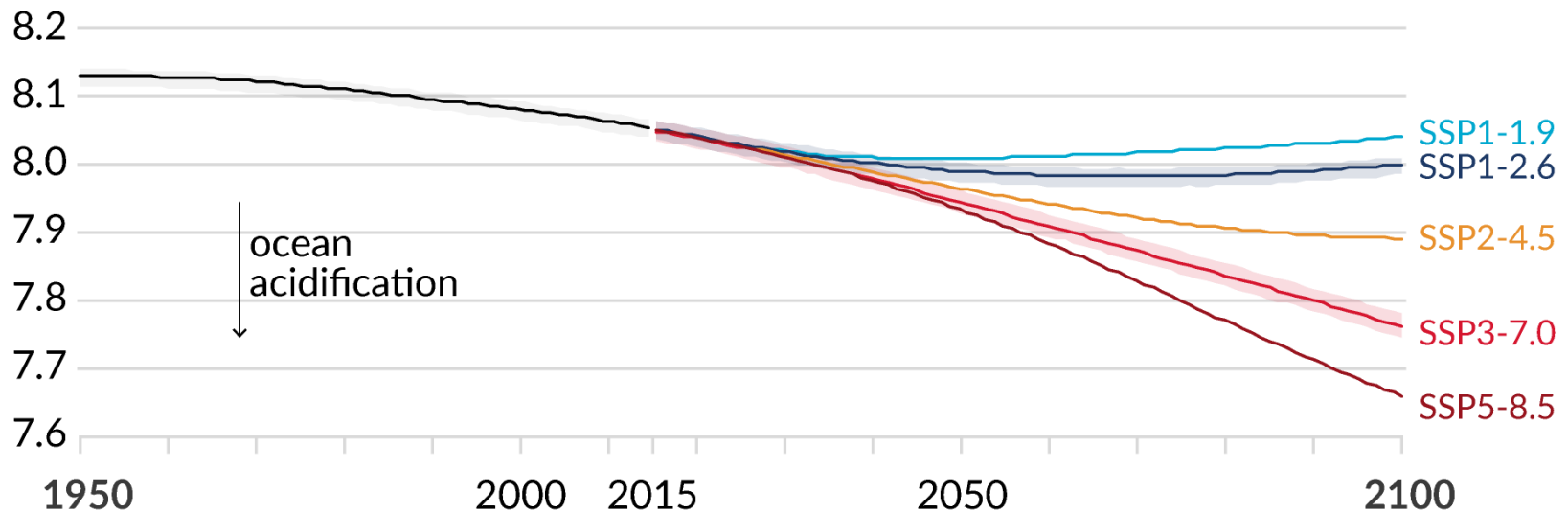
Obserwowane (1950-2015, czarna linia) i symulowane (kolorowe linie) zmiany poziomu morza wg 5 nowych scenariuszy emisji (IPCC 2021)

d) Global mean sea level change relative to 1900

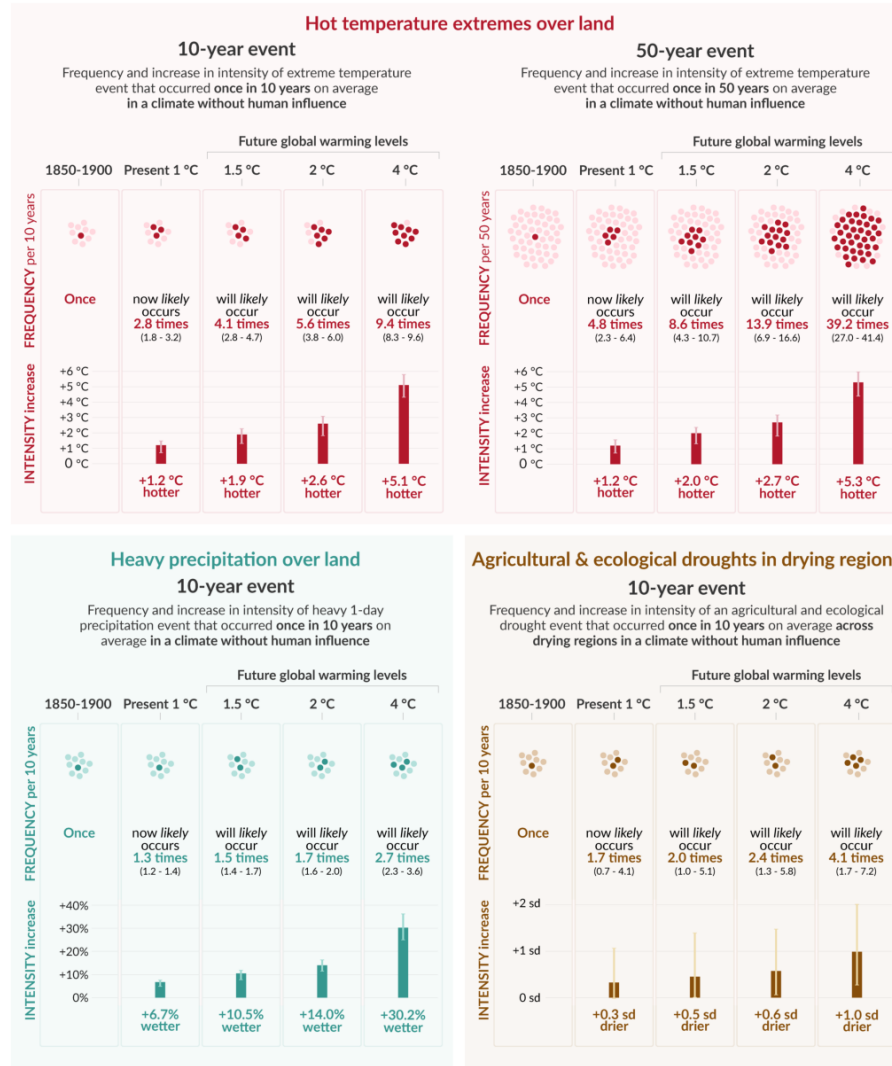


Obserwowane (1950-2015, czarna linia) i symulowane (kolorowe linie) zmiany pH w oceanie światowym wg 5 nowych scenariuszy emisji (IPCC 2021)

c) Global ocean surface pH (a measure of acidity)



Częstość występowania fal upałów (upalnych dni), ulewnych opadów i susz w przyszłości oraz ich intensywności (IPCC 2021)



Prosty model klimatyczny

<http://monash.edu/research/simple-climate-model/mscm/index.html>

Dziękuję za uwagę

