

Fizyka Procesów Klimatycznych

Wykład 1

prof. dr hab. Szymon Malinowski
Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
malina@igf.fuw.edu.pl

dr hab. Krzysztof Markowicz
Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski
kmark@igf.fuw.edu.pl

Materiały do wykładu

Literatura:

- Raymond T. Pierrehumbert: Principles of Planetary Climate, 2010
- WORKING GROUP I CONTRIBUTION TO THE IPCC 6th ASSESSMENT REPORT CLIMATE CHANGE 2021: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS,
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Marcin Popkiewicz, Aleksandra Kardaś, Szymon Malinowski: Nauka o klimacie, 2018, 2019, 2023
- [Www.naukaoklimacie.pl](http://www.naukaoklimacie.pl)

Uwagi ogólne

Kod przedmiotu: 1103-5 FPK

Liczba punktów ETCS: 3

Nazwa przedmiotu: Fizyka Procesów Klimatycznych

Prowadzący: Szymon Malinowski Krzysztof Markowicz,

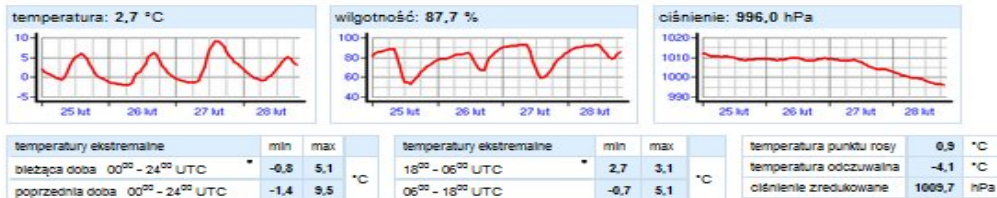
Termin: semestr letni, środa, godz. 10.15-12:00

Forma zaliczenia: egzamin pisemny

Pogoda i klimat.

Czas pomiaru: 2014-02-28 19:40:55 CET
2014-02-28 18:40:55 UTC

Parametry powietrza

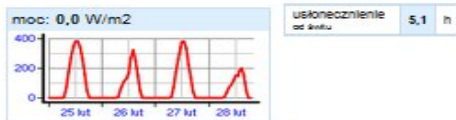


Parametry wiatru

prędkość w porzywie
obserwowana 10 min 5,7 m/s



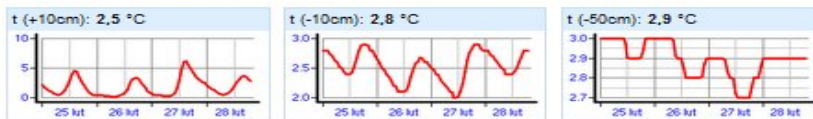
Promieniowanie słoneczne



Opad atmosferyczny



Temperatura gruntu



POLTEMP 1.0H9

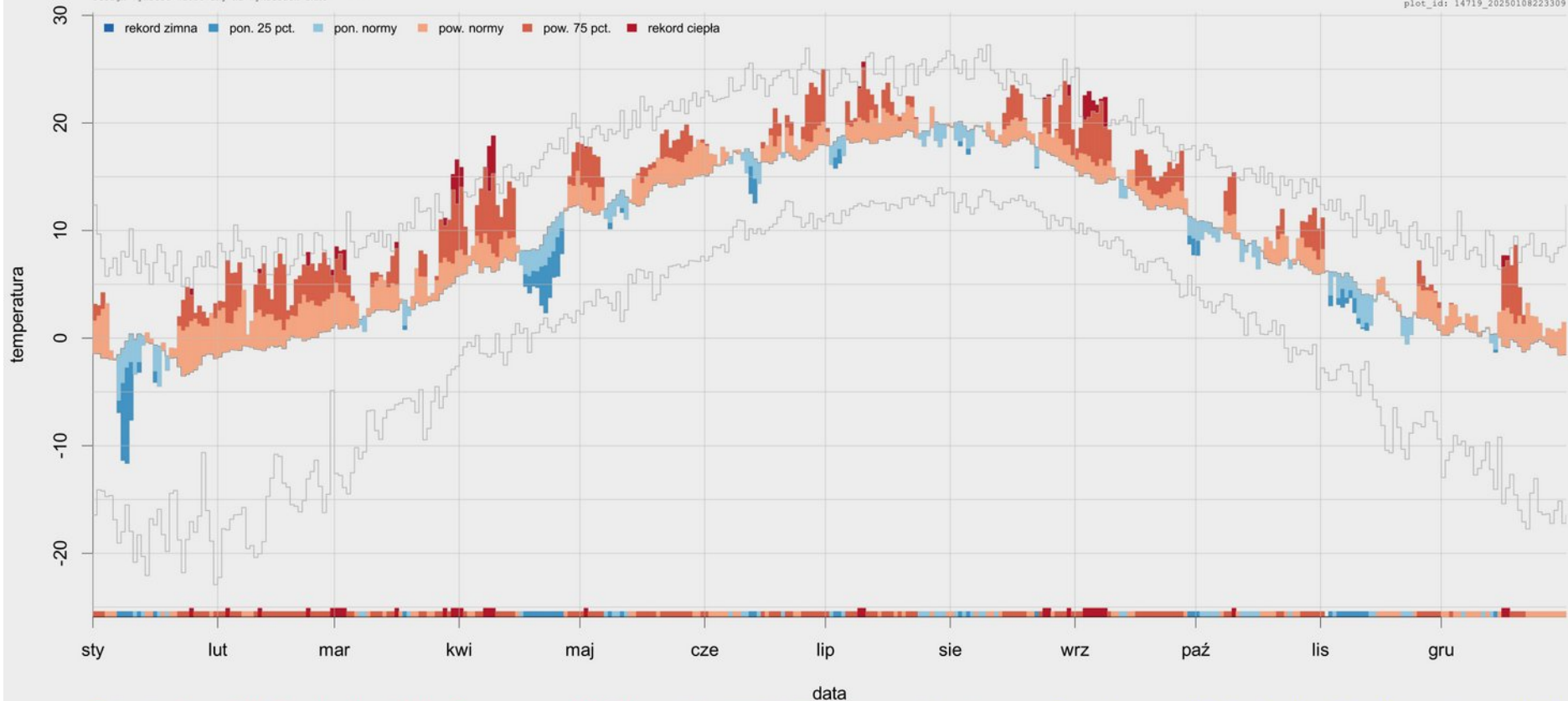
Zakres danych: 2024-01-01 - 2024-12-31

Anomalia: 2.25

Okres referencyjny: 1991-2020

Wartości max/min bez uwzględnienia wybranego okresu
Design wykresu wzorowany na wykresach ZAMG

plot_id: 14719_20250108223309



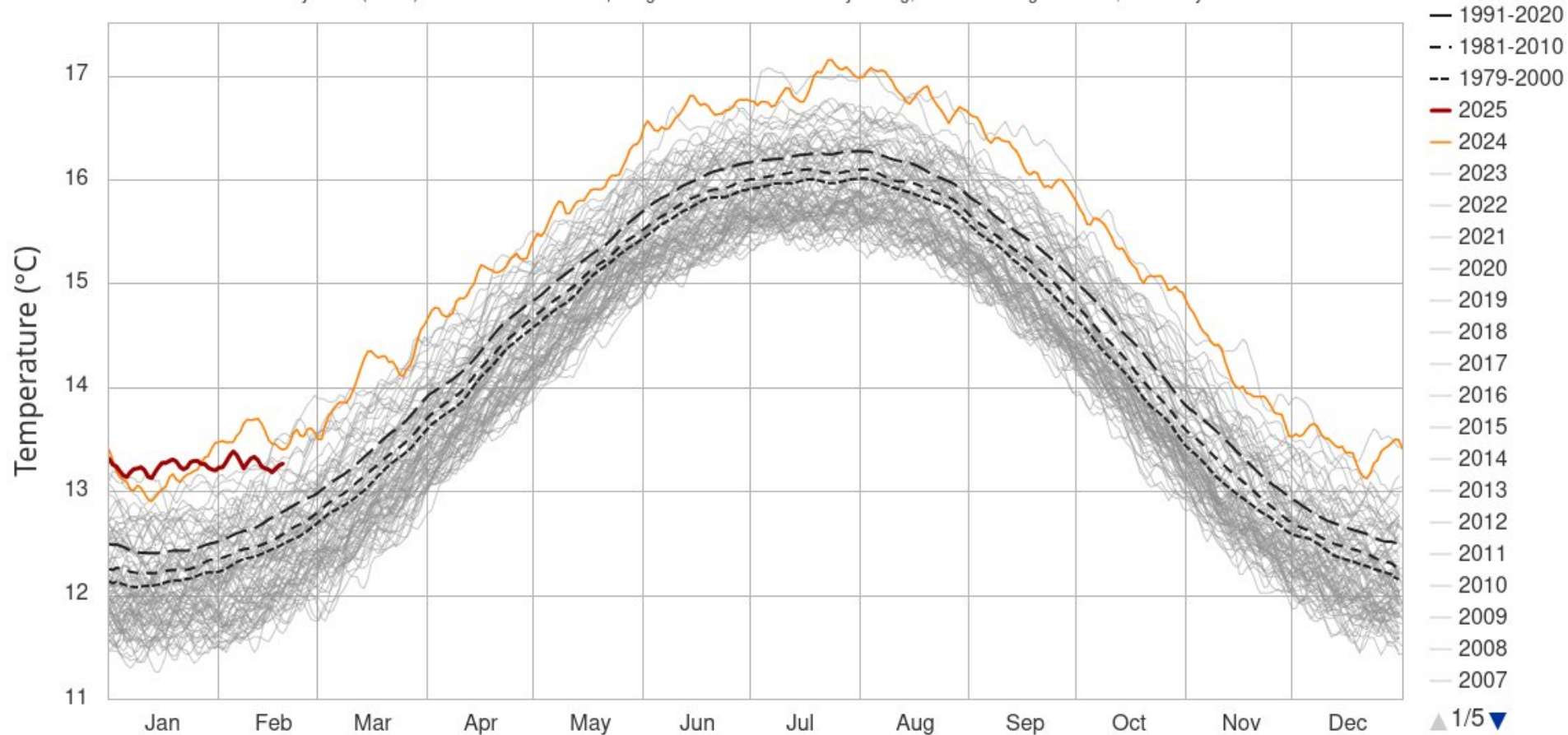
Dni ciepłe: 273 (rekordy: 31). Max anom.: 12.64

(c) 2023-2024 Meteomodel.pl

Dni zimne: 92 (rekordy: 0). Min anom.: -11.34

Daily Surface Air Temperature, World (90°S–90°N, 0–360°E)

Dataset: ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) downloaded from C3S | Image Credit: ClimateReanalyzer.org, Climate Change Institute, University of Maine



Average Temperature

Warsaw, Poland

Average Wind Speed

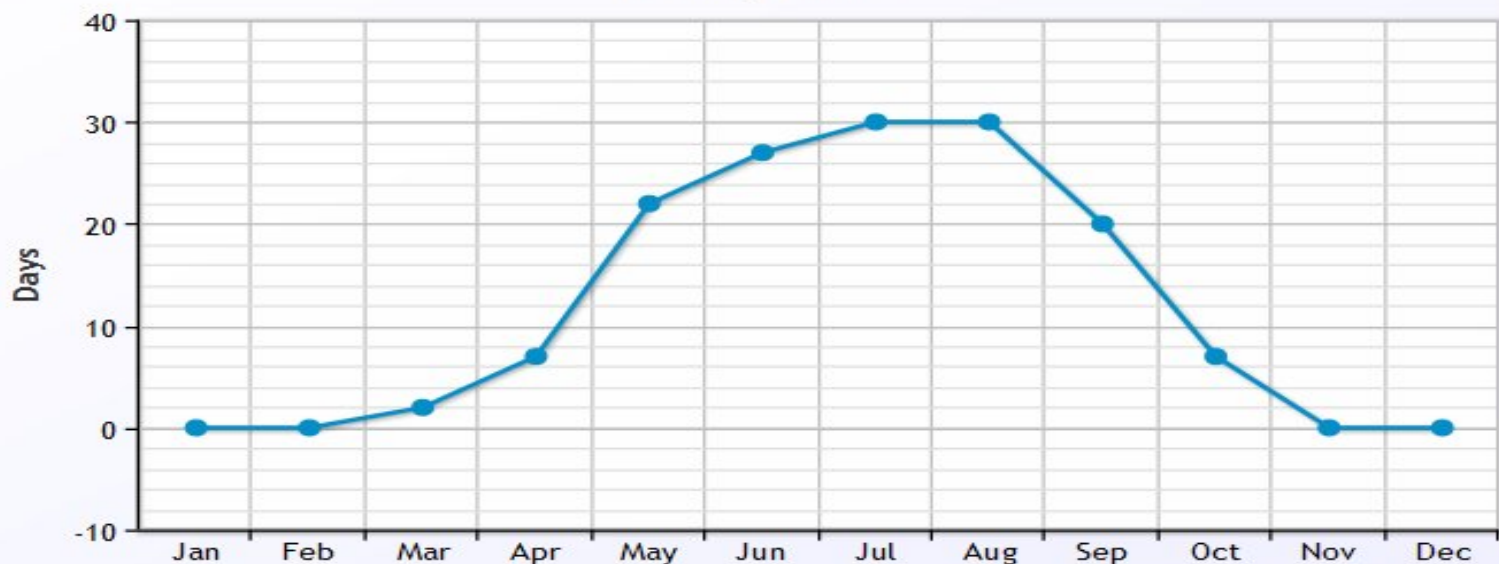
Warsaw, Poland

Average Number of Days With Precipitation

Warsaw, Poland

Average Number of Days Above 60F/15C

Warsaw, Poland



Celsius

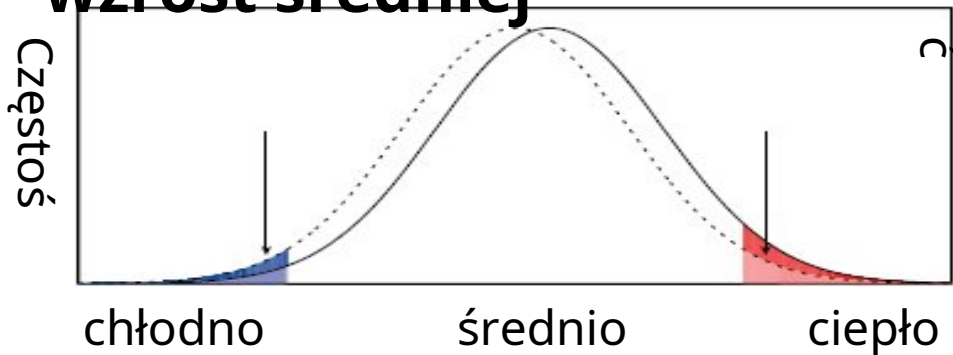
kilometers per hour

Days

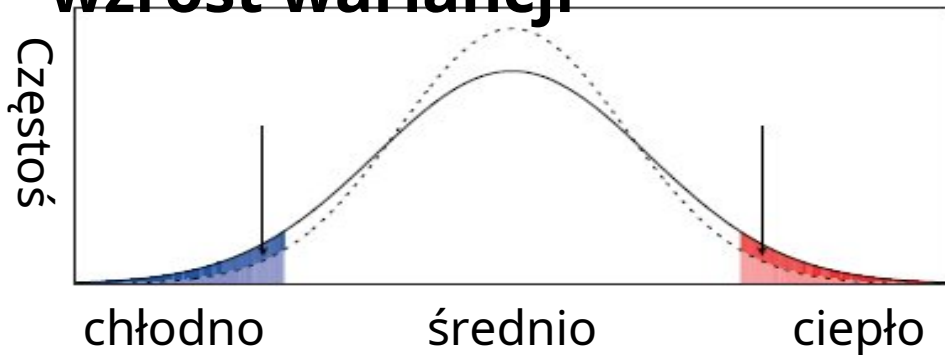
Days

Przykład: zmiany w rozkładzie temperatur

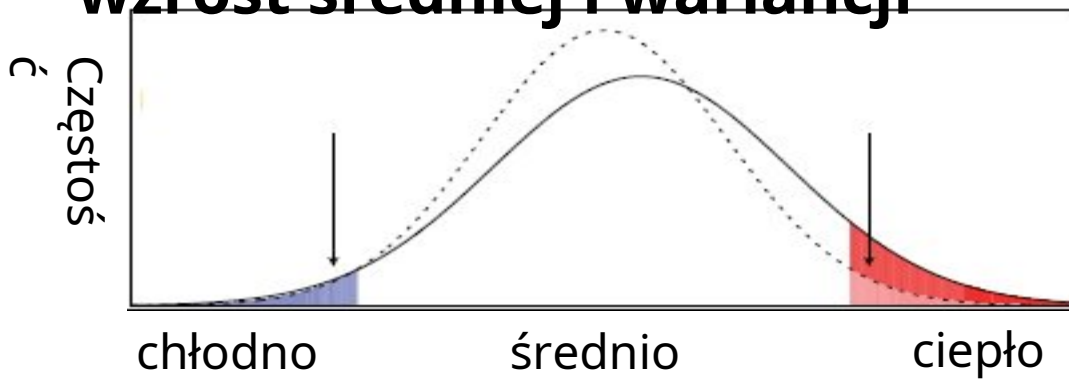
wzrost średniej



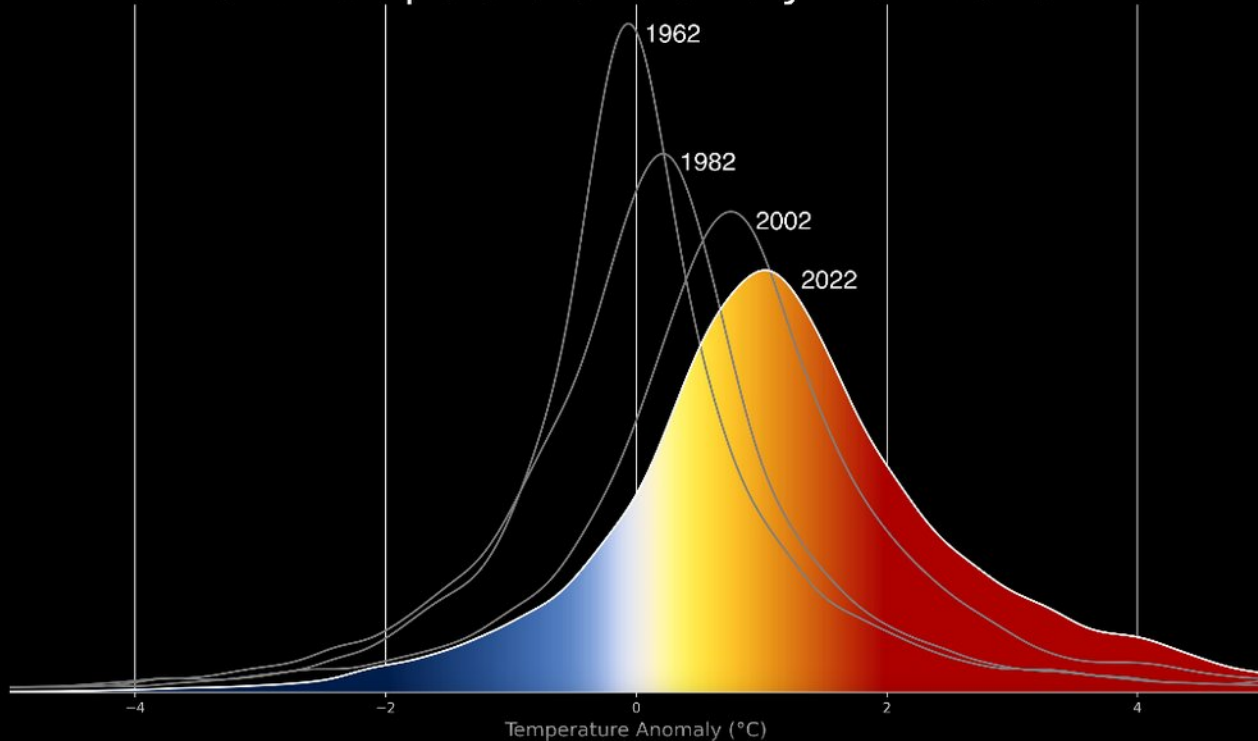
wzrost wariancji



wzrost średniej i wariancji

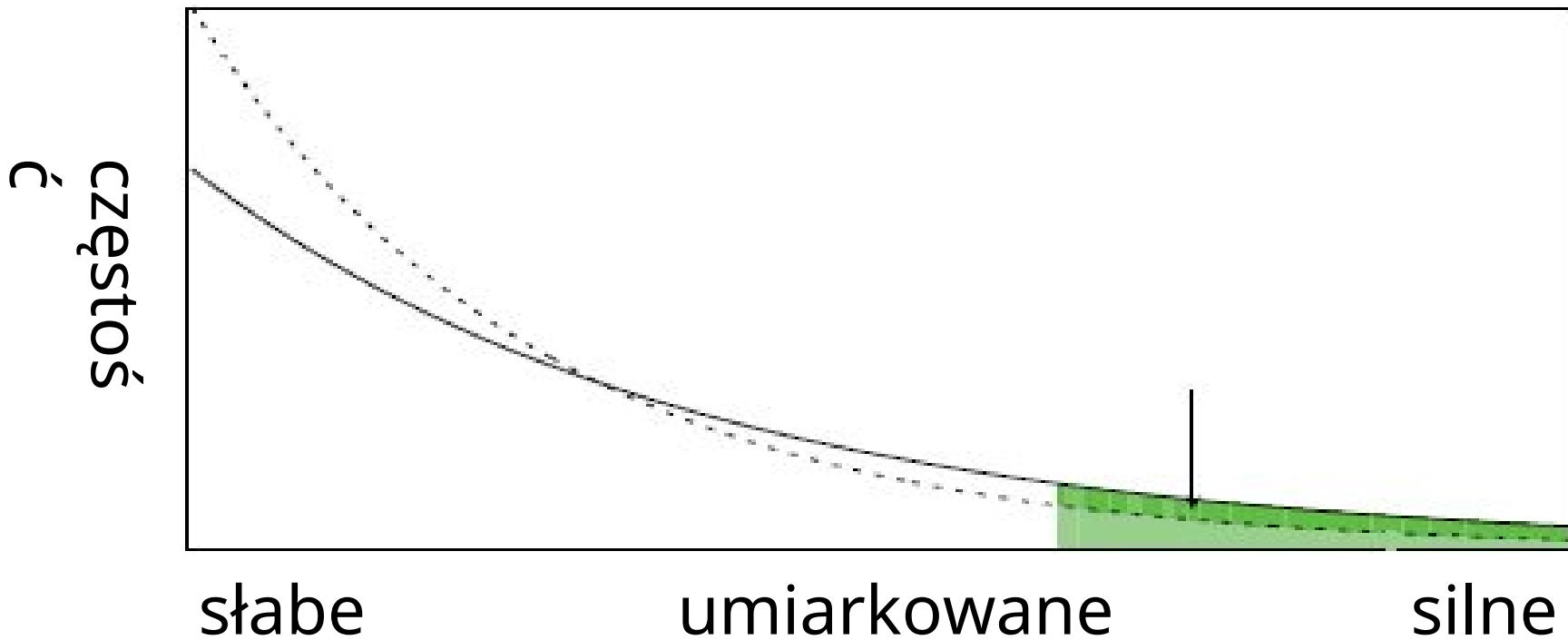


Land Temperature Anomaly Distribution



Częstotliwość występowania lokalnych odchyłeń temperatury latem na lądach półkuli północnej względem okresu bazowego 1951–1980 .

Przykład: zmiany w rozkładzie intensywności opadów



Weather:

The state of the atmosphere, mainly with respect to its effects upon life and human activities.

As distinguished from climate, weather consists of the short-term (minutes to days) variations in the atmosphere. Popularly, weather is thought of in terms of temperature, humidity, precipitation, cloudiness, visibility, and wind.

Climate:

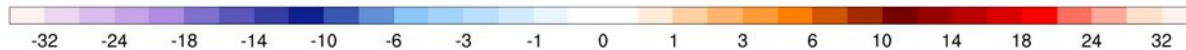
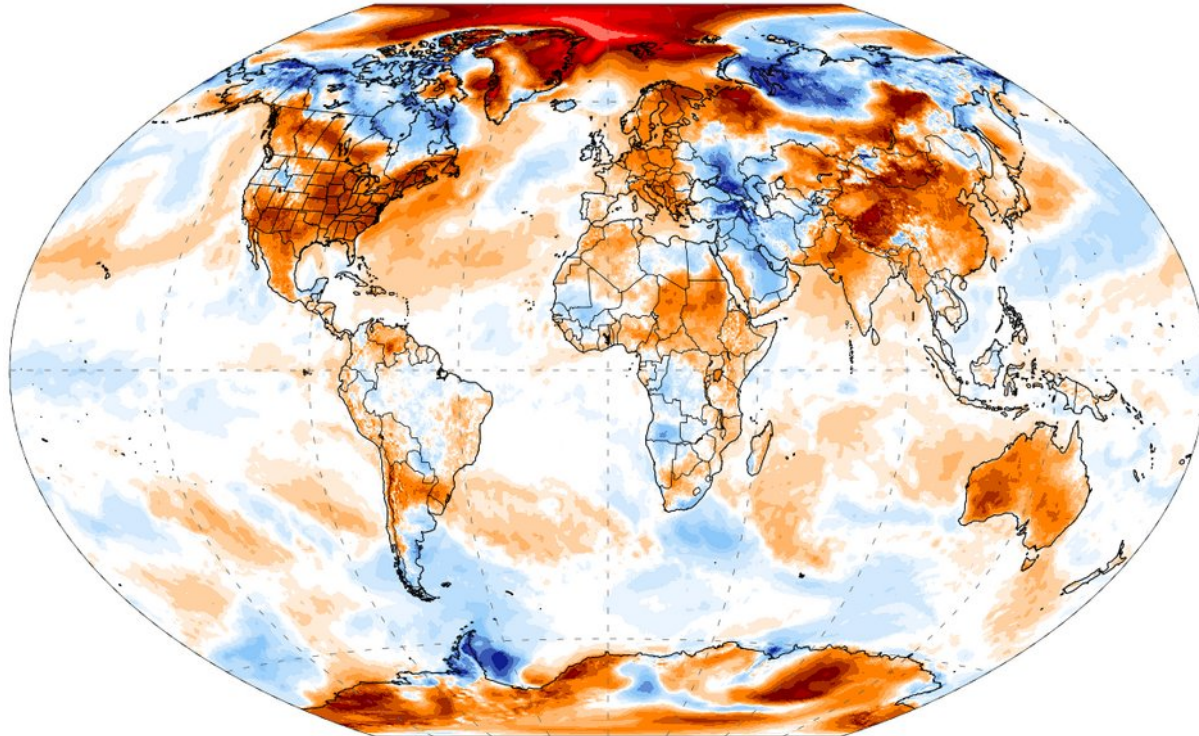
The slowly varying aspects of the atmosphere–hydrosphere–land surface system.

It is typically characterized in terms of suitable averages of the climate system over periods of a month or more, taking into consideration the variability in time of these averaged quantities.

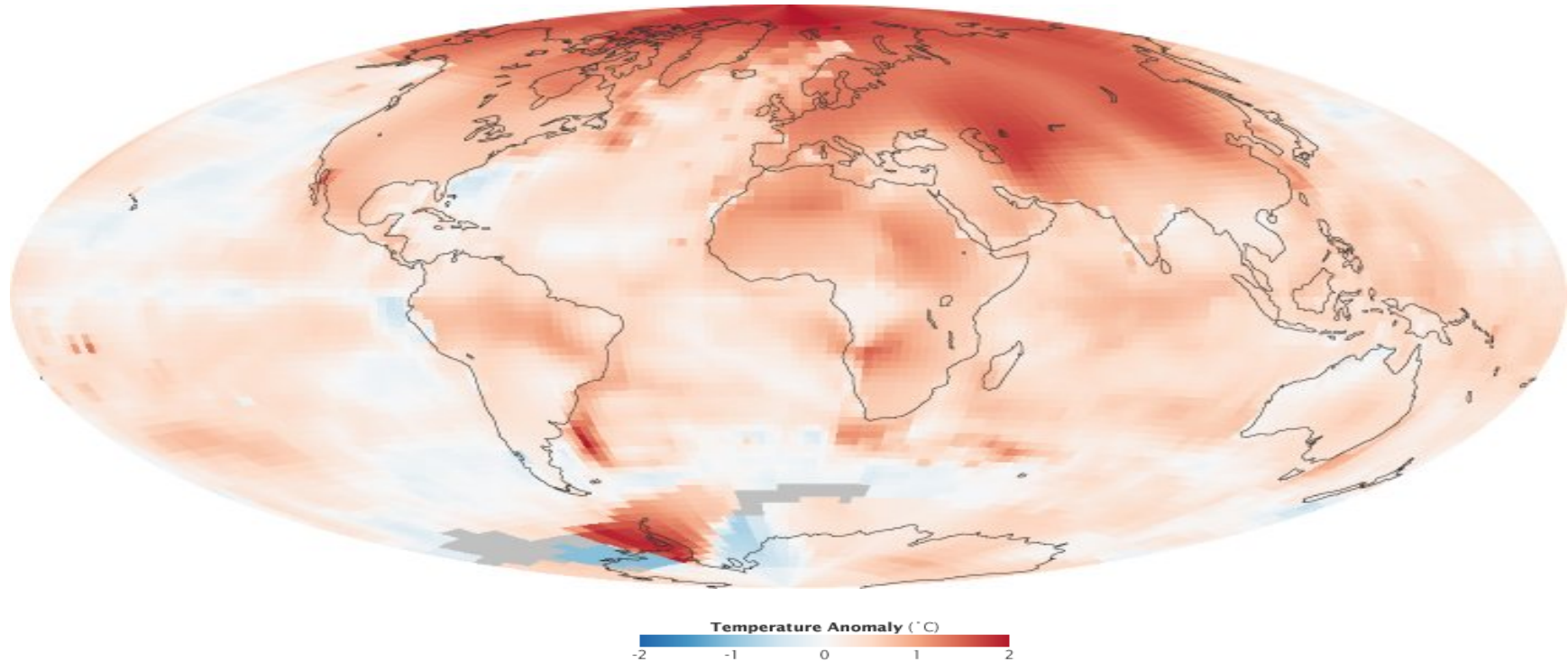
Anomalie pogodowe i klimatyczne

GFS 2m T Anomaly (°C) [CFSR 1979-2000 baseline]
1-day Avg | Wed, Feb 26, 2025

ClimateReanalyzer.org
Climate Change Institute | University of Maine

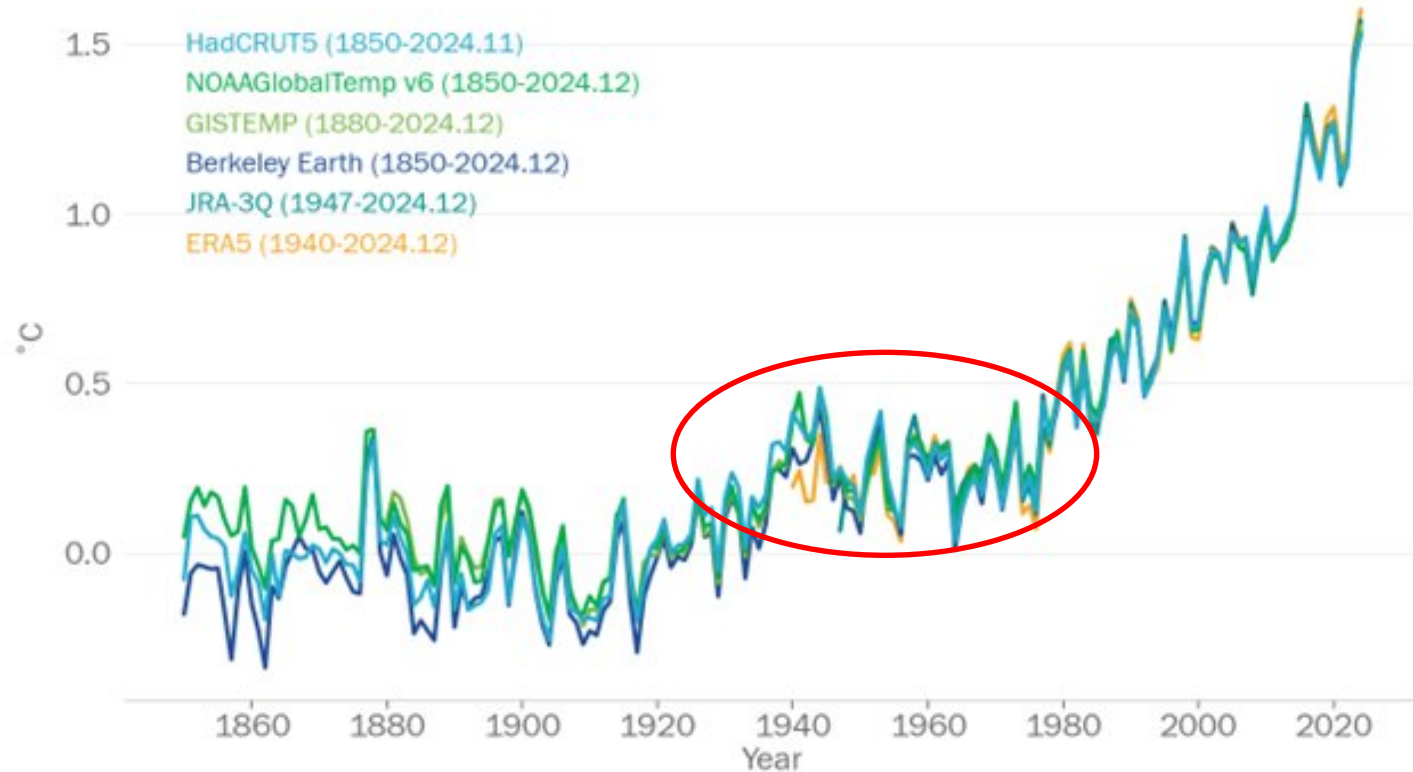


Przykład: średnia anomalia temperatury 2000-2009 względem lat 1951-1980

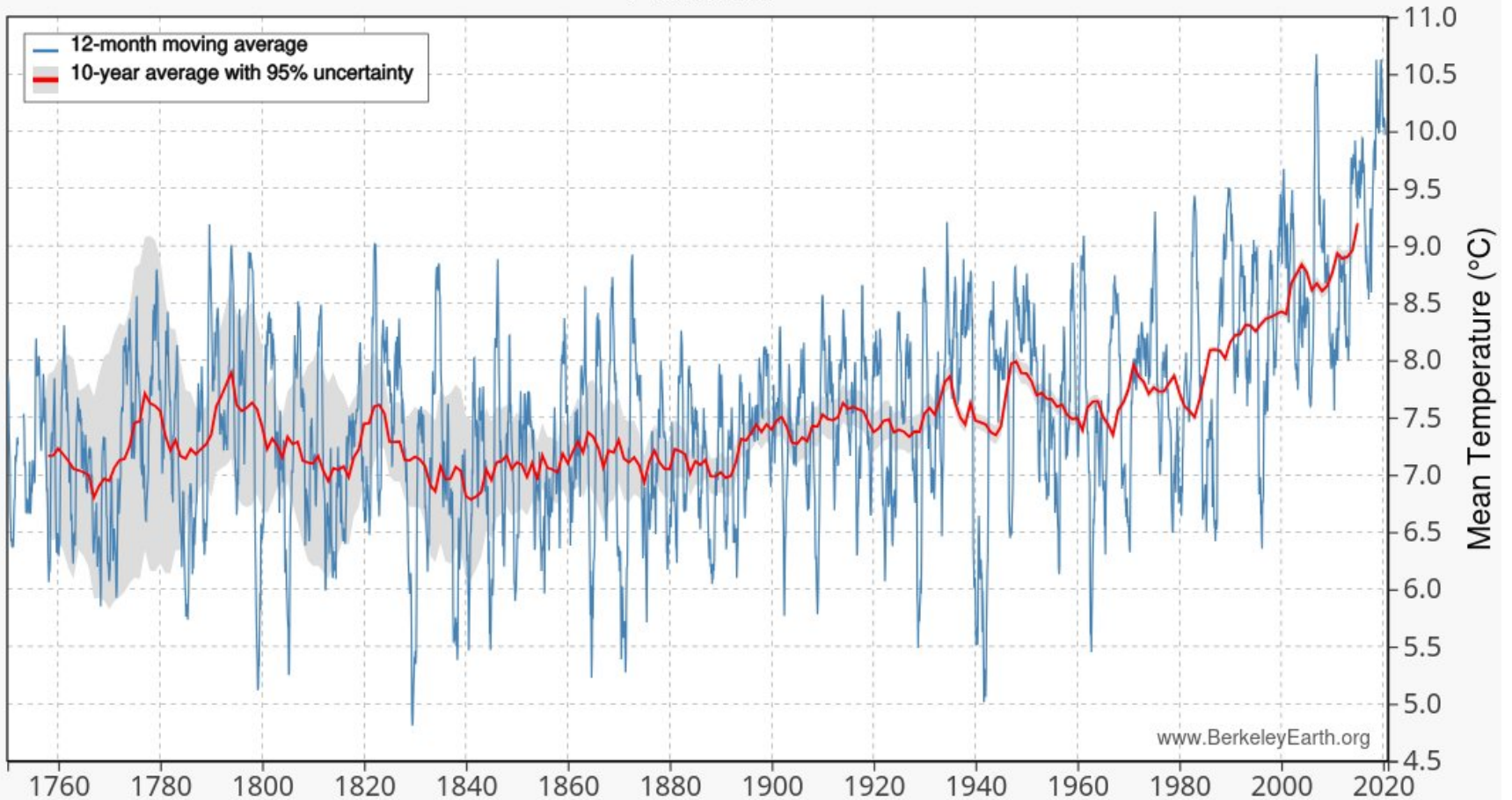


Anomalie c.d.

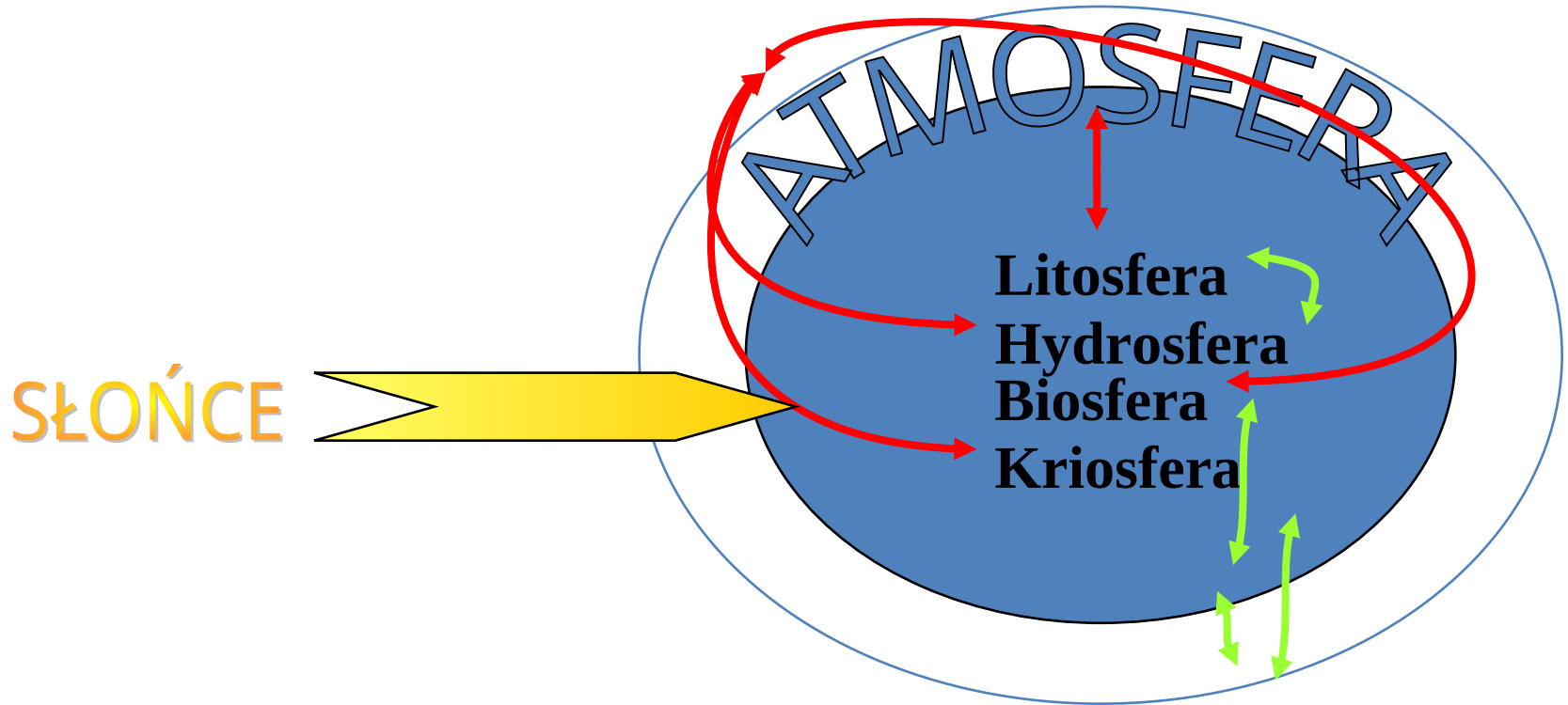
Global mean temperature 1850-2024
Difference from 1850-1900 average



Poland



System klimatyczny





Klimat
- inne ujęcie
- warunki na
powierzchni planety

https://epic.gsfc.nasa.gov/epic-galleries/2016/unar_transit/full/epic_1b_20160705044720_01.png

intensywne rozpraszanie
promieniowania

słabe rozpraszanie
promieniowania

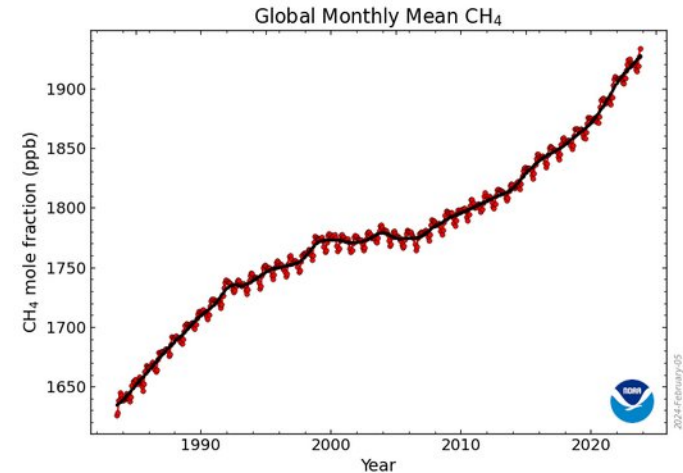
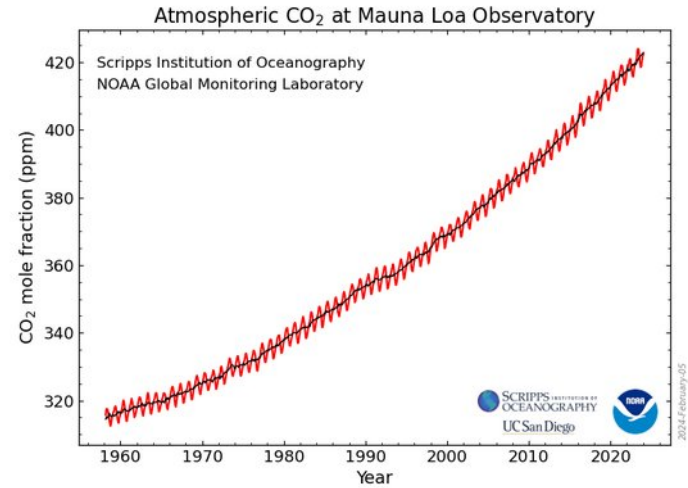
atmosfera





Skład atmosfery 1

gaz	% objętości	
Azot [N ₂]	78,08	biosfera
Tlen [O ₂]	21	pochłanianie UV, oddychanie
Argon [Ar]	0,9	gaz nieaktywny, właściwie nieistotny



Skład atmosfery 2

Gaz	Symbol	% objętości	Dlaczego ważny?
Para wodna	H ₂ O	0-4	Transport ciepła, gaz cieplarniany, uczestniczy w tworzeniu różnych zjawisk (chmury)
Dwutlenek węgla	CO ₂	0,042	Gaz cieplarniany, biosfera (fotosynteza)
Metan	CH ₄	0,00019	Gaz cieplarniany, bardziej wydajny niż CO ₂
Tlenek azotu	N ₂ O	0,00003	Gaz cieplarniany
Ozon	O ₃	0,000004	Warstwa ozonowa, pochłania UV
Cząstki stałe (pyły, sadze), tzw aerozole		0,000001	Budżet energii; tworzenie chmur

Rozkład śladowych gazów w atmosferze

Homosfera $z < 100$ km

Heterosfera $z > 100$ km

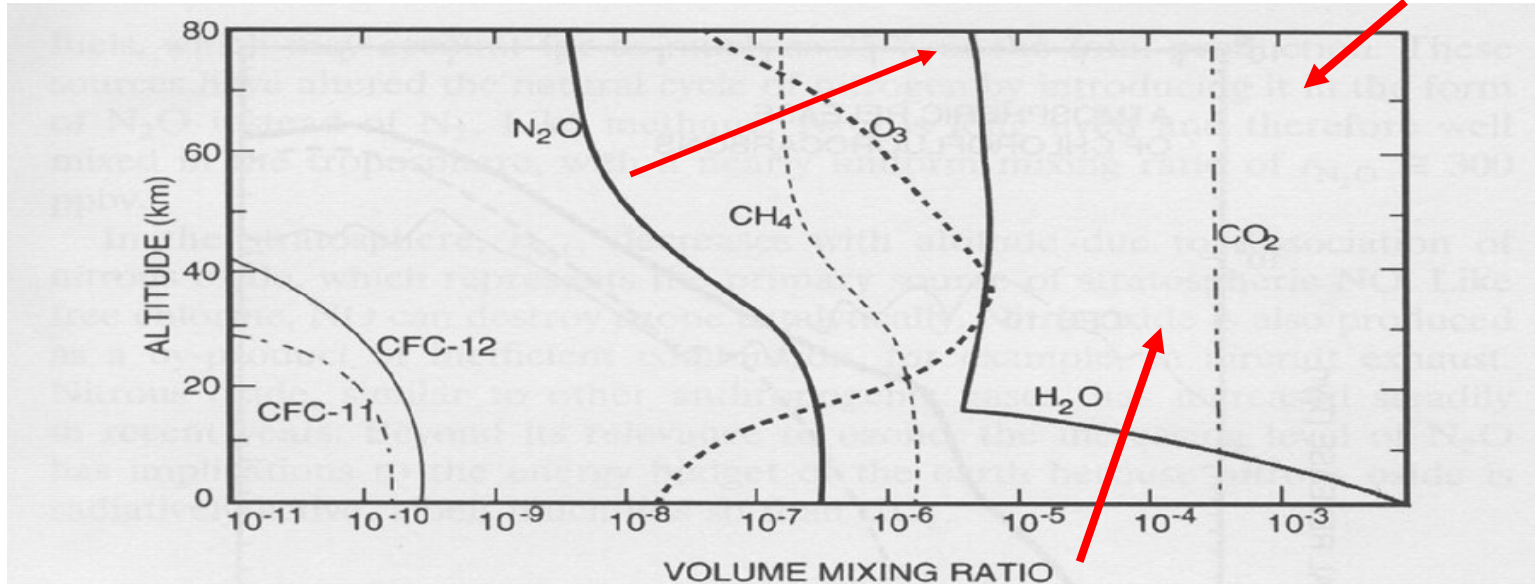
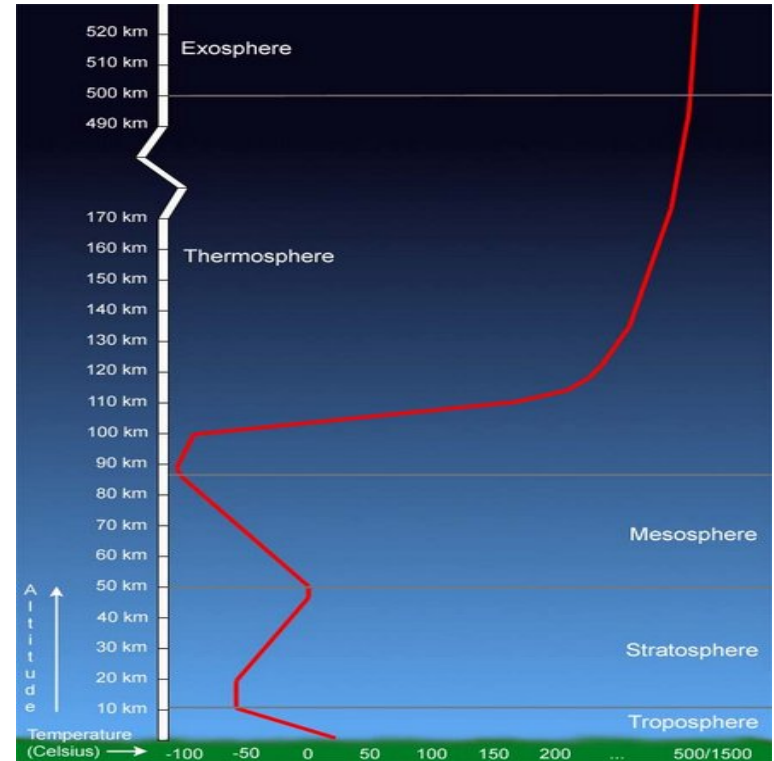
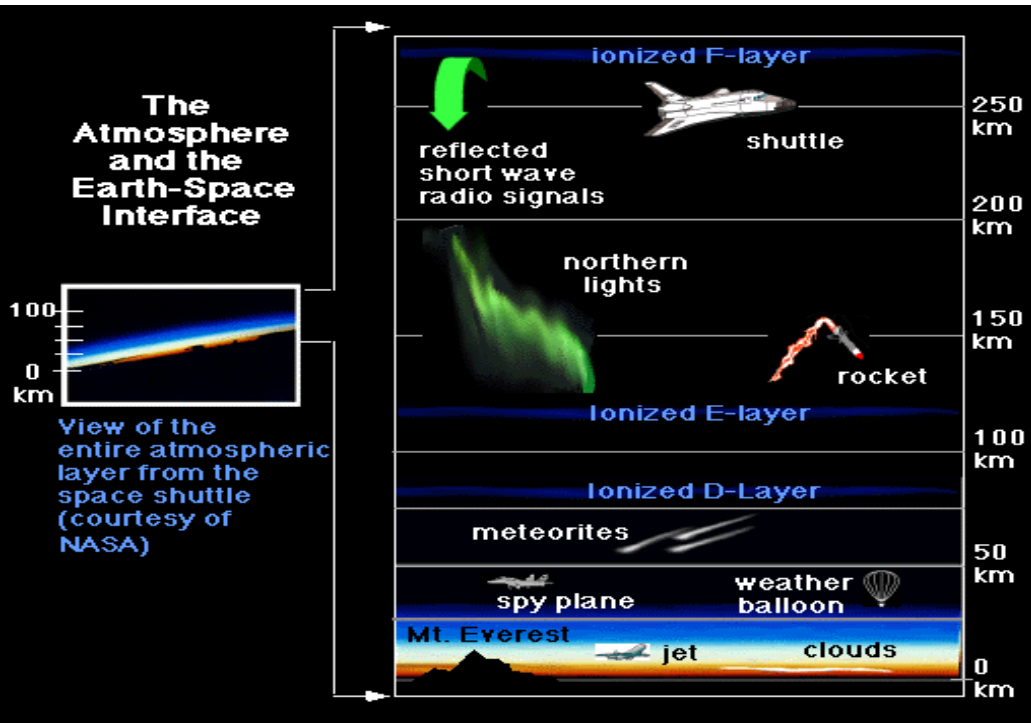


Figure 1.20 Mixing ratios of radiatively active trace species as functions of altitude. *Source:* Goody and Yung (1989).

Podział atmosfery

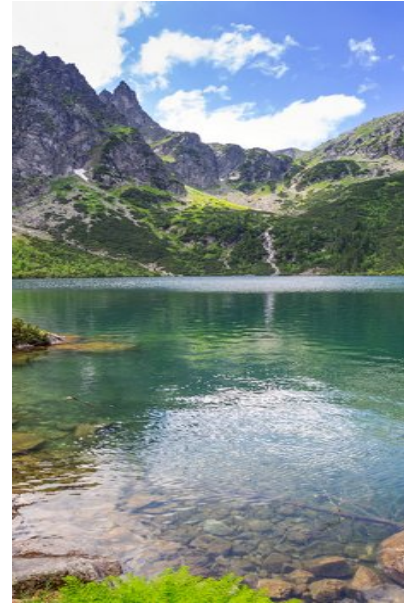
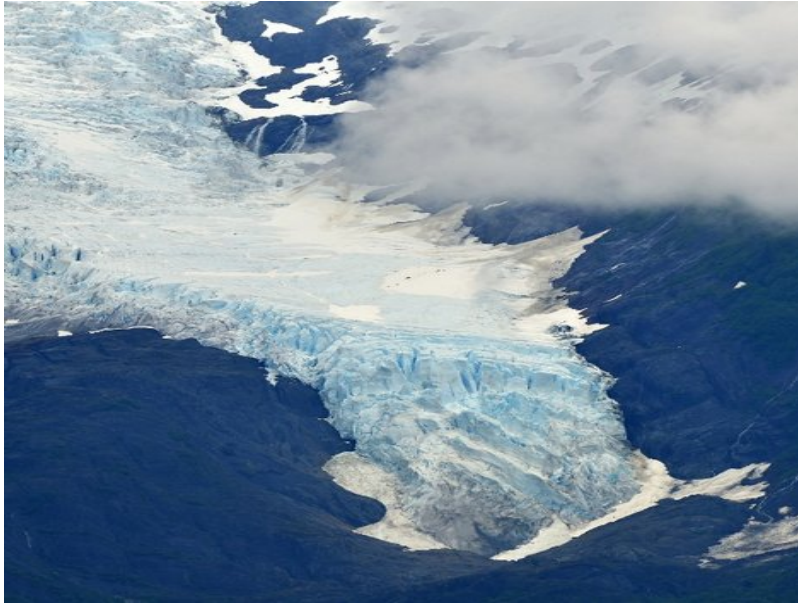


Hydrosfera



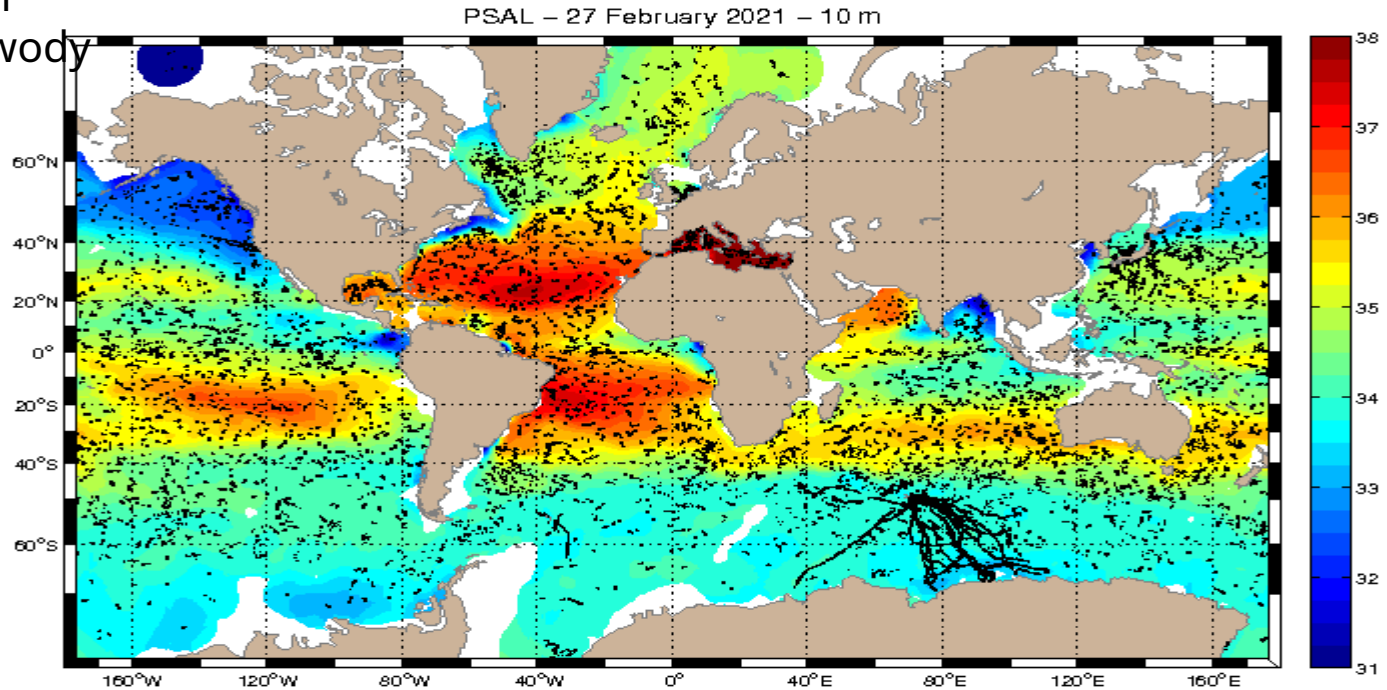
Woda słodka

0,6% zasobów wody, w tym tylko 0,1% to wody powierzchniowe.

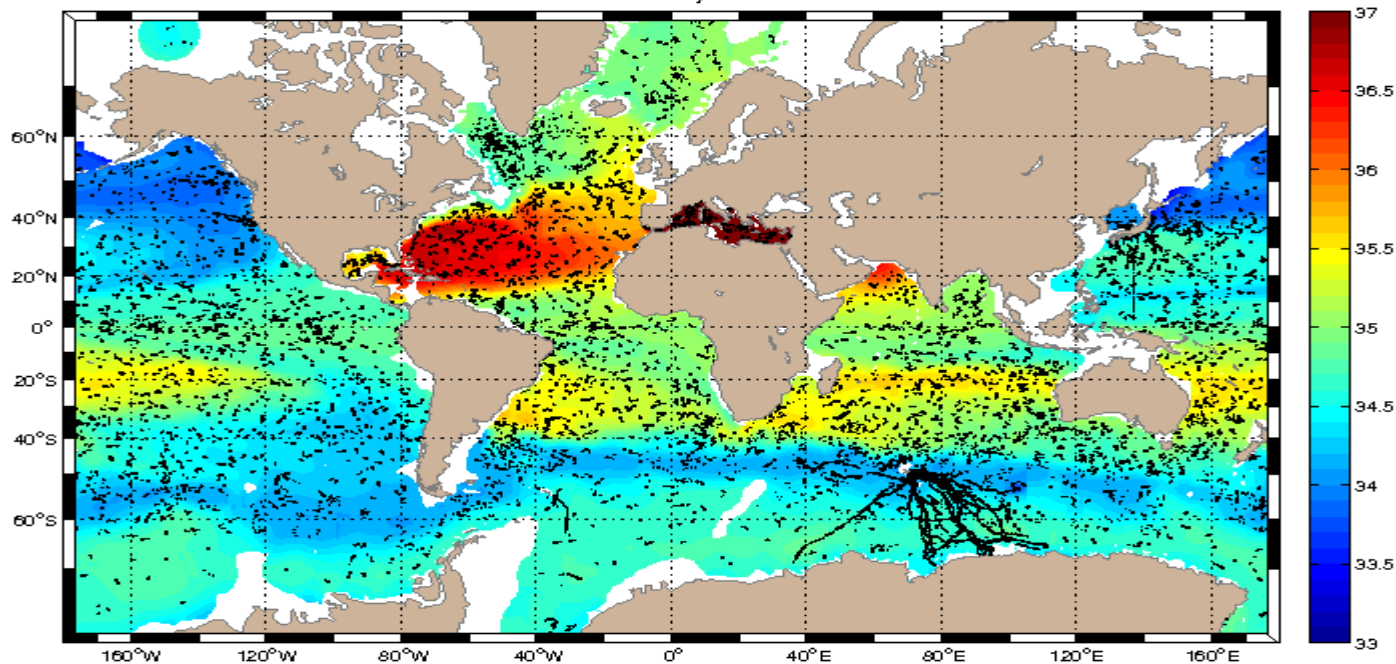


Practical salinity unit
(PSAL, PSU) określane
na podstawie
przewodności
elektrycznej wody

Oceany



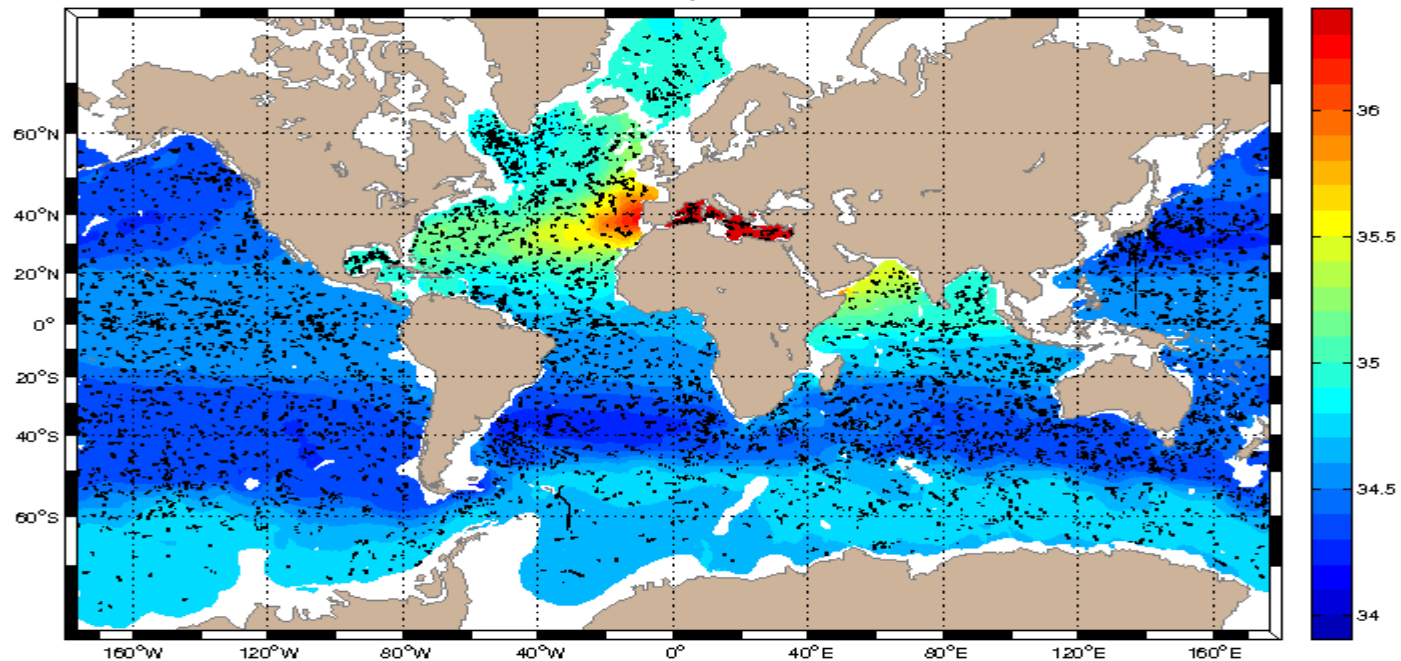
PSAL – 27 February 2021 – 300 m



Coriolis

Min: 21.62 Max: 40.75 Count: 17183 Error Max: 95 % Date update: 27/02/2021 ISAS 6.2 Global Ocean near real time in-situ observations obje

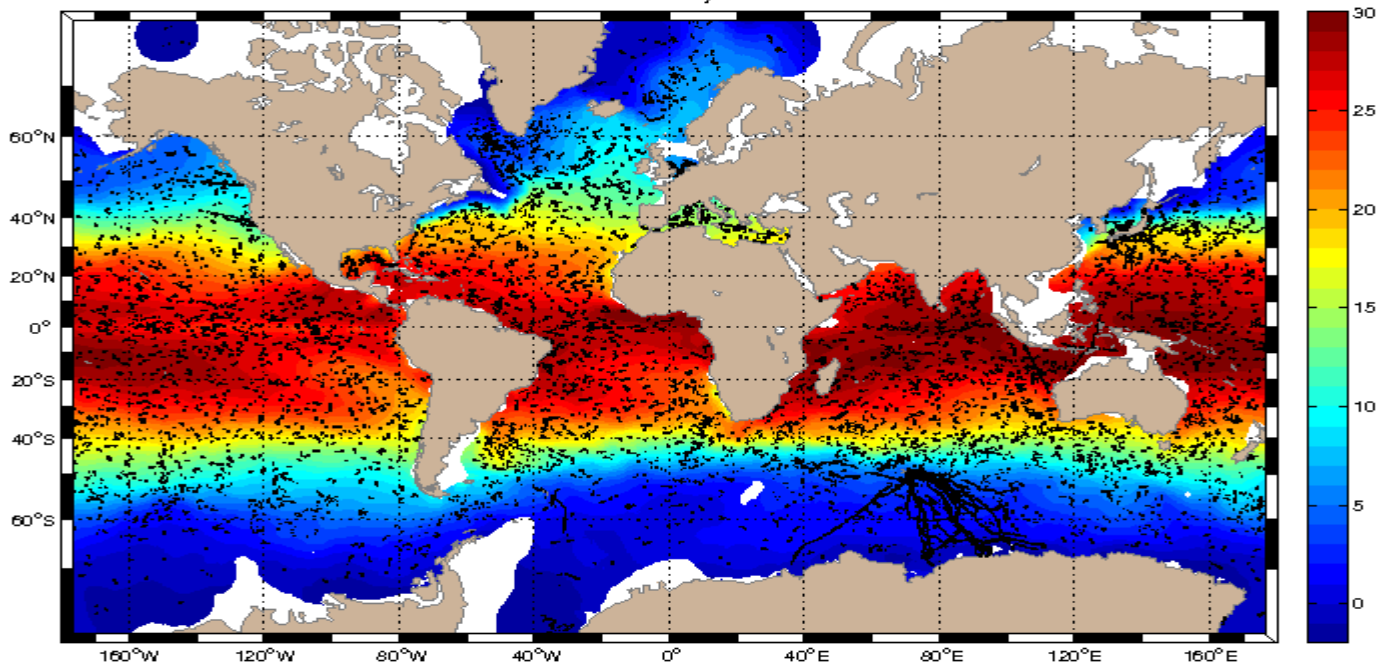
PSAL – 27 February 2021 – 1000 m



Coriolis

Min: 22.24 Max: 40.80 Count: 13199 Error max: 95 % Date update: 27/02/2021 ISAS 6.2 Global Ocean near real time in-situ observations obje

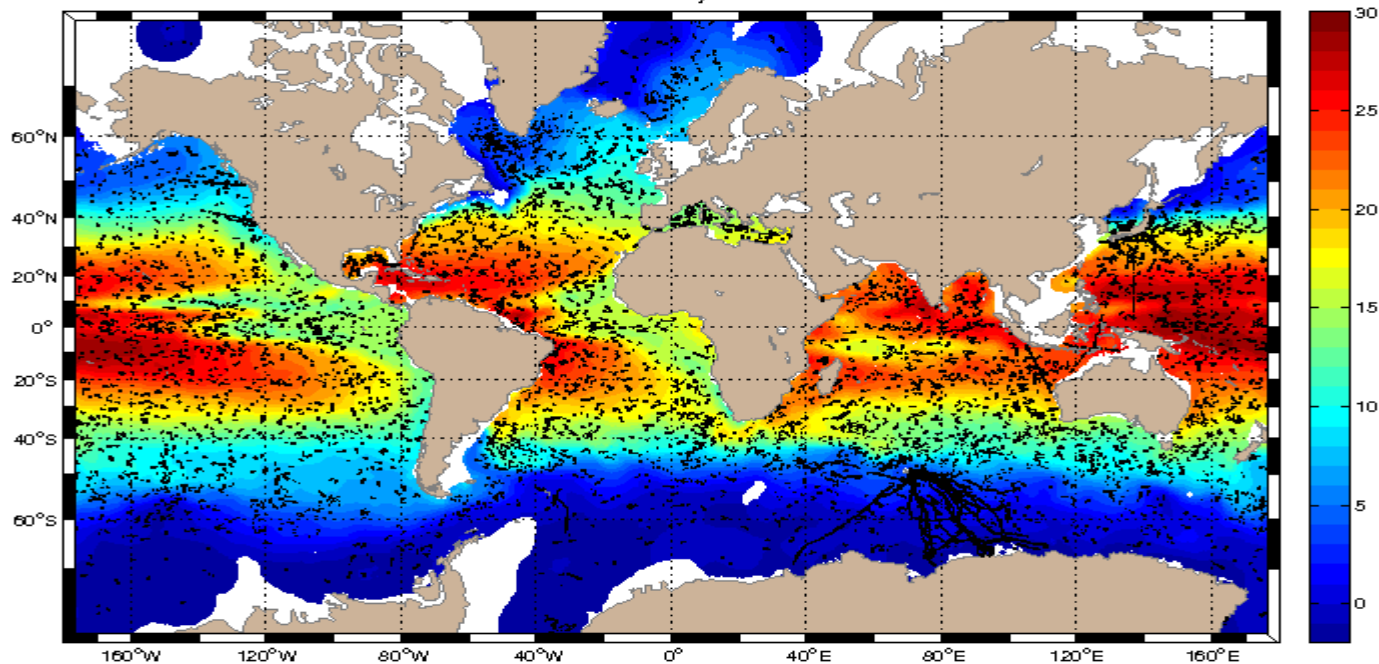
TEMP - 27 February 2021 - 10 m



Coriolis

Min: -2.50 Max: 30.86 Count: 20732 Error Max: 95 % Date update: 27.02.2021 ISAS 6.2 Global Ocean near real time in-situ observations obje

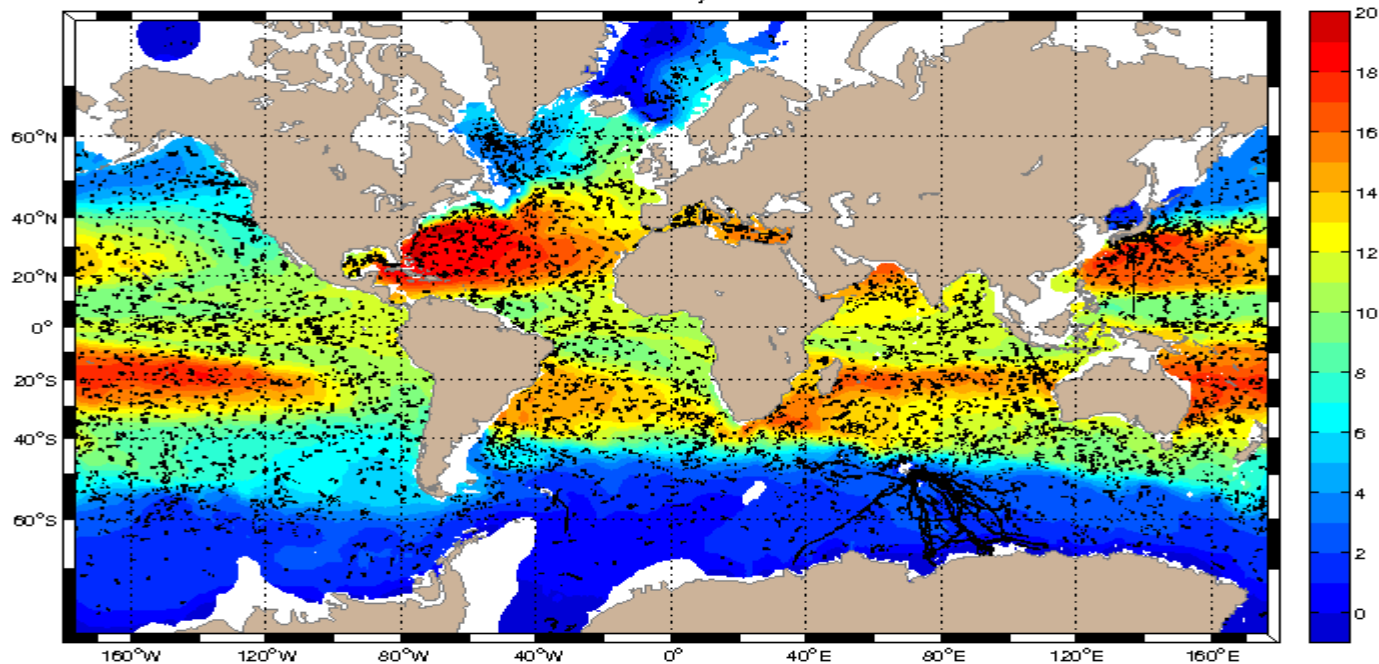
TEMP – 27 February 2021 – 100 m



Coriolis

Min: -2.41 Max: 29.14 Count: 20526 Error Max: 95 % Date update: 27.02.2021 ISAS 6.2 Global Ocean near real time in-situ observations obje

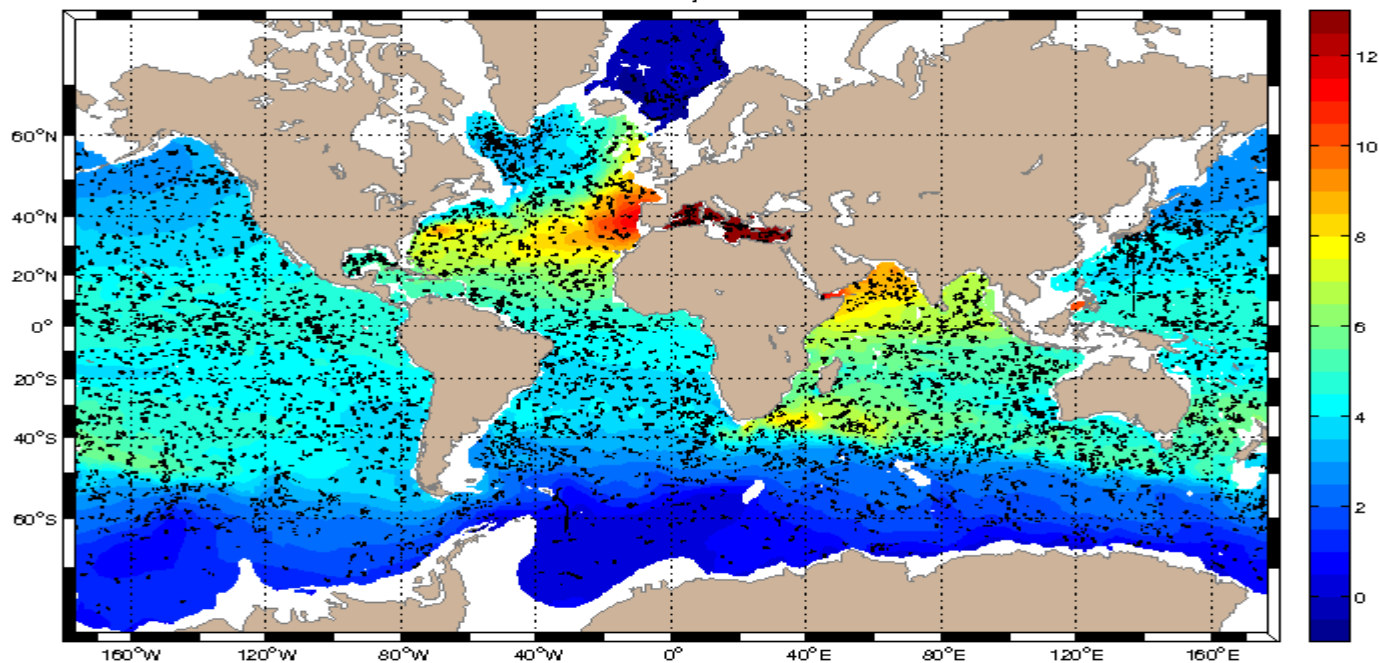
TEMP – 27 February 2021 – 300 m



Coriolis

Min: -2.52 Max: 21.77 Count: 19689 Error max: 95 % Date update: 27.02/2021 ISAS 6.2 Global Ocean near real time in-situ observations obje

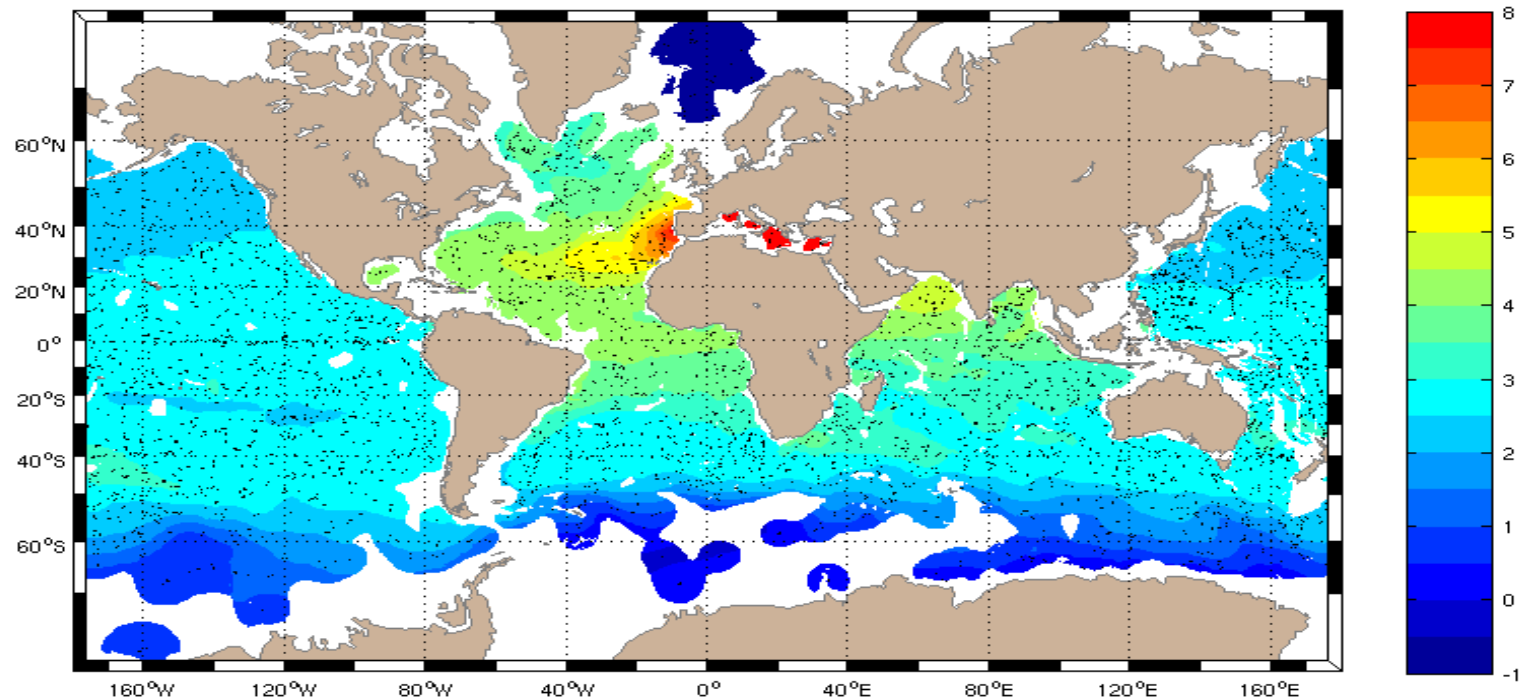
TEMP - 27 February 2021 - 1000 m



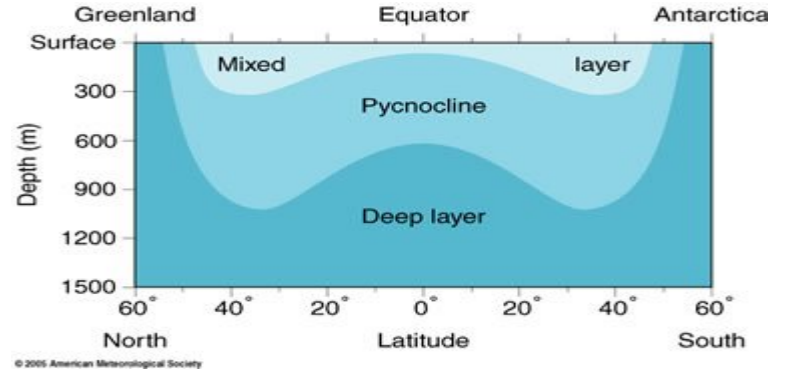
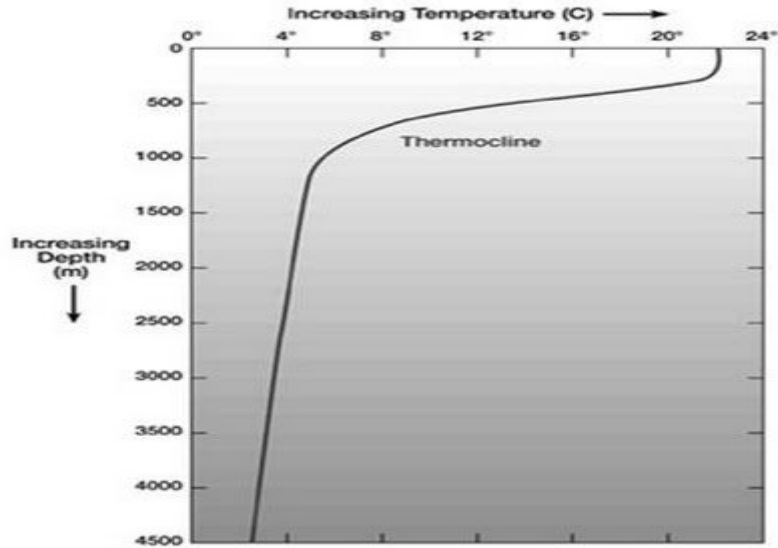
Coriolis

Min: -1.95 Max: 21.70 Count: 15247 Error max: 95 % Date update: 27.02.2021 ISAS 6.2 Global Ocean near real time in-situ observations obje

TEMP - 28 February 2014 - 1600 m



Struktura pionowa oceanów



- warstwa mieszania
- warstwa przejściowa – termoklina
- głębia oceaniczna

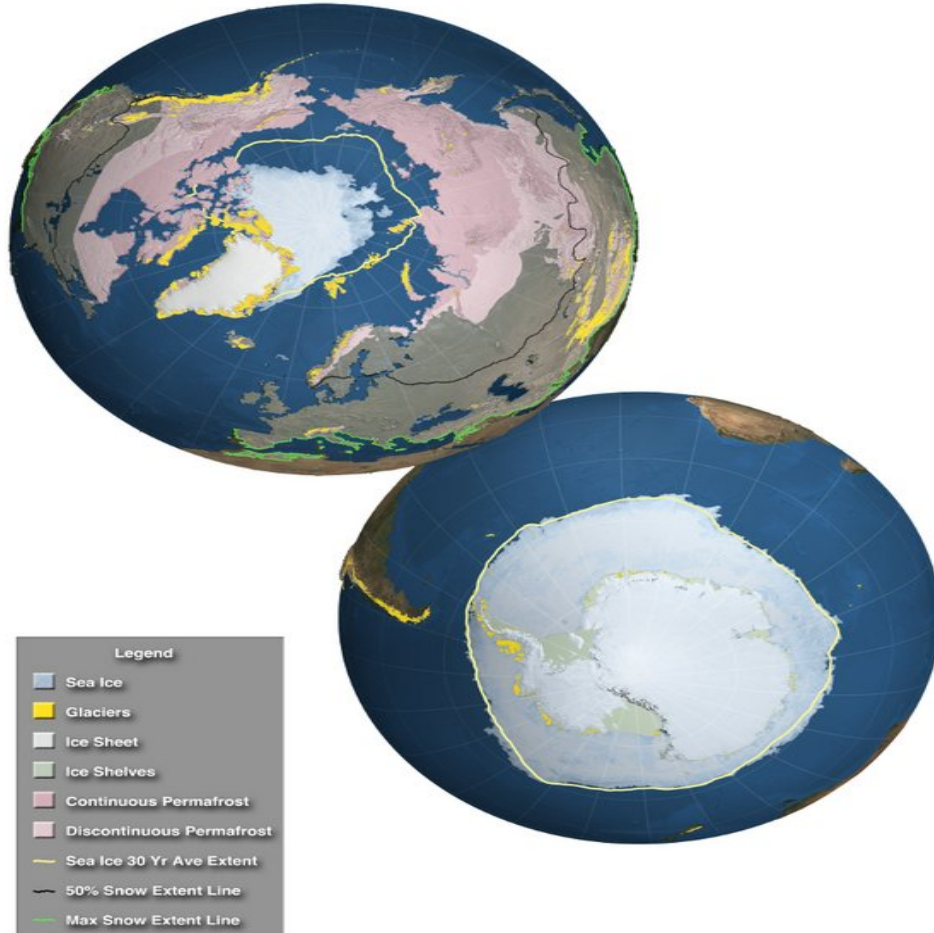
Interakcje pomiędzy atmosferą a oceanem

Wymiana:

- pary wodnej
- dwutlenku węgla
- soli morskiej
(produkcja aerozolu
morskiego)
- energii
- pędu



Kriosfera

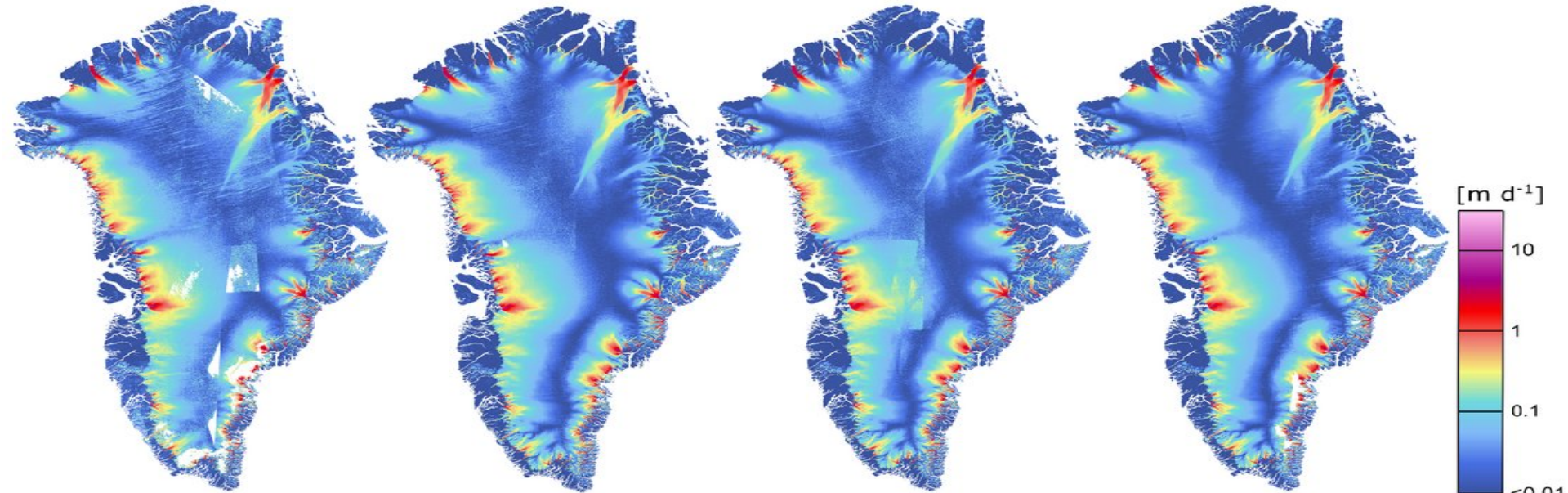
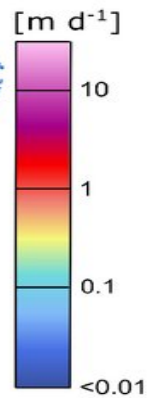


2014/15

2015/16

2016/17

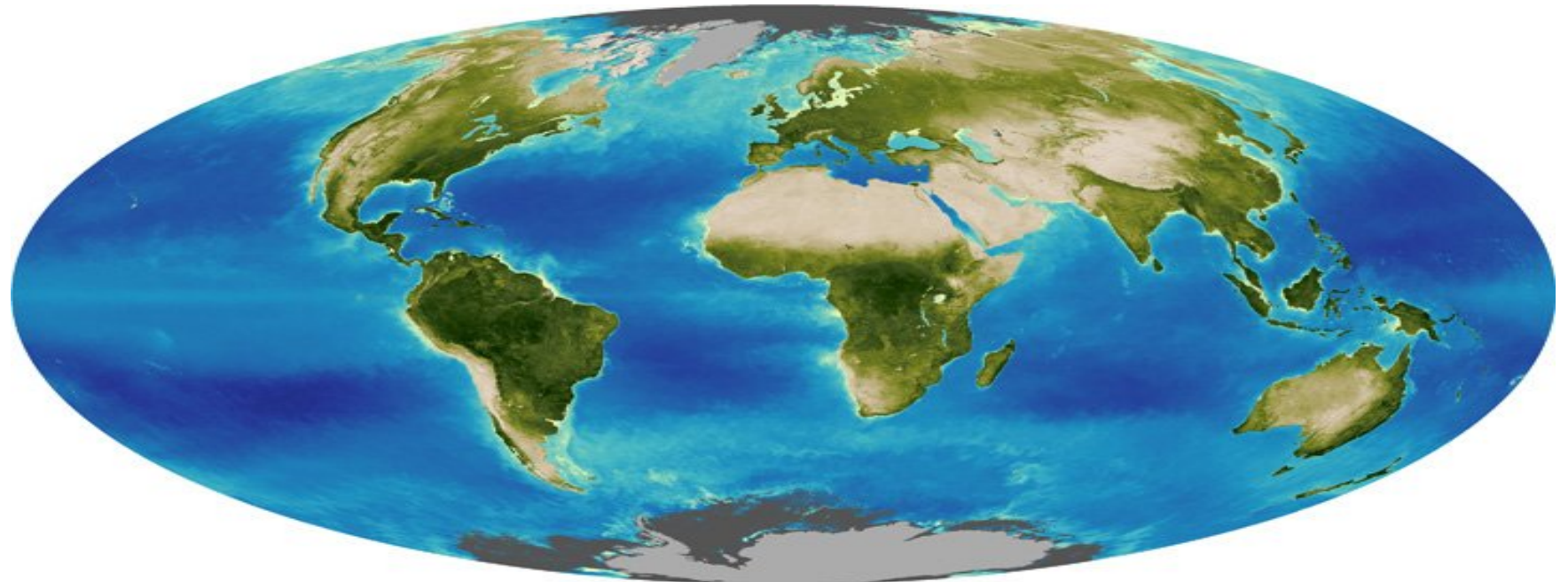
2017/18



Rola kriosfery w systemie klimatycznym

- wpływa na bilans energii (wysokie albedo śniegu i lodu)
- wpływa na poziom światowego oceanu
- wpływa na cyrkulację oceaniczną w wysokich szerokościach geograficznych i nie tylko
- bierze udział w szeregu sprzężeń zwrotnych w systemie klimatycznym

Biosfera



Chlorophyll Concentration (mg/m³)

0.01 0.1 1 10 50

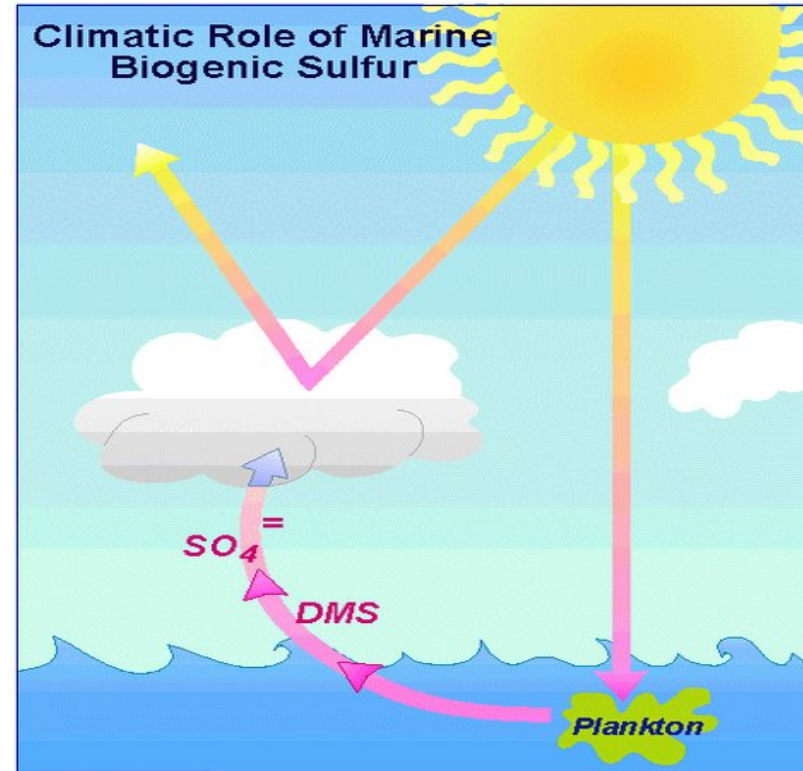
Vegetation Index

0.2 0.4 0.6 0.8

Rola biosfery w systemie klimatycznym

- Obieg węgla, produktywności biosfery
- Wpływ na bilans energii, wymianę pary wodnej (transpiracja)
- Emisja DMS i innych prekursorów aerozoli

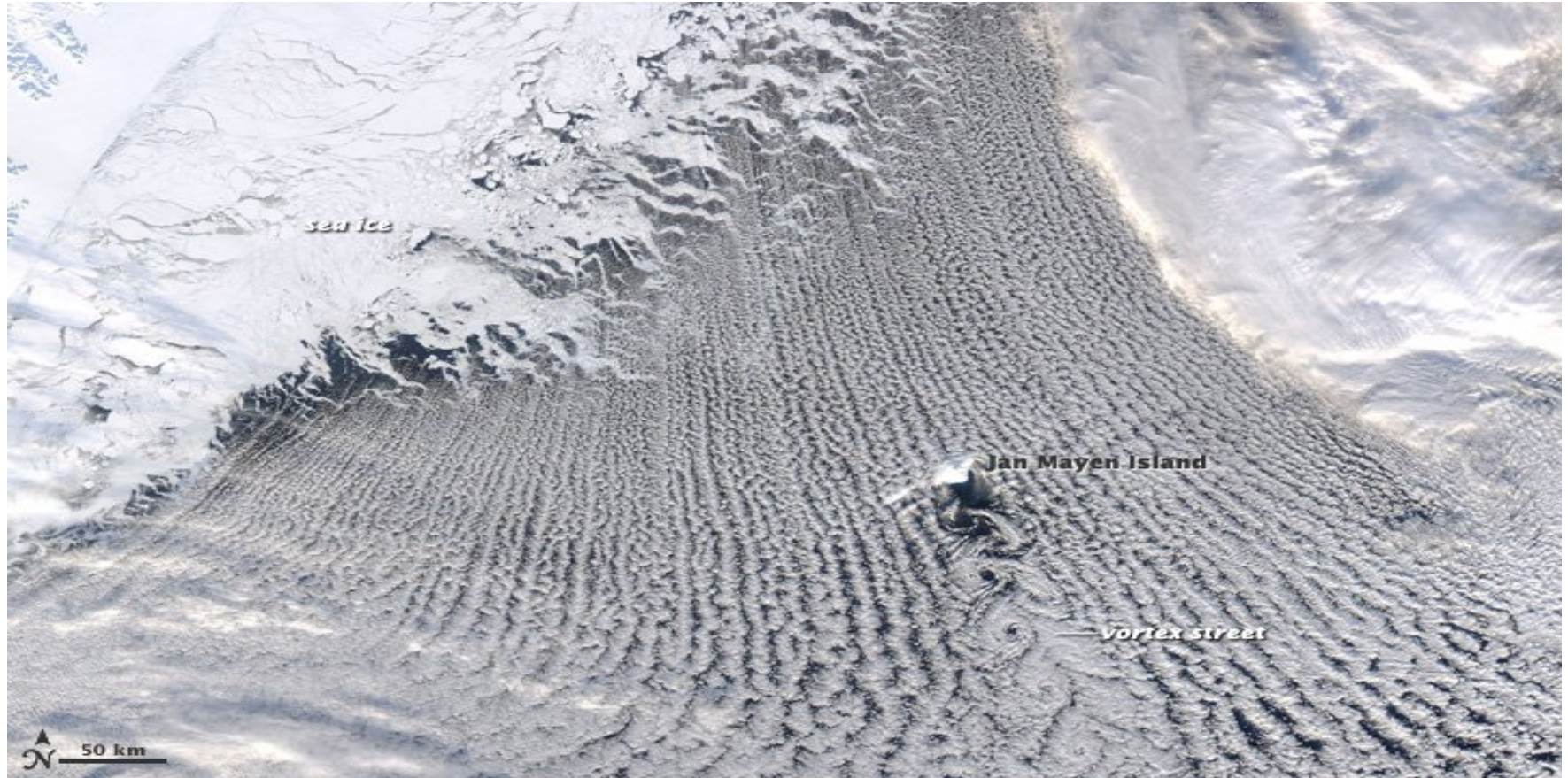
Charlson et al. (*Nature*, 326:655-661, 1987)



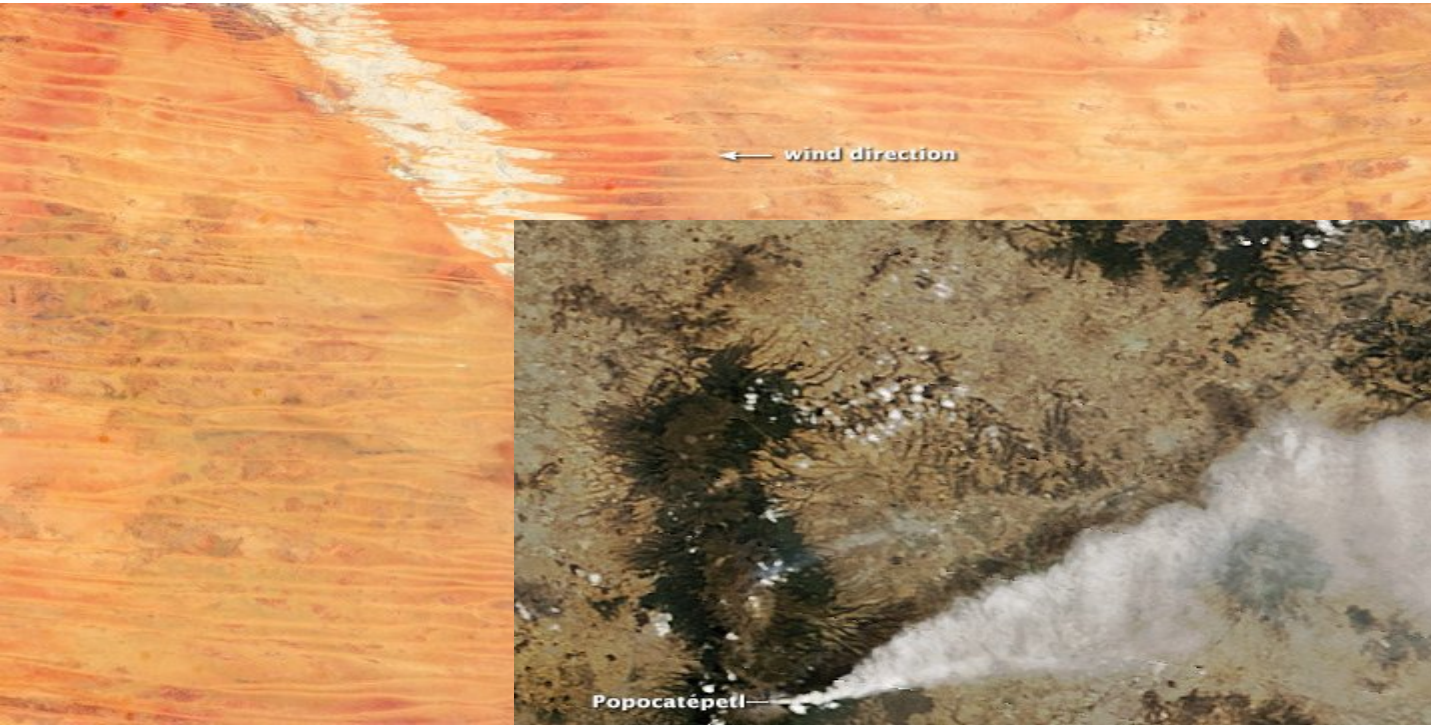
Litosfera

- zewnętrzna sztywna powłoka Ziemi obejmująca skorupę ziemską i warstwę perydotytową zaliczaną do górnej części płaszczka ziemskiego.
- miąższość litosfery wynosi od ok. 10-100 km a jej temperatura dochodzi do 700°C.
- wyróżnia się dwa zasadnicze rodzaje litosfery: kontynentalną i oceaniczną.

Rola litosfery w systemie klimatycznym

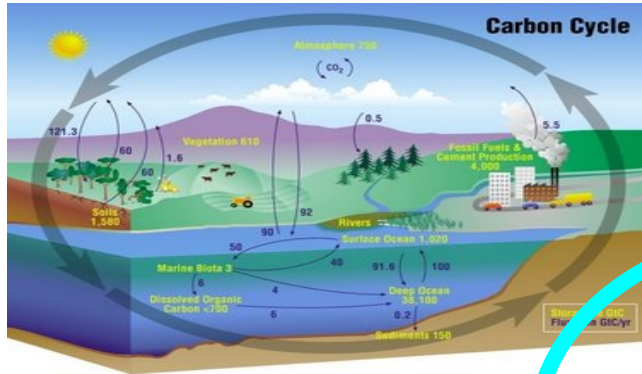


Rola litosfery w systemie klimatycznym

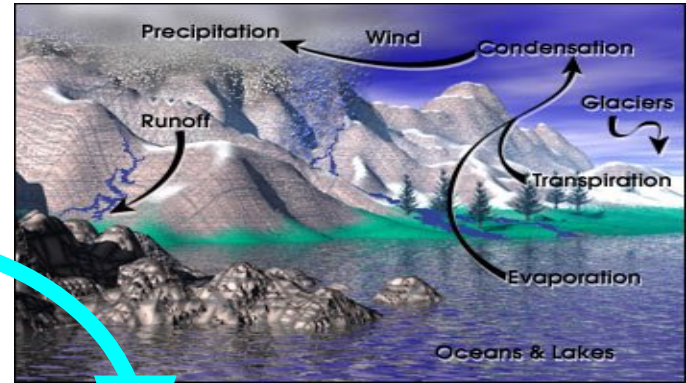


Procesy w systemie klimatycznym

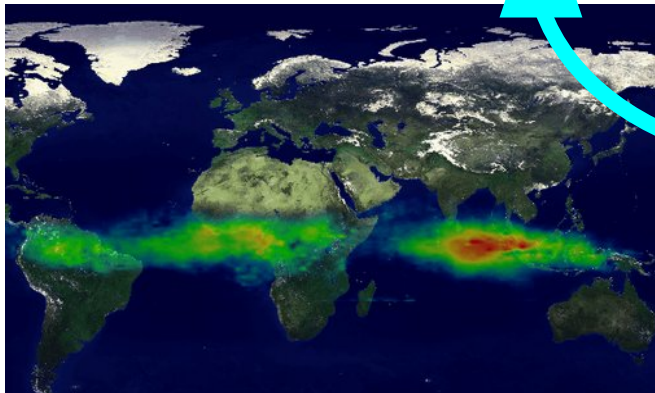
Obieg węgla



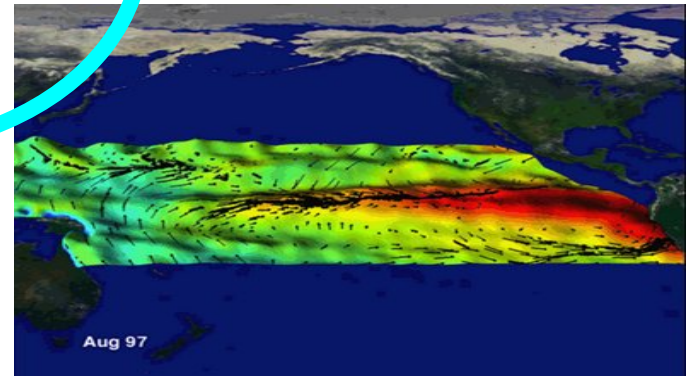
Obieg wody i energii

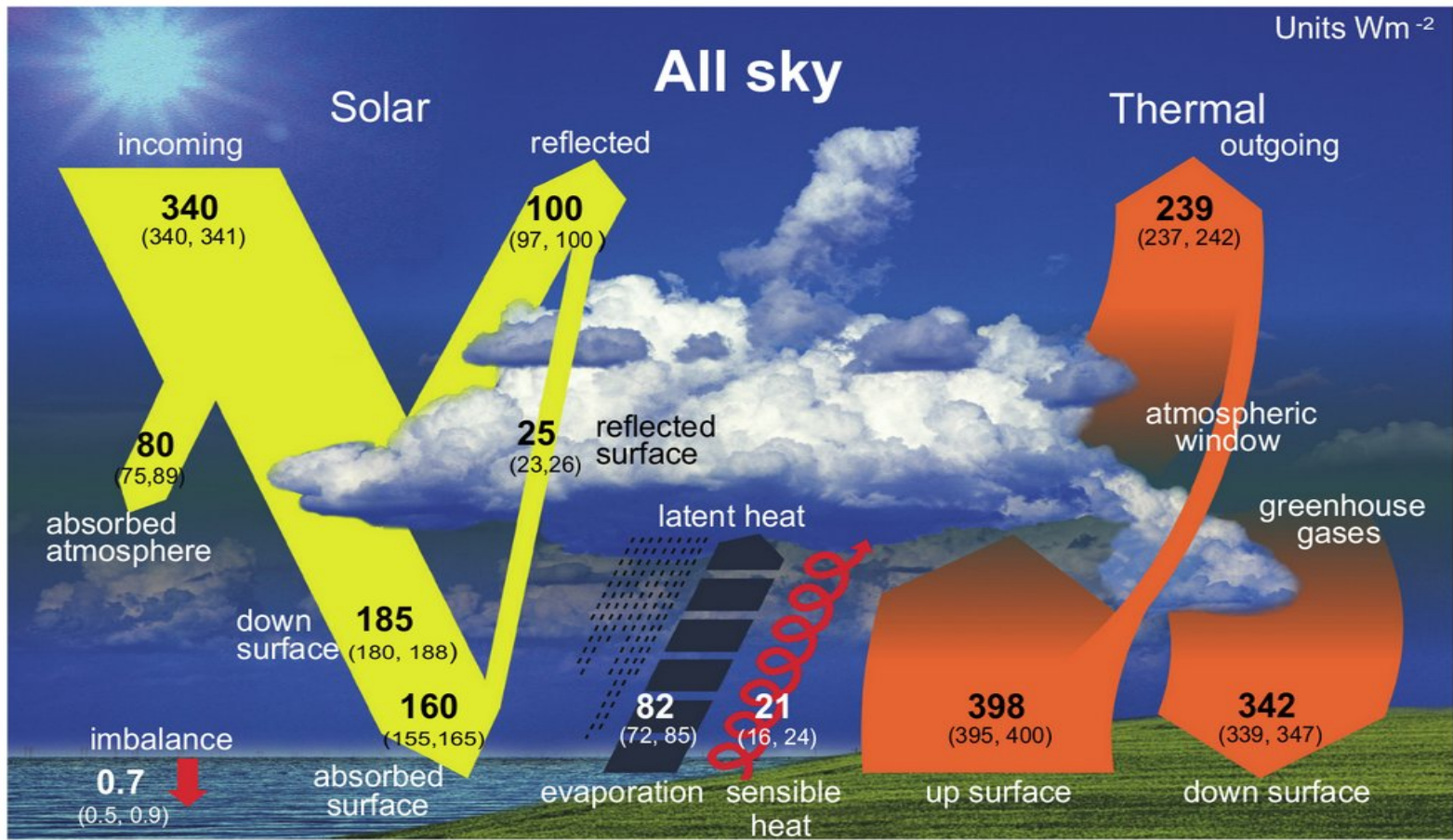


Reakcje chemiczne w atmosferze



Dynamika atmosfery i oceanu



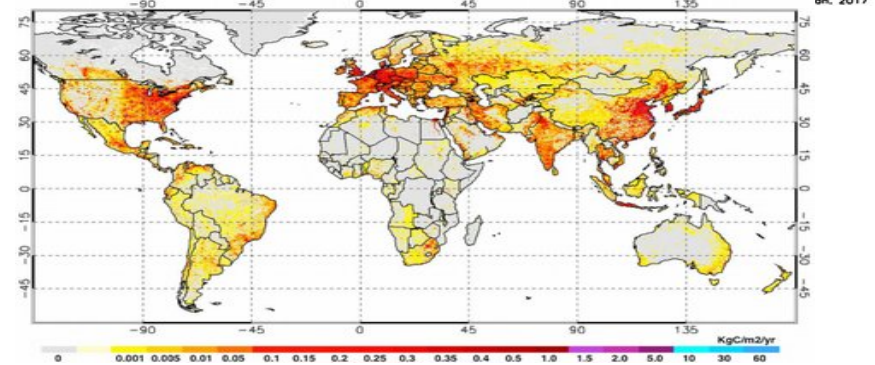
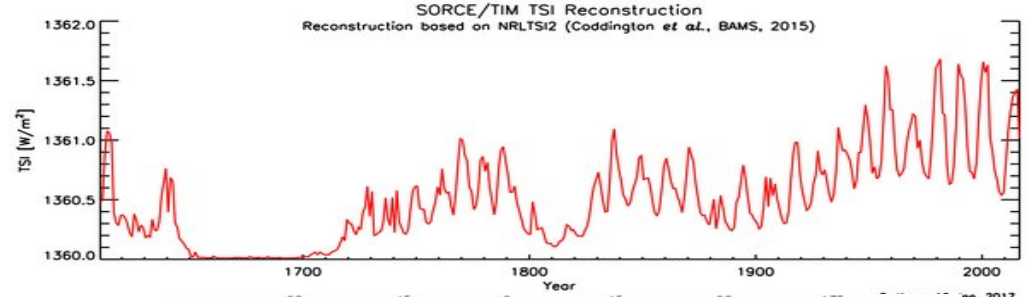
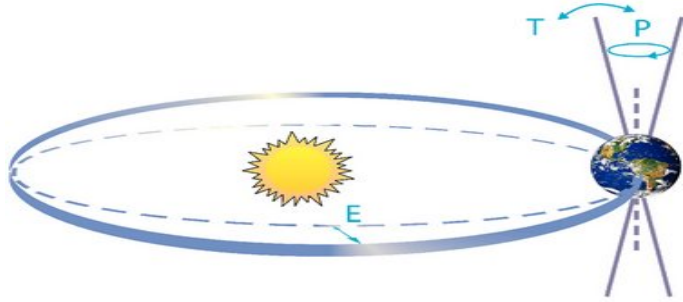


<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Uśredniony bilans energii systemu klimatycznego. Wartości w W/m^2 .

Wymuszenia i sprzężenia w systemie klimatycznym.

Wymuszenia inicjują zmiany klimatu.



Wymuszenia i sprzężenia w systemie klimatycznym.

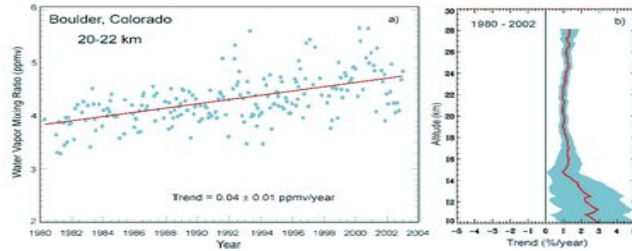
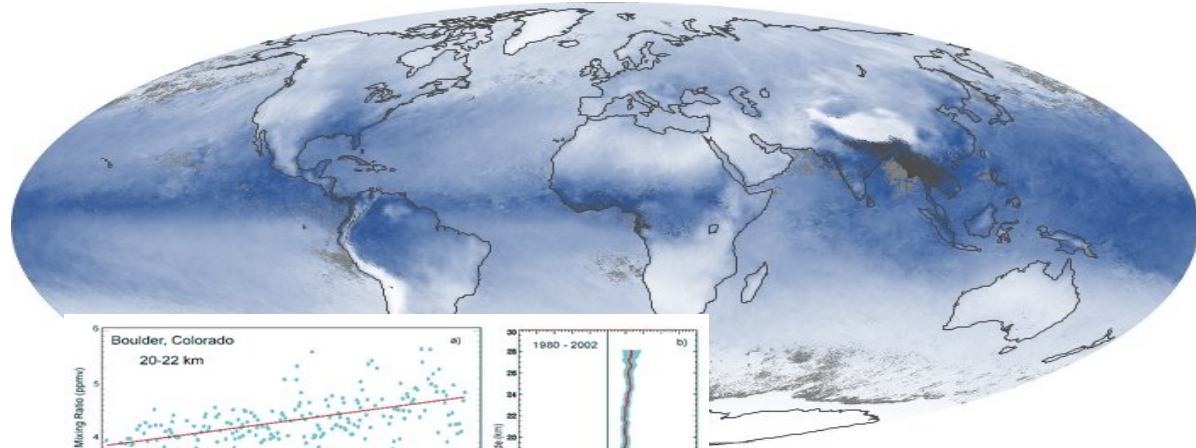
Sprzężenia to procesy zachodzące wewnątrz systemu klimatycznego, które skutkują dalszymi zmianami klimatu.



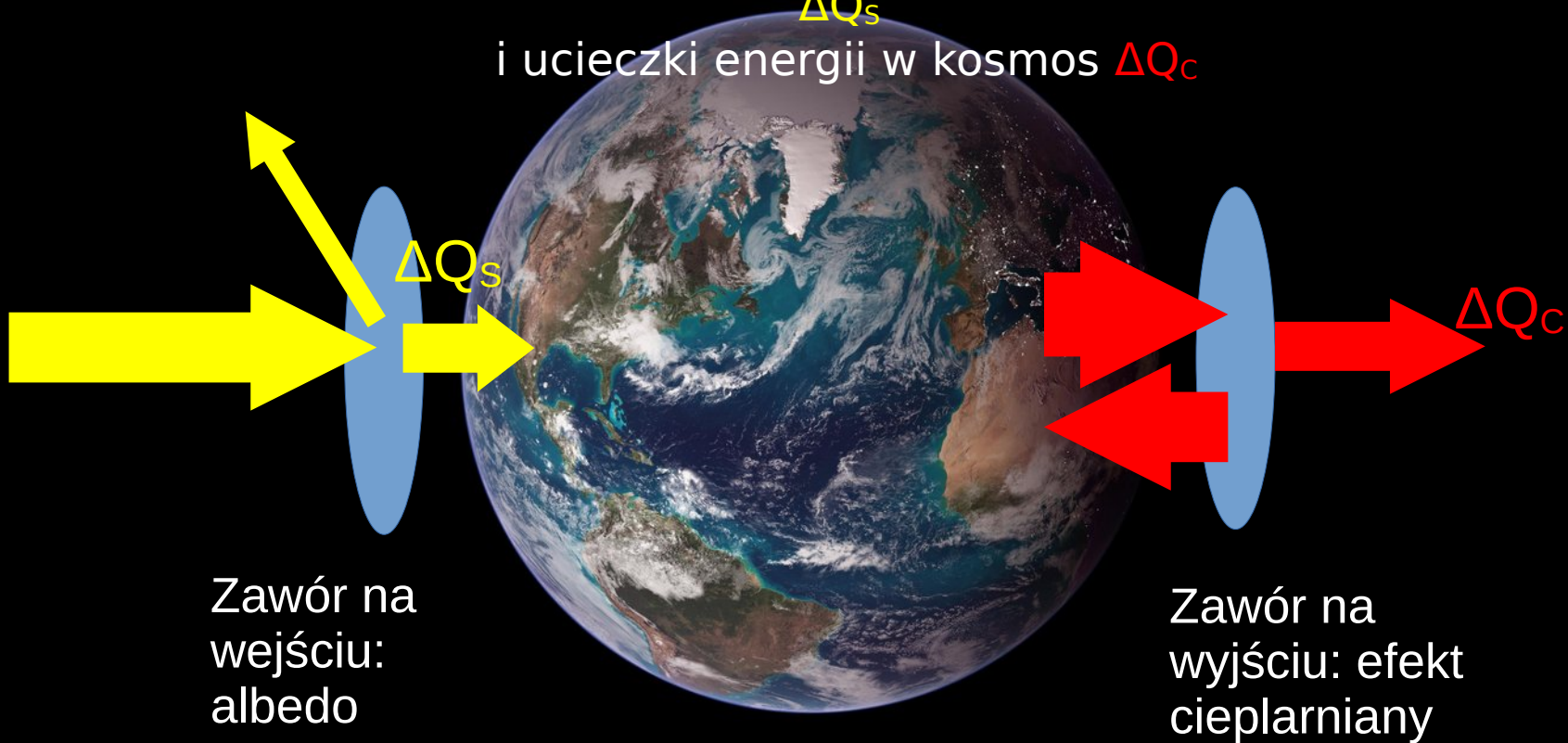
1979 SSM/I Composite Data



2003 SSM/I Composite Data



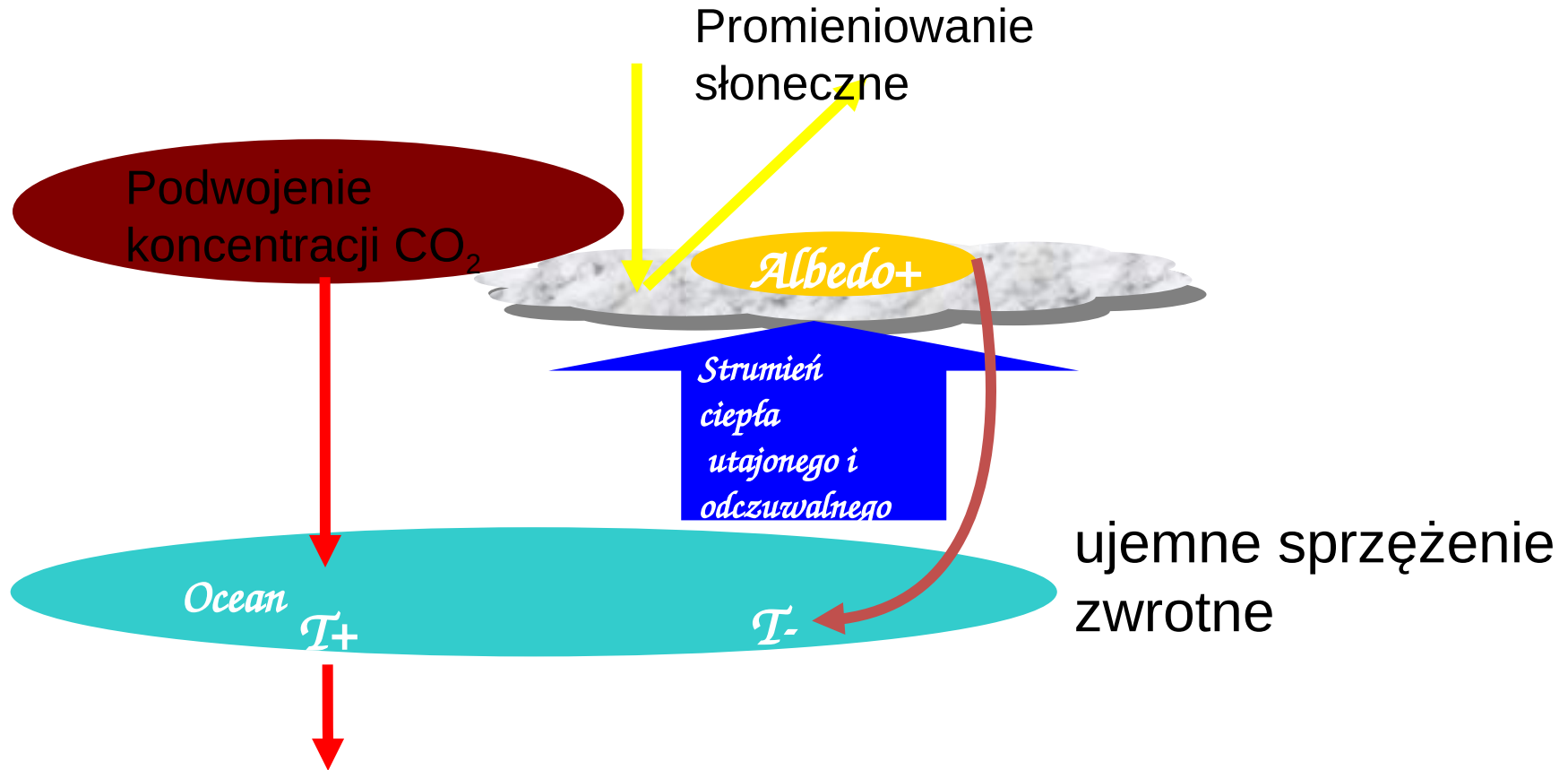
Temperatura na powierzchni Ziemi zależy od dostawy energii od Słońca ΔQ_s i ucieczki energii w kosmos ΔQ_c



Zawór na wejściu: albedo

Zawór na wyjściu: efekt cieplarniany

Przykład sprzężenia zwrotnego w systemie klimatycznym Ziemi-Atmosfera



Badania klimatu

monitoring
zmienności

wymuszanie

odpowieź

konsekwencje

predykcja