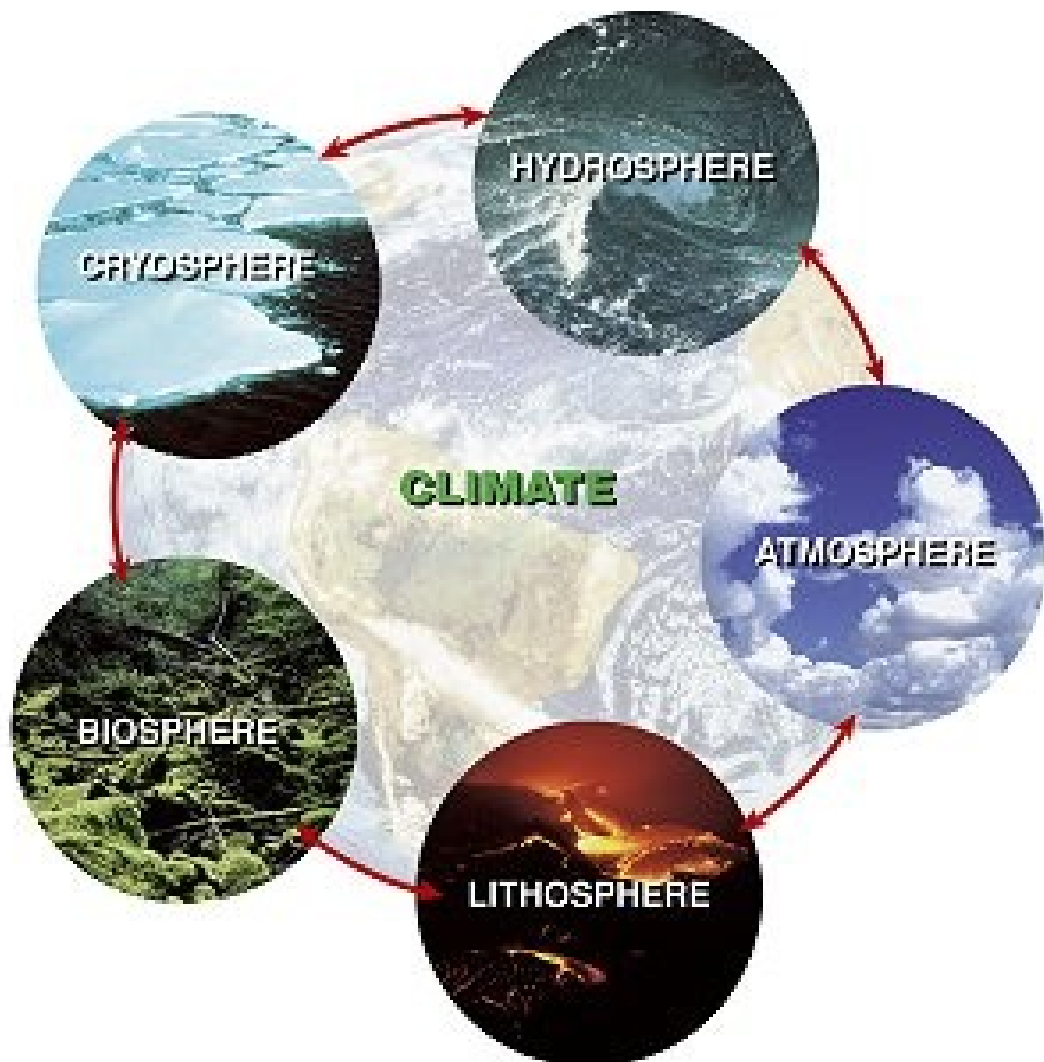


GLOBALNE CYKLE BIOGEOCHEMICZNE

KLIMAT

Elements of the Earth System



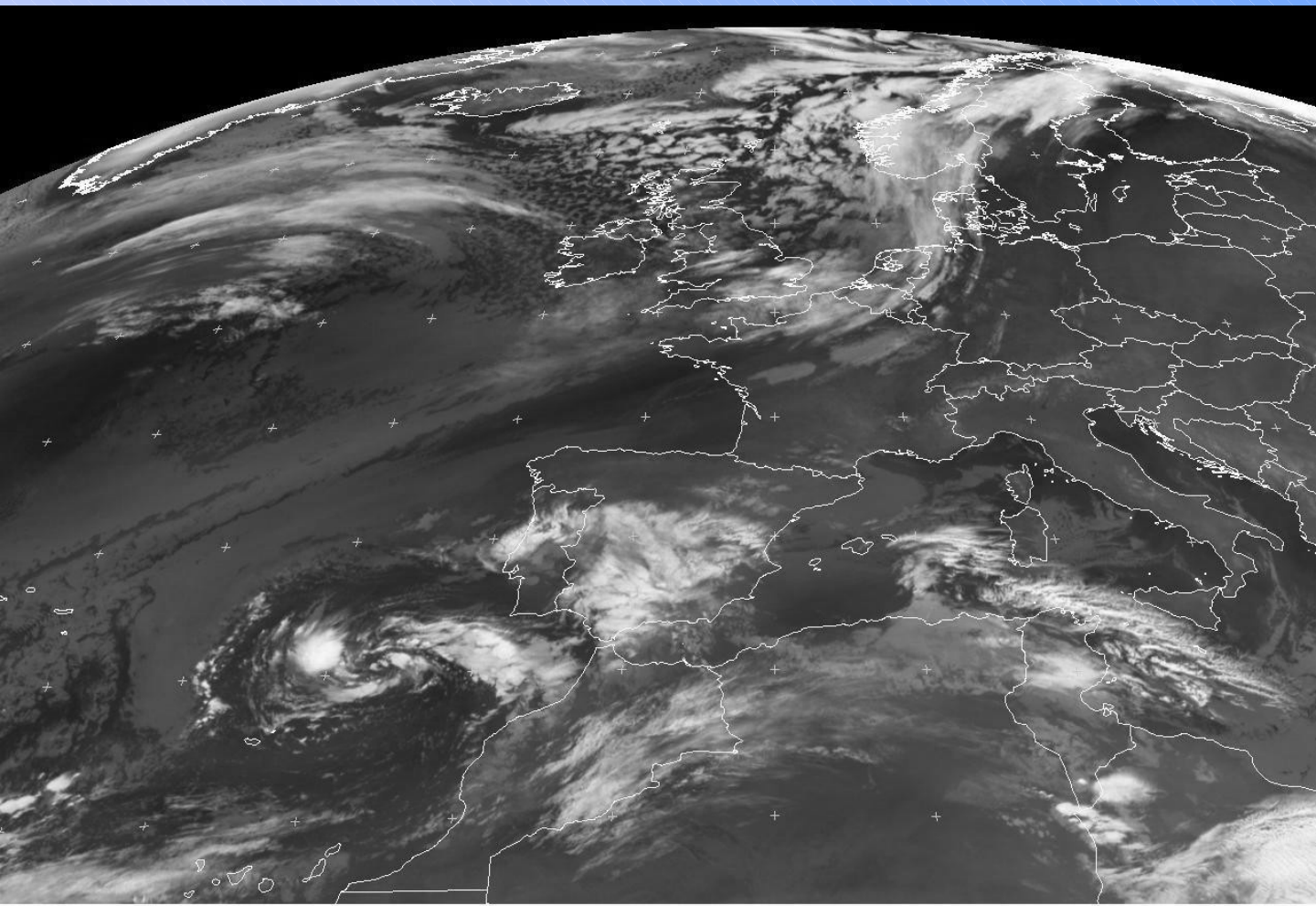
Pogoda

Pogoda to stan atmosfery scharakteryzowany, w związku z jego wpływem na ludzi i biosferę, poprzez temperaturę powietrza, rodzaj i wielkość opadów atmosferycznych, kierunek i prędkość wiatru, zachmurzenie itd.

Pogoda jest wynikiem szybko powstających i zanikających systemów pogodowych, niżów i wyżów oraz towarzyszących im frontów.

Pogoda zmienia się w skali czasowej dni.

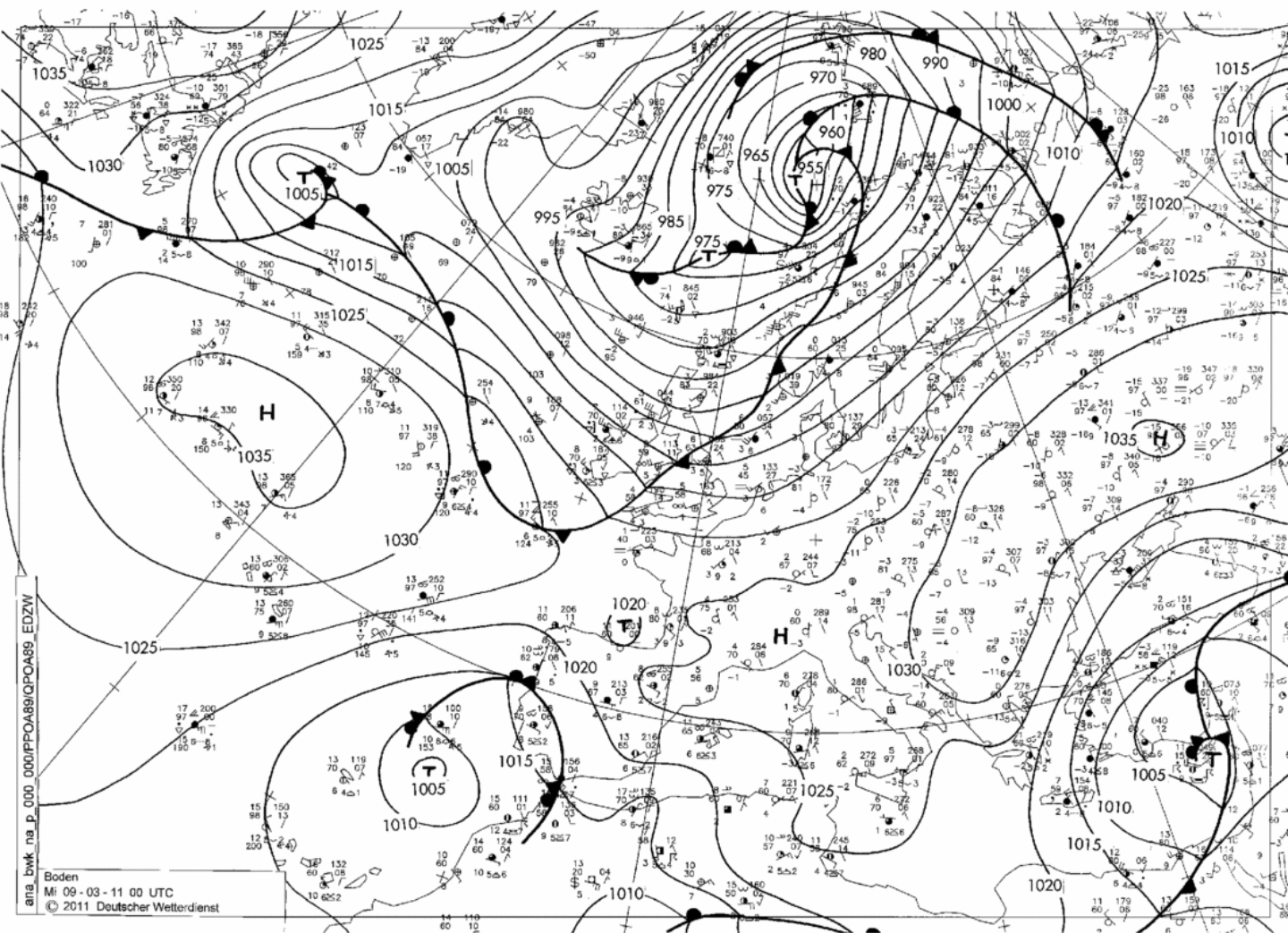
Pogoda



MET9 RGB-Airmass 2011-03-09 06:00 UTC

EUMETSAT

Pogoda

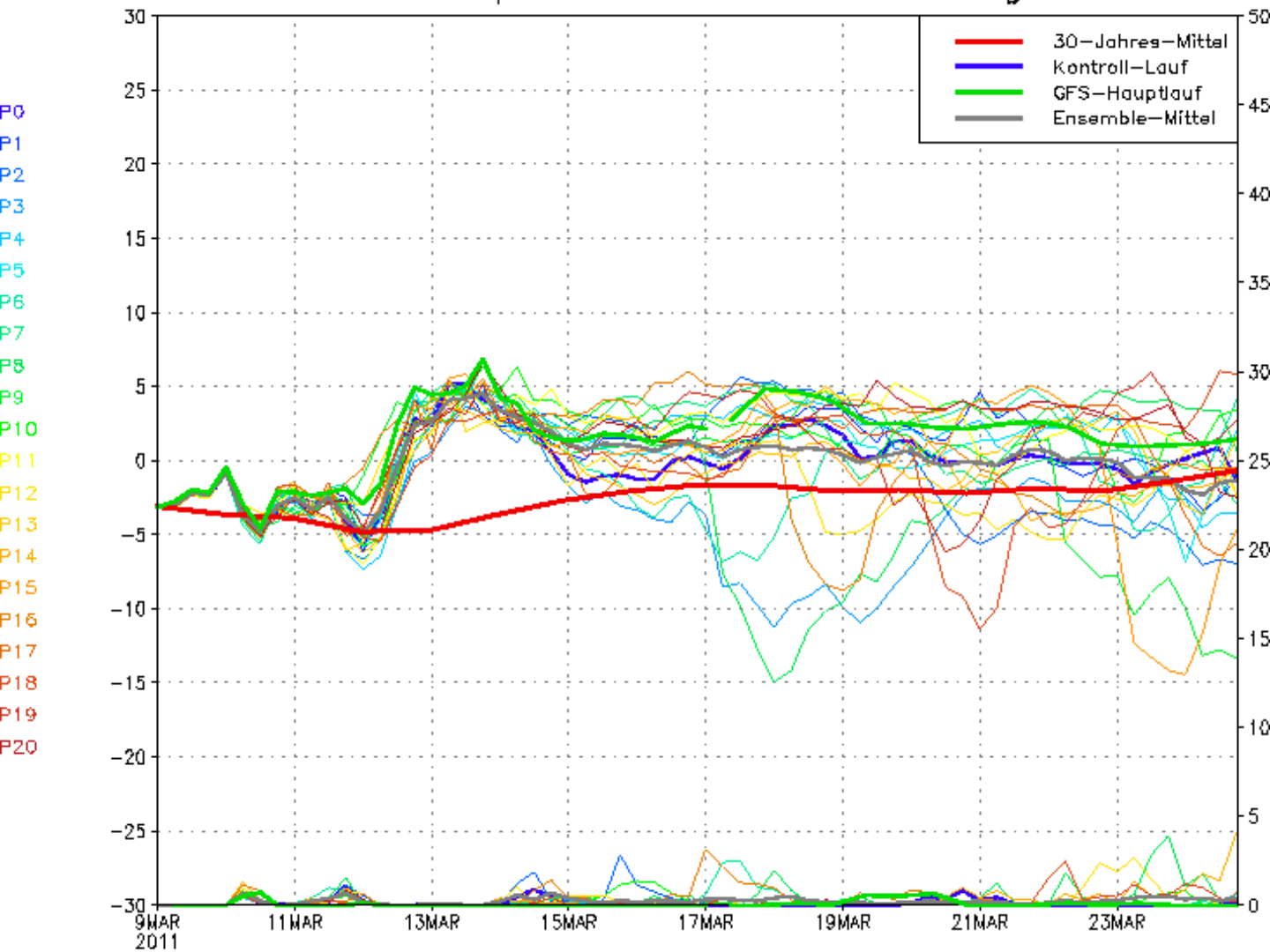


Pogoda

Position Lat: 50 Lon: 20

Wed, 09MAR2011 00Z

850 hPa Temp. in °C, 6h-Niederschlag in mm



Daten: Ensembles des GFS von NCEP

Wetterzentrale

Klimat

Definicje:

1. „przeciętna pogoda”
2. Statystyczny opis odpowiednich wielkości (temperatura powietrza, wielkość opadów, prędkość wiatru, wilgotność powietrza, nasłonecznienie) na pewnym obszarze, dla pewnego okresu.
3. Stan systemu klimatycznego

System klimatyczny

System klimatyczny to bardzo złożony system składający się z pięciu elementów:

atmosfery,

hydrosfery,

kriosfery,

powierzchni Ziemi

i biosfery

oraz oddziaływań pomiędzy nimi

Klimat – waga zjawisk ekstremalnych

Zjawiska ekstremalne silnie wpływają na człowieka i jego działalność.

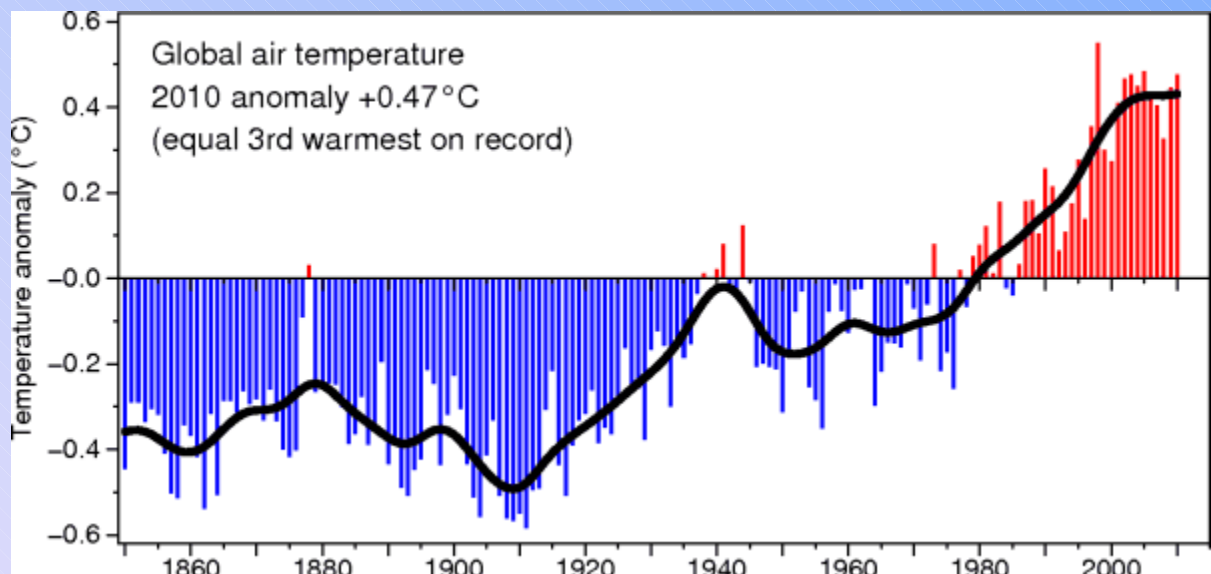
Ekstremalne wartości parametrów klimatycznych oraz związane z nimi prawdopodobieństwa są bardzo istotnymi charakterystykami klimatu.

Definicje zmiany klimatu (*climate change*)

FCCC: „zmiana związana bezpośrednio lub pośrednio z działalnością człowieka, która modyfikuje skład globalnej atmosfery, i która nakłada się na naturalną zmienność klimatu w porównywalnym okresie”

IPCC: „każda zmiana klimatu w czasie niezależnie od tego czy wynika z naturalnej zmienności, czy też jest wywołana przez człowieka”

Zmiany temperatury powietrza



<http://www.cru.uea.ac.uk/>

Globalne zmiany temperatury powietrza

Dane instrumentalne

- Najcieplejsza dekada – 1990
- Najcieplejsze lata – 1998
2005
2003, 2010
2002
2004, 2009
2006
2001
2007
1997
2008

2001-2010 (0.44°C powyżej 1961-90)

1991-2000 (0.24°C powyżej 1961-90)

- W ciągu XX wieku zmiana o

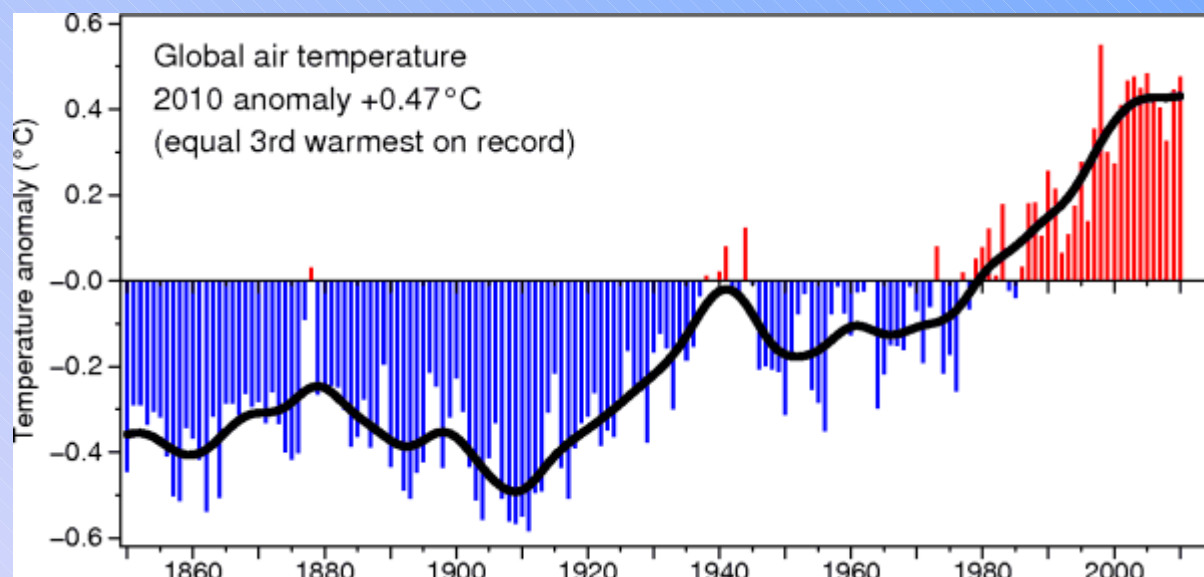
0,6±0,2°C

Zmiany temperatury powietrza

Temperatury odtworzone
(słoje drzewne, koralowce,
rdzenie lodowe,
zapisy historyczne)

- Najcieplejsza dekada tysiąclecia – 1990
- Najcieplejszy rok tysiąclecia – 1998
- Najchłodniejszy rok tysiąclecia - 1601

Globalne skutki obserwowanego ocieplenia



Wzrost o $0,6^{\circ}\text{C}$ w okresie 1901-2000
 $0,74^{\circ}\text{C}$ w okresie 1906-2005

- wzrost poziomu mórz o $1,8\text{ mm/rok}$;
- cofanie się lodowców;
- zmiany wielkości i reżimu przepływów w rzekach;

Globalne skutki obserwowanego ocieplenia c. d.

- 80% ze 143 badań wykazało zmiany w zachowaniu organizmów zgodne z oczekiwaną odpowiedzią na ocieplenie, np. wiosna wcześniejsza o 5 dni, zanikanie flory alpejskiej;
- większa częstotliwość ekstremalnych zdarzeń opadowych wywołujących susze i powodzie;
- rosnące zniszczenia związane z ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi.

Regionalne skutki obserwowanego ocieplenia

Arktyka (wzrost temperatury nawet o $1,8^{\circ}\text{C}$)

- zniszczenia infrastruktury związane z wytopianiem wiecznej zmarzliny;
- rosnące tempo zanikania lodu morskiego.

Antarktyka

- rozpadanie się szelfów lodowych;
- zmiany w populacjach pingwinów.

Regionalne skutki obserwowanego ocieplenia

Afryka

- regionalnie gwałtowny spadek ilości opadów powodujący suszę;
- braki żywności i utrata pastwisk w Sahelu;

Ameryka

- Wyginięcie ropuchy *Bufo periglenes*;

Europa

- przesuwanie się zasięgu planktonu w Morzu Północnym;
- zmiany w występowaniu ptaków morskich i ryb;
- fala upałów w 2003 roku;

Przewidywane globalne skutki ocieplenia o 1°C

- rosnące zakwaszenie oceanów;
- utrata 80% raf koralowych;
- przekształcenie 10% ekosystemów, które stracą 2 – 47% swojego zasięgu;
- częstsze występowanie fal upałów i związany z nimi wzrost śmiertelności;
- dalszy wzrost częstości ekstremalnych opadów i związanych z nimi susz, powodzi i osuwisk;
- wzrost liczby zachorowań na malarię i żółtą febrę;

Przewidywane globalne skutki ocieplenia o 1°C

- wzrost cen ubezpieczeń i zmniejszenie ich dostępności;
- 18-60 milionów ludzi dodatkowo zagrożonych głodem;
- 300-1600 milionów dodatkowo zagrożonych brakami wody.

Przewidywane globalne skutki ocieplenia

O 2°C

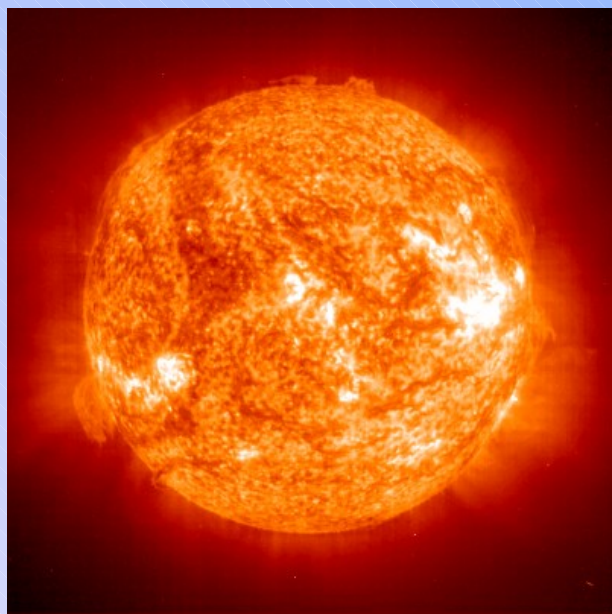
- próg, powyżej którego wydajność rolnictwa w świecie rozwiniętym zacznie spadać;
- 1,0-2,8 miliardów ludzi odczuje braki wody;
- utrata 97% raf koralowych;
- przekształcenie 16% ekosystemów które stracą 5 – 66% swojego zasięgu;

Przewidywane globalne skutki ocieplenia

O 4°C

- utrata możliwości wytwarzania żywności przez całe regiony;
- -30 do +600 milionów ludzi dodatkowo zagrożonych głodem;
- 25% wzrost zasięgu malarii;
- wzrost produkcji drzewnej o 17%;
- 50% prawdopodobieństwo zaniknięcia cyrkulacji termohalinowej;
- utrata 44% tajgi;
- utrata 60% tundry;

Czynniki kształtujące klimat Ziemi



$4 \times 10^{26} \text{ W}$

Produkcja
Transport
Emisja



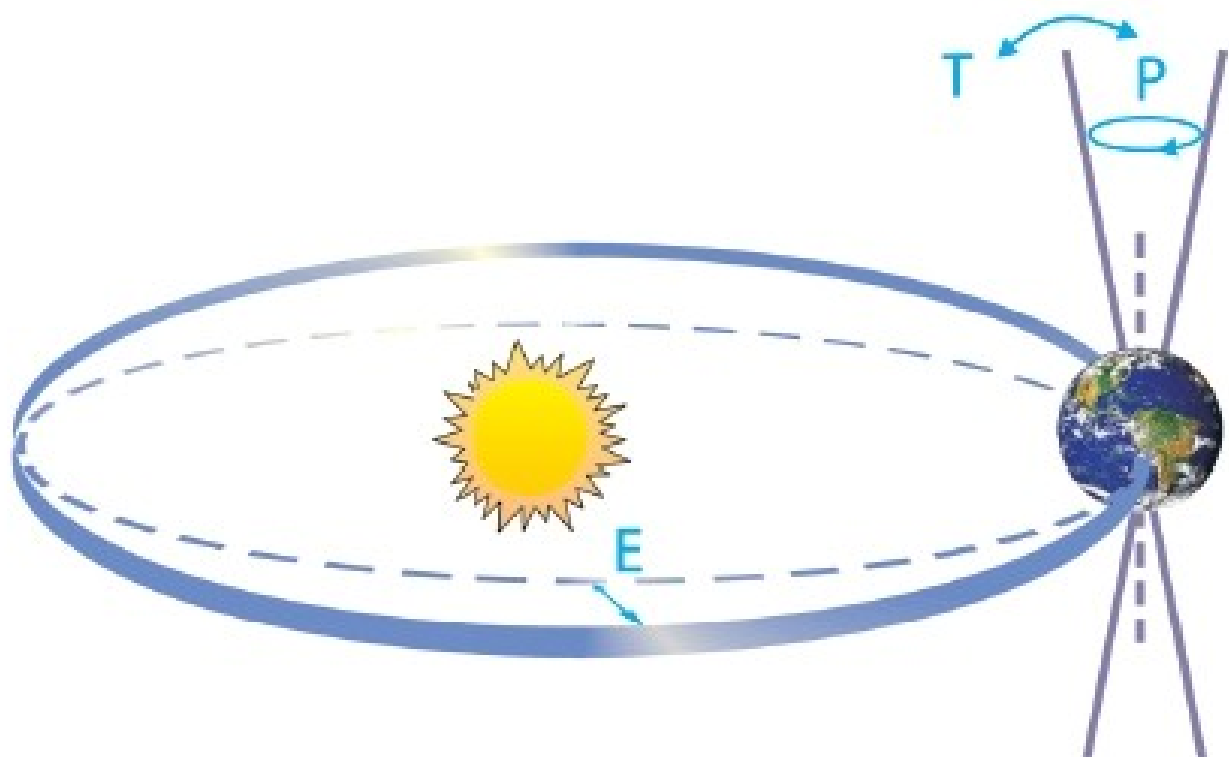
Wymuszenia orbitalne



$2 \times 10^{17} \text{ W}$

Albedo
Gazy cieplarniane
Aerozole
Wewnętrzna
dynamika

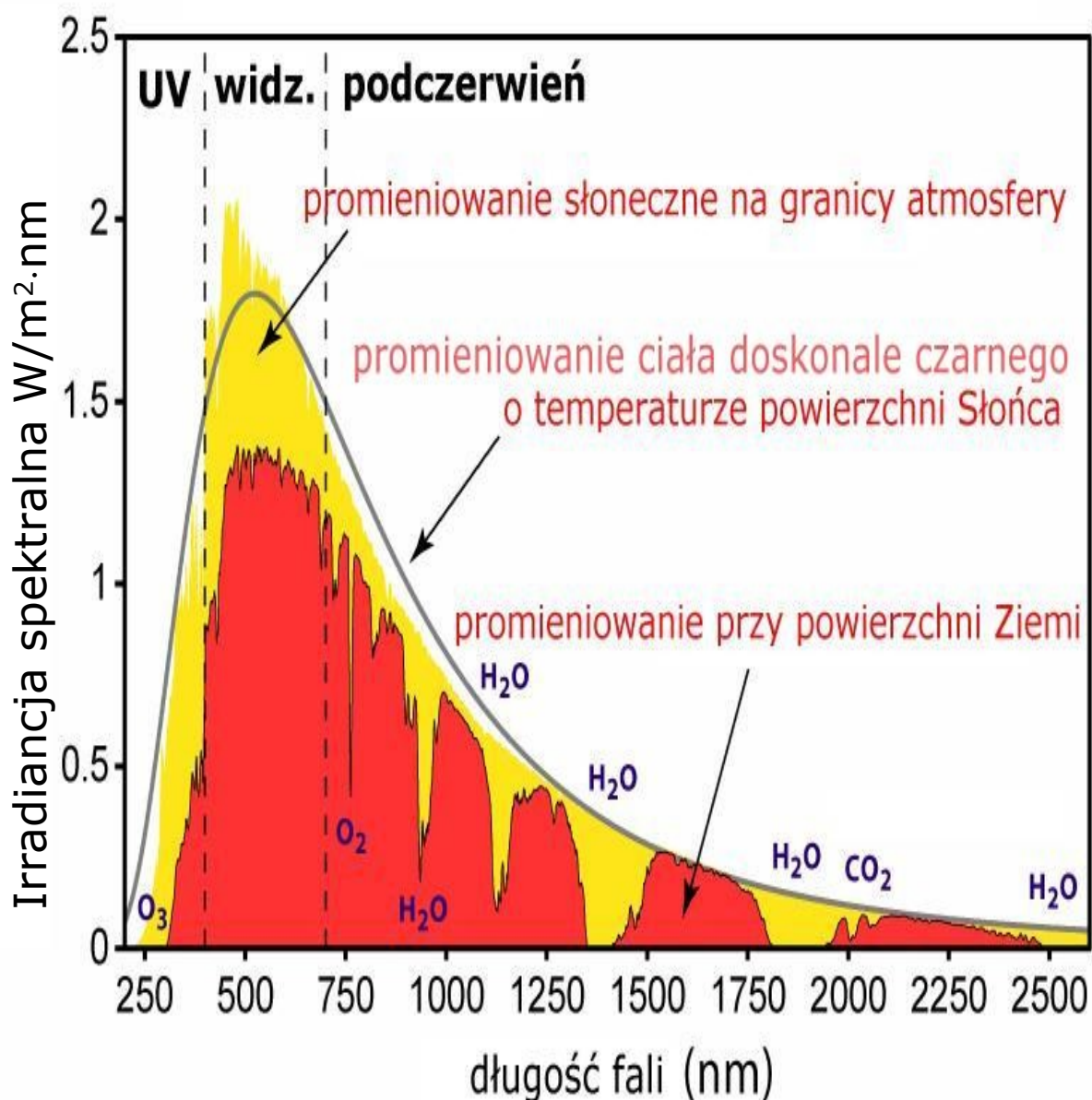
Wymuszenia orbitalne



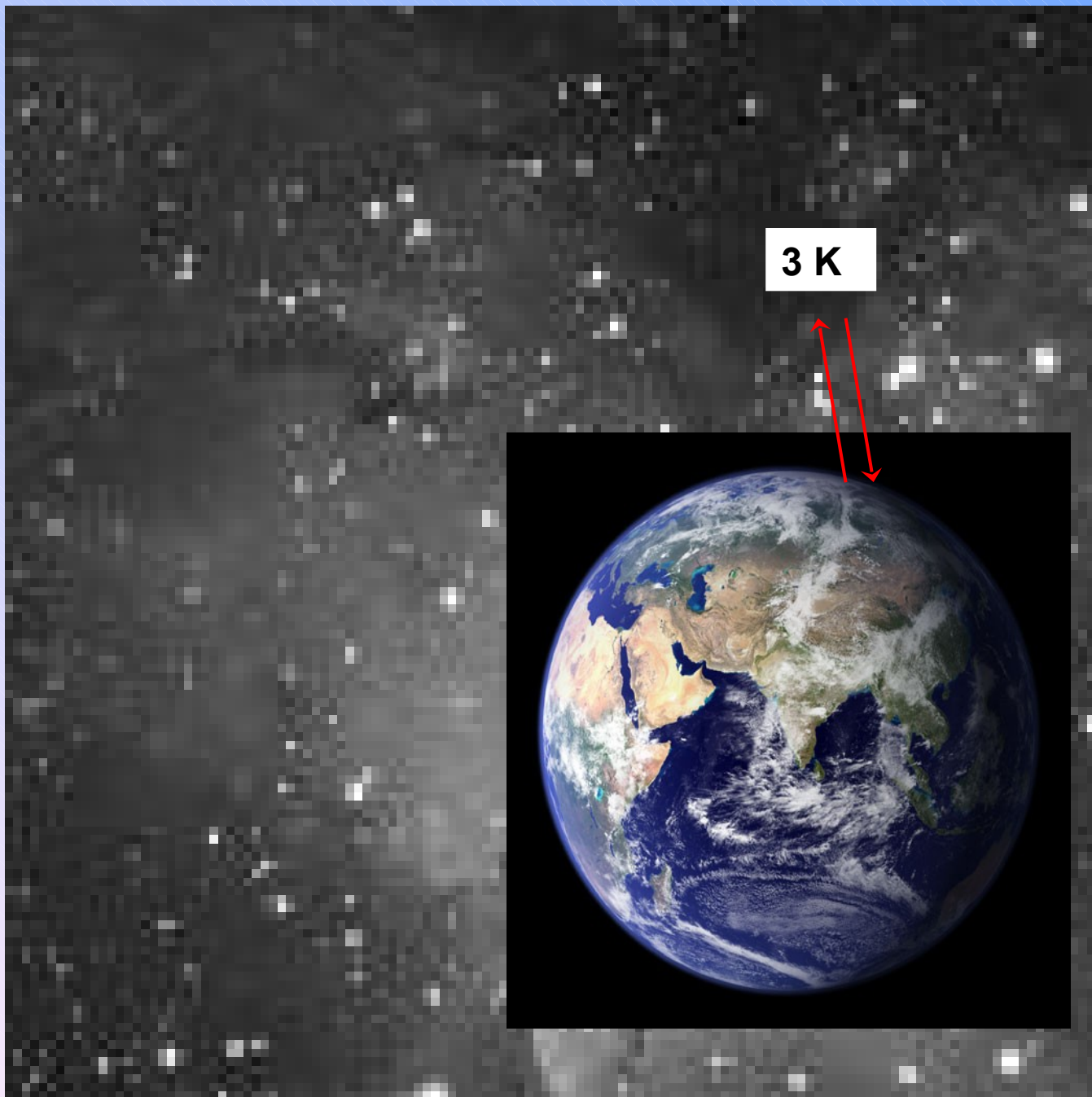
Trzy elementy bilansu energii Ziemi

- Ilość energii otrzymywanej przez Ziemię
- Albedo (frakcja energii otrzymywanej, która jest odbijana w kosmos)
- Długofalowe (5 – 100 μm) promieniowanie emitowane przez powierzchnię Ziemi (*OLR – Outgoing Longwave Radiation*)

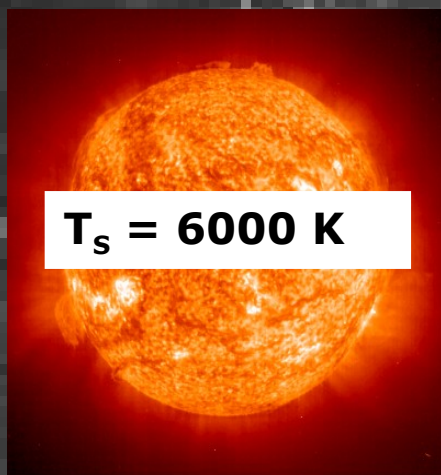
Widmo promieniowania Słońca



Gdyby nie było Słońca...



Słońce + Ziemia bez atmosfery



$T_s = 6000 \text{ K}$

Strumień
energii ↓

$S_0 = 1369 \text{ W/m}^2$

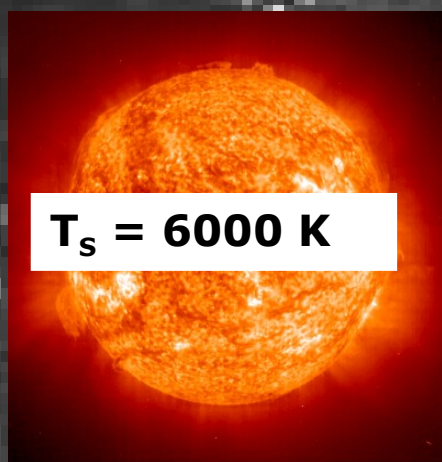
3 K

Strumień
energii ↑



$T_z = ?$

Słońce + Ziemia z atmosferą



$T_s = 6000 \text{ K}$

Odbite
prom. $\uparrow \propto S_0$

Strumień
energii $\downarrow$

$S_0 = 1369 \text{ W/m}^2$

3 K

Strumień
energii $\uparrow$



$T_z = ?$

Słońce + Ziemia bez atmosfery

energia zaabsorbowana

emisja Ziemi

$$S_0 \pi R^2 (1 - \alpha) = 4 \pi R^2 \varepsilon \sigma T_z^4$$

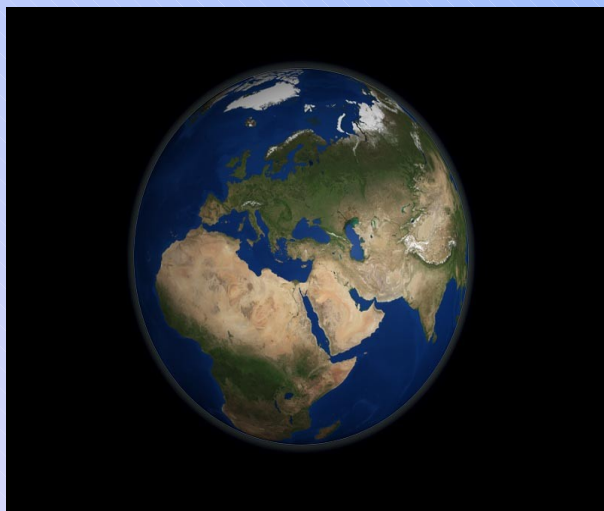
$$S = S_0 (1 - \alpha) / 4 = \varepsilon \sigma T_z^4$$

$$S_0 = 1369 \text{ W/m}^2 \text{ (stała słoneczna)}$$

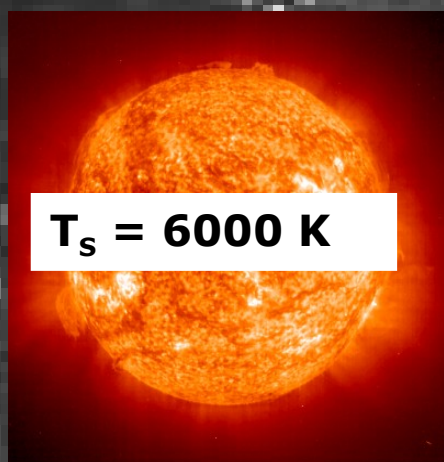
$$\alpha = 0,3$$

$$\varepsilon = 1$$

Dla powyższych wartości $T_z = 255 \text{ K } (-18^\circ\text{C})$



Słońce + Ziemia z atmosferą



$T_s = 6000 \text{ K}$

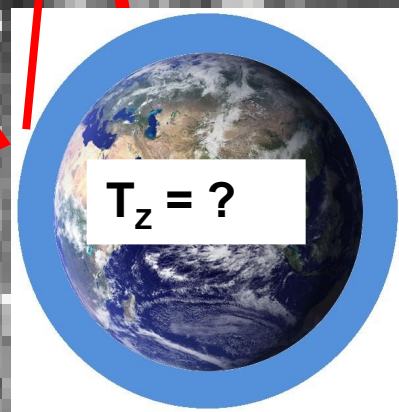
Odbite
prom. $\uparrow \propto S_0$

Strumień
energii $\downarrow$

$S_0 = 1369 \text{ W/m}^2$

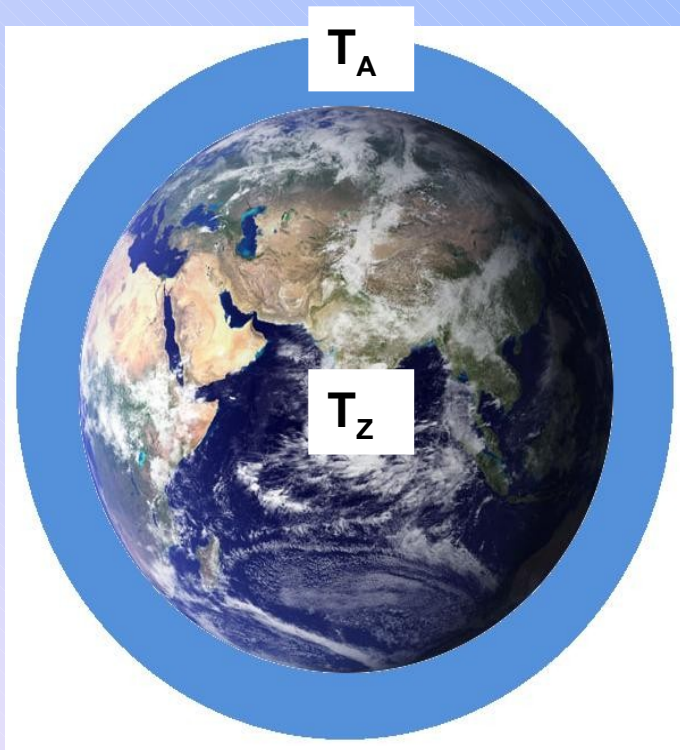
3 K

Strumień
energii $\uparrow$

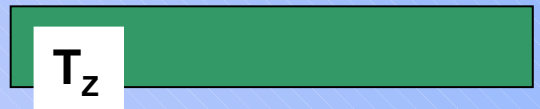
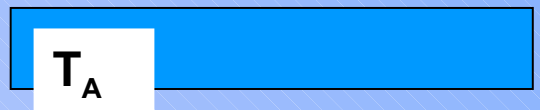


$T_z = ?$

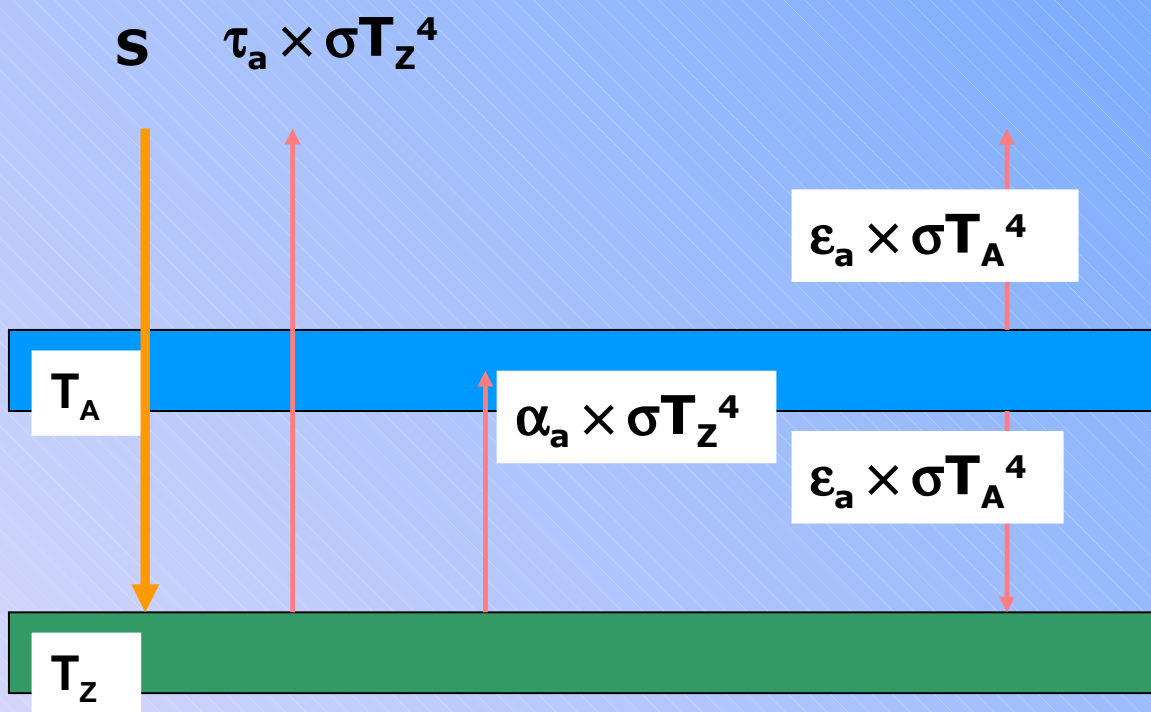
Słońce + Ziemia z atmosferą



=



Słońce + Ziemia z atmosferą



$$S = \tau_a \sigma T_Z^4 + \epsilon_a \sigma T_a^4$$

$$2\epsilon_a \sigma T_a^4 = \alpha_a \sigma T_Z^4 = \epsilon_a \sigma T_Z^4$$

Efektywna temperatura Ziemi z atmosferą

$$S = \tau_a \sigma T_Z^4 + \varepsilon_a \sigma T_a^4$$

$$2\varepsilon_a \sigma T_a^4 = \alpha_a \sigma T_Z^4 = \varepsilon_a \sigma T_Z^4$$

Rozwiązaniem tego układu równań jest:

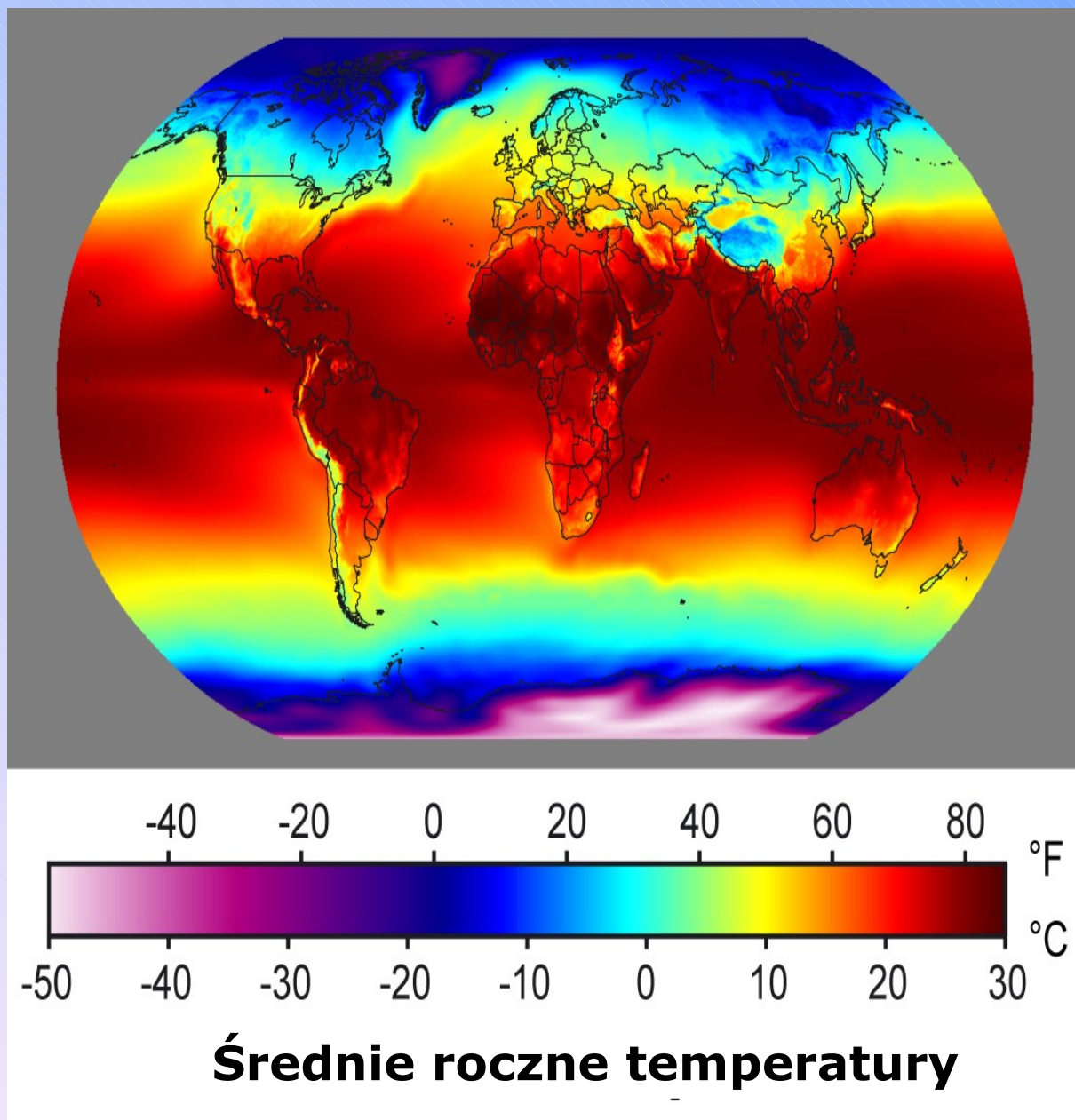
$$T_Z^4 = \frac{S}{\sigma (1 - \varepsilon/2)}$$

$$\text{dla } \varepsilon_a = 0,8 \quad T_Z = 289 \text{ K} = 16^\circ\text{C}$$

$$\text{dla } \varepsilon_a = 1 \quad T_Z = 303 \text{ K} = 30^\circ\text{C}$$

$$\text{dla } \varepsilon_a = 0 \quad T_Z = 255 \text{ K} = -18^\circ\text{C}$$

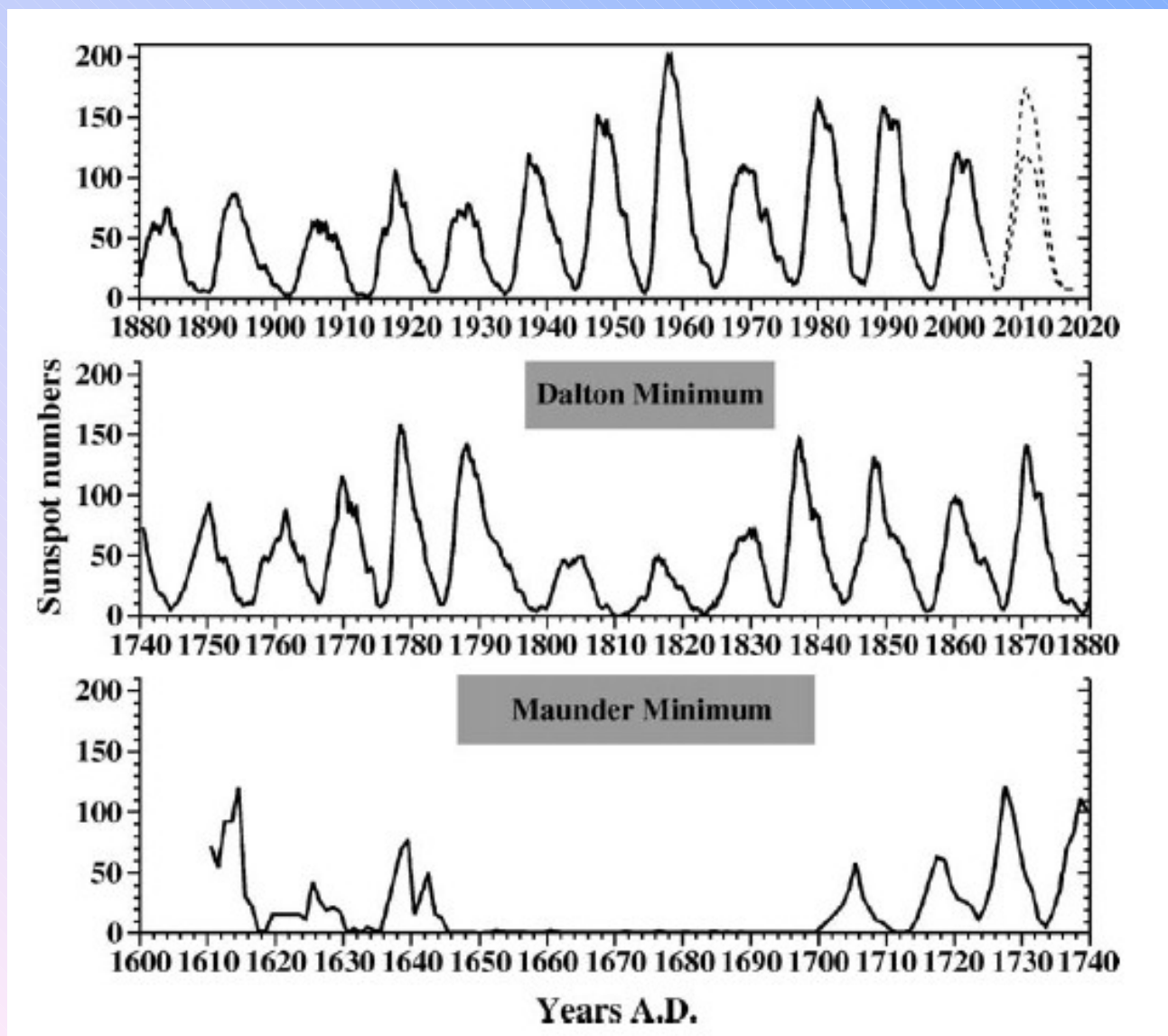
Fizyczny sens temperatury efektywnej



Zmienność stałej słonecznej

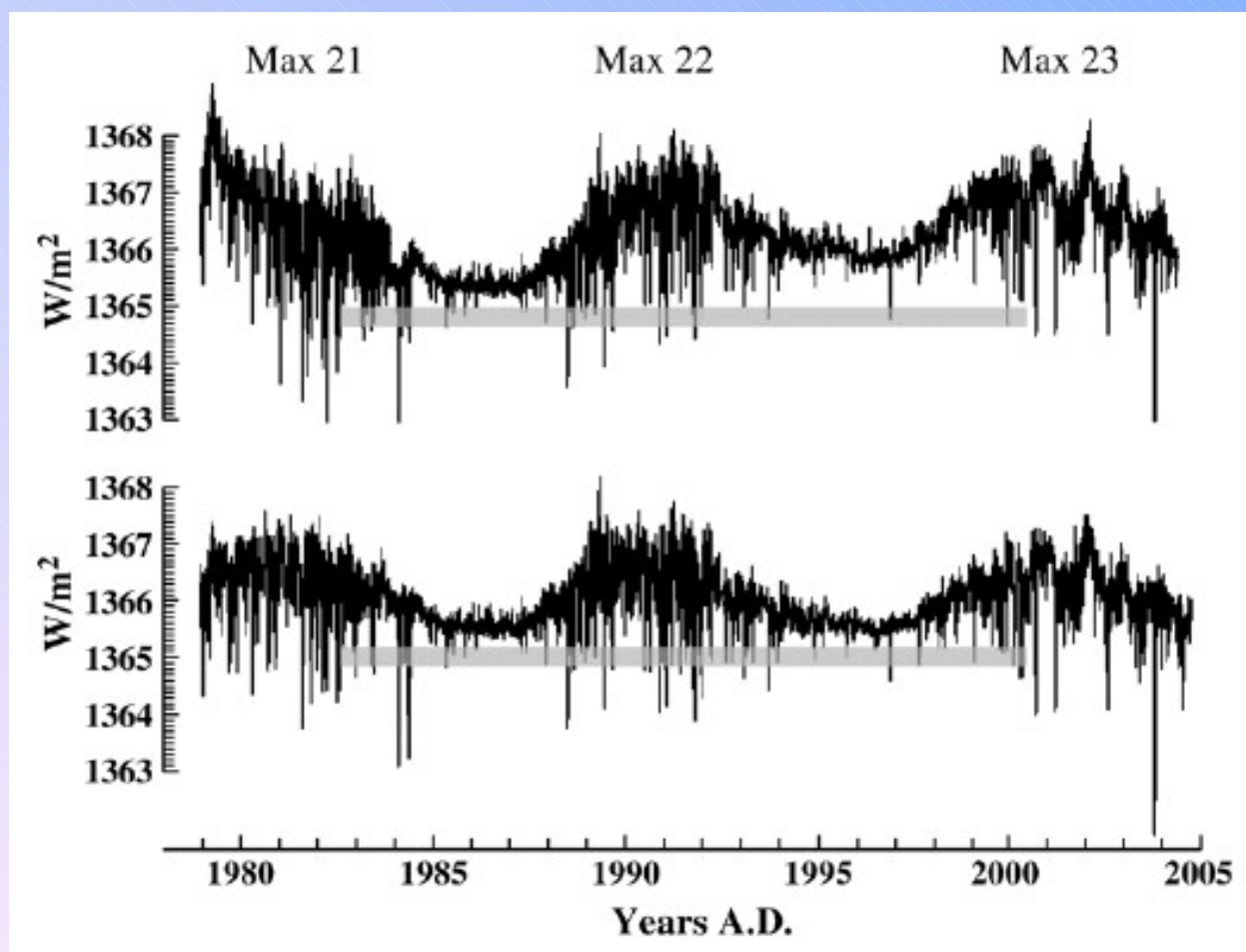
Dowodem zmian aktywności Słońca jest zmienność plam słonecznych.

Z cyklem 11-letnim związana jest 0,1% zmienność irradiancji.



Zmienność stałej słonecznej

Precyzyjne pomiary irradiancji dostępne od niedawna, do tego ich metodologia jest dyskutowana



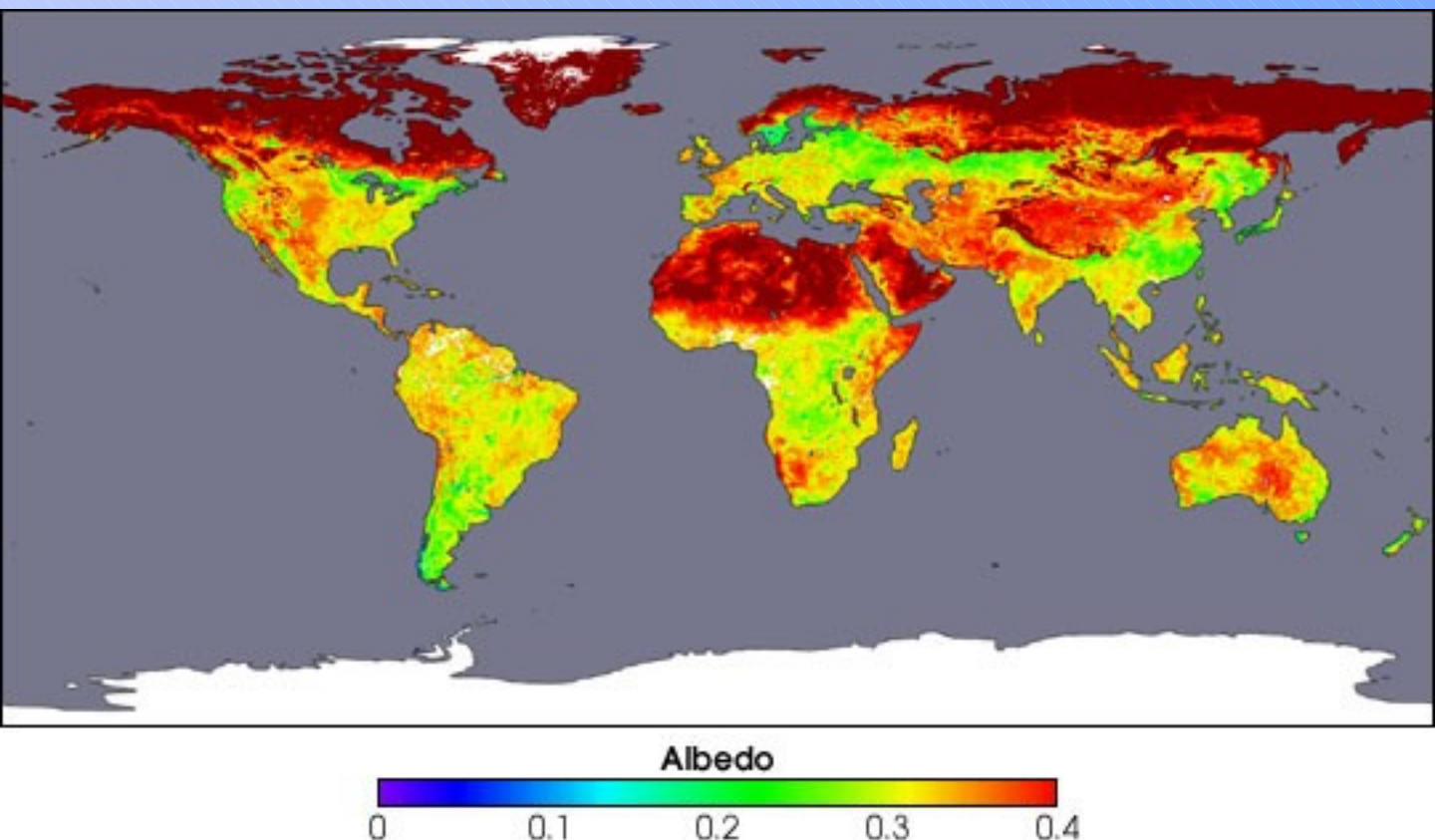
Zmienność stałej słonecznej

- Średniowieczny okres ciepły (900 – 1400) oraz mała epoka lodowa (1500 – 1800) mogły być związane ze zmianami aktywności słonecznej.

Pośredni wpływ zmian aktywności Słońca na klimat

- Cząstki promieniowania kosmicznego mogą inicjować nukleację kropel wody w atmosferze (powstawanie chmur) i przez to wpływać na bilans radiacyjny Ziemi.

Albedo Ziemi



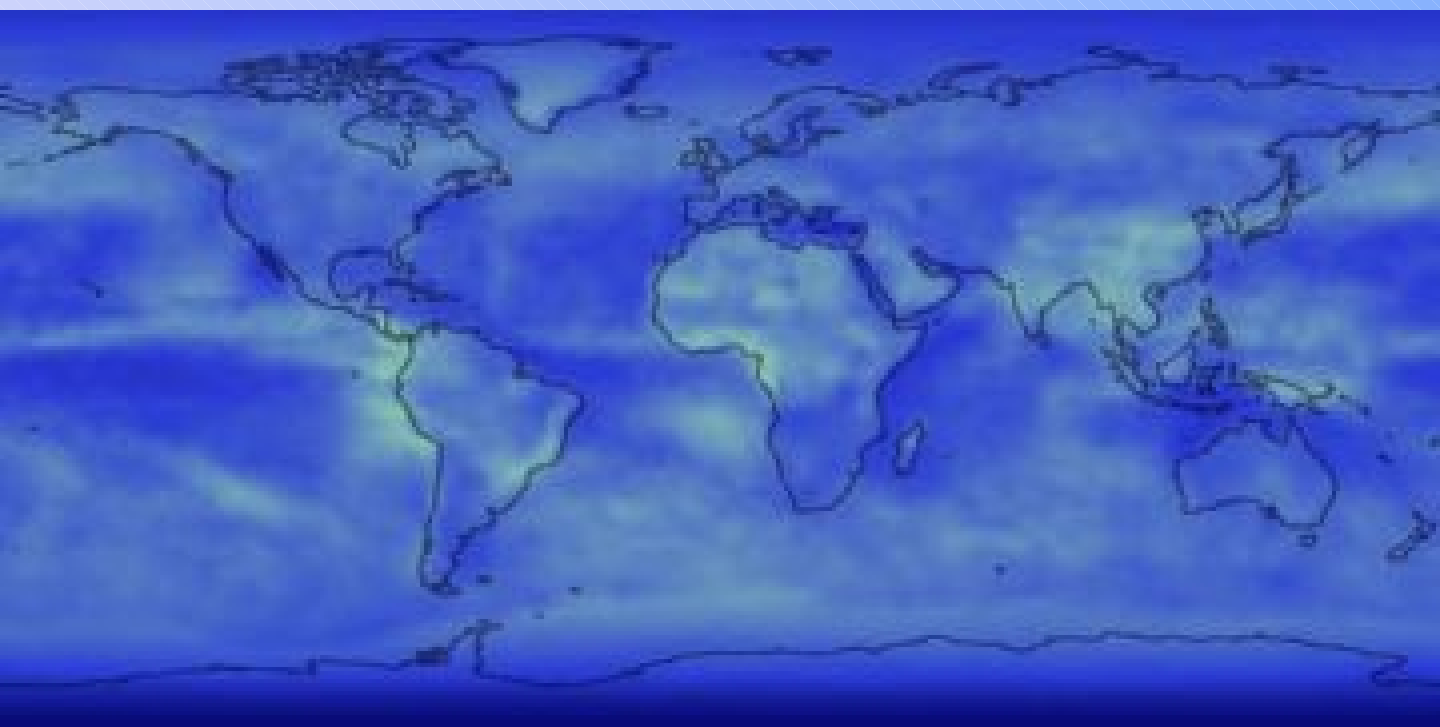
Woda – 5%

Świeży śnieg – 80%

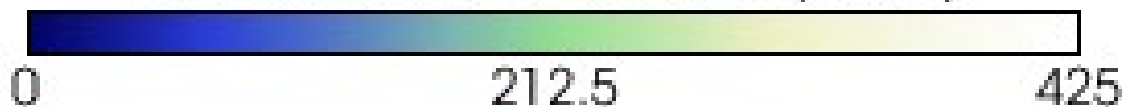
Ziemia średnio (rocznie) – 30%

Reflected Shortwave Radiation, IX 2005

Gęstość strumienia energii promieniowania słonecznego w zakresie $0,3 - 5 \mu\text{m}$ odbijanego w przestrzeń kosmiczną

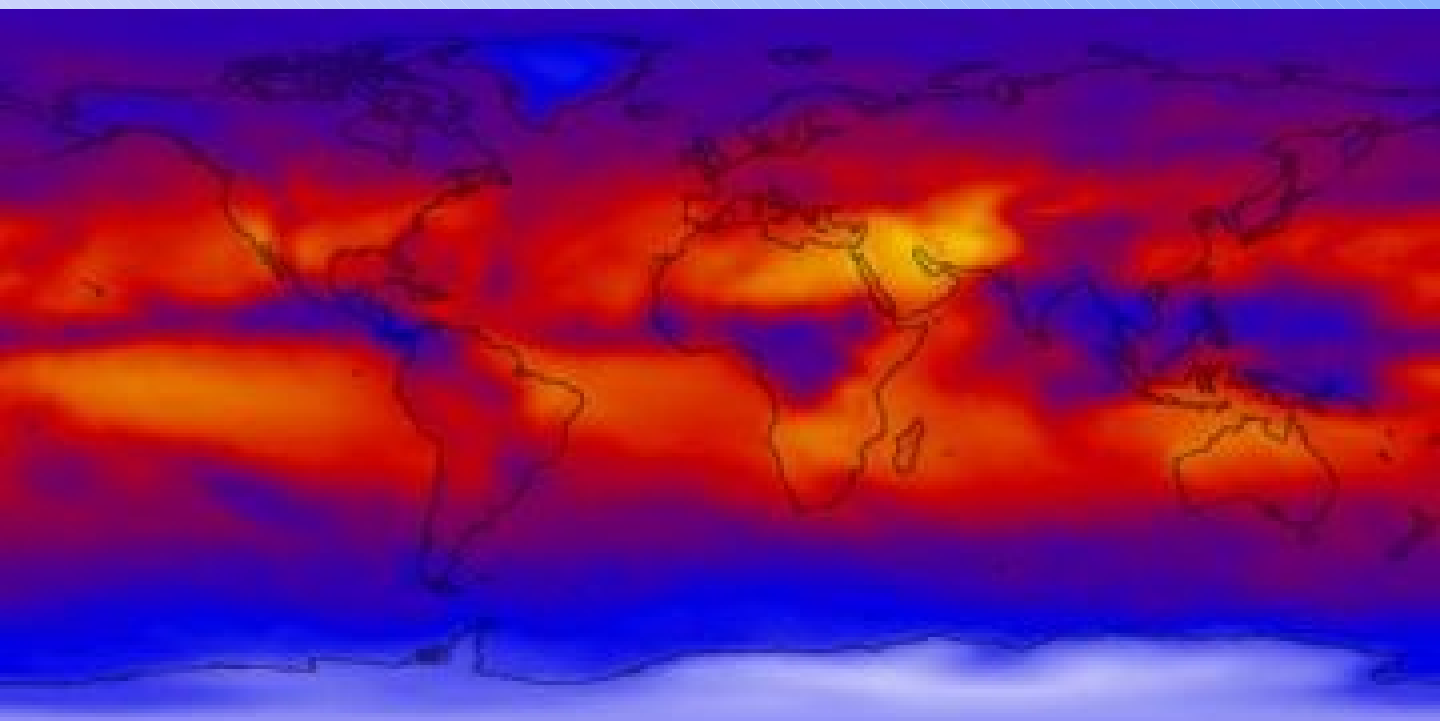


Reflected Solar Radiation (W/m^2)



OLR, IX 2005

Gęstość strumienia energii promieniowania powierzchni Ziemi w zakresie 5 – 100 μm , uciekającego w przestrzeń kosmiczną

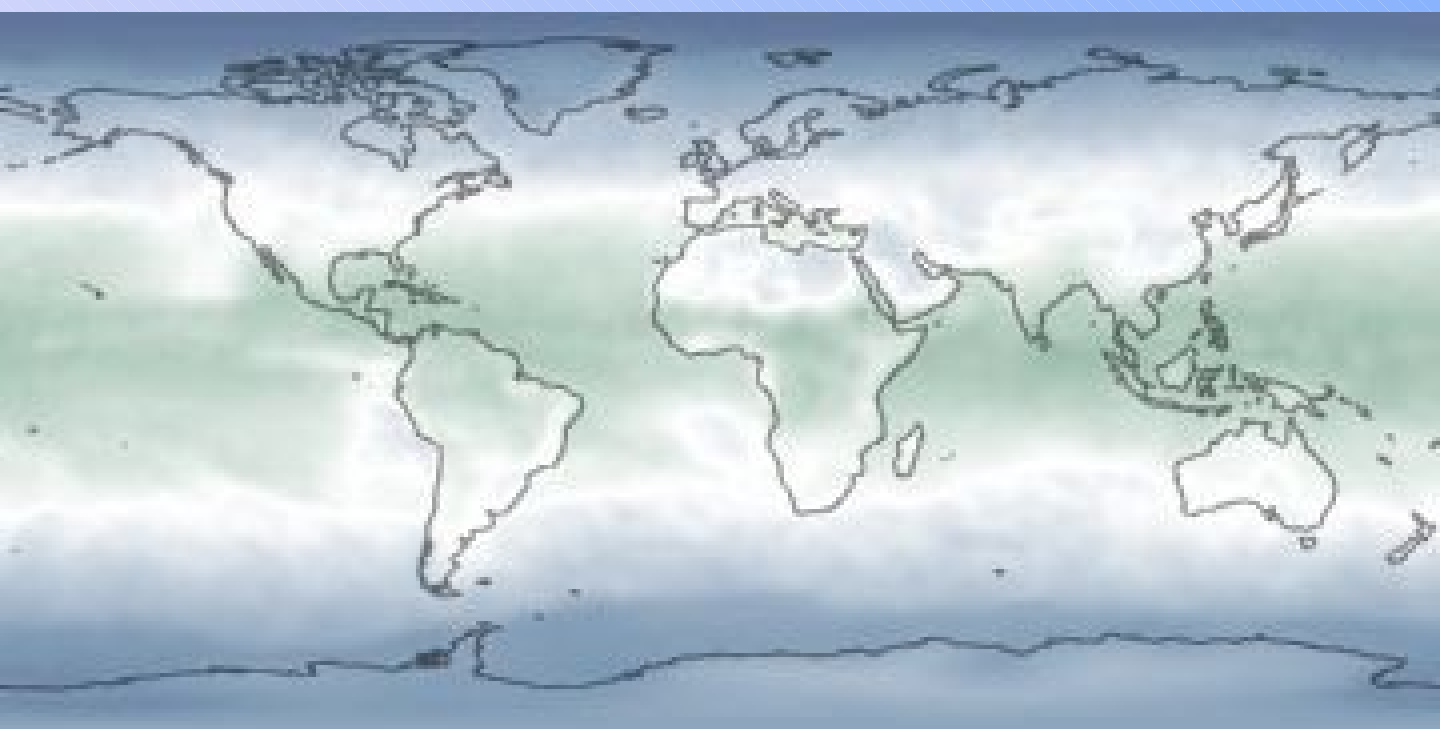


Emitted Heat Radiation (W/m^2)

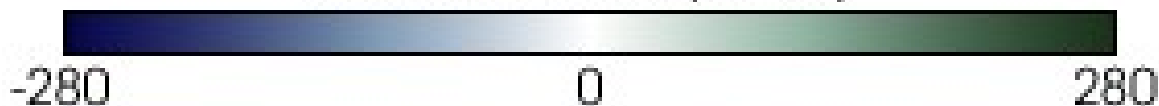


Net radiation IX 2005

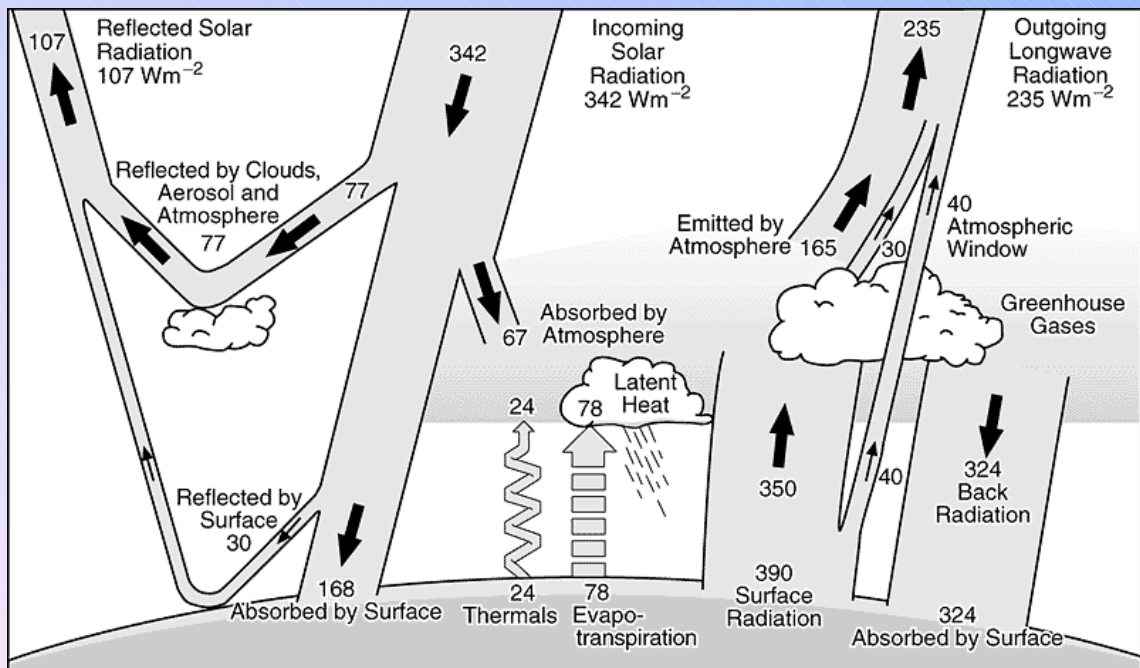
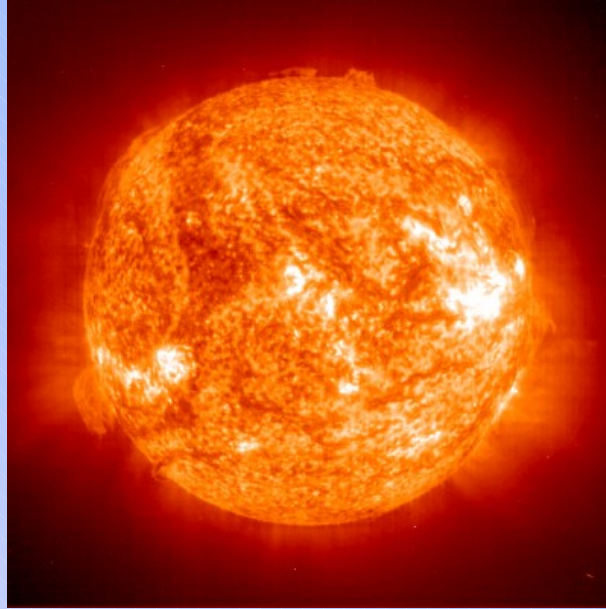
Gęstość strumienia energii promieniowania w zakresie 0,3 – 100 μm , która pozostaje w systemie Ziemi



Net Radiation (W/m^2)



Bilans energii w systemie klimatycznym



Zróżnicowanie bilansu energii przyczyną cyrkulacji atmosfery

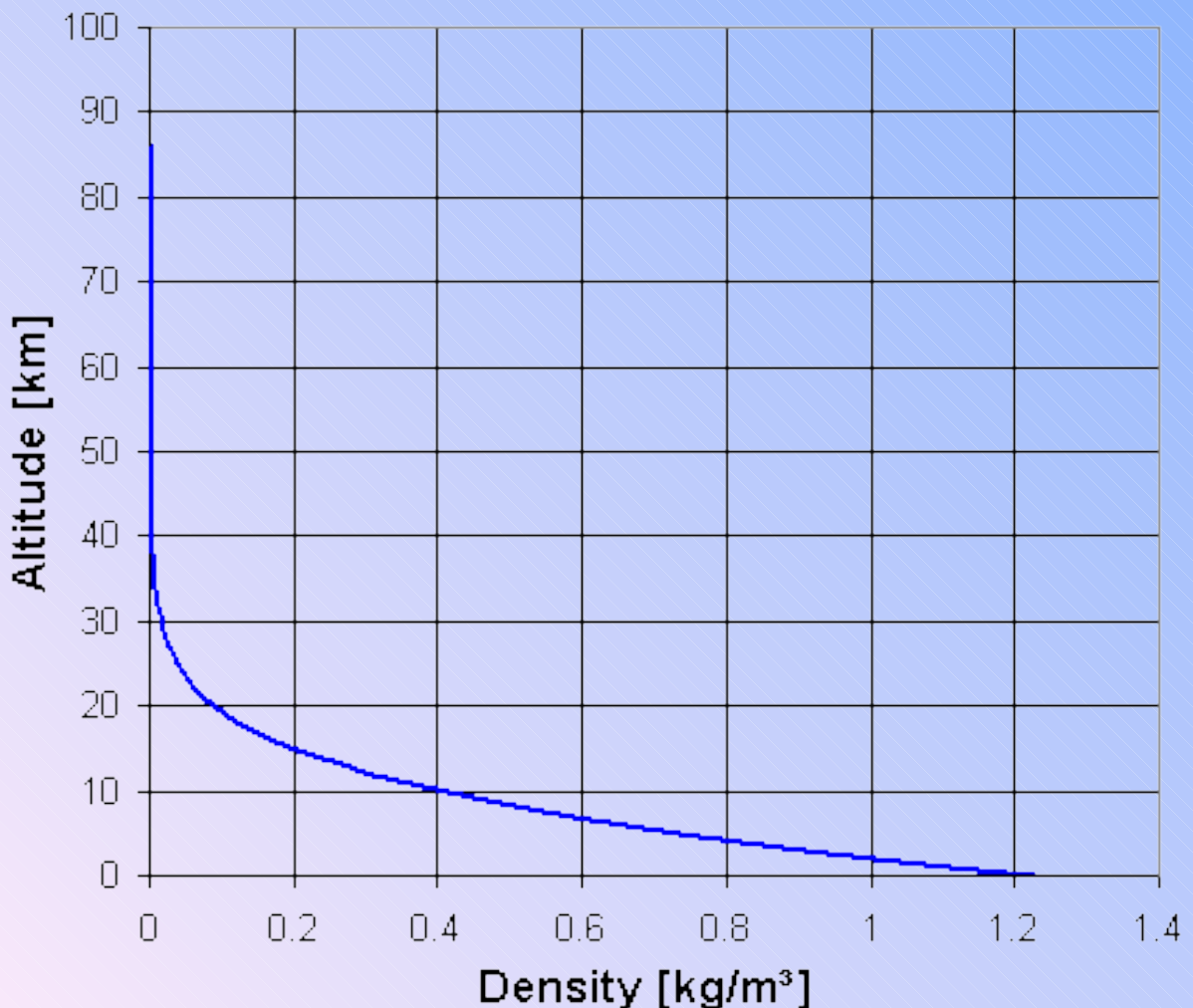
Na górnej granicy atmosfery energia absorbowana i emitowana równoważą się (w skali roku).

W skali regionalnej i sezonowej powierzchnia Ziemi jest daleka od równowagi radiacyjnej.

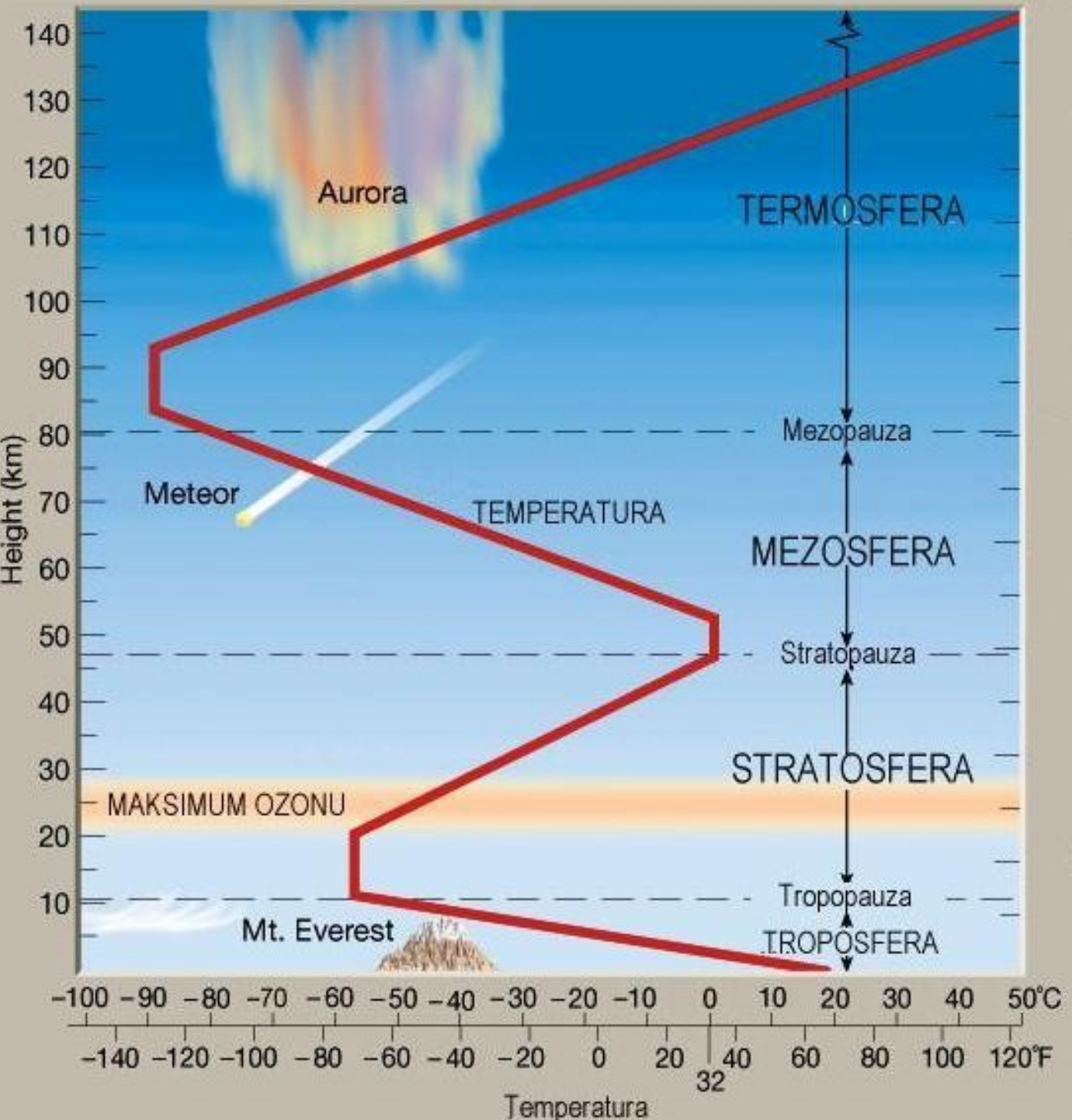
Większa absorbcja energii w tropikach oraz mniejsza w obszarach polarnych napędzają globalną cyrkulację atmosfery.

Atmosfera

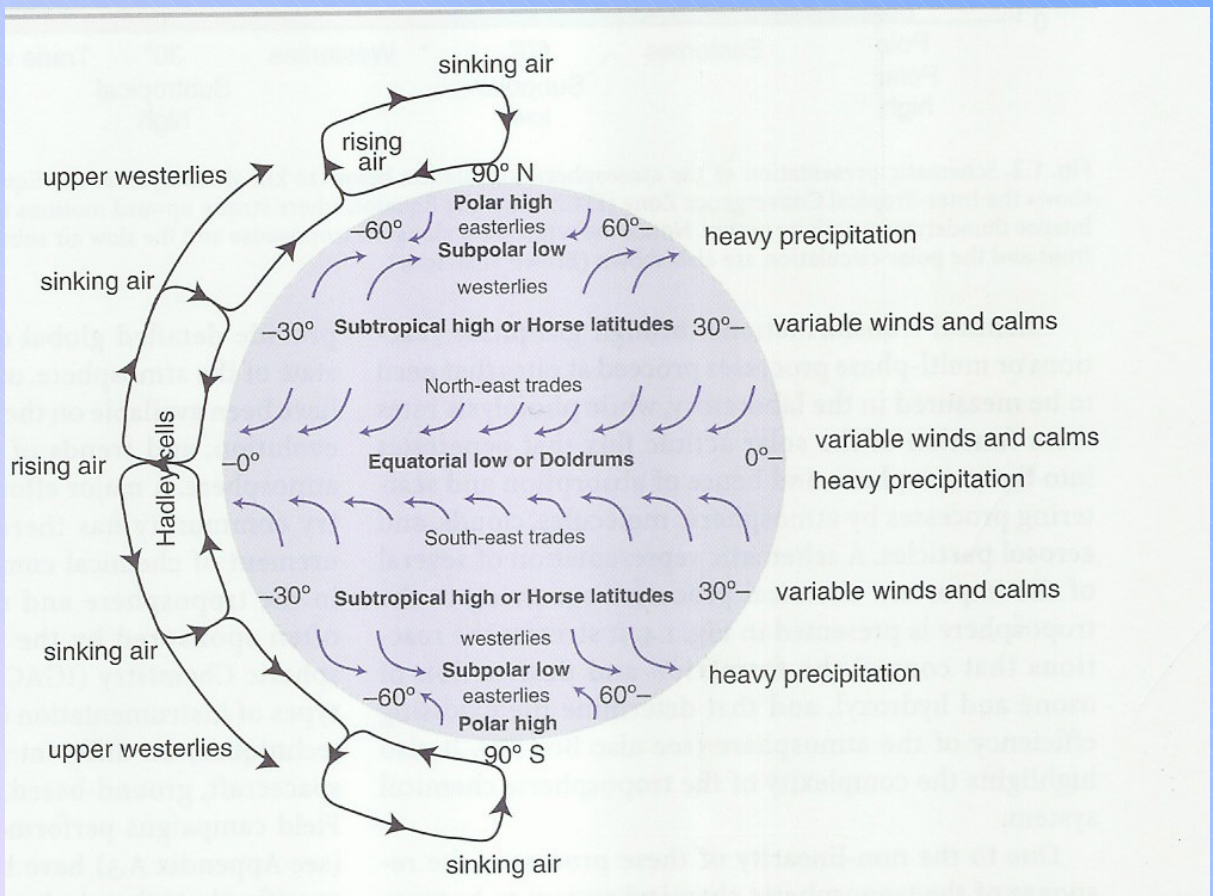
- wiatry
- ciśnienie powietrza
- temperatura powietrza
- zawartość substancji stałych, ciekłych i gazowych



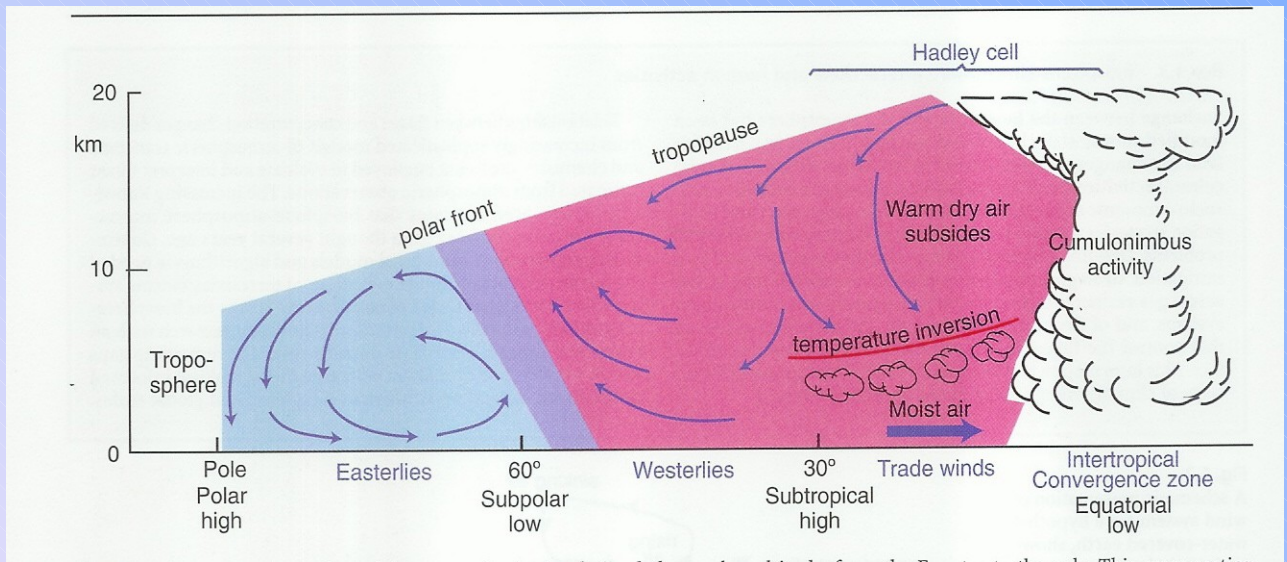
Struktura atmosfery



Cyrkulacja atmosfery



Cyrkulacja atmosfery



NAO

North Atlantic Oscillation

Fluktuacja pola ciśnienia nad północnym Atlantykiem mająca duży wpływ na zimową pogodę na sąsiednich obszarach lądowych, zwłaszcza w Europie.

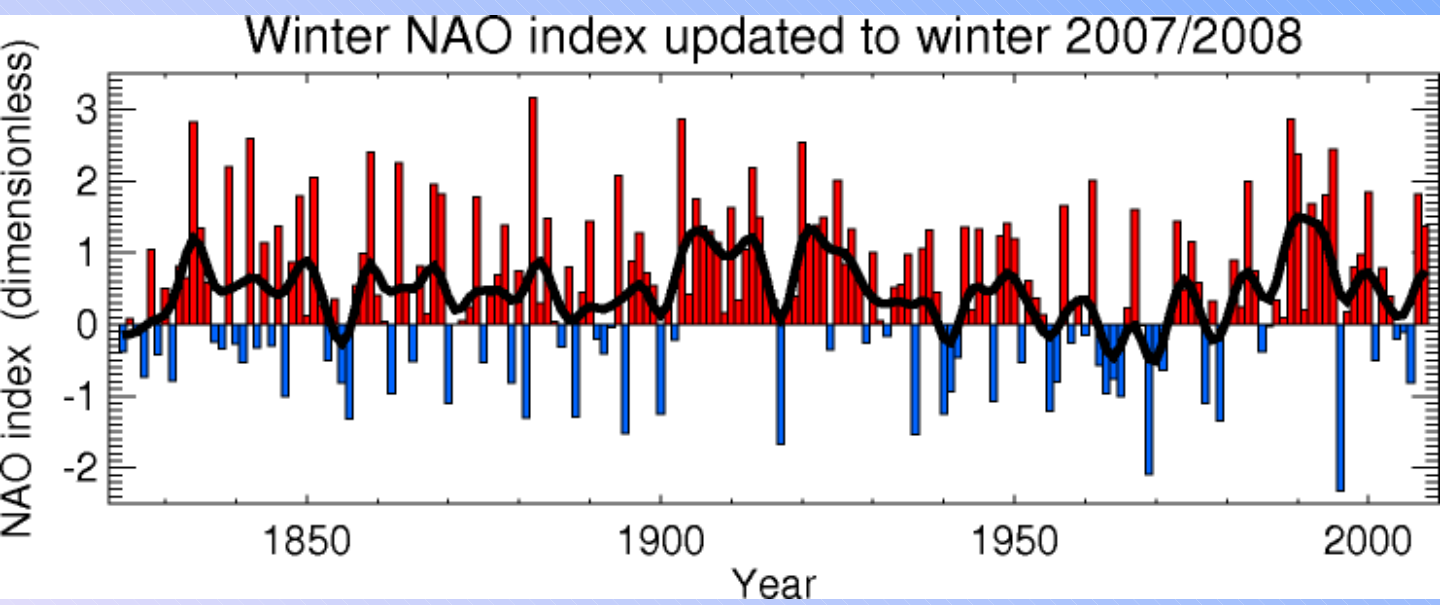
Rozbudowany wyż Azorski

– zima w Europie łagodna;

słaby wyż Azorski

- zima w Europie ostra.

Indeks NAO

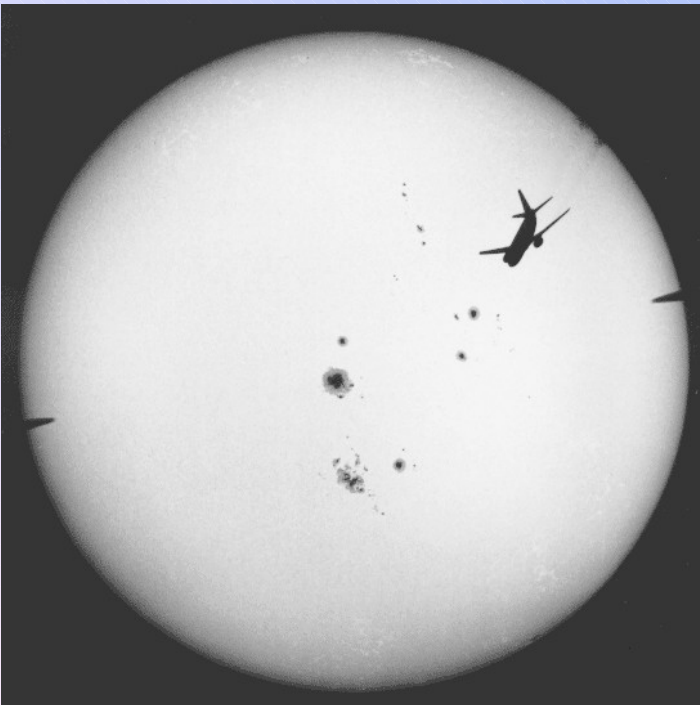


Przyczyny zmian klimatu

Naturalne

Zewnętrzne – zmiany strumienia energii dochodzącej do systemu.

Wewnętrzne – brak równowagi pomiędzy elementami systemu (np. El Niño).



Przyczyny zmian klimatu

Wywołane przez człowieka

- wzmożenie efektu cieplarnianego
- wzrost zawartości aerozoli w atmosferze
- zmiany sposobu użytkowania powierzchni lądów

Efekt cieplarniany (szklarniowy)

Przyczynki do efektu cieplarnianego:

para wodna	60%
CO ₂	25%
ozon	8%
inne gazy śladowe	
chmury	

Czułość klimatu

Wzrost globalnej temperatury
wywołany dwukrotnym wzrostem
atmosferycznego stężenia dwutlenku
węgla (do 550 ppm):

1°C z bilansu energii

Czułość klimatu

Sprzężenia zwrotne zwiększają czułość klimatu:

1,5°C – 4,5°C wg. IPCC TAR

IPCC AR4

prawdopodobnie 2°C – 4,5°C
najbardziej prawdopodobna wartość 3°C
bardzo nieprawdopodobne jest, że:
<1,5 °C

prawdopodobne >66% pewności
bardzo nieprawdopodobne <10%

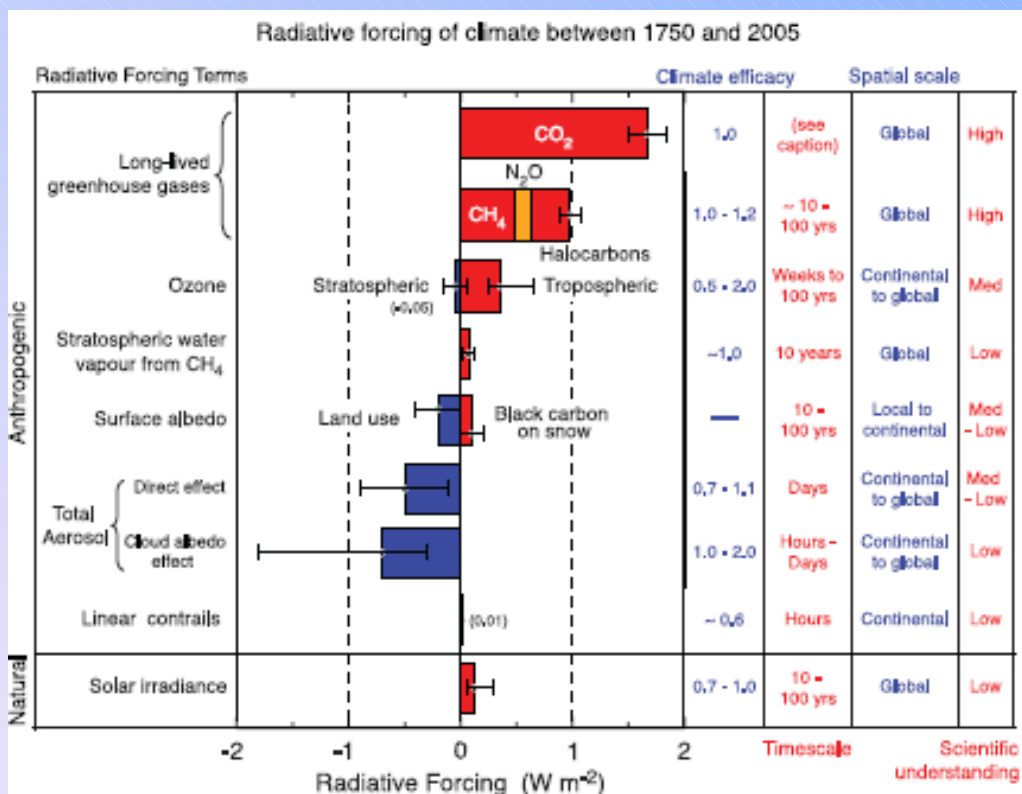
Czułość klimatu

Sprzężenia zwrotne zwiększające czułość klimatu:

- para wodna (50% efektu)
- chmury
- zmniejszenie pokrywy śnieżnej i lodowej
- wzrost respiracji, ograniczenie asymilacji dwutlenku węgla przez biosferę lądową
- ograniczenie asymilacji dwutlenku węgla przez ocean
- uwalnianie metanu i dwutlenku węgla z wiecznej zmarzliny i obszarów podmokłych
- uwalnianie metanu z hydratów

Wymuszenie radiacyjne

Zmiana gęstości strumienia energii przechodzącego przez tropopauzę związana z jakąś zmianą w systemie klimatycznym (wyrażoną w W/m^2)



Wymuszenia radiacyjne dla gazów cieplarnianych

Gaz	Abundancja 1750	Abundancja 1998	Wymuszenie radiacyjne Wm ⁻²
CO ₂	278 000	365 000	1,46
CH ₄	700	1745	0,48
CFC-12	0	533	0,07
N ₂ O	270	314	0,15
CFC-11	0	268	0,07
CFC-113	0	84	0,03
HCFC-22	0	132	0,03
CFC-114	0	15	0,005
CH ₃ CCl ₃	0	69	0,004
CF ₄	40	80	0,003
SF ₆	0	4,2	0,002
HFC-23	0	14	0,002
HCFC-142b	0	11	0,002
C ₂ F ₆	0	3	0,001

Wymuszenia radiacyjne dla gazów cieplarnianych

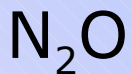
gaz	stężenie		wymuszenie radiacyjne	
	2005	zmiana od 1998	2005	zmiana od 1998
CO₂	379 ppm	+13 ppm	1.66	+13
CH₄	1774 ppb	+11 ppb	0.48	-
N₂O	319 ppb	+5 ppb	0.16	+11
ppt				
CFC-11	251	-13	0.063	-5
CFC-12	538	+4	0.17	+1
CFC-113	79	-4	0.024	-5
HCFC-22	169	+38	0.033	+29
HCFC-141b	18	+9	0.0025	+93
HCFC-142b	15	+6	0.0031	+57
CH ₃ CCl ₃	19	-47	0.0011	-72
CCl ₄	93	-7	0.012	-7

Wymuszenia radiacyjne dla gazów cieplarnianych

gaz	stężenie		wymuszenie radiacyjne	
	2005	zmiana od 1998	2005	zmiana od 1998
	ppt			
HFC-125	3.7	+2.6	0.0009	+234
HFC-134a	35	+27	0.0055	+349
HFC-152a	3.9	+2.4	0.0004	+151
HFC-23	18	+4	0.0033	+29
SF ₆	5.6	+1.5	0.0029	+36
CF ₄ (PFC-14)	74	-	0.0034	-
C ₂ F ₆ (PFC-116)	2.9	+0.5	0.0008	+22
wszystkie CFC			0.268	-1
wszystkie HCFC			0.039	+33
Montreal			0.320	-1
Inne Kyoto (HFC+PFC+SF ₆)			0.017	+69
halocarb			0.337	+1
Wszystkie LLGHG			2.63	+9

LLGHGs

LLGHGs – long-lived greenhouse gases:



CFC

tylko Cl, F, C

HCFC

substytuty CFC

HFC

*tylko H, F, C; nie niszczą
ozonu*

PFC

*tylko F, C, S; nie niszczą
ozonu*



Potencjał cieplarniany

GWP – Global Warming Potential

Wyraża udział gazu w efekcie cieplarnianym, łączy czas przebywania gazu w atmosferze i jego zdolność do absorbowania promieniowania podczerwonego.

Wyrażany względem CO_2 , zależy od skali czasowej.

Przykładowo, dla CH_4 :

20 lat – GWP = 62

500 lat – GWP = 7

Gazy cieplarniane

Czynne w efekcie cieplarnianym

- bezpośrednio:

CO_2 , CH_4 , N_2O ,

HFC, SF_6 ,

CFC, HCFC, PFC,

inne gazy halonowe, O_3

- pośrednio:

CO , H_2 , VOC, NO_x

VOC – Volatile Organic Carbon:

alkohole, aldehydy,

kwasy organiczne itp.

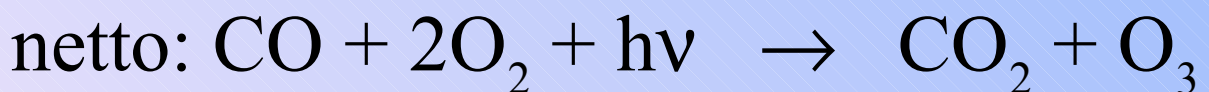
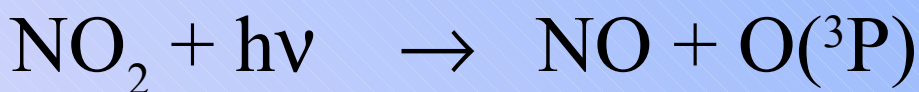
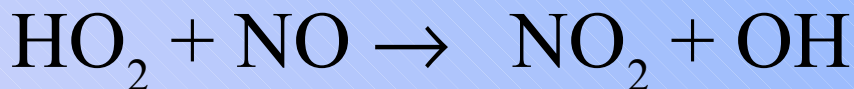
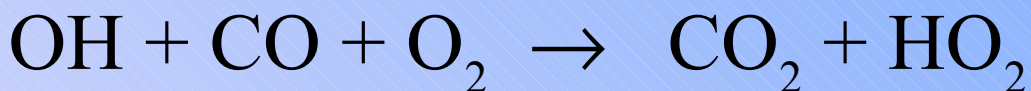
Gazy pośrednio czynne w efekcie cieplarniany

- CO, H₂ – reagują z OH, powstają podczas utleniania CH₄ i spalania paliw kopalnych.
- VOC – tworzą aerozole, mają udział w tworzeniu O₃, emitowane przez rośliny, powstają podczas spalania paliw kopalnych i biomasy.

Gazy pośrednio czynne w efekcie cieplarnianym



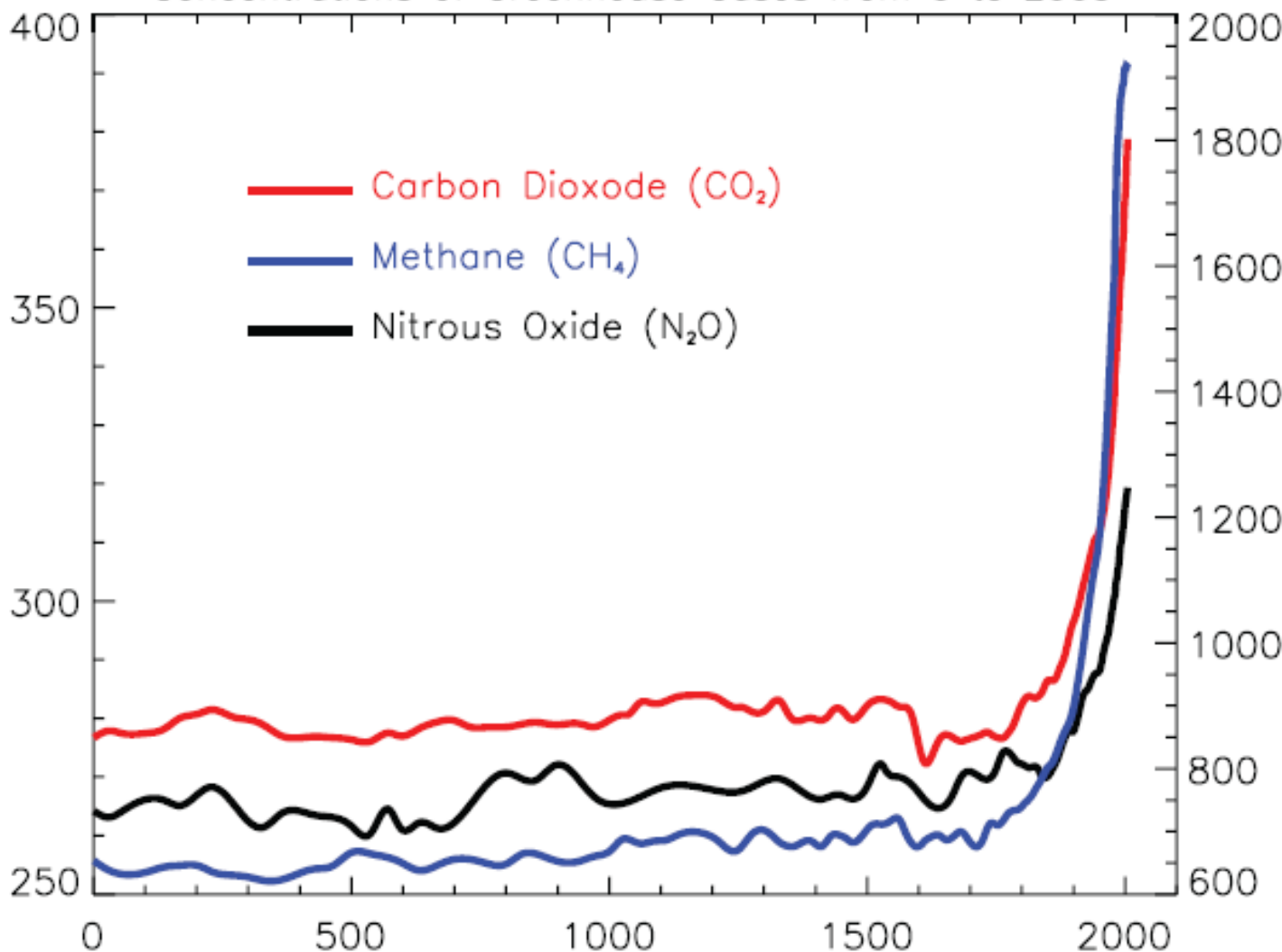
Katalizują powstawanie O_3
w troposferze



Główne źródła: spalanie paliw
kopalnych i biomasy, gleba,
wyładowania atmosferyczne.

Gazy pośrednio czynne w efekcie cieplarnianym

Concentrations of Greenhouse Gases from 0 to 2005



Źródła gazów cieplarnianych w atmosferze



Naturalne:

tereny podmokłe,
kopce termitów,
oceany.

Antropogeniczne:

paliwa kopalne,
wysypiska śmieci,
przeżuwacze,
uprawa ryżu,
spalanie biomasy.

Źródła gazów cieplarnianych w atmosferze

Troposferyczny O_3

Naturalne:

dopływ ze stratosfery.

Antropogeniczne:

reakcje fotochemiczne
z udziałem zanieczyszczeń.

Źródła gazów cieplarnianych w atmosferze



Naturalne:

ocean,
gleby,
utlenianie NH_3 .

Antropogeniczne:

gleby uprawne,
bydło,
przemysł.

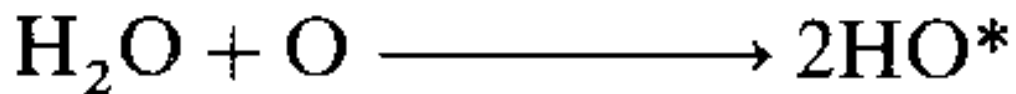
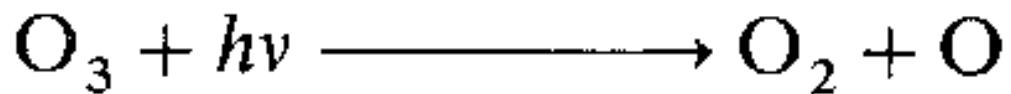
Usuwanie gazów cieplarnianych z atmosfery

CO_2 i H_2O nie podlegają
przemianom chemicznym

Gazy zawierające wodór (np. CH_4 ,
HFC, HCFC) usuwane głównie
poprzez reakcję z rodnikami OH

Gazy nie zawierające wodoru
usuwane w stratosferze przez
promieniowanie UV

Usuwanie ozonu z troposfery



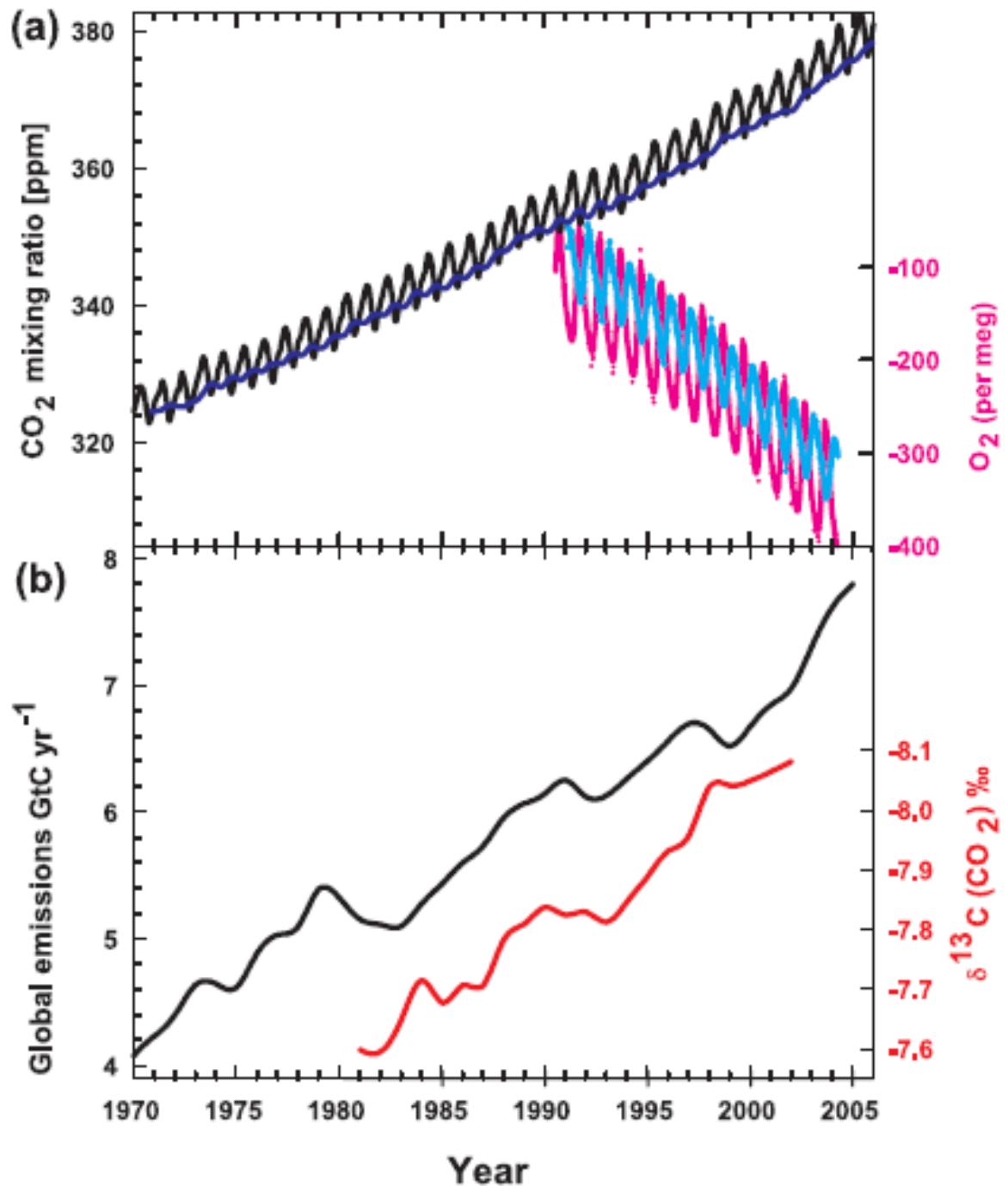
Usuwanie gazów cieplarnianych z atmosfery – rola ozonu troposferycznego

Fotoliza ozonu prowadzi do powstania **rodników OH**, które mają istotne znaczenie dla usuwania z atmosfery niektórych gazów cieplarnianych oraz substancji niszczących ozon stratosferyczny,

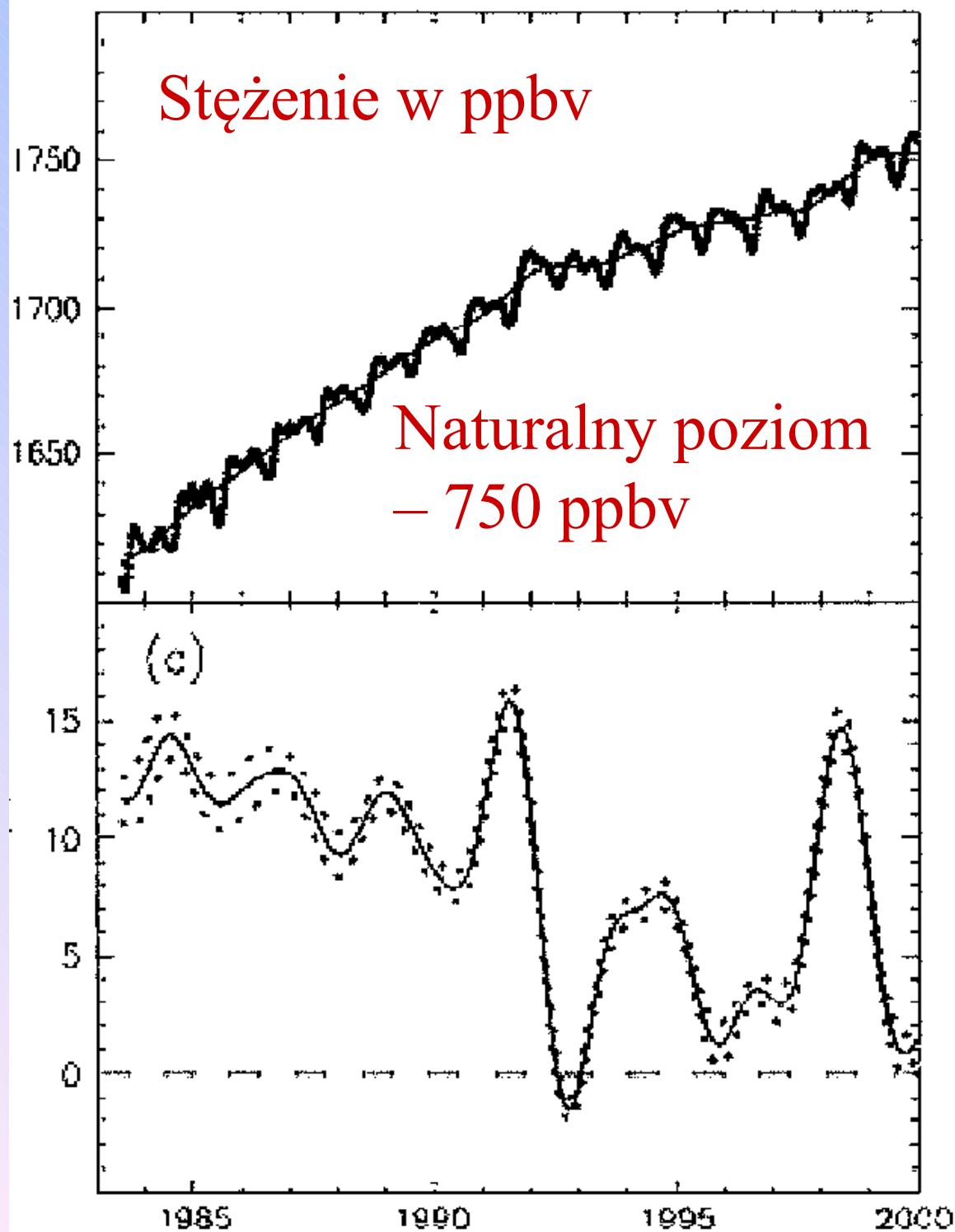
ale

antropogeniczny wzrost zawartości CO i CH₄ przewyższa wzrost OH.

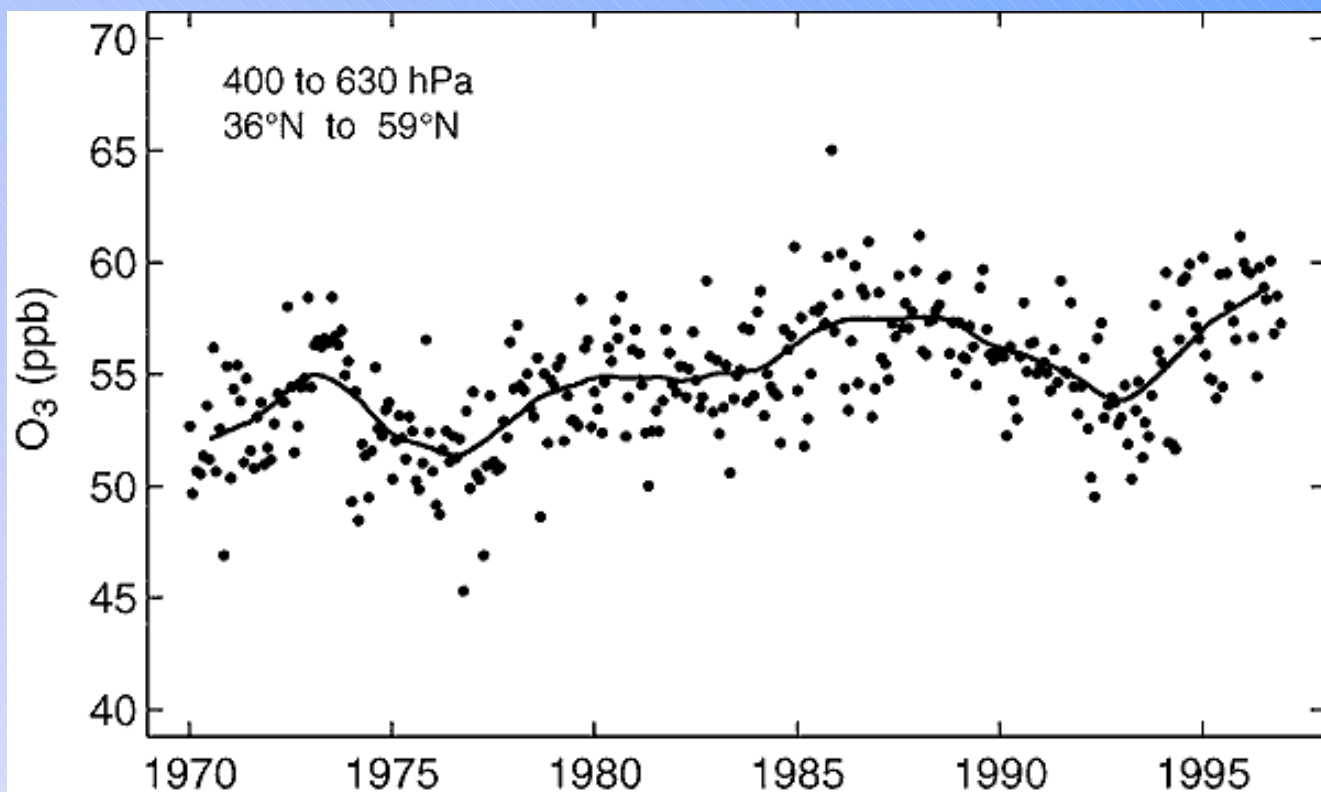
Trendy – CO₂



Trendy – CH₄

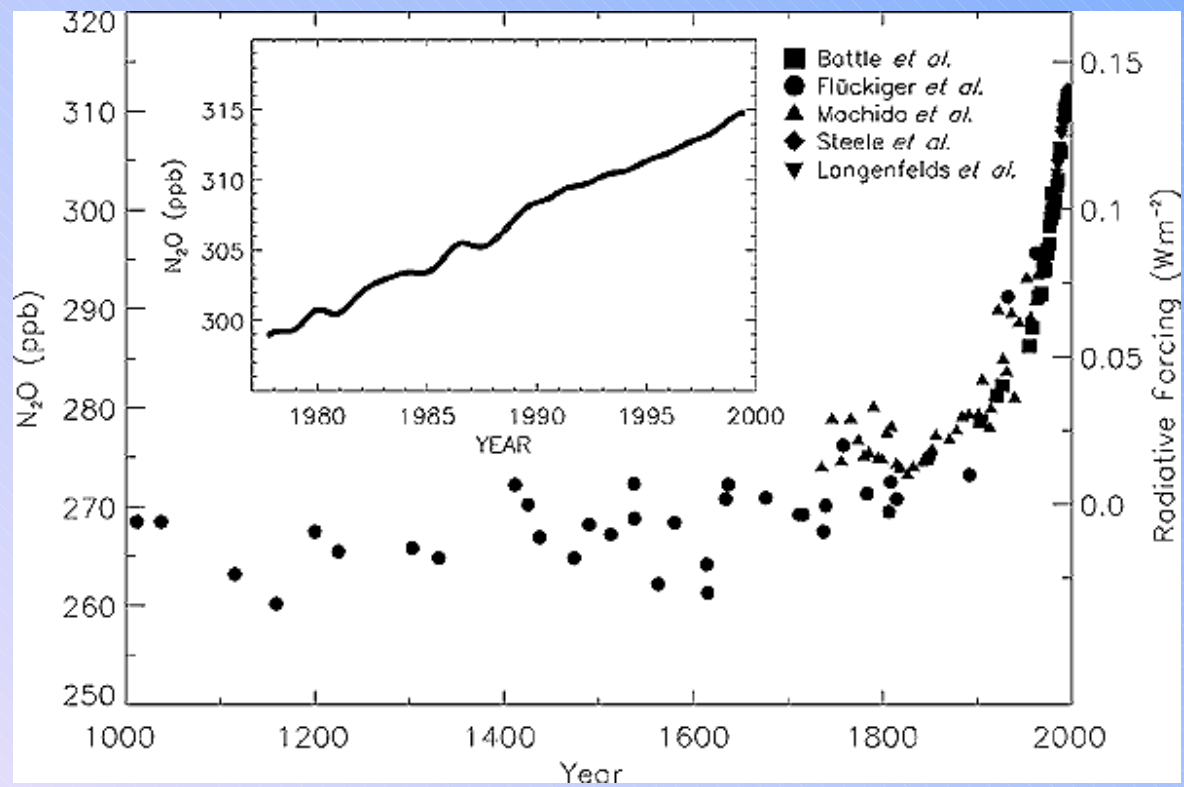


Trendy – O₃

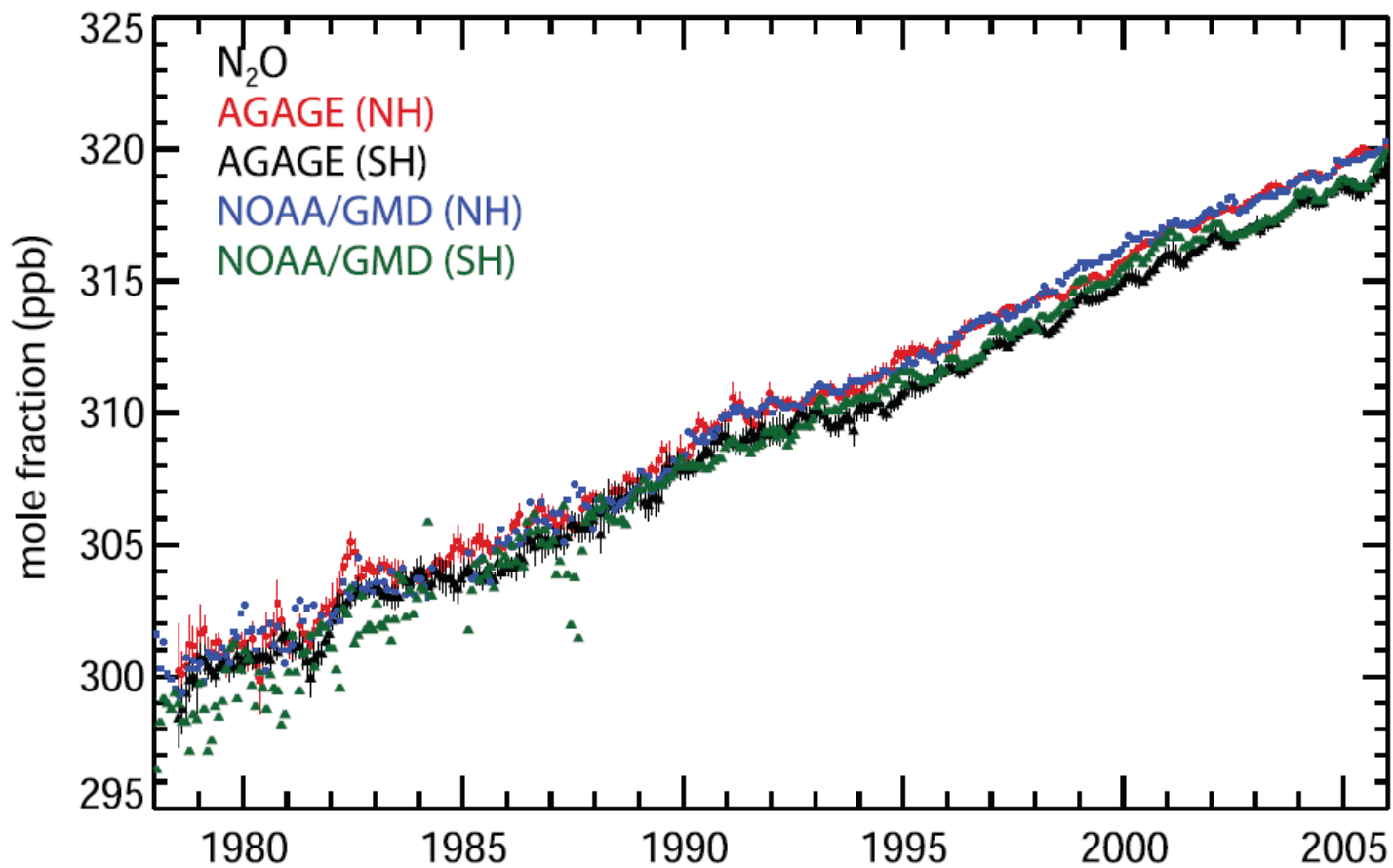


Wysoka reaktywność
Duża zmienność lokalna
Nieznane stężenia przedindustrialne

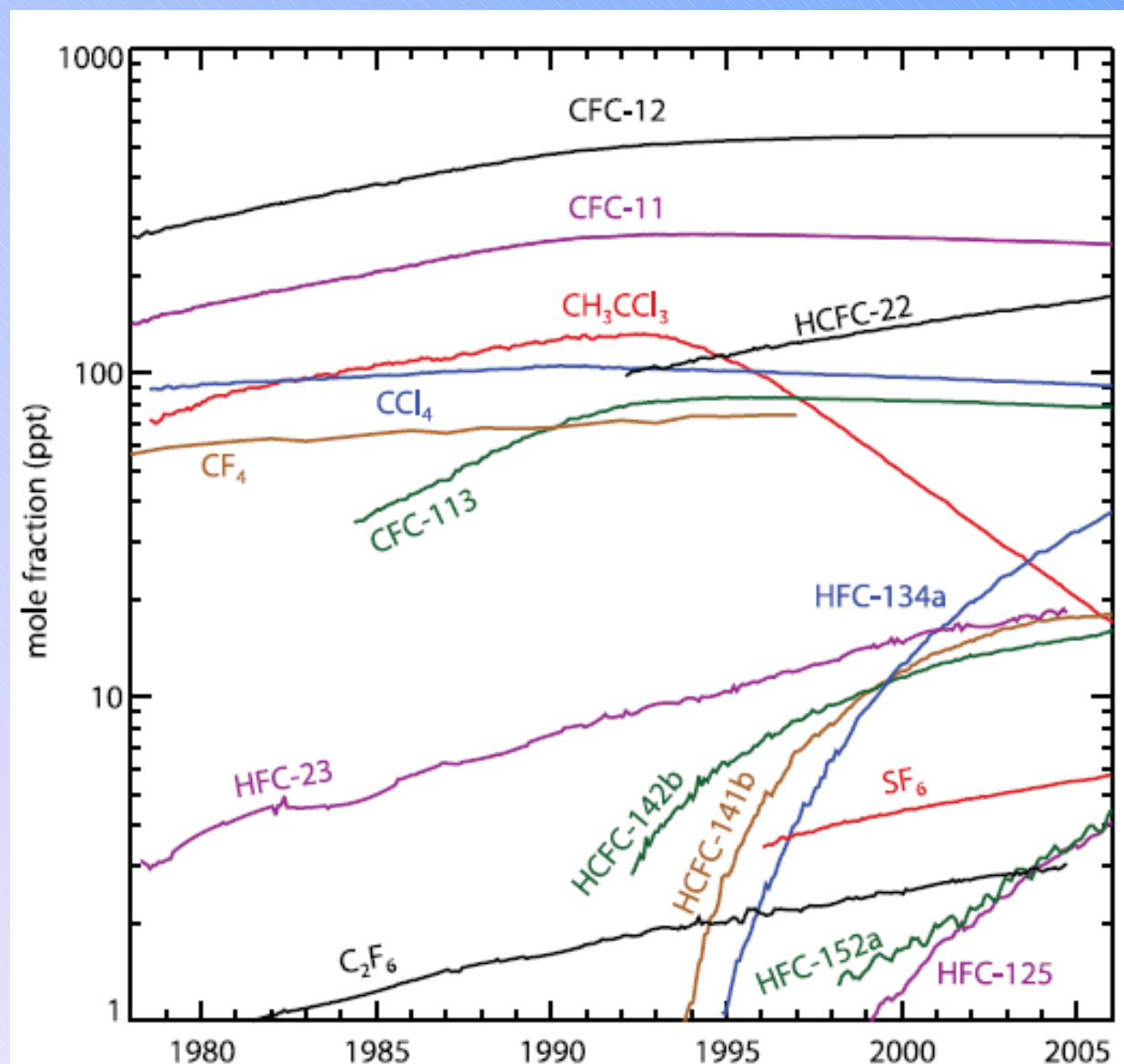
Trendy - N₂O



Trendy – N₂O



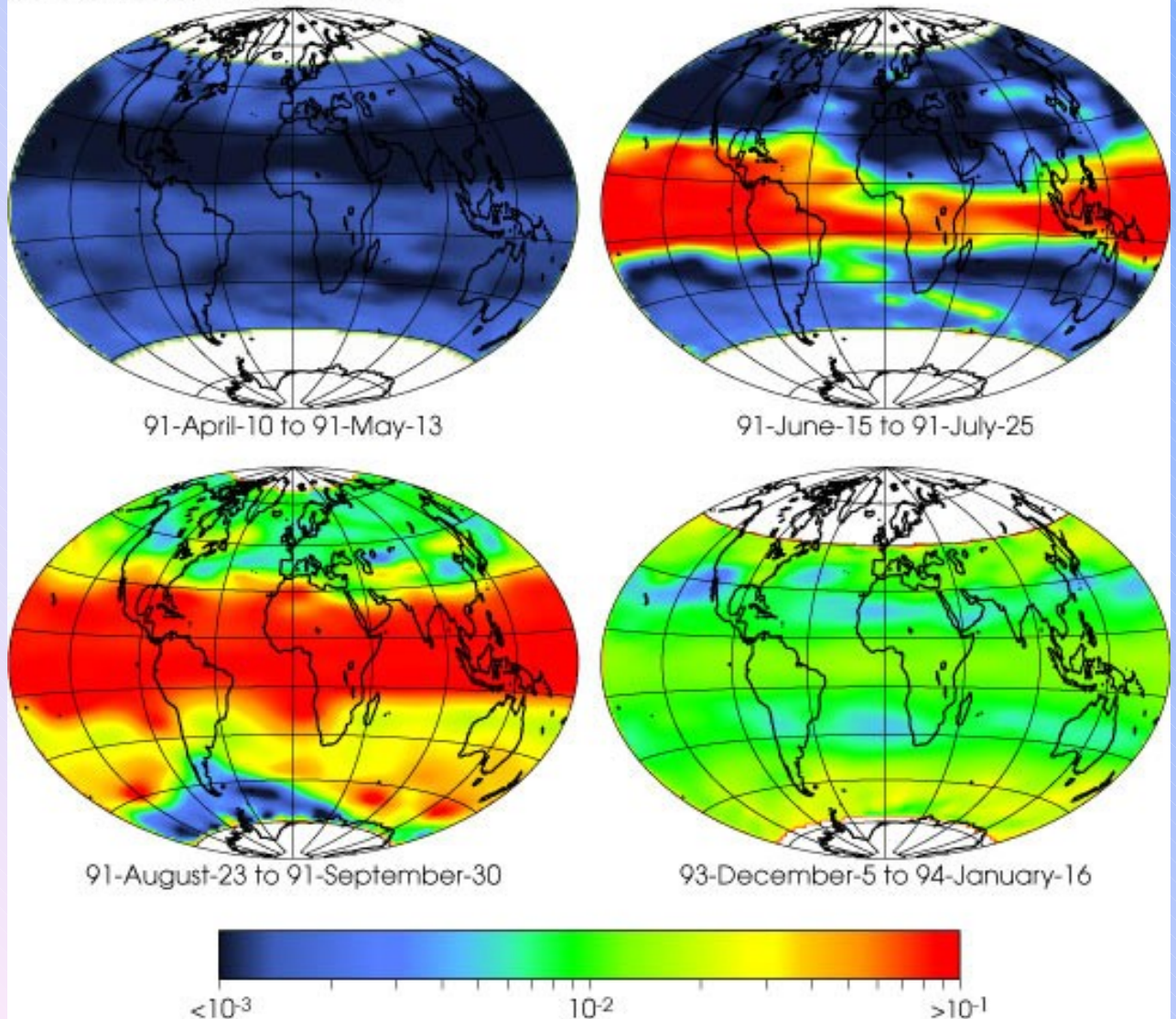
Trendy – gazy halogenowe

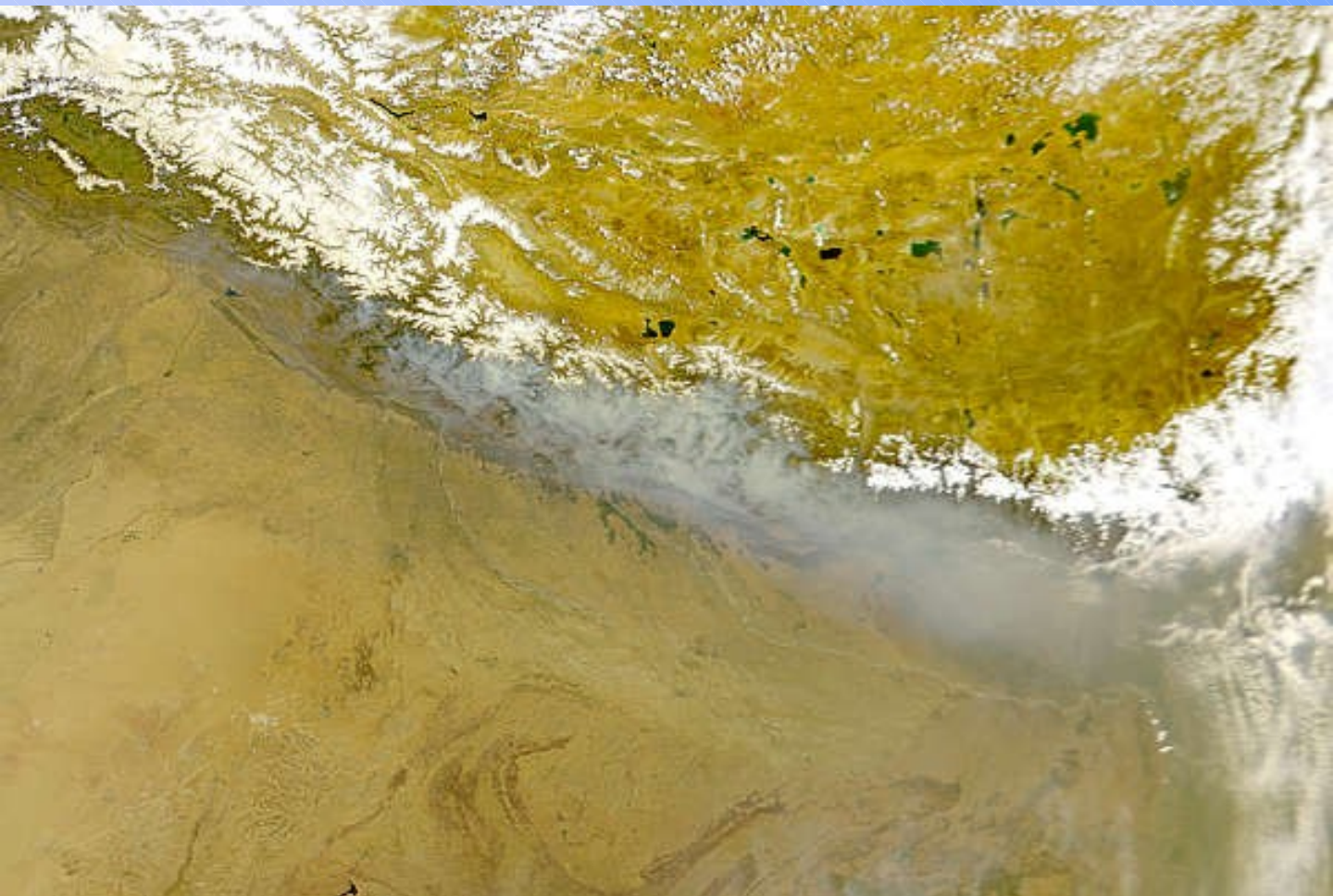


Aerozole

Rola aerozoli w systemie klimatycznym nie jest poznana tak dobrze jak dla substancji gazowych. Zagadnienie to stanowi przyszłość badań w dziedzinie antropogenicznych zmian klimatu.

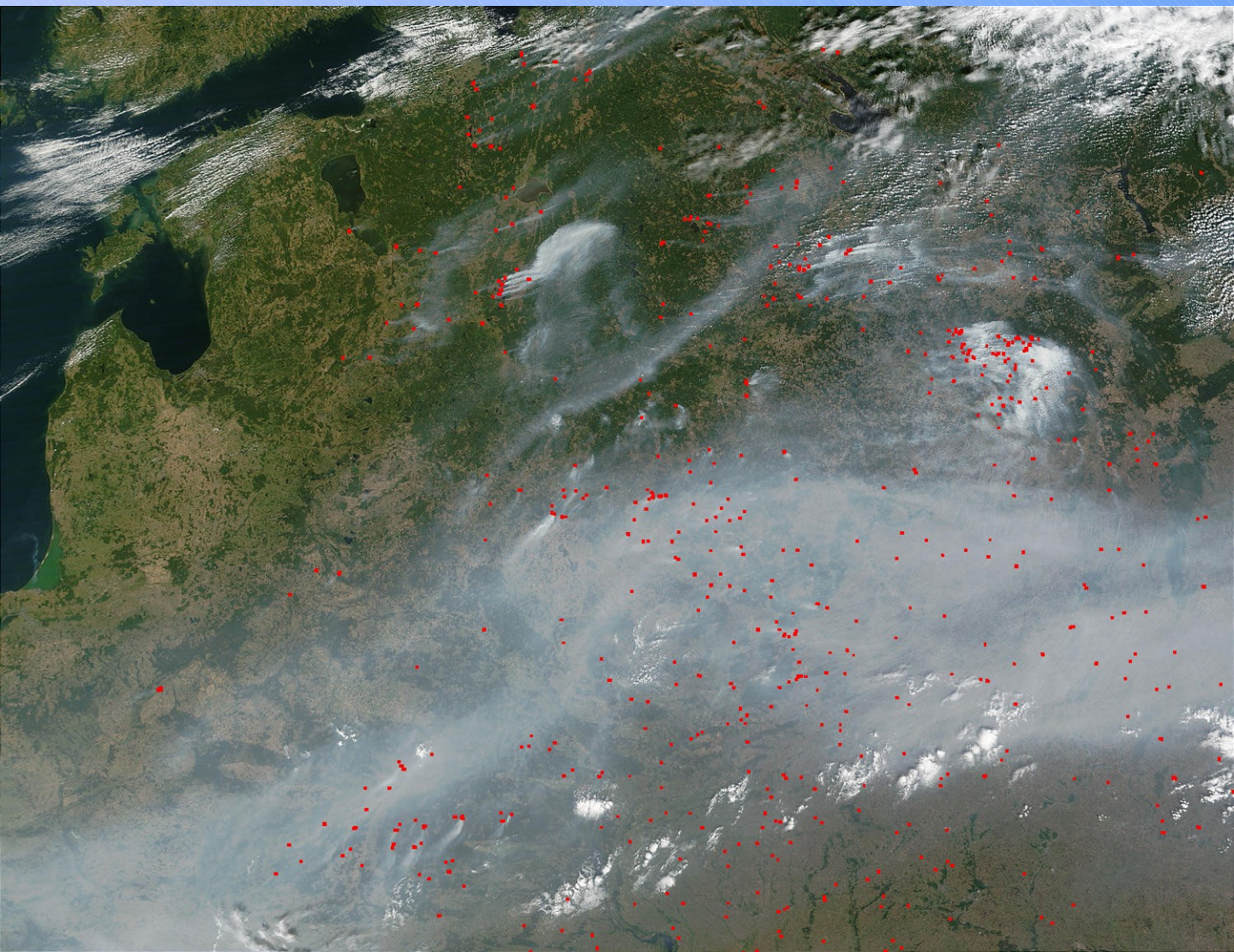
SAGE II 1020 nm Optical Depth





<http://www.visibleearth.nasa.gov>

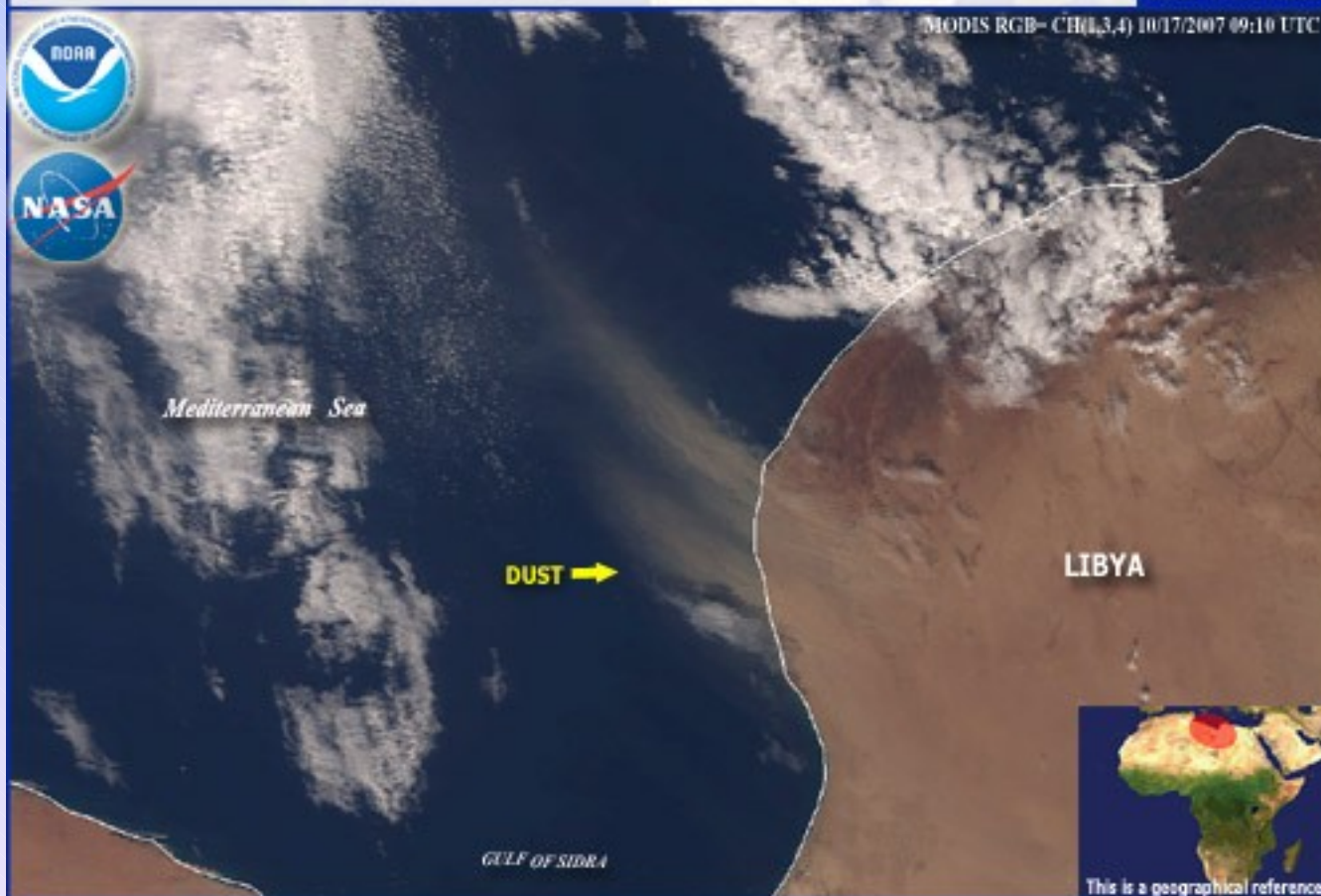




This MODIS satellite image at 17/0910 UTC shows dust blowing off the coast of Libya over the Mediterranean Sea.

Credit: NOAA/NASA

MODIS RGB- CH1(3,4) 10/17/2007 09:10 UTC

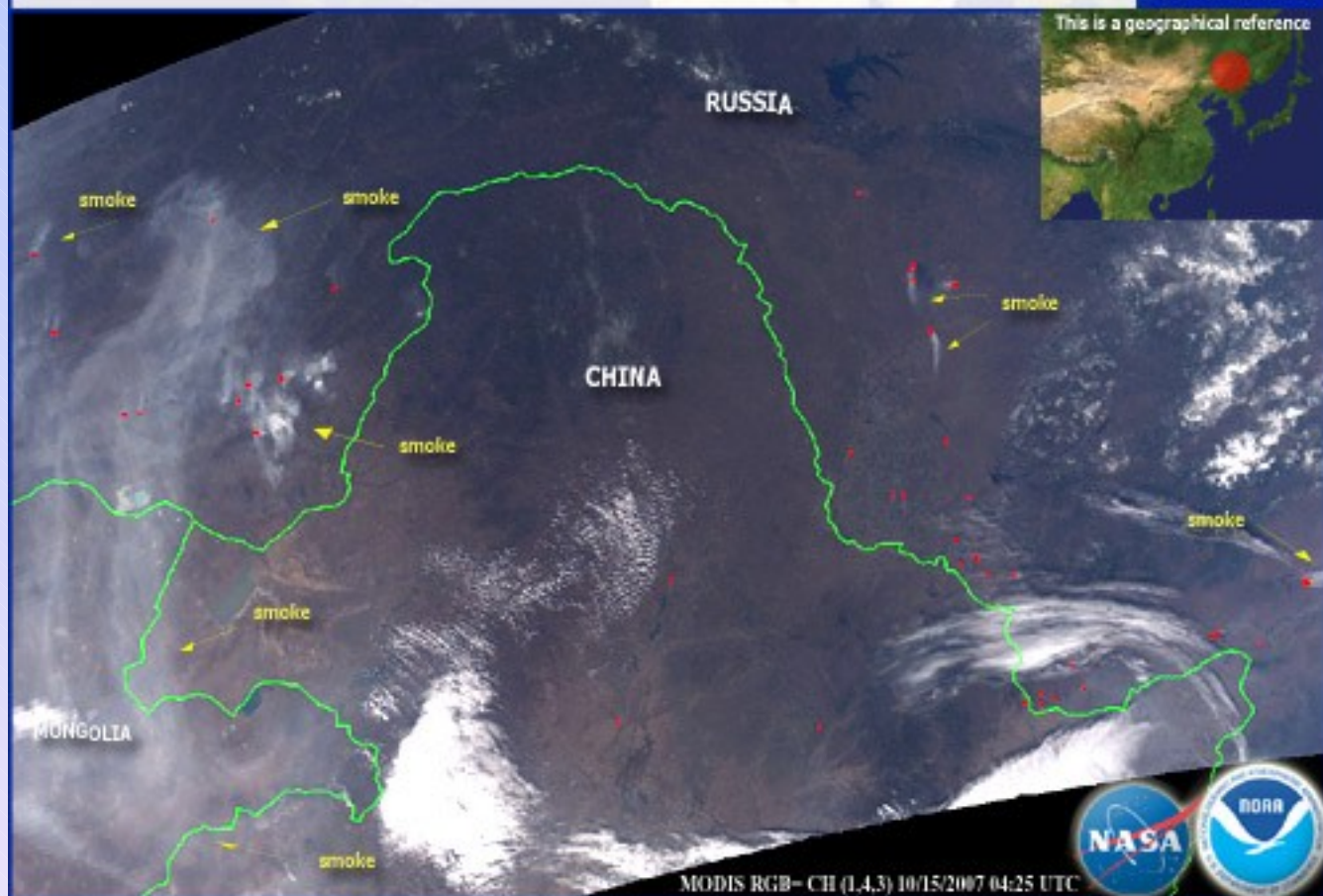


www.osei.noaa.gov

MODIS satellite image at 15/0425 UTC shows numerous smoke plumes from fires in southeast Russia and northeast China.

Credit: NOAA/NASA

This is a geographical reference



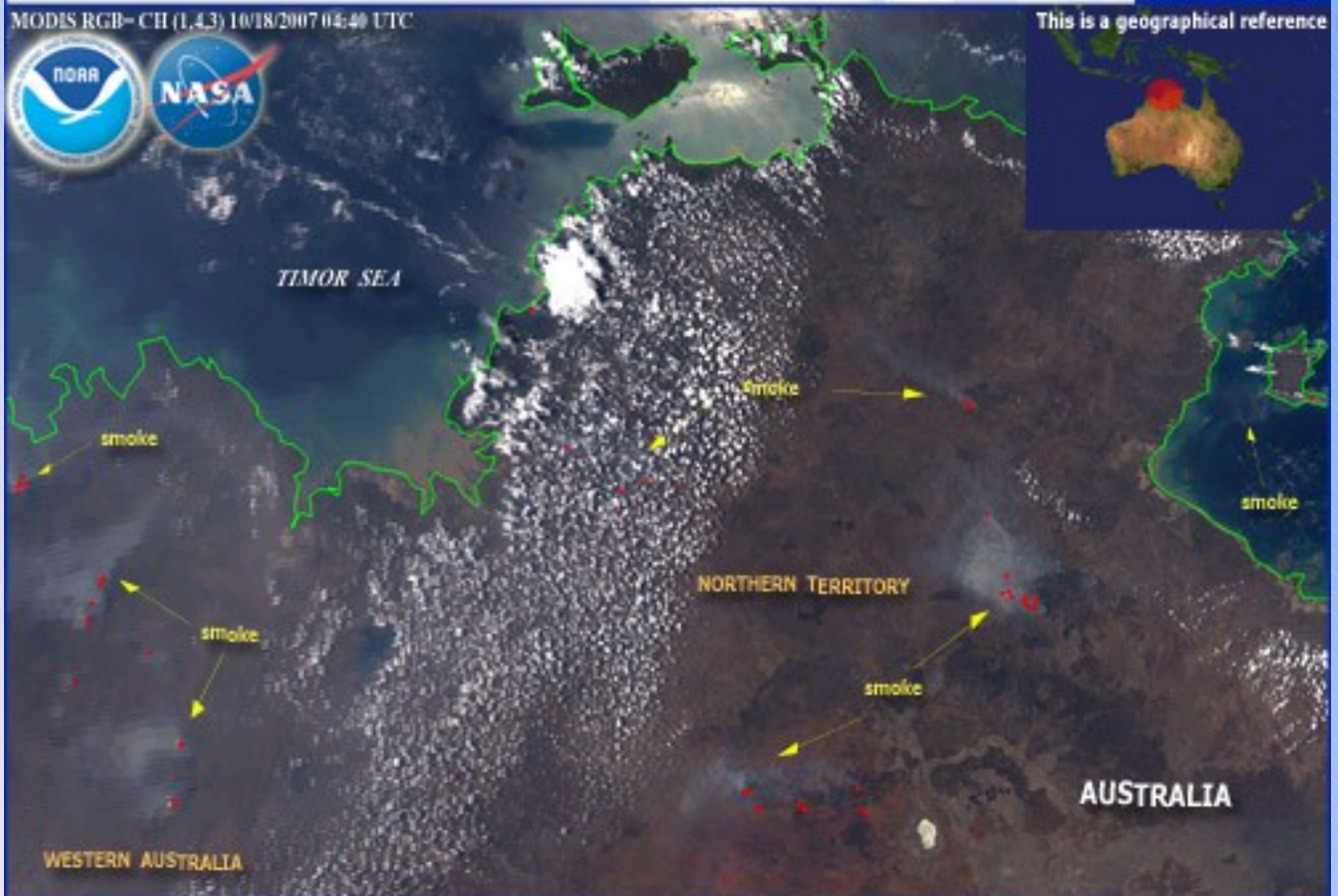
The MODIS satellite image taken at 18/0440 UTC shows numerous fires burning in parts of the Northern Territory and Western Australia.

Credit: NOAA/NASA

MODIS RGB-CH (1,4,3) 10/18/2007 04:40 UTC



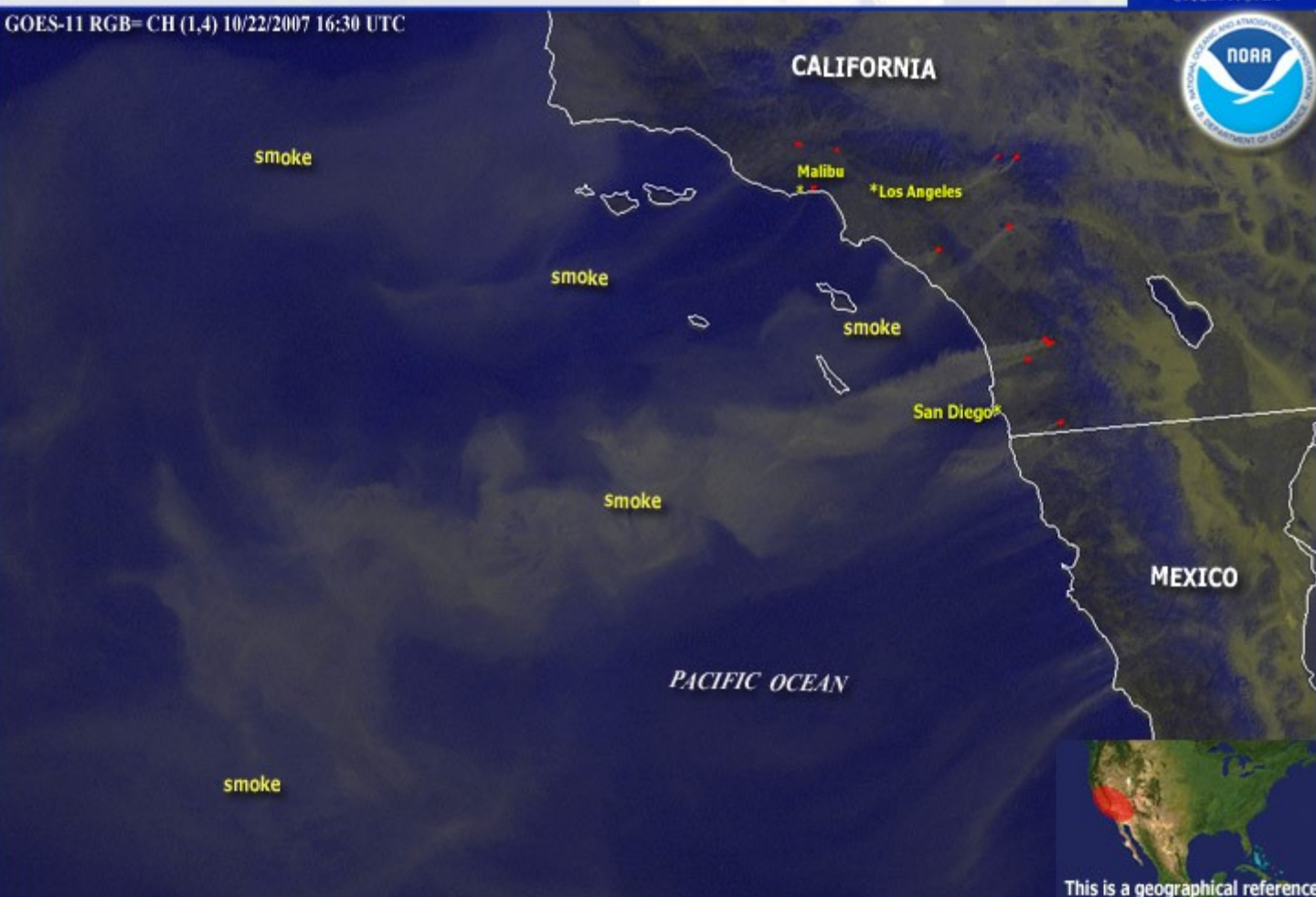
This is a geographical reference



This GOES-11 satellite image shows very dense smoke plumes from numerous fires in Santa Barbara, Ventura, Los Angeles, Orange, San Bernardino, Riverside and San Diego counties are moving westward into the Pacific Ocean. The extreme fires are being fanned by strong Santa Ana winds.

Credit: NOAA

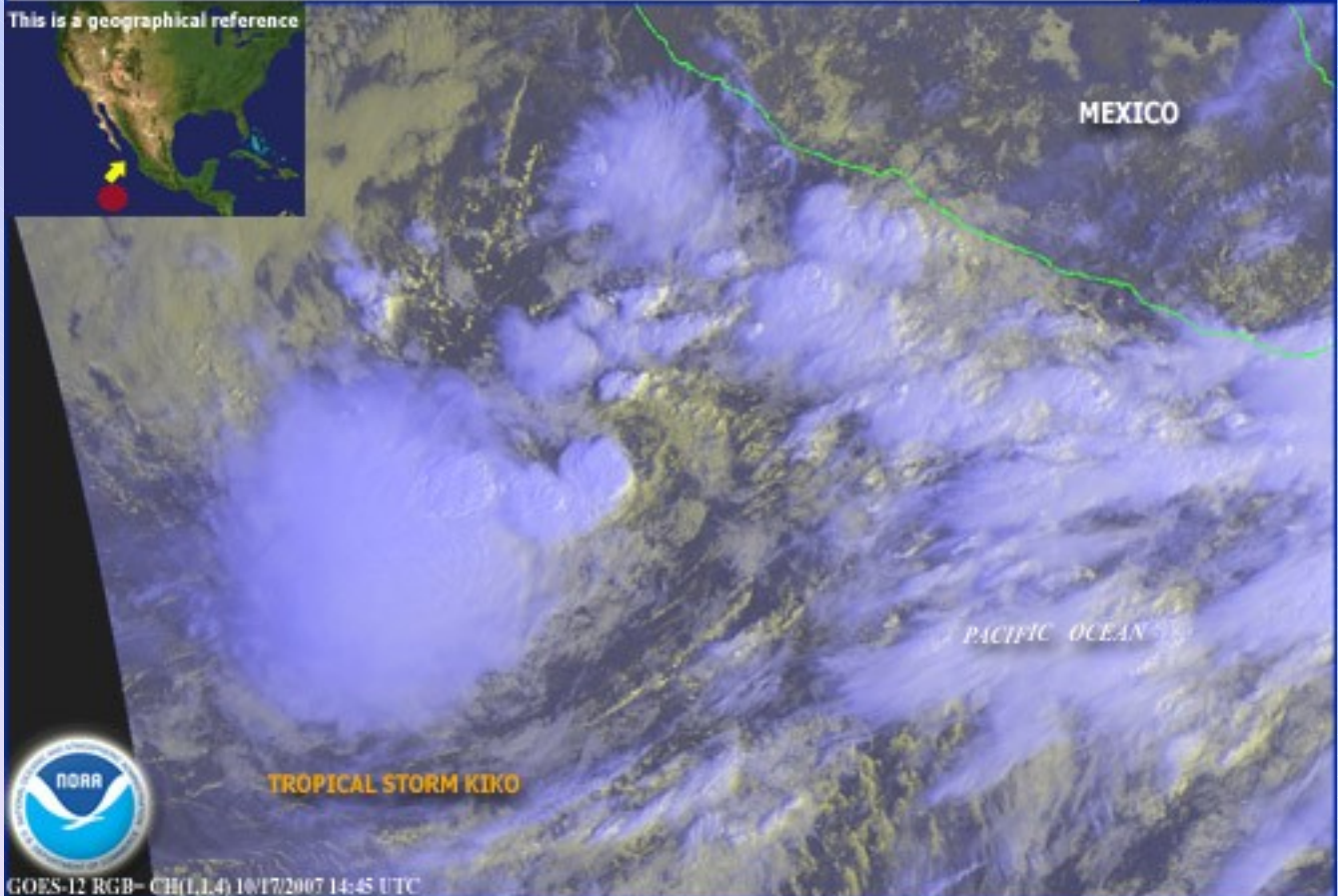
GOES-11 RGB= CH (1,4) 10/22/2007 16:30 UTC



Tropical Storm Kiko located near 14.8N 106.9W at 17/1500 UTC is moving northeast at 4 knots with maximum sustained winds of 35 knots with gusts to 45 knots.

Credit: NOAA

This is a geographical reference

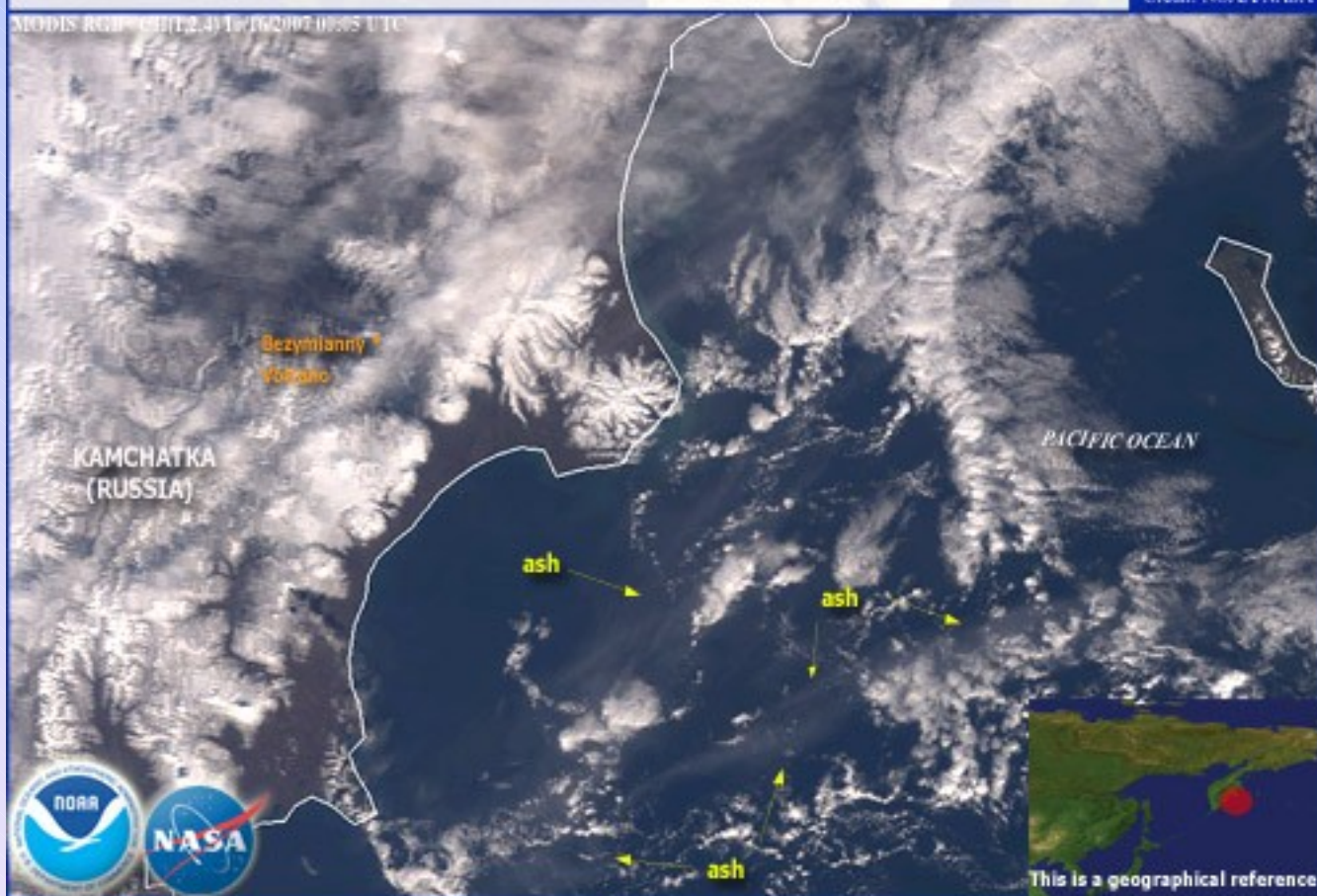


GOES-12 RGB-CH(1,1,4) 10/17/2007 14:45 UTC

MODIS satellite imagery taken at 16/0005 UTC shows ash moving over the Pacific Ocean (indicated by the yellow arrows) from the emission of Bezymianny Volcano located on the Kamchatka peninsula in Russia.

Credit: NOAA/NASA

MODIS RGB (CH1,2,3) 16/0005 UTC



Aerozole

Aerozole pierwotne:

pył mineralny

sól morską

cząstki biologiczne

sadza

Prekursory aerozoli wtórnych:

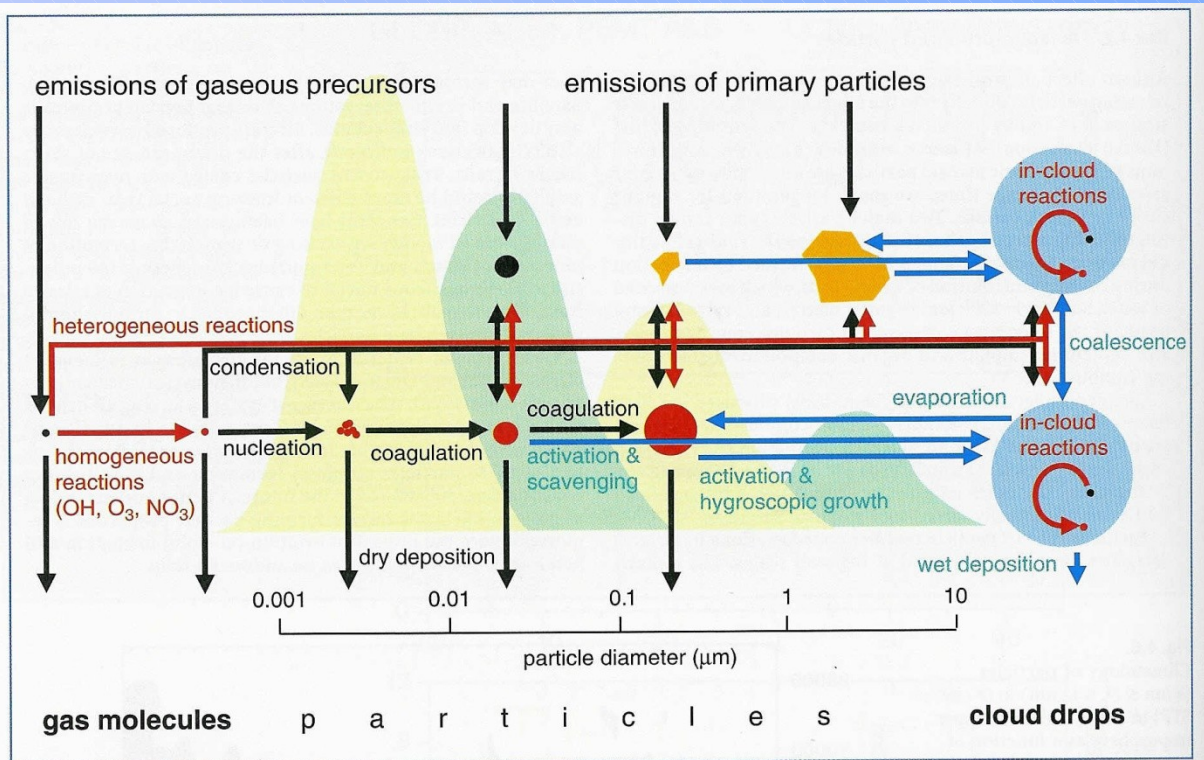
siarczek dwumetylu

SO_2

NH_3

VOC

Aerozole



Aerozole w systemie klimatycznym

Aerozole wpływają na bilans radiacyjny **bezpośrednio** i **pośrednio**, poprzez wpływ na powstawanie i właściwości chmur.

Skala i znak tych wpływów są zmienne.

Obecna wiedza na temat udziału aerozoli w bilansie energetycznym Ziemi jest niepełna.

Aerozole w systemie klimatycznym

Bezpośredni wpływ aerozoli:

odbijanie promieniowania w kosmos,
absorbowanie energii promieniowania
słonecznego.

Pośredni wpływ aerozoli zachodzi poprzez ich udział w powstawaniu chmur oraz wpływ na ich własności.

Ten globalny efekt zachodzi poprzez
procesy działające w skali
mikrometrów i sekund.

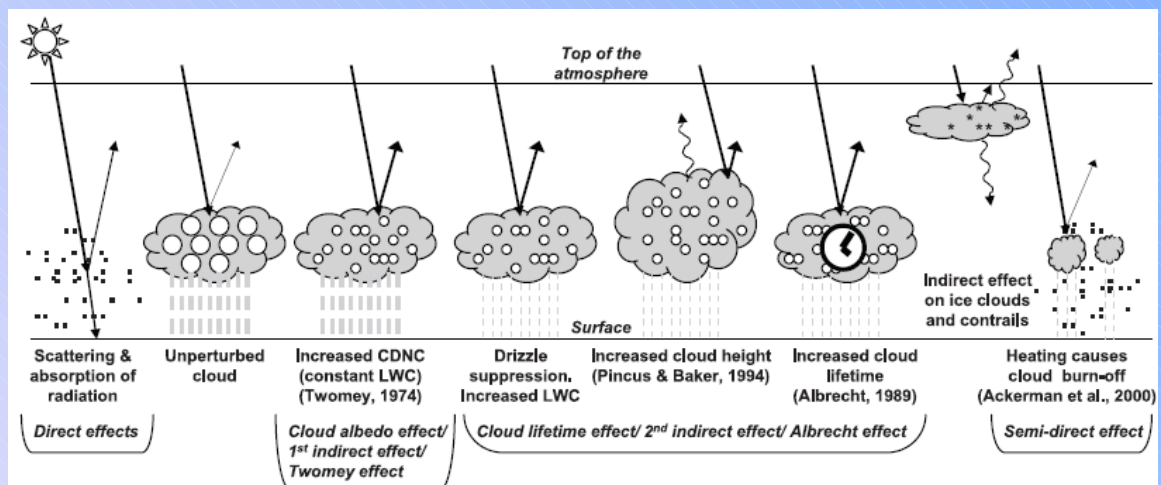
Aerozole w systemie klimatycznym

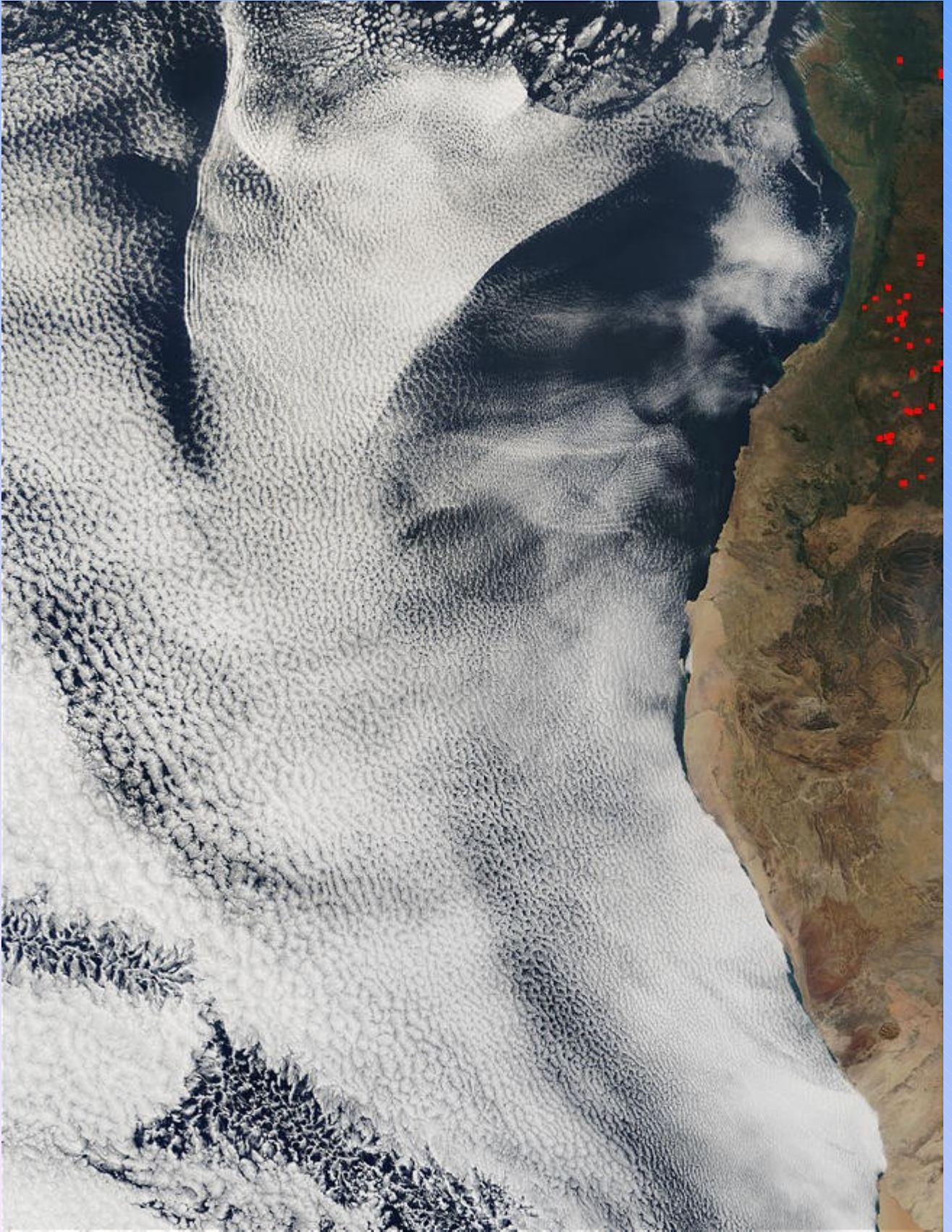
Pośredni wpływ aerozoli na bilans energii zachodzi poprzez związki pomiędzy:
własnościami aerozoli,
koncentracją kropli w chmurze,
albedo chmury.

Wzrost koncentracji aerozoli prowadzi do wzrostu koncentracji kropli a to do zwiększenia albedo.

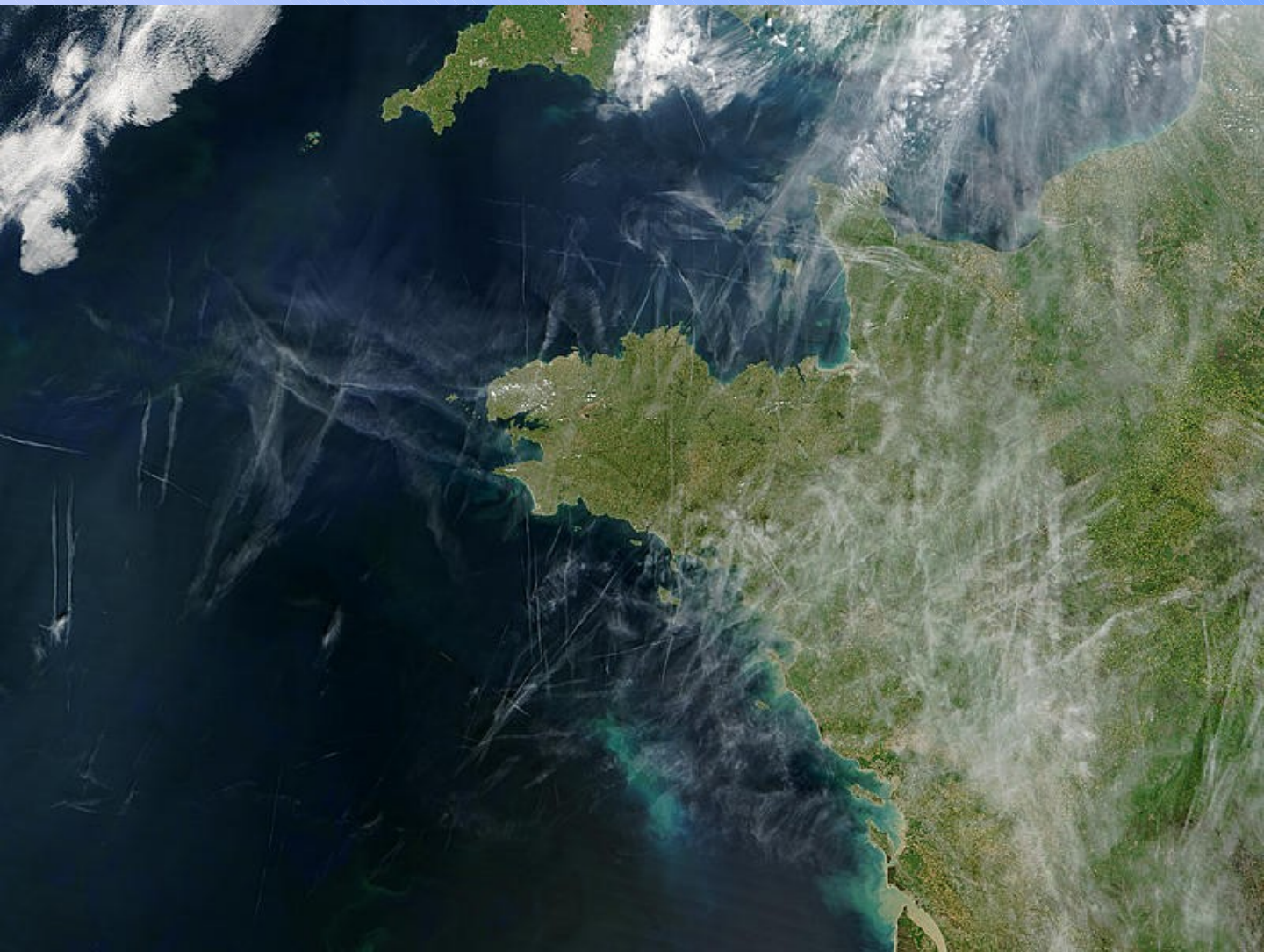
Największy udział w pośrednim efekcie mają prawdopodobnie **stratokumulusy** oceaniczne, ale również **cirrusy** mogą być pod wpływem antropogenicznych aerozoli/

Aerozole w systemie klimatycznym





Smugi kondensacyjne



Smugi kondensacyjne

- pułap 9 – 12 km
- dwa typy cząstek:
 - 5 – 10 nm powstające w wyniku schładzania i rozcieńczania gazów spalinowych (H_2O , H_2SO_4 , substancje organiczne);
 - 20 – 60 nm cząstki sadzy powstające w wyniku spalania, węglowe aglomeraty zawierające siarkę i substancje organiczne.
- mogą się przekształcać bezpośrednio w cirrusy
- cząstki sadzy mogą sprzyjać powstawaniu cirrusów

Zmiany sposobu użytkowania powierzchni lądów

Wpływają na klimat poprzez zmiany bilansu energetycznego oraz pośrednio, wywołując zmiany składu chemicznego atmosfery

Zmiany sposobu użytkowania powierzchni lądów

Wpływ na skład chemiczny atmosfery

wylesienie w tropikach – wzrost CO_2

zalesienia w strefie umiarkowanej

(+ „nawożenie” CO_2)

– spadek CO_2

rolnictwo – wzrost CH_4

- wzrost N_2O (nawozy

azotowe)