

Zmiany klimatu w holocenie – ostatnie 11 700 lat

Leszek Marks

15.10.2014

odślon: 25757

ZMIANY KLIMATU HOLOCEN

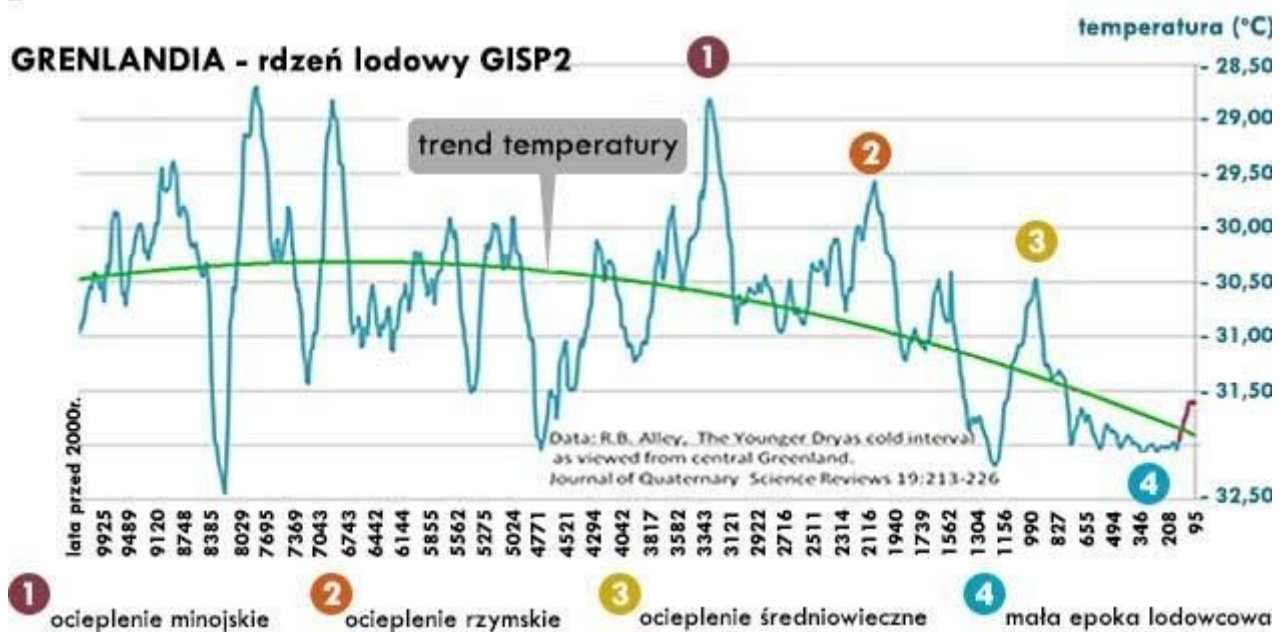
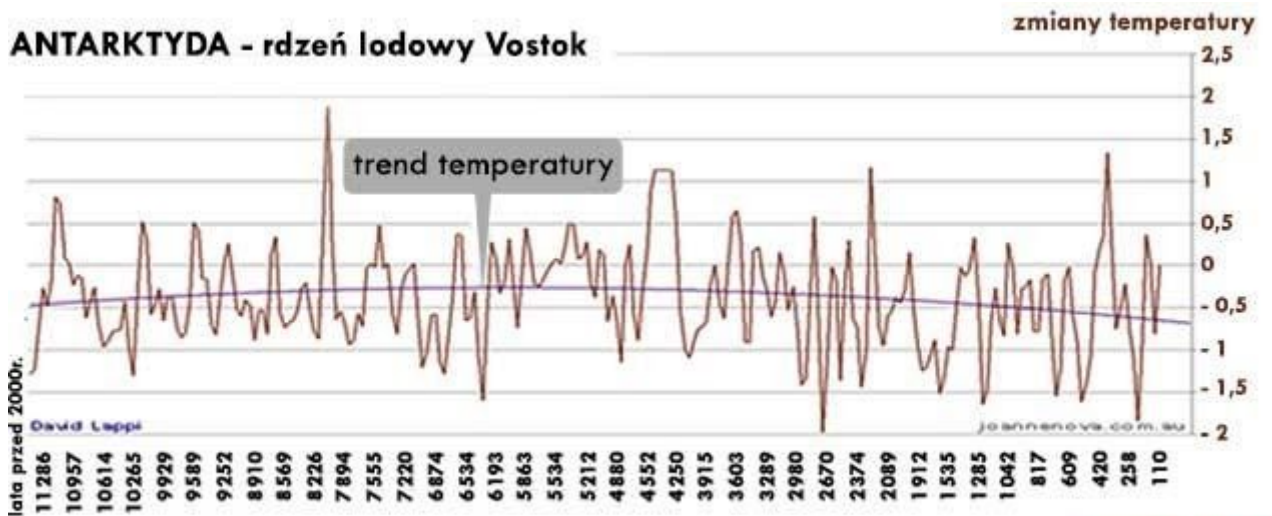
Zmiany klimatu w najmłodszej epoce w dziejach ziemi, choć niewielkie, miały znaczący wpływ na historię ludzkości - stawały się przyczyną upadku, ale i rozkwitu pierwszych cywilizacji.

Holocen, czyli ostatnie 11 700 lat, jest okresem o stosunkowo stabilnych warunkach klimatycznych, chociaż występowały w nim wielokrotnie ocieplenia i ochłodzenia różnej długości. Nie wszystkie epizody klimatyczne były jednakowe na całej kuli ziemskiej, ponieważ na zmiany temperatury nakładały się zmiany wilgotności. Zmiany klimatu zaznaczały się przede wszystkim w określonych szerokościach geograficznych, najslabiej zwykle w **strefie międzyzwrotnikowej**.

Te pierwszorzędne zmiany klimatu na Ziemi, będące wypadkową zmian temperatury i wielkości opadów, były w pierwszej kolejności stymulowane zmianami cyrkulacji wód oceanicznych i mas powietrza, na które z kolei wpływ miały zmiany orbity Ziemi i położenia jej osi. Jednak najważniejszym czynnikiem sterującym klimatem na Ziemi była ilość promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi. Nie można również pomijać znaczenia wydarzeń ekstremalnych, przede wszystkim wybuchów wulkanów, które okazjonalnie powodowały istotne zakłócenia warunków klimatycznych, przede wszystkim przez okresowe wyrzucanie pyłów wulkanicznych do atmosfery, a zatem ograniczanie ilości promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi.

Temperatury zapisane w lodowcach

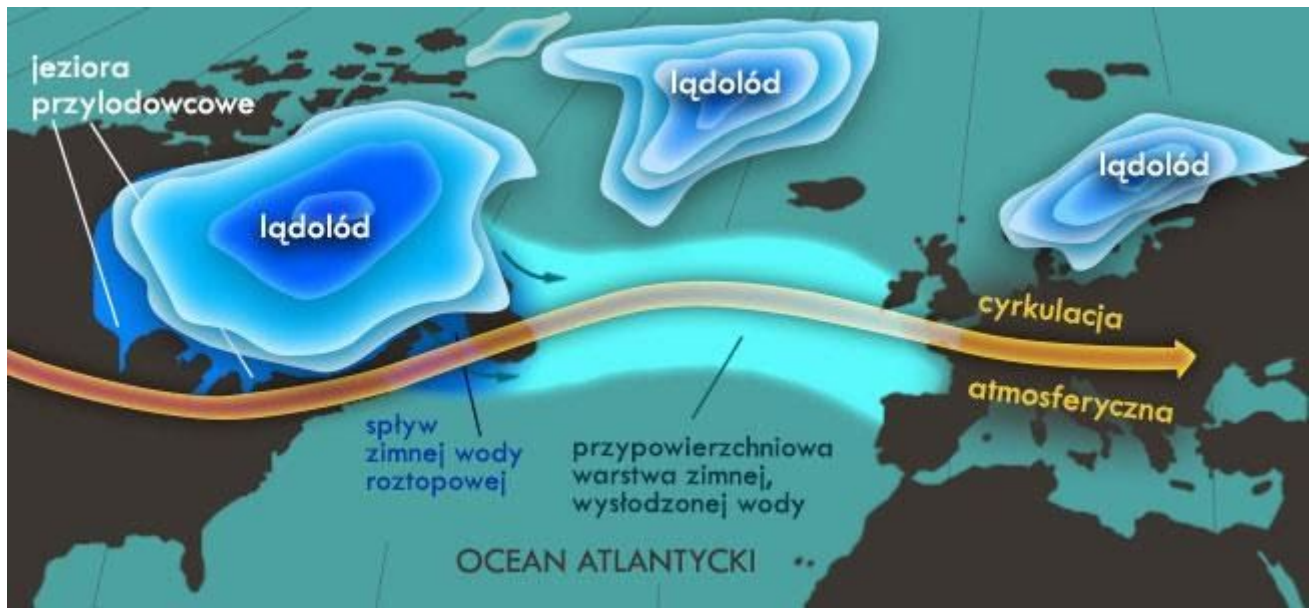
Najlepszym rejestrem zmian temperatury w holocenie są rdzenie lodowe pobrane z lodowców, w których wzajemna relacja izotopów tlenu (^{18}O i ^{16}O), wynikająca z ilości wody zmagazynowanej w pokrywach lodowych, pozwala określać średnią globalną temperaturę w przeszłości i to w ściśle określonym czasie. Skład powietrza występującego w takich rdzeniach lodowych pozwala również wnioskować o dawnym składzie gazowym atmosfery ziemskiej.



Zmiany temperatury w rejonie biegunów w holocenie, określone na podstawie stosunku izotopów tlenu w lodzie lodowcowym, wg danych R.B. Alley'a

Wczesny holocen (11 700-8000 lat temu)

Z początkiem holocenu w Europie i Ameryce Północnej klimat ocieplał się i w umiarkowanych szerokościach geograficznych postępował zanik łądolodów. Jednak proces ten toczył się powoli – niektóre łądolody i duże czapy lodowe stopiły się dopiero 8000–7000 lat temu, co miało decydujące znaczenie dla ówczesnej cyrkulacji atmosferycznej, a tym samym i dla klimatu na Ziemi. Dlatego wczesny holocen (11 700–8000 lat temu) charakteryzuje się nawrotami zimna (np. 8200 lat temu), wynikającymi ze zróżnicowanego wzajemnego oddziaływania oceanu i zanikających czap lodowych półkuli północnej.



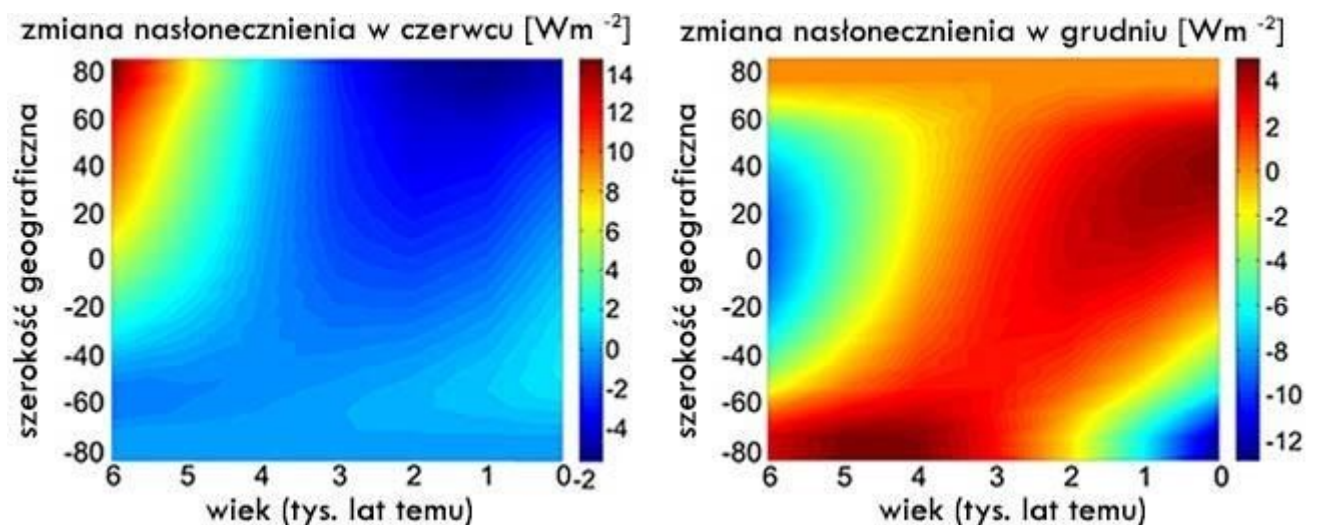
Gwałtowne sptywanie wód roztopowych zgromadzonych w wielkich zbiornikach przylodowcowych spowodowało wychłodzenie wód powierzchniowych w północnym Atlantyku, a tym samym osłabienie Prądu Zatokowego i ochłodzenie około 8200 lat temu (wydarzenie Bonda 5)

Środkowy holocen (8000–3500 lat temu)

Środkowy holocen jest często określany jako optimum klimatyczne, jednak przypisywany temu okresowi klimat ciepły występował przede wszystkim w wyższych szerokościach geograficznych, natomiast w innych regionach (np. w obszarze śródziemnomorskim) zaznaczyło się ochłodzenie.

Młodszy holocen (ostatnie 3500 lat)

Klimat młodszego holocenu stopniowo ochładzał się, głównie w wyniku zmian parametrów orbity Ziemi, spowodowanych przez tzw. cykle Milankoviča.



Zmiany nasłonecznienia Ziemi od 6000 lat temu do dziś wskutek zmian orbity Ziemi (Beer & Wanner, 2008); letnie nasłonecznienie półkuli północnej stopniowo się zmniejsza

W tym czasie wielokrotnie zachodziły oscylacje lodowców górskich, które stopniowo powiększały się, by osiągnąć maksymalny zasięg podczas małej epoki lodowej w latach 1400–1850 n.e. Z powodu odradzania się lodowców późny holocen bywa niekiedy określany jako neoglacjał, a spadek temperatury w tym czasie dochodził w niektórych regionach do 0,5–1°C. W Europie epizody zwiększonej wilgotności sprzyjały narastaniu torfu, a ich początki datowane są na lata: 2300, 1200 i 600 p.n.e. oraz 400 i 1200 n.e., co skutkowało powiększaniem obszarów zabagnionych, połączonym z obumieraniem rosnących na nich drzew.

Okresy klimatyczno-roślinne von Posta

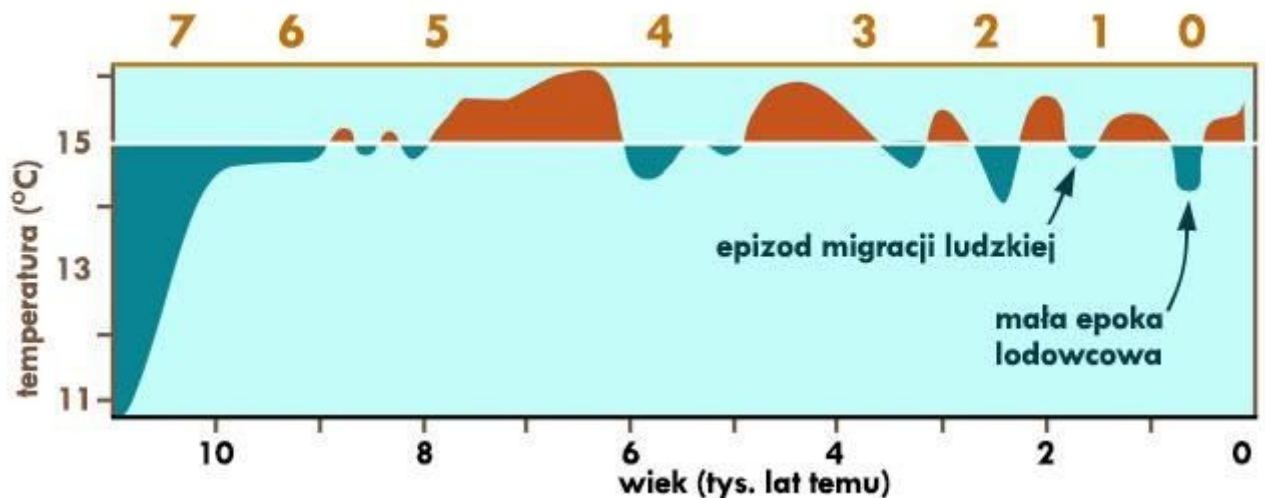
Przez wiele lat rozwijała się burzliwa dyskusja dotycząca klimatu holocenu, wynikająca z różnych koncepcji opartych na badaniach szczątków roślin występujących w osadach jeziornych i bagiennych. Schemat Blytta-Sernandera (od nazwisk dwóch jego autorów), zaprezentowany w ostatniej dekadzie XIX wieku, zawierał naprzemienne okresy suche i wilgotne, natomiast nieco późniejszy schemat Gunnara Anderssona (początek XX wieku) przedstawiał bardziej jednolitą krzywą stopniowego wzrostu temperatury, aż do osiągnięcia maksimum termicznego w środku holocenu, po którym nastąpił spadek temperatury.

Oba te poglądy pogodził von Post (1946), który wykorzystując nową metodę analizy pyłkowej, zrekonstruował klimat holocenu, w którym uwzględniono zarówno zmiany temperatury, jak i wielkości opadów. Powstał wówczas, dla północnej części Europy wykorzystywany do dzisiaj, podział holocenu zawierający następujące okresy klimatyczno-roślinne:

- preborealny (11 700–10 200 lat temu): temperatura stopniowo rosła, ale pod koniec okresu nastąpiło ochłodzenie;
- borealny (10 200–8900 lat temu): temperatura była na ogół około 2°C wyższa niż dziś, suchość częściowo spowodowana większym kontynentalizmem;
- atlantycki (8900–5700 lat temu): optimum klimatyczne z maksymalną temperaturą o 2–3°C wyższą niż obecnie i dużą wilgotnością;
- subborealny (5700–2600 lat temu): klimat suchy i ciepły, lecz chłodniejszy niż poprzednio;
- subatlantycki (od 2600 lat temu): chłodny i wilgotny.

Zimne wydarzenia Bonda

W rejonie północnego Atlantyku stwierdzono w holocenie cykliczne raptowne ochłodzenia, powtarzające się co 1470 ± 500 lat i nazwane od nazwiska ich odkrywców wydarzeniami Bonda. Ich przyczyny nie są jednoznaczne; przyjmuje się, że mogły być spowodowane m.in. zmianami radiacji słonecznej, reorganizacją cyrkulacji atmosferycznej, wpływem cyklu księżycowego oddziałującego na wielkość pływów albo zmianą cyrkulacji w północnym Atlantyku.

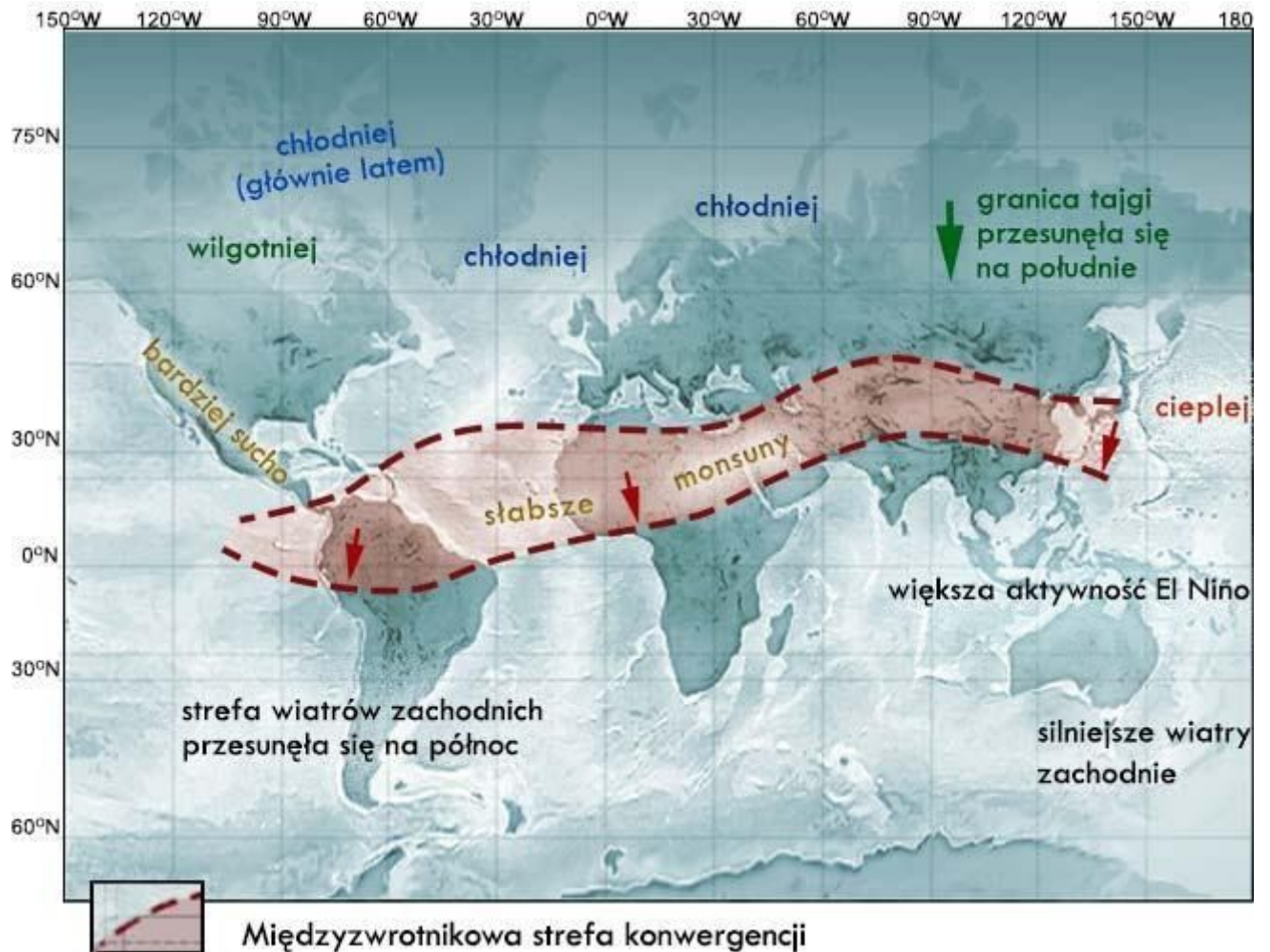


Temperatura holocenu i wydarzenia Bonda (Gregory, 2010)

Wydarzenia Bonda stwierdzono szczególnie w rejonie północnego Atlantyku, ale są one synchroniczne również z okresami osłabienia monsunów azjatyckich, okresami suszy na Bliskim Wschodzie oraz transformacją zbiorowisk roślinnych w Ameryce Północnej. Wyróżniono 9 wydarzeń Bonda (oznaczonych liczbami od 8 do 0), które powiązano z wyraźnymi, globalnymi zmianami klimatu oraz rozwojem i upadkiem cywilizacji:

- 8 – 11 100 lat temu – krótkotrwałe ochłodzenie.
- 7 – 10 300 lat temu – krótkotrwałe ochłodzenie.
- 6 – 9400 lat temu – transgresja lodowców w Norwegii, zimny epizod w Chinach.
- 5 – 8200 lat temu – największe, raptowne ochłodzenie w holocenie.
- 4 – 5900 lat temu – przybycie nomadów (ludów pasterskich i zbieracko-łowieckich) na Środkowy Wschód wskutek zmian klimatu.
- 3 – 4200 lat temu – międzyzwrotnikowa strefa konwergencji (czyli pas kontaktu pasatów północno-wschodnich i południowo-wschodnich) przemieściła się ku południowi, powodując przesunięcie w tym samym kierunku strefy występowania monsunów, co w rezultacie skutkowało m.in. pustynnieniem obszaru Sahary oraz upadkiem Starego Państwa w Egipcie, imperium akadyjskiego w Mezopotamii i państwa Harapy w dolinie Indusu.
- 2 – 2800 lat temu (900–300 lat p.n.e) – zimna epoka żelaza.
- 1 – 1400 lat temu (530 r. p.n.e do 900 r. n.e.) – tzw. ciemne stulecia, kiedy Morze Czarne zamarzało (w latach 800, 801 i 829 n.e.), lód tworzył się na Nilu, a opady śniegu występowały w Europie śródziemnomorskiej i na wybrzeżu Chin. Klęska głodu (późne lata 530. n.e.), epidemie (542–545 n.e.) oraz długie i silne susze w Europie (300–800 n.e.) doprowadziły do wędrówki ludów i napięć społecznych; w Ameryce Środkowej wieloletnie susze – powtarzające się co 40-50 lat (około 760, 810, 860 i 910 r. n.e.) spowodowały upadek imperium Majów.
- 0 – 1400–1850 n.e. – mała epoka lodowa: lodowce górskie powiększały swoje zasięgi, a rzeki i kanały w Europie Zachodniej zamarzały zimą; powtarzające się klęski głodu, wojny, zarazy spowodowały drastyczne zmniejszenie zaludnienia w Europie. Lód morski wokół Islandii ograniczył komunikację, skutkując wyginięciem

Wikingów na Grenlandii, a chroniczny m.in. niedostatek zboża i chleba w końcu XVIII wieku doprowadził do rewolucji francuskiej).



Przemieszczenie międzyzwrotnikowej strefy konwergencji w okresie od 6000 lat temu do XVIII wieku (Wanner i in., 2008)



Jazda na łyżwach na wsi – obraz Hendricka Avercampa, ok. 1610 r. Źródło: <https://www.rijksmuseum.nl/>

Rozkwitowi cywilizacji sprzyjało ciepło

Pomiędzy zimnymi wydarzeniami Bonda występowały w holocenie okresy o klimacie szczególnie sprzyjającym rozwojowi społeczeństw ludzkich.

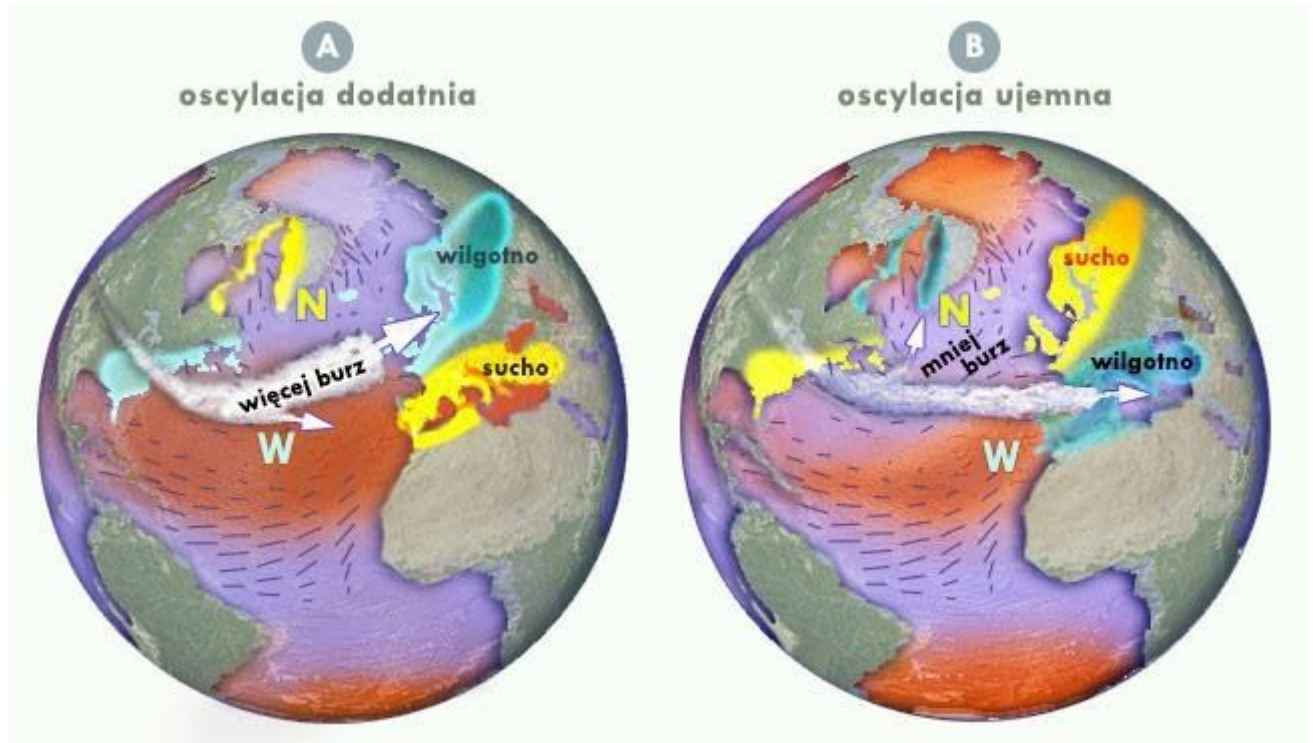
W czasie ocieplenia rzymskiego (300 p.n.e.–530 n.e.) drzewa cytrusowe i winorośle występowały w Anglii aż do Muru Hadriana, a drzewa oliwne rosły w dolinie Renu, Egipt dostarczał zboża dla Kartaginy, potem dla Rzymu, zaludnienie Anglii przekraczało 5,5 mln.

W czasie ocieplenia średniowiecznego (900–1400 n.e.) temperatura była wyższa o około 0,5–1°C od obecnej. Nastąpiła wówczas recesja lodowców, umożliwiającą działalność rolniczą wysoko w Alpach, a w Niemczech winnice występowały ponad 200 m wyżej niż obecnie. Zmniejszenie zasięgu lodu morskiego sprzyjało Wikingom w kolonizowaniu Islandii i Grenlandii oraz dotarciu do Nowej Fundlandii. Dostatek żywności w Europie doprowadził do dwukrotnego wzrostu zaludnienia i powstania sieci transportowej, nadmiar siły roboczej zatrudniano do budowy klasztorów, kościołów i uniwersytetów. Nastąpiła wówczas maksymalna ekspansja arabska oraz niespotykany wcześniej rozwój kultury i nauki.

Przyczyny zmian klimatu w regionie północnego Atlantyku

Dominującym trybem zróżnicowania klimatu w regionie północnego Atlantyku w holocenie jest północnoatlantycka oscylacja powietrza, która charakteryzuje się

dużymi wahaniami ciśnienia pomiędzy wyżem subtropikalnym (azorskim) a niżem polarnym (islandzkim), zachodzącymi w różnych skalach czasowych.



Oscylacja północnoatlantycka: a – dodatnia i b – ujemna. Źródło: <http://www.ideo.columbia.edu/NAO> by Martin Visbeck

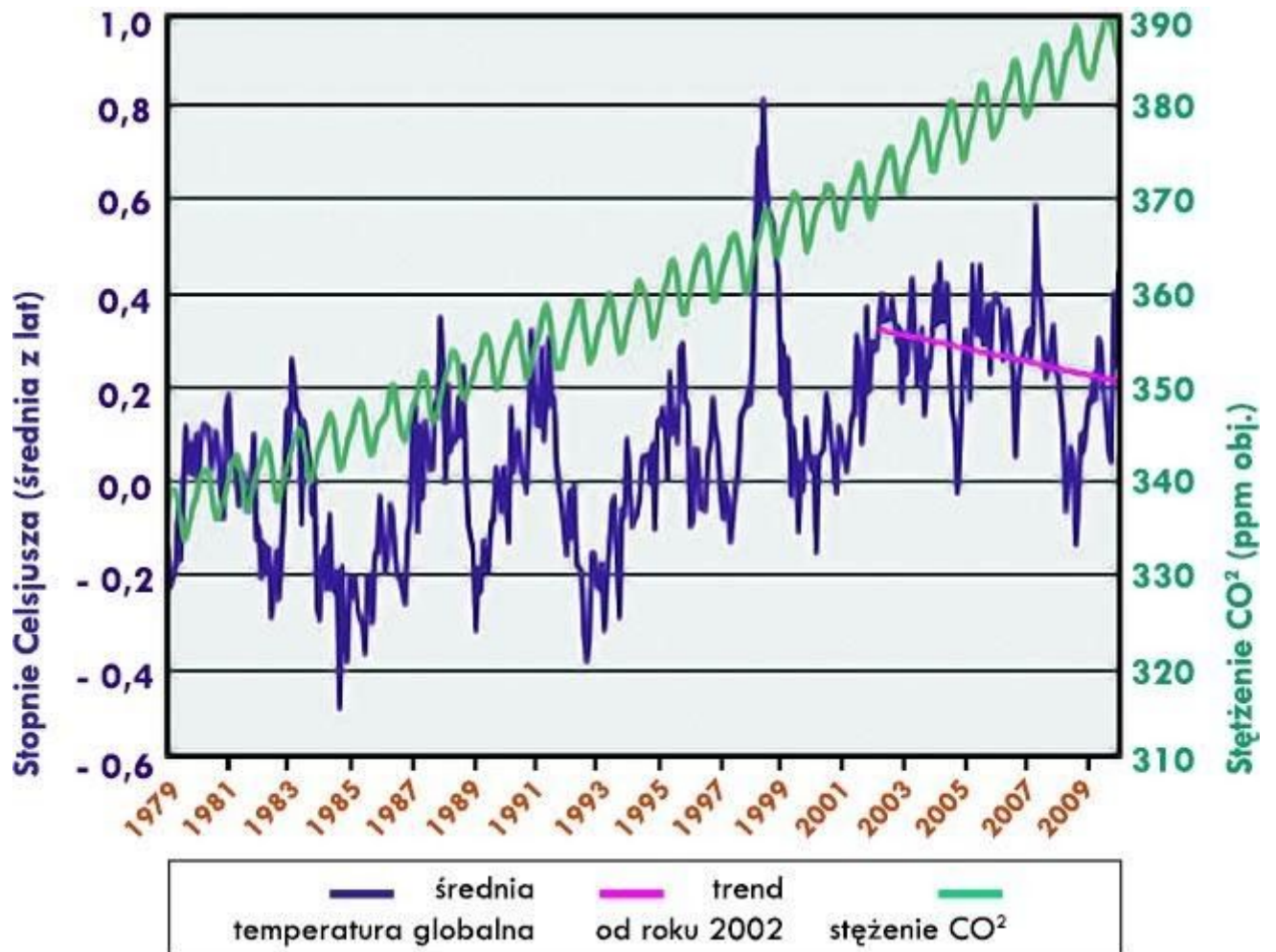
W czasie dodatniej oscylacji północnoatlantyckiej występuje silny wyż subtropikalny i głębszy niż polarny, a wynikający z tego zwiększony gradient ciśnienia skutkuje licznymi i silnymi burzami zimą bardziej na północy Europy. Powoduje to ciepłe i wilgotne zimy w Europie i na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych oraz zimne i suche zimy w północnej Kanadzie i na Grenlandii.

W czasie ujemnej oscylacji północnoatlantyckiej występuje słaby wyż subtropikalny i słaby niż polarny, a efektem ich wzajemnego oddziaływania jest mniejszy gradient ciśnienia, powodujący rzadsze i słabsze burze zimą, przemieszczające się równoleżnikowo w kierunku Europy. Dostarczają one wilgotnego powietrza do regionu Morza Śródziemnego i zimnego powietrza do Europy Północnej. Do wschodnich wybrzeży Stanów Zjednoczonych dociera powietrze bardziej zimne i występują intensywne opady śniegu, ale na Grenlandii zimy są łagodniejsze.

Zmiany klimatu w holocenie a zawartość CO₂ w atmosferze

Naturalne zmiany klimatu w holocenie nie wykazywały żadnej zależności od zawartości dwutlenku węgla w atmosferze, która przez większość holocenu była stabilna. Zwiększenie zawartości tego gazu w atmosferze w ostatnich kilkunastu

latach nie znajduje odzwierciedlenia w zmianach temperatury dowodząc, że zależy ona przede wszystkim od zmiennych czynników naturalnych.



Temperatura dolnej troposfery a zawartość CO₂ w latach 1979–2010 Źródło: <http://friendsofscience.org>

prof. Leszek Marks
Państwowy Instytut Geologiczny