

Zmiany klimatu w dziejach Ziemi na tle zmian czynników astronomicznych

Nasza planeta, której obrazy tak łatwo rozpoznajemy na coraz bardziej dostępnych i licznych zdjęciach satelitarnych, sprawia wrażenie nadzwyczaj spokojnej i stabilnej. Ale ta stabilność jest tylko złudzeniem wynikającym z ludzkiej miary czasu. Ziemia i jej atmosfera podlegają ciągłym i nieustannym przemianom, w miarę jak mechanizmy tektoniki płyt przesuwają kontynenty, wypiętrzają góry, wprawiają w ruch dno oceanów oraz wpływają na zmiany klimatu w sposób, który chyba nie do końca jeszcze rozumiemy.

■ WOJCIECH DURMA

Obserwator przyglądający się Ziemi z przestrzeni kosmicznej ok. 15 tys. lat temu ujrzałby świat trochę inny od dzisiejszego. Zarysy kontynentów wyglądały nieco odmiennie, a miejscami zupełnie inaczej. Zatoka Meksykańska była o wiele mniejsza, a Morza Północnego nie było w ogóle. Indonezja, której wyspy obmywane są dziś przez morza, była rozległym i raczej suchym przedłużeniem południowo-wschodniej Azji. Dżungle w dorzeczu Amazonki i Kongo były równie zielone jak teraz, pasaty pędziły grzywy fal po powierzchni mórz i oceanów, a potężne, błyszczące masy lodu pokrywały znaczną część dzisiejszej Europy. Lodowce wieńczyły największą wyspę Hawajów i wiele innych masywów górskich w strefie międzyzwrotnikowej, a na obszarze dzisiejszych stanów – Kalifornia, Newada i Utah w Ameryce Północnej, istniały wielkie jeziora.

Nasza ludzka pamięć każe nam myśleć o klimacie jako o czymś mniej lub bardziej stałym. Była zima, dalej nastanie wiosna, lato i jesień. Różnice między jednym rokiem a drugim, (choćby niekiedy mniej lub

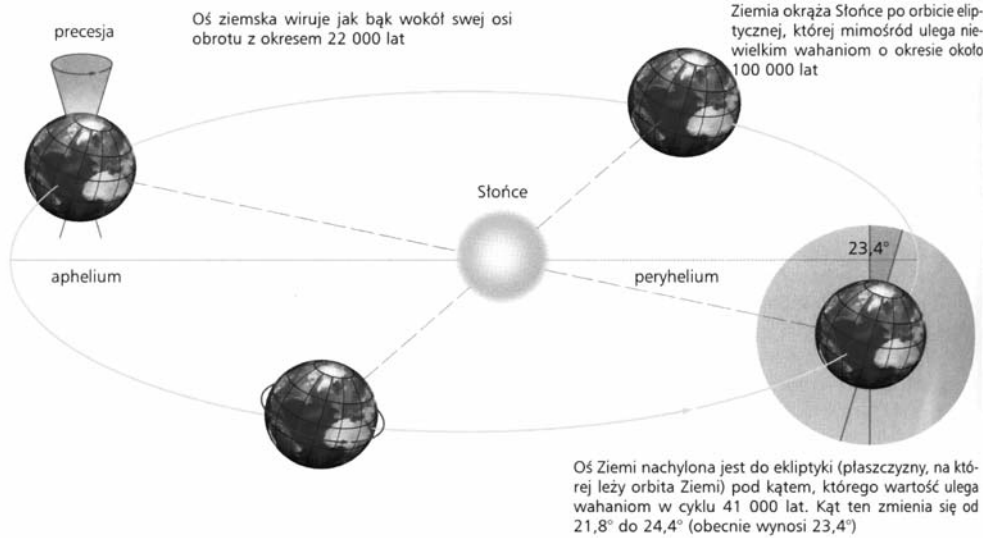
bardziej zauważalne), nie są aż tak wielkie. A przecież jeszcze nie tak dawno temu (ostatnie ponad 1000 lat) klimatyczne tło historii ludzkości było w istocie całkiem odmiennie (m. in. czasy skandynawskich Wikingów, czy XVII wiek).

Przyczyny zmian klimatu w historii Ziemi

W dziejach Ziemi klimat ulegał licznym zmianom, głównie zachodzącym dzięki oddziaływaniom zewnętrznych czynników na system klimatyczny lub w mniejszym stopniu wytworzonym wewnątrz tego systemu.

Do zewnętrznych czynników generujących zmiany klimatyczne w dziejach Ziemi zaliczyć należy:

- zmiany w dopływie energii promieniowania słonecznego, (przyczyny pozaziemskie),
- różne ilości emitowanej przez Słońce energii wskutek zachodzących na nim zmian (przyczyny astronomiczne),
- zmiany w rozmieszczeniu lądów i oceanów (dryf kontynentów),
- tworzenie się i zanikanie prądów morskich (powierzchniowe prądy ciepłe i zimne),



Ryc. 1. Astronomiczne czynniki wpływające na zmiany klimatu Ziemi

Źródło: Encyklopedia PWN, *Geografia – spojrzenie na Ziemię i środowisko*, Warszawa, 2002

- ewolucję całej biosfery,
- zmiany składu chemicznego atmosfery,
- ruchy górotwórcze i wulkanizm,
- działalność gospodarcza człowieka (szczególnie w okresie ostatnich kilkuset lat).

Obecnie w badaniach nad zmiennością klimatyczną w historii naszej planety przyjmuje się jako jedne z najważniejszych – czynniki astronomiczne. Wśród nich dominuje m.in. teoria Milutina Milankovića, matematyka i astronoma żyjącego w latach 1879–1958.

Astronomiczna teoria zmian klimatu wg M. Milankovića

Związek okresowych zmian klimatu z okresowymi zmianami parametrów orbity ziemskiej zauważył jako pierwszy James Croll w 1867 r., ale wkrótce potem, jako pierwszy sformułował i opisał te zjawiska w sposób matematyczny Milutin Milanković.

Ziemia okrąża Słońce po orbicie eliptycznej, której tzw. mimośród ulega niewielkim wahaniom w okresie ok. 100 000 lat. Gdy mimośród jest największy, różnice w ilości energii dopływającej do Ziemi są również największe, gdy mimośród jest mały, orbita jest bliższa kołowej i różnice w ilości energii są mniejsze.

Oś Ziemi nachylona jest do ekliptyki (płaszczyzny, na której leży orbita Ziemi) pod kątem, którego wartość ulega wahaniom w cyklu ok. 41 000 lat. Kąt ten zmienia się od 21,8 do 24,4 (obecnie wartość kąta wynosi 23,4). Większe nachylenie osi ziemskiej oznacza, że strefa międzyzwrotnikowa jest szersza, a koła podbiegunowe leżą dalej od biegunów. Wzrastają wówczas kontrasty termiczne między niskimi, a wysokimi szerokościami geograficznymi. Oś ziemską wiruje wokół swej osi obrotu z okresem 22 000 lat. Oznacza to, że punkty równonocny oraz przesilenia letniego i zimowego wędrują wzdłuż ekliptyki. Obecnie Ziemia znajduje się w perihelium (najbliższej Słońca) w kilka dni po tzw. przesileniu zimowym (3 stycznia), natomiast w aphelium (najdalej od Słońca) po przesileniu letnim (4 lipca). Dlatego też, obecnie kontrasty termiczne między latem a zimą są na półkuli północnej stosunkowo nieduże. Przyjmuje się, że za około 11 000 lat będą one największe.

Według teorii M. Milankovića powiększaniu się czapy lądolodu sprzyja sytuacja, w której nasza planeta jest bliżej Słońca zimą, a nachylenie osi ziemskiej do płaszczy-

zny ekliptyki jest małe. Wówczas zima jest dość ciepła, opady śniegu w strefie okołobiegunowej duże, a lato dość chłodne, dzięki czemu cały śnieg nie zdąży się stopić. Natomiast, gdy Ziemia jest najbliżej Słońca latem i nachylenie osi ziemskiej jest duże, panują wtedy dogodnie warunki do topienia się nagromadzonego śniegu i lodu, i cofania się lądolodu.

Do astronomicznych czynników wpływających na zmiany klimatu należą też zmiany aktywności promieniowania słonecznego, wyrażające się m.in. liczbą plam słonecznych określaną przez tzw. liczbę Wolfa. Zmienia się ona w cyklu około 11-letnim. Liczba plam słonecznych w maksimum cyklu również ulega wahaniom, tym razem w cyklu 100-letnim. Ponadto, co pewien czas zdarzają się długotrwałe okresy wyjątkowo niskiej aktywności, trwające kilkadziesiąt i więcej lat. Ostatni taki okres zwany minimum Maundera zanotowano w latach 1645–1715. Pokrywa się on z wyjątkowo chłodnym fragmentem tzw. małej epoki lodowej.

Historia zmian klimatu na Ziemi

Klimat Ziemi podlegał różnorodnym przekształceniom w czasie dotychczasowego rozwoju naszej planety. W swej długiej, bo liczącej już ponad 4,5 mld lat historii geologicznej Ziemi, wystąpiło prawdopodobnie siedem wielkich zlodowaceń.

We wczesnym paleozoiku i późnym mezozoiku znaczną część płaskich wówczas kontynentów pokryły płytkie morza. Rozwijało się w nich bujne życie. W Ameryce Północnej, która leżała wówczas blisko równika, z dala od oceanu żyły glony i organizmy podobne do gąbek, a z ich szczątków tworzyły się wapienne formacje. Powstały wówczas największe na świecie rafy koralowe. Dokładna ich analiza pozwala wyróżnić okresy wznoszenia się i opadania poziomu morza. Wykryto pięć głównych cykli wahań, z których cztery wystąpiły w paleozoiku, a ostatni w karbonie i permie. Ich długość wahała się od 30 mln lat do ponad 110 mln lat. W ramach cykli wy-

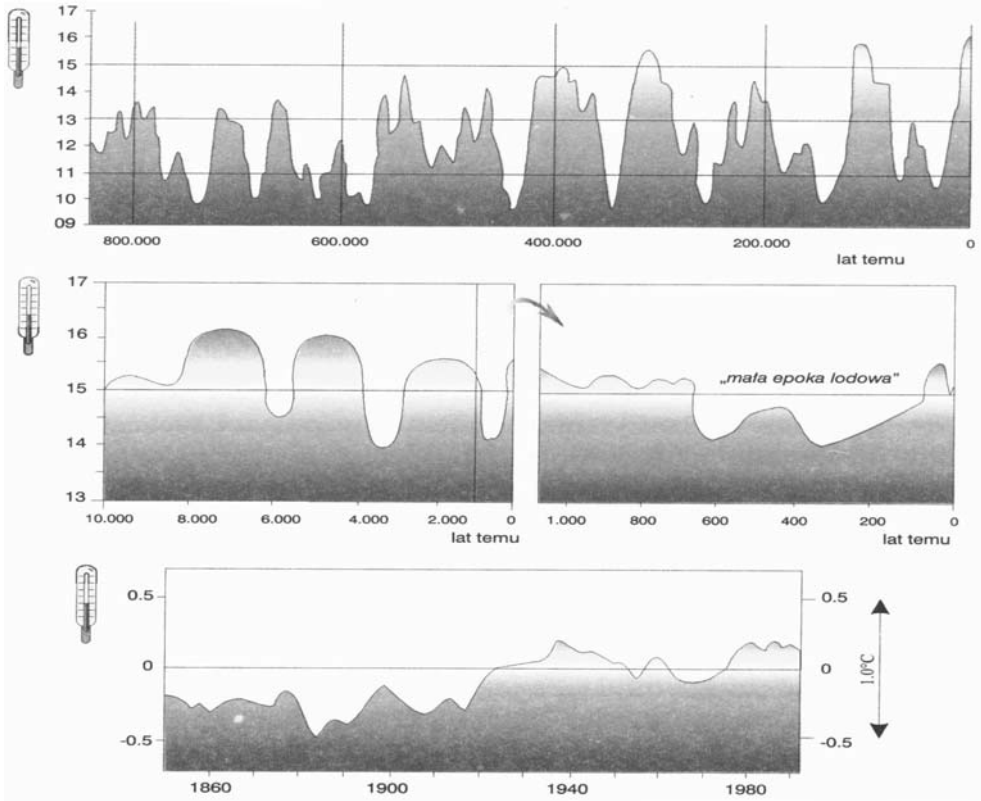
Tabela 1. Wielkie zlodowacenia w dziejach Ziemi

Czas (mln lat)	Epoka lodowa
2300	Archaiczna epoka lodowa zw. zlodowaceniem huroskim
950	Algonkińska epoka lodowa w proterozoiku (na półkuli północnej)
730	Eokambryjska epoka lodowa II
590	Eokambryjska epoka lodowa I
430	Epoka lodowa na przełomie ordowiku i syluru
280	Permkarbońska epoka lodowa (na półkuli północnej)
3–0	Zlodowacenie czwartorzędowe

Źródło: Encyklopedia PWN, *Geografia – spojrzenie na Ziemię i środowisko*, Warszawa, 2002

stępowały drugorzędne wahania trwające od setek do tysięcy lat. Koniec okresu raf koralowych nastąpił ok. 300 mln lat temu, a na niziny nadmorskie Ameryki Północnej, Europy i północnej Azji wkroczyły lasy. Przyczyną tak znacznych zmian poziomu mórz były prawdopodobnie wahania lądolodu na wielkiej Gondwanie. Piąty okres wysokiego poziomu mórz i oceanów wystąpił w kredzie, ponad 100 mln lat temu. Przyjmuje się, że maksymalny poziom wszechoceanu mógł być wówczas nawet o 300 m wyższy od obecnego. Pod wodą znalazły się m.in. olbrzymie obszary Ameryki Północnej, Europy i Afryki. Średnia temperatura na Ziemi była wtedy dość wysoka. Jest też bardzo prawdopodobne, że ówczesne ruchy płyt kontynentalnych mogły w znacznym stopniu wpłynąć na pojemność oceanów.

W okresie czwartorzędu (era kenozoiczna) wystąpiło prawdopodobnie od kilkunastu do trzydziestu zlodowaceń, z czego ostatnie cztery zostały najlepiej poznane (*Günz, Mindel, Riss i Würm*). Taka wersja zdarzeń przyjęta została po ostatecznym zaakceptowaniu teorii powstawania zlodowaceń opracowanej przez M. Milankovića. W myśl tej teorii cykl glacjał–interglacjał trwa około 100 000 lat, mniej więcej tyle, co cykl zmian mimośrodów orbity ziemskiej.



Ryc. 2. Zmiany średniej temperatury na Ziemi w młodszym plejstocenie; w ciągu ostatnich 10 tys. lat; w ciągu ostatniego tysiąca lat i w ostatnim stuleciu

Źródło: T. H. Van Andel, *Nowe spożyczenie na starą planetę. Zmienne oblicze Ziemi*, PWN, Warszawa, 1997

W takim okresie czasu 90 000 lat przypada na zlodowacenie, a okres ciepły obejmuje około 10 000 lat.

W epoce holocenu (interglacjału, w którym obecnie żyjemy) obejmującym ostatnie 10 000 lat p.n.e. i 2010 lat naszej ery też wystąpiły okresowe wahania klimatyczne. W porównaniu z ostatnią epoką lodową, holocen jest cieplejszy (średnio o kilka stopni) i bardziej wilgotny, gdyż wielka masa wody, która uwięziona była w ogromnych czapach lodowych, krąży teraz swobodnie między hydrosferą i atmosferą. Szczególnie najlepiej poznaliśmy zmiany klimatu w ostatnim tysiącleciu naszej ery. Jest to wynik dostępności danych historycznych i dendrologicznych, a z ostatnich 300 lat także z ciągłych obserwacji przy pomocy instru-

mentów i przyrządów meteorologicznych. Tysiąclecie zaczęło się od stosunkowo ciepłego okresu, zwanego średniowiecznym optimum, które swoje apogeum osiągnęło w Europie w latach 1150–1300. Na południu Europy wzmogły się posuchy, a dogodnie warunki do żeglowania, pozwoliły na dalekie podróże morskie po północnych wodach Atlantyku. Wtedy to skolonizowano Islandię, a w roku 982 n.e. Eryk Rudobrody, banita z Islandii, dotarł nawet na Grenlandię. Założył tam osadę, która przetrwała prawie 500 lat, zanim znaczne pogorszenie warunków klimatycznych uniemożliwiło życie na tej wielkiej wyspie. W okresie optimum średniowiecznego na Grenlandii hodowano nawet bydło, na Islandii uprawiano zboża, a Wielka Bry-

tania eksportowała wina z własnych winnic. Dobre czasy skończyły się na przełomie XIV i XV w. wraz z nadejściem ochłodzenia. Lody uniemożliwiały podróże na Grenlandię, z Islandii zniknęły zboża, a w Alpach rozbudowywały się lodowce górskie, pochłaniając wiele wysoko położonych miejscowości. W Europie nastął dość chłodny okres, zwany niekiedy małą epoką lodową, trwający od 1550 do 1850 roku. Opady na zachodzie i południu Europy wzrosły, a w środku kontynentu zmniejszyły się. Na Atlantyku częstsze były sztormy, a z Islandii przez ponad połowę roku obserwowano wtedy przepływające góry lodowe.

Przebieg zdarzeń klimatycznych czwartorzędowej epoki lodowcowej był i będzie nadal przedmiotem badań naukowych na wszystkich kontynentach, a nawet w głębinach oceanów. W jednej kwestii badacze osiągnęli jednomyślność, że w czwartorzędowej epoce lodowcowej okresy zimne i ciepłe występowały przemiennie. Byłoby więc osobliwe, gdyby ta przemiennosc, mimo istnienia obecnie na kuli ziemskiej czap lodowych Antarktydy, Grenlandii i lodowców górskich, zaniknęła. Jest bardzo prawdopodobne, że będzie ona trwała, ponieważ żaden z czynników naturalnych (ziemskich i pozaziemskich) nie może jej przerwać.

A może oddziaływanie człowieka, rozumiejącego coraz bardziej przyczyny tych zmian, mogłoby je zahamować, a nawet podporządkować? Czy mogłoby się to zdarzyć w sposób nieświadomy? Czy wraz z poszukiwaniem przyczyn zlodowaceń, postępem wiedzy i rozwojem możliwości technicznych może zaistnieć szansa złagodzenia „rodzącego” się być może glacjału, a w przypadku sterowania rozwojem zlodowacenia poprzez odpowiednie procesy regulacyjne nawet całkowitego jego wytlumienia?

Tymczasem należy założyć, że bez oddziaływania antropogenicznego w przyszłości Ziemi wystąpią dalsze wahania klimatyczne i przemiennosc okresów lodowcowych i międzylodowcowych.

WOJCIECH DURMA

Publiczne Gimnazjum nr 1 im. Kr. Jadwigi
Polaniec, woj. świętokrzyskie.

PIŚMIENNICTWO

- C. J. Allègre, S. H. Schneider, *Ewolucja Ziemi*, Świat Nauki, (12), 1994
- T. H. Van Andel, *Nowe spojrzenie na starą planetę. Zmienne oblicze Ziemi*, PWN, Warszawa, 1997
- Encyklopedia PWN, *Geografia – spojrzenie na Ziemię i środowisko*, Warszawa, 2002

„Geografia w Szkole” w wersji cyfrowej!

Nasze czasopismo można kupić i zaprenumerować w wersji cyfrowej, w postaci pliku PDF, na następujących platformach: www.raabe.com.pl, www.nexto.pl, www.zixo.pl.

Wydania archiwalne można zamówić poprzez naszą stronę internetową: www.edupress.pl.