

Marek Lewandowski  
 Instytut Geofizyki PAN, Warszawa  
 E-mail: lemar@igf.edu.pl

## Historia zlodowaceń globalnych: zrozumieć, aby przetrwać

Geosystem, na który składają się lito-, atmo-, hydro- i biosfera, jest układem złożonym, w którym interakcje pomiędzy składowymi generują dynamiczne, nieliniowe procesy przyrodnicze. Procesy te przebiegają w różnych skalach czasowych, przy czym w krótkim czasie system ziemski może być uważany za układ zamknięty. W czasie geologicznym jednak geosystem jest układem otwartym, zmieniającym się nieodwracalnie wskutek ewolucji Słońca. Procesy obserwowane współcześnie są tylko chwilową emanacją stanu geosystemu, który w swojej historii przeszedł drogę niezwykłą, osiągając kilka milionów lat temu etap sprzyjający powstaniu człowieka. Dalsze losy naszego gatunku są w dużej mierze uzależnione od nas samych, gdyż nieoczekiwanie staliśmy się jednym z czynników, decydujących o dynamice zmian całego systemu ziemskiego.

Czynnikiem pierwszej rangi, decydującym o stanie geosystemu, jest ilość energii słonecznej, docierającej do powierzchni planety, a co za tym idzie, temperatura na Ziemi. Atmosfera z jej składem i gęstością, a także hydrosfera są swoistymi buforami, moderującymi amplitudę zmian temperatury w cyklach krótko- i długookresowych. Na skład atmosfery wpływają pozostałe sfery geosystemu, w szczególności biosfera, która jest głównym czynnikiem regulującym ilość CO<sub>2</sub> oraz tlenu w atmosferze. Koncentracja CO<sub>2</sub> w atmosferze ziemskiej spadała systematycznie od 2 mld lat i jest dziś prawdopodobnie najniższa w całej historii Ziemi. Proces ten można wiązać z powstaniem chlorofilu i rozwojem świata roślinnego. Dodatkowymi czynnikami regulującymi koncentrację CO<sub>2</sub> były karbonatyzacja (uwęglanowanie), szczególnie efektywna w trakcie procesów orogenicznych (górotwórczych), a także światowy ocean, rozpuszczający CO<sub>2</sub> w ilości odwrotnie proporcjonalnej do temperatury wody. Koincydencja i synergia procesów redukujących koncentrację CO<sub>2</sub> w atmosferze prowadzi do okresowego spadku temperatury w skali całego globu, sprzyjając rozwojowi pokryw lodowych, w krańcowych wypadkach do powstawania zlodowaceń w skali globalnej. Historia zlodowaceń ziemskich, sięgająca 2 mld lat, będzie głównym motywem wykładu.

Złożoność sprzężeń zwrotnych i dynamikę procesów w geosystemie należy analizować w kategoriach chaosu deterministycznego. Zrozumienie ewolucji geosystemu nie jest możliwe poprzez analizę skutków jednego czy dwóch czynników, rządzących jego zmianami. Aby zrozumieć historię, a przez to antycypować przyszłość systemu ziemskiego, należy sięgać do modelowań wieloparametrycznych, co stanowi nie lada wyzwanie dla nauk ścisłych. Bez nich jednak nie sposób podejmować decyzje polityczne o wymiarze ogólnospołecznym, których celem byłaby konserwacja aktualnego stanu ludzkiego ekosystemu (antroposystemu). Gatunek ludzki, który pojawił się w epoce globalnego zlodowacenia, ma nikłe szanse na przetrwanie w szybko zmieniającym się geosystemie, który zmierza do globalnego ocieplenia, czyli do stanu panującego na Ziemi przez setki milionów lat przed obecnym zlodowaceniem.