

Fot. 1:  
Ziarna pyłku roślinności  
środkowioceńskiej  
zawarte w węglu  
brunatnym

# CIEPŁO I ZIMNO ZAPISANE W SKAŁACH

Dynamika zmian klimatycznych, jakie są obserwowane od początku epoki przemysłowej, sprawia, że naukowcy poważnie zastanawiają się, czy na globalne ocieplenie ma wpływ człowiek. Tymczasem nie są one zjawiskiem nowym, a tym bardziej wyjątkowym. Można to wyczytać ze zwierzęcych i roślinnych skamieniałości.

**dr Barbara Słodkowska**

Państwowy Instytut Geologiczny  
– Państwowy Instytut Badawczy

**K**limat dawniejszych epok geologicznych jest zapisany w skałach osadowych. Sole, gipsy, pokłady węgla czy utwory lodowcowe wskazują na warunki, jakie panowały, kiedy te osady powstawały. Zespół skamieniałości zwierzęcych i roślinnych, który się często zachowuje w tych

utworach, dostarcza bardziej szczegółowych informacji o cechach klimatu poprzez porównanie z wymaganiami klimatycznymi współczesnych ekosystemów.

## Ciepłej już było

Na przykładzie osadów powstałych w czasie paleogenu i neogenu można przeanalizować fakty świadczące o znacznych zmianach klimatycznych, jakie zachodziły od 66 do 2,6 mln lat temu. Te zjawiska miały skalę globalną, a ich głównym czynnikiem sprawczym były procesy geotektoniczne:



Dr Barbara Słodkowska jest adiunktem w PIG-PIB w Programie Zmiany Klimatu i Środowiska. Zajmuje się badaniami palinologicznymi utworów paleogenu i neogenu, w tym węgla brunatnego, które są wykorzystywane do ustalenia stratygrafii osadów, odtwarzania paleoflory, a także rekonstrukcji paleoklimatycznych. W kręgu jej zainteresowań jest też analiza szczątków roślinnych zawartych w bursztynie bałtyckim.

barbara.slodkowska  
@pgi.gov.pl

dryft kontynentów, trzęsienia Ziemi, wybuchy wulkanów. W ich efekcie nagromadzone na dnie oceanów hydraty metanu były uwalniane do wody morskiej, a następnie przedostawały się do atmosfery, wzmacniając efekt cieplarniany. Stężenie gazów cieplarnianych – pary wodnej, metanu i dwutlenku węgla – we wczesnym paleogenie było dziesięciokrotnie wyższe niż obecnie, panował wówczas klimat tropikalny i subtropikalny. Nie zaznaczała się przy tym strefowość klimatyczna. Te globalne dane zostały uzyskane dzięki zapisowi zmian zawartości izotopu  $\delta^{18}\text{O}$  w skorupkach otwornic bentonicznych – morskich organizmów jednokomórkowych. W zapisie kopalnym zjawisko efektu cieplarnianego zostało zarejestrowane w osadach eocenu wysokich szerokości geograficznych (obszary okołobiegunowe), gdzie są znajdowane szczątki roślin wysokocięplolubnych (tropikalnych i subtropikalnych) zarówno w makro-, jak i mikroflorze.

Na późniejszy spadek zawartości gazów cieplarnianych miały wpływ czynniki geotektoniczne, m.in. oddzielenie barierą lądową Morza Arktycznego od wód oceanu światowego w eocenie środkowym. Rzeki spływające z otaczających lądów spowodowały wysłodzenie zbiornika Arktycznego i zasiedlenie jego wód przez paproć wodną z rodza-

ju *Azolla*, która związała nadmiar atmosferycznego  $\text{CO}_2$ . Jego znaczny spadek – z 3500 do 650 ppm – miał wpływ na obniżenie temperatury wód powierzchniowych z  $13^\circ\text{C}$  do  $-2^\circ\text{C}$ . Kolejnym impulsem prowadzącym do ochłodzenia było oddzielenie kontynentu Ameryki Południowej od Antarktydy, powstanie Cieśniny Drake’a i utworzenie się zimnego prądu wokółantarktycznego, który stanowił barierę termiczną dla ciepłych mas powietrza i prądów morskich od północy. Również na półkuli północnej coraz częściej zaczęły się pojawiać sezonowe dryfujące góry lodowe, co powodowało dalsze ochłodzenie. Na przełomie eocenu i oligocenu nastąpił koniec epoki bez pokryw lodowych, czyli *greenhouse*.

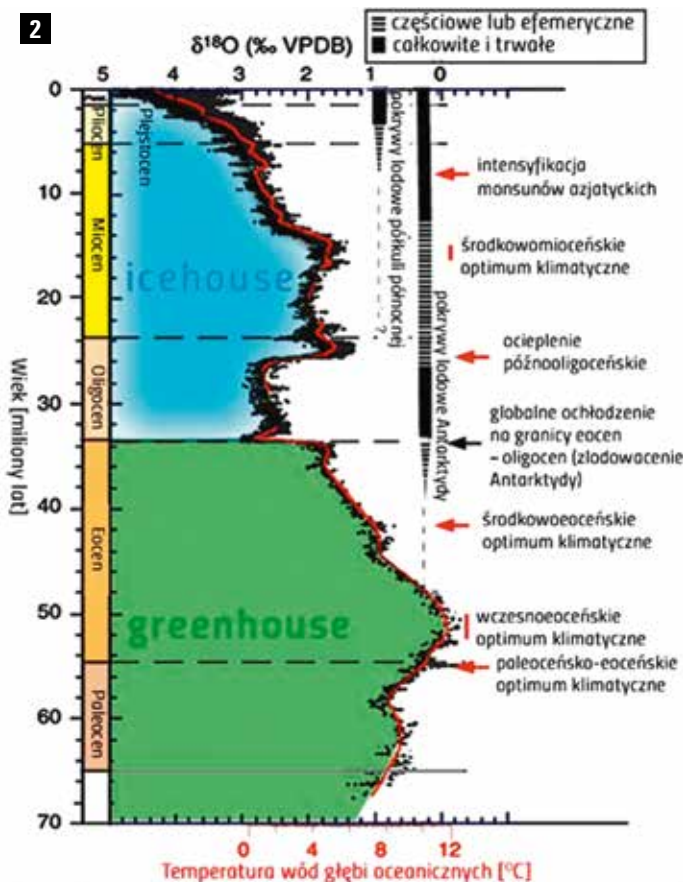
## Ku ochłodzeniu

Na te zmiany klimatu najszybciej zareagowała roślinność, zmieniając swój skład i charakter. Pojawiły się np. rośliny zrzucające liście w okresie zimowym. I choć nadal dominowały rośliny ciepłolubne, to gatunki tropikalne występowały sporadycznie. Zapanował czas *icehouse* z początkowo efemerycznymi, a potem permanentnymi lodowcami.

W późnym paleogenie i neogenie notuje się również wahania klimatyczne, ale są one znacznie mniejszej amplitudy niż we wczesnym paleogenie. Roślinność tego czasu była zbliżona do współczesnej ze strefy subtropikalnej i ciepłumiarkowanej.

W miocenie na półkuli północnej, zwłaszcza na obszarze Niżu Europejskiego, przez ok. 22 mln lat panowały dość stabilne warunki klimatyczne. Wilgotność i temperatura sprzyjały powstawaniu rozległych bagnisk i torfowisk, z których następnie powstały mięjsze pokłady węgla brunatnego rozdzielone epizodami, w których węgiel się nie utworzył. Za tę zmienność odpowiadały czynniki geodynamiczne, m.in. subsydencja, kompaktacja i ruchy epejrogeniczne. Miocenijskie cykle węglotwórcze zostały dobrze udokumentowane w profilach z Polski zachodniej, gdzie zachowały się wszystkie główne pokłady węgla brunatnego. Zbiorowiska lasu bagiennego, torfowiska i strefa oczeretu (szwarów) mają zbliżony skład szczątków mikroflory w czasie tworzenia się kolejnych pokładów węgla. Różnice w składzie sporomorf (zarodników i ziarn pyłku) zawartych w poszczególnych pokładach, są zapisane głównie w zbiorowisku lasu mezofilnego otaczającego zbiorniki bagienne oraz torfowiska, i to one rejestrują postępujące zmiany klimatu. Każdy kolejny pokład węgla zawiera coraz mniejszą ilość spor i ziarn pyłku roślin wysokocięplolubnych. Klimat był jednak nadal sprzyjający bujnej wegetacji, wyjściowej dla utworzenia się znacznej ilości torfotwórczej materii roślinnej. Wyniesienie łuku Karpat spowodowało powstanie bariery oro-

Ryc. 2:  
Zapis globalnych zmian zawartości izotopu tlenu ( $\delta^{18}\text{O}$ ) w czasie ostatnich 66 mln lat odtworzony ze skorupki otwornic bentonicznych (wg Zachos i in. 2001, 2008 – zmodyfikowane) i korelowane z nimi zmiany klimatu





graficznej dla dopływu ciepłych i wilgotnych mas powietrza z południa.

W późnym miocenie klimat stał się na tyle suchy, że przestały istnieć rozległe bagniska. W klimacie aridalnym (suchym) miała miejsce ekspansja traw, które przystosowały się do zmniejszającej się zawartości atmosferycznego CO<sub>2</sub>. Przebudowa geotektoniczna miała także wpływ na zmianę cyrkulacji prądów oceanicznych, nastąpiło zamknięcie korytarza wokółrównikowego, którym prądy morskie prowadziły ciepłe wody. Stopniowo postępujące osuszenie i ochłodzenie spowodowało rozluźnienie pokrywy leśnej i dominację zbiorowisk stepowych u schyłku miocenu i w pliocenie. Zmniejszenie powierzchni leśnych i odsłonięcie jaśniejszego podłoża oraz pojawienie się pokryw lodowych skutkowało odbijaniem się promieni słonecznych od powierzchni Ziemi i zdecydowanie słabszym jej nagrzewaniem. Większa ilość energii słonecznej ulegała odbiciu od białych powierzchni lodu i tym samym przyczyniła się do głębokiego ochłodzenia (wzrost albedo). Pliocen był znacznie chłodniejszy, a skrajnie niekorzystne warunki klimatyczne zapanowały podczas zlodowaceń plejstoceńskich (od ok. 1 mln do 10 tys. lat temu). Ważnymi przyczynami zmian klimatycznych były też zjawiska o charakterze orbitalnym, w tym cykliczne zmiany orbity ziemskiej oraz precesja.

## Potrzeba umiaru

Odnosząc te zjawiska klimatyczne do współczesności, należy pamiętać, że obecnie obserwujemy skrajnie mały, w skali geologicznej, odcinek czasu. Około 150 lat pomiarów meteorologicznych prowadzonych od początku epoki przemysłowej w stosunku do zmian, jakie zachodziły w przeszłości geologicznej Ziemi od momentu jej powstania, czyli przez 4600 mln lat, jest w tej skali czasowej za ledwie „mgnieniem oka” i na tej podstawie trudno jest wysnuwać wnioski globalne.

W prognozach przyszłe zmiany klimatyczne są przedstawiane jako bardzo znaczne, mające negatywny wpływ na wszystkie dziedziny życia współczesnego człowieka. A to tylko częściowo jest prawdą, ponieważ ekstremalne zjawiska pogodowe, jakich doświadczamy obecnie, są często mylone z pojęciem globalnego ocieplenia.

Nadmiernej emisji gazów cieplarnianych do środowiska nie należy bagatelizować. Trzeba je monitorować i kontrolować. Nie należy jednak przy tym zapominać, że czynnik antropogeniczny może jedynie wzmacniać trendy zmian klimatycznych. Wywoływane są one jednak czynnikami geotektonicznymi i orbitalnymi.

BARBARA SŁODKOWSKA

Chcesz  
wiedzieć więcej?

Bujak J. (2007). The Azolla Story: Climate Change and Arctic Hydrocarbons. *GEO ExPro* September 2007, 66-72.

Jahren A.H. (2007). The Arctic Forest of the Middle Eocene. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35, 509-540.

Kasiński J.R., Piwocki M., Swadowska E., Ziemińska-Tworzydło M. (2010). Charakterystyka węgla brunatnego z miocenu Niżu Polskiego na podstawie wybranych profili. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 439:1, 99-154.

Słodkowska B., Kasiński J.R. (2016). Paleogen i neogen – czas dynamicznych zmian klimatycznych. *Przeegl. Geol.* (64)1, 15-25.

REKLAMA



# Śledź nas

na  
Facebooku

Naukaonline.pl