informator
information newsletter
CENTRUM DOSKONAŁOŚCI BADAŃ ŚRODOWISKA ABIOTYCZNEGO
dwumiesięcznik NR 7
MAJ/
CZERWIEC 2004

dr **Hanna Winter**
Kierownik Zespołu Problemowego: *Globalne Zmiany Klimatu i Środowiska*
Centrum Doskonałości REA
00-975 Warszawa
ul. Rakowiecka 4
e-mail:
Hanna.Winter@pgi.gov.pl

W NUMERZE:

Kaprysy pogody, obserwowane na Ziemi w ostatnim czasie, stały się obiektem wielu badań naukowych. Poważne wahania klimatu miały miejsce również w poprzednich okresach, zwłaszcza podczas ostatnich 2 mln lat, kiedy to teren Polski był wielokrotnie pokryty lodowcami.

IN THIS ISSUE:

Page 8

Wydawca:
Państwowy Instytut Geologiczny
00-975 Warszawa
ul. Rakowiecka 4
tel. (22) 849 53 51
www.pgi.gov.pl

Redakcja:
Maciej Podemski;
Barbara Bańkowska-Zajączkowska;
Janina Małecka.
tel. (22) 849 53 51 w. 221;
e-mail:
maciej.podemski@pgi.gov.pl

Nakład 1000 egz.

ISSN 1731-7177

GLOBALNE ZMIANY KLIMATU: czy jest to zjawisko wyjątkowe w historii Ziemi?

Ludzkość jest uzależniona od zmian klimatycznych. Promieniowanie słoneczne steruje życiem i pogodą na Ziemi, a cienka powłoka atmosfery ziemskiej ma wyższą temperaturę niż można by oczekiwać, co wynika z zatrzymywania ciepła przez tzw. gazy cieplarniane. Zmiany klimatyczne na Ziemi wykazują cykliczność w różnej skali czasowej.

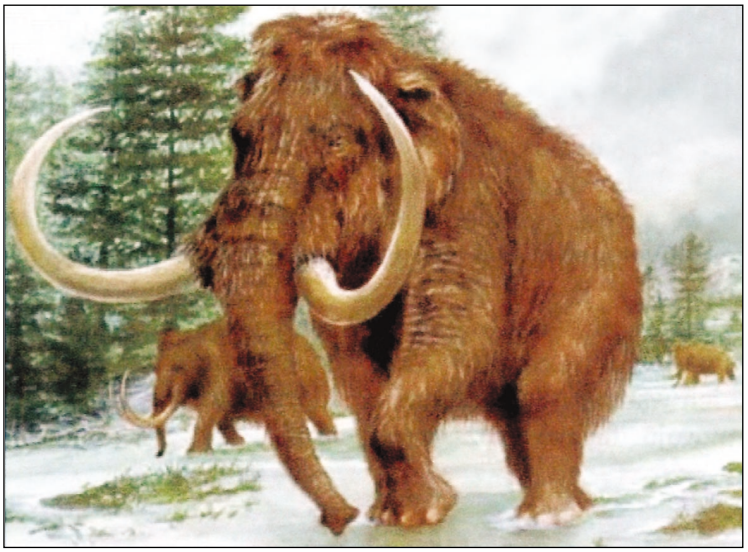
Zmiany klimatyczne są wywołane różnymi przyczynami, dłuższe – raczej pozaziemskimi, a krótsze – regionalnymi. Obserwowane w ostatnich dziesięcioleciach wyraźne zmiany klimatyczne i ich prognoza na najbliższe lata są jednym z kluczowych zagadnień rozważanych przez społeczność międzynarodową. Były one przedmiotem rozważań takich międzynarodowych gremiów, jak Międzynarodowy Panel ds. Zmian Klimatu, obradujący podczas Drugiej Światowej Konferencji Paleoklimatycznej ONZ w Genewie w 1990 r., czy Konferencja Ekologiczna, która miała miejsce w Rio de Janeiro w 1992 r.

Jest to również jeden z priorytetów badawczych nauk o Ziemi, w rozwiązaniu którego znaczącą rolę odgrywa geologia. Umożliwia ona bowiem podjęcie próby wyodrębnienia rytmu naturalnych ziemskich zmian klimatycznych od tych, które są spowodowane działalnością człowieka.

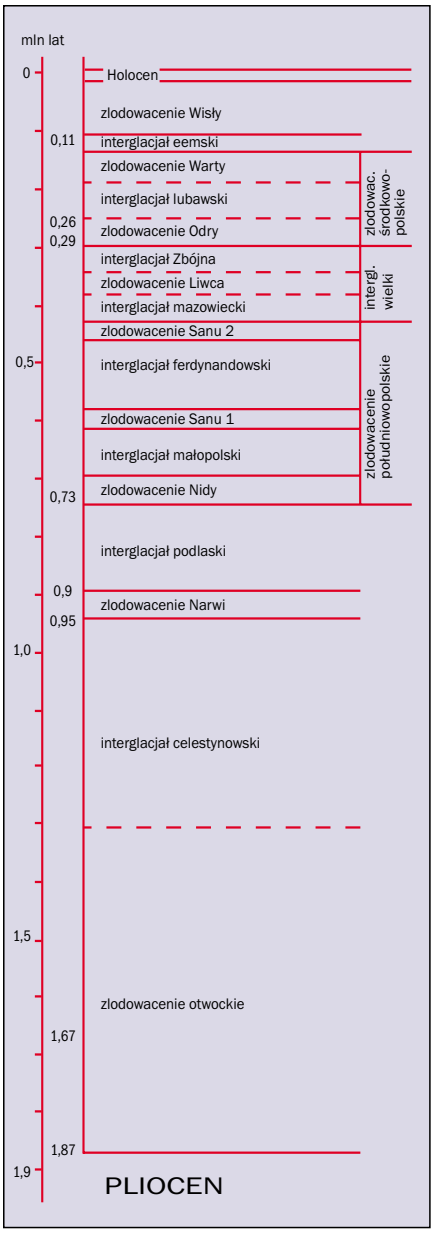
Z poważnymi zmianami klimatycznymi mieliśmy do czynienia na przykład podczas ostatniego miliona lat, w okresie geologicznym zwanym czwartorzędem, kiedy to na Ziemi miała miejsce epoka lodowa. Czwartorzęd dzieli się na dwie mniejsze jednostki wiekowe: plejstocen (1,8 mln lat do około 10 000 lat) i holocen (od około10 000 lat do dzisiaj). To właśnie w plejstocenie wystąpiły okresy chłodnego lub zimnego klimatu, prowadzące do rozwoju na Ziemi potężnych pokryw lodowcowych. Z tego powodu okresy te nazywane są zlodowaceniami (glacjałami). Przedzielające je okresy klimatu ciepłego nazwano interglacjałami, a maksymalne ich temperatury (optimum klimatyczne) nie różniły się od współczesnych, holoceńskich.

Podział holocenu również oparty został na kryteriach klimatycznych (okresy chłodne i ciepłe). W starszym holocenie zmiany klimatyczne powodowane były przez czynniki naturalne, natomiast w młodszym holocenie człowiek zakłócił naturalny rytm przyrody przez swoją działalność.

Zmiany klimatyczne w plejstocenie, spowodowane przez czynniki naturalne, zachodziły na tyle rytmicznie, że M. Milanković (1879-1958) mógł przedstawić krzywą tych zmian. Jednocześnie podjął on próbę wyjaśnienia ich przyczyn, wiążąc je ze



Mamuty z epoki lodowcowej



Podział stratygraficzny czwartorzędu (wg L. Lindnera, 1988)

zmianą kształtu orbity ziemskiej (cykl ekscentryczny), nachylenia równika ziemskiego do ekliptyki (cykl skośny) oraz nachylenia osi ziemskiej (cykl precesyjny). Wyjaśnienie to nazywa się w nauce „efektem Milankovića".

Zmiany klimatyczne, prowadzące do zlodowaceń na Ziemi, wiąże się ponadto ze zmianami w rozmieszczeniu lądów i mórz, spowodowanymi przez przesuwanie się na powierzchni Ziemi wielkich płyt tektonicznych, oraz z podnoszeniem się i erozją wielkich obszarów górskich.

Zmiany klimatu w dawnych okresach geologicznych (paleoklimatu) można identyfikować różnymi metodami badawczymi. Należy wziąć przy tym pod uwagę fakt, że procesy długotrwałe mogą zaznaczyć się w warstwach geologicznych bardzo słabo, natomiast trwające krótko, ale o ogromnym natężeniu, mogą mieć bardzo dobry zapis kopalny.

Najważniejszym źródłem informacji geologicznej o zmianach klimatycznych są osady głębokomorskie. Występujący w nich materiał biogeniczny określa zmiany temperatury wody, zawartość składników odżywczych, cyrkulacji wód i produktywności górnych partii oceanu. Podstawową rolę w wyjaśnianiu cech klimatycznych odgrywa stosunek izotopów tlenu $^{18}O/^{16}O$. Podczas parowania wody do atmosfery dostaje się przede wszystkim lżejszy izotop tlenu (^{16}O), natomiast obniżanie się temperatury na Ziemi powoduje jego zwiększone magazynowanie w wiecznych śniegach i w lodowcach; w związku z tym w wodzie morskiej, a co za tym idzie w osadach dennych, zwiększa się procentowa zawartość izotopu cięższego.

Analiza rdzeni osadów głębokomorskich z północnego Atlantyku wykazała również wyraźne cykliczne zmiany zawartości $CaCO_3$. Jego zmniejszanie się w klimacie zimnym wynika z większego udziału osadów mineralnych pochodzących z gór lodowych, które pojawiły się masowo na oceanie wraz ze zwiększaniem się objętości lodowców.

Zmiany klimatyczne znajdują swoje odzwierciedlenie również w osadach lądowych, szczególnie jeziornych. Temperaturę, dostępność wody i długość sezonu wegetacyjnego można wyznaczyć z szerokości pierścieni przyrostowych drzew, których analiza pozwala na oddzielenie efektów wyższych temperatur lata i zwiększonych opadów zimą.

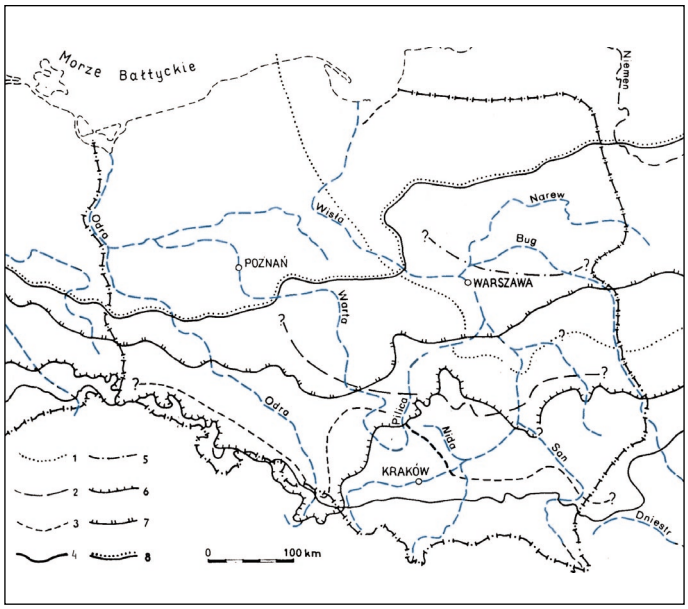
Geografię (paleogeografię) zmian klimatycznych ułatwia analiza składu pyłku i spor roślinnych oraz szkieletów bezkręgowców, przez określenie środowiska życiowego oraz obecnych granic występowania poszczególnych gatunków. Szczególnie przydatne do rozważań paleoklimatycznych są tzw. bioindykatory, czyli rośliny mające określone wymagania temperaturowe i wilgotnościowe. Dzięki nim można wyznaczyć średnie temperatury najcieplejszego i najzimniejszego miesiąca w roku oraz stosunki wilgotnościowe w okresach, w których żyły.

Zmiany klimatu na lądzie można badać także na podstawie takich wskaźników, jak powiększanie się lodowców, intensyfikacja powierzchniowych (zboczowych) ruchów masowych, intensywność erozji na obszarach poza lodowcowych oraz zmiany wysokości występowania górnej granicy lasu i granicy wiecznego śniegu.

Wartość paleoklimatyczna wskaźników biologicznych jest w dużym stopniu wspierana przez analizy geochemiczne (zawartość składników chemicznych) i izotopowe. Z kolei badanie składu pęcherzyków powietrza uwięzionych w lodowcach wykazało, że podczas ostatnich 160 tysięcy lat istniała ścisła zależność pomiędzy wzrostem temperatury a zwiększeniem ilości gazów cieplarnianych. Poza tym wyniki badań składu izotopów tlenu w lodzie dowodzą, że zmiany klimatyczne następowały okresowo i lokalnie bardzo szybko, np. u schyłku ostatniego zlodowacenia temperatura w południowej Grenlandii wzrosła o 5-7°C w ciągu około 100 lat. W interglacjale eemskim (130 000 lat do 110 000 lat) temperatura na Ziemi była wyższa o 1,5°C, w związku z czym w atmosferze występowała znacznie większa ilość gazów cieplarnianych niż obecnie.

Kompleksowe badania geologiczne, uzupełnione analizą zapisów historycznych, a dla ostatnich stuleci również rejestrów meteorologicznych, umożliwiają rekonstrukcję dawnego klimatu w skali lokalnej i regionalnej. Pozwala to na wykorzystanie geologii dla prognozowania kierunku przyszłych zmian klimatycznych i na określenie rzeczywistego wpływu działalności człowieka na te zmiany.

L. Marks
Leszek.Marks@pgi.gov.pl



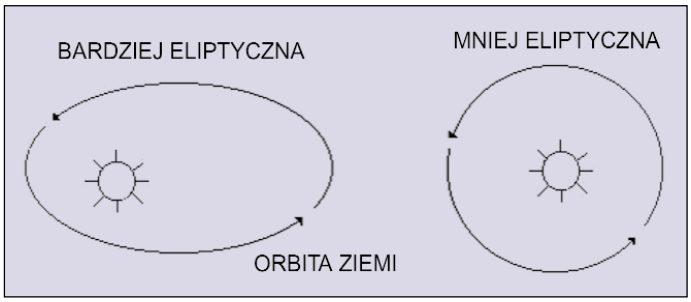
Zasięg zlodowaceń plejstoceńskich w Polsce (wg L. Lindnera, 1984 uzup.) 1 - Narwi, 2 - Nidy, 3 - Sanu 1, 4 - Sanu 2, 5 - Liwca, 6 - Odry, 7- Warty, 8 - Wisły.

CO TO JEST *EFEKT (CYKL) MILANKOVIĆA*?

Milutin MILANKOVIĆ (1879-1958) – serbski geofizyk, znany z opracowania związku długoterminowych zmian klimatu ze zmianami położenia orbity ziemskiej. Zależność ta spowodowała wystąpienie na Ziemi, podczas ostatnich kilku milionów lat, okresów glacjalnych i interglacjalnych. Istotnym przy tym jest fakt, że zmiany klimatu nie zależą od ilości energii słonecznej docierającej na Ziemię.

Związek okresowych zmian klimatu z okresowymi zmianami parametrów orbity ziemskiej pierwszy zauważył James Croll (1867). M. Milanković sformułował go wkrótce potem w sposób matematyczny. Wziął on pod uwagę następujące parametry:

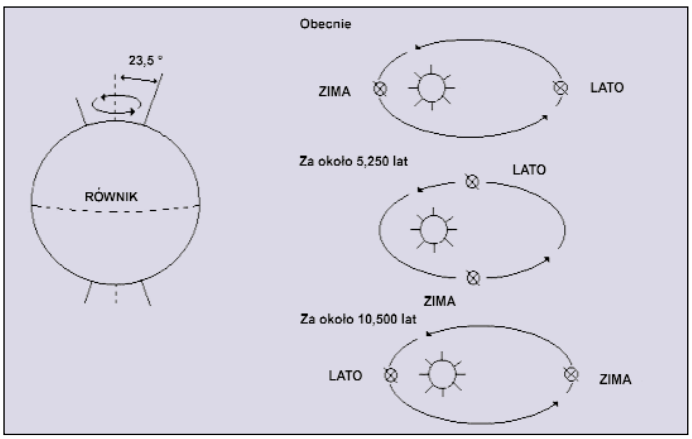
Zmiany kształtu elipsy. Ziemia okrąża Słońce po orbicie eliptycznej, której mimośród ulega niewielkim wahaniom (do 5%) w okresie ok. 100 000 lat. Gdy mimośród jest największy, różnice w ilości energii dopływającej do Ziemi są również największe, gdy mimośród jest mały, orbita jest bliższa kołowej i różnice ilości energii są mniejsze.



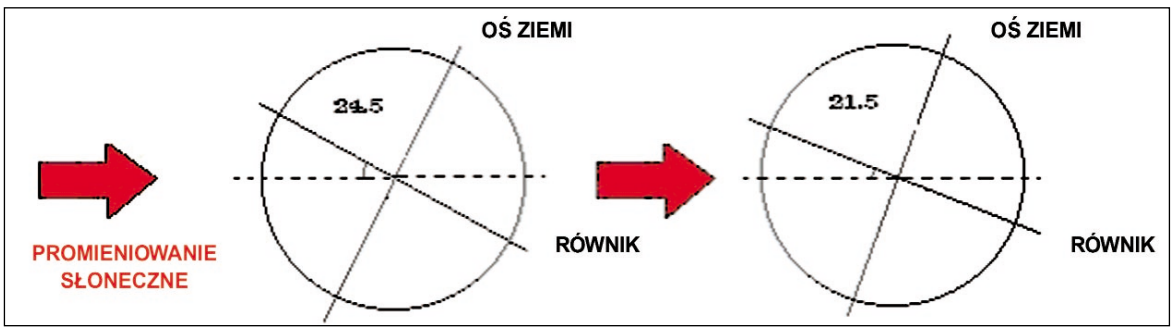
Obecnie mimośród eliptyki orbity Ziemi jest najmniejszy. Różnice pomiędzy aphelium (najdalszy punkt położenia Ziemi w stosunku do słońca), a peryhelium (punkt najbliższy) wynoszą jedynie 3%. Oznacza to jednak, że Ziemia otrzymuje o 6% energii słonecznej więcej w styczniu niż w lipcu. Przy orbicie o kształcie bardziej eliptycznym różnica w ilości otrzymywanej energii słonecznej w aphelium i peryhelium dochodzi do 20-30%.

Nachylenia osi. Oś Ziemi nachylona jest do ekliptyki (płaszczyzny, na której leży orbita Ziemi) pod kątem, którego wartość ulega wahaniom w cyklu 41 000 lat. Kąt ten zmienia się od 21,5° do 24,5° (obecnie wynosi 23,4°) i wpływa głównie na występowanie zmiennych pór roku. Przy mniejszym nachyleniu osi Ziemi zmniejsza się różnica napromieniowania słonecznego między zimą i latem. Ten układ sprzyja rozwojowi pokryw lodowych. Z kolei większe nachylenie osi Ziemi oznacza, że strefa międzyzwrotnikowa jest szersza, a koła podbiegunowe leżą dalej od biegunów. Rosną wówczas kontrasty termiczne między niskimi a wysokimi szerokościami geograficznymi.

Precesja. Oś ziemska wiruje jak bąk wokół swej osi obrotu z okresem 22 000 lat. Oznacza to, że punkty równonocy oraz przesilenia letniego i zimowego wędrują wzdłuż ekliptyki. Obecnie Ziemia znajduje się najbliżej Słońca (peryhelium) tuż po przesileniu zimowym – 3 stycznia, a najdalej od Słońca (aphelium) po przesileniu letnim – 4 lipca. Dlatego obecnie kontrasty termiczne między latem a zimą są na półkuli północnej stosunkowo nieduże, za ok. 11 000 lat będą największe.



Według teorii Milankovicia wzrostowi lądolodu sprzyja sytuacja, w której Ziemia jest bliżej Słońca zimą, a nachylenie osi do płaszczyzny ekliptyki jest małe. Wówczas zima jest dość ciepła, opady śniegu nad biegunami duże, a lato dość chłodne, dzięki czemu cały śnieg nie zdąży się stopić. Gdy Ziemia jest najbliżej Słońca latem i nachylenie osi jest duże panują dogodne warunki do topienia nagromadzonego lodu i recesji lądolodu. Cykl zlodowacenie – interglacjał trwa około 100 000 lat, tyle co cykl zmian mimośrodu orbity ziemskiej, z czego około 90 000 przypada na zlodowacenie, które też nie jest jednorodne, lecz składa się z co najmniej kilku glacjałów (okresów zimniejszych) i interglacjałów (okresów nieco cieplejszych). Ciepłe okresy rozdzielające zlodowacenia trwają, w myśl tej teorii, około 10 000 lat.



M. P.

ZESPÓŁ PROBLEMOWY:
Globalne Zmiany Klimatu i Środowiska

Zadaniem priorytetowym Zespołu Problemowego: Globalne Zmiany Klimatu i Środowiska są badania i rekonstrukcja dawnego klimatu, przewidywanie przyszłych zmian klimatycznych oraz ocena wpływu działalności człowieka na te przemiany. Celem prac jest dostarczenie informacji, które pozwolą zapobiec lub zredukować zjawiska będące zagrożeniem dla osiągniętego stanu rozwoju cywilizacyjnego społeczeństw.

Zespół Problemowy zajmuje się tymi zagadnieniami bazując na swoim doświadczeniu geologicznym. Zmienność klimatu w przeszłości jest bowiem doskonale dokumentowana badaniami geologicznymi. Tworzący Zespół specjaliści, przeważnie geolodzy czwartorzędu, mają w swoim dorobku opracowania wielu ważnych zagadnień dotyczących zmian paleoklimatu.

Źródłem pozyskania wiadomości o zmienności klimatu w ostatnim okresie geologicznym – czwartorzędzie, tempa przemian klimatycznych oraz wpływu człowieka na te zmiany są paleoinformacje posiadające różnorodny zapis w osadach morskich, jeziornych, bagiennych, a nawet rzecznych, w rdzeniach lodowych, w pierścieniach drzew, a nawet w postaci zapisu paleomorfologicznego.

Dla określenia charakteru zmienności klimatu podczas czwartorzędu ogromne znaczenie mają osady jeziorne i torfowiskowe, pomimo stosunkowo niewielkiego ich udziału w całym zespole osadów. W tych bowiem osadach zostały zarejestrowane etapy rozwoju roślinności i przemian gospodarczych w rozwoju społeczeństw ludzkich. Spełniają one również rolę archiwów sfery biotycznej, która stanowi podstawową bazę do odtwarzania ewolucji klimatu.

Zapoczątkowane w roku 1954 szczegółowe prace geologiczne, kartograficzne i geomorfologiczne w skali 1:50 000, 1:25 000 i 1:10 000 doprowadziły do rekonstrukcji różnych starych przetrwałych krajobrazów w Polsce, a także do przebadania kopalnych i współczesnych osadów jeziornych i rzecznych, pomocnych w określeniu zmian klimatycznych w okresie plejstocenu. Szczegółowe prace kartograficzne, oprócz opublikowania map geologicznych w różnych skalach i o różnej tematyce, zaowocowały także publikacją map turystycznych wybranych obszarów Polski i pogranicza polsko-czeskiego: Chełmy, Masyw Śnieżnika oraz Góry Stołowe (Adršpašsko-Teplické Skály).

Pod koniec lat 90-tych, w oparciu o badania osadów współczesnych i kopalnych śródlądowych zbiorników wodnych oraz osadów rzecznych, zrekonstruowano zmiany klimatyczne w najstarszych na obszarze Polski okresach międzylodowcowych plejstocenu. Określono również wpływ głębokiego podłoża geologicznego na rozprzestrzenianie się i zanikanie kontynentalnych pokryw lodowych poszczególnych plejstoceńskich zlodowaceń, co przyczyniło się do ustalenia zależności pomiędzy głębokim podłożem a procesami rozpadu lądolodów, powstawaniem stref marginalnych i stref zaburzeń glacitektonicznych.

Z kolei badania geologiczne i kartograficzne pozwoliły na stworzenie listy ważniejszych obszarów geologicznych i geomorfologicznych w Polsce oraz zapoczątkowały wysiłki mające na celu zapewnienie im prawnej ochrony. Między innymi, w latach 1999-2001 wybranych zostało w północnej i środkowej Polsce 15 obszarów i obiektów prezentujących przyrodę nieożywioną (krajobrazy, formy morfologiczne, odsłonięcia i wychodnie geologiczne, głazy narzutowe), które powinny stanowić chronione dziedzictwo europejskie. Szczegółowe prace kartograficzne zaowocowały także programem objęcia ochroną obszaru krajobrazowego w polsko–niemieckim rejonie Łuku Mużakowa.

Wyniki tych badań przedstawione zostały w licznych publikacjach, na międzynarodowych i krajowych konferencjach w postaci referatów i posterów, w tym na międzynarodowej konferencji, zorganizowanej w Polsce przez Zespół Problemowy. Było to seminarium na temat *Geological heritage concept, conservation and protection policy in Central Europe*, które odbyło się w dniach 3-4 października 2003 r. w Krakowie,

Obecnie prowadzone są dalsze prace geologiczne służące rekonstrukcji dawnego klimatu i zastosowaniu uzyskanych wyników do prognozowania przyszłych zmian klimatycznych.

Współczesny krajobraz zimowy

Pobieranie prób do analizy pyłkowej z wiercenia Podgórze, Nowe Miasto nad Pilicą. Od lewej: Z. Janczyk-Kopikowa, K. Mamakowa, H. Winter i W. Granoszewski.

Obejmują one m.in. badania:

- współczesnych osadów dna Morza Bałtyckiego, jezior i rzek oraz kopalnych (interglacjalnych lub interstadialnych) osadów jeziornych;
- wpływu wychładzania lodowcowego na zmiany klimatu w okresie schyłku plejstocenu oraz współczesnych zmian klimatycznych na zmiany wartości strumienia cieplnego Ziemi;
- uwarunkowań geologiczno–środowiskowych zagrożeń powodziowych oraz historyczno–geologicznego przebiegu powodzi, jako podstawy rozwoju dolin rzecznych i możliwości ingerencji człowieka;
- geomorfologiczne, w aspekcie zagrożeń (osuwiska, powodzie, susze itp.) i wpływu człowieka na ich powstanie oraz ochrony abiotycznych i biotycznych struktur krajobrazu;
- zmian poziomu morza i wód śródlądowych jako wyniku współczesnych zmian klimatycznych i nawiązania ich do zmian poziomów kopalnych zbiorników wodnych;
- składników węgla kamiennego i brunatnego, które po spaleniu przyczyniają się do zanieczyszczenia atmosfery;
- ustalenia warunków geologicznych i zlokalizowanie obszarów występowania naturalnych zbiorników podziemnych oraz użycie obecnie eksploatowanych zbiorników podziemnych do składowania gazów cieplarnianych: CH_4 i CO_2.

A. Ber
Andrzej.Ber@pgi.gov.pl
H. Winter
Hanna.Winter@pgi.gov.pl

WAHANIA KLIMATYCZNE występowały na ziemiach polskich podczas ostatnich 65 mln lat

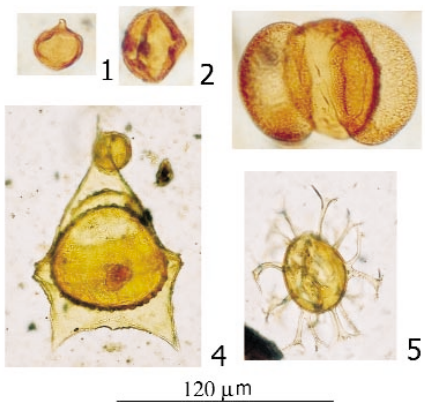
Zmiany klimatyczne obserwowane obecnie są kontynuacją przemian, jakie miały miejsce w przeszłych epokach geologicznych. Wrażliwym wskaźnikiem zmian klimatycznych jest roślinność. Największy wpływ na skład roślinności mają dwa czynniki klimatyczne: temperatura i wilgotność. Na przestrzeni ostatnich 65 milionów lat, czyli od końca kredy do dzisiaj, na skutek zmian klimatycznych, zbiorowiska roślinne ulegały ciągłym przemianom.

Na kopalny materiał roślinny, zawarty w osadach, a charakteryzujący zespoły roślinne w danym okresie, składają się nasiona, owoce, odciski i fragmenty liści, drewno oraz spory i ziarna pyłku. Zmiany roślinności widoczne są zwłaszcza w zbiorowiskach leśnych, które zmieniały się od wiecznie zielonych lasów tropikalnych i subtropikalnych w paleogenie do umiarkowanych zrzucających liście na zimę, przypominających współczesne lasy europejskie, u schyłku neogenu. Przemiany zbiorowisk leśnych były skutkiem postępującego ochładzania klimatu. Zmiany klimatyczne nie postępowały równomiernie, ale wykazywały znaczne oscylacje, co zaznaczyło się następującymi po sobie epizodami cieplejszymi i chłodniejszymi, zdążając ostatecznie ku pogorszeniu klimatu i wyginięciu roślinności ciepłolubnej.

mln lat			
1,8	CZWARTORZĘD		
6,0	NEOGEN	„TRZECIORZĘD”	PLIOCEN
25,0			MIOCEN
36,0	PALEOGEN		OLIGOCEN
54,0			EOCEN
65,0			PALEOCEN
	KREDA		

Podział stratygraficzny paleogenu i neogenu (d. trzeciorzęd)

Stąd bierze się pyłek roślin



1-3 ziarna pyłku, 4-5 plankton roślinny (dinocysty)

Cykliczność klimatyczną rejestrują szczątki roślinne zawarte w osadach paleogenu i neogenu. We wczesnym paleogenie zaczął się kształtować dwudzielny obraz paleoflory, powodowany zmianami klimatycznymi. Tworzyły go dwa typy roślinności: paleoflora tropikalna, zbliżona do współczesnej roślinności strefy tropikalnej i subtropikalnej, oraz paleoflora arktyczno-trzeciorzędowa, podobna do współczesnej roślinności strefy umiarkowanej.

W paleogenie na przeważającym obszarze Polski panowały warunki morskie. Osady tego morza, zawierające sporomorfy i plankton roślinny, zarejestrowały duże zmiany klimatyczne. Wyraźnie zaznacza się optimum klimatyczne w eocenie dolnym i środkowym i ochłodzenie na przełomie eocenu i oligocenu. W zespołach leśnych rosły wówczas liczne wiecznie zielone egzotyczne drzewa i krzewy. Wiele z nich wymarło w późnym paleogenie.

W neogenie na znacznym obszarze Polski panowały warunki lądowe, a zmiany klimatyczne następowały w szybszym tempie. Pogrzebane w osadach neogenu spory i ziarna pyłku roślin lądowych szczegółowo o tym informują. Optimum klimatyczne neogenu przypada na miocen dolny i środkowy. Panowały wówczas lasy ze znacznym udziałem ciepłolubnych drzew i krzewów. Klimat ciepły i wilgotny, sprzyjający bujnemu rozwojowi zbiorowisk leśnych był główną przyczyną powstania rozległych bagnisk i tworzących się z czasem na ich obszarach bardzo bogatych złóż węgla brunatnego.

W późnym neogenie pogarszające się warunki klimatyczne doprowadziły do zapanowanie lasów mieszanych, sezonowo zrzucających liście. Zmiany klimatyczne w neogenie na obszarze Polski nie są zjawiskiem lokalnym, lecz reprezentują globalne zmiany klimatyczne, zachodzące na półkuli północnej.

Tendencja do ochładzania klimatu znana jest też z osadów neogenu basenu Paratetydy, morza występującego na obszarze współczesnych Karpat, co pozwala porównywać te zmiany i doszukiwać się ich wspólnych przyczyn. Główne zmiany paleoklimatyczne i zależne od nich zmiany florystyczne związane są z kurczeniem się Paratetydy, wywołanym wypiętrzaniem się Karpat.

Obserwacja trendów i przyczyn fluktuacji klimatycznych podczas ostatnich 65 mln lat, a zwłaszcza w neogenie daje przesłanki do prognozowania przyszłych zmian. Monitorowanie współczesnych zasięgów mórz i śledzenie rysujących się tendencji może być pomocne w przewidywaniu zmian klimatycznych w przyszłości.

B. Słodkowska
Barbara.Slodkowska@pgi.gov.pl

ZMIANY KLIMATYCZNE a obecne temperatury głębszych partii Ziemi w Polsce

W ostatnich latach powszechne zainteresowanie wzbudza sprawa globalnego ocieplenia i towarzyszące mu dyskusje na temat udziału wpływu czynników ludzkich na wielkość i tempo tych zmian. Najistotniejszy element tych dyskusji dotyczy zagadnienia, czy i w jakim stopniu do zmian klimatycznych przyczynia się działalność człowieka, a szerzej rozwój cywilizacji, a w jakim stopniu są one efektem naturalnych procesów przyrodniczych.

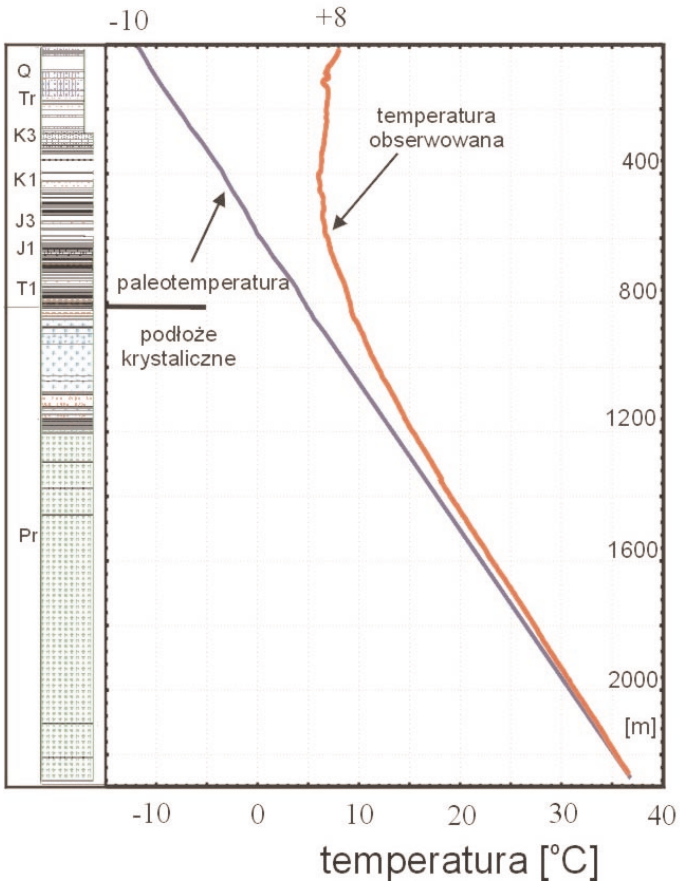
Kluczowym zadaniem dla próby rozwiązania tych problemów jest zrozumienie mechanizmów rządzących zmianami klimatu, które miały miejsce na Ziemi w przeszłości. Jedną z metod badań zmian paleoklimatycznych jest metoda geotermiczna.

Towarzyszące zmianom klimatycznym zmiany temperatur powierzchni Ziemi pozostawiają swoje ślady w postaci zmian temperatury litosfery i to zarówno w obrębie warstw przypowierzchniowych, jak i utworów osadowych i krystalicznych zalegających na głębokościach sięgających nawet kilku kilometrów. Niewielkie szybkości rozchodzenia się energii termicznej w skałach wpływają na to, że na głębokości do

kilkuset, czy kilku tysięcy metrów, zachowały się do czasów współczesnych informacje o zmianach klimatycznych, jakie miały miejsce na Ziemi w przeszłości na przestrzeni dziesiątków, setek, a nawet wielu tysięcy lat. System termiczny Ziemi jest wypadkową zarówno wielkości strumienia cieplnego płynącego z jej wnętrza, jak i temperatur panujących na jej powierzchni. Powolny charakter procesów związanych z rozchodzeniem się energii cieplnej powoduje, że nieustannie zmieniające się temperatury powierzchni Ziemi, zarówno o charakterze krótkookresowym, jak i długookresowym, przenoszone są stopniowo w górne warstwy litosfery. Zmiany te, zaznaczające się w postaci zmian temperatur ośrodka skalnego, dokonują się z pewnym opóźnieniem.

W Państwowym Instytucie Geologicznym prowadzone są m.in. badania rozmieszczenia strumienia cieplnego Polski oraz jego charakteru, a także wielkości zmian klimatycznych w okresie ostatnich kilkudziesięciu tysięcy i więcej lat. Dla badań zmian klimatycznych związanych z okresem ostatniego zlodowacenia (ponad 10 000 lat temu) opracowana została oryginalna metoda obliczania wgłębnych paleotemperatur, oparta na pionowej zmienności gęstości ziemskiego strumienia cieplnego, tj. ilości ciepła płynącego z wnętrza Ziemi ku jej powierzchni.

W wyniku tych prac stwierdzono, że w utworach osadowych Niżu Polskiego powszechnym jest wpływ paleoklimatu związanego ze zlodowaceniami. Zaobserwowano bowiem, że górna część skał osadowych jest tam wyraźnie cieplejszą od głębszych ich partii, co stoi w sprzeczności z naturalnym procesem wzrostu temperatury skał z głębokością. Uznano, że „wyziębienie" niższych serii skalnych wiąże się z efektem wpływu zlodowaceń późnego plejstocenu, natomiast „ocieplenie" serii wyższych – ze znacznym wzrostem temperatur przed około



Wykres pomiaru temperatury w otworze Udryń IG-8 na Suwalszczyźnie.

Pomiary temperatury w otworze wiertniczym; Sidorówka na Suwalszczyźnie. W środku J. Szewczyk

14 000 latami. Ta unikalna w skali Europy termiczna inwersja (odwrócenie) głębokościowa, zaobserwowana m.in. w rejonie Suwałk w wyniku badań dokonanych przy współpracy z dr Jackiem Majorowiczem z Uniwersytetu Północna Dakota w Stanach Zjednoczonych oraz dr Janem Šafandą z Czeskiej Akademii Nauk, jest pozostałością głębokiej wiecznej zmarzliny, o pierwotnej miąższości przekraczającej 550 metrów.

Obecnie najlepiej zachowane pozostałości wiecznej zmarzliny, zaznaczające się obniżeniem temperatury skał, obserwowane są na głębokości około 400 metrów, w obrębie utworów kredy dolnej. Występują tam również dobrze zachowane wody przeobrażone kriogenicznie (pod wpływem niskich temperatur). Czynnikiem sprawczym były najprawdopodobniej bardzo niskie średnioroczne paleotemperatury warstw przypowierzchniowych, sięgające wartości –10°C. Skok temperatury między okresem lodowcowym późnego plejstocenu, a holocenem wyniósł około 18°C. Wyniki badań wskazują także na to, że prawdopodobnie w okresie zlodowacenia Wisły występowała na obszarze Niżu Polskiego ciągła wieczna zmarzlina o średniej efektywnej grubości przekraczającej 130 metrów.

Analiza zmian klimatycznych, oparta na badaniach rdzeni lodowych z profili lądolodów Antarktydy oraz Grenlandii pozwala stwierdzić, że dominującym typem klimatu w ciągu ostatnich 420 000 lat był klimat zimny. Średni czas trwania okresów ciepłych był kilkakrotnie mniejszy w stosunku do czasu trwania okresów zimnych i zawierał się w przedziale 10-18 tysięcy lat. Okresy ciepłe (interglacjały) były z punktu widzenia reżimu termicznego, szczególnie dla większych głębokości, relatywnie krótkimi epizodami w historii klimatycznej, a ich wystąpienia zostają szybko, bo w czasie zaledwie około 10 000 lat, „zapomniane" przez warstwy skalne, a energia cieplna, która dotarła do tych warstw uległa rozproszeniu.

Czas trwania obecnego ciepłego okresu klimatycznego, sięgający już 14 000 lat, zbliża nas więc nieuchronnie do kolejnego okresu klimatu zimnego. Ważna jest jednak także odpowiedź na pytanie, czy i jak rozwój cywilizacji wpływa na ten proces.

J. Szewczyk
Jan.Szewczyk@pgi.gov.pl

INSTYTUT PROWADZI BADANIA PALEOKLIMATYCZNE
także na obszarze Jeziora Bajkał

Prognozowanie globalnych zmian klimatu w przyszłości wymaga poznania przyczyn oraz charakteru zmienności klimatu w przeszłości. Pomimo tego, że ostatni interglacjał (eemski) różni się od aktualnego okresu pod względem pewnych parametrów astronomicznych, np. kata nachylenia orbity Ziemi oraz stopnia nasłonecznienia, pozostaje nadal najlepszym obiektem badań paleoklimatycznych dla holocenu.

Z obszaru Europy znana jest duża liczba stanowisk osadów wieku eemskiego. Z obszaru Syberii znanych jest takich stanowisk niewiele. Jednym z nich jest jezioro Bajkał. Należy ono do nielicznych jezior, które posiadają długi i ciągły zapis sedymentacyjny ostatnich 25 milionów lat. Jest zatem doskonałym przedmiotem badań paleoklimatycznych.

Geograficzne położenie jeziora na południu Syberii, na średnich szerokościach geograficznych, oddalenie od wpływów oceanicznych oraz bliskość granicy syberyjskiej strefy wysokiego ciśnienia i azjatyckiej strefy monsunowej, czynią jezioro Bajkał doskonałym obiektem również do badań zależności pomiędzy tymi dwoma systemami klimatycznymi.

Oddział Karpacki Państwowego Instytutu Geologicznego uczestniczy w finansowanym przez 5 Program Badawczy Unii Europejskiej projekcie CONTINENT (*High-resolution CONTINENTal palaeoclimate record in the Lake Baikal: A key-site for Eurasian teleconnections to the North Atlantic Ocean and monsoonal system*), mającym na celu wyjaśnienie m.in. wpływ zmian w cyrkulacji oceanicznej na klimat w obszarach oddalonych od oceanów.

Projekt rozpoczął się w styczniu 2001 r., a jego zakończenie przewidziane jest na koniec października 2004 r. W projekcie bierze udział kilkanaście ośrodków badawczych z Europy, m.in. z Niemiec, Belgii, Wielkiej Brytanii, Szwajcarii i Republiki Czeskiej oraz z Rosji. Państwowy Instytut Geologiczny uczestniczy w pracach grupy mającej na celu rekonstrukcję zmian klimatycznych w czasie ostatniego interglacjalu oraz późnego glacjału i holocenu na podstawie resztek roślinnych i zwierzęcych.

Projekt jest multidyscyplinarny, a jedną z zastosowanych metod pozwalających na uzyskanie danych biotycznych jest analiza pyłkowa. W celu odtworzenia przemian roślinności i klimatu w centralnej Azji opracowano szereg profili pyłkowych osadów dennych jeziora Bajkał. Z okresu późnego glacjału ostatniego zlodowacenia oraz holocenu opracowano trzy profile. Każdy posiada zestaw dat radiowęglowych (^{14}C) wykonanych metodą pozwalającą na datowanie bardzo małych ilości węgla organicznego. Do datowań użyto koncentratów pyłkowych roślin lądowych, głównie drzew szpilkowych (sosny, świerku i sosny syberyjskiej). W opracowaniu również są dwa profile wieku eemskiego z północnego zbiornika jeziora. Model wiekowy dla osadów eemskich oparty jest na badaniach podatności paleomagnetycznej.

Jezioro Bajkał przy ujściu Angary

Ścisła kontrola wiekowa kolejnych etapów rozwoju roślinności pozwoli na korelację różnych wahań klimatycznych w holocenie, jak również na porównanie zmian klimatu w ostatnim interglacjale ze zmianami klimatu w holocenie.

Dotychczasowe badania wykazały, że zbiorowiska roślinne, głównie leśne, w południowej Syberii w czasie holocenu podobne były do roślinności ostatniego interglacjału. Jednak większy udział drzew o wyższych wymaganiach klimatycznych (np. jodły syberyjskiej) wskazuje, że podobnie jak w Europie, również i w południowej Syberii klimat ostatniego interglacjału był cieplejszy i wilgotniejszy w porównaniu z holoceńskim.

W. Granoszewski
Wojciech.Granoszewski@pgi.gov.pl

IN THIS ISSUE

Global climatic change became now-a-days an important issue for the international community. Some keys to understand and forecast the possible coming changes could be find in the geological past. This issue presents the problem of the global climatic and environmental changes as such, and research carried out by the Polish Geological Institute Center of Excellence REA in that respect, with special emphasis on palaeoclimatic changes during the last few millions years. Besides, results of studies on the palaeotemperatures impact on the deeper basement in Poland are reported as well as the Institute's engagement in palaeoclimatic research in Siberia (Lake Baikal).