

Czesław DRUET

# Klimat Ziemi w objęciach oceanu



W BROSZURZE:

***Ocean – źródło tlenu, żywności  
i surowców naturalnych***

***Ocean – źródło zagrożeń***

***Ocean – czynnik wpływający  
na zmiany klimatu***

***Modelowania klimatu***

***Badania przepływu wód  
oceanicznych***

***Udział polskich badaczy***

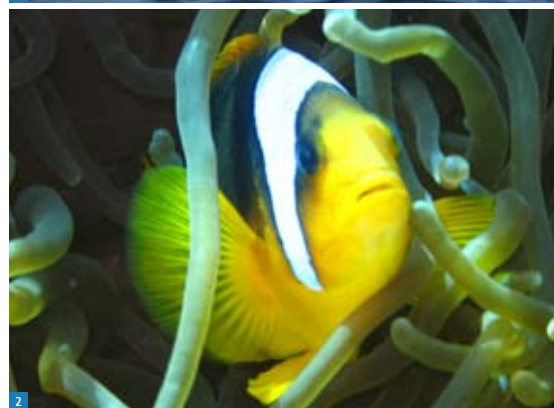


## Ocean – źródło tlenu, żywności i surowców naturalnych

Ocean! Obszar wód, pokrywający w ok. 70% powierzchnię ziemskiego globu. Jego toń zawiera nieprzebrane ilości pożywienia (ryb, bezkręgowców), stanowiącego znaczną część użytecznych człowiekowi zasobów żywych Ziemi. Jego dno dostarcza gospodarce światowej niezbędne ilości surowców energetycznych (ropa naftowa, gaz) i surowców przemysłowych (żelazo-manganowe koncentracje, cyrkon itp.). Brzegowe strefy oceanu i jego mórz peryferyjnych to, powszechnie dziś wykorzystywane przez człowieka w celach zdrowotnych złociste plaże, laguny, atole, urwiste klify, wody zasobne w jod, fluor i inne ważne dla zdrowia substancje chemiczne. Procesy fotosyntezy w komórkach morskiego fitoplanktonu pochłaniają z atmosfery dwutlenek węgla i emitują do niej ożywczy tlen. Ocean produkuje tlen w stopniu porównywalnym z produkcją zielonych obszarów kontynentalnych, ale kontynenty emitują dziś do atmosfery więcej dwutlenku węgla niż tlenu. Powstaje zatem deficyt w bilansie tlenowym, a jedyne uzupełnienie tego deficytu emitowane jest do atmosfery właśnie z oceanu.

Do końca dziewiętnastego wieku akweny mórz i oceanów były wykorzystywane przez człowieka niemal wyłącznie dla celów transportowych (żegluga) oraz pozyskiwania białka i tłuszczu (odłowy morskich ryb i bezkręgowców, polowania na wieloryby itp.).

1. Ocean jako droga transportu fot. A. Żelaźniewicz
2. Życie pod powierzchnią oceanu fot. S. Tyski
3. Życie nad powierzchnią oceanu fot. A. Żelaźniewicz







Dwudziesty wiek poszerzył w znaczącym stopniu ten zakres praktycznego zainteresowania człowieka oceanem. W obszarze oceanicznego szelfu, na znacznych nieraz głębokościach, stanęły platformy wiertnicze wydobywające z dna oceanu ropę naftową i gaz, rozwinęły się metody kontrolowanej hodowli ryb i bezkręgowców w warunkach naturalnych (hodowlane sadze, hodowla w słonych fiordach). W morskiej strefie przybrzeżnej zbudowano konstrukcje hydrotechniczne, wykorzystujące mechaniczną energię przyływu i odpływu wód morskich do produkcji energii elektrycznej (elektrownie pływowe). Rozwinięto znacząco infrastruktury techniczne szeroko pojmowanej gospodarki morskiej (rozbudowa morskich przystani i portów w strefach większych głębokości, budowa dużych rybackich statków – przetwórni, itp.).

4. Pozyskiwanie soli z wód Oceanu Atlantyckiego, Fuerteventura fot. A. Żelazniewicz

5. Bogactwo rafy koralowej fot. S. Tyski

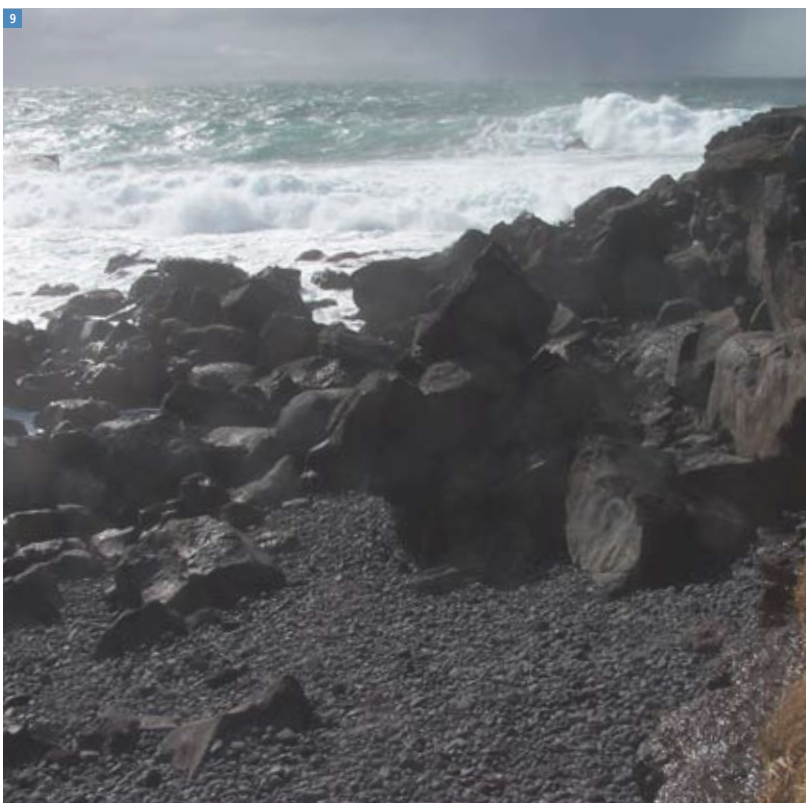
6. Polska platforma wiertnicza PETROBALTIC. Fot. Internet.



## Ocean – źródło zagrożeń

Pomimo niewątpliwie istotnego znaczenia oceanu w gospodarczej działalności i zdrowotnej kondycji człowieka, ludzie musieli jednak ciągle mieć na uwadze fakt, że dynamiczny żywioł oceanu jest wielkim zagrożeniem dla ich życia i mienia. Rozmiary (skala) przebiegu głównych procesów wzajemnego oddziaływania oceanu z atmosferą i lądem są tak olbrzymie w czasie i przestrzeni, że ludzkość dysponuje dziś niewieloma sposobami skutecznej obrony przed negatywnymi skutkami tego oddziaływania. Niedoskonałe są też metody przewidywania różnorodnych zagrożeń (szczególnie zagrożeń w skali globalnej). Spektakularnym przykładem mogą być tu ruchy tektoniczne i wulkanizm oceanicznego dna i jego obszarów przybrzeżnych, wzbudzające powstawanie wielkich fal tsunami, których katastrofalne skutki oddziaływania są powszechnie znane. Również reakcja oceanu na działanie huraganowych wiatrów jest nieraz tragiczna w swoich skutkach, wywołująca zniszczenie osiedli, umocowań brzegowych i zalewanie lądowych obszarów (powodzie sztormowe).

7. Wyspy wulkaniczne na Atlantyku fot. A. Żelaźniewicz
8. Wnętrze krateru El Golfo, Lanzarote fot. A. Żelaźniewicz
9. Sztorm u wybrzeży Islandii fot. A. Żelaźniewicz



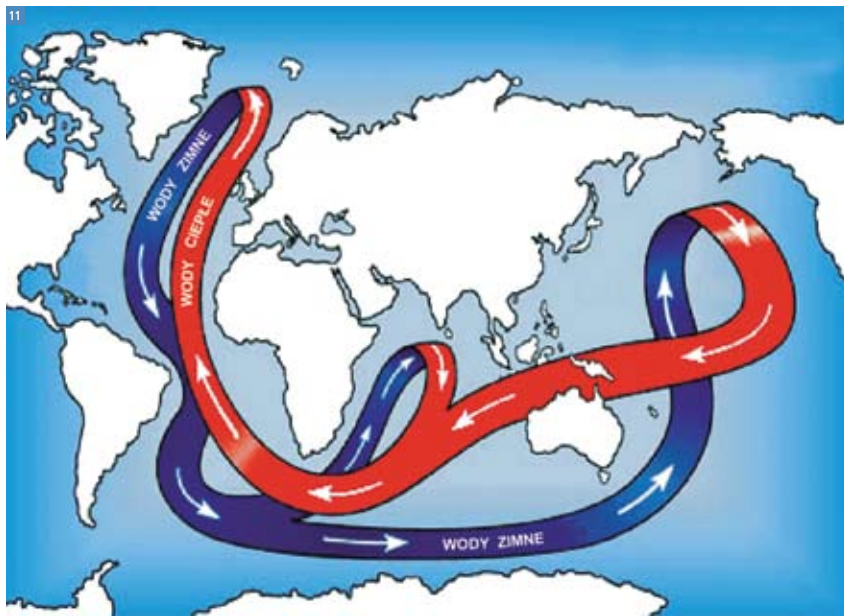




## Ocean – czynnik wpływający na zmiany klimatu

Najwięcej obaw wzbudza dziś wielkoskalowe oddziaływanie oceanu i atmosfery, przybiegające w skali krótkookresowych zmian ziemskiego klimatu. Postępujące globalne ocieplenie Ziemi jest wielkim zagrożeniem dla ludzkości, a jedna z jego negatywnych konsekwencji związana jest z możliwością naruszenia istniejącej równowagi w wielkoskalowym transporcie ciepła w oceanie (naruszenie stabilności cyrkulacyjnego ruchu wód oceanicznych w skali globalnej: „conveyer belt”, rys. 11).

Wywołane pasatami prądy równikowe transportują ciepłe, górne wody oceanu na zachód i północ, do Mórz Arktycznych. Wody te, tracąc po drodze ciepło na rzecz atmosfery, stają się zimniejsze i mając większe zasolenie od wód lokalnych, stają się cięższe. Opadają w głąb toni, płynąc dalej w warstwie przydennej na południe i wschód. Różnorodne mechanizmy mieszania tych powrotnych zimnych wód z górnymi cieplejszymi wodami oceanu powodują ich ocieplanie i wypływanie na powierzchnię w Oceanie Indyjskim i Pacyfiku, po czym ponownie wody te płyną z ciepłym prądem równikowym na zachód i północ. Okres trwania tego cyklu wędrówki mas wodnych i ciepła w oceanie jest rzędu 1000 lat. Wskutek ogólnego ocieplania się ziemskiego klimatu zaczynają dziś topnieć arktyczne czasy lodowe (rys.10) i górne, słone wody mórz arktycznych, mieszając się ze słodkimi wodami z topniejących lodowców, stają się coraz mniej zasolone. Dalszy rozwój tej tendencji może doprowadzić do zmniejszenia zasolenia napływających do Arktyki wód atlantyckich i zaniku procesu ich opadania w głąb toni wodnej, to jest do stopniowego zanikania wielkoskalowej pętli transportu wód i ciepła w oceanie. Nastąpi wówczas radykalna zmiana warunków egzystencji biosfery ziemskiej, w tym także ludzkości.



## Modelowania klimatu

Klimatolodzy są podzieleni w sprawie przewidywania uwarunkowań, które wówczas zaistnieją, ale jedno jest istotne, że ludzkość tych zmian może nie przeżyć. W związku z powyższym musimy podjąć działania w celu likwidacji lub przynajmniej spowolnienia tego negatywnego procesu. Kraje uprzemysłowione (technologicznie rozwinięte) muszą przerwać zasilanie atmosfery w dwutlenek węgla, którego nadmiaru nie będzie mógł już niedługo wchłonąć ocean. Naukowcy muszą również skonstruować bardziej precyzyjne modele (metody) przewidywania klimatycznych zmian, w których słabo do dziś rozpoznane mechanizmy mieszania wód oceanicznych odgrywają, być może, kluczową rolę.

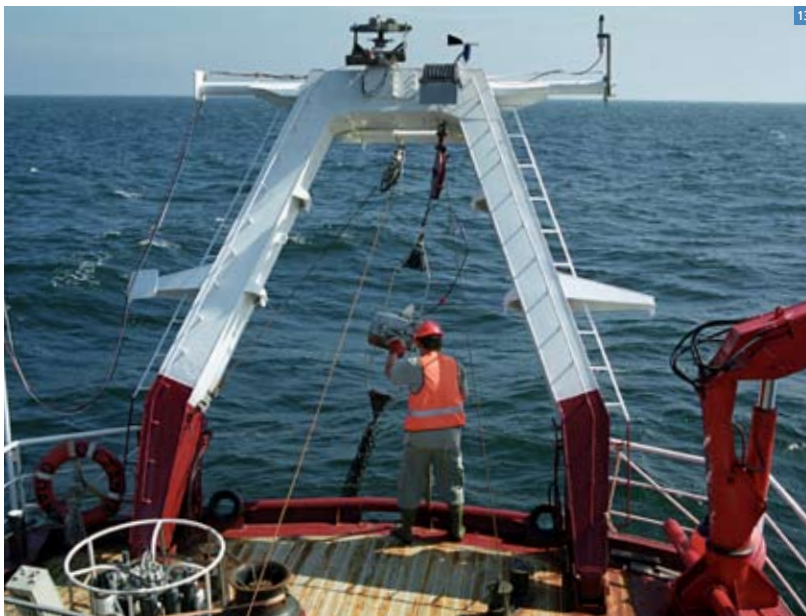
Ostatni raport Międzyrządowej grupy ekspertów d/s zmian klimatu (IPCC) z dnia 2 lutego 2007 r. („Nature” z dnia 8.02.07) wywołał w Paryżu bardzo poważną debatę nad metodami modelowania ziemskiego klimatu. Po pierwsze, stwierdzono w niej, że z 90% prawdopodobieństwem za aktualną tendencję zmian klimatycznych odpowiedzialna jest działalność człowieka (wzrost średniej temperatury był bardzo intensywny po roku 1990, średnio temperatura przyrastała o 0,2°C w ciągu dekady) oraz, że globalne ocieplenie wynika w znacznej mierze ze zwiększonego poziomu koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze. Po drugie, uznano, że nasza dzisiejsza wiedza o kompleksowej wymianie strumieni węgla między

10. [Redukcja pokrywy lodowej na biegunie północnym \(w/g NASA Ice; News z dnia 9.28.2005\)](#)

11. [Wielkoskalowa cyrkulacja termohalinowa wód w/g Broeckner'a; Nature 328, 6126, 1987](#)

12., 13.

[Prace pomiarowe na statku „OCEANIA” fot. J. Dąbrowski](#)





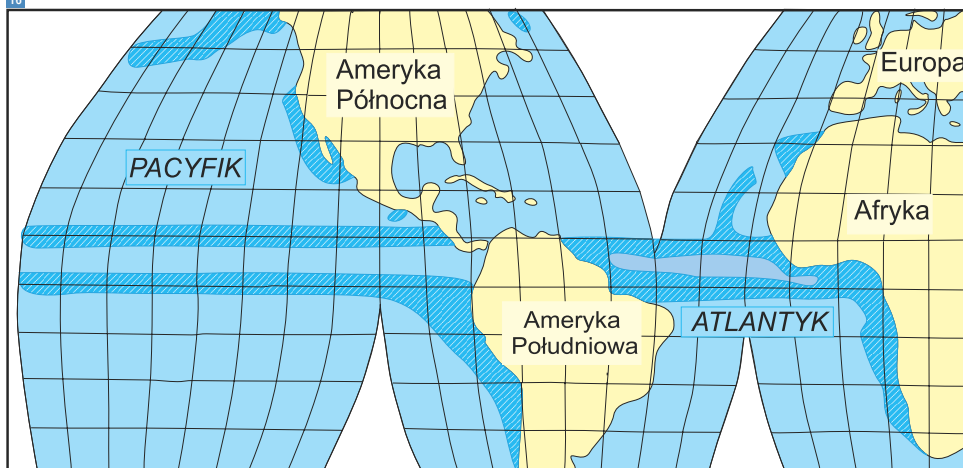
14



15

roślinnością kontynentalną, osadami dennymi oraz oceanem i atmosferą ma poważne luki i stanowi jeden z ważnych powodów braku danych, niezbędnych dla prawidłowego modelowania zmian ziemskiego klimatu. Inną kwestią, silnie podkreślaną w czasie paryskiej debaty była nieznaną miarą z jaką ocean może jeszcze wchłonąć z atmosfery dwutlenek węgla i odłożyć go w postaci węglanu wapnia w muszlach i szkieletach organizmów morskich. Wysoki poziom dwutlenku węgla w atmosferze będzie powodować zakwaszanie wód, co niewątpliwie wpłynie na obniżenie zdolności akwenu do magazynowania węglanu wapnia. Kolejnym problemem jest stałe podnoszenie się średniego poziomu oceanu wskutek topnienia lodów, stanowiące wielkie zagrożenie dla krajów zlokalizowanych na niskich terenach nadmorskich (zalewanie). Oceniany przez badaczy wzrost średniego poziomu wód do 2100 roku zawarty był w przedziale od 19 cm do 58 cm. Oceny te uznane jednak zostały przez wielu dyskutantów za zbyt optymistyczne. Wyrażano też opinię, że efekty zmian klimatycznych przebiegać będą różnie w różnych rejonach świata i ten regionalny aspekt powinien być uwzględniany w modelowaniu (przewidywaniu) krótkookresowej zmienności klimatu Ziemi. Specjaliści od konstruowania prognostycznych modeli wskazywali na szereg trudności wynikających z braku dostatecznej liczby wiarygodnych danych obserwacyjnych, która wpływa ewidentnie na dokładność prognozy. Apelowali o zwiększenie wysiłku badawczego w celu dokładniejszego poznania szeregu dynamicznych, fizyko-chemicznych i biologicznych procesów zachodzących w środowisku morskim, w szczególności mechanizmów wzajemnego oddziaływania oceanu i atmosfery. Postawione tu zostało bardzo istotne pytanie: *Skąd pochodzi energia zwiększająca siły wyporu dolnych chłodnych wód oceanu, stanowiących powrotną część wielkoskalowej, ich cyrkulacji (conveyer belt), umożliwiająca wypływanie tych wód w górnej strefie oceanów Indyjskiego i Pacyfiku?*

16

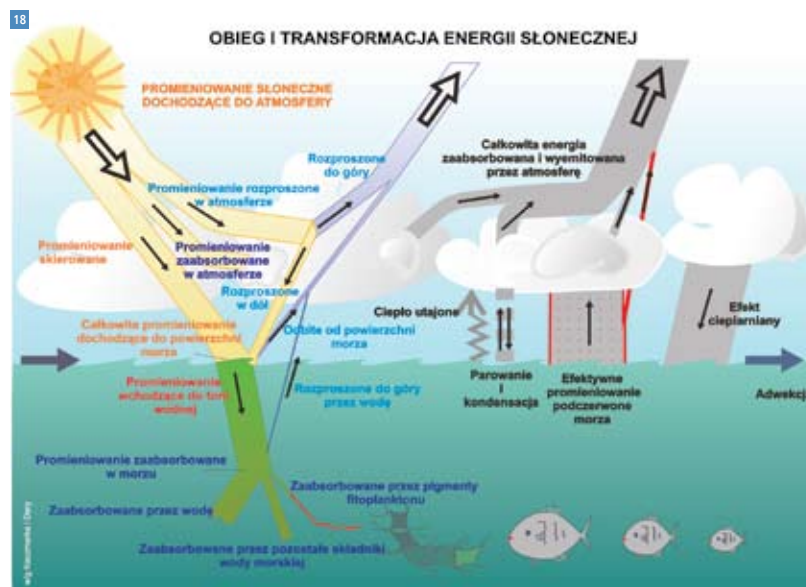


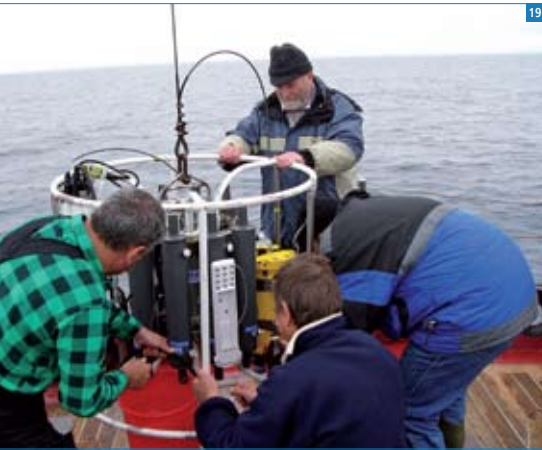


50 milionów lat temu klimat ziemski był cieplejszy od dzisiejszego. Wyniki badań osadów odłożonych na dnie Oceanu Arktycznego sugerują, że obszar ten miał wówczas klimat śródziemnomorski o temperaturze okresu letniego ok. 24°C („Nature” z dnia 31 maja 2007 r.). Współczesne modele zmian klimatycznych nie dają jednak wyników zbieżnych z tym rozpoznaniem. Otrzymane z obliczeń modelowych temperatury rejonów Arktyki wykazują, że w takich termicznych uwarunkowaniach ziemskiego klimatu wody obszarów tropikalnych oceanu musiałyby być znacznie cieplejsze. Zatem musiało je coś chłodzić, aby mogła zaistnieć wielkoskalowa termohalinowa pętla. Wielu badaczy dowodzi, że mechanizmem tego chłodzenia było oddziaływanie tropikalnych cyklonów, które tak mieszały dolne, chłodne wody oceanu z ciepłymi wodami górnymi, że mogła powstać termohalinowa pętla transportu ciepła. Generalnie rzecz ujmując badacze są zgodni w poglądzie, że za wzrost temperatury chłodnych, powrotnych wód oceanicznej pętli, zwiększający siły ich wyporu, odpowiedzialne są procesy mieszania wód górnych z wodami dolnymi. Drobnoskalowe (turbulentne) mechanizmy tego mieszania, wynikające z naruszenia hydrodynamicznej stabilności przepływu, nie mają tu większego znaczenia, ponieważ moc tego mieszania (energia zużywana w jednostce czasu) jest niewspółmiernie mała w porównaniu z mocą napędzającą globalną cyrkulację wód oceanu (sięgającą 2 petawatów) i może być z powodzeniem pomijana w modelowaniu zmian w skali ziemskiego klimatu. Pewna grupa badaczy sugeruje, że być może procesy mieszania powodowane są przez biliony żywych organizmów



14. Spożytkowanie energii wiatru fot. A. Żelaźniewicz
15. Pływy oceaniczne również można użyć do produkcji energii fot. A. Żelaźniewicz
16. Rejony najbardziej intensywnego „upwellingu” w oceanie (obszary zakresowane)
17. Południowy skraj Afryki – tu ciepłe wody Oceanu Indyjskiego mieszają się z zimnymi wodami Atlantyku fot. A. Żelaźniewicz
18. Obieg i transformacja energii słonecznej w/g S. Kaczmarka i J. Dery

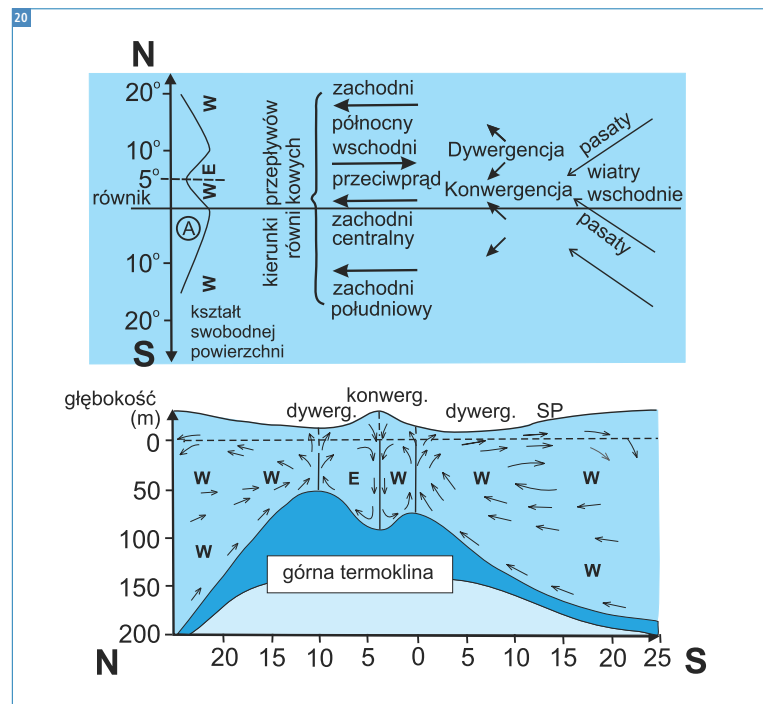




19

przemieszczających się wraz z głównymi oceanicznymi prądami, ich sposobem poruszania się i wzajemnego oddziaływania w toni wodnej. Pogląd ten nie uzyskuje jednak akceptacji, ponieważ nie jest merytorycznie umotywowany. Burzliwe mieszanie, jakie powstaje w wyniku tego rodzaju oddziaływania, ma charakter drobnoskalowej turbulencji, o której wspomniano wyżej i może być też z powodzeniem pomijane w modelach klimatycznych. Inni badacze podkreślają, że pewne znaczenie mogą tu mieć zjawiska przyrównikowego i przybrzeżnego „upwellingu” (wynoszenia głębszych, zimnych wód na powierzchnię oceanu: rys. 16), które wraz z innymi procesami mieszania w mniejszej skali, stanowią być może główny czynnik ocieplenia dolnych powrotnych wód wielkoskalowej „pętli”. Pogląd ten jest dziś chętnie przyjmowany przez „modelarzy”, ponieważ upraszcza w znacznym stopniu założenia wyjściowe i obliczenia w modelach klimatycznych.

19. Prof. Jan Piechura (realizacja programu DAMOCLES) fot. A. Drapella
20. Schemat cyrkulacji mas wodnych w obszarze przyrównikowym (A - w płaszczyźnie poziomej, B- w płaszczyźnie pionowej; kierunki W-zachodnie i E-wschodnie są prostopadłe do płaszczyzny rysunku, W - ku płaszczyźnie, E - od płaszczyzny w górę, górna termoklina to obszar pionowej zmienności temperatury wód, blokującej wymianę ich dolnych warstw z warstwami górnymi, SP oznacza swobodną powierzchnię akwenu a „dywergencja” i „konwergencja” rozbieżność i zbieżność wektorów prędkości przepływu, N oznacza kierunek północny a S południowy

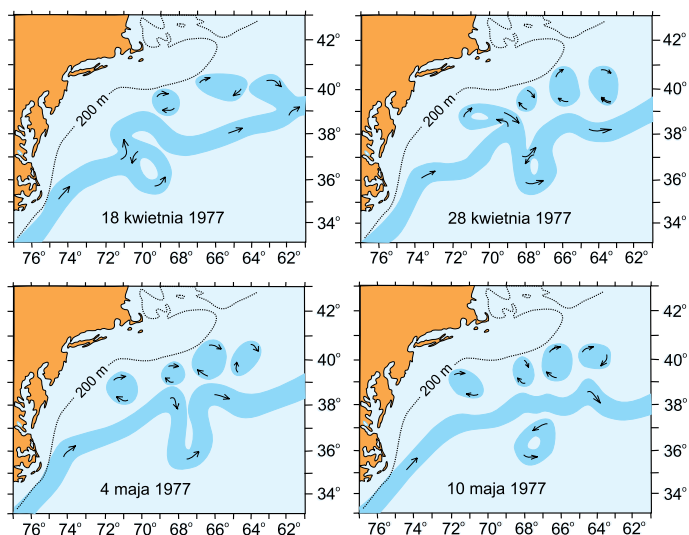


## Badania przepływu wód oceanicznych

Wyniki współczesnych badań wskazują jednak na bardziej złożony charakter rzeczywistych procesów mieszania, wpływającego na wzrost sił wyporu powrotnych wód „pętli”. Najnowsze rezultaty znacznej liczby empirycznych i teoretycznych badań coraz bardziej uzasadniają tezę, że głównym generatorem tego mieszania jest działanie atmosferycznych huraganów i tropikalnych cyklonów („Nature” z dnia 24 i 31 maja 2007 r.). Różnica temperatur górnej warstwy oceanu, przed przejściem i po przejściu huraganu, dostarcza argumentów na prawdziwość tej tezy. Udowadnia, że średnioskalowe mieszanie wód górnych z wodami dolnymi, generowane huraganami, zasilane są mocą o wielkości 0,26 petawatów średnio rocznie („Nature” z dnia 24 maja 2007 r.). Jest to wystarczająca ilość energii do podniesienia wód dolnych i wymieszania ich z wodami górnymi oceanu. Procesowi temu towarzyszy niewielkie zmniejszenie temperatury wód górnych i ocieplenie wód dolnych w stopniu wystarczającym do ich wypływania na powierzchnię w oceanach Indyjskim i Pacyfiku.

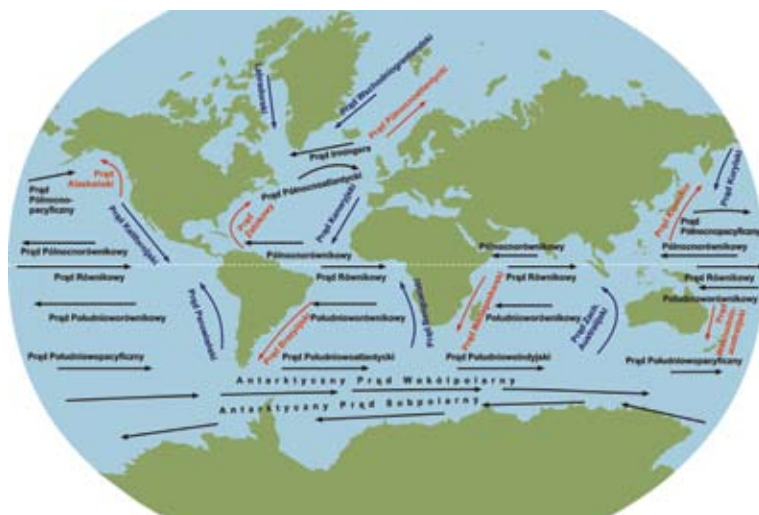
Antropogenne globalne ocieplenie klimatu Ziemi, któremu towarzyszy stopniowy wzrost średniej temperatury powierzchniowych wód oceanu, powoduje dziś zwiększenie częstotliwości występowania huraganowych sztormów i tropikalnych cyklonów („Nature” z dnia 31 maja 2007 r.). Badania lagunowych osadów dennych w rejonie Karaibów wskazują

21. [Deformacje głównego nurtu Golsztromu; formowanie się cyklonalnych i antycyklonalnych wirów \(w/y Richardsona; Journ. Phys. Ocean Vol.10. Nr 1, 1980r.\)](#)
22. [Prądy oceaniczne.](#)

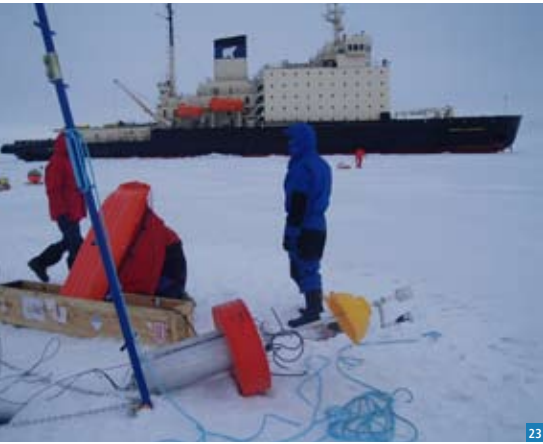


21

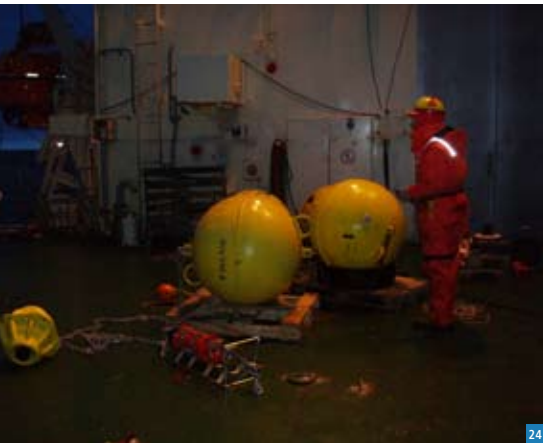
22







23



24

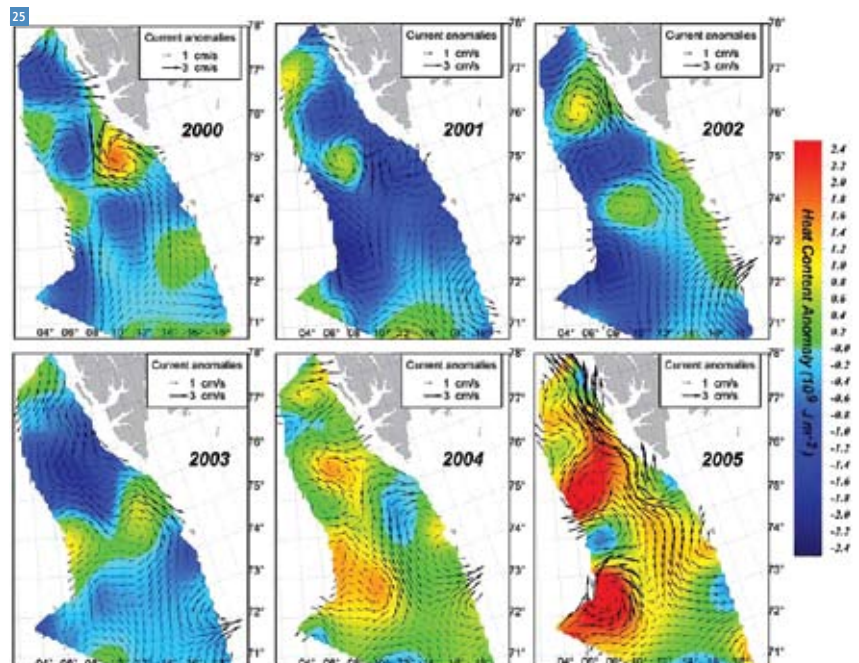
na związki między warunkami klimatycznymi i aktywnością huraganów pojawiających się w dłuższym okresie czasu. Pięć tysięcy ostatnich lat było właśnie takim dłuższym okresem czasu, w którym zbadano częstotliwość pojawiania się cyklonów w Północnym Atlantyku („Nature” z dnia 24 maja 2007 r.) Porównanie wyników tych badań sedimentologicznych z wynikami badań paleoklimatycznych dało zaskakujący rezultat. Okazało się, że częstotliwość występowania cyklonów w tym obszarze jest modulowana zjawiskami atmosferycznymi związanymi z przebiegiem zjawiska „El Niño” – Południowa Oscylacja oraz wpływem zachodnio-afrykańskich monsunów.

Coraz więcej współczesnych wyników badawczych wskazuje również na fakt, że w średnioskalowych procesach wymiany mas wodnych i ciepła w oceanie ważną rolę odgrywa tarcie wód o jego dno i płycizny oceanicznego szelfu. Zarówno kształt tych stref jak i geomorfologiczna ich budowa w istotnej mierze warunkują bowiem przebieg tras przemieszczania się mas wodnych (rys. 21) oraz powstawania różnorodnych struktur

23., 24.

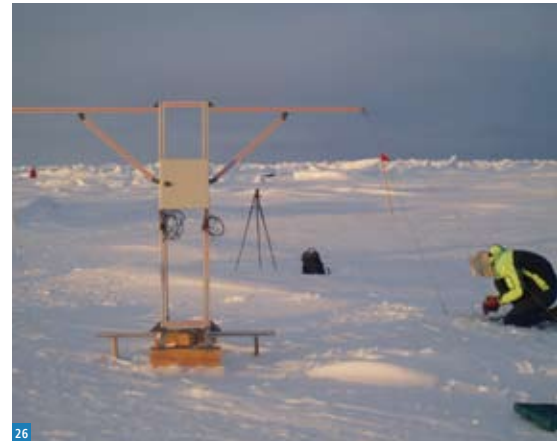
Badania polarne w ramach programu DAMOCLES na lodofłamaczu „Kapitan Dranitsyn” w 2006 r. fot. R. Obuchowski

25. Anomalie zawartości ciepła i prędkości przepływu wód atlantyckich na głębokości ok. 100 m, w lipcach lat 2000-2005 (wg Walczowskiego i Piechury; Geoph. Res. Letters Vol.33, 2006 r.)



25

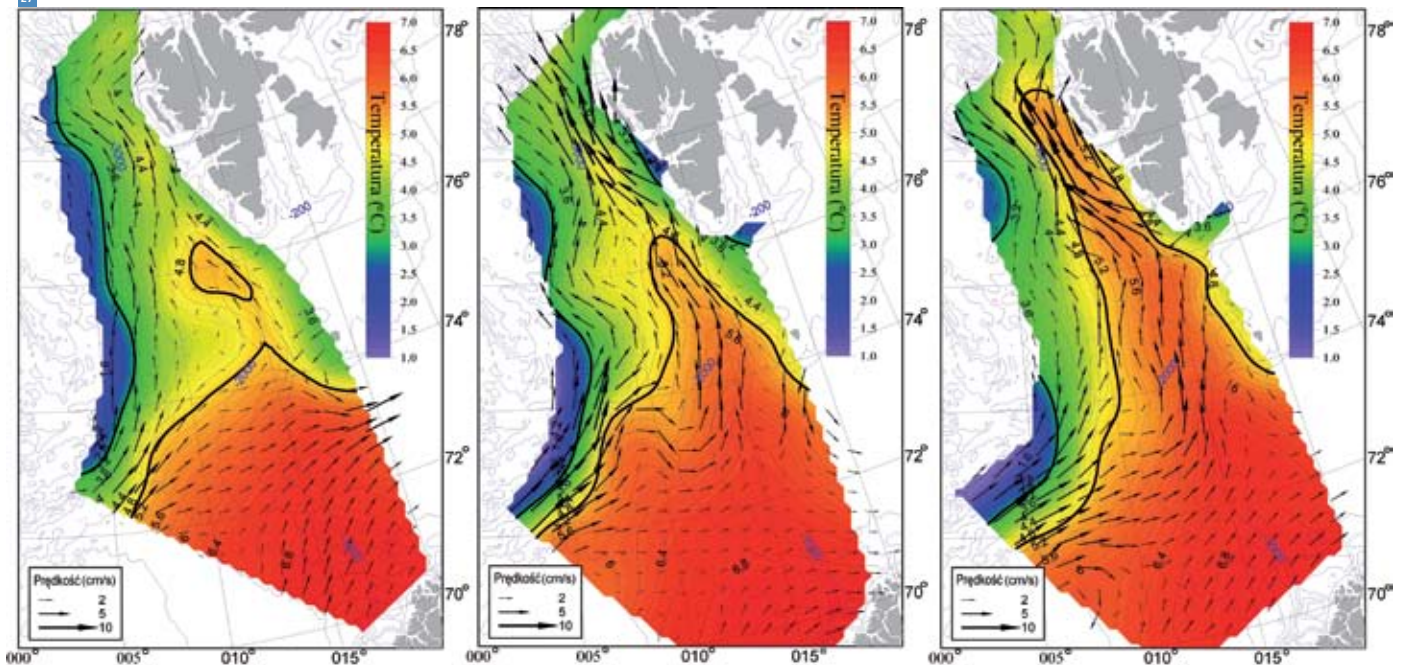
wirowych generujących średnioskalowe mieszanie wód, szczególnie efektywne w przedziale skal od 50 km do 100 km. Oddziaływanie tego rodzaju stref brzegowych oceanu oraz huraganowe wiatry wydają się być istotnym uwarunkowaniem termicznych i zasoleniowych zmian wód atlantyckich w newralgicznych obszarach Arktyki. W celu gruntownego poznania tras przemieszczania się i transformacji tych wód podejmowane są od wielu lat poważne działania krajów europejskich, USA i Kanady. Sformułowano i uruchomiono duże międzynarodowe programy badawcze Mórz Arktycznych, w których zespoły polskich oceanologów są dziś zauważalnym merytorycznym partnerem. Wśród tych programów wymienić należy: „Arktyczno-Subarktyczne strumienie oceanu (ASOF-N)”, „Zintegrowany system obserwacji Oceanu Arktycznego (IAOOS)”, „Rozwój arktycznych modeli i systemów obserwacji dla długoterminowych badań środowiska (DAMOCLES)”, „Zespołowe badania klimatu Zachodniej Arktyki (IWACS)”, oraz „Wymiana materii i energii pomiędzy szelfami a głębokimi basenami (SBE)”.



26

26. Badania polarne w ramach programu DAMOCLES na lodołamaczu „Kapitan Dranitsyn” w 2006 r. fot. R. Obuchowski
27. Zmiany w rozkładzie temperatur i prędkości prądów baroklinowych na głębokości 100 m w lipcu w latach 2004, 2005, 2006 (w/g Walczowskiego i Piechury)

27







## Udział polskich badaczy

Oryginalne wyniki badawcze polskich oceanologów, publikowane w wiodących światowych czasopismach naukowych, są wysoko oceniane przez międzynarodową społeczność oceanograficzną. Spektakularnym przykładem mogą tu być wyniki badań zespołu Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie, działającego aktualnie pod kierownictwem profesora Jana Piechury (rys. 19, 25), wykazujące niezbicie, że wody Północnego Atlantyku wnoszą stopniowo do Oceanu Arktycznego coraz więcej ciepła.

Naukowcy Instytutu Oceanologii PAN prowadzą od wielu lat hydrodynamiczne, fizyko-chemiczne i ekologiczne badania w Morzach Arktycznych, których wartość poznawcza jest nie do przecenienia. Od 1987 roku, w miesiącach letnich (lipiec-sierpień) regularnie co roku wyrusza na ożaglowanym statku badawczym „Oceania” ekspedycja naukowa – zawsze w te same rejony Mórz Arktycznych (rys. 28-32). Zbierane od roku 1985 dane oceanograficzne utworzyły do dziś bardzo cenny zbiór danych empirycznych, służący wielu badaczom do różnych analiz i opracowań naukowych. W problematyce dotyczącej wzajemnego

28., 29., 30., 31.

Badania akustyczne, biologiczne, optyczne na r/v „OCEANIA” Fot. J. Dąbrowski

32. Zagłowiec badawczy „OCEANIA”. Fot. J. Dąbrowski





oddziaływania oceanu i atmosfery oraz tras przemieszczania się wód Północnego Atlantyku w Morzach Arktycznych badania umożliwiły wyciągnięcie szeregu istotnych wniosków odnoszących się do charakteru procesów mieszania i transformacji mas wodnych, z drugiej zaś strony uzasadniły tezę, że ocieplenie obszarów Arktyki w poważnym stopniu powodowane jest dziś coraz intensywniejszym napływem ciepłych wód Północnego Atlantyku (rys. 27). W tym też zakresie wyniki polskich badaczy są niewątpliwie przydatne specjalistom zajmującym się modelowaniem wpływu dynamiki wód oceanicznych na wymianę energii między arktycznymi morzami i atmosferą.



AUTOR:



Czesław DRUET  
Instytutu Oceanologii  
PAN w Sopocie



Wszystkie informacje o Światowym Roku Planeta Ziemia (International Year of Planet Earth) można znaleźć na stronie internetowej IYPE ([www.yearofplanetearth.org](http://www.yearofplanetearth.org)) oraz Komitetu Planeta Ziemia PAN ([www.planetaziemia.pan.pl](http://www.planetaziemia.pan.pl)).

Komitet Planeta Ziemia PAN  
Przewodniczący – prof. dr hab. Andrzej Żelaźniewicz  
Sekretariat: Podwale 75, 50-449 Wrocław  
tel. 71-3376345, fax 71-3376342  
e-mail: [rokziemi@planetaziemia.pan.pl](mailto:rokziemi@planetaziemia.pan.pl)