

Wpływ ruchu mas wody w oceanach na klimat Ziemi

Wielkie mieszanie



Profesor Czesław Druet jest hydromechanikiem geofizycznym i zajmuje się dynamiką morza oraz zjawiskami na styku oceanu i atmosfery

CZESŁAW DRUET
Instytut Oceanologii, Sopot
Polska Akademia Nauk
druet@iopan.gda.pl

Masy wody różniące się temperaturą i zasoleniem ścierają się wzdłuż niespokojnych frontów i tworzą ogromne wiry. Ocean to ośrodek równie złożony jak atmosfera, z którą jest nierozzerwalnie związany

Wywoływane przez pasaty prądy równikowe transportują ciepłe górne wody oceanów na zachód i północ. W końcu wody te docierają do Oceanu Arktycznego. Oddając po drodze ciepło atmosferze, stają się zimniejsze, a także cięższe, bo mają większe zasolenie od wód lokalnych. Opadają w głąb oceanu i płyną dalej w warstwie przydennej na południe i wschód. Okres tego cyklu wędrówki mas wodnych i ciepła w oceanie wynosi około tysiąca lat. Jednak wskutek ocieplania się ziemskiego klimatu zaczynają dziś topnieć arktyczne pokrywy lodowe i górne wody mórz arktycznych stopniowo wysładzają się od napływu wód roztopowych. Dalszy rozwój tej tendencji może doprowadzić do tego, że trafiające do Arktyki wody atlantyckie będą miały zbyt małe zasolenie, by móc opaść. Wydarzenie to prawdopodobnie zapo-

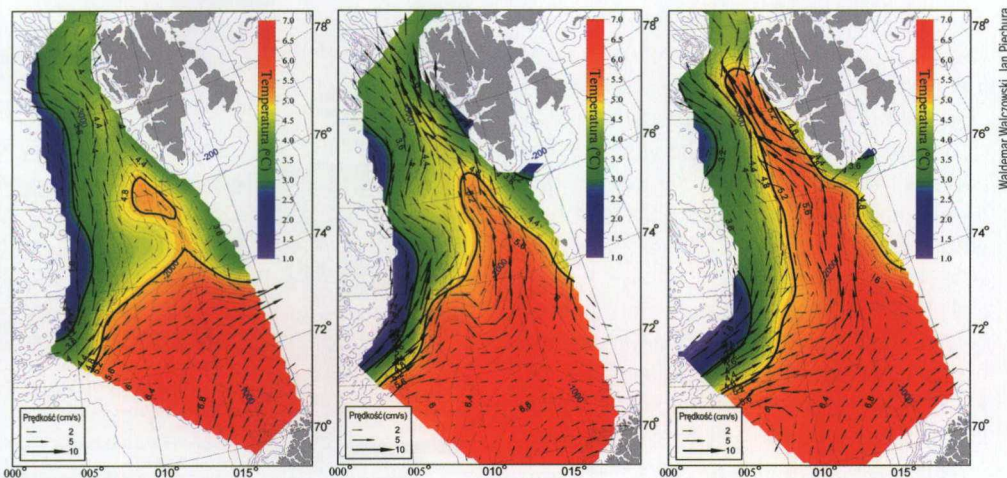


czątkuje zanikanie wielkoskalowego transportu wód i ciepła w oceanie, a to z kolei drastycznie zmieni warunki egzystencji biosfery, w tym także ludzkości.

Klimatolodzy są podzieleni w sprawie możliwości przewidzenia warunków, które wówczas zaistnieją, ale w jednym są zgodni - że ludzkość tych zmian może nie przeżyć. W związku z tym musimy podjąć działania, które zlikwidują lub przynajmniej spowolnią ten negatywny proces. Kraje uprzemysłowione muszą ograniczyć wprowadzanie do atmosfery dwutlenku węgla, zaś naukowcy muszą opracować precyzyjniejsze metody przewidywania zmian klimatycznych.

Ostatni raport Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC) wywołał w Paryżu gorącą debatę nad metodami modelowania stosowanymi przez klimatologów. Potwierdzono, że globalne ocieplenie wynika w znacznej mierze ze zwiększonego stężenia dwutlenku węgla w atmosferze. Przyznano zarazem, że nasza wiedza o wymianie związków węgla między roślinnością kontynentalną, osadami dennymi oraz oceanem i atmosferą

Zmiany w rozkładzie temperatur i prędkości prądów w lipcu w latach 2004-2006 pokazują stopniowe ocieplenie się wód Morza Grenlandzkiego



Waldemar Walczowski, Jan Piechura



ma poważne luki i stanowi jeden z głównych powodów niepowodzeń w modelowaniu krótkookresowych zmian ziemskiego klimatu.

Wirujące pompy ciepła

Jedną z problematycznych kwestii jest zdolność oceanu do dalszego wchłaniania z atmosfery dwutlenku węgla i trwałego magazynowania go w postaci węglanu wapnia w muszlach i szkieletach organizmów morskich. Istnieje obawa, że ocean będzie przyjmował coraz mniej tego gazu. Wydaje się, że kluczową rolę odgrywają tu dwa czynniki. Po pierwsze, rosnące nasycenie wód dwutlenkiem węgla powoduje ich zakwaszenie, co utrudnia wytrącanie węglanu wapnia. Po drugie, ilość tego gazu, jaką może pochłonąć ocean, zależy od skuteczności mieszania wód powierzchniowych z głębokimi. Ten proces jest wciąż bardzo słabo poznany. Podstawowe pytanie brzmi: skąd pochodzi energia umożliwiająca wypłynięcie na powierzchnię tym ciężkim, chłodnym, przydennym wodom, które opadły w głąb toni w rejonie Arktyki i stanowią powrotną część wielkoskalowej, globalnej cyrkulacji oceanicznej.

Zasadniczo badacze są zgodni, że za wzrost temperatury chłodnych, powrotnych wód oceanicznej pętli, umożliwiający im wypłynięcie, odpowiedzialne są procesy mieszania wód górnych z dolnymi. Drobnoskalowe,

turbulentne procesy mieszania nie mają tu większego znaczenia, ponieważ moc tego ruchu jest niewspółmiernie mała w porównaniu z mocą napędzającą globalną cyrkulację (która sięga 2 petawatów, tj. 2 milionów gigawatów) i można ją pominąć w modelowaniu zmian klimatycznych w skali całej planety. Pewna grupa badaczy sugeruje, że mieszanie może być dziełem bilionów żywych organizmów przemieszczających się wraz z głównymi prądami oceanicznymi. Pogląd ten nie jest jednak akceptowany, ponieważ nie znajduje oparcia w faktach. Mieszanie, które jest wynikiem tego rodzaju oddziaływania, też ma charakter drobnoskalowej turbulencji i jako takie nie liczy się w skali globu.

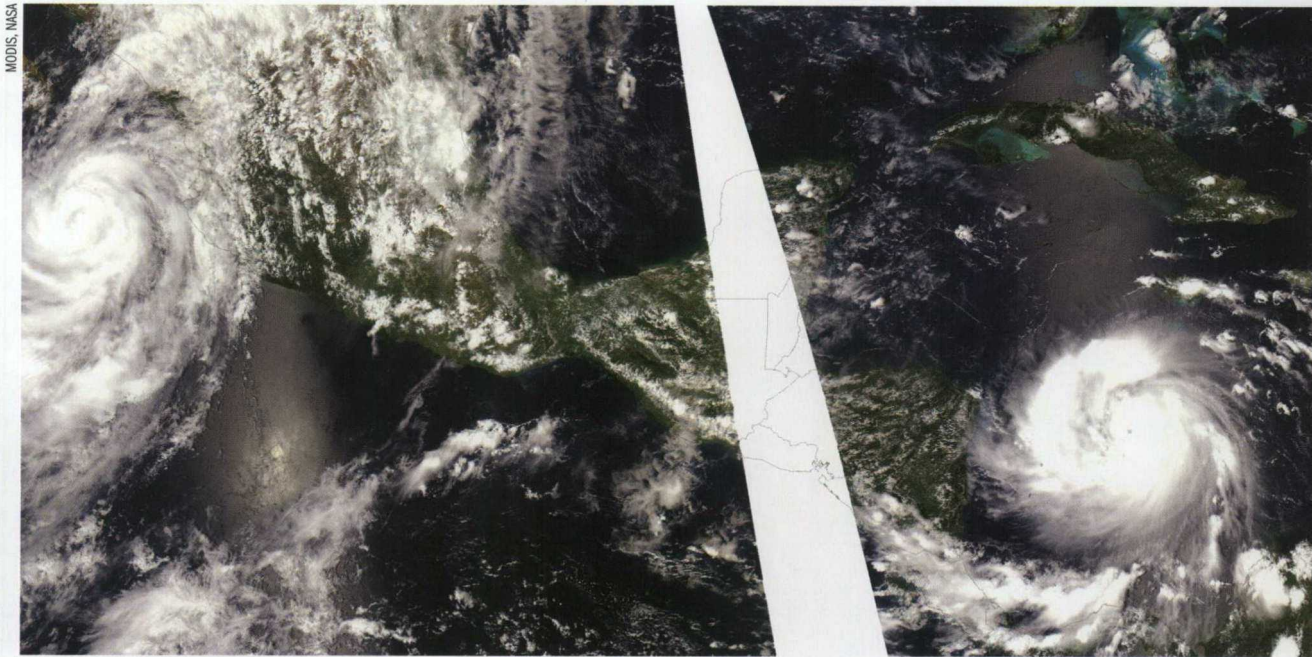
Za mieszanie warstw oceanu odpowiedzialny jest więc jakiś proces wielkoskalowy. Szereg badaczy uważa, że kluczowe znaczenie może tu mieć zjawisko tak zwanego „upwellingu” okołorównikowego, czyli wynoszenia zimnych wód na powierzchnię oceanu pod wpływem siły Coriolisa. Hipoteza ta jest dziś chętnie stosowana w komputerowym modelowaniu klimatu, ponieważ w znacznym stopniu upraszcza założenia wyjściowe i obliczenia. Wyniki współczesnych badań wskazują jednak, że procesy mieszania mają bardziej złożony charakter.

Rezultaty wielu przeprowadzonych ostatnio empirycznych i teoretycznych badań

Szybkie topnienie lodów Arktyki jest w dużym stopniu skutkiem coraz intensywniejszego napływu ciepłych wód z północnego Atlantyku

Wpływ ruchu mas wody w oceanach na klimat Ziemi

Cyklony tropikalne mieszają nie tylko atmosferę. Udowodniono, że po ich przejściu temperatura wód powierzchniowych obniża się w wyniku wymieszania z zimnymi wodami niższymi



coraz mocniej uzasadniają tezę, że w procesie mieszania wód oceanu główną rolę odgrywają cyklony tropikalne. Różnica temperatur górnej warstwy oceanu przed przejściem cyklonu i po jego przejściu wskazuje, że średnioskalowe mieszanie wód górnych z wodami dolnymi będące wynikiem tych zjawisk odpowiada mocy 0,26 petawatów rocznie. Jest to wystarczająca ilość energii, by umożliwić wypływanie głębokich wód na powierzchnię w Oceanie Indyjskim i w Pacyfiku.

Udział cyklonów wyjaśniałby, dlaczego w cieplejszych okresach w historii Ziemi globalna cyrkulacja ciepła w oceanie nie zamierała. Na przykład 50 milionów lat temu klimat ziemski był znacznie cieplejszy od dzisiejszego. Wyniki badań osadów odłożonych na dnie Oceanu Arktycznego sugerują, że obszar ten miał wówczas klimat śródziemnomorski, o temperaturze okresu letniego oscylującej wokół 24°C. Współczesne modele klimatologiczne nie pozwalają jednak odtworzyć takiej sytuacji. Tak wysoka temperatura Arktyki wymagałaby bowiem bardzo skutecznego – dużo sprawniejszego niż obecnie – obiegu ciepła w oceanie.

Udowodniono, że antropogeniczne globalne ocieplenie klimatu Ziemi, któremu towarzyszy stopniowy wzrost temperatury powierzchniowych wód oceanu, powoduje zwiększenie częstotliwości występowania cyklonów i burz tropikalnych. W dłuższym okresie ów związek między warunkami klimatycznymi i liczbą cy-

klonów potwierdzają badania lagunowych osadów dennych w rejonie Karaibów. Wykazano, że w ciągu ostatnich pięciu tysięcy lat częstotliwość występowania cyklonów w tej części świata była ściśle skorelowana z fazą pacyficznej oscylacji ENSO (El Niño – Southern Oscillation) oraz intensywnością monsunów w zachodniej Afryce.

Arktyka pod lupą

Coraz więcej wyników badań wskazuje, że w średnioskalowych procesach wymiany mas wodnych i ciepła w oceanie ważną rolę odgrywa również tarcie wód o jego dno. Zarówno geograficzny kształt tych stref, jak i ich rzeźba w istotnym stopniu warunkują przebieg tras przemieszczania się mas wodnych oraz powstawanie różnorodnych struktur wirowych powodujących mieszanie wód. Wraz z silnymi wiatrami wydają się mieć decydujący wpływ na transformację wód atlantyckich w newralgicznych obszarach oceanu Arktycznego.

Kraje europejskie, USA i Kanada od wielu lat przeznaczają poważne środki w celu gruntownego poznania tras przemieszczania się i transformacji wód północnego Atlantyku. Uruchomiono między innymi duże międzynarodowe programy badań Oceanu Arktycznego, w których czynnie uczestniczą liczne zespoły polskich naukowców. Są to takie przedsięwzięcia, jak „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).

Pracownicy Instytutu Oceanologii PAN od wielu lat prowadzą hydrodynamiczne, fizykochemiczne i ekologiczne badania mórz arktycznych. Od 1987 roku w miesiącach letnich rokrocznie wyrusza żaglowcem badawczym „Oceania” ekspedycja naukowa, udając się zawsze w te same rejony. Zbierane tam od roku 1985 dane oceanograficzne utworzyły niezwykle cenny zbiór służący wielu badaczom do różnych analiz i opracowań naukowych. Innym przykładem są wieloletnie badania prowadzone przez zespół pod kierownictwem profesora Jana Piechury, które wykazały, że wody północnego Atlantyku wnoszą stopniowo do Oceanu Arktycznego coraz więcej ciepła. Ewidentnie przyspiesza to topnienie lodów w tym rejonie.

Z kolei analiza serii zapisów zmienności temperatury i zasolenia w północnej części Morza Norweskiego w latach 1991–2000 pozwoliła odkryć, że zmiany te są skorelowane z zimowym indeksem oscylacji północnoatlantyckiej (NAO). Ujawniono również południkowe przesuwanie się granicy jądra wód atlantyckich i jego oziębianie się od roku 2000. Pomiary wymiany masy i ciepła w obszarze frontu arktycznego, który rozdziela powietrze arktyczne od polarnego, pozwoliły zaobserwować mechanizm jego rozpadu. Wyniki tych długoletnich pomiarów prowadzonych przez naukowców z Instytutu Oceanologii PAN, zwłaszcza w północnym obszarze Morza Norweskiego, ułatwiają przewidywanie zmian klimatu w regionie północnoatlantyckim.

W ostatnich latach przeprowadzono sporo badań, które rzuciły nowe światło na średnioskalowe procesy mieszania i transformacji mas wodnych północnego Atlantyku w Oceanie Arktycznym. Pomiary w Cieśninie Fram łączącej Ocean Arktyczny z morzami nordyckimi wykazały, że duże różnice w gęstości tych mas wodnych znacząco wpływają na ich przepływy między obydwoma akwenami. Wyniki tych badań pogłębiły również wiedzę o mechanizmach rządzących ruchem wód nad pochyłym dnem. Potwierdzono empirycznie intuicyjną tezę, że ruchem mas wodnych w morzach nordyckich kieruje w dużej mie-

rze topografia oceanicznego dna i że prawidłowe jego odwzorowanie w modelach umożliwia uzyskanie realnych przepływów z niewielkim błędem.

Realistyczne modelowanie procesów mieszania wód oceanicznych ma kluczowe znaczenie w prognozowaniu zmian klimatu. Ważne zwłaszcza w odniesieniu do północnego Atlantyku, gdzie znajduje się główny napęd globalnej cyrkulacji oceanicznej. Właśnie tam, na styku oceanu i atmosfery, „zapadają główne decyzje” determinujące zarówno bieżącą pogodę w całej Europie, jak i wieloletnie trendy klimatyczne. Musimy baczenie śledzić zachodzące tam procesy, by nie przegapić pierwszych oznak fundamentalnych przemian na Ziemi. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Walczowski W., Piechura J. (2007). Pathways of the Greenland Sea warming. *Geophys. Res. Lett.* 34, L10608, doi:10.1029/2007GL029974.
- Walczowski W., Piechura J. (2006). New evidence of warming propagating toward the Arctic Ocean. *Geophys. Res. Lett.* 33, L12601, doi:10.1029/2006GL025872.
- Donnelly J.P., Woodruff J.D. (2007). Intense hurricane activity over the past 5,000 years controlled by El Niño and the West African monsoon. *Nature*, 447, 465–468 (24 May 2007), doi:10.1038/nature05834.
- Sriver R.L., Huber M. (2007). Observational evidence for an ocean heat pump induced by tropical cyclones. *Nature*, 447, 577–580 (31 May 2007), doi:10.1038/nature05785.
- Intergovernmental Panel for Climate Change Fourth Assessment Report (2007). <http://www.ipcc.ch>.

Jęry Jabrowski



Żaglowiec badawczy „Oceania” co roku wypływa do Arktyki