

Air-sea interaction in tropical atmosphere: influence of ocean mixing on atmospheric processes

Dariusz Bartłomiej Baranowski

Streszczenie

Głęboka konwekcja i jej zmienność w skali od jednego dnia do kilku miesięcy to ważne zjawiska odpowiedzialne za przebieg przepływów atmosferycznych w tropikach. Jednym z głównych czynników determinujących powstawanie i ewolucję głębokich chmur konwekcyjnych jest temperatura powierzchni morza. Temperatura ta jest zależna z kolei od stratyfikacji górnych warstw oceanu, na którą wpływa dopływ energii słonecznej, słodkiej wody z opadów, a także procesy mieszania zależne od wiatru nad powierzchnią morza. W rozprawie przedstawiam wyniki badań wzajemnych oddziaływań pomiędzy procesami głębokiej konwekcji w atmosferze i własnościami górnych warstw oceanu. W badaniach wykorzystuję dane z pomiarów in-situ, dane z radarów i obrazów satelitarnych a także wyniki symulacji numerycznych.

W Rozdziale 2 przedstawiam analizy, które pokazują, że procesy głębokiej konwekcji w atmosferze wpływają na rozkład energii termicznej górnych warstw oceanu. Podczas spokojnych i bezchmurnych warunków atmosferycznych, przy niewielkim wietrze o średniej dobowej prędkości poniżej 6 ms^{-1} i wysokim osłonecznieniu o średnim dobowym strumieniu energii przekraczającym 80 Wm^{-2} , przy powierzchni oceanu formuje się głęboka na kilka metrów warstwa ciepłej wody. Ta ciepła warstwa może być interpretowana jako dobową anomalia (fluktuacja) temperatury powierzchni morza osiągająca amplitudę do $0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, co powoduje fluktuacje strumienia ciepła oceanu do atmosfery o amplitudzie 4 Wm^{-2} . Wykorzystując te wyniki wprowadzam model prognostyczny fluktuacji temperatury powierzchni morza w funkcji nasłonecznienia i prędkości wiatru przy powierzchni morza. Obliczone modelem anomalie temperatury powierzchni morza wykorzystuję w analizie rozwoju i ewolucji konwekcji atmosferycznej, zorganizowanej w postaci równikowych fal Kelvina związanych konwekcyjnie (ang. Convectively Coupled Kelvin Waves) oraz ich zmienności w skali kilku tygodni powodowanych oscylacjami Maddena-Juliana.

W celu zbadania wpływu anomalii temperatury powierzchni morza na powstawanie i rozwój fal Kelvina, wykorzystując dane satelitarne utworzyłem nową bazę danych o trajektoriach fal Kelvina wędrujących wokół globu wzdłuż równika.

W Rozdziale 3 przedstawiam analizy inicjalizacji fal Kelvina. Wyniki badań strumieni energii z powierzchni oceanu, wzbogacone modelowaniem numerycznym, pokazują że znaczący ułamek obserwowanych fal Kelvina powstaje dzięki oddziaływaniu z inną istniejącą już falą Kelvina. Zdefiniowałem dwie rozłączne kategorie takich dwu- i wielokrotnych inicjalizacji, które zostały przeanalizowane niezależnie. Do pierwszej kategorii zaliczam przypadki inicjalizacji zachodzącej przy wysokiej dobowej anomalii temperatury powierzchni morza. Druga kategoria to inicjalizacja typu „spin off”, czyli skutek wzrostu prędkości wiatru i strumienia ciepła utajonego na powierzchni oceanu wywołanego wcześniejszą falą Kelvina.

W Rozdziale 4 przedstawiam wyniki badań prowadzonych wzdłuż trajektorii rozwiniętych fal na Oceanie Indyjskim dotyczących oddziaływania pomiędzy falami Kelvina a górnymi warstwami oceanu. Wykazuję w nim, że szybkie fale Kelvina wpływają na zmienność dobową temperatury powierzchni morza oraz na prędkość wiatru i strumień ciepła utajonego na powierzchni oceanu. Tworząc przez uśrednienie wielu pojedynczych fal Kelvina tzw. „falę kompozytową” pokazuję, że zmiany w prędkości wiatru, strumieniu ciepła utajonego i anomalii temperatury powierzchni morza mają pewne cechy charakterystyczne. Podczas przejścia fali prędkość wiatru i strumień ciepła utajonego rosną, a anomalia temperatury powierzchni morza maleje. Efekty wzrostu i spadku zależą od fazy oscylacji Maddena-Juliana, w której występuje fala.

Dalej, w Rozdziale 5, badam własności fal Kelvina propagujących się z Oceanu Indyjskiego nad Azję Południowo-Wschodnią. Ten obszar ma duże znaczenie dla dynamiki przepływów tropikalnych, a wiele modeli prognoz pogody ma trudności w prognozowaniu przepływu w tym regionie. Pokazuję, że fale Kelvina na określonej długości geograficznej - nad Afryką, Oceanem Indyjskim i Azją Południowo-Wschodnią, charakteryzują się tą samą fazą cyklu dobowego (ang. phase locking). Wynika z tego, że fale Kelvina zazwyczaj przechodzą nad danym obszarem o konkretnej porze dnia. Nad Azją Południowo-Wschodnią ta stała faza jest w zgodzie ze średnim, lokalnym cyklem dobowym konwekcji w atmosferze.

Fale, które nie są zablokowane przez Azję Południowo-Wschodnią, czyli propagują się dalej na Zachodni Pacyfik, różnią się od takich które są zablokowane, czyli kończą propagację nad Azją Południowo-Wschodnią. Kombinacja prędkości fazowej fali Kelvina i pory dnia, o której fala nadchodzi nad Azję Południowo-Wschodnią wpływa na prawdopodobieństwo jej skutecznej propagacji na Zachodni Pacyfik. Fale Kelvina o prędkości fazowej od 10 do 11 stopni na dzień nad centralnym i wschodnim Oceanem Indyjskim, które przecinają południk 90E pomiędzy 9UTC a 18UTC mają największą szansę przejścia na Zachodni Pacyfik. Dla takich fal odległość pomiędzy Sumatrą a Borneo – dwoma głównymi ośrodkami konwekcji nad lądem w tym regionie – jest zgodna z dystansem jaki taka fala Kelvina przemierza w ciągu jednego dnia. Sugeruje to, że wyspy Azji Południowo-Wschodniej mogą działać jako „filtr” dla fal Kelvina, sprzyjając skutecznej propagacji fal, które poruszają się zgodnie z lokalnym cyklem dobowym konwekcji. Dla uproszczonej analizy tego zjawiska wprowadzam prostą metrykę lokalnego cyklu dobowego biegnących fal Kelvina - indeks AmPm. Pokazuję, że jest on użyteczny i przedstawia kluczowe cechy konwekcji związanej z propagującymi się przez Azję południowo-Wschodnią falami Kelvina.

Głównym wynikiem pracy jest wykazanie, że oddziaływanie pomiędzy konwekcją w atmosferze a górnymi warstwami oceanu ma charakter dwukierunkowego sprzężenia zwrotnego. Rozwinięta konwekcja w atmosferze wpływa na rozkład energii termicznej w górnych warstwach oceanu, a w szczególności na temperaturę powierzchni morza. Zmiany temperatury powierzchni morza wpływają z kolei na rozwój konwekcji w atmosferze, a w szczególności konwekcji zorganizowanej w postaci równikowych fal Kelvina. Szczegółowe wyniki pracy pokazują konsekwencje tego sprzężenia dla własności fal Kelvina.