

Streszczenie

Chmury stratocumulus są wszechobecne na całym świecie. Pokrywają średnio około 20 % powierzchni Ziemi. Ich powszechne występowanie, trwałość i wysokie albedo czynią je istotnymi dla bilansu energetycznego całej planety. Ponieważ tylko niewielkie różnice w pokrywie lub grubości optycznej mogą wpływać na bilans radiacyjny powierzchni, odpowiedź tych chmur na globalne ocieplenie pozostaje jednym z głównych źródeł niepewności w prognozach klimatu.

Morskie chmury stratocumulus zwykle zajmują górne kilkaset metrów warstwy granicznej atmosfery. Cyrkulacja i turbulencja w warstwie granicznej zwieńczonej stratocumulusem (WGZS) są napędzane przede wszystkim przez chłodzenie radiacyjne na wierzchołku chmury, które może być dodatkowo wspomagane przez chłodzenie związane z parowaniem kropelek, uwalnianie ciepła utajonego, ogrzewanie przy powierzchni oraz ścinanie wiatru. Transport wilgoci z powierzchni oceanu utrzymuje chmurę, przeciwdziałając jej wyparowaniu pod wpływem wciągania suchego powietrza sponad warstwy granicznej. Wydajność transportu pionowego, a więc również właściwości chmury stratocumulus i jej ewolucja, zależy od termodynamicznej i dynamicznej struktury WGZS. Gdy WGZS rośnie, cyrkulacja słabnie lub warstwa podchmurowa ulega stabilizacji, wówczas mieszanie powietrza w całej głębokości WGZS może stać się niemożliwe do utrzymania. Warstwa graniczna ulega rozsprężeniu, tzn. chmura stratocumulus zostaje odłączona od dopływu wilgoci z powierzchni.

W ramach niniejszej pracy porównano właściwości stratyfikacji, turbulencji i aeroli pomiędzy sprężoną a rozsprężoną morską WGZS, wykorzystując w tym celu pomiary *in situ* o wysokiej rozdzielczości wykonane w rejonie północno-wschodniego Atlantyku przy pomocy platformy ACTOS na śmigłowcu. Szczególną uwagę zwrócono na własności drobnoskalowej turbulencji.

Dobrze wymieszana sprężona WGZS charakteryzowała się porównywalnym strumieniem ciepła utajonego na powierzchni i w górnej części chmury oraz znacznie mniejszym strumieniem ciepła jawnego w całej głębokości. Energia kinetyczna turbulencji (EKT) była wydajnie generowana dzięki efektom wypornościowym w chmu-

rze i na powierzchni, natomiast dyssypowana w porównywalnym stopniu w całej głębokości. Funkcje struktury i widma mocy dla fluktuacji prędkości były w zakresie inercyjnym zgodne z przewidywaniami teorii Kołmogorowa. Turbulencja była bliska izotropii.

W rozsprężonej WGZS jej rozsprężenie było najbardziej widoczne w profilach wilgotności. Na powierzchni, strumienie ciepła i produkcja EKT przez wypór były podobne do przypadku sprężonego. W okolicach warstwy przejściowej, strumień ciepła utajonego spadał do zera, a EKT była pochłaniana z uwagi na stabilność. W rejonie wierzchołka chmury strumienie ciepła niemal zanikały, a produkcja EKT przez wypór była znacznie mniejsza w porównaniu do przypadku sprężonego. Tempo dyssypacji EKT wewnątrz rozsprężonej WGZS różniło się pomiędzy jej podwarstwami. Funkcje struktury i widma mocy odbiegały w zakresie inercyjnym od skalowania przewidywanego przez teorię Kołmogorowa. Ten fakt był bardziej widoczny wewnątrz chmury i w warstwie podchmurowej w porównaniu z warstwą powierzchniową. Turbulencja była bardziej anizotropowa niż w sprężonej WGZS, z dominującymi fluktuacjami w kierunku poziomym. Stopień anizotropii był największy w warstwie chmurowej i podchmurowej.

Skale całkowite rzędu 100 m w obu przypadkach wskazują, że wiry turbulencyjne są mniejsze niż głębokość sprężonej WGZS czy też głębokość podwarstw rozsprężonej WGZS. Postawiono hipotezę, że turbulencja wytworzona w chmurze lub w pobliżu powierzchni jest rozprowadzana w całej sprężonej WGZS, natomiast w przypadku rozsprężonej WGZS tylko wewnątrz podwarstwy, w której została wygenerowana. Istotną rolę w transporcie między tymi podwarstwami mogą odgrywać chmury cumulus, tworzące się poniżej podstawy stratocumulusa.

W obu przypadkach rozkład wielkości cząsteczek aerozolu nie zmieniał się znacząco z wysokością, z wyjątkiem wpływu aktywacji wewnątrz chmur. Zidentyfikowano trzy główne mody: Aitkena, akumulacyjny i akumulacyjny większy. Źródłami obserwowanych aerozoli była prawdopodobnie emisja z powierzchni oceanu oraz transport aerozolu kontynentalnego połączony z wciąganiem powietrza do warstwy granicznej. Całkowite stężenie cząsteczek aerozolu i stężenie jąder kondensacji były stałe poniżej sprężonego stratocumulusa. W rozsprężonej WGZS stężenia w warstwie podchmurowej były mniejsze niż w warstwie powierzchniowej.

Większość wyników dotyczących przypadku sprężonego jest zgodna z wcześniejszymi badaniami dynamiki chmur stratocumulus. Pomiary produkcji EKT, strumieni ciepła i fluktuacji turbulencyjnych w rozsprężonej WGZS mieszczą się w

szerokim spektrum możliwych warunków opisywanych w literaturze. Istotną nowością tej pracy są wyniki dotyczące drobnoskalowej turbulencji, ponieważ parametry takie jak lokalne tempo dyssypacji EKT, skalowanie zakresu inercyjnego, anizotropia i skale długości nie były wcześniej badane w kontekście stopnia sprzężenia WGZS.