

Streszczenie

W atmosferze tropikalnej zachodzą cykliczne zjawiska o różnej skali czasowej. Wpływają one na pogodę i klimat w skali całego globu, również w Europie i Polsce. Obszar tropikalny jest miejscem uwalniania ogromnej ilości ciepła utajonego, napędzającego globalną cyrkulację atmosferyczną. Niezwykle istotne są tu procesy konwekcji – pionowego ruchu powietrza i powstawania głębokich, kłębiastych chmur burzowych. W tym obszarze, globalne i regionalne modele pogody i klimatu charakteryzują się regularnymi błędami, zwłaszcza w przewidywaniu opadu. Wynika to m. in. z faktu, że procesy fizyczne, które te modele reprezentują, nie są do końca poznane.

Obszarem badań w tej pracy doktorskiej jest Archipelag Malajski – region złożony z mórz i lądów położonych wokół równika pomiędzy Australią a Półwyspem Indochińskim. Największa część Archipelagu Malajskiego należy do Indonezji. Wysokie temperatury powierzchni oceanów idą tutaj w parze z wysokimi opadami. Do najważniejszych zagrożeń pogodowych w tym obszarze należą ekstremalne opady, powódzie i okazjonalnie – cyklony tropikalne. Ich powstawanie jest często związane z interakcjami pomiędzy różnymi zjawiskami, zachodzącymi w atmosferze, oceanie i na lądzie, o zróżnicowanych skalach czasowo-przestrzennych.

W strefie równikowej systemy chmur burzowych zorganizowane są w fale tropikalne, które lokalnie związane są m. in. ze zmianami ciśnienia, wiatru, aktywności burzowej i opadu. Jak wykazano w rozdziale drugim, fale tropikalne znacząco wpływają na powstawanie ekstremów pogodowych na obszarze Archipelagu Malajskiego. Dokładniej, konwekcyjnie sprzężone fale Kelvina sprzyjają powstawaniu powodzi na Sumatrze: analiza oparta na raportach z lokalnych gazet, danych z Twittera, raportów rządowych, danych in-situ i danych satelitarnych pokazała, że w latach 2014-2018, 90% wszystkich powodzi było związanych z falami Kelvina, a w 60% przypadków powódzie były poprzedzone silną, dobrze zorganizowaną falą, przemieszczającą się z Oceanu Indyjskiego w kierunku Oceanu Spokojnego.

Rozdział trzeci pracy jest poświęcony konwekcyjnie sprzężonym falom Kelvina i konwekcyjnie sprzężonym falom Rossby'ego, modulującym stan atmosfery nad wyspą Sulawesi, położoną w centralnej części Archipelagu Malajskiego, a także interakcjom pomiędzy różnymi zjawiskami pogodowymi. Analiza przypadku katastroficznej w skutkach powodzi ze stycznia 2019 r. w południowo-zachodniej części wyspy, gdzie leży jej największe miasto - Makassar, wskazała te fale jako czynniki sprzyjające powstawaniu ulewnych deszczy. Dodatkowo, analiza oparta na wieloletnich danych ujawniła, że występowanie każdej z tych fal zwiększa prawdopodobieństwo ekstremów pogodowych (anomalnych deszczy i powodzi). Oscylacja Maddena-Juliana, która jest dominującą oscylacją międzysezonową w tym obszarze i moduluje średni opad, w tym przypadku ma mniejsze znaczenie dla przewidywania ekstremów pogodowych niż fale Kelvina i Rossby'ego.

Rozdział czwarty opisuje proces powstawania cyklonu tropikalnego Seroja. Ten wyjątkowy cyklon powstał bardzo blisko równika oraz w okolicach lądu, na obszarze gdzie cyklony występują bardzo rzadko. Do jego genezy przyczyniły się wspomniane fale Kelvina i Rossby'ego, ale także Oscylacja Maddena-Juliana. Wirowość związana z falami tropikalnymi okazała się kluczowa dla rozwoju oraz intensyfikacji tego systemu. Na obszarze genezy cyklonu Seroja, zdefiniowane w pracy „idealne warunki pogodowe” sprzyjające genezie cyklonu, średnio występują raz w roku. Wyniki badań wskazują na potencjał poprawienia predykcji cyklonów tropikalnych, przez uwzględnienie wskazanych w tym rozdziale procesów.

Ta i poprzednie analizy pokazują, że opisywane w tej rozprawie doktorskiej czynniki meteorologiczne o różnych skalach czasoprzestrzennych stanowią ważny przyczynek dla katastrofalnych w skutkach zjawisk pogodowych. Pogłębienie zrozumienia mechanizmów sprzyjających ekstremalnym zagrożeniom pogodowym może przełożyć się na lepszą przewidywalność zjawisk niebezpiecznych.

Abstract

In the tropical atmosphere there are cyclical phenomena with different timescales. They affect the weather and climate on a global scale, also in Europe and Poland. The tropical area is a place where a huge amount of latent heat is released, driving global atmospheric circulation. Convection processes are extremely important here – the vertical movement of air and the formation of deep thunderclouds. In this area, global and regional weather and climate models suffer from regular errors, especially in predicting precipitation. This results, among others, from the fact that the physical processes that these models represent are not fully understood.

The area of research in this doctoral thesis is the Maritime Continent – a region composed of seas and lands located around the equator between Australia and the Indochina Peninsula. The largest part of the Maritime Continent belongs to Indonesia. High ocean surface temperatures here go hand in hand with high precipitation. The most important weather hazards in this area include extreme rainfall, flooding and the occasional tropical cyclone. Their formation is often associated with interactions between various phenomena occurring in the atmosphere, ocean and land, on different time-space scales.

In the equatorial zone, thundercloud systems are organized into tropical waves, which are locally associated with, among others, changes in pressure, wind, storm activity and precipitation. As shown in the second chapter, tropical waves significantly affect the formation of weather extremes in the area of the Maritime Continent. More specifically, convectively coupled Kelvin waves promote flooding in Sumatra: an analysis based on local newspaper reports, Twitter data, government reports, in-situ data and satellite data showed that between 2014 and 2018, 90% of all floods were related to Kelvin waves, and in 60% of the cases, the floods were preceded by a strong, well-organized wave, moving from the Indian Ocean towards the Pacific Ocean.

The third chapter of the work is devoted to convectively coupled Kelvin waves and convectively coupled Rossby waves modulating the state of the atmosphere over the island of Sulawesi, located in the central part of the Maritime Continent, as well as interactions between various weather phenomena. A case study of the catastrophic flooding of January 2019 in the south-west of the island, where its largest city, Makassar, is located, identified these waves as factors contributing to heavy rains. In addition, analysis based on many years of data revealed that the occurrence of each of these waves increases the likelihood of weather extremes (anomalous rains and floods). The Madden-Julian Oscillation, which is the dominant interseasonal oscillation in this area and modulates the mean precipitation, is less significant in predicting weather extremes than Kelvin and Rossby waves in this case.

The fourth chapter describes the formation process of tropical cyclone Seroja. This unique cyclone formed very close to the equator and inland, in an area where cyclones are rare. The aforementioned Kelvin and Rossby waves, but also the Madden-Julian Oscillation contributed to its genesis. The vorticity associated with tropical waves turned out to be crucial for the development and intensification of this system. In the area of the genesis of the cyclone Seroja, the "perfect storm conditions" defined in the paper, conducive to the genesis of the cyclone, occur on average once a year. The research results indicate the potential to improve the prediction of tropical cyclones by taking into account the processes indicated in this chapter.

This and previous analyses show that the meteorological factors of various spatio-temporal scales described in this doctoral dissertation are an important contribution to catastrophic weather phenomena. Deepening the understanding of the mechanisms contributing to extreme weather threats may translate into better predictability of dangerous phenomena.