

## ZMIENNOŚĆ POŁOŻENIA TROPOPAUZY W WYSOKICH SZEROKOŚCIACH GEOGRAFICZNYCH

Michał K. Kowalewski

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie, Ośrodek Meteorologii

Michal.Kowalewski@imgw.pl

Celem niniejszej pracy jest analiza zmienności wysokości tropopauzy w wysokich szerokościach geograficznych.

Powszechnie znana jest asymetria tropopauzy między półkulami, dotycząca jednak jedynie położenia (Craig 1965, Rex 1969). Odrębnym zagadnieniem, poruszonym w tym opracowaniu jest podobieństwo w charakterze zmienności tropopauzy w obszarach podbiegunowych.

Podstawowym materiałem do analiz były dane o wysokości tropopauzy uzyskane z reanaliz udostępnionych przez CDC NOAA. Badania objęły dekadę 1991-2000. Dane te zostały zweryfikowane przez porównanie z wynikami sondażu aerologicznych z wybranych dni z lat 1997 i 1998 ze stacji antarktycznych i grenlandzkich.

Niewielka ilość danych obserwacyjnych nie pozwala na rzetelną ocenę danych z reanaliz. Pierwsze próby porównania pozwalają na stwierdzenie że w okresie dnia polarnego różnice między wartością obserwowaną a wartością z reanalizy są niewielkie; w okresie nocy polarnej wzrastają, szczególnie nad Antarktydą.

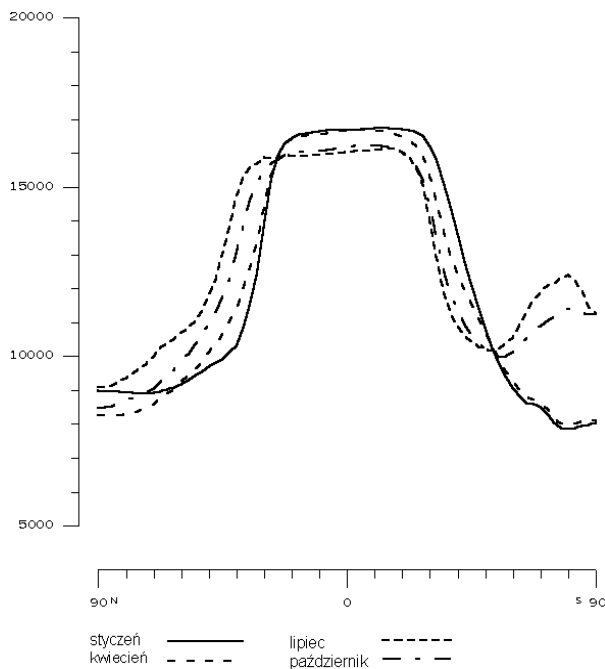
Najprostszą definicją tropopauzy (Gold, za Machowier 1984) określa ją jako warstwę, gdzie występuje minimum temperatury między dwoma źródłami ciepła w atmosferze:

- podłożem, które pochłaniając promieniowanie słoneczne ogrzewa się i powoduje ogrzewanie dolnych warstw atmosfery,
- górną atmosferą, w której powietrze ogrzewa się w wyniku pochłaniania promieniowania przez ozon.

Współczesne wyjaśnienia genezy tropopauzy, jej cech oraz sposoby jej wyznaczania, uwzględniające wymianę ciepła, turbulencję, obecność pyłów w atmosferze, prądy strumieniowe, substancjonalność i inne czynniki (Machowier 1984) nie są sprzeczne z powyższą definicją. Do powstania tropopauzy konieczne są dwa źródła ciepła atmosfery. Tymczasem w wysokich szerokościach geograficznych podczas nocy polarnej zanika górne źródło ciepła. Pociąga to za sobą zanik tropopauzy.

Podstawowe dane wykorzystane w pracy są wynikiem modelowania. Wykorzystanie takiego materiału powoduje określone konsekwencje; trzeba pamiętać że obraz warunków przedstawiany przez model jest oparty na pewnych założeniach, uproszczony w stosunku do rzeczywistości. Najważniejsze założenie, które należy tu podkreślić to ciągłe istnienie dokładnie jednej warstwy tropopauzy. W rzeczywistości tropopauza może mieć kilka warstw, lub, jak stwierdzono wyżej, w określonych warunkach może całkowicie zaniknąć. Porównanie danych z reanaliz (modelowanych) z danymi z sondaży (pomiarowymi) wykazuje dużą zgodność w okresie letnim i niewielką w okresie zimowym. Z tego względu końcowe wnioski dotyczą tylko okresu letniego, przedstawione w opracowaniu dane z okresu zimy podano jedynie orientacyjnie.

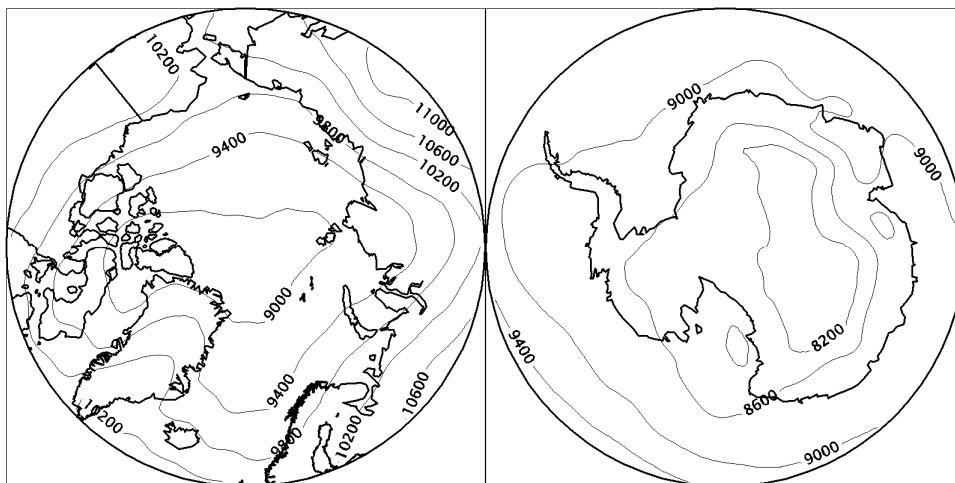
Średnia wysokość tropopauzy w wybranych miesiącach w zależności od szerokości geograficznej została przedstawiona na rysunku 1. Widoczna jest wyraźna asymetria w strefie powyżej 50° pomiędzy obu półkulami. Nad półkulą północną zmiany wysokości w roku wynoszą ok. 1000 m nad biegunem i wzrastają wraz ze zmniejszaniem się szerokości geograficznej. Tymczasem nad półkulą południową jest widoczna duża różnica w przebiegu analizowanego parametru między styczniem i kwietniem a lipcem i październikiem. Jednak, jak zaznaczono wyżej, określanie wysokości tropopauzy w okresie nocy polarnej budzi wątpliwości, dlatego też w dalszych rozważaniach skoncentrowano się na okresie środka lata (do analiz wykorzystano dane z okresu 14 VI – 4 VII i 11-31 XII, odpowiednio dla każdej półkuli, tak aby dzień przesilenia letniego wypadł w środku okresu).



Rys. 1. Średnia wysokość [m] tropopauzy w zależności od szerokości geograficznej

Fig. 1. Mean height [m] of tropopause as a function of latitude

Na półkuli północnej w okolicach podbiegunowych średnio tropopauza położona jest latem nieznacznie wyżej, niż na półkuli południowej (rys. 2). Najmniejszą wysokość (ok. 8700 m) obserwuje się między północnym brzegiem Grenlandii a biegunem. Widoczna jest mniejsza wysokość nad obszarami morskimi niż nad lądowymi, reguła ta jest jednak zaburzona nad Azją. Wzdłuż równoleżników 70°-80° są widoczne cztery prawie regularne fale wysokości tropopauzy.



Rys. 2. Średnia wysokość tropopauzy [m] w środku lata (14 VI-4 VII i 11-31 XII)

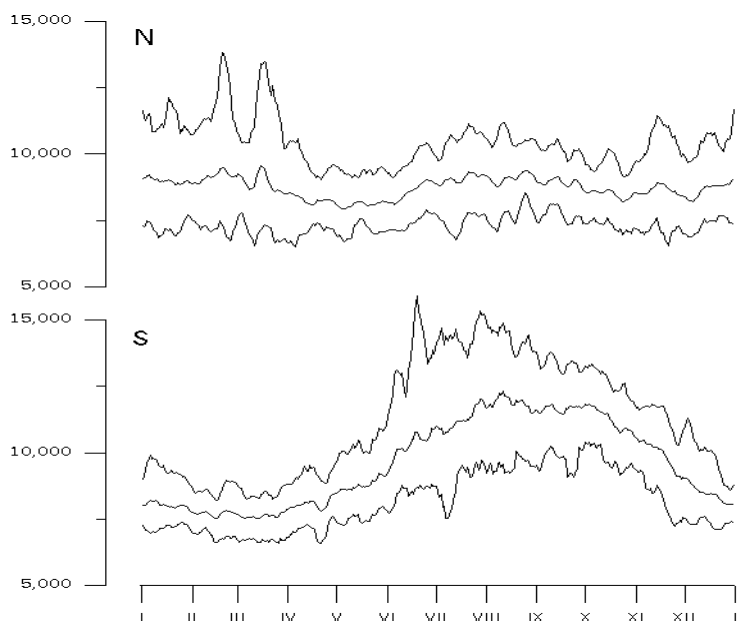
Fig. 2. Mean height [m] of tropopause during the mid-Summer season (N: 14 Jun – 4 Jul; S: 11 – 31 Dec)

Nad półkulą południową w okresie letnim najniższą tropopauzę (ok. 8000m) obserwuje się nad centrum kontynentu oraz nad Morzem Rossa. Obszar niskiej tropopauzy powtarza, w dużym uproszczeniu, kształt kontynentu, co związane jest z dużo niższą temperaturą wyniesionego, pokrytego lodem kontynentu niż przyległego oceanu.

Analizując roczny przebieg wysokości nad biegunami (rys. 3) zwraca uwagę wyraźny roczny cykl na półkuli południowej i wyrównany przebieg na półkuli północnej. Podobny przebieg charakteryzuje stwierdzone w dziesięcioleciu wartości minimalne i maksymalne; na obu półkulach są większe różnice między wartościami skrajnymi w okresie zimowym niż w okresie letnim.

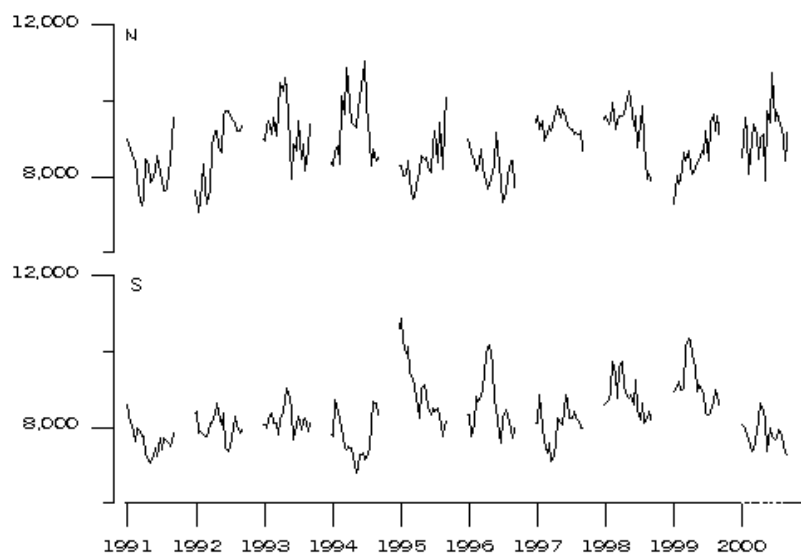
Zmiany wysokości tropopauzy z dnia na dzień w okresie letnim nad biegunami zostały przedstawione na rysunku 4, a w zależności od szerokości geograficznej – w tabeli 1. Zmiany te są o około 100-200 metrów mniejsze na półkuli południowej. Na obu półkulach obserwuje się najmniejsze zmiany w pewnej odległości od bieguna (82-85°), następnie zmiany zwiększają się wraz ze wzrostem szerokości geograficznej.

Analiza maksymalnej zmiany wysokości tropopauzy w przeciągu doby wykazuje podobny rozkład tych zmian, jedynie ich wartości są ok. 1.5-1.6 razy większe. Natomiast przebieg zmian w kolejnych latach nie wykazuje dużych różnic.



Rys 3. Zmiany wysokości [m] tropopauzy nad biegunami w ciągu roku, wartości średnie, maksymalne i minimalne z lat 1991-2000 wyrównane średnią konsekwentną 7-dniową

Fig. 3. Annual changes of height [m] of tropopause over the poles. Mean, maximum and minimum values filtered by 7-days running average (1991-2000)



Rys. 4. Codzienny przebieg wysokości [m] tropopauzy nad biegunami w okresie środka lata (14 VI-4 VII i 11-31 XII) w kolejnych latach

Fig. 4. Daily height of tropopause over the poles during mid-Summer season (N: 14 Jun-4 Jul; S: 11-31 Dec)

Tabela 1 – Table 1

Zmienność wysokości [m] tropopauzy z dnia na dzień  
Day to day changes [m] of the height of tropopause

Szerokość geograficzna latitude	Półkula północna northern hemisphere			Półkula południowa southern hemisphere		
	Średnia zmiana mean	Maksymalna zmiana maximum	Odchylenie standardowe zmian standard deviation	Średnia zmiana mean	Maksymalna zmiana maximum	Odchylenie standardowe zmian standard deviation
90.0	404	635	108	292	423	59
87.5	395	577	88	297	421	69
85.0	390	564	87	270	469	99
82.5	461	638	118	245	379	70
80.0	472	807	147	266	456	72
77.5	476	827	169	302	491	93
75.0	512	712	123	335	537	97
72.5	585	988	159	375	596	69
70.0	590	882	164	354	509	75
67.5	696	1155	214	386	560	87
65.0	741	1446	269	453	634	115
62.5	775	1220	236	527	847	149
60.0	806	1332	223	623	978	158

Przeprowadzona analiza umożliwia przedstawienie następujących wniosków:

- asymetria w położeniu tropopauzy nad obszarami okołobiegunowymi dotyczy wysokości tropopauzy;
- wyraźne są różnice w kształcie pola wysokości tropopauzy, będące wynikiem różnic w ukształtowaniu podłoża i występujących w konsekwencji różnic jego temperatury;
- zmienność z dnia na dzień położenia tropopauzy nie wykazuje istotnych różnic między półkulami;
- w analizowanym 10-leciu kolejne lata nie różniły się istotnie pod względem omawianych cech.

## Literatura

Craig R. A., 1965, The upper atmosphere, Meteorology and Physics, Academic Press, New York, London.

Machowier Z. M. 1984, Tropopauza, D. WOPK, Warszawa.

Rex D. F., 1969, Climate of the Free Atmosphere, [w:] Landsberg H. E., World Survey of Climatology, Elsevier Publishing Company, London.