

THỬ NGHIỆM DỰ BÁO QUẢ ĐẠO BẢO TRÊN BIỂN ĐÔNG BẰNG MÔ HÌNH NƯỚC NÔNG BA LỚP

ThS. Lê Công Thành

Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Trung ương

PGS. TSKH. Kiều Thị Xin

Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Ở Việt Nam hiện nay, mặc dù đã có một số các mô hình dự báo bão đang được nghiên cứu và thử nghiệm chạy nghiệp vụ tương đối thành công, dự báo đường đi và cường độ của bão vẫn đang còn là một vấn đề khoa học và thực tiễn quan trọng cần được quan tâm. Trên thực tế, mỗi mô hình dự báo của ta đều có những ưu điểm và tồn tại nhất định, tương ứng với hiệu quả và tính khả thi của chúng trong điều kiện thông tin và thiết bị hiện có tại Việt Nam. Vì vậy, việc nghiên cứu và áp dụng các mô hình dự báo bão khác nhau nhằm tăng cường thông tin trợ giúp dự báo bão nghiệp vụ và nâng cao hiểu biết về các cơ chế động lực ảnh hưởng tới chuyển động và phát triển của bão là cần thiết.

Bài báo này trình bày việc nghiên cứu sử dụng mô hình nước nông 3 lớp (ký hiệu là SWM3) để dự báo bão. Phần 1 điểu qua tình hình dự báo bão bằng các mô hình số trị hiện nay ở Việt Nam. Phần 2 giới thiệu các đặc điểm chính của SWM3. Phương pháp áp dụng SWM3 cho số liệu thực để dự báo nghiệp vụ được trình bày kỹ trong phần 3. Cuối cùng, phần 4 là kết quả bước đầu dự báo thử nghiệm.

1. Tình hình dự báo bão bằng các mô hình số trị ở trong nước

Có thể chia các mô hình số trị phục vụ dự báo bão hiện có tại Việt Nam thành hai loại chính là các mô hình dự báo thời tiết và các mô hình chính áp dự báo bão.

Các mô hình dự báo thời tiết có thể tham khảo để dự báo bão gồm có:

- Mô hình phân giải cao HRM đang được chạy nghiệp vụ tại Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn Trung ương (TT Dự báo),
- Mô hình MM5 đang được nghiên cứu áp dụng chạy với số liệu thực tại Viện Khí tượng Thủy văn (Hoàng Đức Cường, 2003).

Các mô hình chính áp dự báo bão tuy tương đối đơn giản và gọn nhẹ nhưng cũng có những hiệu quả nhất định. Một số mô hình đang được chạy thử nghiệm nghiệp vụ tại TT Dự báo:

- Mô hình chính áp nước nông một lớp [2],
- Mô hình chính áp WBAR [3].

Các mô hình dự báo thời tiết có cấu trúc phức tạp với các phương pháp tham số hoá vật lý hiện đại nhưng lại có nhược điểm là sử dụng hoàn toàn số liệu ban đầu và điều kiện biên từ mô hình toàn cầu. Hệ quả là các mô hình này thường xác định tâm xoáy bão ban đầu sai lệch so với tâm bão thực (hiệu ứng này phụ thuộc vào trường phân tích của mô hình toàn cầu mà mô hình lấy làm điều kiện ban đầu). Mặt khác, xoáy bão trong trường phân tích của mô hình toàn cầu thường không mạnh bằng xoáy thật do độ phân giải thô. Phương pháp khắc phục nhược điểm này là cài

xoáy ban đầu tương ứng với xoáy bão quan trắc được. Tuy nhiên, việc cài xoáy ba chiều vào các mô hình phức tạp như vậy hoàn toàn không phải là việc đơn giản và đây vẫn đang là những nghiên cứu thử nghiệm của các nước tiên tiến.

Ngược lại, với cấu trúc đơn giản, các mô hình chính áp tuy có nhược điểm là không mô phỏng được khí quyển tà áp ba chiều nhưng lại có ưu điểm rõ ràng là gọn nhẹ và có thể dễ dàng cài xoáy hai chiều tương ứng với xoáy bão quan trắc được. Theo nhiều tác giả nhận định thì các mô hình chính áp này cũng dự báo tương đối tốt đường đi của bão. Tuy nhiên, trong những trường hợp khí quyển có tính tà áp mạnh như ảnh hưởng của fron lạnh hay sự phát triển bất đối xứng do ảnh hưởng nhiệt động lực do đối lưu, giả thiết chính áp sẽ không được thoả mãn và các mô hình chính áp sẽ bộc lộ những mặt bất cập của mình.

Sử dụng mô hình 3 lớp SWM3 để thử nghiệm dự báo đường đi của bão là một cách tiếp cận vừa đơn giản hóa được bài toán cài xoáy ba chiều mô phỏng xoáy ban đầu tương đối gần với quan trắc, vừa gọn nhẹ, tính toán nhanh vừa vẫn thể hiện được phần nào cấu trúc ba chiều của khí quyển thực.

SWM3 dựa trên mô hình nước nông ba lớp của Dengler và Reeder (1997) (viết tắt là DR97) được xây dựng nhằm nghiên cứu sự phát triển của xoáy bão mô phỏng trong các điều kiện môi trường lý tưởng (ví dụ trường nền tĩnh hoặc trường nền gió tây) và hoàn toàn không sử dụng số liệu thực. DR97 sử dụng điều kiện biên tuần hoàn trên các biên đông-tây và không thấm thấu ($V=0$) trên các biên bắc-nam. Geiszler và Zehnder (2000) đã thử nghiệm phiên bản một lớp của DR97 sử dụng với số liệu thực để mô phỏng ảnh hưởng của địa hình đến các cơn bão Gilbert (1988) và Hermine (1980). Tuy nhiên do sử dụng một lớp nên mô hình này vẫn chỉ là dạng chính áp.

Ở trong nước, có thể kể tên một số ít nghiên cứu thử nghiệm sử dụng DR97. Trong số đó, Đỗ Ngọc Thắng và Nguyễn Chi Mai (1998) mới chỉ dừng lại ở bước tìm hiểu mô hình và thử tính toán với xoáy mô phỏng cho phiên bản một lớp. Gần đây hơn, Trần Ngọc Minh (2003) đã thử nghiệm hai trường hợp bão với gió mô phỏng thực nhưng với điều kiện biên giống như trong DR97 (tức là tuần hoàn trên biên đông-tây và không thấm thấu trên biên bắc-nam) và do đó vẫn còn nhiều yếu tố phi thực tế. Như vậy, việc sử dụng DR97 với số liệu thực để dự báo bão là một hướng nghiên cứu khả thi nhưng vẫn chưa được giải quyết và đó cũng chính là mục tiêu của chúng tôi trong việc xây dựng và thử nghiệm SWM3.

2. Mô hình SWM3

Cấu trúc khí quyển thẳng đứng của SWM3 gồm ba lớp có mật độ đồng nhất (Hình 1). Có thể nhận thấy rằng cấu trúc 3 lớp này là cách đơn giản nhất để mô phỏng hoàn lưu thứ cấp trong bão bao gồm dòng hội tụ vào tâm ở lớp biên, chuyển động gần như thẳng đứng trong thành mắt bão ở nửa dưới tầng đối lưu và chuyển động phân kỳ ở nửa trên tầng đối lưu.

Các biến của mô hình bao gồm các thành phần gió kinh hướng u , gió vĩ hướng v được đặt ở giữa mỗi lớp và độ dày h của các lớp. Theo phương ngang, mô hình sử dụng lưới Arakawa C.

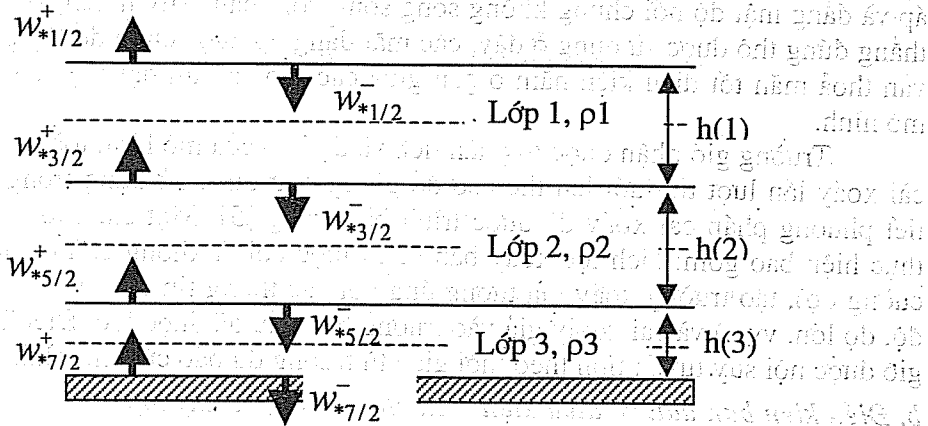
Hệ phương trình thủy động của mô hình viết trên hệ tọa độ Đề-các có dạng:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x} + v_i \frac{\partial u_i}{\partial y} - f v_i = -g \sum_{j=1}^3 \left(R_{ij} \frac{\partial h_j}{\partial x} \right) + F_{3,x} + M_{ix} - g R_{ii} \frac{dh_B}{dx} \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial v_i}{\partial x} + v_i \frac{\partial v_i}{\partial y} + f u_i = -g \sum_{j=1}^3 \left(R_{ij} \frac{\partial h_j}{\partial y} \right) + F_{3y} + M_{iy} - g R_{ii} \frac{dh_B}{dy} \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial h_i}{\partial t} + \nabla \cdot (h_i u_i) = Q_i \quad (2.3)$$

Trong đó, u_i và v_i là các thành phần gió vĩ hướng và kinh hướng trong mỗi lớp, h_B là độ cao bề mặt (thành phần này được tính đến trong trường hợp có mô phỏng ảnh hưởng của địa hình), F_{3x} và F_{3y} là các thành phần ma sát lớp biên, M_{ix} và M_{iy} là các nguồn sinh và tiêu tán của động lực do ảnh hưởng của đối lưu. Nguồn sinh và tiêu tán của khối lượng trong từng lớp do ảnh hưởng của đối lưu được biểu diễn bởi Q_i trong vế phải của (2.3).



Hình 1. Cấu trúc thẳng đứng của mô hình

Ma trận R_{ij} biểu diễn ảnh hưởng tương hỗ của mật độ các lớp tới lực gradien khí áp và có dạng sau:

$$R_{ij} = \begin{cases} \frac{\rho_i - \rho_0}{\rho_i}, & j \geq i \\ \frac{\rho_j - \rho_0}{\rho_i}, & j < i \end{cases} \quad (2.4)$$

Các sơ đồ tham số hoá và các chi tiết khác về mô hình được trình bày đầy đủ trong DR97 và sẽ không được nhắc lại ở đây.

Do là mô hình lý thuyết nhằm mô phỏng xoáy bão lý tưởng, điều kiện ban đầu và điều kiện biên của DR97 tương đối đơn giản với xoáy bão ban đầu đối xứng, điều kiện biên tuân hoàn trên biên đông-tây và điều kiện biên không thấm thấu ($V=0$) trên biên bắc-nam. Do đó, cần thiết phải thực hiện một số thay đổi cơ bản để nhận được gió thực vào mô hình.

3. Xây dựng mô hình sử dụng số liệu thực

Tuy giả thiết khí quyển gồm 3 lớp có mật độ đồng nhất làm đơn giản đáng kể mô hình, nhưng lại khiến cho việc áp dụng số liệu thực để tính toán trở nên khó khăn do không thể xác định được các lớp có mật độ đồng nhất trong khí quyển. Do đó, điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho độ dày của từng lớp không thể nhận được từ các số liệu sẵn có trên các mặt đẳng áp.

Phương án khắc phục ở đây là sử dụng gió như một thông tin quan trọng chính yếu, còn độ dày ban đầu của các lớp sẽ được tính ra từ gió sử dụng điều kiện cân bằng. Việc lựa chọn gió làm chuẩn như vậy phù hợp với điều kiện khí quyển nhiệt đới, nơi có gradien khí áp nhỏ. Phần này sẽ trình bày cách lấy số liệu đầu vào và số liệu biên cho gió, phương pháp tạo trường độ dày ban đầu và một số kỹ thuật tính toán để loại bỏ nhiễu

a. Số liệu đầu vào cho gió

Dựa theo ý tưởng phân khí quyển thành 3 lớp phù hợp với hoàn lưu thứ cấp của bão như trình bày ở trên, chúng tôi chọn gió của các mặt đẳng áp 850hPa, 500hPa¹ và 300hPa lần lượt đại diện cho các lớp biên, giữa và trên cùng của SWM3. Việc sử dụng số liệu gió tại các mặt trên thay vì tính toán “chính xác” (nội suy thẳng đứng) gió của các lớp là chưa chặt chẽ trong điều kiện tính tà áp mạnh, các mặt đẳng áp và đẳng mật độ nói chung không song song với nhau. Tuy nhiên, với độ phân giải thẳng đứng thô được sử dụng ở đây, các mặt đẳng áp được chọn để lấy giá trị của gió vẫn thoả mãn tốt điều kiện nằm ở gần giữa các lớp và làm đại diện cho các lớp của mô hình.

Trường gió nhận được từ phân tích và dự báo của mô hình toàn cầu được xử lý cài xoáy lần lượt từ dưới lên theo sơ đồ giống như được sử dụng trong WBAR. Chi tiết phương pháp cài xoáy đã được trình bày trong [5]. Một cách tóm tắt, các bước thực hiện bao gồm: tách lọc xoáy ban đầu (được coi là không chính xác về vị trí và cường độ), tạo trường xoáy giả tương ứng với các thông tin chỉ thị bão (vị trí, cường độ, độ lớn, vv...) và cài xoáy giả vào trường ban đầu đã được lọc. Điều kiện biên cho gió được nội suy tuyến tính theo thời gian từ trường dự báo của mô hình toàn cầu.

b. Điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho trường bề dày lớp

Điều kiện ban đầu cho bề dày các lớp được tính bằng cách giải phương trình cân bằng phi tuyến có dạng:

$$\nabla^2 h_i = \frac{1}{g} \sum_{j=1}^3 R_{ij}^{-1} [2J(u_j, v_j) + f\zeta_j] - \delta_{i3} \nabla^2 h_B \quad (3.1)$$

Phương trình này được giải bằng phương pháp lặp với trường phỏng đoán ban đầu là trường bề dày giữa các mặt đẳng áp phân cách các lớp.

Đối với H, do không thể sử dụng cập nhật biên từ các mặt đẳng áp dự báo của mô hình toàn cầu với các lý do đã trình bày ở trên, chúng tôi sử dụng điều kiện Newman với gradien ở biên được đặt bằng 0.

c. Phương pháp ban đầu hóa² và xử lý nhiễu

SWM3 sử dụng phương pháp nối lỏng động lực theo ý tưởng tương tự như trong TC-LAPS với mục đích “ép” xoáy bão dự báo tiến gần tới quan trắc thực trong 6 giờ tích phân đầu tiên. Thủ tục này phù hợp với điều kiện thông tin của Việt Nam do thời gian nhận được số liệu dự báo toàn cầu chậm khoảng 6 tiếng so với thời gian bắt đầu chạy mô hình. Như vậy, trường dự báo toàn cầu tại thời điểm +6 tiếng có thể

¹ Đối với lớp giữa của mô hình, thay vì sử dụng gió của mặt 500hPa, ta cũng có thể nhận gió trung bình trong lớp 850hPa-500hPa làm đại diện cho lớp giữa.

² Cần thiết phải phân biệt giữa ban đầu hoá xoáy và ban đầu hoá mô hình. Khái niệm trước để chỉ việc tạo xoáy trong trường ban đầu sao cho xoáy có vị trí và cấu trúc gần giống với xoáy quan trắc. Trong khi đó, khái niệm sau nói đến việc xử lý trường ban đầu sao cho làm giảm thiểu các nhiễu động sóng ngắn không mong muốn (ví dụ sóng quán tính trong trường) để chúng không được khuếch đại lên trong quá trình tích phân.

được cài xoáy bão theo vị trí và cường độ được xác định bởi ảnh vệ tinh hoặc bản tin chỉ thị bão và có thể coi gần đúng là trường phân tích. Trong SWM3, nới lỏng động lực được thực hiện với trường xoáy bằng cách thêm vào một thành phần nới lỏng.

Mặt khác, trường hội tụ thể hiện rất rõ sự lan truyền của các sóng trọng trường khi sử dụng số liệu gió thực. Hơn nữa, các sóng này bị phản xạ vào trong rất nhanh do ta sử dụng điều kiện biên có gradien bằng 0. Hiện tượng này đã được nhiều nhà làm mô hình số trị tìm hiểu và nghiên cứu khá kỹ trong suốt quá trình phát triển của ngành dự báo số trị [6]. Phương án khắc phục được dùng ở đây là lọc các sóng cao tần trong trường hội tụ sau một khoảng thời gian nhất định (khoảng 20 bước thời gian).

Do các thủ tục nới lỏng và xử lý sóng cao tần được thể hiện chính trên trường xoáy và trường hội tụ mà hệ phương trình SWM3 không thể hiện rõ. Việc thực hiện các thủ tục đó sẽ phải theo các bước sau:

+ Tính trường xoáy và hội tụ từ các thành phần gió ngang

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{và} \quad D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (3.2)$$

+ Thực hiện nới lỏng động lực đối với xoáy và lọc sóng cao tần trong trường hội tụ D

+ Tính ngược lại gió u và v bằng cách giải lập phương trình Poát-Xông

$$\nabla^2 u = \frac{\partial D}{\partial x} - \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad \text{và} \quad \nabla^2 v = \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (3.3)$$

Phương pháp trên tỏ ra tương đối hiệu quả trong việc loại bỏ các sóng cao tần trong khi vẫn giữ lại được những hình thế qui mô vừa và qui mô lớn mà mô hình quan tâm.

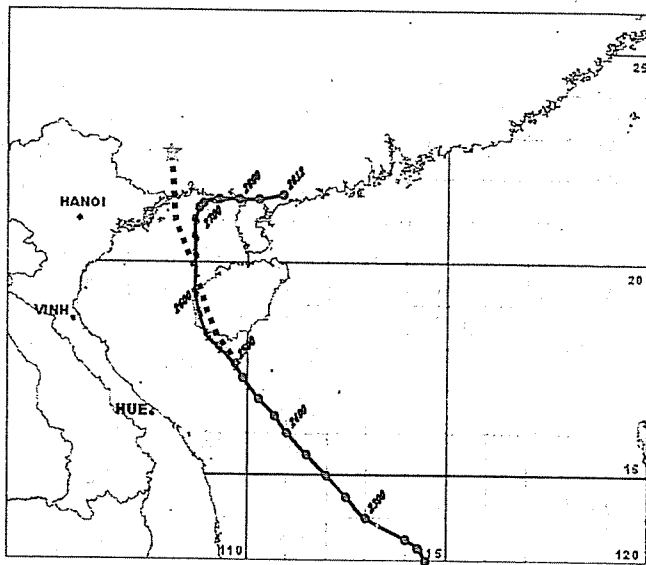
4. Kết quả thử nghiệm

Với tiêu chí tìm hiểu khả năng của mô hình trong việc dự báo sự chuyển hướng của bão, điều mà các mô hình chính áp khó có thể mô tả được, một số trường hợp đường đi đặc biệt của bão trên biển Đông được thử nghiệm. Trường hợp được trình bày ở đây là dự báo bằng SWM3 tại thời điểm 00z ngày 25 tháng IX năm 2002 của cơn Bão Mekhala (bão số 5 năm 2002, Hình 2).

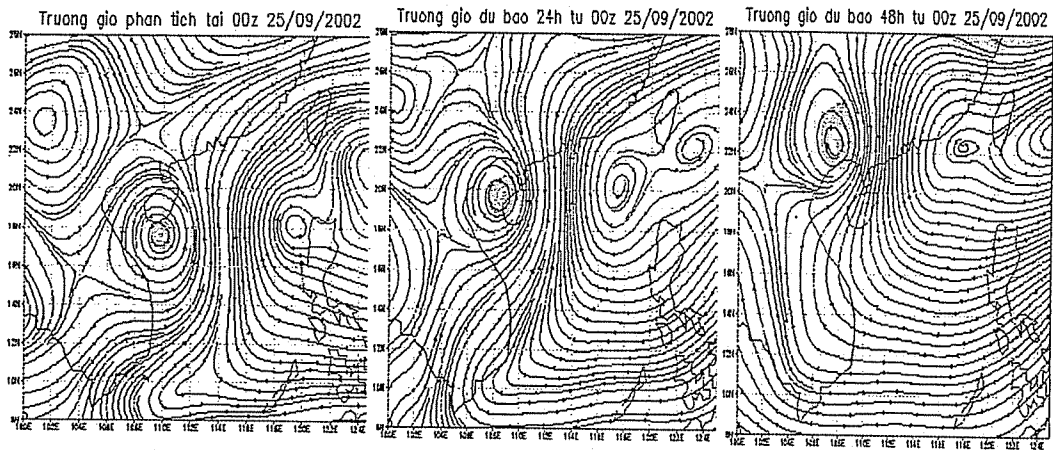
Sai số 24h và 48 giờ của SWM3 trong trường hợp này lần lượt là 55km và 225km. Kết quả này là tương đối tốt với cơn bão có quỹ đạo phức tạp. Tuy thời điểm chuyển hướng hơi muộn hơn so với thực tế, nhưng mô hình đã dự báo được sự chuyển hướng lên phía bắc sau 24h.

Hình 3 biểu diễn trường dòng và xoáy tại các thời điểm 00h, +24h và +48h. Cấu trúc trường dòng nói chung là phù hợp với sự phát triển của xoáy và trường qui mô lớn xung quanh.

Thử nghiệm mô hình với một số cơn bão trên biển Đông có quỹ đạo đổi hướng cho kết quả tương đối khả quan. Trường dòng của mô hình phát triển hợp lý, phù hợp với thực tế. Tuy nhiên, đây mới chỉ là kết quả bước đầu. Để có thể áp dụng vào dự báo nghiệp vụ, các thử nghiệm sẽ tiếp tục được thực hiện, qua đó có thể đánh giá đúng chất lượng dự báo và hiểu về bản chất các sai số, giúp cho các dự báo viên có cơ sở sử dụng kết quả dự báo của mô hình.



Hình 2. Đường đi của bão Mekhala (đường liền nét) và dự báo tại 00z 25-IX-2002 (đường chấm chấm)



Hình 3. Trường gió phân tích và dự báo 24h và 48h của mực giữa của mô hình

Tài liệu tham khảo

1. Đỗ Ngọc Thắng, Nguyễn Chi Mai. Nghiên cứu thử nghiệm mô hình số trị Dengler về chuyển động của xoáy thuận nhiệt đới mô phỏng cho trường hợp 1 lớp hoạt động.- *Tạp san Khí tượng Thủy văn*, số 12 (456), 1998.
2. Nguyễn Thị Minh Phương. Áp dụng một mô hình thủy động chính áp có ban đầu hoá xoáy cho dự báo đường đi của xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) trên vùng biển Đông.- *Tuyển tập các báo cáo tại Hội nghị Khoa học, Công nghệ dự báo lần thứ 5(1996-2000)*, tập I, tr. 195-202, 2000.
3. Phan Văn Tân và Nguyễn Văn Sáng. Mô hình chính áp WBAR và khả năng ứng dụng dự báo bão khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương và biển Đông.- *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 6(498), tr. 27-33, 2002.

4. Trần Ngọc Minh. Ứng dụng mô hình nước nông ba mực dự báo bão trên khu vực biển Đông. Luận văn tốt nghiệp Cử nhân tài năng năm 2003, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà nội, 2003.
5. Dengler, Klaus and Reeder, M.J.. The effects of convection and baroclinicity on the motion of tropical-cyclone-like vortices.- *Q.J.R.Meteorol. Soc.*, No 123, 699-725, 1997.
6. Kalnay, E.. Atmospheric modeling, Data assimilation and Predictability. University Press, Cambridge, 2003.
7. Geiszler, D.A. và Zehnder, J.A.. Barotropic vortex motion near large-scale mountain ranges: Case studies of Hurricane Gilbert (1998) and Tropical Storm Hermine (1980).- *Meteorol. Atmos. Phys.*, 73, 61-76, 2000.