

THAM SỐ HÓA BỨC XẠ TRONG MÔ HÌNH KHÍ HẬU KHÍ QUYỂN CAM 3.0

TS. Trần Quang Đức

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

CAM3.0 là mô hình khí hậu khí quyển 3 chiều thể hệ thứ năm, là phiên bản gần đây nhất được thiết kế tại Trung Tâm Nghiên Cứu Khí Quyển Quốc Gia - Hoa Kỳ (NCAR). Tham số hóa là thành phần rất quan trọng trong các mô hình số trị, đặc biệt là đối với mô hình khí hậu. Tham số hóa trong CAM3.0 gồm năm mảng chính: Tham số hóa bức xạ, giáng thủy, mây, các dòng bề mặt và xáo trộn rối. Với số liệu từ nguồn của NCEP/NCAR, tác giả đã sử dụng CAM3.0 chạy mô phỏng và tiến hành đánh giá bước đầu cho hai năm lựa chọn ngẫu nhiên.

CAM 3.0 là tên bộ mô hình khí hậu khí quyển, được viết tắt bằng cách lấy 3 chữ cái đầu tiên của 3 từ tiếng Anh "Community Atmosphere Model 3.0", có nghĩa là "Mô hình khí quyển cộng đồng 3.0". Bạn đọc quan tâm chi tiết về mô hình này có thể tham khảo trong công trình [5].

1. Giới thiệu các sơ đồ trong mô hình

CAM 3.0 phân tách rõ ràng phần tham số hóa vật lý và phần động lực, có thể dễ dàng thay thế và biến đổi chúng một cách độc lập.

Phương trình dự báo tổng quát cho biến ψ có dạng:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = D(\psi) + P(\psi) \quad (1)$$

Trong đó ψ là biến dự báo như nhiệt độ, thành phần gió ngang v.v..., D thành phần động lực và P thành phần tham số hóa vật lý [5].

Trong bài báo này, tác giả tập trung đi sâu mô tả thành phần tham số hóa bức xạ. Một số nội dung khác (hệ trục tọa độ thẳng đứng, động lực thể tích hữu hạn) đã được giới thiệu trong bài báo [2].

Tham số hóa vật lý [5]

Tham số hóa trong CAM 3.0 bao gồm một

chuỗi các thành phần, được minh họa bởi:

$$P = \{M, C, R, S, T\}, \quad (2)$$

Trong đó M biểu thị quá trình giáng thủy (Moist), C biểu thị mây (Cloud), R biểu thị bức xạ (Radiation), S biểu thị mô hình đất (Surface model), và T biểu thị xáo trộn rối (Turbulent mixing).

Biết rằng bức xạ mặt trời là nguồn lực cơ bản điều khiển hệ thống khí hậu. Hầu như toàn bộ bức xạ mặt trời (mang 99% năng lượng bức xạ) ảnh hưởng đến hệ thống khí hậu nằm trong phần phổ sóng ngắn $\lambda < 4.0 \mu m$. Phần lớn năng lượng bức xạ này được hệ Khí quyển - Trái đất hấp thụ và phát trả dưới dạng bức xạ sóng dài [4]. Trong bài báo tác giả xin giới thiệu tham số hóa bức xạ sóng ngắn tại đỉnh khí quyển và sự truyền bức xạ sóng dài.

Tham số hóa bức xạ sóng ngắn

Trong CAM 3.0, năng lượng mặt trời được

tính theo phương pháp của Berger [1978]. Năng lượng bức xạ mặt trời tại đỉnh khí quyển trong mô hình được tính bởi:

$$S_l = S_0 \rho^{-2} \cos \mu \quad (3)$$

Trong đó: S_0 là hằng số mặt trời, μ là góc thiên đỉnh của mặt trời, và là hệ số khoảng cách (phụ thuộc vào thời gian trong năm). Cho định dạng chuẩn, $S_0 = 1367 \text{ W/m}^2$.

Chu trình năm và chu trình ngày của sự chiếu mặt trời là 365 ngày và với 24 giờ trung bình. Biểu thức xác định dao động năm và ngày độ rơi mặt trời là:

$$\cos \mu = \sin \phi \sin \delta - \cos \phi \cos \delta \cos(H) \quad (4)$$

$$\delta = \arcsin(\sin \varepsilon \sin \lambda) \quad (5)$$

$$\rho = \frac{1 - e^2}{1 + e \cos(\lambda - \tilde{\omega})} \quad (6)$$

$$\tilde{\omega} = \Pi + \psi \quad (7)$$

Trong đó ϕ - vĩ độ (radian), δ - xích vĩ (radian), H - góc giờ mặt trời, ε - độ nghiêng, λ - kinh độ thực của trái đất có liên quan đến điểm xuân phân, e hệ số tâm sai, $\tilde{\omega}$ - kinh độ của điểm cận nhật + 180° , Π - kinh độ của điểm cận nhật dựa vào điểm phân cố định, ψ - sự tiến động

Góc giờ H trong công thức tính $\cos \mu$ phụ thuộc vào ngày lịch d và kinh độ mô hình:

$$H = 2\pi \left(d + \frac{\theta}{360^\circ} \right) \quad (8)$$

Trong đó: θ - kinh độ mô hình (độ) bắt đầu từ Greenwich chạy về phía Đông. Ghi chú rằng ngày lịch d liên tục biến đổi trong năm và được cập nhật trong mỗi bước thời gian của mô hình. Giá trị của d tại 00 GMT cho ngày 1 tháng 1 và ngày 31 tháng 12 lần lượt là 364.

Độ nghiêng ε được tính gần đúng theo công thức kinh nghiệm đối với quỹ đạo trái đất

$$\varepsilon = \varepsilon^* + \sum_{j=1}^{47} A_j \cos(f_j t + \delta_j)$$

Trong đó: A_j , f_j , và δ_j được xác định bởi sự hiệu chỉnh số. Số hạng $\varepsilon = 23,320556^\circ$, và t là thời gian (trong năm).

Khai triển chuỗi cho hệ số tâm sai:

$$e = \sqrt{(e \cos \Pi)^2 + (e \sin \Pi)^2} \quad (10)$$

Số hạng bên phải cũng có thể được viết lại khi khai triển chuỗi:

$$e \begin{Bmatrix} \cos \\ \sin \end{Bmatrix} \Pi = \sum_{j=1}^{19} M_j \begin{Bmatrix} \cos \\ \sin \end{Bmatrix} (g_j t + \beta_j) \quad (11)$$

Trong đó: M_j , g_j và β_j được ước lượng từ sự hiệu chỉnh số. Khi chuỗi này được tính, kinh độ của điểm cận nhật được tính theo:

$$\Pi = \arctan \left(\frac{e \sin \Pi}{e \cos \Pi} \right) \quad (12)$$

Sự tiến động được cho bởi một chuỗi thực nghiệm khác

$$\psi = \tilde{\psi} t + \zeta + \sum_{j=1}^{78} F_j \sin(f'_j t + \delta'_j) \quad (13)$$

Trong đó $\tilde{\psi} = 50.439273''$ và $\zeta = 3.392506^\circ$ F_j , f'_j , δ'_j được ước tính từ lời giải số cho quỹ đạo của trái đất.

Để tính toán kinh độ λ đầu tiên cần xác định hai kinh độ trung bình cho quỹ đạo. Kinh độ trung bình λ_{m0} tại điểm xuân phân là:

$$\lambda_{m0} = 2 \left\{ \left(\frac{e}{2} + \frac{e^3}{8} \right) (1 + \beta) \sin(\tilde{\omega}) - \frac{e^2}{4} \left(\frac{1}{2} + \beta \right) \sin(2\tilde{\omega}) + \frac{e^3}{8} \left(\frac{1}{3} + \beta \right) \sin(3\tilde{\omega}) \right\} \quad (14)$$

Trong đó: $\beta = \sqrt{1 - e^2}$. Kinh độ trung bình là:

$$\lambda_m = \lambda_{m0} + \frac{2\pi(d - d_{ve})}{365} \quad (15)$$

Trong đó: $d_{ve} = 80,5$ là ngày lịch cho điểm xuân phân tại lúc giữa trưa vào ngày 21 tháng 3. Kinh độ λ được tính bởi công thức:

$$\lambda = \lambda_m + \left(2e - \frac{e^3}{4} \right) \sin(\lambda_m - \tilde{\omega}) + \frac{5e^2}{4} \sin[2(\lambda_m - \tilde{\omega})] + \frac{13e^3}{12} \sin[3(\lambda_m - \tilde{\omega})] \quad (16)$$

Tham số hóa bức xạ sóng dài:

Phương pháp sử dụng trong CAM 3.0 mô tả sự truyền bức xạ sóng dài dựa vào công thức hấp thụ / phát xạ [Ramanathan và Downey, 1986]

$$F^{\downarrow}(p) = B(p_i)\varepsilon(p_i, p) + \int_{p_i}^p \alpha(p, p')dB(p') \quad (17)$$

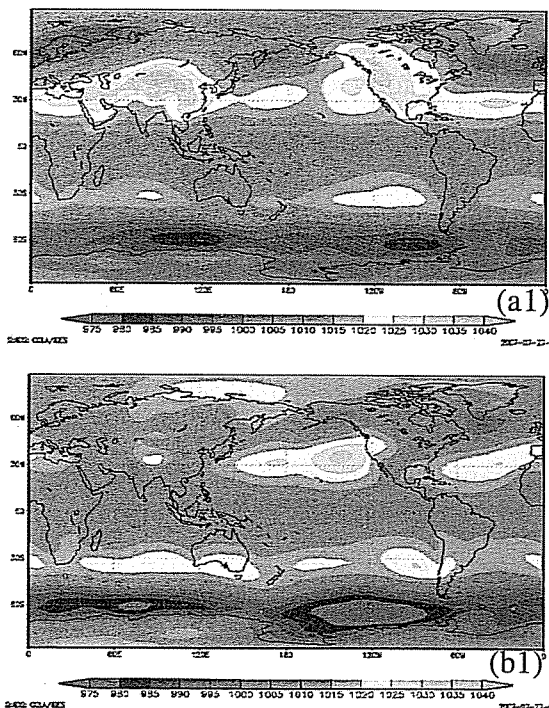
$$F^{\uparrow}(p) = B(p_s) - \int_p^{p_s} \alpha(p, p')dB(p') \quad (18)$$

Trong đó: $B(p) = \sigma T^4(p)$ là công thức Stefan-Boltzmann, p_i và p_s lần lượt là áp suất tại đỉnh của mô hình và tại bề mặt, α và ε là độ hấp thụ và phát xạ.

$$\alpha(p, p') = \frac{\int_0^{\infty} dB_v(p')/dT(p') (1 - T_v(p, p')) dv}{dB(p)/dT(p)} \quad (19)$$

$$\varepsilon(p_i, p) = \frac{\int_0^{\infty} B_v(p_i)(1 - T_v(p_i, p)) dv}{B(p_i)} \quad (20)$$

Trong đó: ν biểu thị số sóng. $B_v(p) = (T(p))$



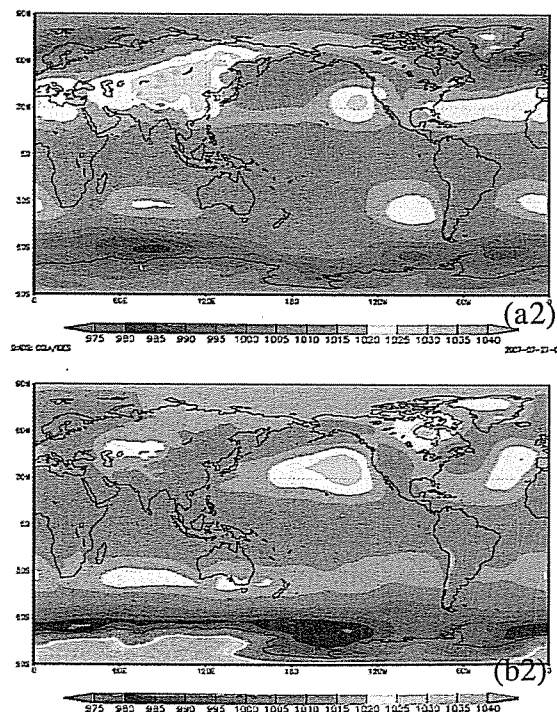
là hàm Plank, và T_v là sự phát xạ của khí quyển.

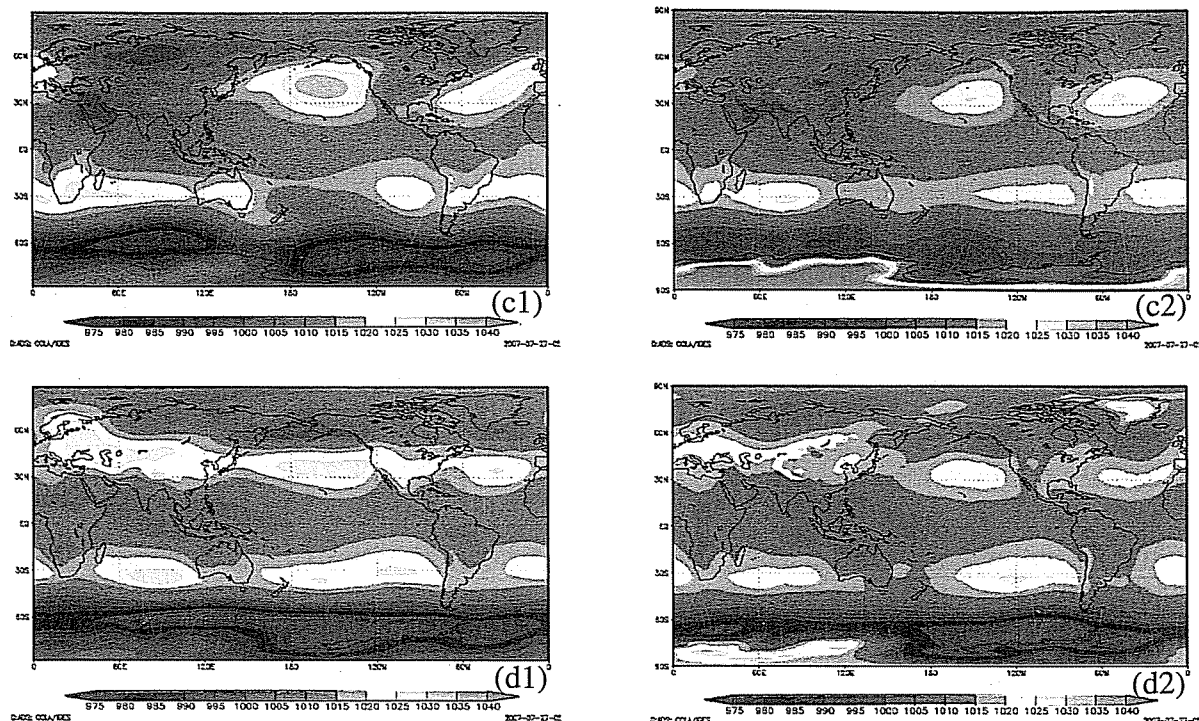
2. Thiết kế chạy mô phỏng và đánh giá

Tác giả tiến hành chạy mô phỏng cho hai năm 1975 và 1980, với bước thời gian 1200 giây, miền tính toán toàn cầu với lưới 64x128 (64 điểm theo kinh hướng và 128 điểm theo vĩ hướng), chạy với điều kiện ban đầu, điều kiện biên và SST (nhiệt độ mặt biển) từ nguồn số liệu do NCEP (Trung tâm Dự báo môi trường Quốc gia - Hoa Kỳ) cung cấp, sơ đồ tham số hóa bức xạ như được mô tả ở mục trên. Kết quả đầu ra là số liệu trung bình tháng [1], [3].

Trong bài báo này, tác giả xin trích dẫn, hiển thị trường áp suất mực biển trung bình tháng cho tháng 1, 4, 7, 10 năm 1975 từ kết quả đầu ra của mô hình (hình 1a1, 1b1, 1c1, 1d1). Với mục đích đánh giá bước đầu, tác giả sử dụng trường áp suất mực biển tương tự từ số liệu tái phân tích của NCEP (hình 1a2, 1b2, 1c2, 1d2). Các kết quả đánh giá định tính một phần cho năm 1980 đã được trình bày trong công thức [2].

* Đánh giá định tính





Hình 1. Bản đồ mô phỏng áp suất mực biển (a1, b1, c1, d1), và bản đồ thực áp suất mực biển (a2, b2, c2, d2) đối với các tháng 1, 4, 7, 10 năm 1975 tương ứng.

Tháng 1 năm 1975 trường áp suất mực biển rất tương đồng giữa mô phỏng và thực tế ở Nam Bán Cầu (vào thời điểm này đang là mùa hè) (hình 1a1, 1a2): dải áp suất thấp với giá trị khoảng 990 mb ở miền vĩ độ cao bao trùm gần như toàn bộ vòng vĩ tuyến, các tâm của dải áp cao cận nhiệt đới nam bán cầu đều có hướng lệch về phía Đông của các đại dương và cùng đạt giá trị khoảng 1025 – 1030 mb, vùng áp thấp xích đạo chiếm một khoảng rộng trên Indonesia, Bắc Úc và lân cận, vùng áp thấp này có hướng lệch về phía nam bán cầu với giá trị trong khoảng 1000 – 1005 mb.

Tháng 1, thời điểm bắc bán cầu đang là mùa đông, hình dạng và vị trí các tâm áp mô phỏng và thực tế tương đối tương đồng; đặc biệt là các tâm áp cao Siberia, đông bắc Thái Bình Dương, Bắc Đại Tây Dương và các tâm thấp trên dải áp thấp quanh rìa mép Bắc cực: tâm áp thấp Scandinavia, Kamchatka và bắc Đại Tây Dương. Tuy nhiên, trường mô phỏng và thực tế ở một số nơi không được tương đồng

như ở tây Bắc Mỹ nơi gần đường biên giáp danh giữa biển và lục địa, trên bản đồ mô phỏng tồn tại một tâm áp cao với giá trị khoảng 1030 – 1035mb trong khi đó trên thực tế lại không tồn tại tâm này, có lẽ mô hình đã thể hiện hơi quá hiệu ứng địa hình núi và dòng biển lạnh hướng xích đạo tại đây.

Sang tháng 4, nhìn chung không có sự tương đồng giữa mô phỏng và thực tế ở vùng cực hai bán cầu, nhưng lại tương đối tốt ở miền vĩ độ thấp và trung bình. Dải áp thấp xích đạo so với tháng 1 đã có sự dịch chuyển về phía cực bắc, rãnh áp thấp nhất có vị trí gần vòng vĩ tuyến 0° . Vùng cận nhiệt đới với các tâm áp cao đều nằm gần vòng vĩ tuyến 30° ở cả hai bán cầu.

Tháng 7, tháng giữa hè bắc bán cầu dạng và vị trí các tâm áp cao, áp thấp tương đối tương đồng giữa mô phỏng và thực tế, tuy nhiên vẫn còn khác biệt về giá trị. So với tháng 1 và 4, các tâm trên có độ lệch cực đại về phía cực bắc, rõ nét nhất là vùng áp thấp bắc Ấn Độ Dương và bán đảo Ả rập.

Tháng 10, tháng chuyển tiếp giữa hai mùa nóng lạnh của bắc bán cầu, nam bán cầu. Nhìn chung có sự tương đồng rất tốt trên các dải miền khí hậu giữa mô phỏng và thực tế. Đặc biệt tương đồng tốt là vùng áp thấp xích đạo tây Thái Bình Dương với giá trị 1000 - 1005 mb, và dải áp cao cận nhiệt đới nam bán cầu.

* Đánh giá định lượng

Một số các đại lượng thống kê cơ bản thường được sử dụng cho việc đánh giá kết quả của mô hình dự báo số trị: Độ lệch (sai số trung bình), sai số tuyệt đối trung bình, sai số trung bình bình phương quân phương. Nếu ký hiệu N chuỗi dự báo, F_i biểu thị dự báo thứ i , O_i là giá trị quan trắc tương ứng ta có:

Độ lệch hay sai số trung bình (Mean Error);

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \quad (21)$$

Với giá trị của ME nằm trong khoảng $(-\infty, +\infty)$. ME cho biết xu hướng lệch trung bình của giá trị dự báo so với giá trị quan trắc, nhưng không phản ánh độ lớn sai số. ME dương cho biết giá trị dự báo vượt quá giá trị quan trắc và ngược lại. ME có thể được biểu diễn khi lấy giá trị trung bình của dự báo trừ đi giá trị trung bình của quan trắc.

$$ME = \bar{F} - \bar{O} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N O_i \quad (22)$$

Có nghĩa là ta có thể tính ME cho tháng, năm bằng cách lấy trung bình các yếu tố theo tháng, năm tương ứng sau đó mới thực hiện phép trừ.

Sai số tuyệt đối trung bình ((Mean Absolute Error)

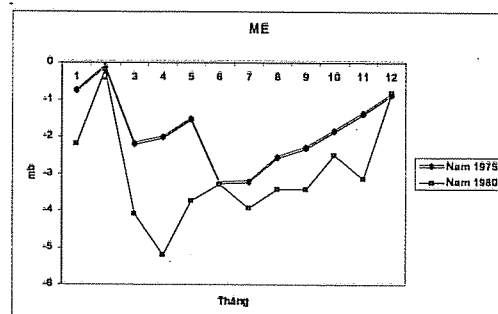
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i| \quad (23)$$

Với giá trị của MAN nằm trong khoảng $(0, +\infty)$. MAE, RMSE không biểu thị độ lớn trung bình của sai số nhưng không nói lên xu hướng lệch của giá trị dự báo và quan trắc.

Sai số bình phương trung bình căn (Root

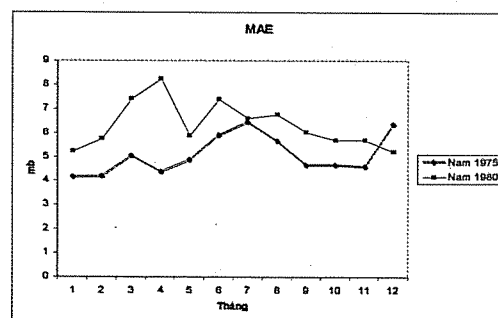
Mean Square Error)

Với giá trị của RMSE nằm trong khoảng $(0, +\infty)$. Giống như MAE, RMSE không chỉ ra xu hướng lệch giữa giá trị dự báo và giá trị quan trắc. Khi so sánh sai số tuyệt đối trung bình MAE và sai số bình phương trung bình căn RMSE ta có: nếu $RMSE \geq MAE$ thì sai số lớn, còn $RMSE = MAE$ khi và chỉ khi tất cả các sai số có độ lớn như nhau.



Hình 2. Sai số trung bình giữa mô phỏng và thực tế ME (mb) cho các năm 1975 và 1980.

Trường áp suất mực biển mô phỏng cho năm 1975 và 1980 thiên lệch âm so với thực tế với ME biến thiên trong khoảng từ -3 tới gần bằng 0 mb, và từ -5 tới gần bằng 0mb đối với các năm tương ứng. Trong các tháng mùa đông Bắc Bán Cầu ME đạt giá trị cực tiểu với giá trị nhỏ hơn -1 mb và các tháng mùa hè ME đạt giá trị lớn nhất khoảng $-3 \div -4$ mb (hình 2).

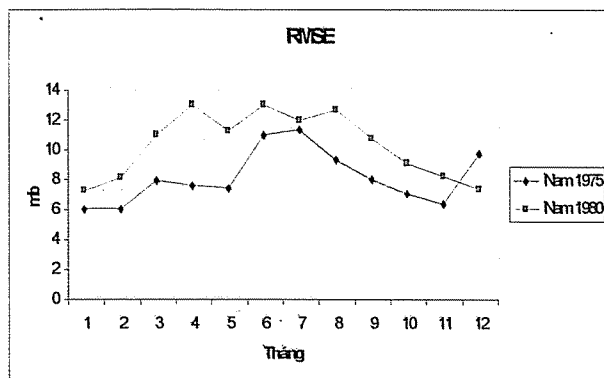


Hình 3. Sai số tuyệt đối trung bình giữa mô phỏng và thực tế MAE (mb) cho các năm 1975 và 1980.

Sai số áp suất giữa mô phỏng và thực tế không được nhỏ lắm, với giá trị trung bình của sai số tuyệt đối trung bình cho năm 1975 khoảng 5 mb và năm 1980 khoảng 6 mb (hình 3).

Trong năm, khác biệt lớn nhất giữa giá trị

mô phỏng và thực tế vào những tháng mùa hè bắc bán cầu với RMSE tháng 6, 7, 8 năm 1975 khoảng 10 mb, trong khi đó ME có giá trị khoảng 6 mb. Khác biệt nhỏ nhất là vào thời kỳ mùa đông Bắc Bán Cầu với RMSE tháng 12, 1, 2 năm 1975 khoảng 6,5 mb và ME khoảng 5 mb (hình 4).



Hình 4. Sai số trung bình bình phương quân phương giữa mô phỏng và thực tế RMSE (mb) cho các năm 1975 và 1980.

3. Kết luận

Mô hình CAM 3.0 – mô hình khí hậu khí quyển toàn cầu, các biến dự báo được qui định bởi cả hai phần: động lực và tham số hóa. Cũng

giống như hầu hết các mô hình toàn cầu khác, tham số hóa vật lý gồm một chuỗi các thành phần: quá trình giáng thủy, mây, bức xạ, mô hình đất, xáo trộn rối. Tham số hóa bức xạ được mô tả trên cơ sở những qui luật vật lý cơ bản và được chia tách thành hai mảng con: tham số hóa bức xạ sóng ngắn và tham số hóa bức xạ sóng dài.

Mô phỏng bước đầu cho hai năm 1975 và 1980 với kết quả số liệu trung bình tháng cho thấy trường áp suất mực biển tương đối tương đồng với trường thực, đặc biệt là dải áp thấp xích đạo, dải áp cao cận nhiệt đới, dải áp vĩ độ trung bình và sự dịch chuyển theo mùa rõ ràng của các trung tâm tác động trên. Các tâm áp cao và áp thấp mô phỏng có hình dạng và vị trí gần trùng với thực tế, và đặc biệt ở nam bán cầu tốt hơn bắc bán cầu. Trường mô phỏng có thiên hướng lệch âm so với trường thực với giá trị ME khoảng $0 \div -5$ mb, độ lệch giữa mô phỏng và thực tế trung bình năm khoảng $5 \div 6$ mb (MAE) trong đó chênh lệch vào mùa hè bắc bán cầu lớn hơn hẳn mùa đông. Đồng thời những con số trên cho thấy khả năng có thể hiệu chỉnh mô hình này trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

1. Trần Quang Đức. Nghiên cứu khả năng khai thác bộ mô hình khí hậu CAM 3.0. Đề tài cấp Trường Đại học khoa học tự nhiên, ĐHQG Hà Nội, 2005.
2. Trần Quang Đức. Mô hình khí hậu khí quyển CAM 3.0, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, tr. 33, NO 555, tháng 3 năm 2007.
3. James R. McCaa, Mathew Rothstein, Brian E. Eeton, James M. Rosinski, Erich Kluzek, Mariana Vertenstein. User's guide to the NCAR community atmosphere model (CAM 3.0), Technical Report NCAR, Boulder, 97 pp., June 2004.
4. McGuffie K., Henderson-Sellers A.. A climate modelling primer- second edition, John Wiley & Sons, 246 pp., 1997.
5. William D. Collins, Philip J. Rasch, Bigron A. Boville, James J. Hach, James R. McCaa, David I. Williamson, Jaffrey T. Kiehl, Bruce Briegleb. Description of the NCAR community atmosphere model (CAM 3.0), Technical Report NCAR, Boulder, 210 pp, June 2004.