

ỨNG DỤNG ẢNH VỆ TINH TERRA-AQUAR (MODIS) TRONG VIỆC TÍNH TOÁN ĐỘ ẨM KHÔNG KHÍ TRONG KHÍ QUYỂN

TS. Dương Văn Khảm, KS. Chu Minh Thu

Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường

Lượng hơi nước tổng cộng trong khí quyển thường được biểu diễn bằng độ cao của lớp “nước lắng”, tức là của một lớp nước mà ta sẽ thu được nếu như toàn bộ hơi nước chứa trong khí quyển đều đọng lại thành nước [1]. Hiện nay, lượng hơi nước tổng cộng trong khí quyển có thể được tính thông qua ảnh vệ tinh Terra-Aquar với đầu thu MODIS. Để tính tổng lượng hơi nước, chúng tôi sử dụng phương pháp tỷ số giữa kênh phổ hấp thụ ở các bước sóng trung tâm: 0,905 μm , 0,936 μm , 0,94 với kênh cửa sổ khí quyển ở bước sóng 0,865 μm . Tỷ số này loại bỏ một phần ảnh hưởng của sự phản chiếu bề mặt đối với bước sóng dài và cho kết quả về hệ số hấp thụ hơi nước khí quyển. Lượng hơi nước tổng cộng trong khí quyển được tính từ hệ số hấp thụ dựa theo lý thuyết truyền bức xạ. Từ lượng hơi nước tổng cộng trong khí quyển được xây dựng từ ảnh MODIS, dựa vào bản chất vật lý của sự bốc hơi nước và các thông số được điều chỉnh phù hợp với điều kiện khí hậu và môi trường của khu vực nhiệt đới, bài viết đã tính được độ ẩm tương đối (RH) của không khí với độ phân giải cao (1 km). Đây là một ứng dụng quan trọng đối với lĩnh vực khí tượng - khí hậu.

1. Miêu tả thuật toán

Thuật toán tính lượng hơi nước bằng việc sử dụng các kênh cận hồng ngoại của sự hấp thụ các tia phản xạ của hơi nước, sau khi các tia này truyền tới bề mặt và phản xạ lại qua khí quyển tới đầu thu. Tổng lượng hơi nước theo chiều thẳng đứng có thể được xác định từ việc so sánh giữa phổ phản xạ ở kênh hấp thụ (Absorption) và phổ phản xạ ở kênh cửa sổ khí quyển (Atmospheric windows). Hiện nay, hai thiết bị thu ảnh độ phân giải trung bình MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) đặt trên hai vệ tinh Terra và Aqua của NASA cung cấp các số liệu viễn thám về đất, đại dương và khí

quyển trên toàn bộ Trái đất. Với 36 kênh phổ từ bước sóng 0,405 μm đến 14,385 μm và độ phân giải không gian là 250 m, 500 m và 1 km, MODIS đã được ứng dụng rất nhiều trong lĩnh vực khí tượng thủy văn và môi trường. Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã đưa ra những thuật toán để xác định lượng hơi nước trong khí quyển thông qua các sóng phản hồi của một số kênh cận hồng ngoại thu nhận từ vệ tinh MODIS. Theo bản chất vật lý của sóng điện từ và cấu tạo của đầu thu, để tính toán tổng lượng hơi nước trong khí quyển các nghiên cứu thường sử dụng các kênh 2, 17, 18 và 19 của đầu thu MODIS[2] (bảng 1)

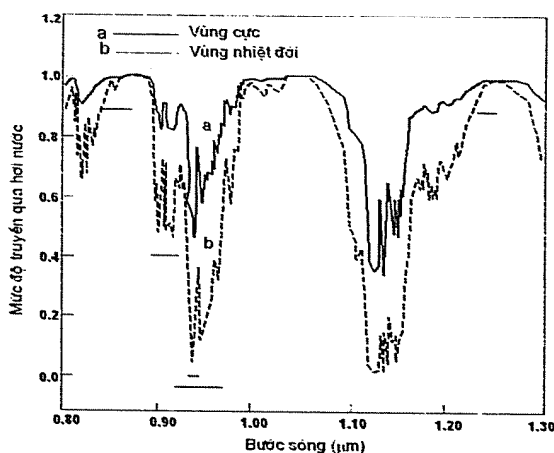
Bảng 1. Các kênh phổ của đầu đo MODIS được sử dụng trong tính toán lượng hơi nước trong khí quyển

Kênh MODIS	Bước sóng (μm)	Độ rộng bước sóng (μm)
2	0,841-0,876	0,035
17	0,890-0,920	0,030
18	0,931-0,941	0,010
19	0,915-0,965	0,050

Trong đó: kênh 2 là kênh cửa sổ khí quyển, kênh 17, 18, 19 là các kênh hấp thụ hơi nước.

a. Mối quan hệ giữa hệ số hấp thụ (T_{obs}) và lượng hơi nước trong khí quyển

Trong cùng một điều kiện, ở kênh cửa sổ khí quyển $0,865\mu m$ sự hấp thụ của hơi nước đối với năng lượng bức xạ rất nhỏ. Ngược lại, tại các kênh $0,940\mu m$, $0,905\mu m$ và $0,936\mu m$ sự hấp thụ của hơi nước đối với năng lượng bức xạ rất lớn (hình 1). Dựa vào tính chất vật lý về sự tương tác năng lượng của khí quyển Kaufman và Gao [2] đã đưa ra thuật toán tính tổng cột hơi nước thông qua hệ số hấp thụ hơi nước theo các tỉ số sau:



Hình 1. Đường cong phổ hấp thụ hơi nước

$$\Gamma_{obs}(0,940\mu m) = \rho^*(0,940\mu m) / \rho^*(0,865\mu m) \quad (1)$$

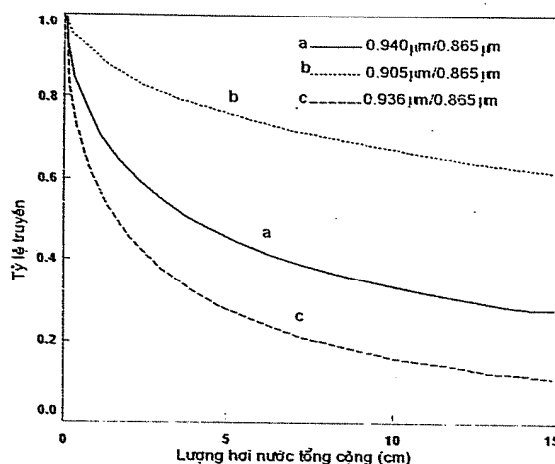
$$T_{obs}(0,905\mu m) = \rho^*(0,905\mu m) / \rho^*(0,865\mu m) \quad (2)$$

$$T_{obs}(0,936\mu m) = \rho^*(0,936\mu m) / \rho^*(0,865\mu m) \quad (3)$$

Trong đó: T_{obs} là hệ số hấp thụ,

P^* là độ phản xạ tại đỉnh khí quyển của kênh phổ tương ứng.

Tổng cột hơi nước trong khí quyển được tính toán dựa vào quan hệ giữa hệ số hấp thụ của từng kênh phổ với lượng hơi nước trong khí quyển. Công thức kinh nghiệm (biểu diễn trên hình 2) được tính cho 10 loại bề mặt: tuyết, rừng, ruộng, sa mạc, đại dương, đỉnh mây, rừng, cỏ già, cỏ úa và vùng cỏ khô và được liên hệ bởi hàm bậc 2 như sau:



Hình 2. Đường cong quan hệ cột hơi nước và hệ số hấp thụ hơi nước

$$W_{17} = 26,314 - 54,434T_{obs}(0,940\mu m) + 28,449T_{obs}(0,940\mu m)^2 \quad (4)$$

$$W_{18} = 5,012 - 23,017T_{obs}(0,905\mu m) + 27,884T_{obs}(0,905\mu m)^2$$

$$W_{19} = 9,446 - 26,887T_{obs}(0,93\mu m) + 19,914T_{obs}(0,93\mu m)^2$$

Trong đó: W_{17} , W_{18} , W_{19} là giá trị cột hơi nước được tính cho các kênh phổ 17, 18, 19 tương ứng của MODIS.

b. Trọng số

Ở cùng một điều kiện khí quyển, giữa các kênh $0,936\mu m$, $0,940\mu m$, $0,905\mu m$ có hệ số hấp thụ khác nhau đối với năng lượng bức xạ. Kênh hấp thụ $0,936\mu m$ có độ nhạy nhất trong điều kiện khô, trong khi kênh hấp thụ $0,905\mu m$ có độ nhạy nhất trong điều

kiện ẩm. Vì vậy để đảm bảo tính chính xác khi tính tổng lượng hơi nước trong khí quyển chúng ta phải tính đến giá trị trung bình của các kênh thông qua các hàm trọng số. Tổng lượng hơi nước trung bình trong khí quyển (W) được tính thông qua công thức sau:

$$W = f_1w_1 + f_2w_2 + f_3w_3 \quad (5)$$

Trong đó: w_1 , w_2 , w_3 là lượng hơi nước thu được từ kênh $0,936$, $0,940$ và $0,905\mu m$.

f_1, f_2, f_3 là hàm trọng số phức thuộc vào độ nhạy của từng kênh phổ. Hàm trọng số cho mỗi kênh được tính theo công thức:

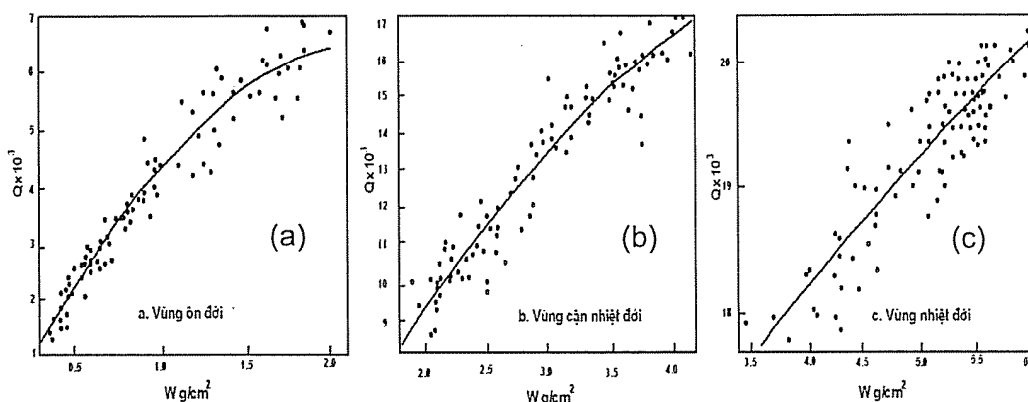
$$f_i = \eta_i / (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3); \quad \eta_i = \left| \frac{T_i}{\bar{W}} \right| \quad (6)$$

Trong đó $\bar{T}_i$ là giá trị hấp thụ hơi nước trung bình của kênh thứ i , $\bar{W}$ giá trị trung bình tổng lượng hơi nước của 3 kênh.

c. Độ ẩm riêng

Hiện nay chưa có phương pháp trực tiếp để tính chính xác độ ẩm tương đối và độ ẩm riêng từ số liệu

viễn thám, mặc dù việc xác định tổng cột hơi nước trong khí quyển là tương đối chính xác bằng phương pháp này [2]. Tuy nhiên, hàm hồi quy đơn giản giữa độ ẩm riêng và tổng cột hơi nước đã được tìm ra bởi W. Timothy [3], [4] (1984). Ông đã phân tích chuỗi số liệu cột hơi nước trung bình tháng của 9 năm nghiên cứu và xây dựng các điểm quan hệ giữa độ ẩm riêng (Q) và tổng cột hơi nước (W) cho 3 vùng: ôn đới, cận nhiệt đới và nhiệt đới (hình 3). Mỗi một đường cong là một đường hồi quy bậc hai và hệ số tương quan rất cao lần lượt là 0,97, 0,97 và 0,90.



Hình 3. Mối quan hệ giữa tổng cột hơi nước và độ ẩm riêng của hơi nước
a) vùng ôn đới, b) vùng cận nhiệt đới, c) vùng nhiệt đới

Hình 3 cho thấy ở khu vực ôn đới, cận nhiệt đới giá trị Q nhỏ hơn và tương quan tốt hơn (hình 3a,b). Ở khu vực nhiệt đới giá trị Q lớn hơn và tương quan thấp hơn (hình 3.c), chứng tỏ độ ẩm không khí ở vùng nhiệt đới diễn biến phức tạp hơn vùng ôn đới và cận nhiệt đới. Độ ẩm riêng (Q) ở khu vực nhiệt đới có thể được xác định từ giá trị cột hơi nước (W) thông qua hàm kinh nghiệm:

$$Q = -0,0252w^2 + 1,2622w + 13,574 \quad (7)$$

d. Độ ẩm tương đối [1]

Độ ẩm tương đối (RH) là tỉ số giữa sức trương hơi nước (e) và sức trương hơi nước bão hoà (E):

$$RH = e / E \quad (8)$$

Sức trương hơi nước (e) được tính từ độ ẩm riêng (Q) và áp suất không khí (P):

$$e = Q \times P / 622 \quad (9)$$

Sức trương hơi nước bão hoà (E) được tính từ nhiệt độ không khí (t):

$$E = 6,11 \exp\left(\frac{17,27t}{237,3 + t}\right) \quad (10)$$

Áp suất không khí sẽ giảm theo độ cao (H) và được tính theo công thức kinh nghiệm:

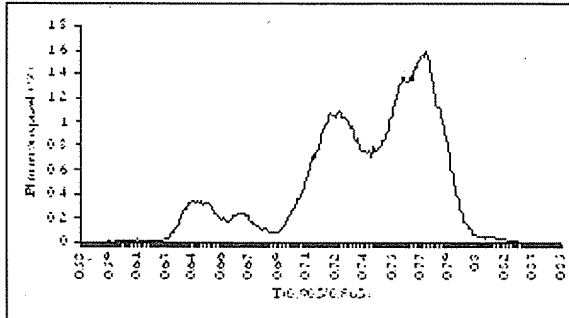
$$P = 1013,3 - 0,1038H \quad (11)$$

2. Kết quả tính toán

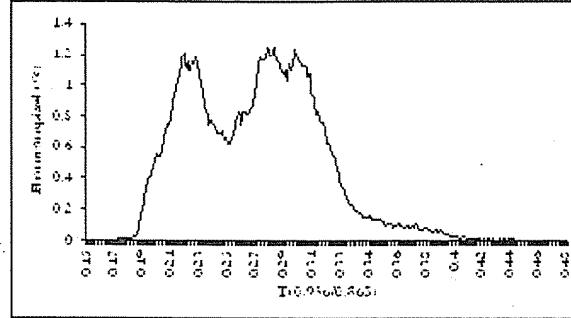
Ảnh MODIS được thu lúc 13h30' ngày 22/12/2005. Sau khi đã thực hiện các bước tiền xử lý ảnh, như: hiệu chỉnh hình học, tích hợp tọa độ lý về lưới chiếu UTM, elipsoid WGS-84 và chọn vùng tính toán là 104003'40.05"E, 22032'41.06"N và 107023'40.04"E, 19038'11.06"N. Căn cứ vào công thức từ 1 – 4 để tính được hệ số hấp thụ và tổng lượng hơi nước cho các kênh 17, 18, 19 cho khu vực nghiên cứu, sau đó tính các giá trị trọng số cho mỗi kênh (công thức 5, 6), kết quả tính trọng số được thể hiện trên các hình 4, 5, 6 và bảng 2.

Giá trị độ cao được lấy từ số liệu DEM và chuyển về với cùng độ phân giải 1km bằng công nghệ GIS. Nhiệt độ được lấy từ số liệu các trạm khí tượng và được nội suy cùng độ phân giải ảnh MODIS theo các phương pháp thống kê, như: phương pháp hồi quy theo độ cao và kinh vĩ độ, các phương pháp nội

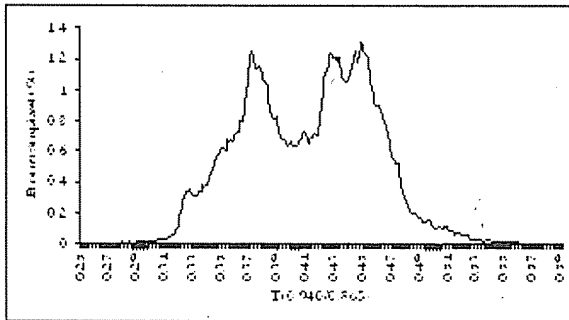
suy theo khoảng cách có trọng số (IDWA)[5]. Sức trương hơi nước và sức trương hơi nước bão hoà được tính toán dựa vào các công thức 9, 10. Giá trị độ ẩm riêng, độ ẩm tương đối được tính toán trên cơ sở các công thức 7, 8. Kết quả tính toán được thể hiện tại các hình 7, 8, 9, 10 và 11.



Hình 4. Phân bố thống kê hệ số hấp thụ của kênh 17 ảnh MODIS



Hình 5. Phân bố thống kê hệ số hấp thụ của kênh 18 ảnh MODIS



Hình 6. Phân bố thống kê hệ số hấp thụ của kênh 19 ảnh MODIS

Bảng 2. Kết quả tính toán trọng số đối với 3 kênh MODIS ở khu vực miền Bắc Việt Nam

Tên kênh	Bước sóng trung tâm λ_c (μm)	Giá trị trung bình hệ số hấp thụ $\overline{T}_i$	Giá trị trung bình cột hơi nước $\overline{W}_i$ (g/cm^2)	Trọng số f_i
17	0,905	0,757	1,601	0,506
18	0,936	0,296	0,836	0,196
19	0,940	0,447	1,509	0,298

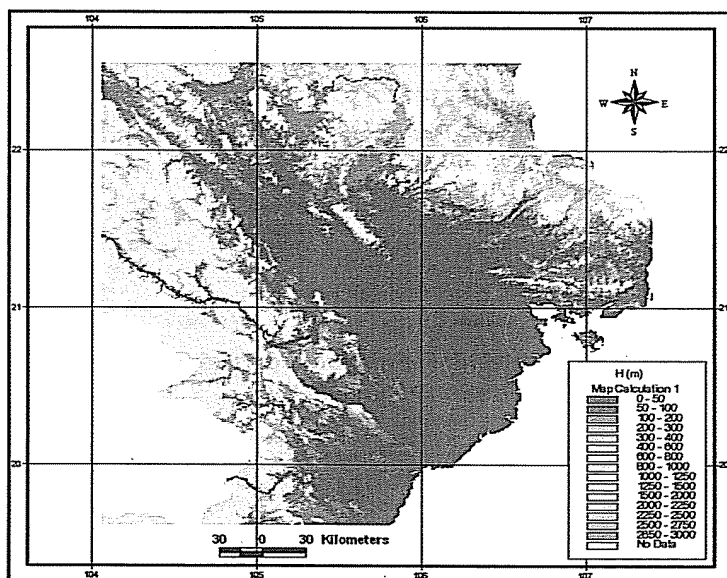
So sánh giữa bản đồ độ cao DEM (hình 7) và bản đồ nhiệt độ (hình 8) ta nhận thấy: nhiệt độ giảm theo độ cao một cách rõ rệt, như vậy là phù hợp với quy luật diễn biến của nhiệt độ theo độ cao địa hình. Các giá trị về độ ẩm, như: sức trương hơi nước (hình 9), tổng cột hơi nước trong khí quyển (hình 10), và độ ẩm tương đối (hình 11) đều có một quy luật phân bố chung là có giá trị lớn ở phía giáp vùng

biển và phía nam khu vực nghiên cứu và càng lên phía bắc, tây bắc các giá trị độ ẩm này càng nhỏ.

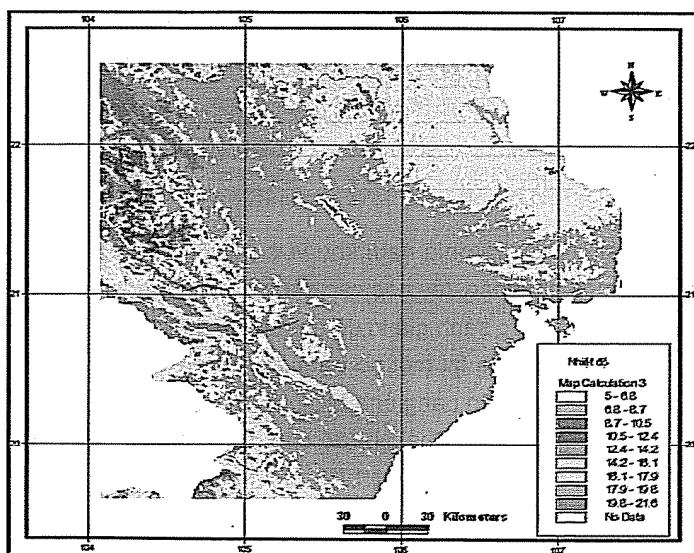
So sánh giá trị độ ẩm tương đối (RH) giữa giá trị thực đo tại một số trạm khí tượng và số liệu được tính toán bằng ảnh MODIS (bảng 3) nhận thấy trạm Mù Cang Chải với độ cao địa hình gần 1000 m có sai số là lớn nhất 12%, các trạm khác có sai số đều nhỏ hơn 10%.

Bảng 3. Sai số của độ ẩm tương đối (RH) giữa số liệu thực đo và số liệu tính toán từ ảnh MODIS

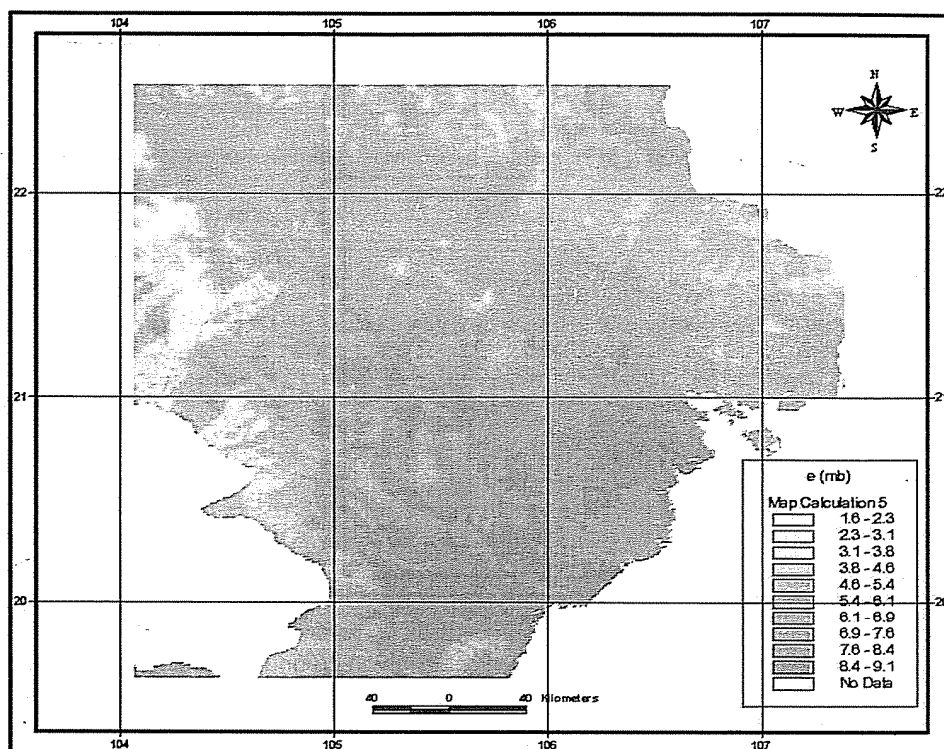
Tên Trạm	Kinh độ	Vĩ độ	Độ cao (m)	Nhiệt độ thực đo (°C)	RH thực đo (%)	RH ảnh (%)	Sai số ΔRH (%)
Hải Dương	106,30	20,95	2,23	18,6	29	35	6
Láng	105,80	21,02	5,97	19,4	34	34	0
Tuyên Quang	105,22	21,82	40,8	19,2	32	30	2
Mai Châu	105,05	20,65	165,5	19,5	33	35	2
Mù Cang Chải	104,08	21,85	955	16,8	37	25	-12
Thái Bình	106,38	20,42	1,9	18,1	31	39	8
Phủ Liễn	106,63	20,80	112,4	18,6	31	35	4
Thanh Hoá	105,78	19,75	4,9	18,2	39	40	1



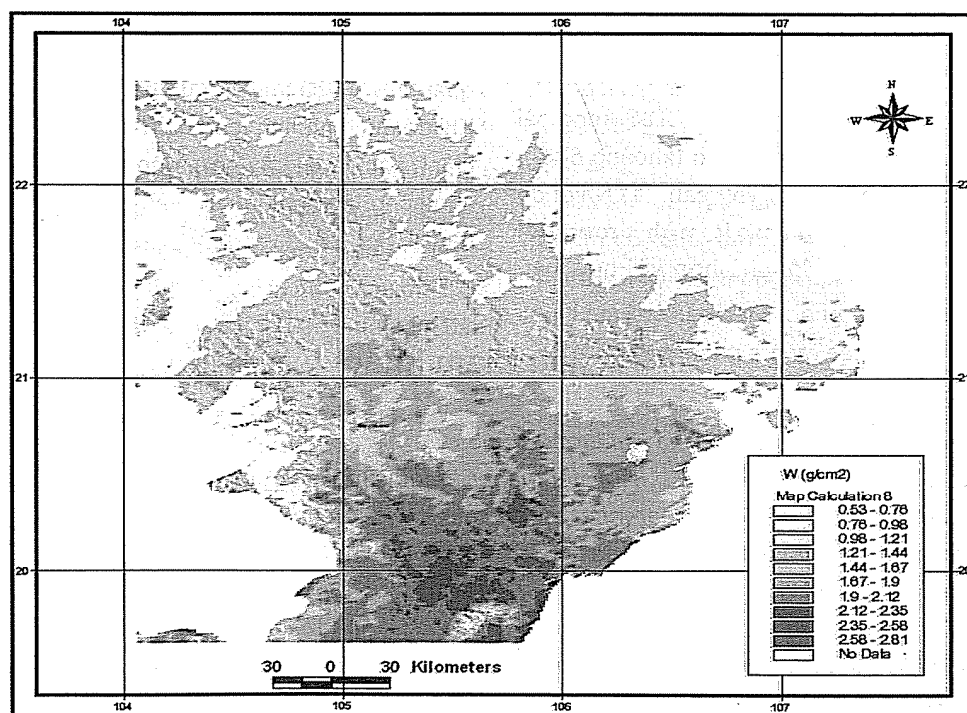
Hình 7. Bản đồ số độ cao DEM khu vực nghiên cứu



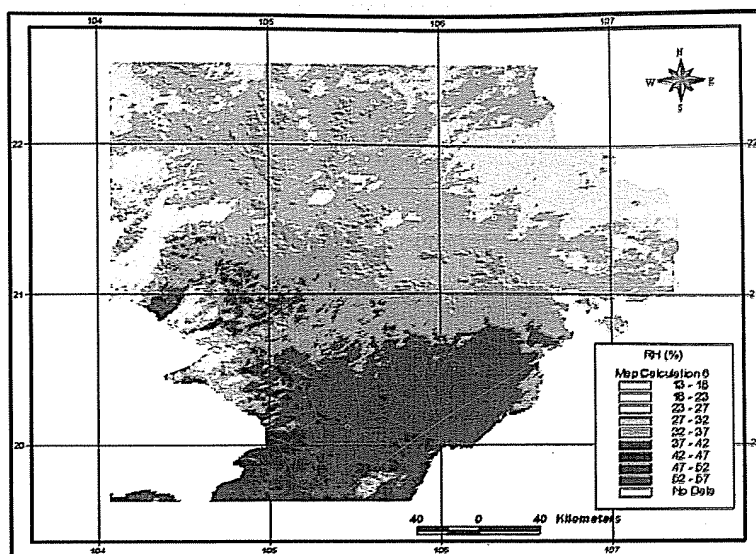
Hình 8. Bản đồ nhiệt độ không khí (°C) lúc 13h ngày 22/12/2005



Hình 9. Bản đồ sức trương hơi nước (mb) lúc 13h ngày 22/12/2005



Hình 10. Bản đồ cột hơi nước tổng cộng (g/cm^2)
được tính từ ảnh MODIS lúc 13h30 ngày 22/12/2005



Hình 11. Bản đồ độ ẩm tương đối (%) được tính từ ảnh MODIS lúc 13h30 ngày 22/12/2005

3. Kết luận

Việc kết nối giá trị tổng lượng hơi nước từ MODIS và các thông số mặt đất, khí quyển, như: độ cao địa hình, nhiệt độ, áp suất, thảm phủ thực vật có nhiều khả năng ứng dụng trong việc nghiên cứu và tính toán độ ẩm không khí với độ phân giải cao, nhằm bổ sung các số liệu trong các mô hình dự báo khí tượng khí hậu và biến đổi khí hậu cũng như nhiều nghiên cứu ứng dụng khác trong thực tiễn.

Độ ẩm tương đối thu được từ MODIS trong bài viết này có độ chính xác chưa cao (khoảng 88%), do một số nguyên nhân chủ yếu sau: (1) Nhiệt độ không khí nội suy từ số liệu các trạm khí tượng, kết quả nội suy tuy tương đối phù hợp với quy luật,

nhưng vẫn có những sai số thống kê nhất định; (2) Áp suất khí quyển chỉ được nội suy theo công thức thực nghiệm mà chưa có số liệu đo đạc thực tế tại các trạm (3); Sự chênh lệch về thời gian quan trắc giữa số liệu thực đo và số liệu MODIS (số liệu thực tế tại obs quan trắc lúc 13 giờ trong khi đó ảnh MODIS thu được lúc 13 giờ 30 phút). Các nguyên nhân gây ra sai số này đều có thể khắc phục được trong tương lai khi có đầy đủ số liệu tại các trạm quan trắc và các số liệu đo đạc khảo sát thực địa. Khi đó mô hình tính toán độ ẩm không khí sẽ có độ chính xác và tin cậy hơn, đáp ứng những yêu cầu cho công tác nghiên cứu và dự báo khí tượng-khí hậu.

Tài liệu tham khảo

1. Khí tượng học. Nhà xuất bản Nha Khí tượng, 1963.
2. Bo-Cai Gao and Kaufman, Y. J. Water vapor retrievals using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) near-infrared channels. *Journal of Geophysical Research*, 2003.
3. W. Timothy Liu. Remote sensing of near surface humidity over North Pacific. *IEEE trans. Geosci. Remote Sens.*, 1984.
4. Peng Guangxiong, Li Jing, Cen Yunhao, Tay Lip Hong. High-resolution Surface Relative Humidity Computation Using MODIS Image in Peninsular Malaysia. *Chinese Geographical Science*, 2006.
5. Dương Văn Khảm. Xây dựng phương pháp tính toán một số yếu tố tiểu khí hậu nông nghiệp bằng công nghệ GIS. Hội thảo khoa học "Dự báo, nghiệp vụ KTTV phục vụ khai thác tài nguyên và bảo vệ môi trường", Viện Khí tượng Thủy văn, 2004.