

SỬ DỤNG THÔNG TIN RA ĐA TRS-2730 VÀ THÔNG TIN VỆ TINH ĐỂ QUAN TRẮC, PHÁT HIỆN MÂY ĐÓI LƯU GÂY TÔ, LỐC, MƯA ĐÁ Ở MIỀN BẮC VIỆT NAM

ThS. Nguyễn Việt Thắng - Đài Khí tượng Cao không

ThS. Nguyễn Thị Thanh Bình - Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương

Trước hiện trạng môi trường trái đất ngày càng bị tàn phá nghiêm trọng, gây ra sự biến đổi khí hậu toàn cầu theo hướng không có lợi cho con người, các hiện tượng thời tiết nguy hiểm như dông tố, lốc, mưa đá, lũ quét, lũ ống xảy ra ngày càng tăng gây hậu quả nặng nề cho con người. Yêu cầu nâng cao chất lượng dự báo, cảnh báo là vấn đề cấp thiết của các trung tâm dự báo khí tượng trên toàn thế giới. Bên cạnh các nguồn số liệu truyền thống, số liệu vệ tinh, Rada đã được nhiều nước sử dụng kết hợp khá hiệu quả trong việc theo dõi các hiện tượng thời tiết nguy hiểm nói trên. Ưu điểm của hai loại số liệu này là: có độ phân giải thời gian, không gian cao hơn so với các nguồn số liệu truyền thống khác. Số liệu vệ tinh, vùng phủ rộng, tính ổn định cao cung cấp cho người sử dụng thông tin bao quát về sự phân bố, hình thành, phát triển và di chuyển của trường mây. Số liệu ra đa, có vùng phủ hẹp hơn nhưng có độ phân giải thời gian, không gian chi tiết đối với mỗi vùng mây, hiện tượng cần quan tâm. Như vậy, số liệu vệ tinh có thể cung cấp thông tin mang tính định hướng cho quan trắc ra đa, ngược lại số liệu ra đa cung cấp chi tiết hơn về vùng mây đó. Sự kết hợp vệ tinh và ra đa đã phát huy hiệu quả cao cho công tác dự báo thời tiết. Trong khuôn khổ bài báo này, chúng tôi đưa ra mối liên hệ giữa thông tin ra đa và vệ tinh trong việc quan trắc, phát hiện các hiện tượng thời tiết nguy hiểm xảy ra ngày 19 đến ngày 21 tháng 11 năm 2006 ở miền Bắc Việt Nam.

1. Sản phẩm cơ bản của ra đa thời tiết TRS-2730, ảnh mây vệ tinh địa tĩnh MTSAT-1R

a. Rada thời tiết TRS – 2730

Ra đa thời tiết TRS – 2730 là chủng loại ra đa số hoá được hãng Thomson sản xuất tại nước cộng hoà Pháp. Ra đa hoạt động ở kênh sóng $\lambda = 5,2-5,6$ cm. Chủng loại ra đa này có hai sản phẩm cơ bản:

Sản phẩm PPI là sản phẩm quét tròn. Ở mỗi góc cao và bán kính nhất định ta xác định được một sản phẩm PPI (Hình 1).

Ra đa TRS – 2730 hoạt động ở năm bán kính khác nhau $R = 64, 128, 192, 256$ và 384 km. Trên cùng một bán kính, ta có thể thay đổi giá trị góc cao α khác nhau để tạo ra những

sản phẩm PPI ở các độ cao khác nhau. Trên cùng một sản phẩm PPI, ở các khoảng cách khác nhau, ta đo được giá trị phản hồi vô tuyến (Z) ở các độ cao khác nhau (1).

$$H = R \sin \alpha + \zeta R^2 \quad (1)$$

Trong đó: H - độ cao phản hồi vô tuyến được đo.

- α Góc nâng của ăng ten

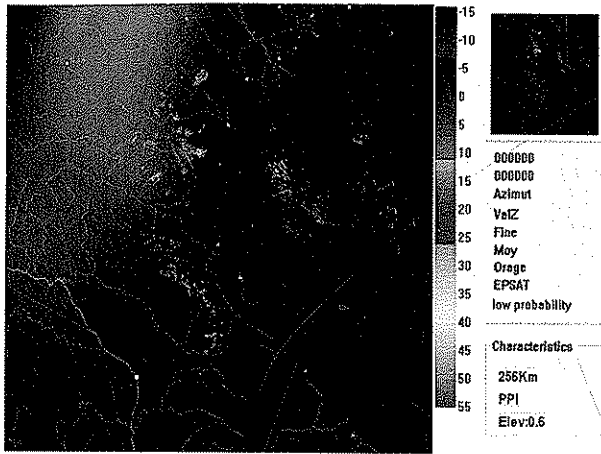
- ζ Độ cong của trái đất ($= 6.10^{-5}$ km)

- R Khoảng cách từ Rada đến mục tiêu

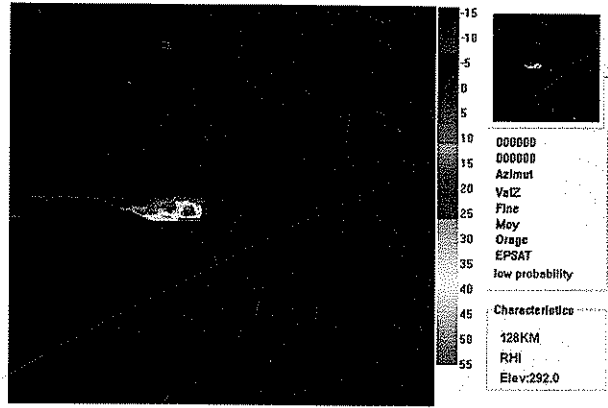
Ngoài sản phẩm PPI, Rada TRS – 2730 còn tạo ra sản phẩm RHI. Sản phẩm RHI là mặt cắt thẳng đứng của mây đo được ở khoảng cách tối đa $R_{Max} = 128$ km. Qua sản phẩm RHI ta

Người phản biện: TS. Nguyễn Thị Tân Thanh

xác định được độ cao đỉnh phản hồi mây, giá trị phản hồi của mây ở các độ cao khác nhau (hình 2), từ đó xác định được cấu trúc thẳng đứng của mây. Như vậy, trong bán kính $R \leq 128\text{km}$ Radar TRS - 2730 cho ta thấy bức tranh tương đối hoàn chỉnh về phân bố mây.

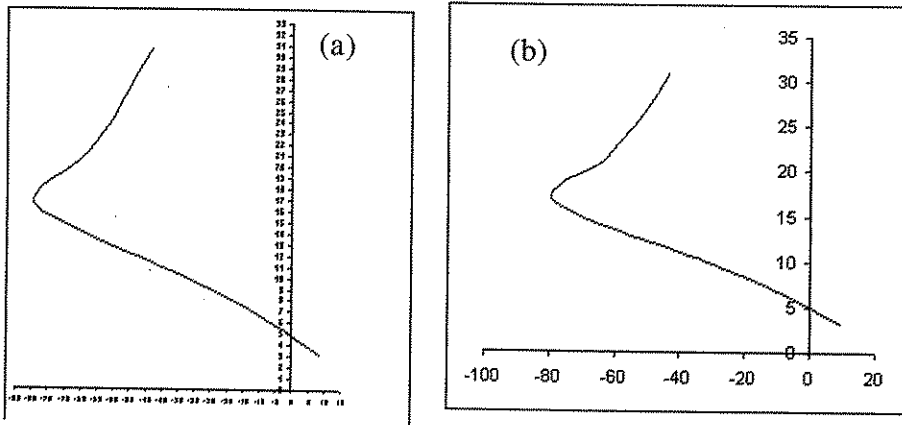


Hình 1. Sản phẩm PPI ở bán kính $R = 256\text{km}$, góc nâng $\alpha = 0,50$ (trạm Vinh 19 giờ 55 phút ngày 9/7/2007)



Hình 2. Sản phẩm RHI cấu trúc thẳng đứng của mây

Tuy nhiên, ở bán kính từ 128 đến 384 km, sản phẩm ra đa TRS-2730 thiếu thông tin cơ bản đó là độ cao đỉnh phản hồi mây $H_{(km)}$. Để bổ sung những khiếm khuyết trên, ta có thể sử dụng các nguồn thông tin khác như vệ tinh (nhiệt độ đỉnh mây $t^{\circ}\text{C}$). Thông qua nhiệt độ đỉnh mây ta xác định được độ cao đỉnh mây (hình 3).



Hình 3. Sự biến đổi của nhiệt độ theo độ cao của trạm thám không Hà Nội (1996 - 2006) a: Ca 7 giờ b: Ca 19 giờ (giờ Hà Nội)

Từ năm 2006, tại Trung tâm Dự báo KTTV TƯ đã lắp đặt trạm thu ảnh vệ tinh địa tĩnh MTSAT-1R. Trạm thu này cung cấp số liệu của 5 kênh phổ: IR1 ($\sim 10,5\mu\text{m}$), IR2 ($\sim 11,5\mu\text{m}$), WV ($6,7\mu\text{m}$), MV ($3,7\mu\text{m}$) và VIS (thị phổ) với độ phân giải thời gian là 30 phút và độ phân giải không gian là 1 km với ảnh ở kênh thị phổ và 5 km với các kênh còn lại. Trong đó kênh hồng ngoại nhiệt (IR1, IR2) cũng cấp thông tin về nhiệt độ đỉnh mây, nhiệt độ càng thấp thì đỉnh mây càng cao. Kênh hơi

nước (WV) cung cấp thông tin về lượng hơi nước trong cột khí quyển từ mực 850 mb trở lên. Kênh thị phổ (VIS) cung cấp thông tin về độ dày của trường mây thông qua hệ số phản xạ albedo, kênh này chỉ có trong thời gian ban ngày. Kênh vi sóng (MV) có cả đặc điểm của kênh thị phổ và kênh hồng ngoại, thường dùng để nhận biết sương mù và mây tầng thấp trong thời gian ban đêm. Ưu điểm nổi trội của số liệu vệ tinh so với số liệu ra đa là vùng phủ rộng đến nửa bán cầu và có tính ổn định cao.

Phân bố của trường mây từ quy mô lớn đến quy mô vừa đều có thể phản ánh khá tốt trên ảnh vệ tinh. Vì vậy, thông tin vệ tinh nếu được sử dụng hợp lý có thể coi như một nguồn thông tin dẫn đường cho ra đa, giúp các trạm ra đa thực hiện chế độ quan trắc được tốt hơn. Đặc biệt với ra đa TRS-2730, trong vùng bán kính $R \geq 128$ km không có sản phẩm RHI, nên không xác định được độ cao đỉnh phản hồi mây. Trong khi đó, từ các kênh hồng ngoại nhiệt (IR) có thể cung cấp thông tin chi tiết về phân bố nhiệt độ của đỉnh mây.

Nói một cách khác, số liệu vệ tinh cung cấp thông tin về sự phân bố của trường mây trên diện rộng và ổn định về mặt không gian và thời gian. Dựa trên số liệu vệ tinh, quá trình hình thành, phát triển và di chuyển của các hệ thống mây được phản ánh khá rõ ràng. Trong khi đó, từ trạm ra đa có thể chủ động quan trắc đối tượng mây và các hiện tượng thời tiết liên quan cần quan tâm trong phạm vi không gian cho phép với độ phân giải thời gian và không gian chi tiết hơn với nhiều tham số vật lý chính xác. Sự kết hợp ưu điểm hai nguồn số liệu này đóng vai trò rất quan trọng trong công tác dự báo.

2. Sử dụng thông tin ra đa, vệ tinh để phát hiện các ổ mây đối lưu gây tố, lốc, mưa đá xảy ra ngày 19 – 21/11/2006 ở khu vực phía Bắc của Việt Nam.

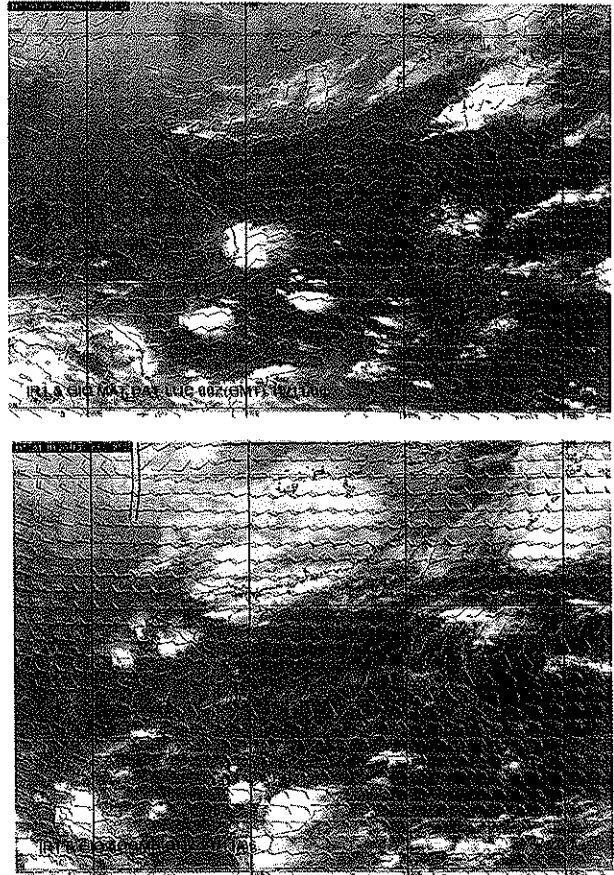
a. Diễn biến đợt dông, tố, lốc và mưa đá

Ngày 19/11 mưa, mưa đá và dông xảy ra trên các tỉnh vùng núi phía bắc (bao gồm cả phía bắc của khu Tây Bắc) và phía đông Bắc Bộ: mưa đá và gió lốc ở Bắc Cạn, Cao Bằng, Lai Châu, Bắc Giang. Sang ngày 20, hiện tượng thời tiết nói trên xảy ra ở hầu hết các tỉnh thuộc Bắc Bộ: Tuyên Quang, Phú Thọ, Bắc Ninh, Hà Nội, Hà Tây... Ngày 21, thời tiết xấu chỉ chủ yếu tập trung ở khu Đông Bắc: lốc và mưa đá ở Quảng Ninh, Hải Phòng...

b. Hình thế thời tiết

Trên bản đồ phân tích trong thời gian từ ngày 18 đến ngày 21 tháng 11 năm 2006, miền bắc nước ta chủ yếu chịu ảnh hưởng của hai

hình thế thời tiết: sự xâm nhập của không khí lạnh ở tầng thấp, trên cao là nằm trong vùng bất ổn định trước rãnh gió tây trên cao di chuyển chậm. Hình thế này cũng phù hợp với các nghiên cứu trước đây cho rằng hầu hết các hiện tượng thời tiết nguy hiểm như tố, lốc, mưa đá xảy ra ở khu vực miền Bắc Việt Nam đều chịu ảnh hưởng của hệ thống thời tiết di chuyển từ phía Tây hoặc Tây Bắc [1].



Hình 4. Ảnh IRI và gió mặt đất lúc 7h ngày 19/11 (trên), ảnh IRI và gió mực 500mb lúc 7h ngày 21/11 (dưới)

Hình 4 (trái) cho thấy sự xâm nhập của không khí lạnh tầng thấp đã xuống đến khu đông bắc vào lúc 7h ngày 19. Theo dõi diễn biến mây trong ngày 19 trên ảnh vệ tinh thấy, các ổ mây đối lưu chủ yếu hình thành ở vùng có sự ảnh hưởng bởi sự xâm nhập của không khí lạnh. Trên hình 4 (phải) trường phân tích gió mực 500mb cho thấy tồn tại một rãnh gió tây trên cao. Cũng trên mực 500mb ta thấy dòng chảy xiết gió tây đã mở rộng xuống phía

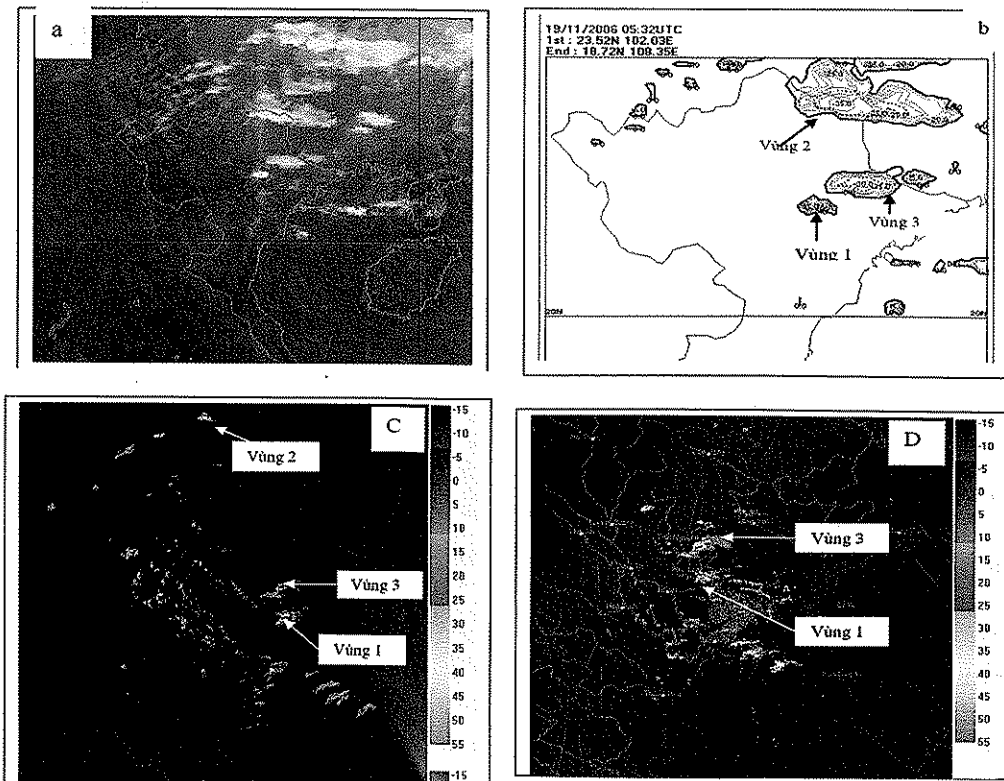
Nam, tốc độ gió khá mạnh duy trì ở mức 20-25m/s. Toàn bộ vùng mây đối lưu phát triển tập trung phía trước rãnh, nơi có độ bất ổn định cao. Rãnh gió tây này di chuyển khá chậm nên duy trì trạng thái bất ổn định ở miền bắc trong mấy ngày liên tục. Điều này cũng phù hợp với vùng đối lưu phát triển có xu hướng dịch dần về phía tây. Ngày 20 đối lưu phát triển trên hầu hết các tỉnh phía bắc, nhưng sang ngày 21 và chiều tối 21 các ổ đối lưu mạnh chủ yếu tập trung ở khu Đông Bắc.

a. Kết hợp phân tích giữa số liệu vệ tinh và số liệu Rada

Do hiện tượng dông, lốc và mưa đá xảy ra cả thời gian ban ngày và đêm nên không thể sử dụng ảnh VIS (loại ảnh chỉ có trong thời gian ban ngày) mà sử dụng ảnh IR1 để theo dõi liên tục. Các quan trắc vệ tinh và ra đa trong cùng một thời điểm được đưa ra cùng phân tích các ổ mây đối lưu trong thời gian xảy ra hiện tượng mưa đá, dông, tố lốc...

Vào 12h32 phút ngày 19/11/2006 (hình 5), trên ảnh vệ tinh phát hiện thấy, trên lãnh thổ miền Bắc Việt Nam có ba vùng mây đối lưu có nhiệt độ đỉnh mây khá thấp. Trên phân tích

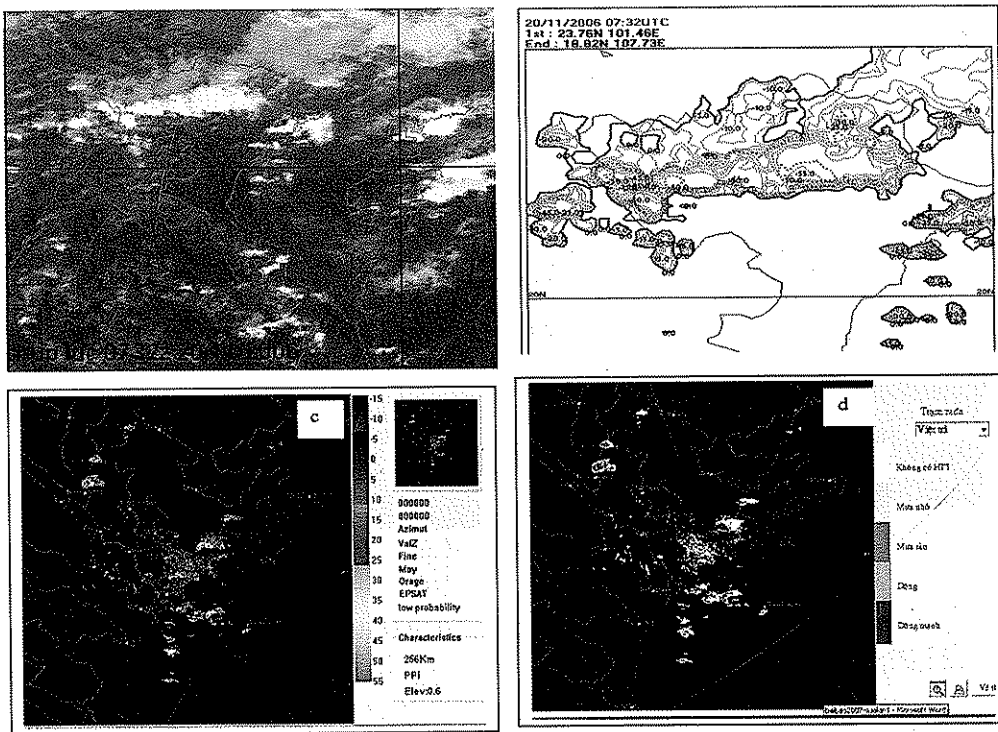
hiệt độ đỉnh mây thấy vùng 1 và vùng 2 có nhiệt độ đỉnh mây thấp nhất xuống đến dưới -35°C (hình 5a, b). Tương ứng với hai vùng này trên quan trắc ra đa có độ phản hồi 45 dBZ và 35 dBZ (hình 5c, d). Theo chỉ tiêu nhận biết mây và các hiện tượng thời tiết liên quan thì hai vùng mây trên đều cho hiện tượng mưa rào và dông, đặc biệt thoả mãn tiêu chí cho mưa đá [2]. Điều này cũng phù hợp với báo cáo thực tế về tình hình xảy ra mưa, mưa đá và dông mạnh các khu vực này. Riêng vùng 3, gần biên giới tỉnh Lạng Sơn, trên số liệu vệ tinh cũng có nhiệt độ đỉnh mây khá thấp (khoảng -30°C) thì không quan sát rõ ràng trên ảnh ra đa. Phân tích kỹ trên ảnh IR1 (hình 5a) thì thấy rìa của vùng mây 3 không còn sắc nét như vùng 1. Như vậy tại thời điểm quan trắc, vùng 1 là vùng đối lưu đang trong quá trình phát triển, vùng 3 là vùng đối lưu đã bắt đầu quá trình tan rã. Vòm mây Ci tỏa ra trên đỉnh vùng mây đối lưu có giá trị nhiệt độ đỉnh mây rất thấp ở khu vực này. Điều này có thể lý giải tại sao giá trị độ phản hồi trên ảnh ra đa không lớn. Đây cũng là một sự hỗ trợ hữu ích của số liệu ra đa trong quá trình phân tích ảnh vệ tinh.



Hình 5: Quan trắc từ vệ tinh và Rada lúc 12 giờ 32 phút ngày 19/11/2006 C: Ảnh phản hồi vô tuyến ra đa của trạm Việt Trì d: Ảnh phản hồi vô tuyến ra đa của trạm Phù Liên

Tại thời điểm 14h32 ngày 20/11/2006, trước 4 giờ Hà Nội xảy ra mưa đá, trên ảnh mây vệ tinh phát hiện được dải mây đối lưu có trục hơi chếch hướng đông bắc – tây nam (hình 6a) có nhiệt độ đỉnh mây từ -500C đến -550C (Hình 6b). Trên ảnh ra đa, trạm Việt Trì quan trắc được hai vùng mây đối lưu khác nhau. Vùng một nằm ở phía Bắc Tây Bắc của trạm, cách trạm $R = 141$ đến 226 km. Vùng này gồm ba đám mây đối lưu có phản hồi $Z_{Maxd1} = 30$ dBZ, $Z_{Maxd2} = 47$ dBZ, $Z_{Maxd3} = 45$ dBZ. Áp dụng chỉ tiêu của trạm Việt Trì thì cả ba đám mây đối lưu trên đều cho dông mạnh (Hình 6d). Mặc dù trên ảnh vệ tinh quan sát thấy là một dải mây khá dài nhưng không phải

mưa đá xảy ra trên toàn bộ khu vực dải mây đi qua mà hiện tượng mưa đá và dông mạnh chỉ quan trắc thấy ở những ổ đối lưu phát triển mạnh trên dải và tương ứng với vùng có độ phản hồi lớn trên ảnh ra đa. Vùng mây thứ hai nằm ở phía SE thuộc khu vực ven biển Hải Phòng, Thái Bình. Vùng này gồm các đám mây đối lưu mạnh. Trên ảnh mây vệ tinh các đám mây này có nhiệt độ đỉnh mây -50°C , -30°C , và -25°C (Hình 6b). Các vùng mây này cũng gây mưa dông với lượng khá lớn trong vòng vài giờ như Bãi cháy (Quảng Ninh) 50mm, Quyết Chiến (Thái Bình) 67mm. (hình 6d)

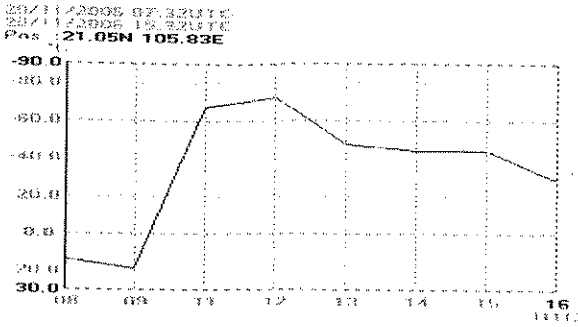


Hình 6. ảnh mây vệ tinh và nhiệt độ đỉnh mây (a,b), ảnh Rada (c), bản đồ thời tiết Rada (d) obs 14 giờ 32 phút ngày 20/11/2006

Chiều tối ngày 20 trên số liệu vệ tinh quan sát được vùng mây đối lưu phát triển mạnh mẽ nhất trong khu vực, nhiệt độ đỉnh mây xuống tới -70°C trong một thời gian rất ngắn (Hình 7). Quá trình mây phát triển rất nhanh và đạt cực đại vào 18-19h (11-12h GMT). Trên ảnh ra đa (Trạm Phù Liễn) quan trắc lúc 17h30 ta phát hiện được vùng mây đối lưu cách Hà Nội 15 km có dạng “HOOK” với phản hồi mạnh $Z_{Max} > 56$ dBZ (hình 8a,b). Tiếp tục theo dõi vùng mây trên, đến 18 giờ 32 phút (sau thời điểm

mưa đá xảy ra tại Hà Nội 02 phút). Tương ứng với các dấu hiệu phát triển mạnh đặc biệt trên số liệu vệ tinh và ra đa, hiện tượng mưa đá cũng xuất hiện ở Hà Nội trùng với thời điểm phân tích. Trong ngày 20 vùng mây ở khu vực Hà Nội phát triển có nhiệt độ đỉnh mây thấp nhất, độ phản hồi lớn nhất nên cũng gây ra mưa với lượng lớn hơn hẳn các khu vực khác: mưa đá và dông mạnh xảy ra với đường kính hạt đá 2-5cm, lượng mưa đo được lên tới 119mm..

Nghiên cứu & Trao đổi

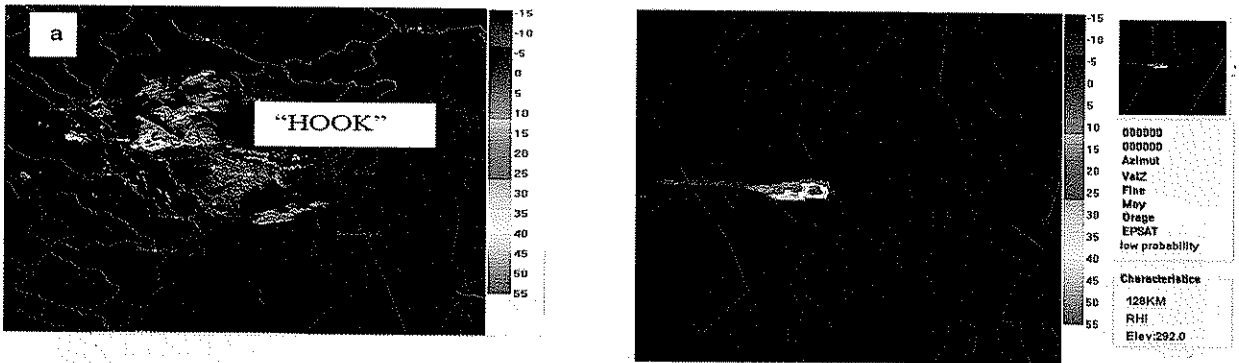


Hình 7. Diễn biến nhiệt độ đỉnh mây tại Hà Nội từ 14h32 tới 22h32 ngày 20/11/2006

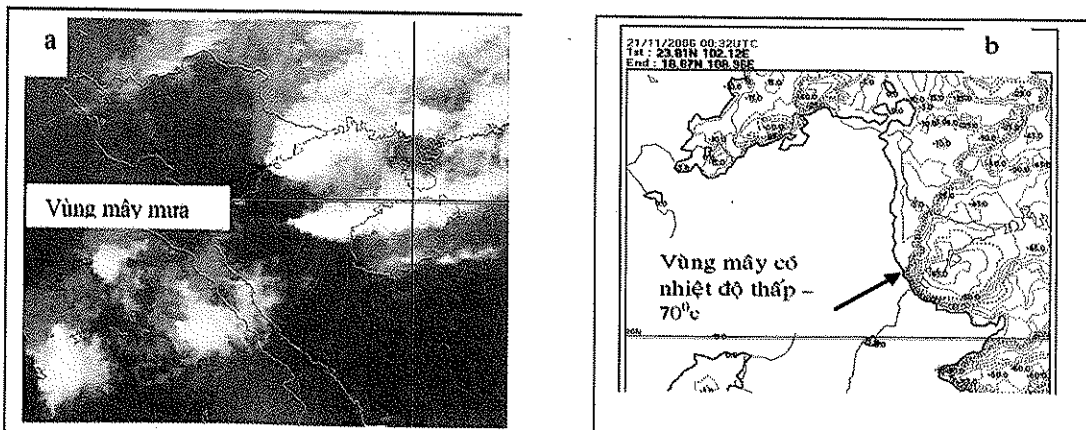
Hồi 7h10 đến 7h 40 ngày 21/11/2006 tố, lốc, mưa đá xảy ra tại Hòn Gai, Quảng Ninh gây thiệt hại lớn về người và tài sản (hình 9).

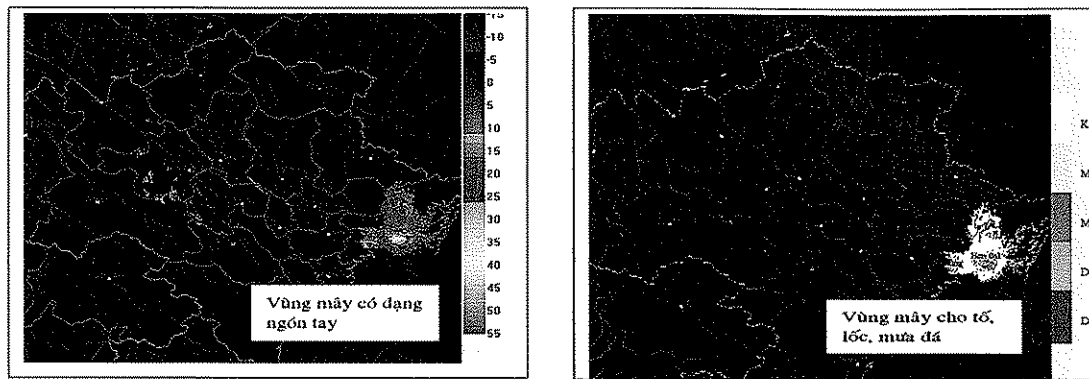
Trên ảnh mây vệ tinh obs 7h32 ngày 21/11/2006, toàn bộ vùng biên giới phía bắc và đông bắc của Việt Nam bị bao phủ vùng mây

tích. Đặc biệt là vùng ven biển đông bắc được bao phủ bởi vùng mây tích phát triển. Vùng mây có độ đậm đặc, sắc nét (rìa phía nam) (hình 9a). Nhiệt độ của cửa đỉnh mây đạt đến -70°C (hình 9b), điều đó chứng tỏ độ cao đỉnh mây đã đạt đến $H = 19\text{ km}$ (hình 4b). Trên ảnh Rada (hình 9c) cho thấy, vùng mây tích có dạng “ngón tay” (trên sản phẩm PPI). Đây là một trong các dấu hiệu của mây cho hiện tượng thời tiết nguy hiểm [2]. Vùng mây này có $Z_{\text{Max}} \geq 45\text{ dBZ}$. Vậy vùng mây này hội tụ đầy đủ tiêu chí của mây cho tố, lốc, mưa đá. Thực tế, tại thời điểm 7h20 tố, lốc, mưa đá đã xảy ra tại thành phố Hạ Long (Quảng Ninh) (hình 9d) với đường kính hạt mưa đá phổ biến là 2-3cm, hạt lớn nhất lên tới 5cm; gió lốc, xoáy mạnh lên tới 28m/s (tương đương cấp 10) giật 35m/s gây thiệt hại khá lớn về người và tài sản.



Hình 8. Dấu hiệu mây cho mưa đá trên sản phẩm PPI (a) và RHI(b) (số liệu trạm Phù Liễn 17giờ 30 phút ngày 20/11/2006)





Hình 9. Mây dạng ngón tay cho tố, lốc, mưa đá tại Hòn Gai Quảng Ninh hồi 7h10 phút ngày 21/11/2006. a: ảnh mây vệ tinh, b: nhiệt độ đỉnh mây, c: ảnh ra đa của trạm Việt Trì d: Bản đồ thời tiết Rada ($Z_{Max} = 45 \text{ dBZ}$ tại điểm có kinh độ = $106^{\circ}59'$, vĩ độ = $20^{\circ}53'$)

3. Kết luận và kiến nghị

Từ những kết quả nghiên cứu trên, các tác giả xin rút ra một số kết luận và kiến nghị như sau:

a. Kết luận

- Phối hợp hai nguồn thông tin từ vệ tinh và Rada sẽ giúp nhìn đầy đủ và khách quan hơn về sự phát triển của mây. Sự phối hợp này là cần thiết trong công tác dự báo thời tiết, đặc biệt là dự báo hạn cực ngắn và dự báo các hệ thống quy mô vừa.

- Đối với số liệu quan trắc từ các trạm ra đa TRS – 2730, ngoài ảnh mây vệ tinh IR1 cần có sản phẩm nhiệt độ đỉnh mây ($t_{dmây}$) để xác định độ cao đỉnh của các đám mây đối lưu ở ngoài bán kính $R = 128 \text{ km}$

- Trong trường hợp phân tích đợt dông, tố lốc, mưa đá xảy ra từ ngày 19 đến 21 tháng 11 năm 2006, tác giả rút ra nhận xét sau: Với

những ổ mây đối lưu có nhiệt độ đỉnh mây $< -35^{\circ}\text{C}$ và độ phản hồi lớn hơn 30dBZ thì có khả năng gây ra mưa rào và dông là rất lớn. Với những ổ đối lưu sâu có nhiệt độ đỉnh mây $< -70^{\circ}\text{C}$ và độ phản hồi lớn hơn 45dBZ và vùng phản hồi có hình dạng đặc biệt (Trên sản phẩm PPI mây có dạng: ngón tay, dạng HOOK, dấu hỏi) thì tiềm ẩn nguy cơ gây ra các hiện tượng thời tiết nguy hiểm như mưa đá, dông lốc và gió mạnh là rất cao.

b. Kiến nghị

Những nghiên cứu của các tác giả mới chỉ thực hiện cho một số ít trường hợp. Các kết luận thu được cũng chỉ là kết quả bước đầu. Để có sự phối hợp hai nguồn số liệu này được tốt hơn trong công tác dự báo, chúng ta cần có sự đầu tư nghiên cứu nhiều hơn, đặc biệt là đối với các hiện tượng thời tiết nguy hiểm như mưa đá, mưa lớn, dông, tố lốc.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Viết Thắng, Đinh Đức Tú: Sử dụng thông tin ra đa thời tiết TRS – 2730 để quan trắc, phát hiện, theo dõi, cảnh báo dông, tố, lốc và mưa đá ở Việt Nam, Tạp chí Khí tượng Thủy văn tháng 1/2005
2. Nguyễn Viết Thắng: Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu cơ bản “Nghiên cứu xây dựng chỉ tiêu nhận biết mây và các hiện tượng thời tiết liên quan (mưa nhỏ, mưa rào, dông) của Rada thời tiết TRS – 2730. tháng 3/2007

3. Nguyễn Viết Thắng: Đánh giá khả năng phát hiện mây và các hiện tượng thời tiết liên quan của trạm ra đa thời tiết Việt Trì. Tạp chí Khí tượng Thủy văn tháng 2/2006
4. Nguyễn Viết Thắng: Phương pháp xây dựng chỉ tiêu nhận biết mây và các hiện tượng thời tiết liên quan của ra đa thời tiết TRS – 2730. Tạp chí Khí tượng Thủy văn tháng 9/2006
5. Nguyễn Viết Thắng: Sử dụng ra đa thời tiết TRS – 2730 để quan trắc, phát hiện, theo dõi, cảnh báo dông, tố, lốc và mưa đá ở Việt Nam. Tạp chí Khí tượng Thủy văn tháng 1/2005
6. TS. Đinh Văn Loan: Nghiên cứu thiên tai tố, lốc ở Việt Nam (7/1999).
7. Hướng dẫn vận hành sử dụng thông tin ra đa MRL1,2 . Nhà xuất bản Lê-Nin – gờ – rát, 1971), bản tiếng Nga.
8. Hướng dẫn vận hành sử dụng thông tin ra đa MRL1,2,3,5 . Nhà xuất bản Lê-Nin – gờ – rát, 1992), bản tiếng Nga.
9. Quy phạm quan trắc khí tượng bề mặt. Tổng cục Khí tượng Thủy văn 10-1990.
10. KS. Trần Duy Sơn: Khai thác thử nghiệm trạm ra đa MRL5 Phù Liễn – Hải Phòng, Đài Cao không T.W 1991.
11. TS. Trần Duy Bình: Nghiên cứu bão và các hiện tượng thời tiết nguy hiểm bằng phương pháp Rađa (Hà Nội – 1993).
12. TS. Trần Duy Sơn: Quy phạm quan trắc ra đa thời tiết, Đài Khí tượng Cao không 1996.
13. Phil Alford: Thunderstorms and severe thunderstorms—a forecasting perspective, xuất bản tháng 7/1995.