

BÃO TỪ VÀ BÃO ĐIỆN LY NGÀY 6-7/4/2000 VÀ NGÀY 31/3/2001 QUAN SÁT ĐƯỢC TẠI PHÚ THỤY

LÊ HUY MINH, TRẦN THỊ LAN, PHẠM THỊ THU HỒNG

I. MỞ ĐẦU

Các vụ bùng nổ sắc cầu lớn trên Mặt Trời phát ra các luồng plasma mạnh tác dụng lên từ quyển Trái Đất tạo nên bão từ quan sát được rất rõ rệt trên các băng ghi biến thiên trường địa từ. Các bão từ luôn kèm theo hiện tượng bão điện ly. Mối quan hệ giữa bão từ và các hiện tượng nhiễu loạn trong tầng điện ly là cực kỳ phức tạp và có hiệu ứng khác nhau ở những vùng khác nhau trên thế giới [5]. Hà Nội nằm ở khu vực đỉnh dị thường lớp F điện ly xích đạo được hình thành do cơ chế vòi phun [16], tầng điện ly ở đỉnh vùng này có những đặc điểm khác biệt [12] và quá trình vật lý điện ly xảy ra trong bão từ ở vùng này cũng rất phức tạp, từ trước tới nay chưa được các nhà nghiên cứu địa từ Việt Nam nghiên cứu một cách có hệ thống. Bước đầu tìm hiểu mối liên hệ phức tạp trên, trong bài báo này chúng tôi nghiên cứu sự thay đổi của tầng điện ly trong hai trận bão từ mạnh vào ngày 6-7/4/2000 và ngày 31-3-2001 trên cơ sở các số liệu địa từ và điện ly ghi được tại đài điện ly Phú Thụy, qua đó hiểu được phần nào cơ chế ảnh hưởng của bão từ lên cấu trúc của tầng điện ly ở khu vực Hà Nội.

II. TÀI LIỆU QUAN SÁT

Chúng ta biết biến thiên trường từ ghi được trong thời gian bão từ rất phức tạp, là tổng của nhiều nguồn khác nhau và có thể được viết dưới dạng [6]:

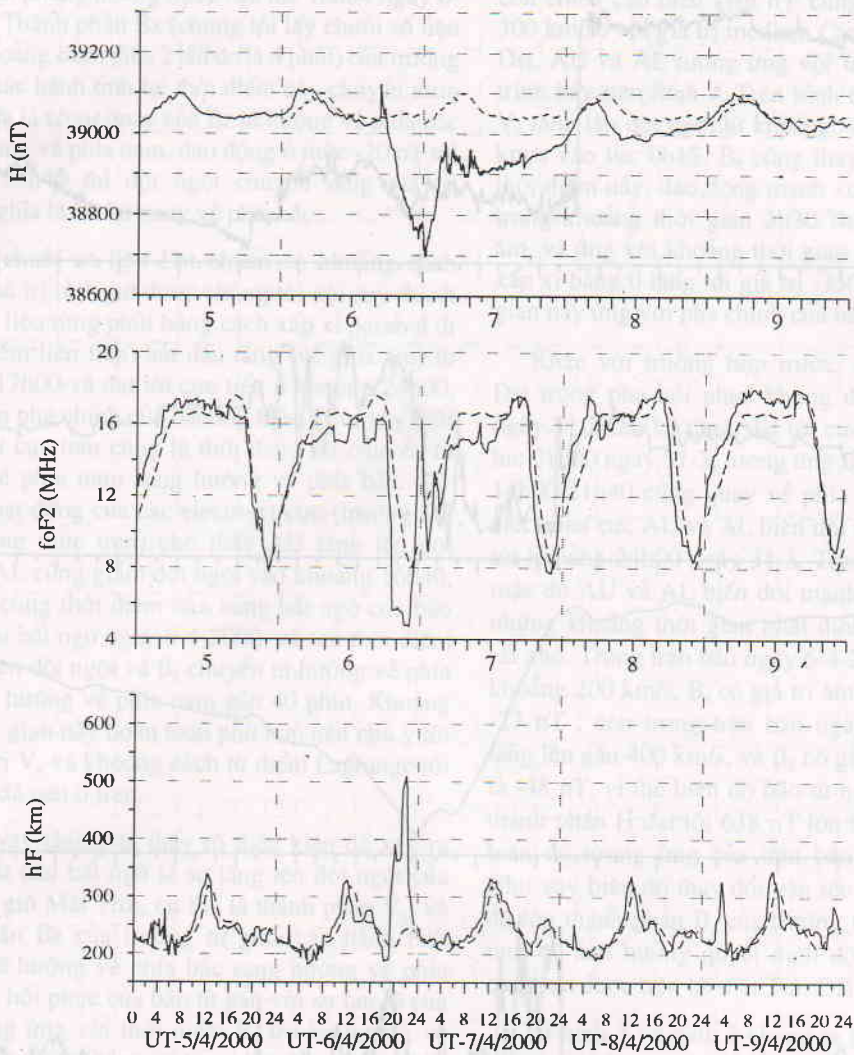
$$\Delta H = S_R + DCF + DT + DR + DP$$

Trong đó S_R là biến thiên ngày đêm đều đặn có nguồn gốc trong tầng điện ly, DCF là trường từ tạo bởi các dòng điện ở ranh giới từ quyển do tương tác của trường từ của Trái Đất với gió Mặt Trời tạo thành (dòng Chapman-Ferraro), DT là trường từ

tạo bởi dòng điện chạy trong vùng đuôi từ quyển từ phía Mặt Trời mọc sang phía Mặt Trời lặn, DR là trường từ nhiễu loạn gây bởi vòng dòng chạy trong mặt phẳng xích đạo của từ quyển và DP là trường từ nhiễu loạn chủ yếu gây bởi các dòng điện mạnh chạy trong tầng điện ly ở vùng cực (electrojet cực). Trường biến thiên từ ghi được ở mặt đất có thể cho phép nhận ra độ lớn tương đối của các thành phần khác nhau đã được miêu tả ở trên trong một trận bão từ.

Trạm địa từ hành tinh Phú Thụy ghi biến thiên liên tục của các thành phần trường địa từ dưới dạng số với khoảng thời gian giữa 2 lần thu số liệu là 1 phút. Tại đài có hệ thống thăm dò tầng điện ly IPS71, đây là một hệ thống máy thăm dò hiện đại có thể dùng cả chế độ thăm dò thẳng đứng và thăm dò nghiêng. Điện ly đồ thu được dưới dạng các tệp số và được hiển thị bằng phần mềm và có thể lấy các thông số của tầng điện ly một cách dễ dàng. Chế độ thăm dò thẳng đứng được sử dụng theo tiêu chuẩn quốc tế là 15 phút một lần thăm dò, còn thăm dò nghiêng được thực hiện 30 phút một lần.

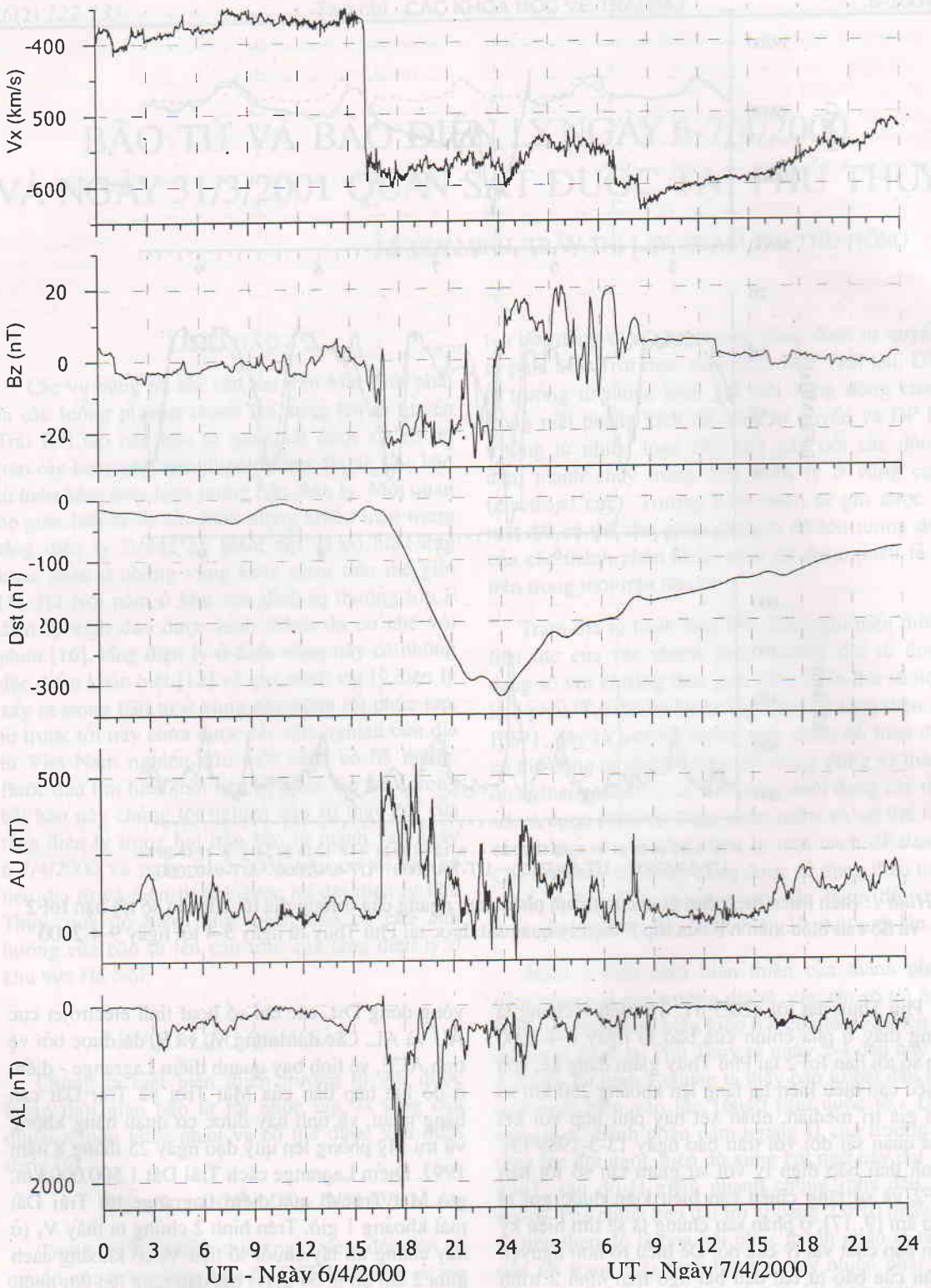
Hình 1 biểu diễn biến thiên của thành phần nằm ngang H của trường địa từ, các tần số tới hạn foF2 và chiều cao biểu kiến h'F của lớp F2 điện ly quan sát được tại Phú Thụy từ ngày 5-4 đến ngày 9-4-2000. Từ hình 1 chúng ta thấy bão từ bắt đầu bắt ngờ xuất hiện vào lúc 16h40 (giờ quốc tế - UT) ngày 6-4, thành phần nằm ngang H của trường từ tăng lên đột ngột, biên độ xung bất ngờ này đạt tới 85nT, sau đó H giảm nhanh chóng (pha đầu rất ngắn). Pha chính kéo dài tới khoảng 23h10 ngày 6-4, tiếp theo đó là pha hồi phục thành phần H tăng dần tới trạng thái bình thường, tuy nhiên phải tới đầu ngày 9-4 thì mức trường mới đạt được mức của ngày 6-4. Biên độ của bão ở thành phần nằm ngang H của trận bão từ ngày 6-7/4/2000 quan sát được



Hình 1. Biến thiên theo thời gian của thành phần nằm ngang của trường địa từ, của tần số tới hạn foF2 và độ cao biểu kiến h'F của lớp F điện ly quan sát được tại Phú Thủy từ ngày 5-4 tới ngày 9-4-2000

tại Phú Thủy đạt tới 426,5 nT. Từ hình 1 chúng ta cũng thấy ở pha chính của bão từ ngày 6-4-2000 tần số tới hạn foF2 tại Phú Thủy giảm đáng kể, còn chiều cao biểu kiến lại tăng lên khoảng 250 km so với giá trị median, nhận xét này phù hợp với kết quả quan sát đối với trận bão ngày 13-3-1989 [3]. Hình thái bão điện ly với sự giảm tần số tới hạn foF2 và sự tăng chiều cao biểu kiến được gọi là bão âm [9, 17], ở phần sau chúng ta sẽ tìm hiểu kỹ hơn bản chất vật lý của nó. Để hiểu rõ hơn nguyên nhân của bão từ bắt đầu bất ngờ trên hình 2 trình bày các thông số vật lý liên quan đó là thành phần X của vận tốc proton gió Mặt Trời V_x , thành phần Z của trường từ giữa các hành tinh B_z , biến thiên của

vòng dòng Dst, các chỉ số hoạt tính electrojet cực AU và AL. Các đại lượng V_x và B_z đo được bởi vệ tinh ACE, vệ tinh bay quanh điểm Lagrange - điểm ở đó lực hấp dẫn của Mặt Trời và Trái Đất cân bằng nhau, vệ tinh này được cơ quan hàng không vũ trụ Mỹ phóng lên quỹ đạo ngày 25 tháng 8 năm 1997. Điểm Lagrange cách Trái Đất 1.500.000 km, gió Mặt Trời đi qua điểm Lagrange tới Trái Đất mất khoảng 1 giờ. Trên hình 2 chúng ta thấy V_x (ở đây chúng tôi lấy chuỗi số liệu V_x có khoảng cách giữa 2 lần đo là 64 giây) bắt đầu tăng lên đột ngột, từ cỡ 380 km/s lên 580 km/s (dấu âm của V_x là do chúng ta dùng hệ tọa độ địa tâm với trục X hướng từ Trái Đất tới Mặt Trời, trục Z hướng về phía bắc



Hình 2. Thành phần X của vận tốc ion gió Mặt Trời (V_x), thành phần Z của trường từ giữa các hành tinh (B_z), chỉ số vòng dòng xích đạo Dst, các chỉ số electrojet cực AU và AL ngày 6-7/4/2000.

trong mặt phẳng hoàng đạo) vào lúc 16h04 ngày 6-4-2000. Thành phần Bz (chúng tôi lấy chuỗi số liệu Bz có khoảng cách giữa 2 lần đo là 4 phút) của trường từ giữa các hành tinh tại thời điểm này chuyển sang âm, nghĩa là có sự quay của Bz từ hướng về phía bắc sang hướng về phía nam, dao động ở mức -20 nT tới khoảng 23h40 thì đột ngột chuyển sang giá trị dương nghĩa là Bz lại quay về phía bắc.

Dst (chuỗi số liệu Dst chuẩn có khoảng cách giữa 2 giá trị là 1 giờ được chúng tôi nội suy thành chuỗi số liệu từng phút bằng cách xấp xỉ parabol đi qua 3 điểm liên tiếp) bắt đầu tăng (về phía âm) từ khoảng 17h00 và đạt tới cực tiểu ở khoảng 24h00, thời điểm pha chính của bão kết thúc. Như vậy thời điểm Dst cực tiểu cũng là thời điểm Bz chuyển từ hướng về phía nam sang hướng về phía bắc. Các chỉ số hoạt động của các electrojet cực (trường DP trong công thức trên) cho thấy AU tăng lên đột ngột và AL cũng giảm đột ngột vào khoảng 16h40, nghĩa là cùng thời điểm của xung bất ngờ của bão từ bất đầu bất ngờ ngày 6-4-2000, và sau thời điểm V_x tăng lên đột ngột và B_z chuyển từ hướng về phía bắc sang hướng về phía nam gần 40 phút. Khoảng cách thời gian này hoàn toàn phù hợp nếu chú ý tới các giá trị V_x và khoảng cách từ điểm Lagrange tới Trái Đất đã nêu ở trên.

Như vậy chúng ta thấy rõ điều kiện để xảy ra bão từ bất đầu bất ngờ là sự tăng lên đột ngột của dòng hạt gió Mặt Trời, cụ thể là thành phần V_x , và thành phần Bz của trường từ giữa các hành tinh chuyển từ hướng về phía bắc sang hướng về phía nam. Pha hồi phục của bão từ gắn với sự tan rã của vòng dòng ứng với thời điểm B_z trở lại hướng về phía bắc, biểu thị bằng sự tăng dần của Dst từ mức cực tiểu trở về mức bình thường. Sự gia tăng của electrojet cực trong thời gian bão gắn với sự xuất hiện của các nhiễu loạn trong tầng điện ly vùng cực, nhiễu loạn này sẽ được truyền về phía xích đạo do những nguyên nhân khác nhau rất phức tạp [5-7, 13-15, 19].

Hình 3 tương tự như hình 1 nhưng đối với khoảng thời gian từ 30-3-2001 đến 3-4-2001. Trận bão từ bất đầu bất ngờ ngày 31-3-2001 bắt đầu vào lúc 0h53 UT, biên độ xung bất ngờ đạt tới 167,3 nT. Khác với trận bão ngày 6-7/4/2000, pha đầu của trận bão ngày 31-3-2001 kéo dài từ 0h53 tới khoảng 4h45, tiếp theo pha chính kéo dài tới khoảng 8h00, sau đó là pha hồi phục kéo dài tới khoảng 0h00 ngày 3-4-2001. Cũng như ở trận bão ngày 6-4-2000, trong thời gian bão từ ngày 31-3-2001 tần số tới hạn foF2 cũng giảm đáng kể so với giá trị median,

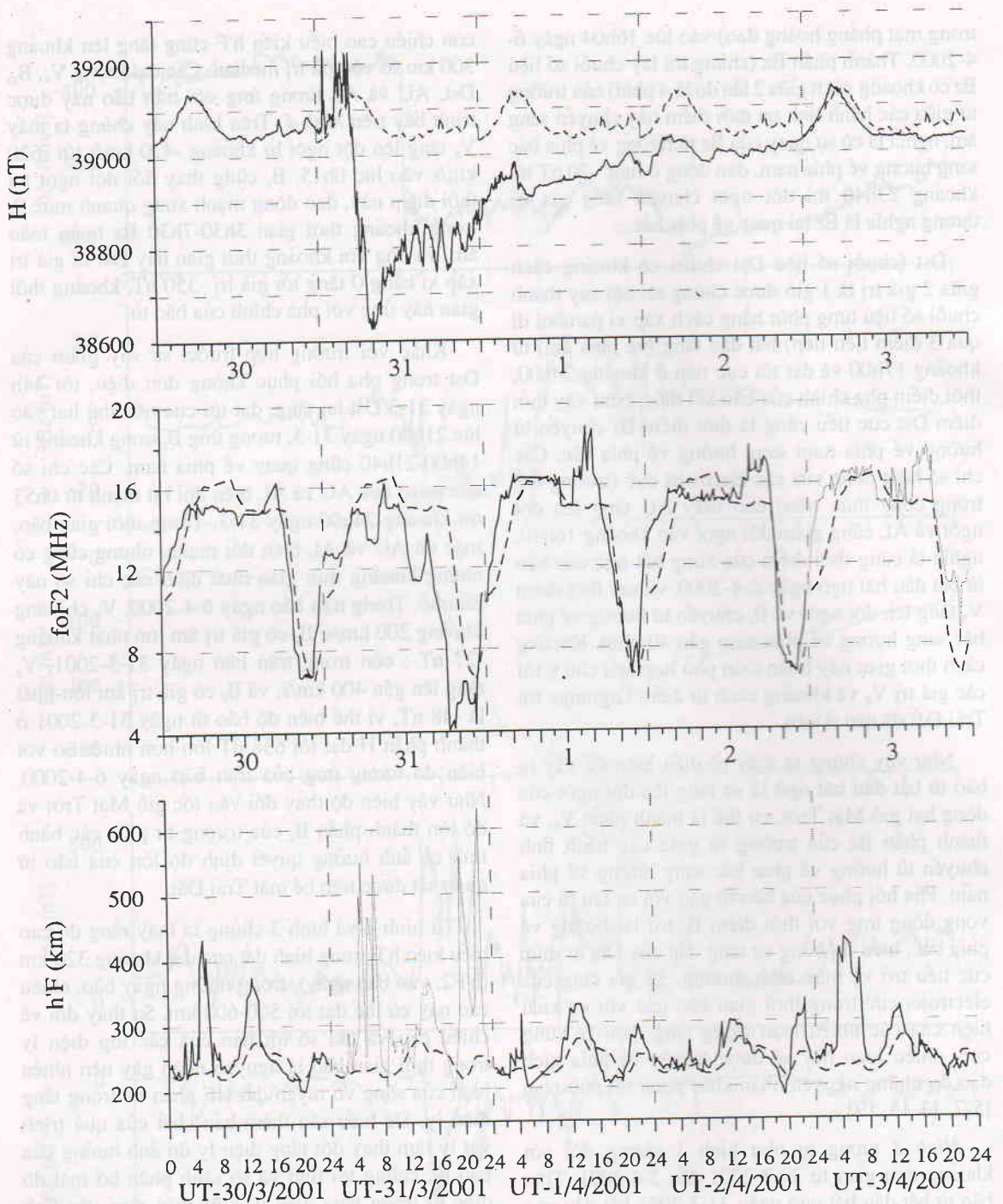
còn chiều cao biểu kiến h'F cũng tăng lên khoảng 300 km so với giá trị median. Các đại lượng V_x , B_z , Dst, AU và AL tương ứng với trận bão này được trình bày trên hình 4. Trên hình này chúng ta thấy V_x tăng lên đột ngột từ khoảng -420 km/s tới -620 km/s vào lúc 0h15. B_z cũng thay đổi đột ngột tại thời điểm này, dao động mạnh xung quanh mức 0, trong khoảng thời gian 3h30-7h30 Bz hoàn toàn âm, và ứng với khoảng thời gian này Dst từ giá trị xấp xỉ bằng 0 tăng tới giá trị -350 nT, khoảng thời gian này ứng với pha chính của bão từ.

Khác với trường hợp trước, sự suy giảm của Dst trong pha hồi phục không đơn điệu, tới 14h ngày 31-3 Dst lại tăng, đạt tới cực tiểu thứ hai vào lúc 21h00 ngày 31-3, tương ứng B_z trong khoảng từ 14h00-21h40 cũng quay về phía nam. Các chỉ số electrojet cực AU và AL biến đổi rất mạnh từ 0h53 tới khoảng 24h00 ngày 31-3. Trong thời gian bão, mặc dù AU và AL biến đổi mạnh, nhưng cũng có những khoảng thời gian nhất định các chỉ số này rất nhỏ. Trong trận bão ngày 6-4-2000, V_x chỉ tăng khoảng 200 km/s, B_z có giá trị âm lớn nhất khoảng -27 nT; còn trong trận bão ngày 31-3-2001, V_x tăng lên gần 400 km/s, và B_z có giá trị âm lớn nhất là -48 nT, vì thế biên độ bão từ ngày 31-3-2001 ở thành phần H đạt tới 638 nT lớn hơn nhiều so với biên độ tương ứng của trận bão ngày 6-4-2000. Như vậy biên độ thay đổi vận tốc gió Mặt Trời và độ lớn thành phần B_z của trường từ giữa các hành tinh có ảnh hưởng quyết định độ lớn của bão từ quan sát được trên bề mặt Trái Đất.

Từ hình 1 và hình 3 chúng ta thấy rằng độ cao biểu kiến h'F trung bình đạt cực đại khoảng 320 km (h'F2, vào ban ngày), trong những ngày bão, chiều cao này có thể đạt tới 500-600 km. Sự thay đổi về chiều cao và tần số tới hạn của các lớp điện ly trong thời gian bão là nguyên nhân gây nên nhiễu loạn của sóng vô tuyến dải HF phản xạ trong tầng điện ly. Để hiểu sâu thêm bản chất của quá trình vật lý làm thay đổi tầng điện ly do ảnh hưởng của bão từ, chúng tôi tính và so sánh phân bố mật độ điện tử trong tầng điện ly giữa thời gian yên tĩnh và thời gian bão.

III. TÍNH TOÁN TUYẾN MẬT ĐỘ ĐIỆN TỬ THEO CHIỀU CAO

Tính toán phân bố mật độ theo chiều cao là một bài toán khá phức tạp, cho tới nay còn chưa được làm quen với đọc giả nước ta. Dưới đây chúng tôi

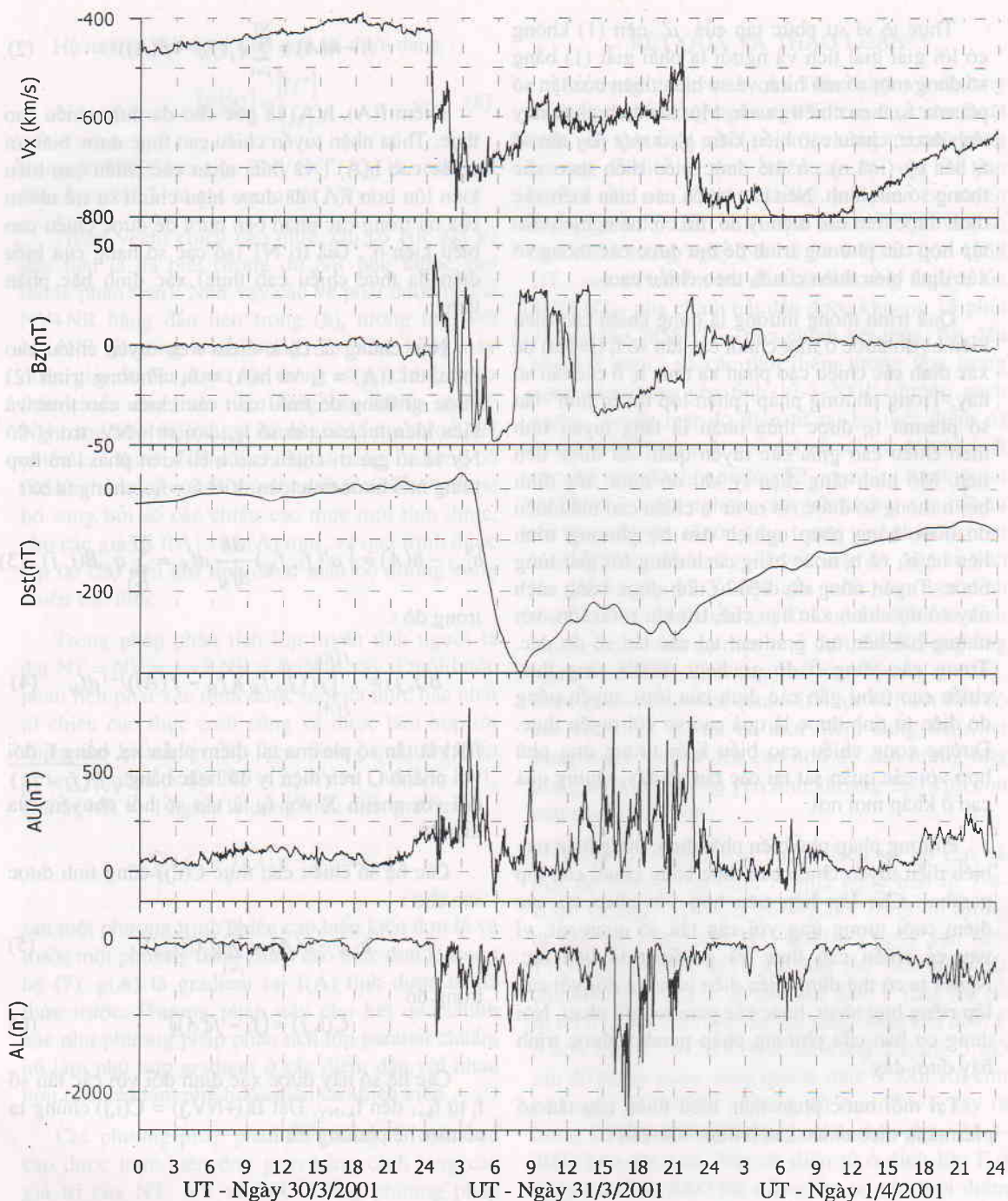


Hình 3. Biến thiên theo thời gian của thành phần nằm ngang của trường địa từ, của tần số tới hạn foF2 và độ cao biểu kiến h'F của lớp F điện ly quan sát được tại Phú Thụy từ ngày 30-3 tới ngày 3-4-2001

sẽ giới thiệu sơ bộ cơ sở của phương pháp tính toán này. Trên điện ly đồ chúng ta xác định được chiều cao biểu kiến h' tại các tần số f khác nhau. Chiều cao biểu kiến h'(f) và chiều cao thực tại đó sóng có tần số f đã cho bị phản xạ liên hệ với nhau

bởi phương trình phụ thuộc vào phân bố điện tử dưới điểm phản xạ [16, 18]:

$$h' = \int_0^h \mu' dh \quad (1)$$



Hình 4. Thành phần X của vận tốc ion gió Mặt Trời (V_x), thành phần Z của trường từ giữa các hành tinh (B_z), chỉ số vòng dòng xích đạo Dst, các chỉ số electrojet cực AU và AL ngày 30-31-3 và ngày 1-4-2001

trong đó μ' là chỉ số phản xạ nhóm là một hàm phức tạp của tần số sóng f , tần số plasma f_N , tần số hồi chuyển từ f_B và độ từ khuynh I , N là mật độ điện tử. Thực tế $\mu' \geq 1$, nên chiều cao biểu kiến

lớn hơn chiều cao thực $h' \geq h$. Như vậy để thu được tuyến phân bố mật độ điện tử theo chiều cao $N(h)$ chúng ta phải giải phương trình tích phân trên.

Thực tế vì sự phức tạp của μ' nên (1) không có lời giải giải tích và người ta phải giải (1) bằng số dùng một số mô hình về sự biến thiên của tần số plasma f_N theo chiều cao h . Một khi tích phân này tính được, chiều cao biểu kiến h'_i ở một dãy tần số f_i bất kỳ ($i=1, n$) có thể được biểu diễn theo các thông số mô hình. Nếu các chiều cao biểu kiến xác định được trên các điện ly đồ, thì có thể nghịch đảo tập hợp các phương trình để thu được các thông số xác định biến thiên của f_N theo chiều cao.

Quá trình thông thường là dùng chiều cao biểu kiến h'_i đo được ở một chuỗi các tần số f_i ($i=1, n$) để xác định các chiều cao phản xạ thực h_i ở các tần số này. Trong phương pháp "phân lớp tuyến tính" tần số plasma f_N được thừa nhận là tăng tuyến tính theo chiều cao giữa các tuyến quan sát được liên tiếp. Mô hình tầng điện ly khi đó được xác định bởi n thông số được rút ra từ n chiều cao biểu kiến đo được bằng phép nghịch đảo hệ phương trình liên hệ h'_i và h_i hoặc bằng cách dùng lời giải từng bước. Tuyến nồng độ điện tử tính được bằng cách này có độ chính xác hạn chế, trừ khi n rất lớn, với những bất liên tục gradient tại các tần số đo đạc. Trong các vùng ở đó gradient dh/dN tăng theo chiều cao (như gần các đỉnh của lớp), tuyến nồng độ điện tử tính được là quá cao so với tuyến thực. Đường cong chiều cao biểu kiến tương ứng phù hợp với các quan sát tại các tần số này, nhưng quá cao ở khắp mọi nơi.

Phương pháp phổ biến nhất được dùng hiện nay biểu diễn tuyến chiều cao thực bằng chuỗi các lớp parabol. Các lớp liên tiếp hợp với nhau tại các điểm cuối tương ứng với các tần số quan sát, vì vậy cả chiều cao thực và gradient là liên tục. Người ta có thể dùng biểu diễn parabol đối với các lớp riêng biệt nhau, hoặc các parabol gối nhau. Nội dung cơ bản của phương pháp parabol được trình bày dưới đây.

Tại mỗi bước phân tích, biến thiên của tần số plasma f_N theo chiều cao h được cho bởi :

$$h - h(A) = \sum_{j=1}^{NT} q_j (f_N - f(A))^j \quad (2)$$

Điểm $f(A)$, $h(A)$ là gốc cho đa thức chiều cao thực. Thừa nhận tuyến chiều cao thực được biết tới chiều cao $h(A)$; và thừa nhận các chiều cao biểu kiến lớn hơn $f(A)$ đã được hiệu chỉnh sự trễ nhóm của tia trong các phần bên dưới để được chiều cao biểu kiến "h". Giá trị NT (số các số hạng của biểu diễn đa thức chiều cao thực) xác định bậc phân tích.

Nếu chúng ta có k điểm trên tuyến chiều cao thực, thì $f(A) = f_k$ và $h(A) = h_k$. Phương trình (2) được sử dụng để tính toán các chiều cao thực và biểu kiến tại các tần số f_{k+i} với $i=1 \div NV$, trong đó NV là số giá trị chiều cao biểu kiến phải làm hợp trong mỗi bước tính toán. Viết $f_i = f_{k+i}$ chúng ta có :

$$h_{k+i}'' - h(A) = \int \mu'(f_i, f_N) \frac{dh}{df_N} df_N = \sum_{j=1}^{NT} q_j \cdot B(i, j) \quad (3)$$

trong đó :

$$B(i, j) = j \int_{f(A)}^{f(R)} \mu'(f_i, f_N) (f_N - f(A))^{j-1} df_N \quad (4)$$

$f(R)$ là tần số plasma tại điểm phản xạ, bằng f_i đối với nhánh O trên điện ly đồ hoặc bằng $\sqrt{f_i(f_i - f_B)}$ đối với nhánh X với f_B là tần số hồi chuyển của điện tử.

Các hệ số chiều cao thực $C(i, j)$ cũng tính được sao cho :

$$h_{k+i} - h(A) = \sum_{j=1}^{NT} q_j C(i, j) \quad (5)$$

trong đó

$$C(i, j) = (f_i - f(A))^j \quad (6)$$

Các hệ số này được xác định đối với các tần số f_i từ f_{k+1} đến f_{k+NV} . Đặt $B(i+NV, j) = C(i, j)$ chúng ta có một hệ phương trình :

$$\begin{array}{rcccc} B(1,1)q_1 + & B(1,2)q_2 + & \dots + B(1,NT)q_{NT} & = & h_{k+1}'' - h(A) \\ B(2,1)q_1 + & B(2,2)q_2 + & \dots & = & h_{k+2}'' - h(A) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ B(NV,1)q_1 + & B(NV,2)q_2 + & \dots & = & h_{k+NV}'' - h(A) \\ B(NV+1,1)q_1 + & B(NV+1,2)q_2 + & \dots & = & h_{k+1} - h(A) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ B(2NV,1)q_1 + & B(2NV,2)q_2 + & \dots & = & h_{k+NV} - h(A) \end{array} \quad (7)$$

Hệ này có thể được viết gọn lại dưới dạng :

$$[B][Q] = \begin{bmatrix} H'' \\ H \end{bmatrix} \quad (8)$$

trong đó [B] là ma trận $2NV \times NT$, [Q] là vecto cột $NT \times 1$, và H'' , H là các vecto cột $NV \times 1$.

Trong vecto chiều cao thực, chỉ có NR giá trị đầu tiên là đã biết (trong đó NR phụ thuộc vào mode phân tích). Như vậy các vế phải được biết ở $NV+NR$ hàng đầu tiên trong (8), tương ứng với $NV+NR$ phương trình trong (7). Các hàng này được giải để thu được các thông số q_j xác định đa thức chiều cao thực (2). Dùng các thông số này NH hàng tiếp theo được đánh giá để thu được NH chiều cao thực ; NH nói chung là bằng 1 nhưng có thể lớn hơn đối với đa thức bậc nhất. Chỉ số k được bổ sung bởi số các chiều cao thực mới tính được, cho các giá trị $f(A)$ và $h(A)$ mới, và quá trình được lặp lại cho đến khi tính được toàn bộ đường cong chiều cao thực.

Trong phép phân tích lớp tuyến tính người ta đặt $NT = NV = 1$ và $NR = 0$. Như vậy ở mỗi bước phân tích phải xác định được một đa thức bậc nhất từ chiều cao thực cuối cùng và được làm hợp tới chiều cao biểu kiến tiếp theo. Trong quá trình xấp xỉ lớp parabol ta đặt $NT = 2$, $NV = 1$ và $NR = -1$. Giá trị $NR = -1$ nghĩa là dùng biểu diễn gradient :

$$\sum_j (f_N - f(A))^{j-1} \cdot q_j = g(A)$$

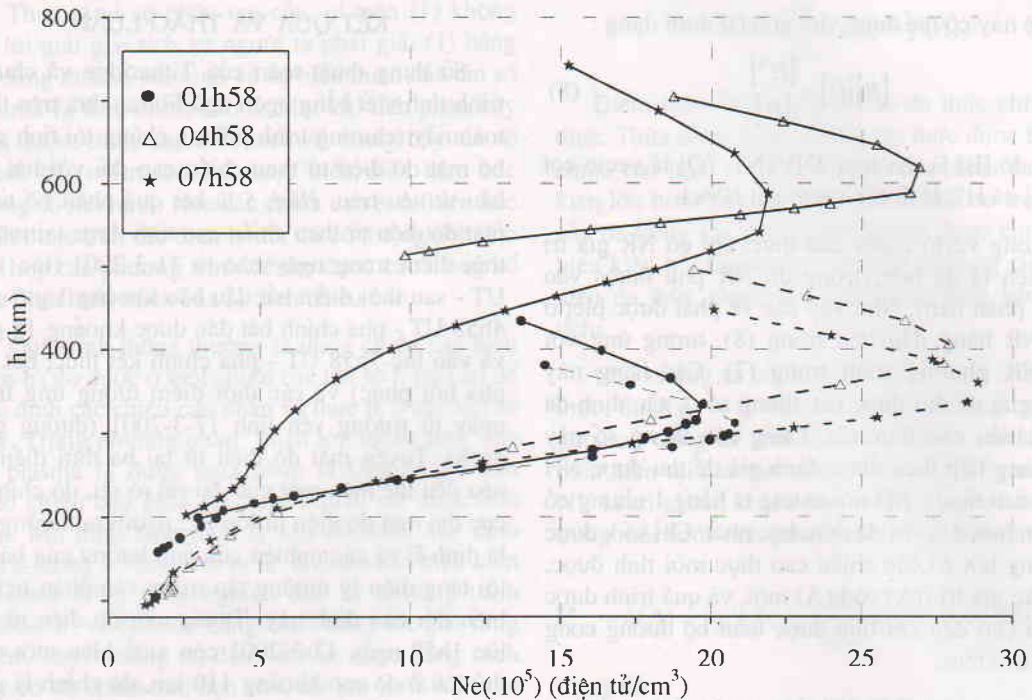
sau một phương trình chiều cao biểu kiến đơn lẻ và trước một phương trình chiều cao thực đơn lẻ trong hệ (7). $g(A)$ là gradient tại $f(A)$ tính được từ đa thức trước. Phương pháp này cho kết quả chính xác như phương pháp phân tích lớp parabol chuẩn, nó làm phù hợp gradient ở các điểm đầu với nhau hơn là chiều làm phù hợp chiều cao biểu kiến.

Các phương pháp phân tích dùng đa thức bậc cao được thực hiện đơn giản bằng cách tăng các giá trị của NT, NV và NR. Trong phương pháp phân tích đa thức bậc 4 gối nhau chuẩn người ta đặt $NT = 4$, $NV = 3$ và $NR = 1$. Phương pháp này cho một đa thức 5 số hạng (kể cả hằng số), làm hợp với hai chiều cao thực đã tính được $h_k [= h(A)]$ và h_{k+1} , và hợp với 3 chiều cao biểu kiến h'_{k+1} , h'_{k+2} và h'_{k+3} . Biểu diễn chiều cao thực đối với h_{k+3} đã có trong (7), không đòi hỏi điều gì đặc biệt. Toàn bộ kỹ thuật tính toán được Titheridge trình bày chi tiết trong [18].

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sử dụng thuật toán của Titheridge và chương trình tính viết bằng ngôn ngữ Fortran dựa trên thuật toán này (chương trình polan), chúng tôi tính phân bố mật độ điện tử theo chiều cao đối với hai trận bão từ nêu trên. Hình 5 là kết quả phân bố tuyến mật độ điện tử theo chiều cao tính được tại một số thời điểm trong ngày bão từ 31-3-2001 (lúc 1h58 UT - sau thời điểm bắt đầu bão khoảng 1 giờ ; lúc 4h58 UT - pha chính bắt đầu được khoảng 15 phút và vào lúc 7h58 UT - pha chính kết thúc, bắt đầu pha hồi phục) và các thời điểm tương ứng trong ngày từ trường yên tĩnh 17-3-2001 (đường gạch gạch). Tuyến mật độ điện tử tại ba thời điểm đã nêu đều thể hiện một cực đại rất rõ rệt, đó chính là cực đại mật độ điện tử lớp F2, người ta thường gọi là đỉnh F và các nghiên cứu ảnh hưởng của bão từ tới tầng điện ly thường tập trung vào phân tích sự biến đổi của đỉnh này. Tuyến mật độ điện tử vào lúc 1h58 ngày 17-3-2001 còn xuất hiện một đỉnh thứ hai ở độ cao khoảng 110 km, đó chính là đỉnh lớp E, tuyến mật độ điện tử ở thời điểm tương ứng ngày 31-3-2001 đỉnh này thể hiện không rõ ràng. Điều quan trọng nhất quan sát được từ hình 5 là độ cao của đỉnh F2 tại ba thời điểm đang xem xét trong ngày bão từ đều cao hơn độ cao tương ứng trong ngày từ trường yên tĩnh khoảng 200 km, còn mật độ thì nhỏ hơn.

Hình 6a biểu thị sự chênh lệch về độ cao và mật độ điện tử tại đỉnh F giữa ngày bão từ 7-4-2000 và ngày yên tĩnh 26-4-2000. Hình 6b tương tự đối với ngày bão 31-3-2001 và ngày yên tĩnh 17-3-2001. Chúng ta có thể thấy sau thời điểm bắt đầu khoảng 1-2 giờ, độ cao của đỉnh F tăng lên rất rõ rệt ở cả hai cơn bão. Sự gia tăng chiều cao đỉnh F ở cơn bão 6-7-4-2000 kéo dài trong khoảng 5 giờ sau đó thăng giáng xung quanh mức 0. Đối với cơn bão ngày 31-3-2001 sự tăng độ cao đỉnh F xảy ra trong khoảng thời gian dài hơn do bão ngày 31-3-2001 kéo dài hơn. Mật độ điện tử ở đỉnh lớp F ở ngày bão 7-4-2000 bắt đầu giảm so với thời điểm tương ứng ngày 26-4 sau thời điểm bắt đầu khoảng 1 giờ. Sự giảm này kéo dài khoảng 2 giờ. Khoảng thời gian 3 giờ tiếp theo sự chênh lệch mật độ điện tử tại đỉnh F ở thời điểm tương ứng của 2 ngày là không đáng kể. Sau đó sự biến đổi theo hướng ngược lại, mật độ điện tử ở đỉnh lớp F lại tăng lên, sự gia tăng này kéo dài khoảng 2 giờ. Sự chênh lệch độ cao và mật độ điện tử của đỉnh F giữa ngày 31-3-2001 và ngày 17-3-2001



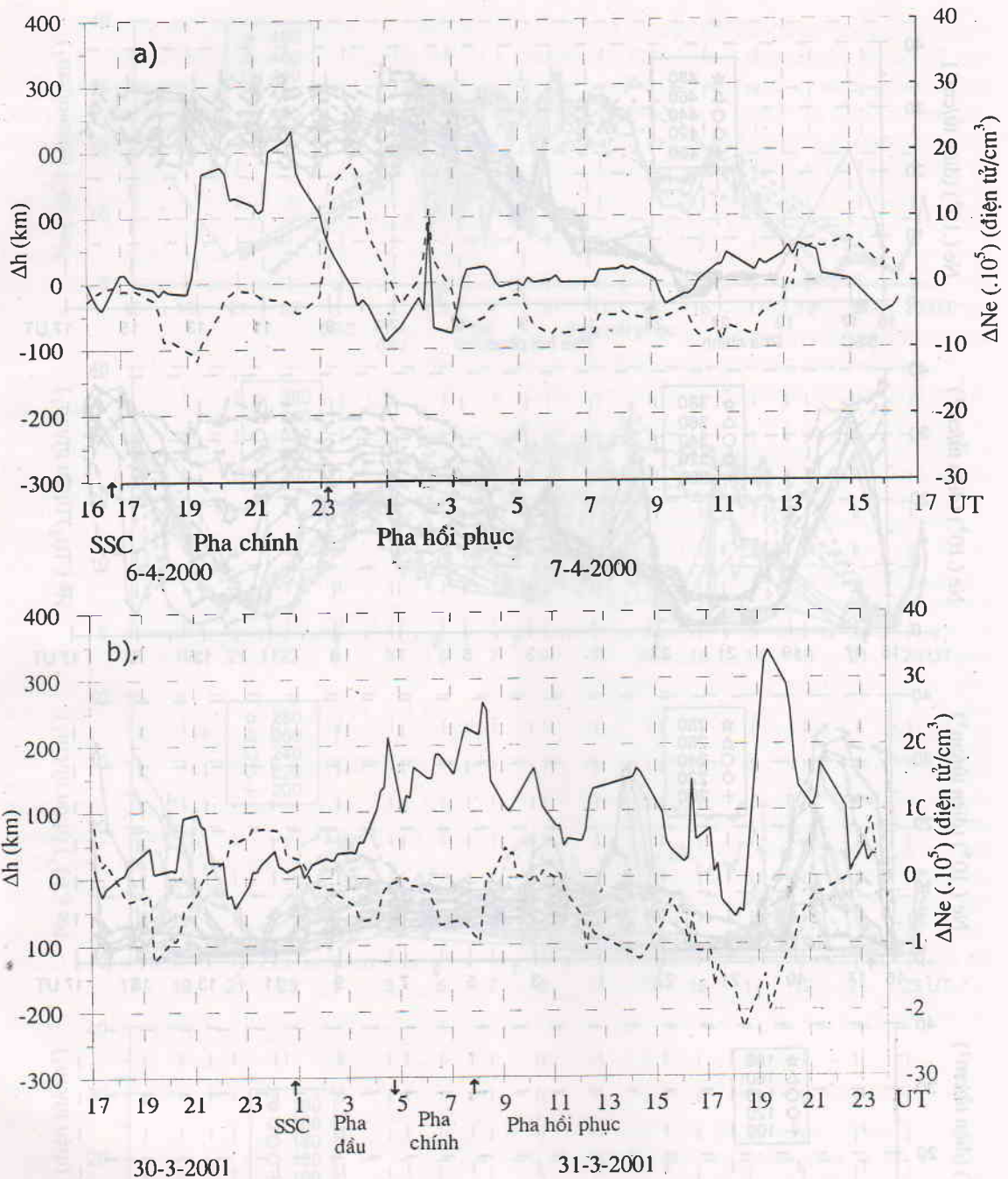
Hình 5. Các tuyến phân bố mật độ điện tử theo chiều cao vào lúc 1h58, 4h58 và 7h58 ngày bão từ 31-3-2001 và vào các thời điểm tương ứng của ngày yên tĩnh 17-3-2001

trước thời điểm bắt đầu bão dao động quanh mức 0, sau thời điểm bắt đầu của bão khoảng 1 giờ chiều cao tăng lên rất rõ rệt, còn chênh lệch mật độ điện tử cũng dao động nhưng quanh một mức âm khá rõ rệt. Trong cả hai trường hợp bão từ đang xem xét, sự biến đổi của chiều cao đỉnh F rõ ràng hơn sự biến đổi của mật độ điện tử tại đỉnh này, điều này có thể cho thấy nguyên nhân của sự thay đổi chiều cao và mật độ điện tử tại đỉnh F trong thời gian bão từ có thể có những nguyên nhân khác nhau. Sự chênh lệch chiều cao đỉnh F giữa ngày tĩnh và ngày bão đạt tới 250 km, sự chênh lệch mật độ điện tử trong khoảng $\pm 10 \cdot 10^5$ điện tử/cm³.

Để thấy được ảnh hưởng của bão từ ở các độ cao khác nhau của tầng điện ly chúng tôi biểu thị biến thiên của mật độ điện tử theo thời gian ở những độ cao khác nhau từ 100 km tới 480 km với bước chiều cao là 20 km và được chia ra 4 dải độ cao khác nhau từ 100-180 km, 200-280 km, 300-380 km và trên 400 km đối với 2 ngày bão và các ngày yên tĩnh đối chứng trên các hình 7 và 8. Mật độ điện tử ở cùng độ cao được biểu thị bằng cùng ký hiệu, đối với ngày bão từ chúng được nối với nhau bằng đường liền nét, đối với ngày yên tĩnh chúng được nối với nhau bằng đường đứt quãng.

Có thể thấy ở độ cao lớp E, dưới 180 km sự chênh lệch mật độ điện tử giữa ngày bão và ngày tĩnh là không đáng kể. Trên độ cao 200 km, nhất là ở độ cao trên 300 km, sau thời điểm bắt đầu bão khoảng 1-2 giờ tới khi gần kết thúc pha chính trong ngày 6-7/4/2000 mật độ điện tử bị giảm nhiều so với ngày yên tĩnh, trước khi kết thúc pha chính khoảng 2 giờ mật độ điện tử vùng F lại tăng sau đó giảm nhanh về mức bình thường ở thời điểm kết thúc pha chính. Quan sát tương tự đối với cơn bão ngày 31-3-2001. Sự biến đổi của mật độ điện tử trong cơn bão ngày 31-3-2001 phức tạp hơn nhiều do tiến trình của cơn bão này xảy ra cũng phức tạp hơn. Tuy nhiên có một quy luật chung là sau xung bất ngờ khoảng 1-2 giờ mật độ điện tử trong vùng F giảm, sau đó lại tăng lên hoặc giao động phức tạp. Và trong cả hai trường hợp bão từ chỉ ảnh hưởng tới mật độ điện tử ở độ cao vùng F, còn mật độ điện tử vùng E ít bị ảnh hưởng. Chúng ta hãy nêu một số nguyên nhân vật lý có thể giải thích quan sát đã nêu trên.

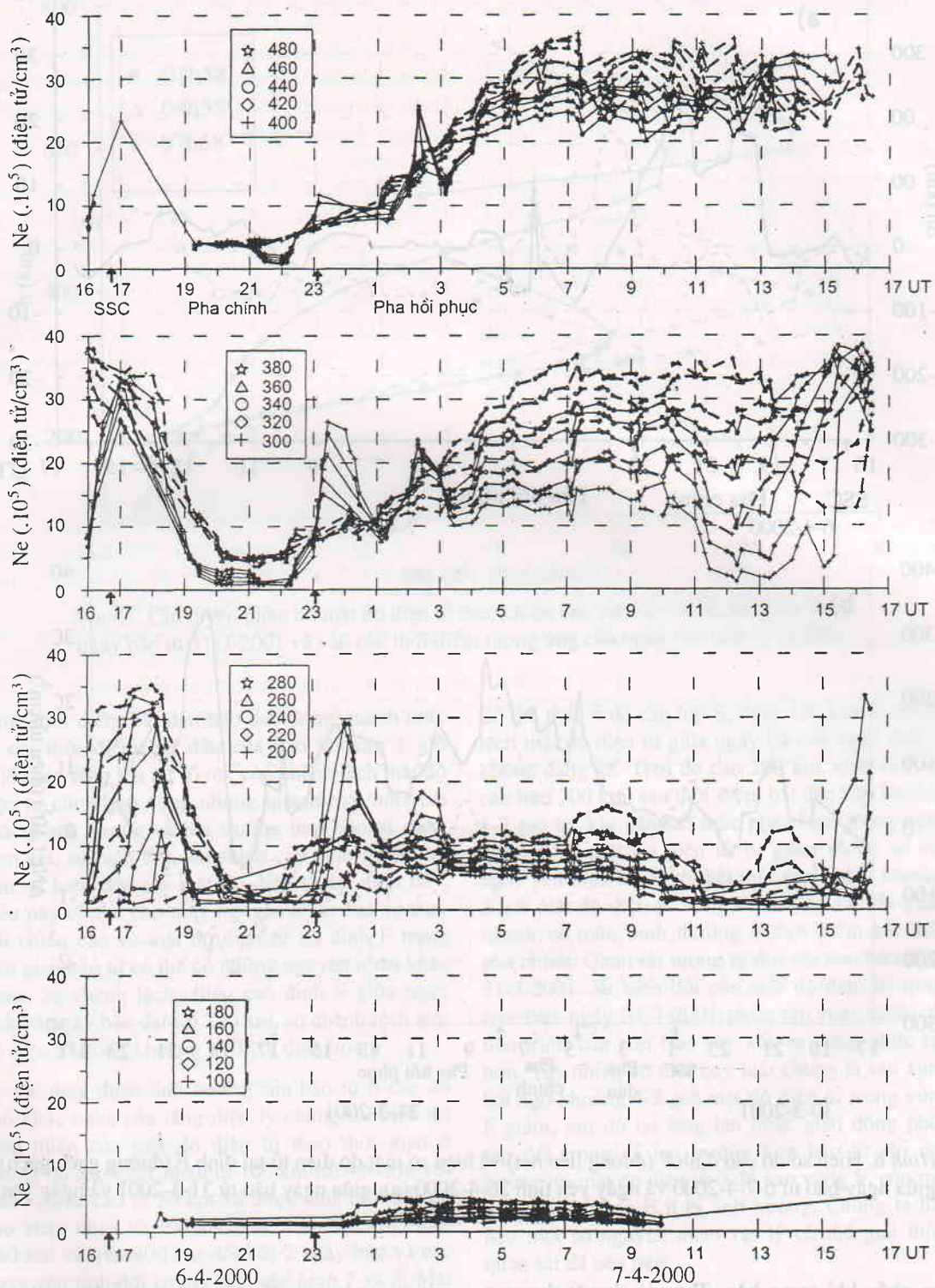
Theo Huang và Cheng [4] trạng thái của tầng điện ly vùng gần đỉnh dị thường xích đạo trong thời gian bão từ khống chế bởi hai quá trình: gió trung hòa theo phương kinh tuyến và sự thay đổi



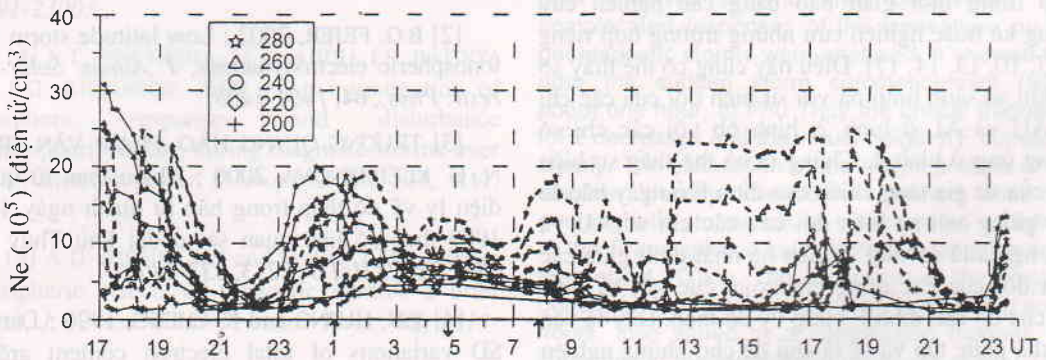
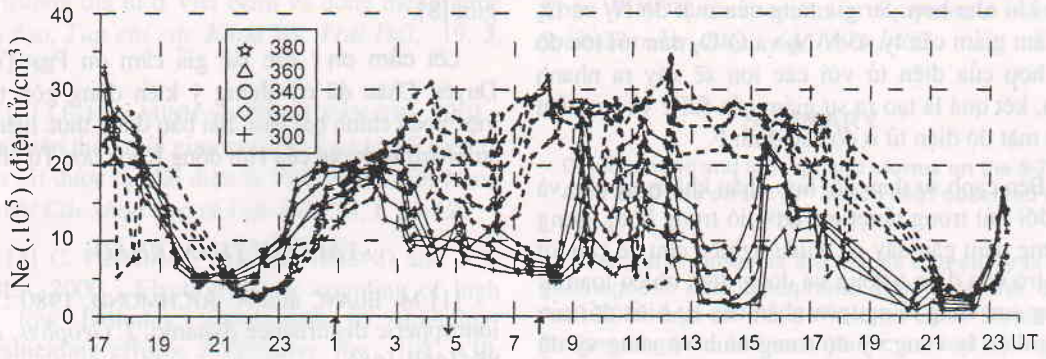
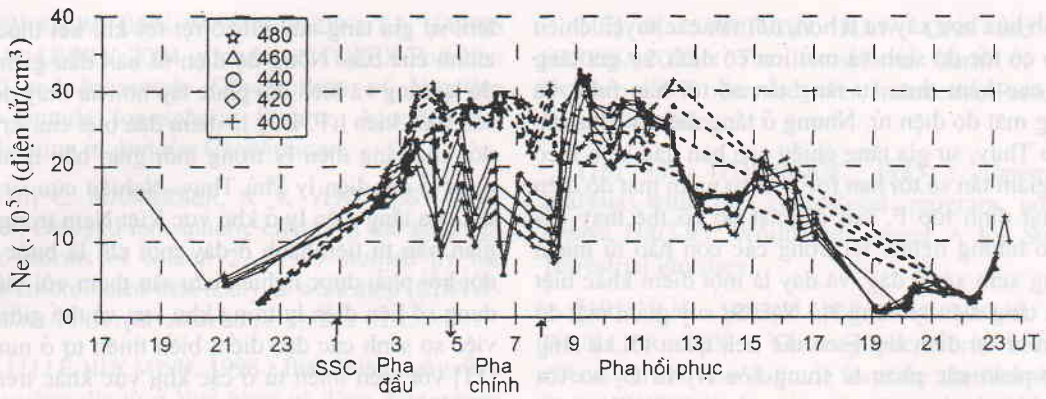
Hình 6. Hiệu số độ cao đỉnh F (đường liền nét) và hiệu số mật độ điện tử tại đỉnh F (đường gạch gạch) giữa ngày bão từ 6-7-4-2000 và ngày yên tĩnh 26-4-2000 (a); giữa ngày bão từ 31-3-2001 và ngày yên tĩnh 17-3-2001 (b)

hợp phân khí trung hòa. Theo lý thuyết dynamo nhiều loạn điện ly [1], sự đốt nóng gây bởi quá trình toả nhiệt Jun của các dòng điện ở vùng cực quang trong thời gian bão từ sẽ tạo ra gió từ vùng

cực quang hướng về phía xích đạo ở độ cao lớp F. Gió này sẽ nâng vùng ion hóa theo đường sức từ trường Trái Đất tới độ cao lớn hơn. Thông thường ở độ cao lớn hơn sự mất mát điện tử do các quá



Hình 7. Biến thiên theo thời gian của mật độ điện tử ở các độ cao khác nhau từ 100 km đến 480 km với bước độ cao 20 km vào ngày bão từ 6-7-4-2000 (đường nối liền nét) và ngày yên tĩnh 26-4-2000 (đường nối gạch gạch)



Hình 8. Biến thiên theo thời gian của mật độ điện tử ở các độ cao khác nhau từ 100 km đến 480 km với bước độ cao 20 km vào ngày bão từ 30-31/3/2001 (đường nối liền nét) và ngày yên tĩnh 17-3-2001 (đường nối gạch gạch)

trình hóa học xảy ra ít hơn, đối với các tuyến chiều cao có tốc độ sinh và mất ion cố định, sự gia tăng độ cao kèm theo sự tăng tần số tới hạn foF2 và tăng mật độ điện tử. Nhưng ở tầng điện ly khu vực Phú Thọ, sự gia tăng chiều cao ban đầu kèm theo sự giảm tần số tới hạn foF2 và sự giảm mật độ điện tử tại đỉnh lớp F, sau đó mật độ có thể thay đổi theo hướng ngược lại trong các cơn bão từ mạnh đang xem xét ở đây, và đây là một điểm khác biệt của tầng điện ly vùng Hà Nội. Sự suy giảm mật độ điện tử tại đỉnh lớp F có thể liên quan tới sự tăng hợp phân các phân tử trung hòa N₂ và O₂ so với các khí nhẹ hơn. Sự gia tăng của mật độ N₂ và O₂ sẽ làm giảm các tỷ số N-N₂ và O-O₂ dẫn tới tốc độ tái hợp của điện tử với các ion sẽ xảy ra nhanh hơn, kết quả là tạo ra sự giảm của foF2 và sự giảm của mật độ điện tử ở độ cao đỉnh F.

Bên cạnh sự thay đổi hợp phân khí trung hòa và sự đối lưu trong nhiệt quyển (gió trung hòa), trong những năm gần đây có nhiều nghiên cứu đề cập tới vai trò của điện trường và dòng điện nhiễu loạn từ vùng cực cũng là nguyên nhân của sự biến đổi của tầng điện ly vùng vĩ độ trung bình và vùng vĩ độ thấp trong thời gian bão bằng các nghiên cứu thống kê hoặc nghiên cứu những trường hợp riêng [6, 7, 10, 13, 14, 17]. Điều này cũng có thể thấy sơ bộ khi so sánh hình 6a với sự biến đổi của các chỉ số AU và AL ở hình 2, hình 6b với các chỉ số tương ứng ở hình 4. Chúng ta có thể thấy sự biến đổi của sự gia tăng chiều cao đỉnh F ở ngày bão từ gần giống với sự biến đổi của các chỉ số AU và AL, nghĩa là có một sự liên hệ nhất định giữa các biến đổi của các dòng electrojet cực với sự biến đổi của độ cao đỉnh F vùng vĩ độ thấp. Đây là vấn đề khá phức tạp và sẽ là chủ đề cho những nghiên cứu tiếp theo.

KẾT LUẬN

Bão từ quan sát được trên các băng ghi ở các đài trạm địa từ liên quan chặt chẽ tới sự bùng nổ sắc cầu trên đĩa Mặt Trời kéo theo sự gia tăng của cường độ gió Mặt Trời, với sự thay đổi của trường từ giữa các hành tinh và sự tương tác của gió Mặt Trời với từ quyển Trái Đất. Kết quả phân tích sự thay đổi mật độ điện tử theo chiều cao trong thời gian hai trận bão từ trên qua số liệu địa từ, điện ly ở đài điện ly Phú Thọ cho thấy bão từ có ảnh hưởng mạnh tới lớp F của tầng điện ly và ít có ảnh hưởng ở độ cao lớp E. Sau thời điểm bắt đầu của bão khoảng 1-2 giờ, chiều cao biểu kiến h'F tăng

lên, sự gia tăng này rất rõ rệt tới khi kết thúc pha chính của bão. Nồng độ điện tử ban đầu giảm sau đó lại tăng và biến đổi phức tạp hơn sự thay đổi độ cao biểu kiến h'F. Đây là điểm đặc biệt của sự biến đổi của tầng điện ly trong thời gian bão quan sát được ở đài điện ly Phú Thọ. Nghiên cứu sự biến đổi của tầng điện ly ở khu vực Việt Nam trong thời gian bão từ tiến hành ở đây mới chỉ là bước đầu, đòi hỏi phải được nghiên cứu sâu thêm với việc sử dụng số liệu điện ly trong khu vực và thế giới, gắn việc so sánh các đặc điểm biến thiên từ ở nước ta [11] với biến thiên từ ở các khu vực khác trên thế giới [8].

Lời cảm ơn : các tác giả cảm ơn Pgs Ts Hà Duyên Châu đã có những ý kiến đóng góp trong việc hoàn chỉnh bài báo. Bài báo được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí của Hội đồng Khoa học Tự nhiên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. BLANC and A. RICHMOND, 1980 : The ionospheric disturbance dynamo, *J. Geophys. Res.*, **85**, 1669-1686.
- [2] B.G. FEJER, 2002 : Low latitude storm time ionospheric electrodynamics, *J. Atmos. Solar-Terrest. Phys.*, **64**, 1401-1408.
- [3] TRƯƠNG QUANG HẢO, PHẠM VĂN TRÌ và N. G. KLEIMENOVA, 2000 : Nhiễu loạn từ quyển điện ly vĩ độ thấp trong bão từ mạnh ngày 13-3-1989 theo số liệu quan sát ở đài Phú Thọ (Hà Nội), *Tc CKHvTD*, **22**, 3, 237-240.
- [4] Y.N. HUANG and K. CHENG, 1996 : Dst and SD variations of total electron content around equatorial anomaly crest region, *J. Geomag. Geoelectr.*, **48**, 71-77.
- [5] Y. KAMIDE et al, 1997 : Magnetic storms: current understanding and outstanding questions, *Geophysical Monograph*, **98**, 1-19.
- [6] A.T. KOBEA et al, 1998 : Equatorial electrojet as part of the global circuit: a case-study from the IEEY, *Ann. Geophysicae*, **16**, 698-710.
- [7] A.T. KOBEA et al, 2000 : Electrodynamics coupling of high and low latitudes: observations on May 27, 1993, *J. Geophys. Res.*, **105**, A10, 22979-22989.
- [8] H. LUHR, S. MAUS and M. ROTHER, 2003 : The noon-time equatorial electrojet, determined by CHAMP, *Poster, IUGG2003*, Sapporo-Japan.

trình hóa học xảy ra ít hơn, đối với các tuyến chiều cao có tốc độ sinh và mất ion cố định, sự gia tăng độ cao kèm theo sự tăng tần số tới hạn foF2 và tăng mật độ điện tử. Nhưng ở tầng điện ly khu vực Phú Thọ, sự gia tăng chiều cao ban đầu kèm theo sự giảm tần số tới hạn foF2 và sự giảm mật độ điện tử tại đỉnh lớp F, sau đó mật độ có thể thay đổi theo hướng ngược lại trong các cơn bão từ mạnh đang xem xét ở đây, và đây là một điểm khác biệt của tầng điện ly vùng Hà Nội. Sự suy giảm mật độ điện tử tại đỉnh lớp F có thể liên quan tới sự tăng hợp phân các phân tử trung hòa N₂ và O₂ so với các khí nhẹ hơn. Sự gia tăng của mật độ N₂ và O₂ sẽ làm giảm các tỷ số N-N₂ và O-O₂ dẫn tới tốc độ tái hợp của điện tử với các ion sẽ xảy ra nhanh hơn, kết quả là tạo ra sự giảm của foF2 và sự giảm của mật độ điện tử ở độ cao đỉnh F.

Bên cạnh sự thay đổi hợp phân khí trung hòa và sự đối lưu trong nhiệt quyển (gió trung hòa), trong những năm gần đây có nhiều nghiên cứu đề cập tới vai trò của điện trường và dòng điện nhiễu loạn từ vùng cực cũng là nguyên nhân của sự biến đổi của tầng điện ly vùng vĩ độ trung bình và vùng vĩ độ thấp trong thời gian bão bằng các nghiên cứu thống kê hoặc nghiên cứu những trường hợp riêng [6, 7, 10, 13, 14, 17]. Điều này cũng có thể thấy sơ bộ khi so sánh hình 6a với sự biến đổi của các chỉ số AU và AL ở hình 2, hình 6b với các chỉ số tương ứng ở hình 4. Chúng ta có thể thấy sự biến đổi của sự gia tăng chiều cao đỉnh F ở ngày bão từ gần giống với sự biến đổi của các chỉ số AU và AL, nghĩa là có một sự liên hệ nhất định giữa các biến đổi của các dòng electrojet cực với sự biến đổi của độ cao đỉnh F vùng vĩ độ thấp. Đây là vấn đề khá phức tạp và sẽ là chủ đề cho những nghiên cứu tiếp theo.

KẾT LUẬN

Bão từ quan sát được trên các băng ghi ở các đài trạm địa từ liên quan chặt chẽ tới sự bùng nổ sắc cầu trên đĩa Mặt Trời kéo theo sự gia tăng của cường độ gió Mặt Trời, với sự thay đổi của trường từ giữa các hành tinh và sự tương tác của gió Mặt Trời với từ quyển Trái Đất. Kết quả phân tích sự thay đổi mật độ điện tử theo chiều cao trong thời gian hai trận bão từ trên qua số liệu địa từ, điện ly ở đài điện ly Phú Thọ cho thấy bão từ có ảnh hưởng mạnh tới lớp F của tầng điện ly và ít có ảnh hưởng ở độ cao lớp E. Sau thời điểm bắt đầu của bão khoảng 1-2 giờ, chiều cao biểu kiến h'F tăng

lên, sự gia tăng này rất rõ rệt tới khi kết thúc pha chính của bão. Nồng độ điện tử ban đầu giảm sau đó lại tăng và biến đổi phức tạp hơn sự thay đổi độ cao biểu kiến h'F. Đây là điểm đặc biệt của sự biến đổi của tầng điện ly trong thời gian bão quan sát được ở đài điện ly Phú Thọ. Nghiên cứu sự biến đổi của tầng điện ly ở khu vực Việt Nam trong thời gian bão từ tiến hành ở đây mới chỉ là bước đầu, đòi hỏi phải được nghiên cứu sâu thêm với việc sử dụng số liệu điện ly trong khu vực và thế giới, gần việc so sánh các đặc điểm biến thiên từ ở nước ta [11] với biến thiên từ ở các khu vực khác trên thế giới [8].

Lời cảm ơn : các tác giả cảm ơn Pgs Ts Hà Duyên Châu đã có những ý kiến đóng góp trong việc hoàn chỉnh bài báo. Bài báo được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí của Hội đồng Khoa học Tự nhiên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. BLANC and A. RICHMOND, 1980 : The ionospheric disturbance dynamo, *J. Geophys. Res.*, **85**, 1669-1686.
- [2] B.G. FEJER, 2002 : Low latitude storm time ionospheric electrodynamics, *J. Atmos. Solar-Terrest. Phys.*, **64**, 1401-1408.
- [3] TRƯƠNG QUANG HẢO, PHẠM VĂN TRÌ và N. G. KLEIMENOVA, 2000 : Nhiễu loạn từ quyển điện ly vĩ độ thấp trong bão từ mạnh ngày 13-3-1989 theo số liệu quan sát ở đài Phú Thọ (Hà Nội), *Tc CKHvTĐ*, **22**, 3, 237-240.
- [4] Y.N. HUANG and K. CHENG, 1996 : Dst and SD variations of total electron content around equatorial anomaly crest region, *J. Geomag. Geoelectr.*, **48**, 71-77.
- [5] Y. KAMIDE et al, 1997 : Magnetic storms: current understanding and outstanding questions, *Geophysical Monograph*, **98**, 1-19.
- [6] A.T. KOBEA et al, 1998 : Equatorial electrojet as part of the global circuit: a case-study from the IEEY, *Ann. Geophysicae*, **16**, 698-710.
- [7] A.T. KOBEA et al, 2000 : Electrodynamics coupling of high and low latitudes: observations on May 27, 1993, *J. Geophys. Res.*, **105**, A10, 22979-22989.
- [8] H. LUHR, S. MAUS and M. ROTHER, 2003 : The noon-time equatorial electrojet, determined by CHAMP, *Poster, IUGG2003*, Sapporo-Japan.

[9] K.J.W. LYNN, M. SJARIFUDIN, T.J. HARRIS and M. LE HUY, 2004 : Combined TOPEX-Poseidon TEC and Ionosonde Observations of Negative Low-latitude Ionospheric Storms, Accepted for publication in *Annales Geophysicae*.

[10] C. MAZAUDIER, S. V. VENKATESWARAN, 1990 : Delayed ionospheric effects of the geomagnetic storms of March 22, 1979 studied by the sixth co-ordinated data analysis workshop (CDAW-6), *Annales Geophysicae*, 8 (7-8), 511-518.

[11] LÊ HUY MINH, 1998 : Biến thiên ngày đêm của trường địa từ ở Việt Nam và dòng điện ngược xích đạo, *Tạp chí các Khoa học Trái Đất*, 19, 3, 189-199.

[12] LÊ HUY MINH và PHẠM VĂN TRÌ, 2001 : Biến thiên theo thời gian của lớp E và lớp F điện ly quan sát được tại đài điện ly Phú Thủy, Việt Nam, *Tạp chí Các khoa học về Trái Đất*, 23, 1, 56-69.

[13] C. PEYRIRAT, A.D. RICHMOND and A.T. KOBKA, 2000 : Electrodynamics coupling of high and low latitudes: simulations of shielding-overshielding effects, *J. Geophys. Res.*, 105, A10, 22991-23003.

[14] X.T. PINCHEIRA, M.A. ABDU, I.S. BATISTA and P.G. RICHARDS, 2002 : An investigation of ionospheric responses, and disturbance thermospheric winds, during magnetic storms over South American sector, *J. Geophys. Res.* 107, A11, 1379.

[15] A.D. RICHMOND and G. LU, 2000 : Upper atmospheric effects of magnetic storms: a brief tutorial, *J. Atmos. Solar-Terrest. Phys.*, 62, 1115-1127.

[16] H. RISHBETH and O.K. GARRIOTT, 1969 : *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Press, New York and London.

[17] M. SJARIFUDIN, K.J.W. LYNN and T.J. HARRIS, 2002 : The ionospheric storm of 25th Octobre 1997 observed over Indonesia, Personal Communication.

[18] J.E. TITHERIDGE, 1985 : Ionogram analysis with the generalised program polan, *Report UAG-93*. World data center A for Solar-Terrestrial Physics.

[19] R.H. WIENS, V.P. BHATNAGAR, G. THUILLIER, 2002 : Geomagnetic storm heating effects on the low-latitude dayside thermosphere from WINDII observations at equinox, *J. Atmos. Solar-Terrest. Phys.*, 64, 1393-1400.

SUMMARY

Geomagnetic and ionospheric storms on the 6-7th Avril 2000 and on the 31st March 2001 observed at Phu Thuy

This paper presents the results of a study of the geomagnetic and ionospheric storms on the 6-7th Avril 2000 and on the 31st March 2001 based on the geomagnetic and ionospheric vertical sounding data observed at Phu Thuy observatory. The complicated responses of the ionosphere on the geomagnetic storms were analysed. It showed that after the sudden storm commencement (SSC) about one hour, at Phu Thuy the critical frequency foF2 decreases and the virtual height h'F increases clearly. The calculation of the height profiles of the electron density distribution showed that the geomagnetic storms cause complicated variations in the F ionospheric layer from the height greater than about 200km. The decreases of the electron density in the F layer seem to be hold during some hours, then varied by a complicated manner; the variations in the ionosphere observed at Phu Thuy disappear about 24 hours after the SSC.

Ngày nhận bài : 11-9-2003

Viện Vật lý Địa cầu