

MẠNG LƯỚI GPS LIÊN TỤC VÀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU BIẾN ĐỔI THEO THỜI GIAN CỦA DỊ THƯỜNG ION HÓA XÍCH ĐẠO KHU VỰC ĐÔNG NAM Á

Lê Huy Minh¹, C. Amory-Mazaudier², R. Fleury³, Lê Trường Thanh¹,
Nguyễn Chiến Thắng¹, Nguyễn Thanh Dung¹, Phạm Thị Thu Hồng¹

¹Viện Vật lý địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Laboratoire de Physique des plasmas (LPP)/UPMC/Polytechnique/CNRS, UMR 7648, France

³Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance (Lab-STICC), UMR 6285 Mines-Télécom, Télécom Bretagne, France

TÓM TẮT

Báo cáo giới thiệu mạng lưới GPS liên tục ở Việt Nam được thiết lập bởi Viện Vật lý địa cầu từ 2005 đến nay, và phương pháp tính toán hàm lượng điện tử tổng cộng và các trị đo pha kết hợp với các trị đo giả khoảng cách. Sử dụng số liệu của mạng trạm GPS liên tục tại Việt Nam và một số trạm GPS của Trung tâm Dịch vụ GPS quốc tế ở khu vực Đông Nam Á, các bản đồ hàm lượng điện tử tổng cộng theo thời gian và vĩ độ đã được thành lập cho từng ngày trong giai đoạn 2008-2018. Kết quả phân tích wavelet các tham số đỉnh dị thường cho thấy rằng biên độ TEC cả hai đỉnh dao động với các chu kỳ 27 ngày, 6 tháng, 1 năm và 31 tháng (QBO). Ngoài chu kỳ 6 tháng và 1 năm, vĩ độ các đỉnh dị thường dao động với các chu kỳ 15 ngày và 53 ngày, ngoài ra vĩ độ đỉnh Bắc còn dao động với chu kỳ 31 tháng. Thời gian xuất hiện các đỉnh dị thường đều dao động với cùng chu kỳ 15 ngày, 4 tháng, 6 tháng, 1 năm và 29-30 tháng. Có sự tương quan chặt chẽ giữa số vết đen Mặt Trời và các tham số đỉnh dị thường ion hóa xích đạo, tuy nhiên việc xuất hiện các dao động có chu kỳ khác nhau từ 15 ngày tới gần như 2 năm ở các tham số đỉnh dị thường cho thấy sự biến đổi của dị thường ion hóa xích đạo còn liên quan chặt chẽ tới các quá trình vật lý khác trong tầng khí quyển bên dưới.

1. MỞ ĐẦU

Từ 2005, trong khuôn khổ hợp tác Việt Pháp, 3 máy thu GPS liên tục được đặt tại Hà Nội, Huế và thành phố Hồ Chí Minh, với mục đích theo dõi hàm lượng điện tử tổng cộng và nhấp nháy điện ly trên lãnh thổ Việt Nam và kế cận. Từ năm 2009 trong khuôn khổ hợp tác với Trường Đại học Trung ương Đài Loan, Viện Vật lý địa cầu đã lắp đặt 6 trạm GPS ở khu vực Tây Bắc. Tháng 11/2017, trong khuôn khổ hợp tác với Viện Các Khoa học Trái Đất, Viện Hàn lâm SINICA, Đài Loan, 10 máy thu GPS được lắp đặt trên tuyến cắt ngang đớt đứt gãy Sông Hồng từ Quan Hóa, Thanh hóa tới Lạng Sơn. Mạng lưới này được tăng cường thêm trong một số đề án hợp tác và đề án khoa học khác của Viện Vật lý địa cầu, và cho tới nay mạng lưới bao gồm 21 trạm đang hoạt động liên tục, phân bố cả ở khu vực miền Nam và miền Bắc nước ta. Cùng với mạng lưới này, chúng tôi đã thu thập được số liệu từ các trạm của Trung tâm dịch vụ GPS quốc tế (IGS – International GNSS Service) như KUNM (Trung Quốc), NTUS (Singapore), BAKO (Indonesia), XMIS (Australia), CUSV (Thái Lan), ... tạo nên chuỗi GPS liên tục dọc theo kinh tuyến 105° cắt ngang qua xích đạo từ. Mạng lưới GPS liên tục này cho phép nghiên cứu nhiều đặc trưng quan trọng của tầng điện ly khu vực vĩ độ thấp và xích đạo khu vực Đông Nam Á.

Ở khu vực xích đạo từ, đường sức trường từ nằm ngang, cấu hình này làm xuất hiện nhiều hiện tượng đặc biệt trong tầng điện ly. Các hiện tượng này bao gồm: dòng điện xích đạo, vòi phun plasma xích đạo, dị thường ion hóa xích đạo, dị thường nhiệt độ plasma xích đạo, dị thường nhiệt độ và gió xích đạo, spread F và bong bóng plasma xích đạo và lớp F₃ (Balan et al., 2018). Mục đích của báo cáo này là trình bày kết quả nghiên cứu biến đổi theo thời gian của dị thường ion hóa xích đạo khu vực Đông Nam Á cho khoảng thời gian 11 năm 2008-2018, tức là khoảng 1 chu kỳ hoạt

động mặt trời dựa trên các số liệu GPS liên tục thu thập được ở Việt Nam và lân cận, góp phần làm sáng tỏ mối quan hệ giữa tầng điện ly với hoạt tính mặt trời, hoạt tính trường từ cũng như các quá trình vật lý trong tầng khí quyển bên dưới.

2. SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN HÀM LƯỢNG ĐIỆN TỬ TỔNG CỘNG TỪ SỐ LIỆU GPS

Toàn bộ số liệu ngày dạng rinx của mạng lưới trạm khu vực Việt Nam và lân cận (hình 1) được thu thập cho giai đoạn 2008-2018 bao phủ 1 chu kỳ hoạt động mặt trời, độ phân giải theo thời gian của các tệp số liệu hàng ngày là 30s, định dạng chuẩn quốc tế của các tệp rinx trong các nghiên cứu địa động lực. Phân bố các trạm tuy không đều trong cả khu vực, nhưng bao trùm trong cả khoảng vĩ độ từ -10° tới $+25^{\circ}$, ở cả hai phía của xích đạo từ, cho phép chúng tôi tìm hiểu được đặc trưng dị thường ion hóa xích đạo ở cả hai bán cầu. Lưu ý rằng không phải số liệu của tất cả các trạm ở hình 1 đều có đầy đủ số liệu trong toàn bộ giai đoạn nghiên cứu, tuy nhiên những trạm KUNM, PHUT (Hà Nội), HUES, HOCM, CUSV ở phía bắc xích đạo từ và các trạm NTUS, BAKO, XMIS là những trạm đóng góp thông tin quan trọng trong nghiên cứu này có tương đối đầy đủ số liệu trong khoảng thời gian trên, nên các kết quả thu được trong nghiên cứu này phản ánh trung thực đặc điểm của dị thường điện ly xích đạo ở khu vực Đông Nam Á. Tất cả các số liệu GPS đều là số liệu GPS hai tần, với các đại lượng cần thiết cho việc tính toán hàm lượng điện tử tổng cộng là các trị đo pha (L_1, L_2) và các trị đo giả khoảng cách (P_1 hoặc C_1, P_2). Lưu ý rằng các máy thu hiện đại (ví dụ NET R9, của hãng Trimble) có thể thu nhận được thông tin từ tất cả các vệ tinh của các hệ thống dẫn đường khác nhau như GPS của Mỹ, GLONASS của Nga, Galileo của châu Âu, Beidou của Trung Quốc... Mỗi hệ thống có những đặc trưng kỹ thuật riêng, ở đây chúng tôi chỉ sử dụng thông tin từ hệ thống vệ tinh dẫn đường GPS của Mỹ.

Hàm lượng điện tử tổng cộng dọc theo đường truyền tín hiệu từ vệ tinh GPS ở độ cao khoảng 20200km tới máy thu trên mặt đất (TEC nghiêng : Slant total electron content - STEC) được xác định sử dụng các trị đo pha:

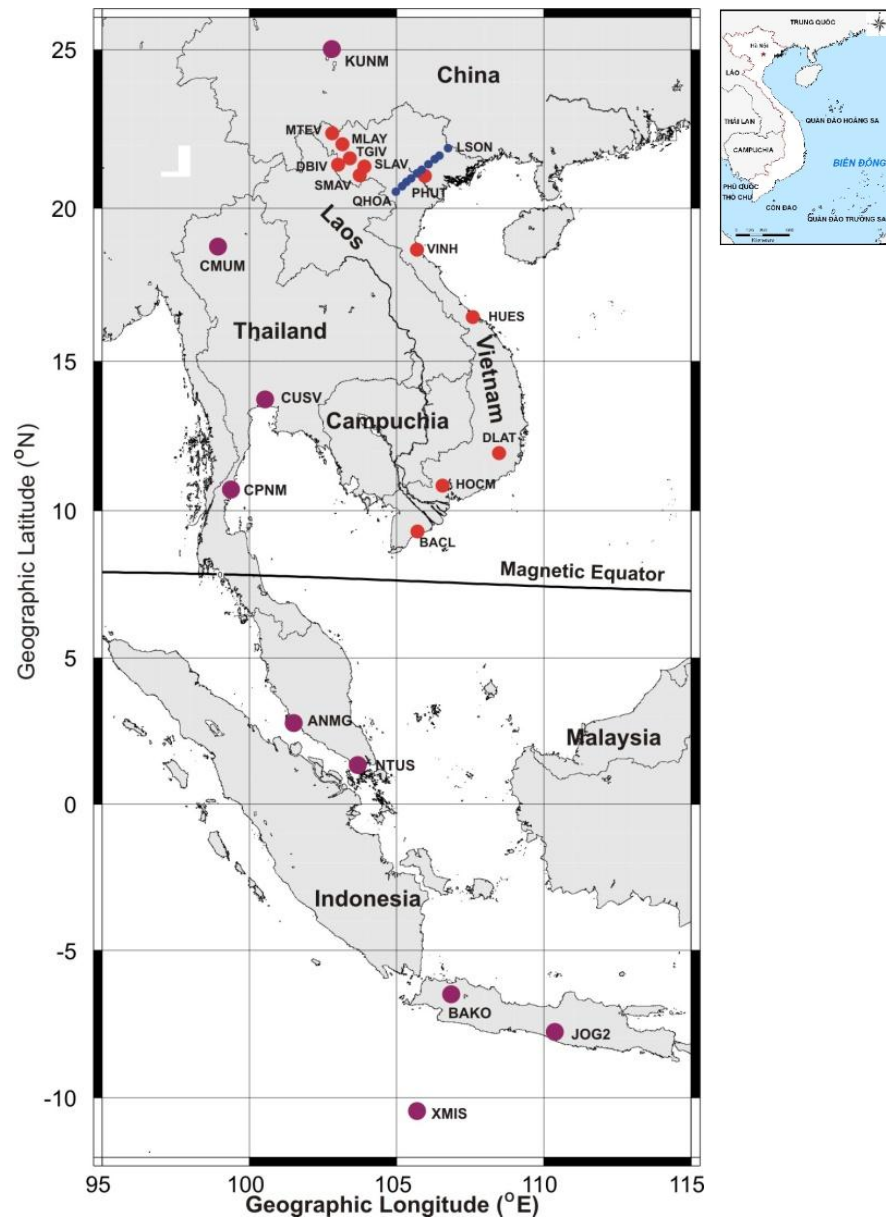
$$STEC = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \left[\phi_{1j}^i - L_{2j}^i \right] + \left[b_{\phi}^i \right] - \left[N_{1j}^i - \lambda_2 N_{2j}^i \right] = STEC_{\phi} + const_j^i$$

Trong đó: $f_1 = 1,57542$ MHz và $f_2 = 1,2276$ MHz là các tần số sóng mang sử dụng trong công nghệ GPS, i và j gán cho vệ tinh và máy thu một cách tương ứng, L_1 và L_2 là các trị đo pha tương ứng với các tần số f_1 và f_2 , b_{ϕ} là độ lệch phần cứng vệ tinh hoặc máy thu, λ_1 và λ_2 là các bước sóng, N_1 và N_2 là các trị nguyên không xác định. Hàm lượng điện tử tổng cộng được tính bằng đơn vị $TECU = 10^{16} \text{el/m}^2$. Đưa vào các ký hiệu $STEC_{\phi}$ là TEC nghiêng tính từ các trị đo pha và đại lượng $const_j^i$ là hằng số đối với mỗi cặp vệ tinh và máy thu:

$$STEC_{\phi} = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \left[\phi_{1j}^i - L_{2j}^i \right]$$

$$const_j^i = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \left[b_{\phi}^i \right] - \left[N_{1j}^i - \lambda_2 N_{2j}^i \right]$$

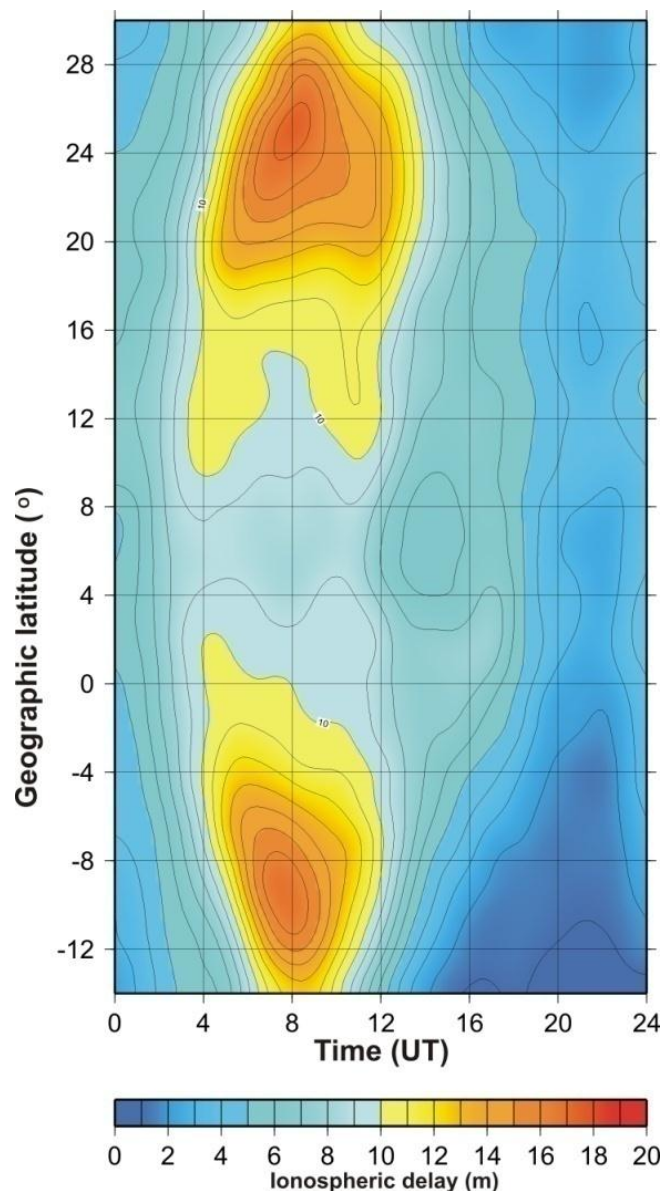
$STEC_{\phi}$ được xác định một cách chính xác, nhưng thường bị các bước nhảy do sự trượt chu kỳ trong phép đo pha (Carrano & Groves, 2009). Các bước nhảy này có thể đánh giá được bằng cách so sánh giữa $STEC_{\phi}$ và $STEC_p$ (TEC nghiêng tính từ các trị đo giả khoảng cách) được xấp xỉ bằng một đa thức bậc 4 trên mỗi đường vệ tinh, dựa trên một đặc tính là $STEC_p$ được xác định kém chính xác hơn do ảnh hưởng của nhiễu, nhưng không có hiện tượng nhảy bậc (ví dụ, Carrano & Groves, 2009). $STEC_{\phi}$ sau khi đã khắc phục được các bước nhảy được chuyển thành TEC thẳng đứng (VTEC) và được chuẩn hóa với mô hình TEC toàn cầu (CODG) để thu được VTEC tuyệt đối (Le Huy et al., 2016a,b và những tài liệu tham khảo trong tài liệu này).



Hình 1. Mạng lưới trạm thu GPS liên tục ở Việt Nam và lân cận (các điểm tròn).

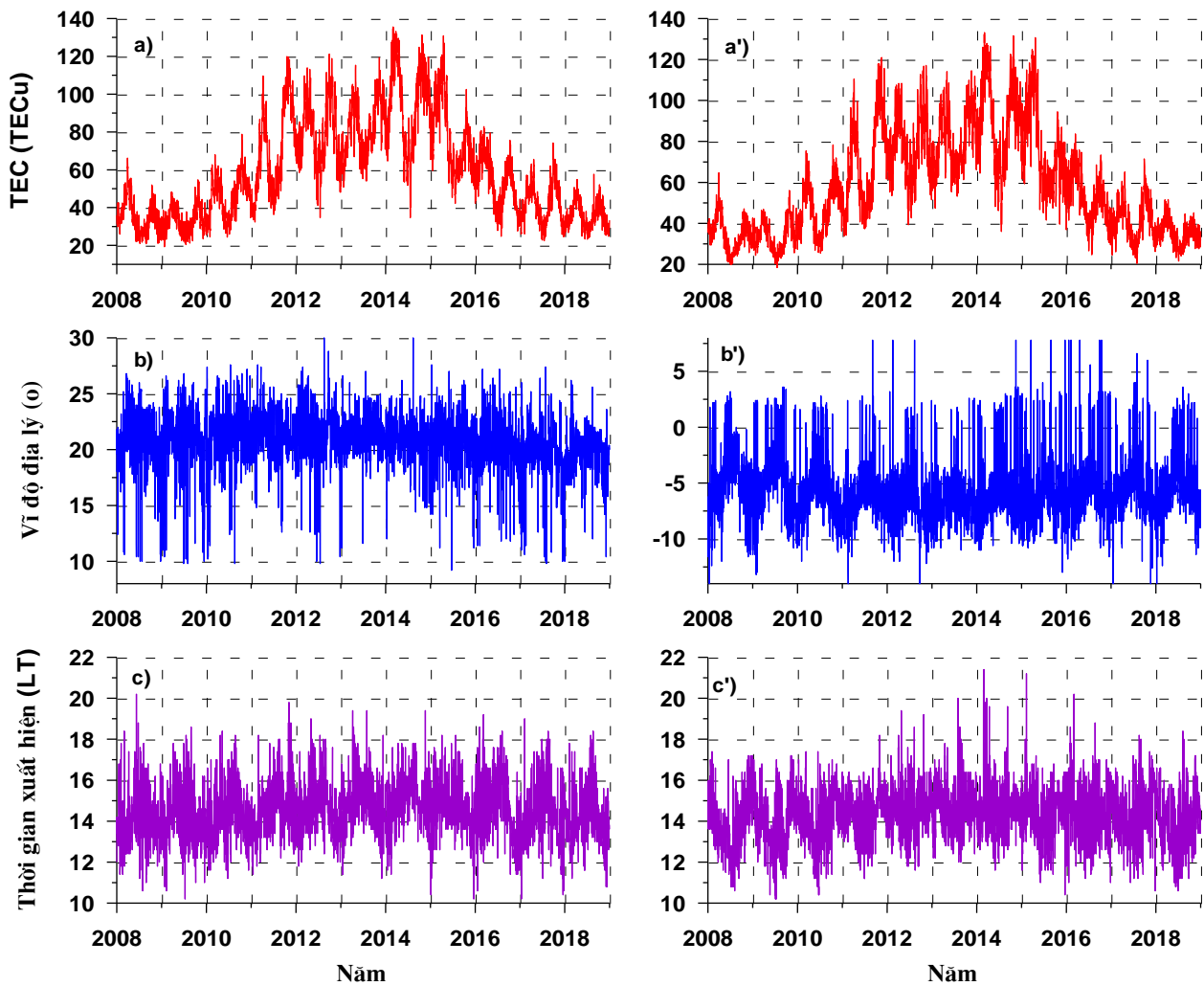
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Giá trị VTEC ở từng trạm đã được tính toán cho từng ngày số liệu cho từng thời điểm quan sát, bản đồ TEC theo thời gian và vĩ độ cho khu vực Đông Nam Á được xây dựng cho từng ngày. Hình 2 là ví dụ bản đồ TEC theo thời gian và vĩ độ khu vực Đông Nam Á vào ngày 29/04/2012. Từ hình 2 chúng ta thấy rõ đặc trưng của dị thường ion hóa xích đạo (EIA – Equatorial Ionization Anomaly) (Namba & Maeda, 1939; Appleton, 1946) vào thời gian ban ngày với 2 đỉnh (TEC cực đại) nằm ở khoảng vĩ độ 25°N (đỉnh Bắc) và 10°S (đỉnh Nam), và một trũng (cực tiểu) nằm gần xích đạo từ, hai đỉnh gần như đối xứng qua xích đạo từ; hình thái EIA này được tạo thành chủ yếu từ sự dịch chuyển plasma ra khỏi lân cận xích đạo bởi hiện tượng trôi dạt plasma $\vec{E} \wedge \vec{B}$ lên trên tạo vùng trũng và hai đỉnh với sự tích lũy plasma nhỏ ở khi các đỉnh ở trong vùng vĩ độ từ $\sim \pm 20^\circ$ (hiệu ứng vòi phun plasma xích đạo). Các đỉnh dị thường có thể được đặc trưng bằng các tham số: biên độ đỉnh (giá trị TEC cực đại), vĩ độ đỉnh và thời gian xuất hiện đỉnh.



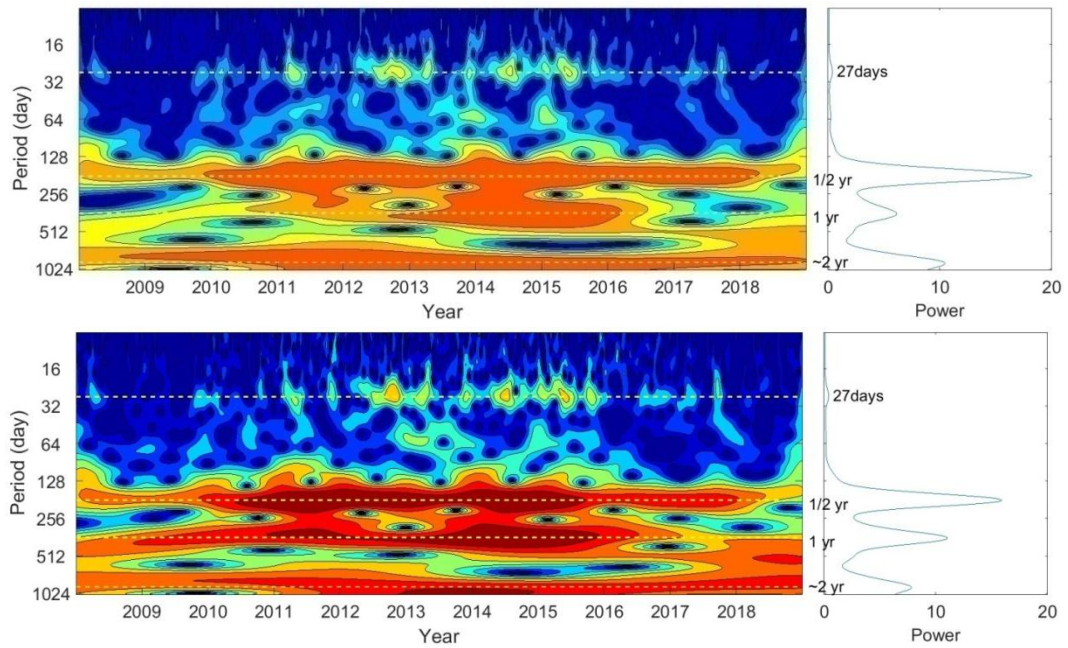
Hình 2. Bản đồ TEC theo thời gian và vĩ độ ngày 29/04/2012 khu vực Đông Nam Á.

Với tập hợp số liệu thu thập được ở mạng lưới trạm GPS ở khu vực Đông Nam Á, chúng tôi thành lập được các bản đồ TEC theo thời gian và vĩ độ hàng ngày cho giai đoạn 2008-2018; các tham số đỉnh dị thường được tính toán cho từng ngày và kết quả được trình bày ở hình 3. Từ hình 3 chúng ta có thể thấy rằng, các tham số đỉnh thay đổi liên tục từ ngày này sang ngày khác, nhưng cũng có tính chu kỳ nhất định. Trong mỗi năm biên độ TEC của đỉnh có cực đại ở thời kỳ phân điểm (các tháng 3-4, 9-10), và cực tiểu vào các thời kỳ chí điểm (các tháng 1-12, 6-7); biên độ TEC cũng thể hiện bất đối xứng mùa. Hình 3b và đặc biệt hình 3b' cho chúng ta thấy kiểu biến đổi chu kỳ 1 năm, vào mùa đông (giữa năm ở đỉnh Nam và đầu năm đỉnh Bắc) đỉnh có xu thế di chuyển về phía xích đạo. Hình 3c và 3c' cũng thể hiện rõ kiểu biến đổi chu kỳ 1 năm, các đỉnh có xu thế xuất hiện sớm nhất vào mùa đông và muộn nhất vào mùa hè. Các kết quả này đã được nêu trong (Le Huy et al., 2014) khi phân tích các tham số đỉnh của EIA trung bình tháng khu vực Đông Nam Á.

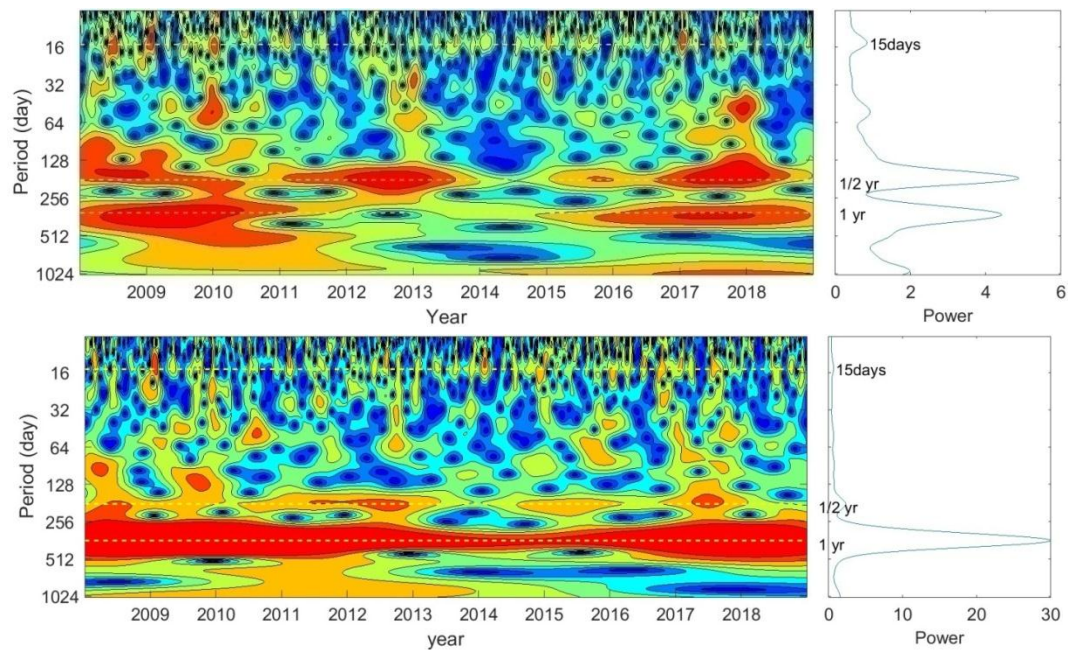


Hình 3. Biến thiên hàng ngày của các tham số đỉnh (biên độ đỉnh a và a' , vĩ độ đỉnh b và b' và thời gian xuất hiện đỉnh c và c') của đỉnh bắc (trái) và đỉnh nam (phải) của dị thường ion hóa xích đạo khu vực Đông Nam Á giai đoạn 2008-2018.

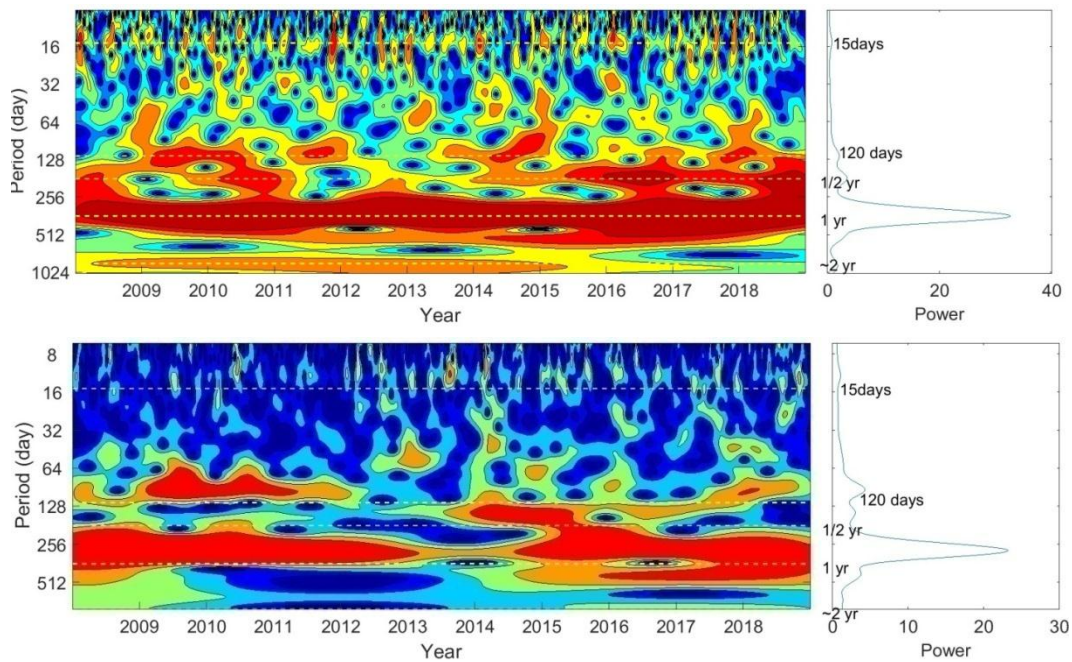
Để làm sáng tỏ hơn các chu kỳ trong chuỗi thời gian của các tham số đỉnh, chúng tôi sử dụng phép biến đổi wavelet (Domingues et al., 2005) cho các tham số của các đỉnh, kết quả được trình bày ở hình 4a, 4b và 4c. Tổng phổ biến đổi wavelet các tham số đỉnh được trình bày lại rõ ràng hơn ở hình 5. Từ hình 4a và hình 5 chúng ta có thể thấy rõ rằng biên độ TEC của cả hai đỉnh đều xuất hiện các chu kỳ 27 ngày, 6 tháng, 1 năm và 31 tháng, là các vị trí ở đó biên độ tổng phổ biến đổi wavelet đạt cực đại. Ở cả đỉnh Bắc và đỉnh Nam biên độ tổng phổ của dao động chu kỳ 6 tháng lớn hơn cả, điều đã được nhận thấy ở hình 3a và 3a'. Biên độ tổng phổ đối với các chu kỳ 1 năm và 31 tháng cũng khá rõ ràng với biên độ bằng khoảng $1/3 \div 2/3$ biên độ tổng phổ chu kỳ 6 tháng. Biên độ tổng phổ đối với chu kỳ 27 ngày khá nhỏ chỉ bằng khoảng 2% so với biên độ tổng phổ chu kỳ 6 tháng, tuy nhiên trong lân cận chu kỳ 27 ngày, cực đại biên độ tổng phổ này là khá rõ ràng.



Hình 4a. Phổ (trái) và tổng phổ (phải) biến đổi wavelet của biên độ TEC đỉnh Bắc (trên) và đỉnh Nam dưới của dị thường ion hóa xích đạo khu vực Đông Nam Á giai đoạn 2008-2018.



Hình 4b. Phổ (trái) và tổng phổ (phải) biến đổi wavelet của vĩ độ đỉnh Bắc (trên) và đỉnh Nam (dưới) của dị thường ion hóa xích đạo khu vực Đông Nam Á giai đoạn 2008-2018.

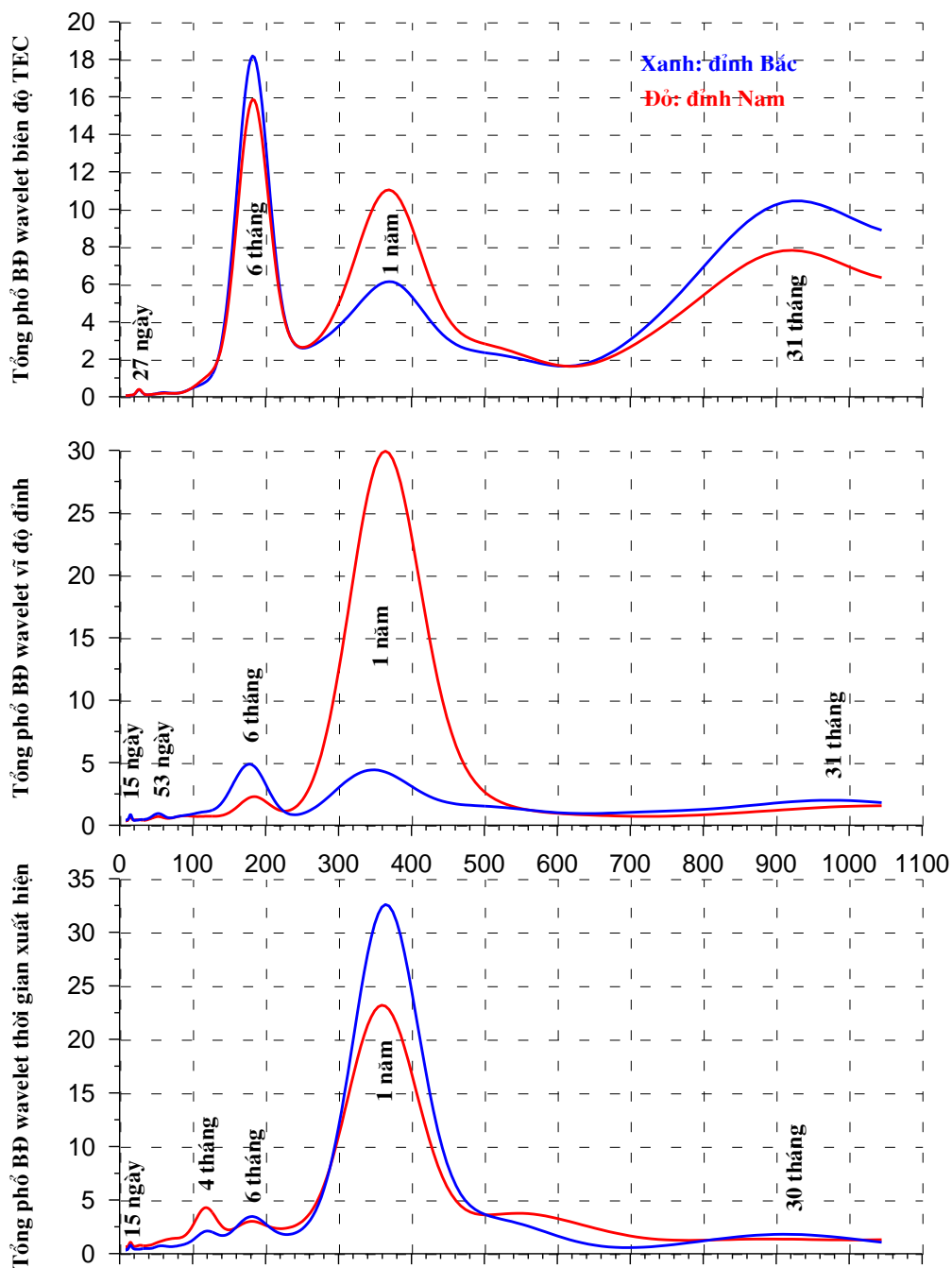


Hình 4c. Phổ (trái) và tổng phổ (phải) biến đổi wavelet của thời gian xuất hiện đỉnh Bắc (trên) và đỉnh Nam (dưới) của dị thường ion hóa xích đạo khu vực Đông Nam Á giai đoạn 2008-2018.

Hình 4b và hình 5 cho thấy vĩ độ đỉnh Bắc và đỉnh Nam cùng thể hiện các chu kỳ dao động 15 ngày, 53 ngày, 6 tháng và 1 năm. Ngoài ra tổng phổ biến đổi wavelet vĩ độ đỉnh Bắc cho thấy xu thế thể hiện dao động chu kỳ 31 tháng, tuy nhiên giá trị cực đại này không được rõ ràng như đối với các chu kỳ khác. Biên độ tổng phổ ở chu kỳ 1 năm đối với vĩ độ đỉnh Nam chệch hơn hẳn ở các chu kỳ khác, gấp khoảng 13 lần biên độ tổng phổ ở chu kỳ 6 tháng, trong khi biên độ tổng phổ ở hai chu kỳ này đối với ở vĩ độ đỉnh Bắc có độ lớn gần bằng nhau. Hình 3 cũng cho thấy dao động chu kỳ 1 năm của vĩ độ đỉnh Nam cũng thể hiện rõ ràng hơn chu kỳ 1 năm ở đỉnh Bắc.

Hình 4c và hình 5 cho thấy thời gian xuất hiện đỉnh Bắc và đỉnh Nam cùng thể hiện các chu kỳ 15 ngày, 4 tháng, 6 tháng và 1 năm. Ngoài ra thời gian xuất hiện đỉnh Bắc có xu thế thể hiện dao động với chu kỳ 30 tháng, còn đỉnh Nam thể hiện chu kỳ khoảng 29 tháng. Biên độ tổng phổ thời gian xuất hiện hai đỉnh ở chu kỳ 1 năm chiếm ưu thế hơn hẳn biên độ tổng phổ ở các chu kỳ dao động khác. Sự chiếm ưu thế của chu kỳ 1 năm cũng thể hiện tương đối rõ ở hình 3, có xu thế là cả hai đỉnh xuất hiện vào mùa hè sớm hơn và vào mùa đông muộn hơn các mùa khác, điều này đã được nhận thấy ở bởi Le Huy et al. (2014). Các kết quả phân tích các chu kỳ dao động của các tham số đỉnh dị thường ion hóa xích đạo được tổng kết trong bảng 1.

Bảng 1 và những phân tích ở trên cho chúng ta thấy rằng mặc dù các đỉnh dị thường ion hóa xích đạo được hình thành do cơ chế vòi phun xích đạo, hình thái có xu thế đối xứng qua xích đạo từ. Tuy nhiên vai trò của các dao động khác nhau ở mỗi bán cầu, đặc biệt rõ rệt ở các giao động có chu kỳ lớn hơn hoặc bằng 4 tháng. Ngay ở biên độ TEC của các đỉnh thể hiện tính chất đối xứng rõ ràng nhất (thể hiện các giao động có cùng chu kỳ), nhưng biên độ tổng phổ (hình 5) của giao động cùng chu kỳ ở hai đỉnh khác nhau khá rõ rệt. Vĩ độ và thời gian xuất hiện đỉnh Nam không thể hiện chu kỳ giao động 30-31 tháng. Như vậy biến đổi của các đỉnh dị thường ion hóa xích đạo chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố ở mỗi bán cầu (ở mỗi khu vực kinh tuyến).



Hình 5. Tổng phổ biến đổi wavelet các tham số biên độ TEC (trên), vĩ độ (giữa) và thời gian xuất hiện (dưới) của đỉnh Bắc (đường màu xanh) và đỉnh Nam (đường màu đỏ) khu vực dị thường ion hóa xích đạo khu vực Đông Nam Á giai đoạn 2008-2018.

Bảng 1. Các chu kỳ dao động của các tham số đỉnh dị thường ion hóa xích đạo khu vực Đông Nam Á

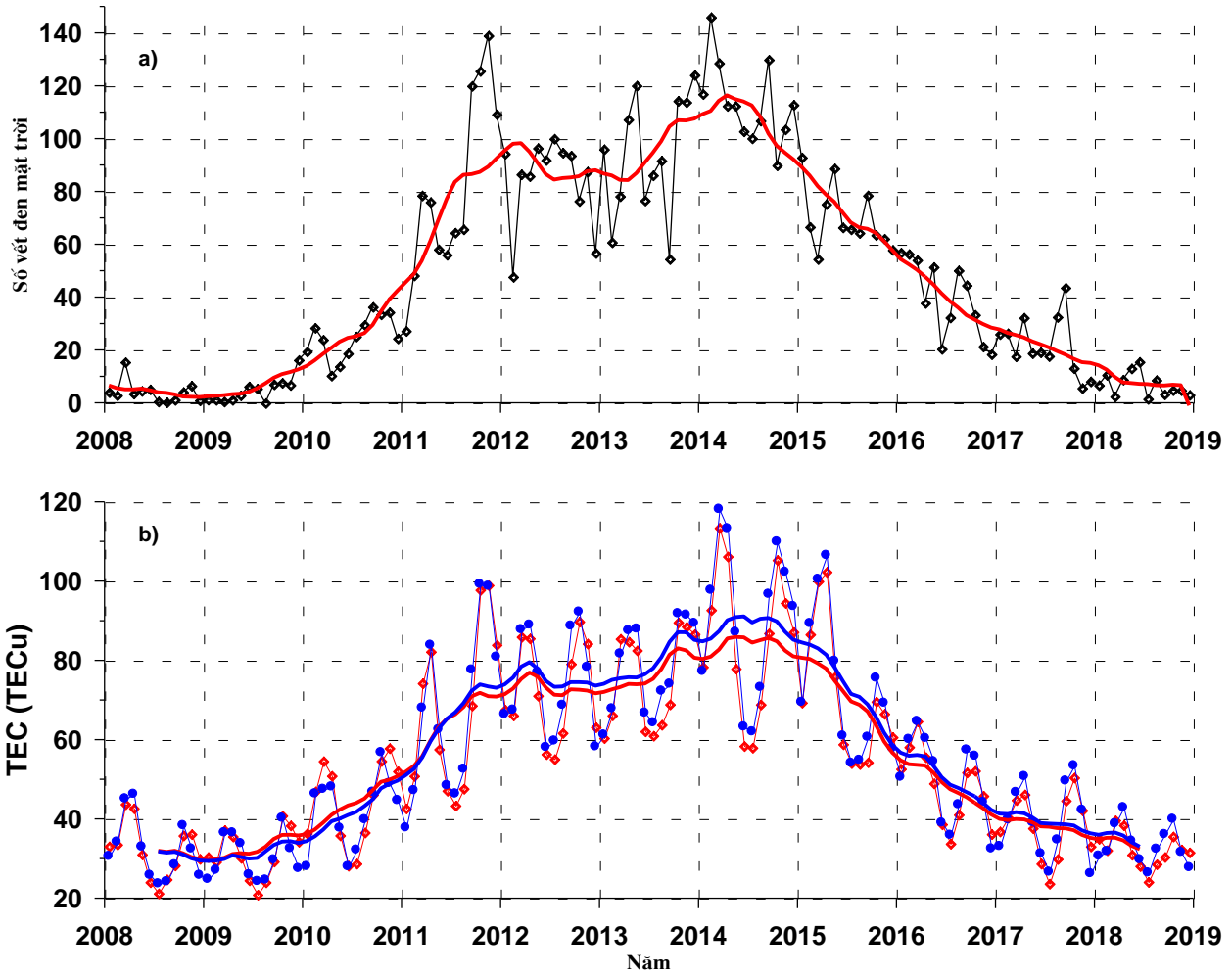
Chu kỳ	Đỉnh Bắc			Đỉnh Nam		
	Biên độ TEC	Vĩ độ đỉnh	Thời gian xuất hiện	Biên độ TEC	Vĩ độ đỉnh	Thời gian xuất hiện
~15 ngày		x	x		x	x
27 ngày	x			x		
53 ngày		x			x	
4 tháng			x			x
6 tháng	x	x	x	x	x	x
1 năm	x	x	x	x	x	x
29-31 tháng	x	x	x	x		x

Chú thích: các ô có chữ “x” ký hiệu có biểu hiện chu kỳ, các ô trống không biểu hiện chu kỳ.

Cho tới ngày nay đã có rất nhiều nghiên cứu phát hiện ra đặc trưng dao động trong khí quyển có chu kỳ gần như 16 ngày (ví dụ, Forbes et al., 1995; Namboothiri et al., 2002; McDonald et al., 2011; Scheiben et al., 2014...), dao động chu kỳ 27 ngày (Schanz et al., 2016), dao động chu kỳ 40-50 ngày (Madden & Julian, 1971, Lau & Yang, 2002), các chu kỳ 6 tháng và 01 năm (Guharay et al., 2009), chu kỳ gần 2 năm (QBO – Quasi-Biennial Oscillation) (Greyston, 1959; Ebdon, 1975; Scaife et al., 2000). Trong biến thiên của trường từ Trái Đất, đã phát hiện các dao động chu kỳ 27 ngày (Schreiber, 1998), chu kỳ 6 tháng (Russell & McPherron, 1973; Schreiber, 1998), chu kỳ 1 năm (Malin & Isikara, 1976; Wardinski & Manda, 2006, các biến thiên mùa (Cliver et al., 2004; Shinbori et al., 2017). Từ các kết quả quan sát như đã nêu cũng như các nghiên cứu mô hình, người ta đều cho rằng biến động trong tầng điện ly hay rộng hơn là hệ thống nhiệt quyển-điện ly do “cưỡng bức từ bên dưới” (khí quyển tầng thấp – tầng đối lưu và bình lưu) và từ bên trên (Mặt Trời) (Forbes et al., 2007; Huang et al., 2015; Sassi et al., 2019 và những tài liệu tham khảo trong bài báo tổng quan này). Tuy nhiên cũng cần phải nhấn mạnh rằng các quá trình vật lý có thể gây ra những biến động với chu kỳ lớn hơn khoảng 10 ngày tới gần 2 năm trong tầng điện ly cũng còn chưa được hiểu biết một cách đầy đủ, và đây cũng là những thách thức lớn trong nghiên cứu dự báo thời tiết không gian hay dự báo trong hệ thống nhiệt quyển-tầng điện ly liên kết, một lĩnh vực có nhu cầu ngày càng gia tăng trong kỷ nguyên vũ trụ hiện nay. Việc xây dựng các mô hình toàn khí quyển với việc tích hợp các quá trình vật lý liên quan tới khí quyển trung hòa, điện động lực và từ thủy động học cùng với việc hấp thụ các số liệu quan sát khí quyển tầng cao là con đường duy nhất để đạt được những tiến bộ trong nghiên cứu dự báo thời tiết không gian (Liu, 2016).

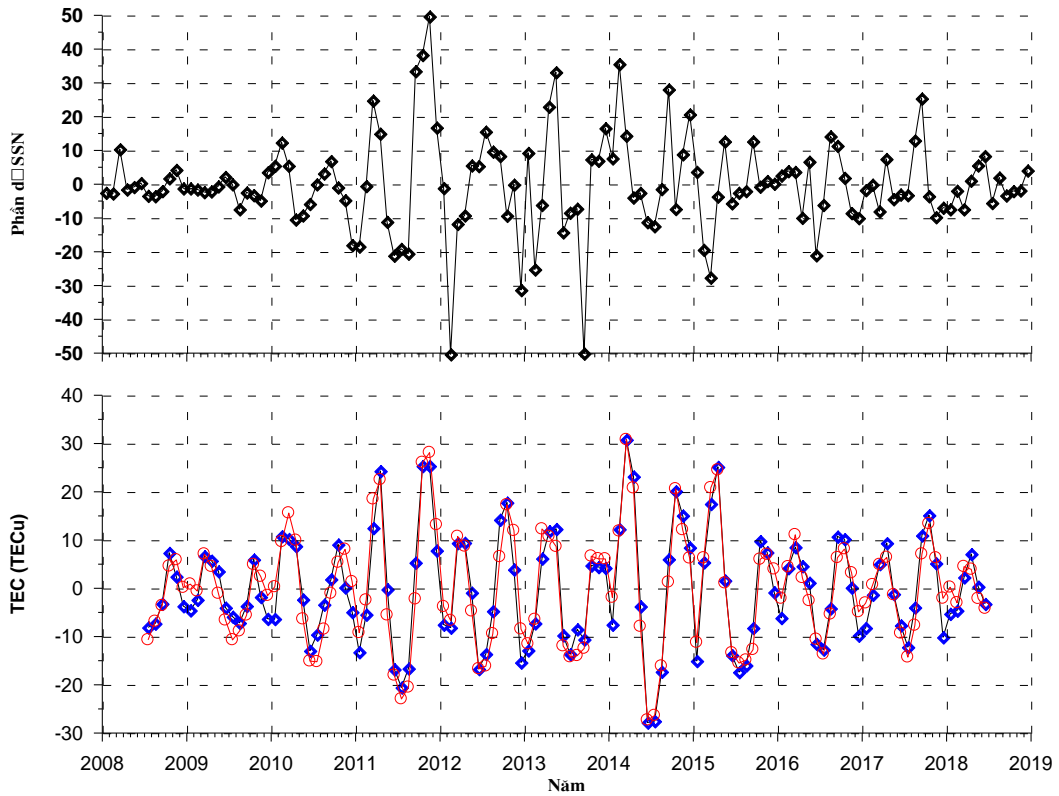
Để thấy rõ ảnh hưởng từ hoạt tính mặt trời tới biến đổi của dị thường ion hóa xích đạo, hình 6 biểu diễn biến thiên theo thời gian của số vết đen mặt trời trung bình tháng và biên độ TEC trung bình tháng của các đỉnh dị thường ion hóa xích đạo trong giai đoạn nghiên cứu. Hệ số tương quan giữa số vết đen mặt trời và các biên độ đỉnh lần lượt là 0,887 và 0,871 đối với đỉnh Bắc và đỉnh Nam một cách tương ứng; các hệ số này đối với các giá trung bình trượt 13 tháng đối với cả hai đỉnh là 0,988; các hệ số tương quan này hoàn toàn tương tự với các kết quả đã tìm thấy bởi Le Huy et al. (2016). Các hệ số tương quan cũng cho thấy rằng biên độ TEC của cả hai đỉnh dị thường ion hóa xích đạo ở khu vực Đông Nam Á tương quan rất tốt với số vết đen mặt trời. Hình 6b cho chúng ta thấy trong mỗi năm biên độ TEC thể hiện biến đổi mùa rất rõ ràng với cực đại ở thời kỳ phân điểm (các tháng 3-4, 9-10) và cực tiểu ở thời kỳ chí điểm (các tháng 6-7, 12,1), tuy nhiên ở vết đen mặt trời trung bình tháng biến đổi mùa thể hiện không rõ ràng. Hình 8 biểu thị các phần dư số vết đen mặt trời và biên độ TEC các đỉnh trung bình tháng sau khi đã loại đi giá trị trung bình trượt 13 tháng. Tương quan giữa phần dư số vết đen mặt trời và phần dư biên độ TEC trung bình tháng đối với đỉnh Bắc là 0.44, đối với đỉnh Nam là 0,38. Như vậy rõ ràng tương quan giữa số vết đen mặt trời và biên độ TEC các đỉnh dị thường ion hóa xích đạo quyết định chủ yếu bởi các dao động có

chu kỳ lớn hơn 1 năm, mà ở đây là chu kỳ 11 năm của hoạt động Mặt Trời, các chu kỳ dưới 1 năm ở các biên độ TEC chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác.

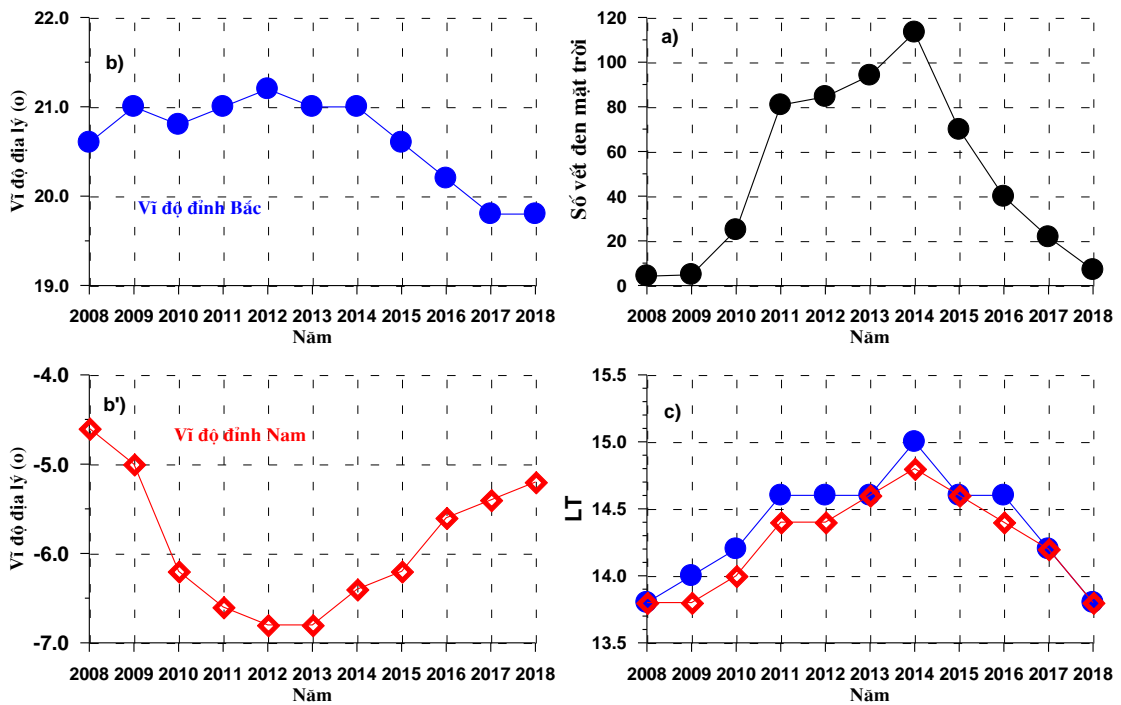


Hình 6. a) Số vết đen mặt trời trung bình tháng và b) biên độ TEC trung bình tháng các đỉnh dị thường ion hóa xích đạo giai đoạn 2008-2018. Đường liền nét đậm ở các hình a) và b) là trung bình trượt 13 tháng; các đường và điểm chấm màu xanh ở hình b) ứng với đỉnh Bắc, màu đỏ ứng với đỉnh Nam.

Để thấy được xu thế biến đổi hàng năm của đỉnh dị thường ion hóa xích đạo, chúng tôi tính các tham số đỉnh dị thường trung bình năm và kết quả được trình bày ở hình 8. Từ hình 8 chúng ta thấy rõ ràng rằng vào thời kỳ hoạt tính mặt trời cực tiểu, các đỉnh có xu thế tiến gần xích đạo từ hơn và xuất hiện sớm hơn; trái lại vào thời kỳ hoạt tính mặt trời cực đại các đỉnh có xu thế dịch ra xa xích đạo hơn và xuất hiện muộn hơn. Kết luận này đã thu được bởi Le Huy et al. (2016).



Hình 7. Phân dư số vết đen mặt trời và phân dư biên độ TEC trung bình tháng.



Hình 8. a) Số vết đen mặt trời, b) và b') Vĩ độ các đỉnh và c) Thời gian xuất hiện trung bình năm các đỉnh dị thường ion hóa xích đạo khu vực Đông Nam Á giai đoạn 2008-2018. Các điểm hình tròn ứng với đỉnh Bắc, các điểm hình thoi ứng với đỉnh Nam.

4. KẾT LUẬN

Từ việc xây dựng các bản đồ hàm lượng điện tử tổng cộng tầng điện ly theo thời gian và vĩ độ dựa trên số liệu GPS liên tục của mạng lưới trạm GPS ở Việt Nam và các nước lân cận khu vực Đông Nam Á đã đưa tới một số kết luận sau đây:

- Mạng lưới GPS liên tục trên lãnh thổ Việt Nam và các trạm của Trung tâm dịch vụ quốc tế phân bố xung quanh kinh tuyến 105°E kéo dài từ 10,44996°S (trạm XMIS, Australia) đến 10,38791°N (trạm MTEV, Việt Nam) cho phép nghiên cứu đầy đủ đặc trưng dị thường điện ly xích đạo ở khu vực Đông Nam Á.

- Kết quả phân tích wavelet chuỗi thời gian hàng ngày các tham số các đỉnh dị thường ion hóa xích đạo khu vực cho thấy rằng biên độ TEC cả hai đỉnh dao động với các chu kỳ 27 ngày, 6 tháng, 1 năm và 31 tháng (gần 2 năm), dao động chu kỳ 6 tháng chiếm ưu thế trong phổ biên độ TEC cả hai đỉnh. Ngoài chu kỳ 6 tháng và 1 năm, vĩ độ các đỉnh dị thường dao động với các chu kỳ 15 ngày và 53 ngày, ngoài ra vĩ độ đỉnh Bắc còn dao động với chu kỳ 31 tháng; dao động chu kỳ 1 năm chiếm ưu thế ở biên độ phổ vĩ độ đỉnh Nam, trong khi dao động chu kỳ 6 tháng và 1 năm ở vĩ độ đỉnh Bắc có biên độ phổ gần tương đương. Thời gian xuất hiện các đỉnh dị thường đều dao động với cùng chu kỳ 15 ngày, 4 tháng, 6 tháng, 1 năm và 29-30 tháng; dao động chu kỳ 1 năm chiếm ưu thế ở biên độ phổ thời gian xuất hiện cả hai đỉnh.

- Biên độ TEC và số vết đen mặt trời trung bình tháng tương quan với nhau rất tốt với các hệ số tương quan là 0,887 và 0,871 đối với đỉnh Bắc và đỉnh Nam một cách tương ứng; các hệ số này đối với các giá trung bình trượt 13 tháng đối với cả hai đỉnh là 0,988. Phần dư số vết đen mặt trời và phần dư biên độ TEC trung bình tháng sau khi loại đi các giá trị trung bình trượt 13 tháng, tương quan với nhau với các hệ số là 0,44 và 0,38 đối với đỉnh Bắc và đỉnh Nam một cách tương ứng. Điều này cho thấy rằng các chu kỳ nhỏ hơn 01 năm chịu ảnh hưởng của nhiều quá trình vật lý

- Vào thời kỳ thời kỳ hoạt tính mặt trời cực tiểu, các đỉnh có xu thế tiến gần xích đạo từ hơn và xuất hiện sớm hơn; trái lại vào thời kỳ hoạt tính mặt trời cực đại các đỉnh có xu thế dịch ra xa xích đạo hơn và xuất hiện muộn hơn.

- Tiến triển theo thời gian của các đỉnh dị thường ion hóa xích đạo có quan hệ mật thiết với hoạt động của Mặt Trời, trường từ Trái Đất và nhiều quá trình vật lý trong tầng khí quyển thấp (tầng đối lưu và tầng bình lưu).

Những kết quả thu được trong báo cáo này sẽ đóng góp thông tin vào việc xây dựng mô hình liên kết toàn bộ khí quyển phục vụ nghiên cứu dự báo thời tiết không gian vũ trụ trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Appleton E., (1946). Two anomalies in the Ionosphere, *Nature*, 157, 691.
- [2]. Balan N., L. Liu and H. J. Le, 2018. A brief review of equatorial ionization anomaly and ionospheric irregularities, *Earth Planet. Phys.*, 2, 257-275, doi:10.26464/epp2018025.
- [3]. Carrano C. & K. Groves, (2009). Ionospheric data processing and analysis. Workshop on Satellite Navigation Science and Technology for Africa, The Abdus Salam ICTP, Trieste, Italy.
- [4]. Cliver E. W., L. Svalgaard and A. G. Ling, (2004). Origins of the semiannual variation of geomagnetic activity in 1954 and 1994, *Ann. Geophys.*, 22, 93-100.
- [5]. Donibgues M. O., O. Mendes Jr., A. Mendes da C., 2005. On wavelet techniques in atmospheric sciences, *Adv. Space Res.*, 35, 831-842.
- [6]. Ebdon R. A., (1975). The quasi-biennial oscillation and its association with tropospheric circulation patterns, *Met. Mag.*, 104, 282-297.
- [7]. Forbes J. M., M. E. Hagan, S. Miyahara, F. Vial, A. H. Manson, C. E. Meek and Y. I. Portnyagin, (1995). Quasi 16-day oscillation in the mesosphere and lower thermosphere, *J. Geophys. Res.*, 100, NO.D5, 9149-9163.
- [8]. Forbes J. M., M. E. Hagan and X. Zhang, (2007). Seasonal cycle of nonmigrating diurnal tides in the MLT region due to tropospheric heating rates from the NCEP/NCAR Reanalysis Project, *Adv. Space Res.*, 39, 1347-1350, doi: 10.1016/j.asr.2003.09.076.
- [9]. Graystone P., (1959). Meteorological office discussion on tropical meteorology, *Met. Mag.*, 88, 117.

- [10]. Guharay A., D. Nath, P. Pant, B. Pande, J. M. Russell and K. Pandey, (2009). Observation of semiannual and annual oscillation on equatorial middle atmospheric long term temperature pattern, *Ann. Geophys.*, 27, 4273-4280.
- [11]. Huang K. M., A. Z. Liu, S. D. Zhang, F. Yi, C. M. Huang, Q. Gan, Y. Gong, Y. H. Zhang and R. Wang, (2015). Observational evidence of quasi-27 day oscillation propagating from the lower atmosphere to the mesosphere over 20oN, *Ann. Geophys.*, 33, 1321-1330, doi:10.5194/angeo-33-1321-2015.
- [12]. Lau K. M. and S. Yang, (2002). Walker Circulation, rwas.2002.0450, ed: M. Shankar, doi:10.1006/rwas.2002.0450.
- [13]. M. Le Huy, C. Amory-Mazaudier, R. Fleury, A. Bourdillon, P. Lassudrie-Duchesne, L. Tran Thi, T. Nguyen Chien and T. Nguyen Ha, P. Vila, (2014). Time variations of the total electron content in the Southeast Asian equatorial ionization anomaly for the period 2006-2011, *Adv. Space Res.*, 54, 355-368, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2013.08.03>.
- [14]. Le Huy Minh, Tran Thi Lan, C. Amory Mazaudier, R. Fleury, A. Bourdillon, J. Hu, Vu Tuan Hung, Nguyen Chien Thang, Le Truong Thanh, Nguyen Ha Thanh, (2016a). Continuous GPS network in Vietnam and results of study on the total electron content in the South East Asian region, *Vietnam J. Earth Sciences*, 38(2), 153-165.
- [15]. Le Huy Minh, Tran Thi Lan, R. Fleury, C. Amory Mazaudier, Le Truong Thanh, Nguyen Chien Thang, Nguyen Ha Thanh, 2016b. TEC variations and ionospheric disturbances during the magnetic storm on March 2015 observed from continuous GPS data in the Southeast Asian region, *Vietnam J. Earth Sciences*, 38(3), 287-305, doi:10.15625.0866-7187/38/3/8714.
- [16]. Liu H. L., (2016). Variability and predictability of the space environment as related to lower atmospheric forcing, *Space Weather*, 14, doi: 10.1002/2016SW001450.
- [17]. Madden R. A. and P. R. Julian, (1971). Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific, *J. Atmos. Sci.*, 28, 702-708.
- [18]. Malin S. R. C. and A. M. Işikara, (1976). Annual variation of the magnetic field, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 47, 445-457.
- [19]. McDonald A. J., R. E. Hibbins and M. J. Jarvis, (2011). Properties of the quasi 16-day wave derived from EOS MLT observations, *J. Geophys. Res.*, 116, D06112, doi: 10.1029/2010JD014719.
- [20]. Namba S., and K.-I. Maeda, 1939. Radio wave propagation, 86pp, Corona Publishing, Tokyo.
- [21]. Namboothiri S. P., P. Kishore and K. Igarashi, (2002). Climatological studies of the quasi 16-day oscillations in the mesosphere and lower thermosphere at Yamagawa (31.2oN, 130.6oE), Japan, *Ann. Geophys.*, 20, 1239-1246.
- [22]. Russell C. T., and R. L. McPherron, (1973). Semiannual variation of geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, 78(1), 92-108, doi: 10.1029/JA078i001p00092.
- [23]. Sassi F., J. P. McCormack and S. E. McDonald, (2019). Whole atmospheric coupling on intra- and inter-seasonal time scales: a source of increased predictive capacity, *Radio Science*, doi: 10.1029/2019RS006847.
- [24]. Scaife A. A., N. Butchart, C. D. Warner, D. Stainforth, W. Norton and J. Austin, (2000). Realistic quasi-biennial oscillation in a simulation of the global climate, *Geophys. Res. Lett.*, 27(21), 3481-3484, doi: 10.1029/2000GL011625.
- [25]. Schanz A. K. Hocke and N. Kämpfer, (2016). On forced and free atmospheric oscillations near the 27-day periodicity, *Earth Planets Space*, 68:97, doi: 10.1186/s40623-016-0460-y.
- [26]. Scheiben D., B. Tschanz, K. Hocke, N. Kämpfer, S. Ka and J. J. Oh, (2014). The quasi 16-day wave in mesospheric water vapor during boreal winter 2011/2012, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 6511-6522, doi: 10.5194/acp-14-6511-2014.
- [27]. Hreiber H., (1998). On the periodic variations of geomagnetic activity indices Ap and ap, *Ann. Geophys.*, 16, 510-517.
- [28]. Shinbori A., Y. Koyama, M. Nosé, T. Hori and Y. Otsuka, (2017). Characteristics of seasonal variation and solar activity dependence of geomagnetic solar quiet daily variation, *J. Geophys. Res.: Space Physics*, 122, <https://doi.org/10.1002/2017JA024342>.
- [29]. Wardinski I. and M. Manda, (2006). Annual and semi-annual variations of the geomagnetic field components analysed by the multi-taper method, *Earth Planets Space*, 58(6), 785-791.