

NHIỆT ĐỘ VÀ ĐỘ CAO TẦNG ĐỐI LƯU TẠI KHU VỰC VU GIA - THU BỒN XÁC ĐỊNH BẰNG SỐ LIỆU GNSS-RO

Trịnh Thị Hoài Thu¹, Nguyễn Văn Quang¹
Nguyễn Thanh Tùng¹, Ngô Thị Phương Thảo²

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

²Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt

GNSS-RO được gọi GNSS vô tuyến che khuất là một kỹ thuật viễn thám vệ tinh, trong đó các vệ tinh GNSS truyền tín hiệu đi qua bầu khí quyển của Trái đất sẽ bị khúc xạ và được nhận bởi một máy thu GNSS trên vệ tinh quỹ đạo trái đất thấp (LEO). GNSS-RO cung cấp hồ sơ khúc xạ khí quyển chính xác. Kỹ thuật vô tuyến che khuất RO là một kỹ thuật mới được đánh giá cao và được rộng rãi để nghiên cứu bầu khí quyển Trái đất. Trong nghiên cứu này tập trung vào việc ứng dụng GNSS-RO để ước tính nhiệt độ và độ cao tầng đối lưu là những thông số khí quyển quan trọng cho khu vực Vu Gia - Thu Bồn. Dữ liệu GNSS-RO sử dụng từ các chương trình GRACE, MetOP và COSMIC từ tháng 1 năm 2008 đến tháng 12 năm 2012. Kết quả tính toán xác định nhiệt độ vào độ cao tầng đối lưu trong khu vực có giá trị $16,426 \pm 0,440$ km và $195,5 \pm 1,8$ K.

Từ khóa: GNSS-RO; Độ cao; Nhiệt độ; Tầng đối lưu.

Abstract

Determine the temperature and altitude of the troposphere by using GNSS radio occultation data in Vu Gia - Thu Bon

GNSS-RO is an active limb sounding technique, in which GNSS satellites transmit signals passing through the Earth's atmosphere and received by a GNSS receiver on low earth orbiter (LEO) satellite. GNSS-RO provides accurate atmospheric refractivity profiles. The RO technique is a highly appreciated and widely used new technique for studying the Earth's atmosphere. In this study, we focus on applying GNSS-RO data to estimate troposphere temperature and altitude, which are important atmospheric parameters for the Vu Gia - Thu Bon area. GNSS-RO data used from GRACE, MetOP and COSMIC programs from January 2008 to December 2012. Calculation results determine the temperature into the troposphere altitude in the area with a value of 16.426 ± 0.440 km and 195.5 ± 1.8 K.

Keywords: GNSS-RO; Altitude; Temperature; Troposphere.

1. Giới thiệu

GNSS-RO được gọi GNSS vô tuyến che khuất là một kỹ thuật viễn thám vệ tinh sử dụng các phép đo định vị dẫn đường GNSS (GPS) do các vệ tinh quỹ đạo Trái đất thấp nhận được để mô tả bầu khí quyển và tầng điện ly của Trái

đất với độ phân giải dọc cao và phạm vi bao phủ toàn cầu phục vụ cho nghiên cứu khí quyển và khí tượng của Trái đất [2, 3]. Tín hiệu GNSS thâm nhập vào bầu khí quyển của Trái đất và sau đó được vệ tinh LEO thu được. Tín hiệu bị bẻ cong trong quá trình thâm nhập do gradien khúc xạ khí quyển một hàm của các thông số khí

quyển như áp suất, nhiệt độ, hơi nước và góc uốn của tín hiệu được xác định [4, 7]. Khi biết góc uốn của tín hiệu, vị trí và vận tốc của vệ tinh LEO và vệ tinh GNSS thì có thể truy xuất các thông số khí quyển. Kỹ thuật RO có nhiều ưu điểm như phạm vi bao phủ toàn cầu, độ phân giải dọc cao và tính ổn định lâu dài, bù đắp cho những thiếu sót của các phương pháp quan sát truyền thống [7]. Bên cạnh đó, vùng lõi của kỹ thuật RO để đo khí quyển là từ 7 đến 25 km hoàn toàn phù hợp với việc xác định nhiệt độ và độ cao của tầng đối lưu.

Nghiên cứu này tập trung vào việc ứng dụng GNSS-RO trong kỹ thuật quan trắc khí quyển để tính nhiệt độ - độ cao tầng đối lưu cho Vu Gia - Thu Bồn theo phương pháp tỉ lệ trôi. Việc xác định nhiệt độ và độ cao tầng đối lưu cho cả 3 hệ thống GNSS-RO đó là GRACE, MetOP và COSMIC từ năm 2008 đến năm 2012 trên lưu vực Vu Gia - Thu Bồn. Dữ liệu tầng đối lưu của khu vực được xác định dựa trên kết quả tính trung bình của 3 hệ thống.

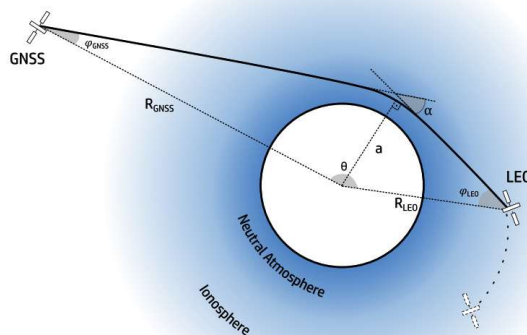
2. Phương pháp xác định nhiệt độ và độ cao tầng đối lưu bằng GNSS-RO

Kỹ thuật GNSS (RO) dựa trên các phép đo tần số kép chính xác được thực

hiện bởi bộ thu GNSS trên vệ tinh tầm thấp (LEO). Ảnh hưởng của tầng đối lưu lên tín hiệu GNSS được chia thành hai phần.

Thành phần thứ nhất là sự giảm tốc độ lan truyền của tín hiệu GNSS trong vùng có mật độ hữu hạn so với vùng có mật độ trong chân không, dẫn đến tăng thời gian tín hiệu đến được máy thu. Sự gia tăng thời gian này có thể được biểu thị bằng độ dài đường truyền vượt quá, dẫn đến độ trễ quang học.

Thành phần thứ hai làm tín hiệu đi theo đường cong thay vì đường thẳng do tác động khúc xạ của mật độ thay đổi của khí quyển (định luật Snell) dẫn đến độ trễ hình học. Do hiện tượng khúc xạ, các tín hiệu GNSS mà các vệ tinh LEO nhận được sẽ bị trễ và đường đi tia của chúng hơi bị cong khi đi qua các lớp khác nhau của khí quyển. Sự chậm trễ trong tín hiệu nhận được bởi vệ tinh LEO được quan sát là một sự khác biệt về pha và biên độ, từ đó sự trễ pha được đảo ngược với hiện tượng khúc xạ khí quyển bằng cách sử dụng phép biến đổi Abel. Tín hiệu GNSS sẽ bị bẻ cong từ máy phát GNSS và vệ tinh địa tĩnh khi tín hiệu đi qua bầu khí quyển và tầng điện ly của Trái đất.



Hình 1: Sơ đồ hình học của GNSS-RO [6]

Nghiên cứu

Theo nguyên tắc của Bouguer tín hiệu truyền qua môi trường được xác định theo công thức:

$$rn(r)\sin\varphi = a = \text{const} \quad (1)$$

Trong đó: r là khoảng cách từ tâm của đường cong của khí quyển, $n(r)$ là chiết suất là góc của tia tới và vector chỉ tới tâm đường cong a . Tại điểm thấp nhất của quỹ đạo r_t , góc $\varphi = 90^\circ$ và (1) thành

$$r_t n(r_t) = a \quad (2)$$

Phương trình (2) rất hữu ích khi xác định phép đo độ cao phổ biến liên quan đến điểm tiếp tuyến: Độ cao tiếp tuyến của đường thẳng (SLTA). SLTA là chiều cao của một đường thẳng tương đương giữa máy phát và máy thu, được đo tại r_t . Như vậy, SLTA bằng 0 có nghĩa là đường ngắm giữa các vệ tinh tiếp tuyến với bề mặt Trái đất và SLTA âm có nghĩa là đường ngắm nằm dưới bề mặt Trái đất.

Giả định về hình học quang học cho phép chúng ta mô tả góc uốn của một tia bằng cách sử dụng biến đổi Abel. Giả sử tia đi qua một vật thể đối xứng hình cầu có tính chất khúc xạ được mô tả bởi $n(r)$, góc uốn được xác định [6]:

$$\alpha(a) = -2a \int_{r_t}^{\infty} \frac{1}{n} \frac{dn}{dr} \frac{1}{\sqrt{r^2 n(r)^2 - a^2}} dr \quad (3)$$

Tương tự như vậy, nếu cho trước góc uốn $\alpha(a)$, biến đổi Abel, chiết suất được xác định theo công thức [6]:

$$n(a_1) = \exp \left(\frac{1}{\pi} \int_{a_1}^{\infty} \frac{\alpha(a)}{\sqrt{a^2 - a_1^2}} da \right) \quad (4)$$

Chúng ta có thể xác định được:

$$r_1 = \frac{a_1}{n(a_1)}$$

Một điều quan trọng cần lưu ý rằng khi thảo luận về khí quyển thì cộng đồng các nhà khoa học thường nói tới khúc xạ N thay thế cho chiết suất n và chúng có mối quan hệ như sau:

$$N \equiv (n-1) \cdot 10^6$$

Các thông số khí quyển như nhiệt độ, áp suất và mật độ không khí được tính toán từ độ khúc xạ N được thể hiện bằng phương trình:

$$N = \frac{\kappa_1}{Z_d} \frac{P_d}{T} + \frac{\kappa_2}{Z_w} \frac{P_w}{T^2} + \frac{\kappa_3}{Z_w} \frac{P_w}{T} \quad (5)$$

Trong đó: P_d và P_w lần lượt là áp suất riêng phần của không khí khô và hơi nước tính bằng (mbar); Z_d và Z_w là các hệ số nén không lý tưởng tương ứng, ở trạng thái khí lý tưởng hệ số nén là bằng một; T là nhiệt độ khí quyển tính bằng K. Các giá trị tiêu chuẩn cho các hệ số trong biểu thức (5) là $\kappa_1 = 77,643$ K/hPa, $\kappa_2 = 3,75463 \cdot 10^5$ K²/hPa, và $\kappa_3 = 71,2952$ K/hPa và hệ số nén có thể nhỏ hơn tới 0,05 % so với hệ số đơn vị trong các phần đặc hơn của bầu khí quyển [1].

Thành phần thứ nhất phía bên phải của phương trình (5) xét trong điều kiện khí quyển trung tính khô, phụ thuộc chủ yếu vào không khí khô và cũng là thành phần không lưỡng cực của hơi nước. Từ thành phần này, các mặt cắt thẳng đứng về nhiệt độ và áp suất từ tín hiệu GNSS được xác định.

Thành phần thứ hai và thứ ba phía bên phải của phương trình (5), được gọi là thành phần ướt hoặc ẩm, phụ thuộc vào thành phần lưỡng cực của hơi nước. Khi độ ẩm không đáng kể, số hạng thứ hai và thứ ba ở vế phải trong biểu thức (5) biến mất và ở trạng thái

khí lý tưởng, độ khúc xạ tỉ lệ thuận với mật độ không khí. Sử dụng phương trình của trạng thái đối với một loại khí lý tưởng và giả sử trạng thái cân bằng thủy tĩnh, biểu đồ áp suất khô thu được bằng cách tích hợp một phiên bản của phương trình thủy tĩnh từ một ranh giới phía trên nơi áp suất được giả định là đã biết:

$$\frac{d \ln P}{dH} = -\frac{g(H)N(H)}{R\kappa_1 P(H)} \quad (6)$$

Ở đây, H là độ cao mực nước biển trung bình, g(H) là gia tốc trọng trường và R là hằng số khí đối với không khí khô. Nhiệt độ khô được tính từ áp suất khô và độ khúc xạ quan sát được (sử dụng phương trình (5) và bỏ qua thuật ngữ “ướt”).

Sau khi xác định được nhiệt độ tầng đối lưu dọc theo chiều cao việc trích xuất độ cao của tầng đối lưu có thể được xác định. Độ cao tầng đối lưu được xác định là độ cao của khoảng lặng tầng đối lưu (khu vực ranh giới giữa tầng đối lưu và tầng bình lưu). Việc đo sự thay đổi nhiệt độ theo độ cao trong tầng đối lưu và tầng bình lưu giúp nhận ra vị trí của khoảng lặng đối lưu. Tại tầng đối lưu thì nhiệt độ giảm theo độ cao nhưng ngược lại, trong tầng bình lưu thì nhiệt độ ban đầu giữ ở mức không đổi rồi sau đó lại tăng lên theo độ cao. Khu vực của khí quyển mà tỉ lệ giảm nhiệt thay đổi dấu từ dương (tầng đối lưu) sang âm (tầng bình lưu) được xác định như là khoảng lặng đối lưu. Vì thế, khoảng lặng đối lưu là lớp nghịch nhiệt và ở đây chỉ có rất ít sự pha trộn giữa hai tầng của khí quyển.

Từ mặt cắt dọc của nhiệt độ tầng đối lưu, độ cao tầng đối lưu được xác định dựa trên định nghĩa nhiệt được cung cấp bởi WMO [8]. WMO định nghĩa độ cao của tầng đối lưu là “mức thấp nhất mà

gradient nhiệt độ giảm xuống còn 2 K/km hoặc ít hơn, với điều kiện tốc độ giảm đi trung bình giữa mức này và tất cả các mức cao hơn khác trong vòng 2 km không vượt quá 2 K/km”. Ngoài WMO, cũng có một số định nghĩa khác về độ cao tầng đối lưu tập trung vào hành vi của các đại lượng động lực học hoặc các thay đổi vết của khí. Tuy nhiên, phương pháp được sử dụng phổ biến nhất để xác định vị trí của tầng đối lưu vẫn là tiêu chí của WMO.

Cần lưu ý rằng sự suy giảm nhiệt độ ở mức ngưỡng của WMO có thể xảy ra ở nhiều vị trí độ cao khí quyển (đặc biệt trên các vùng vĩ độ trung bình, vùng cực và thậm chí cả ở vùng nhiệt đới) nhưng ở đây chỉ xem xét đến vị trí có gradient nhiệt độ thấp đầu tiên. Tốc độ suy giảm nhiệt độ được tính từ 500 hPa đến 70 hPa, tương ứng với độ cao trung bình khoảng 6 km và 19 km, và được đưa ra bởi [5]:

$$\Gamma_{(z_i)} = -\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{T_{i+1} - T_i}{z_{i+1} - z_i} \quad (7)$$

Trong đó: T và z lần lượt là nhiệt độ và độ cao trên mực nước biển. Theo WMO (1957), nếu $(T_{z_i}) > T_{WMO}$, trong đó $T_{WMO} = -2K/km$, thì các điều kiện sau cần xem xét:

- Tốc độ suy giảm nhiệt độ trung bình giữa z_i và $(z_{i+2} \text{ km})$ có lớn hơn T_{WMO} không?
- Nếu nó thỏa mãn điều kiện trên, tốc độ suy giảm nhiệt độ trung bình giữa các lớp (z_{i+1}, z_i) , (z_{i+2}, z_{i+1}) và (z_{i+3}, z_{i+2}) phải lớn hơn T_{WMO} , trong khi giá trị suy giảm nhiệt độ trung bình giữa các lớp (z_i, z_{i-1}) , (z_{i-1}, z_{i-2}) và (z_{i-2}, z_{i-3}) phải nhỏ hơn T_{WMO} .

Nếu hai điều kiện này được đáp ứng thì vị trí độ cao (z_i) có tốc độ suy giảm nhiệt độ trung bình đầu tiên được chọn là độ cao tầng đối lưu.

Nghiên cứu

Trong trường hợp có nhiều mức độ cao đáp ứng các tiêu chí này, tầng đối lưu được gán cho vị trí xuất hiện thấp nhất. Để tránh độ cao tầng đối lưu cao hoặc thấp phi thực tế và để tăng tốc độ tính toán, phạm vi tìm kiếm của thuật toán được giới hạn trong khoảng từ 550 hPa đến 75 hPa (khoảng 4 - 19 km).

3. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu

Vu Gia - Thu Bồn là một trong chín lưu vực lớn nhất tại Việt Nam, nằm ở 14°57'10" đến 16°16'50" vĩ độ Bắc, 107°53'50" đến 108°12'20" kinh độ Đông. Để xác định độ cao tầng đối lưu từ dữ liệu GNSS-RO do sứ mệnh vệ tinh GRACE, MetOp và COSMIC cung cấp trong vòng 60 tháng trong khoảng thời gian kéo dài từ tháng 01 năm 2008 đến tháng 12 năm 2012.

Các sản phẩm dữ liệu RO từ các vệ tinh được nhóm theo cấp độ dữ liệu (cấp 0, 1A, 1B, 2A, 2B, 2C hoặc 3). Tùy từng mức dữ liệu nhất định mà chứa danh sách các biến dữ liệu riêng biệt. Trong nghiên cứu này sử dụng dữ liệu ở cấp 1B.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Nhiệt độ và độ cao tầng đối lưu xác định từ dữ liệu MetOp, GRACE và COSMIC

Nhiệt độ tầng đối lưu sẽ được lấy tại vị trí độ cao tầng đối lưu và độ cao tầng đối

lưu của khu vực nghiên cứu được xác định từ dữ liệu GNSS-RO của vệ tinh MetOp, GRACE và COSMIC từ tháng 01 năm 2008 đến tháng 12 năm 2012. Kết quả được thể hiện trong Bảng 1. Độ cao tầng đối lưu được xác định từ dữ liệu GNSS-RO của vệ tinh MetOp có giá trị thấp nhất là 15,842 km vào tháng 8 năm 2008, tương ứng với giá trị nhiệt độ tại vị trí độ cao này là 198K và giá trị cao nhất là 17,265 km vào tháng 2 năm 2010, tương ứng với nhiệt độ là 192K. Độ cao tầng đối lưu trung bình các năm được xác định từ dữ liệu MetOp có giá trị cao nhất vào tháng 2, thấp nhất vào tháng 7 và điều này ngược với giá trị nhiệt độ của tầng đối lưu. Đối với độ cao tầng đối lưu xác định từ vệ tinh GRACE cho thấy giá trị độ cao nằm trong khoảng từ 15,875 km đến 17,176 km tương ứng với giá trị thấp nhất được xác định vào tháng 7 năm 2008 và giá trị cao nhất được xác định tại tháng 3 năm 2010. Trong thời gian nghiên cứu, nhiệt độ tầng đối lưu được xác định từ dữ liệu GRACE có giá trị khá tương đồng từ $195,5K \pm 0,2K$ với giá trị thấp nhất vào năm 2012 và cao nhất là năm 2012. Từ tháng 01 năm 2008 đến tháng 12 năm 2012 từ dữ liệu vệ tinh COSMIC xác định được giá trị độ cao trung bình là 16,448 km và nhiệt độ trung bình là 195,5K với độ cao thấp nhất là 15,885 km tại tháng 7 năm 2010 tương ứng với nhiệt độ là 198K và độ cao cao nhất là 17,030 km vào tháng 01 năm 2010 với nhiệt độ tương ứng là 195K.

Bảng 1. Dữ liệu nhiệt độ và độ cao tầng đối lưu được xác định từ dữ liệu MetOp, GRACE và COSMIC từ năm 2008 - 2012 (H- độ cao, T- nhiệt độ)

Tháng	H-08 (km)	T-08 (K)	H-09 (km)	T-09 (K)	H-10 (km)	T-10 (K)	H-11 (km)	T-11 (K)	H-12 (km)	T-12 (K)
1-MetOp	16,594	195	16,627	195	16,901	193	16,527	195	16,667	194,5
2-MetOp	16,637	194	17,053	192,5	17,265	192	16,488	194,5	16,706	194,5
3-MetOp	16,661	193,5	16,727	194,5	17,020	194	16,527	195	16,636	195
4-MetOp	16,442	195	16,658	195,5	16,679	195	16,715	194,5	16,721	195,5

Tháng	H-08 (km)	T-08 (K)	H-09 (km)	T-09 (K)	H-10 (km)	T-10 (K)	H-11 (km)	T-11 (K)	H-12 (km)	T-12 (K)
5-MetOp	16,433	196	16,387	197	16,637	196	16,532	195,5	16,479	195,5
6-MetOp	16,086	197	16,281	196,5	16,294	197	16,322	196,5	16,338	196,5
7-MetOp	15,899	197	16,061	197,5	16,030	198	16,007	197	16,006	197
8-MetOp	15,842	198	16,070	197	16,032	197	16,025	197	16,091	196
9-MetOp	16,079	196	16,259	196	16,097	196,5	16,115	196,5	16,085	196
10-MetOp	16,125	196	16,496	194,5	16,193	196	16,213	196	16,492	194
11-MetOp	16,569	195	16,410	195	16,318	196	16,283	195,5	16,584	194
12-MetOp	16,617	195	16,889	194	16,434	196	16,454	196	16,695	194,5
TB _M	16,332	195,6	16,493	195,4	16,492	195,5	16,351	195,8	16,458	195,3
1-GRACE	16,668	194,5	16,646	195	16,938	193	16,492	195	16,496	195
2-GRACE	16,682	194	16,858	193	17,141	193	16,489	194,5	16,550	194
3-GRACE	16,693	193,5	16,506	195,5	17,176	193	16,595	195	16,886	194
4-GRACE	16,257	195,5	16,646	195	16,729	195	16,725	194,5	16,641	196
5-GRACE	16,540	195,5	16,245	197	16,541	196,5	16,517	195,5	16,581	195
6-GRACE	16,293	196,5	16,080	197	16,249	197	16,330	196,5	16,140	197
7-GRACE	15,875	197	16,087	197,5	16,007	198	15,935	197,5	15,943	197,5
8-GRACE	15,922	197	15,980	197	16,005	197	15,973	197	16,155	196
9-GRACE	16,070	196	16,260	196	16,088	196,5	16,129	196,5	16,090	196
10-GRACE	16,166	196	16,500	194,5	16,234	196	16,304	195	16,450	194,5
11-GRACE	16,377	196	16,488	195	16,404	195	16,385	195	16,592	194
12-GRACE	16,549	195,5	16,755	194	16,273	196,5	16,461	196	16,460	195,5
TB _G	16,341	195,6	16,421	195,5	16,482	195,5	16,361	195,7	16,415	195,4
1-COSMIC	16,979	194	16,918	194	17,030	193	16,627	195	16,523	195
2-COSMIC	16,538	194,5	16,981	193	16,950	193	16,965	193	16,929	193,5
3-COSMIC	16,798	193	16,758	194	16,726	194,5	16,832	194	16,584	195
4-COSMIC	16,547	195	16,613	195	16,673	195	16,696	194,5	16,489	196
5-COSMIC	16,535	195	16,405	196	16,577	196	16,489	195,5	16,297	196,5
6-COSMIC	16,120	197	16,122	197	16,125	197,5	16,307	196,5	16,167	197
7-COSMIC	16,092	197	16,006	198	15,885	198	16,025	197	15,930	197,5
8-COSMIC	15,927	197	15,997	197	16,210	197	16,087	196,5	16,058	196
9-COSMIC	16,193	196	16,031	197	16,029	197	16,234	196	16,137	196
10-COSMIC	16,497	195	16,324	195	16,281	196	16,223	196	16,338	194,5
11-COSMIC	16,520	195,5	16,607	195	16,394	196	16,578	195	16,333	195,5
12-COSMIC	16,751	195	16,777	194	16,562	195	16,861	195	16,674	194,5
TB _C	16,458	195,3	16,462	195,4	16,454	195,7	16,494	195,3	16,372	195,6

4.2. Nhiệt độ và độ cao tầng đối lưu khu vực Vu Gia - Thu Bồn

Nhiệt độ và độ cao tầng đối lưu của cả khu vực được xác định bằng trung bình của độ cao tầng đối lưu được xác định từ dữ liệu GNSS-RO của 3 vệ tinh MetOp, GRACE và COSMIC, kết quả được trình

bày trong Bảng 2. Từ số liệu Bảng 2 và Hình 2 cho thấy độ cao tầng đối lưu của khu vực có giá trị thấp nhất là 15,897 km vào tháng 8 năm 2008 tương ứng với giá trị nhiệt độ là 197,2 và giá trị cao nhất là 17,119 km vào tháng 2 năm 2010 với giá trị nhiệt độ là 192,7. Có thể thấy rằng độ

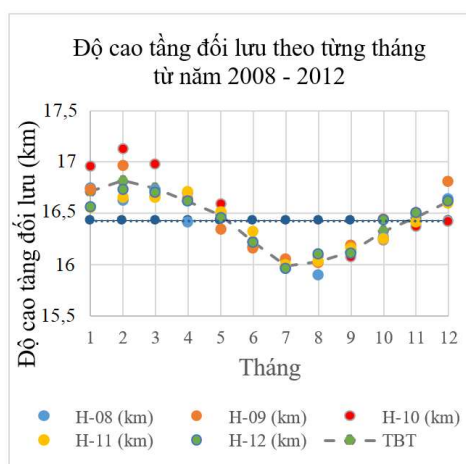
Nghiên cứu

cao tầng đối lưu tính theo giá trị trung bình từ tháng 01 năm 2008 đến tháng 12 năm 2012 là 16,426 km, giá trị độ cao tầng đối lưu thay đổi theo các tháng với giá trị cao vào tháng 1, 2, 3, 4, 5 và tháng 11, 12, giá trị thấp hơn giá trị trung bình

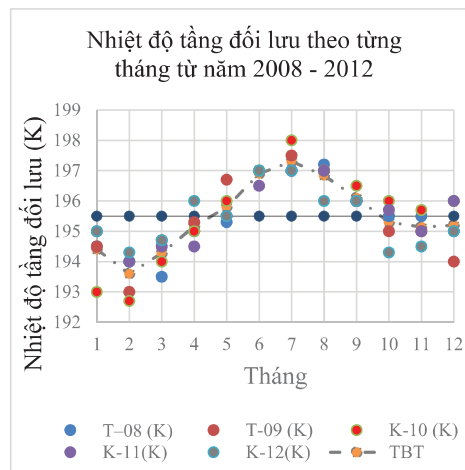
vào các tháng 6, 7, 8, 9, 10. Trái ngược với độ cao, các tháng có nhiệt độ tầng đối lưu cao hơn giá trị trung bình 195,5K là vào 5, 6, 7, 8 và 9, còn nhiệt độ thấp hơn giá trị trung bình là vào tháng 1, 2, 3, 4 và tháng 10, 11, 12.

Bảng 2. Dữ liệu nhiệt độ và độ cao tầng đối lưu của khu vực từ năm 2008 - 2012 (H- độ cao, T- nhiệt độ)

N	H-08 (km)	T-08 (K)	H-09 (km)	T-09 (K)	H-10 (km)	K-10 (K)	H-11 (km)	K-11 (K)	H-12 (km)	K-12 (K)
1	16,747	194,5	16,730	194,5	16,956	193,0	16,549	195,0	16,562	195,0
2	16,619	194,0	16,964	193,0	17,119	192,7	16,647	194,0	16,728	194,3
3	16,717	193,5	16,664	194,7	16,974	194,0	16,651	194,5	16,702	194,7
4	16,415	195,0	16,639	195,3	16,694	195,0	16,712	194,5	16,617	196,0
5	16,503	195,3	16,346	196,7	16,585	196,0	16,513	195,5	16,452	195,5
6	16,166	197,0	16,161	197,0	16,223	197,0	16,320	196,5	16,215	197,0
7	15,955	197,0	16,051	197,5	15,974	198,0	15,989	197,0	15,960	197,0
8	15,897	197,2	16,016	197,0	16,082	197,0	16,028	197,0	16,101	196,0
9	16,114	196,0	16,183	196,0	16,071	196,5	16,159	196,0	16,104	196,0
10	16,263	195,5	16,440	195,0	16,236	196,0	16,247	195,7	16,427	194,3
11	16,489	195,5	16,502	195,0	16,372	195,7	16,415	195,0	16,503	194,5
12	16,639	195,0	16,807	194,0	16,423	196,0	16,592	196,0	16,610	195,0



(a)



(b)

Hình 2: Biểu đồ phân bố độ cao của tầng đối lưu qua các năm (a) và giá trị trung bình tầng đối lưu qua theo tháng (b)

Dữ liệu nhiệt độ tầng đối lưu được lấy từ dữ liệu 3 vệ tinh MetOp, GRACE và COSMIC từ tháng 01 năm 2008 đến tháng 12 năm 2012 được tổng hợp theo trung bình tháng so sánh với dữ liệu độ cao trung bình tầng đối lưu. Kết quả cho thấy giữa nhiệt độ và độ cao tầng đối lưu

được thể hiện theo hàm tuyến tính với hệ số xác định $R^2 = 0,7886$ tương ứng với hệ số tương quan là $-0,8881$. Từ biểu đồ Hình 3 cho thấy độ cao và nhiệt độ tầng đối lưu tại khu vực có tương quan nghịch, khi giá trị độ cao tầng đối lưu tăng lên thì nhiệt độ tầng đối lưu giảm.

