

CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA PHƯƠNG PHÁP PHƯƠNG SAI RỜI TRONG NGHIÊN CỨU DÒNG NHIỆT, ẨM, KHÍ CO₂ VÀ CÁC ĐẶC TRƯNG KỸ THUẬT CỦA TRẠM QUAN TRẮC DÒNG NAM CÁT TIỀN

TRẦN CÔNG HUÂN⁽¹⁾, ĐINH BÁ DUY⁽¹⁾, KURBATOVA JU.A.⁽²⁾,
DESHEREVXKAIA O.A.⁽²⁾, AVILOV V.⁽²⁾

I. MỞ ĐẦU

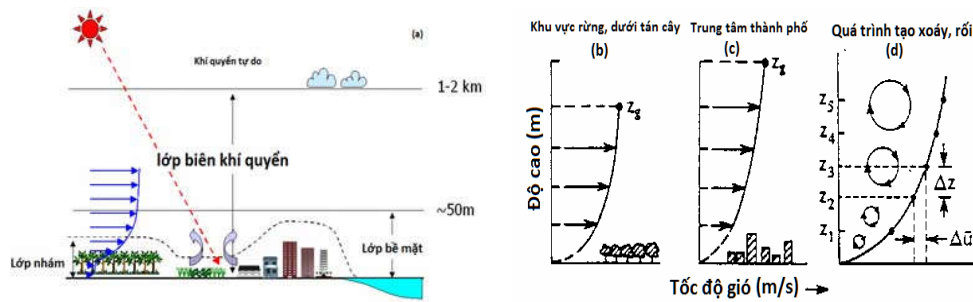
Biến đổi khí hậu (BĐKH) hiện nay đang là vấn đề quan tâm của toàn nhân loại. Một trong những nguyên nhân làm Trái Đất nóng dần lên là hiệu ứng nhà kính. Trên lục địa, thảm thực vật có vai trò quan trọng trong việc điều tiết các khí nhà kính. Để nghiên cứu xác định, đánh giá dòng nhiệt, hơi nước và khí CO₂ trao đổi với khí quyển của các kiểu thảm thực vật khác nhau, một loạt trạm quan trắc dòng đã được các nhà khoa học thiết lập tại nhiều nơi trên thế giới và năm 1998 chính thức hình thành một mạng lưới gọi là FluxNet [9]. Về ý nghĩa khoa học, trạm quan trắc dòng cho phép nghiên cứu chi tiết chức năng điều tiết khí hậu của một hệ sinh thái. Về mặt thực tiễn, các số liệu thu được của mạng lưới quan trắc dòng là cơ sở để các chính phủ và tổ chức quốc tế hoạch định chính sách hành động ứng phó với BĐKH, trong đó có việc định giá rừng để chi trả cho các quốc gia có rừng theo Nghị định thư Kyoto.

Việt Nam là một quốc gia có tỷ lệ che phủ rừng cao, trong đó có nhiều rừng nguyên sinh với năng lực tích tụ cacbon lớn. Trong những năm gần đây việc xác định lượng cacbon tích tụ của các kiểu thảm thực vật được các nhà nghiên cứu trong nước thực hiện chủ yếu theo phương pháp chia ô rừng, lấy mẫu thực vật, phân tích cacbon [1]. Phương pháp này chỉ cho phép ước tính lượng cacbon của rừng trên một diện tích hẹp và tại một thời điểm nhất định. Tháp quan trắc dòng cho phép theo dõi liên tục, lâu dài động học các dòng nhiệt, ẩm và khí CO₂ của diện tích rừng rộng lớn trong mối liên quan với các yếu tố sinh thái, khí hậu. Việc xây dựng các trạm nghiên cứu dòng tại các hệ sinh thái rừng ở nước ta là rất cần thiết. Trạm quan trắc dòng Nam Cát Tiên (NCT Flux) là trạm nghiên cứu dòng đầu tiên trên lãnh thổ Việt Nam do Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga xây dựng trong khuôn khổ đề tài hỗn hợp Việt - Nga E1.1. Bài báo giới thiệu nguyên lý của phương pháp phương sai rời trong quan trắc dòng và các đặc trưng kỹ thuật của trạm nghiên cứu dòng NCT Flux.

II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA PHƯƠNG PHÁP PHƯƠNG SAI RỜI (EDDY COVARIANCE) TRONG NGHIÊN CỨU CÁC DÒNG NHIỆT, ẨM VÀ KHÍ CO₂

2.1. Cơ sở vật lý

Lớp biên là phần thấp nhất của khí quyển, trong đó chế độ gió, nhiệt, ẩm chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của điều kiện bề mặt và bức xạ mặt trời. Lớp thấp nhất của lớp biên, từ mặt đất lên đến khoảng 50 m, gọi là lớp bề mặt. Lớp nhám là phần dưới của lớp bề mặt, tạo nên bởi các vật như rừng cây, các toà nhà... cản luồng chuyển động không khí theo phương nằm ngang làm hình thành các chuyển động rối [3, 5], (hình 1)



Hình 1. Cấu trúc lớp biên khí quyển (hình a); Mặt cắt gió tại các mặt nhám khác nhau (hình b, c) và sự hình thành chuyển động rối (hình d)

Trong lớp nhám, năng lượng mặt trời được hấp thụ bởi lớp bề mặt sau đó giải phóng vào khí quyển dưới dạng hiện nhiệt (do gradient nhiệt độ), ẩn nhiệt (do bay hơi nước) và CO_2 (do thực vật hấp thụ, thải ra trong chu trình quang hợp). Các dòng nhiệt, ẩm và CO_2 trong lớp biên được trao đổi với lớp khí quyển bên trên thông qua những chuyển động rối quy mô nhỏ [4, 5]. Như vậy, đặc trưng khí hậu của một khu vực được hình thành bởi quá trình khí quyển diễn ra ở lớp bề mặt thông qua vận động của các thành phần năng lượng bức xạ (hấp thụ, phát xạ) và các dòng hiện nhiệt, ẩn nhiệt.

2.2. Cơ sở toán học

Thuật ngữ “flux” (thông lượng, dòng) được dùng để chỉ dòng năng lượng, vật chất đi qua một đơn vị diện tích, trong một đơn vị thời gian và là một vector [5]. Nếu coi lớp bề mặt là đồng nhất theo phương nằm ngang, chúng ta có thể bỏ qua mọi vận chuyển năng lượng theo phương này, chỉ còn dòng vận chuyển theo phương thẳng đứng giữa không khí và mặt đất. Về cơ bản có 4 dòng năng lượng: 1) Dòng bức xạ (hấp thụ và phát xạ) của mặt đất; 2) Dòng hiện nhiệt; 3) Dòng ẩn nhiệt; 4) Dòng nhiệt truyền dẫn của đất. Theo định luật bảo toàn năng lượng, nhiệt lượng thu được của lớp đất độ dày z phải bằng năng lượng thu được thông qua 4 dòng năng lượng kể trên:

$$\int_{\Delta z} \frac{\partial}{\partial t} (c_g \rho_g T_g) dz = R_n - SH - LH - G \quad (1)$$

Trong phương trình (1): T_g , c_g , ρ_g tương ứng là nhiệt độ, nhiệt dung riêng và tỷ trọng đất, Δz - độ dày của lớp đất, R_n - bức xạ thuần, SH - dòng hiện nhiệt, LH - dòng ẩn nhiệt và G dòng nhiệt truyền vào lớp đất bên dưới. Khi $\Delta z \rightarrow 0$, phương trình bằng 0, ta có

$$R_n = SH + LH + G \quad (2)$$

Khi độ dày lớp đất bằng 0, năng lượng thu được và mất đi tại đây luôn cân bằng, không có tích trữ nhiệt. Năng lượng mặt trời được hấp thụ tại bề mặt sẽ chuyển hoá thành ẩn nhiệt, hiện nhiệt và nhiệt truyền vào lớp đất phía dưới [5, 7].

Xét một thực thể chất lỏng φ , có nguồn S được đặt trong một hộp hình lập phương, tất cả các mặt hộp hoàn toàn thấm thấu, với vận tốc dòng chảy tương ứng theo các phương (x, y, z) lần lượt là u , v , w ; thông lượng vật chất φ do dòng chảy trung bình tương ứng là $(u\varphi, v\varphi, w\varphi)$, ta có thể biểu diễn tốc độ biến đổi của vật chất φ theo thời gian:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -\frac{\partial(u\phi)}{\partial x} - \frac{\partial(v\phi)}{\partial y} - \frac{\partial(w\phi)}{\partial z} + S_\phi \quad (3)$$

Nếu chúng ta xem xét mật độ ρ của môi trường chất lỏng không nén được ($\rho = \text{const}$) như một thực thể ϕ , và giả sử không có nguồn của chất lỏng, ta được:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

Trong chuyển động nhiễu loạn để có được thông tin thống kê có ý nghĩa chúng ta phải tách các biến thành giá trị trung bình và thành phần nhiễu theo:

$$u = \bar{u} + u'; \quad v = \bar{v} + v'; \quad w = \bar{w} + w'; \quad \phi = \bar{\phi} + \phi' \quad (5)$$

Theo tính chất trung bình hóa Reynolds [2, 4] ta có:

$$\begin{aligned} \overline{u'} &= \overline{v'} = \overline{w'} = \overline{\phi'} = 0; & \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} &= \frac{\partial(\bar{\phi} + \phi')}{\partial t} = \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} \\ \overline{u\phi} &= \overline{(\bar{u} + u')(\bar{\phi} + \phi')} = \bar{u}\bar{\phi} + \overline{u'\phi'} \end{aligned} \quad (6)$$

Thay phương trình (5) vào (3) và sử dụng các mối quan hệ trên, chúng ta có được phương trình biểu diễn sự thay đổi vật chất theo thời gian như sau:

$$\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} = -\frac{\partial(\bar{u}\bar{\phi})}{\partial x} - \frac{\partial(\bar{v}\bar{\phi})}{\partial y} - \frac{\partial(\bar{w}\bar{\phi})}{\partial z} - \frac{\partial(\bar{u}\phi')}{\partial x} - \frac{\partial(\bar{v}\phi')}{\partial y} - \frac{\partial(\bar{w}\phi')}{\partial z} + \bar{S}_\phi \quad (7)$$

Tương tự, áp dụng khai triển trung bình hóa Reynolds cho (4), thu được:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

Xét trường hợp dòng chảy đồng nhất theo chiều ngang, có thể bỏ qua các thành phần ngang trong (8), tức là $\partial/\partial x = \partial/\partial y = 0$, ta có:

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (9)$$

điều này có nghĩa vận tốc trung bình theo chiều thẳng đứng là hằng số.

Trong thực tế, đối với các hệ sinh thái trong tự nhiên, chẳng hạn trong rừng, dòng không khí không thể lưu thông qua mặt đất, $w = 0$ ở bề mặt và phương trình (7) trở thành:

$$\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} = -\frac{\partial(\bar{w}\phi')}{\partial z} + \bar{S}_\phi \quad (10)$$

Tích phân phương trình này từ bề mặt ($z = 0$) đến một chiều cao tùy ý z , thu được

$$(\bar{w}\phi')_z + \int_0^z \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} dz = F_0 + \int_0^z \bar{S}_\phi dz \quad (11)$$

Ở đây F_0 là thông lượng từ bề mặt. Đối với chuyển động của dòng không khí trong rừng tại độ cao z , phương trình này có ý nghĩa là tổng của thông lượng xoáy tại độ cao z ($(\bar{w}\phi')_z$) và tích lũy vật chất ϕ theo thời gian bên dưới độ cao z ($\int_0^z \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} dz$)

bằng với thông lượng đi ra từ bề mặt (F_0) và nguồn (lá, thân cây...) tồn tại trong khoảng không bên dưới độ cao z ($\int_0^z \bar{S}_\phi dz$). Cũng do xuất phát từ cách tiếp cận thông

lượng trao đổi tại độ cao z do dòng xoáy gây ra ($(\bar{w}\phi')_z$) nên đây được gọi là phương pháp phương sai rối (Eddy Covariance (EC)) [6, 7].

Giá trị trao đổi thuần của thực thể ϕ giữa khí quyển và rừng có thể ước lượng bằng cách đo các hạng tử trong vế trái của phương trình (11). Thành phần phương sai xoay $\overline{w'\phi'}$ có thể được tính toán bằng cách lấy trung bình theo thời gian tích của nhiễu động vận tốc (w') và thực thể ϕ , trong đó các thành phần nhiễu được tính toán thông qua các phép đo có tốc độ lấy mẫu cao nhờ sử dụng các cảm biến phản ứng nhanh. Thành phần lưu trữ ($\int_0^z \overline{S_\phi} dz$) có thể được đo bằng cách sử dụng các cảm biến chậm đặt tại các vị trí bên dưới độ cao z .

Như vậy áp dụng lý thuyết EC, xem xét dòng CO_2 , hơi nước, dòng ẩn nhiệt và hiện nhiệt như thực thể ϕ trong môi trường chất lỏng, các dòng trao đổi này được tính toán theo các công thức sau [6, 7]:

$$\text{Dòng } \text{CO}_2 \text{ trao đổi: } F_C = \overline{w'CO_2'} \quad [\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}] \quad (12)$$

$$\text{Dòng } \text{H}_2\text{O} \text{ trao đổi: } F_{H_2O} = \overline{w'H_2O'} \quad [\mu\text{mol}/\text{m}^2.\text{s}] \quad (13)$$

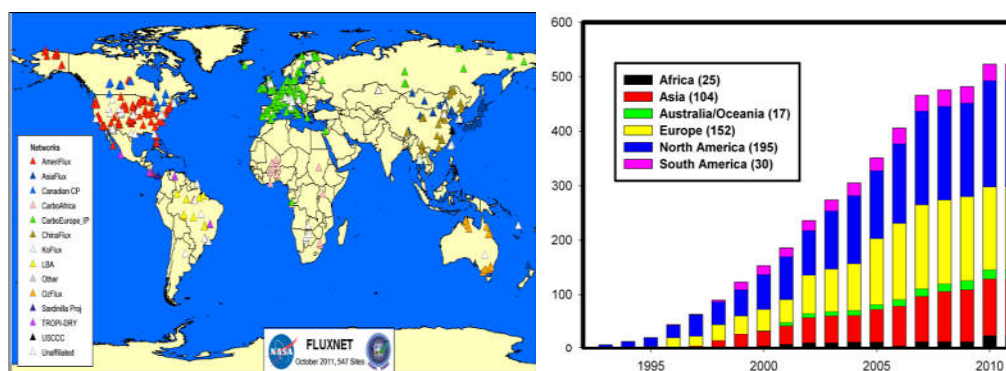
$$\text{Dòng ẩn nhiệt trao đổi: } LH = \lambda \rho \overline{w'.q'} \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (14)$$

$$\text{Dòng hiện nhiệt trao đổi: } SH = C_p \rho \overline{w'.T'} \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (15)$$

Trong đó: λ : Ẩn nhiệt hóa hơi; ρ : Mật độ không khí
 w' : Nhiễu động của thành phần gió thẳng đứng
 CO_2' : Nhiễu động của thành phần CO_2 trong không khí
 H_2O' : Nhiễu động của thành phần hơi nước trong không khí
 q' : Nhiễu động của thành phần mật độ hơi nước trong không khí

2.3. Sự phát triển của mạng lưới trạm nghiên cứu dòng trên thế giới

Khoảng từ 1990, hàng loạt trạm nghiên cứu dòng được xây dựng tại nhiều nước dẫn tới việc hình thành mạng lưới toàn cầu “FluxNet” năm 1998. Đến nay FluxNet đã có gần 540 trạm. Năm 1995, sau hội thảo khoa học La Thuile (Italia), hệ thống các trạm đo dòng của từng châu lục được hình thành: Mạng lưới “CarboEurope” của châu Âu năm 1996, “Ameriflux” của châu Mỹ năm 1997, “Asiaflux” của châu Á năm 1999 [9] (hình 2).



Hình 2. Quá trình phát triển của các mạng lưới quan trắc dòng trên thế giới

III. ĐẶC TRƯNG KỸ THUẬT CỦA TRẠM NGHIÊN CỨU DÒNG NCT FLUX

3.1. Đặc điểm vị trí xây dựng trạm nghiên cứu dòng NCT

Trong phương pháp phương sai rời, điều kiện tối ưu về địa điểm xây dựng trạm quan trắc phải đáp ứng các yêu cầu sau: Diện tích rừng rộng trên 30 ha; thảm thực vật đồng nhất; rừng chưa từng bị cháy; độ dốc địa hình không quá 5° ; không có hướng gió thịnh hành ưu thế; cách xa các thủy vực và nguồn phát CO_2 ; thuận tiện vận chuyển, cấp điện, bảo vệ và không quá xa nơi có thể lập phòng thí nghiệm [6, 7]. Kết quả khảo sát trong các năm 2009 - 2010 tại các khu vực VQG Cát Tiên, Mã Đà, Ba Vì, Cúc Phương cho thấy rừng Nam Cát Tiên thỏa mãn nhiều nhất các tiêu chí nêu trên. Vị trí xây dựng trạm được chọn nằm tại tọa độ $11^{\circ}26'30''$ N, $107^{\circ}24'4''$ E, độ cao 156 m so với mực nước biển, cách khu hành chính của VQG Cát Tiên 5 km, cách đường ô tô 50 m.

Về hạng mục, trong khuôn viên trạm (diện tích $10 \times 10 \text{ m}^2$) có tháp, tổ hợp thiết bị đo, buồng đặt các thiết bị phụ trợ và lưới rào bảo vệ. Ngoài ra, tại khu hành chính của VQG có các phòng thí nghiệm phục vụ việc định kỳ hiệu chỉnh thiết bị và xử lý sơ bộ số liệu.

3.2. Hình dáng, kích thước tháp

Từ cơ sở lý thuyết và kinh nghiệm các tháp quan trắc của nước ngoài, tháp cần đạt được các tiêu chí sau: Chiều cao tháp cao hơn trần tán rừng trên 15 m, kích thước, khối lượng vật liệu xây dựng tháp không ảnh hưởng đến tính nguyên trạng của thảm thực vật xung quanh, không gây nhiễu loạn các yếu tố vi khí hậu khu vực, độ bền vững đảm bảo an toàn cho người và thiết bị trên các độ cao, dao động do gió của phần đỉnh tháp không đáng kể [6, 7]. Từ các yêu cầu đó, tháp của trạm NCT có hình trụ vuông, tiết diện ngang $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, tổng chiều cao 50 m (độ cao trần tán rừng tại điểm xây dựng là 35 m), chất liệu thép, sử dụng móng diêm và được cố định bằng hệ thống dây neo (hình 3).



Hình 3. Tháp NCT Flux và thảm rừng xung quanh

3.3. Tổ hợp các thiết bị, thông số đo và vị trí lắp đặt cảm biến của trạm NCT

Tổ hợp thiết bị đo của trạm gồm 16 chủng loại, với 51 đầu đo do hãng Campbell Scientific, Mỹ cung cấp đồng bộ (bảng 1).

Bảng 1. Tổ hợp các thiết bị, thông số đo và vị trí lắp đặt cảm biến của trạm NCT

Mã hiệu/Hãng SX/Cảm biến	Yếu tố ghi đo	Vị trí lắp đặt
CSAT3/ CS, USA/ Siêu âm 3D	Tốc độ gió theo 3 phương x, y, z	Trên đỉnh tháp, độ cao 50m, tần suất đo 10 Hz
LI7500A/ Li-Cor, USA/ Open-path gas analyzer	Nồng độ CO ₂ , hơi nước và áp suất không khí	
HMP45C/ Vaisala, Finland/ Thermometer-hygrometer	Nhiệt độ và độ ẩm không khí	
LI190SB/ Li-Cor, USA/ Photo synthetically active radiation	Bức xạ dài quang hợp, theo 2 hướng trên xuống và dưới lên	
NR01/Hukseflux, Netherlands/ 4-component radiometer	Bức xạ hồng ngoại sóng ngắn, sóng dài, 2 hướng xuống và lên	
TE525MM/ Texas Electronics, USA/ Rain gauge	Lượng mưa	
T108/CS, USA/Temperature sensor	Nhiệt độ không khí tại 7 độ cao	28; 19; 10.; 5; 2; 1 và 0,3m
LI820/Li-Cor, USA/ Close-path gas analyzer	CO ₂ trong không khí tại 8 độ cao	46; 28; 19; 10; 5; 2; 1; 0,3 m
LI190SB/Li-Cor, USA/Photo synthetically active radiation	Bức xạ dài quang hợp (theo 2 hướng trên xuống và dưới lên)	Cao cách mặt đất 2m
TCAV-L/CS, USA/ Temperature average	Nhiệt độ trung bình đất (xác định tỷ số Bowen)	Tại 2 độ sâu 2cm và 6cm
CS616 /CS, USA/ Moisture content reflectometer	Hàm lượng nước trong đất (bằng phản xạ kế)	Tại độ sâu 6cm
HFP01/Hukseflux, Netherlands/ Heat flux plate	Dòng nhiệt trao đổi của đất qua tấm phẳng	Tại 3 vị trí, độ sâu 8cm.
T108/CS, USA/Temperature sensor	Nhiệt độ đất tại 3 vị trí, 12 điểm	4 độ sâu 5, 20, 30, 50 cm
CS616/CS, USA/ Moisture content reflectometer	Độ ẩm đất tại 3 vị trí, 12 điểm	4 độ sâu 5, 20, 30, 50 cm
257L /CS, USA/ Soil water potential	Độ ẩm tiềm năng đất tại 3 vị trí	Độ sâu 5cm
CC640/CS, USA/ Digital camera	Tự động chụp ảnh tán rừng tại 3 thời điểm 7, 12 và 17giờ	Độ cao 18 m

3.4. Dữ liệu đầu ra

Dữ liệu từ tổ hợp khối đo EC được lưu trữ thành hai file dưới dạng nhị phân, với 102 biến đầu ra gồm các biến trung gian, biến thông tin, hiệu chỉnh và biến chỉ báo thời gian. Trong đó file lưu trữ kết quả đo với tần suất 10 Hz có 13 biến đầu ra, file thứ 2 bao gồm 89 biến là số trung bình 30 phút của các thông số đo được. Định dạng của cả hai file này được bố trí theo kiểu tuần tự, bản ghi chứa các cột số liệu xếp nối tiếp nhau (hình 4).

TimeStamp	RECORD RN	Hs W/m ² Smp	Fc_wpl mg/(m ² s) Smp	LE_wpl W/m ² Smp	Hc W/m ² Smp	tau kg/(m s ²) Smp	u_star m/s Smp	Ts_mean C Smp	stdev_Ts C Smp	cov_Ts_Ux m C/s Smp	cov_Ts_Uy m C/s Smp
2011-12-09 21:30:00	926	-17.35	0.09	19.94	-18.45	0.11	0.31	26.20	0.21	-0.06	-0.04
2011-12-09 22:00:00	927	-5.82	0.02	7.35	-6.23	0.02	0.13	26.10	0.14	-0.01	-0.01
2011-12-09 22:30:00	928	0.34	0.00	-0.09	0.34	0.01	0.08	26.06	0.14	0.00	-0.02
2011-12-09 23:00:00	929	-0.33	-0.01	0.76	-0.38	0.02	0.13	25.86	0.15	-0.01	-0.01
2011-12-09 23:30:00	930	-5.96	0.10	7.74	-6.39	0.02	0.15	25.96	0.19	-0.02	0.00
2011-12-10 00:00:00	931	-9.69	0.19	17.65	-10.70	0.05	0.21	25.48	0.21	-0.04	-0.07

TimeStamp	RECORD RN	Ux m/s Smp	Uy m/s Smp	Uz m/s Smp	Ts C Smp	CO2 mg/m ³ Smp	H2O q/m ³ Smp	press kPa Smp	diag_csat unitless Smp	diag_lrga unitless Smp	aqc percent Smp	t_hmp C Smp	e kl Smp
2011-12-09 16:28:02.700	16494985	-0.73	0.24	0.16	27.35	680.41	22.88	98.65	0.00	0.00	44.00	24.58	12
2011-12-09 16:28:02.800	16494986	-0.95	0.25	0.12	27.37	680.42	22.84	98.66	0.00	0.00	44.00	24.59	2
2011-12-09 16:28:02.900	16494987	-0.88	0.21	0.06	27.37	680.49	22.84	98.66	0.00	0.00	44.00	24.56	2
2011-12-09 16:28:03.000	16494988	-0.90	0.14	0.21	27.33	680.16	22.98	98.66	0.00	0.00	44.00	24.55	2
2011-12-09 16:28:03.100	16494989	-1.07	0.31	0.09	27.38	680.31	22.93	98.65	0.00	0.00	44.00	24.59	2
2011-12-09 16:28:03.200	16494990	-0.79	0.47	-0.09	27.32	680.47	22.94	98.65	0.00	0.00	44.00	24.60	2
2011-12-09 16:28:03.300	16494991	-1.12	0.30	0.04	27.32	680.44	22.87	98.65	0.00	0.00	44.00	24.61	2

Hình 4. Dữ liệu đầu từ tổ hợp khối đo EC

Dữ liệu từ tổ hợp khối đo profile CO₂ và nhiệt độ tại 8 độ cao; nhiệt độ, độ ẩm đất tại các 4 độ sâu và dòng nhiệt trao đổi của đất tại 3 vị trí được lưu trữ thành các file với định dạng tương tự như file đầu ra của tổ hợp EC. Các file ảnh do camera chụp tự động tại các thời điểm 7 giờ, 12 giờ và 17 giờ hàng ngày cho biết trạng thái thời tiết, tán rừng dùng làm căn cứ đối chiếu, hỗ trợ phân tích các kết quả đo. Bộ nhớ của trạm NCT Flux lưu trữ được dữ liệu quan trắc 40 ngày. Số liệu từ NCT Flux được đồng bộ hóa (bổ sung những giá trị thiếu, lỗi và nghi ngờ) theo phương pháp trung bình hóa các thời điểm bằng phần mềm. Các dòng ẩn nhiệt, hiện nhiệt, CO₂ trao đổi của rừng với khí quyển được tính theo (12), (14), (15).

Kết quả xử lý số liệu thu được 6 tháng đầu 2012 về trị số và quy luật biến động các dòng ẩn nhiệt, hiện nhiệt, CO₂ bước đầu phù hợp với kết quả công bố của các tác giả nước ngoài và đặc điểm sinh thái, khí hậu khu vực (sẽ được giới thiệu trong một bài báo khác).

IV. KẾT LUẬN

1. Phương pháp phương sai rời rạc với việc sử dụng các thiết bị đo hiện đại, có tần suất đo 10 Hz, ở nhiều độ cao khác nhau cho phép xác định và theo dõi động học các dòng nhiệt, ẩm nhiệt và khí CO₂ trao đổi giữa giữa thảm thực vật và khí quyển một cách liên tục, trên diện tích rộng với độ chính xác cao.

2. Trạm nghiên cứu dòng nhiệt, ẩm và khí CO₂ Nam Cát Tiên đáp ứng các tiêu chí kỹ thuật của một trạm quan trắc dòng theo tiêu chuẩn của mạng lưới nghiên cứu dòng FluxNet. Vị trí, quy cách xây dựng tháp và hệ thống thiết bị đo đồng bộ của trạm cho phép thu thập được các số liệu nghiên cứu đáng tin cậy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bảo Huy. 1998. *Phương pháp nghiên cứu ước tính trữ lượng cacbon của rừng tự nhiên làm cơ sở tính toán lượng CO₂ phát thải từ suy thoái và mất rừng ở Việt Nam*. Tạp chí NN&PTNT
2. Phan Văn Tân và CS. 2001. *Các phương pháp thống kê trong khí tượng*. ĐHQG Hà Nội.
3. Trần Tân Tiến, 2004. *Đổi lưu khí quyển*. NXB ĐHQG Hà Nội.
4. Kiều Thị Xin, 1998. *Cơ sở nhiệt động lực học khí quyển*. NXB ĐHQG Hà Nội.
5. Tsutomu Watanabe. 2007. *Basics of micrometeorology*. Institute of Low Temperature Science. Hokkaido University, Japan, AsiaFlux.
6. Marc Aubinet et al, 2010. *Eddy Covariance-A Practical Guide to Measurement and Data Analysis*.
7. Riccardo Valentini, 1997. *Fluxes of Carbon, Water and Energy of European Forests*. Department of Forest Environment and Resources. Italy.
8. http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
9. <http://fluxnet.ornl.gov/>

Nhận bài ngày 15 tháng 10 năm 2012

Hoàn thiện ngày 10 tháng 11 năm 2012

⁽¹⁾ Viện Sinh thái nhiệt đới, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

⁽²⁾ Viện Các vấn đề sinh thái và tiến hóa, Viện Hàn lâm khoa học LB Nga