

# ỨNG DỤNG DỮ LIỆU ẢNH HỒNG NGOẠI NHIỆT LANDSAT ĐA THỜI GIAN NGHIÊN CỨU HIỆN TƯỢNG CHÁY NGẦM Ở MỎ THAN

TRỊNH LÊ HÙNG\*

## TÓM TẮT

*Cháy ngầm ở mỏ than là một hiện tượng nguy hiểm, ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường sống do giải phóng khí độc, gây cháy rừng, sụt lún bề mặt các cơ sở hạ tầng. Bài báo này trình bày nghiên cứu ứng dụng dữ liệu viễn thám nhiệt đa thời gian LANDSAT nhằm phát hiện các vùng xảy ra cháy ngầm và xây dựng chương trình LST tính toán giá trị nhiệt độ bề mặt. Kết quả nhận được có thể sử dụng để giám sát các khu vực cháy ngầm, từ đó đưa ra các cảnh báo và biện pháp nhằm ngăn chặn hiện tượng trên.*

**Từ khóa:** cháy mỏ than, viễn thám, ảnh hồng ngoại nhiệt, LANDSAT, nhiệt độ bề mặt, chương trình LST.

## ABSTRACT

***The application of LANDSAT multi – temporal thermal infrared data to study coal fire***

*Coal fire is a dangerous phenomenon which affects the environment seriously by releasing toxic fumes which causes forest fires, and subsidence of infrastructure surface. This article presents study on the application of LANDSAT multi – temporal thermal infrared images, which helps to detect coal fire and develop program LST for calculating land surface temperature. The results obtained in this study can be used to monitor fire zones so as to give warnings and solutions to prevent coal fire.*

**Keywords:** coal fire, remote sensing, thermal infrared image, LANDSAT, land surface temperature, LST program.

## 1. Mở đầu

Cháy ngầm là một hiện tượng thường gặp ở các mỏ than trên thế giới. Nguyên nhân cơ bản dẫn đến hiện tượng tự cháy của than là quá trình oxy hóa của than sinh ra nhiệt, nhiệt độ tích tụ lại qua thời gian dài không có nơi thoát ra sẽ gia tăng đến nhiệt độ tới hạn và sinh ra hiện tượng tự cháy trong than. Đây là một hiện tượng rất nguy hiểm trong khai thác hầm lò, ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường sống của người dân và gây nguy hại cho các công trình xây dựng. Ở Việt Nam, một số vụ cháy ngầm đã được ghi nhận ở Quảng Ninh (2009), mỏ than Nông Sơn, Quảng Nam (2009, 2011). Tuy nhiên, do quy mô các vụ cháy ngầm này là nhỏ nên trên ảnh hồng ngoại nhiệt độ phân giải tương đối thấp (120m đối với ảnh nhiệt LANDSAT 5, 60m đối với ảnh nhiệt LANDSAT 7 và 100m đối với ảnh nhiệt LANDSAT 8), các vùng cháy ngầm này rất

---

\* TS, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội

khó phát hiện.

Cho đến nay, đã có nhiều công trình nghiên cứu của nhiều nhà khoa học trên thế giới ứng dụng dữ liệu viễn thám nhiệt giám sát hiện tượng cháy ngầm. Trong các nghiên cứu này thường sử dụng ảnh hồng ngoại nhiệt LANDSAT 5 TM (Cracknell and Mansor, 1992 [2]; Deng and et al., 2001 [3]; Zang and et al., 1997 [8]) hoặc LANDSAT 7 ETM+ (Chen and et al., 2007 [1]; Mishra and et al., 2012 [6]) xác định nhiệt độ bề mặt nhằm phát hiện các vùng xảy ra cháy ngầm. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu dừng lại ở việc tính nhiệt độ từ giá trị số của ảnh mà chưa quan tâm nhiều đến mối quan hệ giữa nhiệt độ bề mặt và lớp phủ thực vật. Bên cạnh đó, các nghiên cứu này cũng chưa đề cập đến việc sử dụng dữ liệu ảnh hồng ngoại nhiệt LANDSAT 8 trong phát hiện các vùng cháy ngầm. Vệ tinh LANDSAT 8 sau khi được phóng thành công lên quỹ đạo đã cung cấp dữ liệu ảnh phong phú và hoàn toàn miễn phí, trong đó có 2 kênh ảnh hồng ngoại nhiệt với độ phân giải không gian 100m, thời gian chụp lặp lại 16 ngày. Bài báo này, trình bày một cách tổng thể phương pháp xác định nhiệt độ bề mặt từ dữ liệu ảnh nhiệt LANDSAT các thế hệ (LANDSAT 5, 7, 8), đồng thời nghiên cứu mối quan hệ giữa nhiệt độ bề mặt và lớp phủ nhằm phát hiện các vùng dị thường về nhiệt, từ đó giúp đưa ra các cảnh báo về những vùng có khả năng xảy ra cháy ngầm.

**2. Phương pháp nghiên cứu**

**2.1 Hiệu chỉnh bức xạ**

Để tính nhiệt độ bề mặt, bước đầu tiên phải tiến hành hiệu chỉnh bức xạ để chuyển đổi giá trị số nguyên của ảnh sang giá trị thực của bức xạ ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ). Việc hiệu chỉnh bức xạ còn giúp giảm thiểu sự khác biệt khi ghép các ảnh với nhau. Phương pháp hiệu chỉnh bức xạ đối với các thế hệ ảnh LANDSAT là khác nhau. Với ảnh LANDSAT ETM, ETM+, hiệu chỉnh bức xạ được thực hiện như sau:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{max} - L_{min}}{DN_{max} - DN_{min}} (DN - DN_{min}) + L_{min} \tag{1}$$

Trong đó,  $L_{\lambda}$  - giá trị bức xạ phổ;  $L_{max}$ ,  $L_{min}$  - giá trị bức xạ phổ ứng với  $DN_{max}$  và  $DN_{min}$  ở kênh phổ (giá trị này được lấy từ dữ liệu ảnh LANDSAT);  $DN_{max}$  - giá trị số lớn nhất,  $DN_{min}$  - giá trị số nhỏ nhất [4]. Do được lưu trữ ở cấu trúc 8bit, giá trị  $DN_{max}$  và  $DN_{min}$  đối với ảnh nhiệt LANDSAT TM, ETM+ lần lượt là 255 và 1.

*Bảng 1. Giá trị  $L_{max}$ ,  $L_{min}$  đối với ảnh nhiệt LANDSAT TM, ETM+*

Band	Satellite	$L_{max}$	$L_{min}$
6.1	LANDSAT 7 /ETM+ High gain	12.65	3.2
6.2	LANDSAT 7 /ETM +Low gain	17.04	0.0
6	LANDSAT TM, ETM+	15.503	1.238

Với ảnh LANDSAT 8, hiệu chỉnh bức xạ được thực hiện như sau [5]:

$$L_{\lambda} = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \tag{2}$$

Trong đó,  $L_{\lambda}$  - giá trị bức xạ phổ;

$M_L$  - hệ số đối với từng kênh ảnh cụ thể (giá trị RADIANCE\_MULT\_BAND\_x trong dữ liệu ảnh LANDSAT 8, trong đó x là kênh ảnh);  $A_L$  - hệ số đối với từng kênh ảnh cụ thể (giá trị RADIANCE\_ADD\_BAND\_x trong dữ liệu ảnh LANDSAT 8, trong đó x là kênh ảnh);

$Q_{cal}$  – giá trị số của kênh ảnh.

**Bảng 2.** Giá trị  $M_L$ ,  $A_L$  đối với ảnh hồng ngoại nhiệt LANDSAT 8

Band	Satellite	$M_L$	$A_L$
10	LANDSAT 8	$3.3420 \cdot 10^{-4}$	$3.3420 \cdot 10^{-4}$
11	LANDSAT 8	0.10000	0.10000

### 2.2. Tính giá trị nhiệt độ độ sáng (brightness temperature)

Sau khi hiệu chỉnh bức xạ, ảnh hồng ngoại nhiệt sẽ được sử dụng để tính nhiệt độ độ sáng (brightness temperature). Việc xác định nhiệt độ từ giá trị bức xạ của ảnh hồng ngoại nhiệt LANDSAT được thực hiện như sau:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(1 + \frac{K_1}{L_{\lambda}}\right)} \tag{3}$$

Trong đó  $L_{\lambda}$  - giá trị bức xạ phổ;

$K_1, K_2$  – hằng số đối với ảnh hồng ngoại nhiệt LANDSAT (bảng 3).

**Bảng 3.** Giá trị  $K_1, K_2$  đối với ảnh hồng ngoại nhiệt LANDSAT

Band	Satellite	$K_1$ ( $mBmcm^{-2} cm^{-1} mK^{-1}$ )	$K_2$ (K)
6	LANDSAT 5	607.66	1260.56
6	LANDSAT 7	666.09	1282.71
10	LANDSAT 8	774.89	1321.08
11	LANDSAT 8	480.89	1201.14

### 2.3. Tính giá trị nhiệt độ bề mặt (land surface temperature)

Nhiệt độ có liên quan mật thiết đến độ phát xạ của bề mặt ( $\epsilon$ ). Độ phát xạ được hiểu là tỉ số năng lượng phát xạ từ bề mặt tự nhiên và năng lượng phát xạ từ vật đen ở cùng bước sóng và nhiệt độ. Phương pháp hiệu chỉnh nhiệt độ dựa vào độ phát xạ bề mặt được thực hiện như sau:

$$LST = \frac{T_B}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot T_B}{\rho}\right) * \ln \varepsilon} \quad (4)$$

Trong đó  $\lambda$  - giá trị bước sóng trung tâm;

$$\rho = \frac{h \cdot c}{\sigma}, \sigma - \text{hằng số Stefan - Boltzmann } (1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K})$$

$h$  - hằng số Plank ( $6.626 \cdot 10^{-34} J \cdot \text{sec}$ )

$c$  - vận tốc ánh sáng ( $2.998 * 10^8 \text{ m/s}$ )

Để tính độ phát xạ của bề mặt trong bài báo sử dụng chỉ số thực vật chuẩn hóa NDVI (Normalized difference vegetation index). Chỉ số thực vật NDVI là tỉ số giữa hiệu số giá trị phản xạ phổ ở kênh cận hồng ngoại và kênh đỏ trên tổng của chúng.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (5)$$

Đối với ảnh LANDSAT TM, ETM+, các kênh sóng này tương ứng với kênh 4 và kênh 3. Trong trường hợp ảnh LANDSAT 8 các kênh sóng này tương ứng là kênh 5 và kênh 4. Chỉ số NDVI nhận giá trị trong khoảng -1 - 1, trong đó thực vật có giá trị nằm trong khoảng 0.2 - 1.0. Trong trường hợp NDVI > 0.5, khu vực được xem là phủ kín bởi thực vật (sóng điện từ không tới được lớp đất) [9-10]. Đối với đất trống không có thực vật bao phủ, NDVI < 0.2. Đối với nước và đất ẩm, NDVI nhận giá trị âm.

Dựa trên chỉ số thực vật NDVI, độ phát xạ bề mặt có thể được tính bằng hai phương pháp do Van De Griend, Owen M. (1993) và Valor E., Caselles V. (1996) đưa ra. Trong phương pháp của Van De Griend A., Owen M. (1993) [9],  $\varepsilon$  được xác định như sau:

$$\varepsilon = 1.0094 + 0.047 \ln(NDVI) \quad (6)$$

Phương pháp này rất đơn giản nhưng chỉ áp dụng được cho các khu vực có tính đồng nhất với chỉ một kiểu bề mặt đặc trưng. Tuy nhiên, trên thực tế một pixel ảnh không chỉ thể hiện một loại hình lớp phủ mà có thể chứa nhiều loại hình lớp phủ khác nhau. Do vậy, xác định độ phát xạ bề mặt bằng phương pháp này còn nhiều hạn chế.

Phương pháp thứ hai do Valor E., Caselles V. (1996) [10] đưa ra cũng dựa trên chỉ số NDVI nhưng có thể áp dụng trên các khu vực không đồng nhất với nhiều kiểu bề mặt thay đổi. Trong phương pháp này, độ phát xạ của một pixel được tính bằng tổng độ phát xạ của các thành phần chứa trong đó:

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) \quad (7)$$

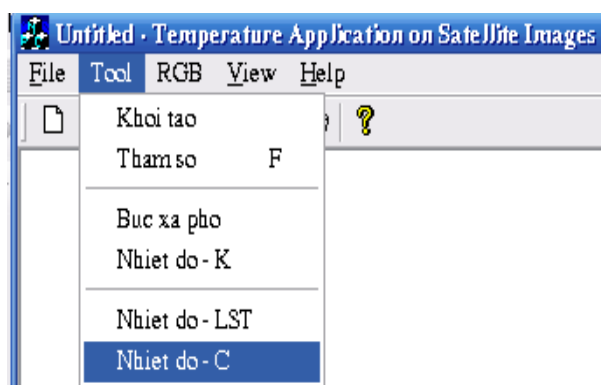
$\varepsilon_v, \varepsilon_s$  - độ phát xạ đặc trưng cho đất và thực vật thuần nhất,  $P_v$  - tỉ lệ thực vật trong một pixel.  $P_v$  có giá trị bằng 0 đối với đất trống và bằng 1 đối với khu vực được phủ kín bởi thực vật.

$$P_v = \left[ \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right]^2 \quad (8)$$

Do những ưu điểm so với phương pháp Van De Griend, Owe M., trong nghiên cứu sử dụng phương pháp của Valor E. để tính độ phát xạ bề mặt. Theo nhiều nghiên cứu trên thế giới, độ phát xạ  $\varepsilon$  được lấy bằng 0.95 trong trường hợp  $NDVI < 0.2$  và 0.99 nếu  $NDVI > 0.5$ . Trong trường hợp  $0.2 \leq NDVI \leq 0.5$ ,  $\varepsilon$  xác định theo công thức 7 [9-10].

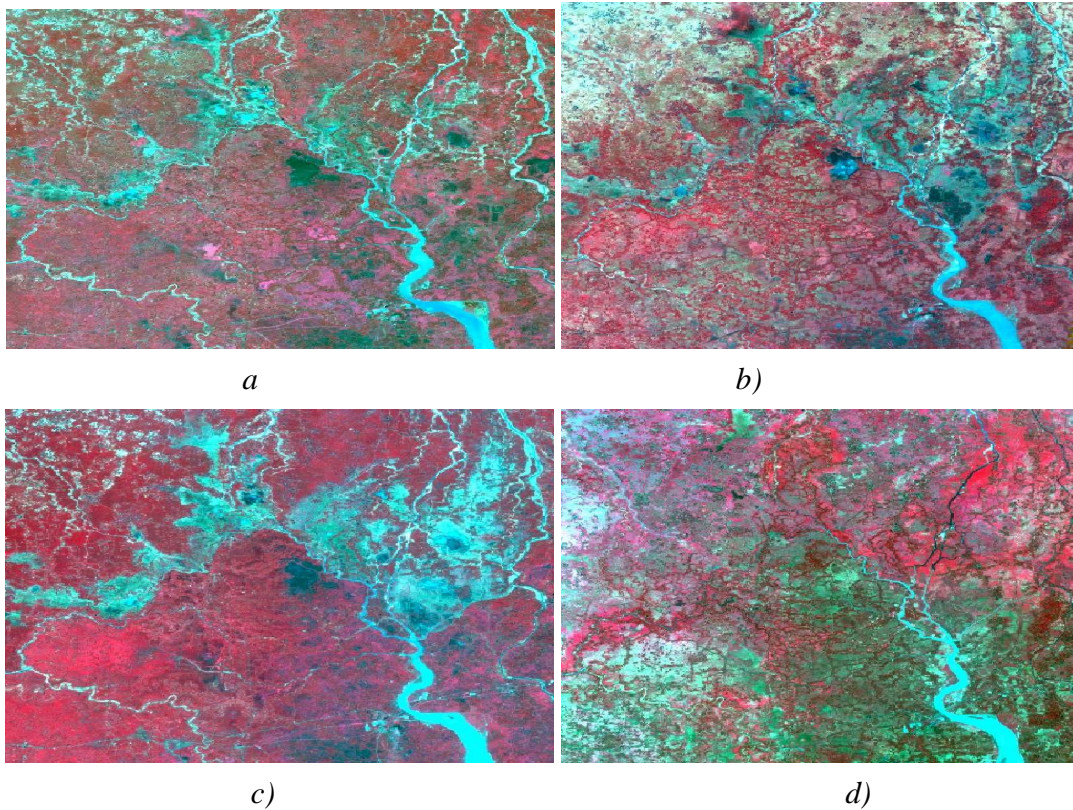
### 3. Kết quả nghiên cứu

Hiện nay trên thế giới có nhiều phần mềm xử lý ảnh viễn thám như ERDAS Imagine, ENVI, PCI... Tuy nhiên, giá thành các phần mềm này khá đắt và chỉ hỗ trợ một số hàm tính toán đơn giản. Vì vậy, để tính nhiệt độ bề mặt từ các phần mềm này gặp rất nhiều khó khăn. Trong nghiên cứu này, để xác định nhiệt độ bề mặt, tác giả đã xây dựng chương trình LST (Land surface temperature) viết bằng ngôn ngữ C++. Chương trình LST đọc ảnh viễn thám ở định dạng cơ bản TIF và có các công cụ hiệu chỉnh bức xạ, tính chỉ số thực vật NDVI, tính độ phát xạ và nhiệt độ bề mặt... Bên cạnh đó, chương trình LST còn cho phép gán màu sắc cho các vùng ảnh có giá trị độ xám xác định, điều này giúp làm nổi bật những vùng nhiệt độ cao và thấp trên ảnh. Giao diện và các công cụ của chương trình LST được minh họa trên hình 1 dưới đây:



**Hình 1.** Giao diện chương trình LST

Khu vực nghiên cứu trong bài báo này là vỉa than Jahria ở Tây Bắc Ấn Độ, cách thành phố Calcuta khoảng 200km. Đây là một trong 5 khu vực xảy ra cháy ngầm dữ dội nhất trên thế giới. Những vụ cháy ngầm ở Jahria đã được ghi nhận từ năm 1911 và cho đến nay vẫn diễn biến rất phức tạp. Số điểm xảy ra cháy ngầm lên đến gần 70 vị trí với diện tích khoảng 700km<sup>2</sup>. Một số bài báo đã nghiên cứu hiện tượng cháy ngầm ở Jharia bằng dữ liệu ảnh viễn thám, tuy nhiên kết quả chỉ dừng lại ở việc xác định nhiệt độ độ sáng (brightness temperature) mà chưa quan tâm đến ảnh hưởng của lớp phủ cũng như chưa sử dụng ảnh nhiệt đa thời gian trong đánh giá diễn biến cháy ngầm. [7]



**Hình 2.** Ảnh LANDSAT ở tổ hợp màu 432 khu vực nghiên cứu các năm 2001 (a), 2006 (b), 2009 (c) và 2013 (d)

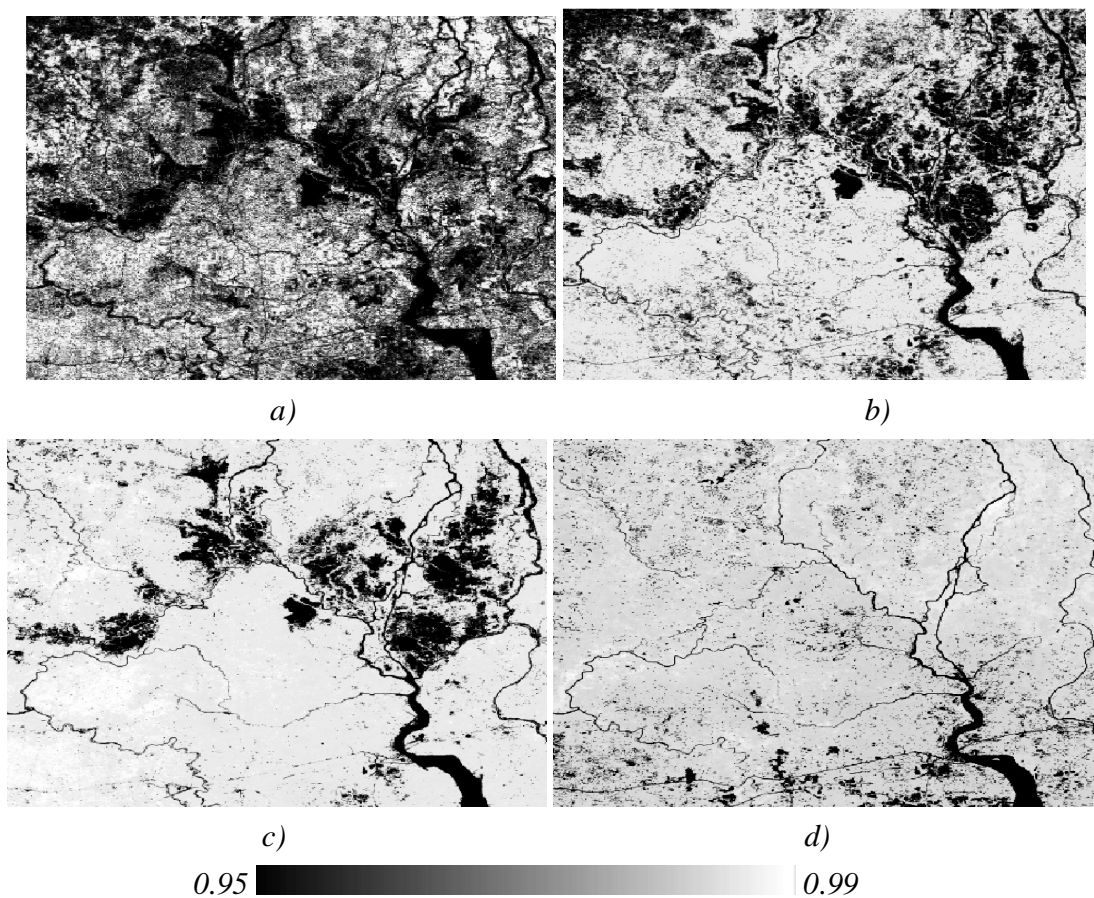
Trong bài báo này sử dụng ảnh LANDSAT đa thời gian, chụp vào 26-10-2001 (ETM+), 17-11-2006 (ETM+), 24-10-2009 (ETM+) và 26-4-2013 (LANDSAT 8) để xác định những khu vực bất thường về nhiệt, từ đó phát hiện các vùng có khả năng xảy ra cháy ngầm (hình 2).

Kết quả tính độ phát xạ ( $\epsilon$ ) và nhiệt độ bề mặt (land surface temperature) được thể hiện trên hình 3 và 4. Để làm nổi bật sự tương phản những vị trí xảy ra cháy ngầm và khu vực xung quanh, trong bài báo thể hiện những vùng có nhiệt độ bề mặt cao bất thường bằng màu đỏ (hình 5).

Phân tích kết quả nhận được cho thấy, vào 26-10-2001, diện tích những khu vực có nhiệt độ cao (màu trắng sáng) tương đối nhỏ và phân bố chủ yếu ở phía Bắc khu vực nghiên cứu. Vào 17-11-2006 và 24-10-2009, diện tích các khu vực có nhiệt độ cao bất thường tăng lên rõ rệt, tương ứng với 10.438,7 và 14.511,0 hecta. Những khu vực xảy ra cháy ngầm này vẫn tập trung ở phía Bắc khu vực nghiên cứu. Đến 26-4-2013, hầu hết những vị trí xảy ra cháy ngầm trước đó đã được xử lý, tuy nhiên, cháy ngầm lại xảy ra dữ dội ở phía Nam (13.041,4 hecta).

**Bảng 4.** Diện tích cháy ngầm trong các năm 2001, 2006, 2009, 2013

Năm	Diện tích cháy ngầm (hecta)	Năm	Diện tích cháy ngầm (hecta)
2001	3460.1	2009	14511.0
2006	10438.7	2013	13041.4



a)

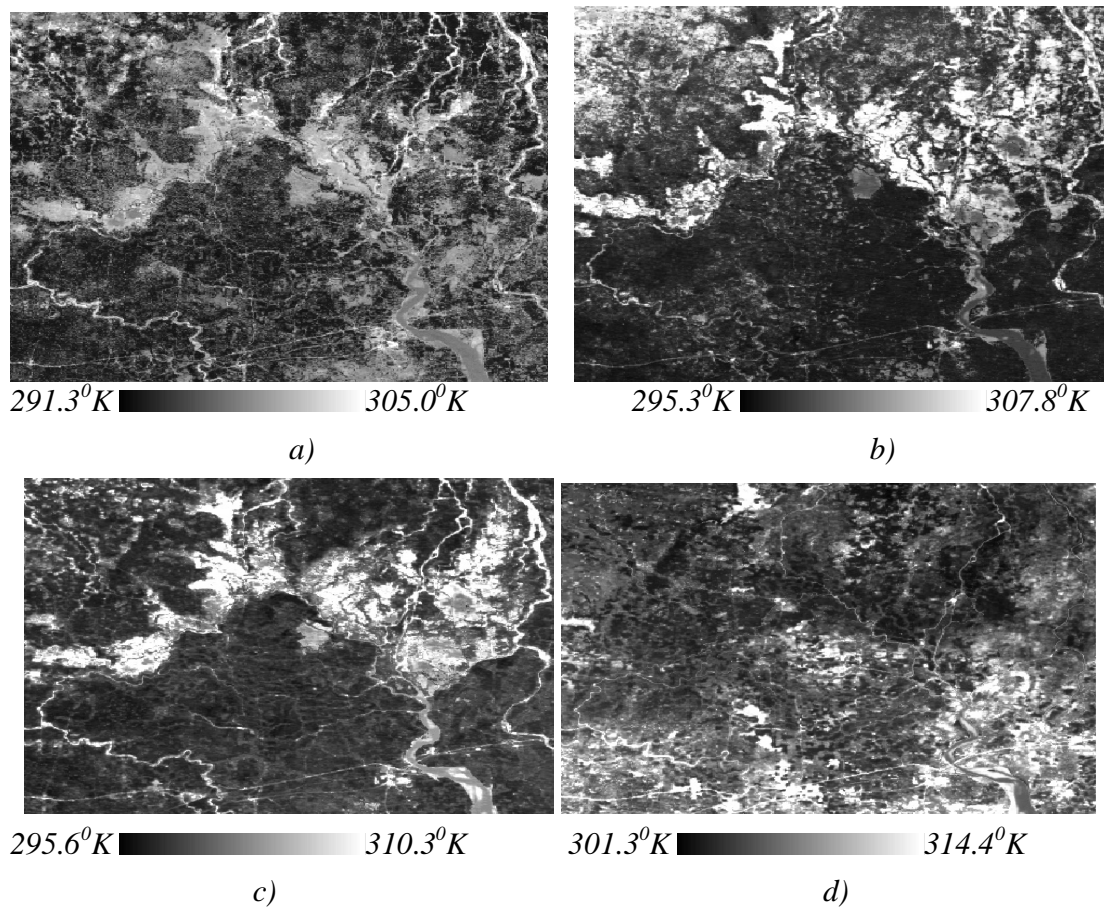
b)

c)

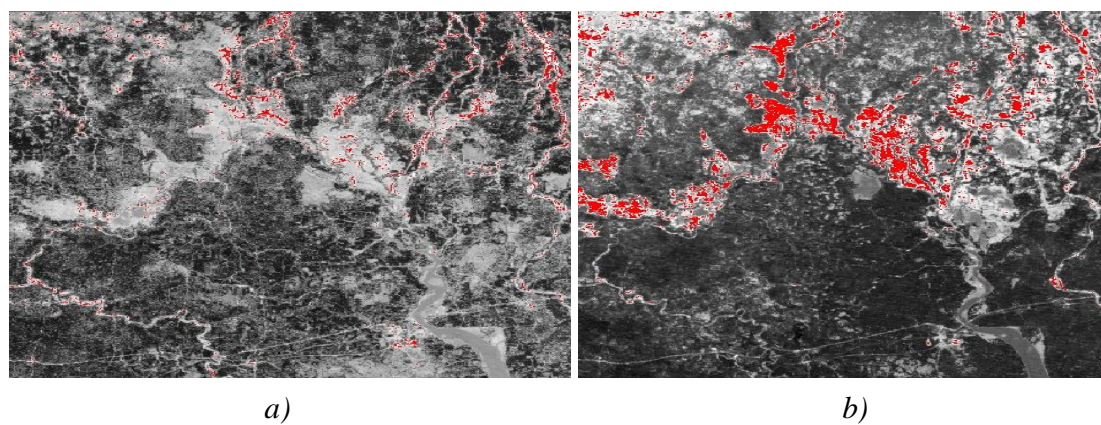
d)

0.95  0.99

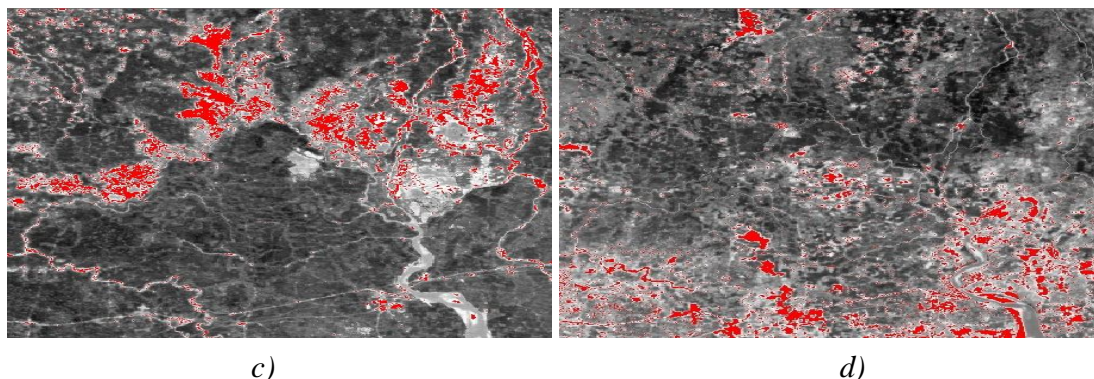
**Hình 3.** Độ phát xạ bề mặt khu vực nghiên cứu năm 2001 (a), 2006 (b), 2009 (c) và 2013 (d)



**Hình 4.** Kết quả xác định nhiệt độ bề mặt khu vực nghiên cứu năm 2001 (a), 2006 (b), 2009 (c) và 2013 (d)







**Hình 5.** Kết quả xác định các vùng có khả năng cháy ngầm khu vực nghiên cứu các năm 2001 (a), 2006 (b), 2009 (c) và 2013 (d)

#### 4. Kết luận

Cháy ngầm mỏ than là một hiện tượng hết sức nguy hiểm trong khai thác hầm lò cũng như ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống, sản xuất của người dân và tuổi thọ các công trình xây dựng. Hầu hết các loại than đều có khả năng tự cháy trong các điều kiện môi trường nhất định. Những vụ cháy ngầm thường xảy ra âm ỉ trong thời gian dài và rất khó để ngăn chặn, khắc phục nếu không phát hiện sớm. Dữ liệu viễn thám hồng ngoại nhiệt LANDSAT với độ phân giải không gian trong khoảng 60 – 120m, thời gian chụp lặp lại ngắn có khả năng ứng dụng hiệu quả trong giám sát diễn biến nhiệt độ bề mặt ở các khu vực khai thác mỏ nhằm phát hiện kịp thời các khu vực có nguy cơ xảy ra cháy ngầm.

Chương trình LST do tác giả xây dựng có thể xác định nhiệt độ từ dữ liệu ảnh LANDSAT một cách nhanh chóng và hiệu quả so với các phần mềm xử lý ảnh khác. Kết quả nhận được cho phép thành lập nhanh bản đồ phân bố nhiệt độ bề mặt cũng như phát hiện các vùng dị thường về nhiệt, từ đó đưa ra cảnh báo về các vị trí xảy ra cháy ngầm nhằm góp phần ngăn chặn và hạn chế thiệt hại do cháy ngầm gây ra.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Chen Y., Li J., Yang B., Zhang S. (2007), “Detection of coal fire location and change based on multi – temporal thermal remote sensed data and field measurements”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, Issue 15, pp. 3173 – 3179.
2. Cracknell A.P., Mansor S.B. (1992), “Detection of sub – surface coal fires using LANDSAT thematic mapper data”, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 29, pp. 750 – 753.
3. Deng, W., Wan, Y. Q. and Zhao, R. C. (2001), “Detecting coal fires with a neural network to reduce the effect of solar radiation on LANDSAT Thematic Mapper thermal infrared images”, *International Journal of Remote Sensing*, 22, pp. 933-944.

4. NASA (2011), *LANDSAT Science data users Handbook*, 186 pp.
5. NASA (2013), *LANDSAT 8 Conversions to Radiance, Reflectance and At-Satellite Brightness Temperature*, 2 pp.
6. Mishra R.K., Pandey J., Chaudhary S.K., Khalkho A., Singh V.K. (2012), “Estimation of air pollution concentration over Jharia coalfield based on satellite imagery of atmospheric aerosol”, *International Journal of Geomatics and Geosciences*, Vol. 2, pp. 723 – 729.
7. Prakash, A. and Gupta, R. P. (1999), “Surface fires in Jharia Coalfield, India - their distribution and estimation of area and temperature from TM data”, *International Journal of Remote Sensing*, 20, pp. 1935-1946.
8. Zhang, X. M., Genderen, J. L. V. and Kroonenberg, S. B. (1997), “A method to evaluate the capability of LANDSAT-5 TM band 6 data for sub-pixel coal fire detection”, *International Journal of Remote Sensing*, 18, pp. 3279-3288.
9. Van de Griend A.A., Owen M. (1993), “On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surface”, *International journal of remote sensing*, 14, pp. 1119 – 1131.
10. Valor E., Caselles V. (1996), “Mapping land surface emissivity from NDVI. Application to European African and South American areas”, *Remote sensing of Environment*, 57, pp. 167 – 184.

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 09-10-2013; ngày phản biện đánh giá: 02-12-2013;  
ngày chấp nhận đăng: 16-5-2014)