

ĐO SÂU ĐỊA HÌNH ĐÁY BIỂN VÙNG NƯỚC NÔNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐO ẢNH LẬP THỂ SỬ DỤNG DỮ LIỆU WORLDVIEW-2, THỬ NGHIỆM TẠI BÃI HẢI SÂM, QUẦN ĐẢO TRƯỜNG SA

NGUYỄN HÀ PHÚ⁽¹⁾, PHẠM MINH HẢI⁽²⁾, NGUYỄN TRỌNG TRƯỜNG SƠN⁽³⁾

⁽¹⁾Cục Viễn thám Quốc gia

⁽²⁾Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

⁽³⁾Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt:

Dữ liệu ảnh vệ tinh đa phổ đã được ứng dụng phổ biến trong đo sâu địa hình đáy biển vùng nước nông. Trước đây, phần lớn các nghiên cứu tập trung vào phương pháp xác định độ sâu dựa vào các giá trị bức xạ trên ảnh. Tuy nhiên, với khả năng chụp ảnh lập thể trên cùng một quỹ đạo của vệ tinh WorldView-2, việc đo sâu địa hình đáy biển theo phương pháp tiếp cận đo ảnh lập thể đã được quan tâm nhiều hơn do ưu điểm không cần các trị đo ngoại nghiệp. Tiến hành thử nghiệm đối với khu vực bãi Hải Sâm thuộc quần đảo Trường Sa cho thấy sau khi hiệu chỉnh bức xạ do ảnh hưởng của sóng và lóa sáng gây ra bởi phản xạ gương của ánh sáng mặt trời trên bề mặt biển cũng như hiệu chỉnh độ sâu do khúc xạ tại bề mặt giữa hai môi trường nước và không khí thì khả năng đo sâu địa hình đáy biển bằng phương pháp đo vẽ lập thể sử dụng ảnh vệ tinh WorldView-2 được tăng cường đáng kể với độ sâu tối đa có thể đạt đến là trên 42,0 m. Kết quả này cho thấy đo sâu địa hình đáy biển có thể áp dụng trong những điều kiện tương tự tại các đảo, đá và bãi ngầm tại quần đảo Hoàng Sa và quần đảo Trường Sa.

1. Giới thiệu

Thông tin về độ sâu tại các vùng biển nông là vô cùng cần thiết và quan trọng đối với các ứng dụng như thành lập hải đồ, dẫn đường hàng hải, nghề cá hay phục vụ cho công tác quản lý biển và hải đảo. Phương pháp truyền thống để thu nhận thông tin về độ sâu địa hình đáy biển thường là sử dụng các thiết bị đo sâu hồi âm dựa trên cơ sở xác định khoảng thời gian lan truyền của xung thủy âm khi di chuyển trong cột nước đến đáy biển và dội lại cùng với tốc độ của âm thanh trong nước biển. Phương pháp này có khả năng tạo ra các điểm đo hoặc các mặt cắt độ sâu với độ chính xác rất cao, tuy nhiên, nó có hạn chế là chi phí lớn và khó có thể xâm nhập được đến những vùng biển xa hay các khu vực nhạy cảm.

Việc ứng dụng công nghệ viễn thám trong đo sâu địa hình đáy biển vùng biển nông sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh đa phổ cũng đã được phát triển

rộng rãi từ nhiều năm trước. Phương pháp này xác định độ sâu từ ảnh vệ tinh sử dụng các thuộc tính của phổ điện từ, dựa trên nguyên tắc vật lý là ánh sáng nhìn thấy bị suy giảm dần trong nước khi độ sâu tăng dần. Các mô hình được sử dụng có thể là mô hình giải tích hoặc mô hình thực nghiệm. Phương pháp mô hình giải tích tuy cho độ chính xác cao nhưng tương đối phức tạp khi yêu cầu các tham số đầu vào như đặc trưng phổ của các vật chất lơ lửng và phản xạ đáy cũng như các số liệu khí tượng phải rất chính xác. Phương pháp mô hình thực nghiệm là phương pháp được phổ biến rộng rãi nhất, trong đó phải kể đến các mô hình được phát triển bởi Jupp (1988), Lyzenga (1985), Stumpf và ctv (2003) và Lyzenga và ctv (2006) [1]. Tại Việt Nam, Phan Quốc Yên và ctv cũng đã thử nghiệm mô hình của Stumpf và ctv để ước tính độ sâu khu vực nước nông ven đảo Trường Sa Lớn bằng tư liệu ảnh LANDSAT-8 với kết quả cho thấy độ sâu tối đa đạt được là 12,0 m, hệ số tương quan của mô

hình R^2 là 0,924 và RMSE là 0,99m [2]. Hạn chế của các phương pháp dựa trên mô hình thực nghiệm là đòi hỏi phải có dữ liệu đo đạc thực địa để xây dựng mối quan hệ toán học giữa giá trị bức xạ của ảnh với độ sâu đáy biển thực tế bằng phương trình hồi quy và trong điều kiện môi trường dưới nước không đồng nhất có cả các lớp phủ đáy sáng (cát/đá) và lớp phủ đáy tối (thực vật) thì kết quả chưa thực sự thỏa mãn.



Hình 1: Vị trí khu vực nghiên cứu bãi Hải Sâm (Quần đảo Trường Sa)

Đối với khu vực bãi Hải Sâm, đây là một rạn san hô vòng thuộc cụm Bình Nguyên của quần đảo Trường Sa (Việt Nam) và nằm cách đảo Vĩnh Viễn 22,22 km về phía Nam. Bãi Hải Sâm có dạng hình tròn với đường kính khoảng 11,12 km bao gồm một vùng biển có độ sâu từ 25,0 m đến 46,0 m và 5 đá được đặt tên là đá Hoa, đá Ninh Cơ, đá Hội Đức, đá Định Tường và đá Triêm Đức. Khu vực này nhạy cảm, khó tiếp cận lại không có dữ liệu đo đạc ngoại nghiệp và dữ liệu khí tượng chính xác nên các phương pháp kể trên rất khó áp dụng trong thực tiễn. Giải pháp có tính khả thi nhất là sử dụng là phương pháp đo sâu địa hình bằng đo ảnh lập thể. Phương pháp này trước đây ít được tập trung nghiên cứu chủ yếu do thiếu nguồn dữ liệu ảnh lập thể, tuy nhiên, hiện nay ảnh WorldView-2 với khả năng chụp lập thể trên cùng một quỹ đạo và với 8 kênh phổ trong đó có các kênh phổ mới được bổ sung so với các kênh ảnh truyền thống khác như các kênh Coastal, kênh vàng (yellow), kênh rìa đỏ (red-edge) và cận hồng ngoại NIR 2, đặc biệt là kênh Coastal với bước sóng ngắn có khả năng đi xuyên qua mặt nước tới độ sâu lên đến 20 m đã gia tăng đáng kể khả năng đo vẽ địa hình đáy

biển. Phương pháp tiếp cận bằng đo vẽ ảnh lập thể có ưu điểm là có thể thực hiện mà không cần đến dữ liệu ngoại nghiệp, khi đó độ chính xác phụ thuộc vào độ chính xác xác định các thông số quỹ đạo vệ tinh của ảnh.

Nội dung của bài nghiên cứu này nhằm giới thiệu một số kết quả thử nghiệm đo sâu địa hình đáy biển vùng biển nông bằng phương pháp đo ảnh lập thể sử dụng ảnh WorldView-2 tại khu vực bãi Hải Sâm thuộc quần đảo Trường Sa, Việt Nam.

2. Dữ liệu sử dụng

WorldView-2 là vệ tinh thương mại chụp ảnh quan trắc Trái đất của hãng DigitalGlobe (Mỹ) tiếp theo vệ tinh WorldView-1. Đây là hợp đồng được DigitalGlobe thực hiện với Cơ quan tình báo địa không gian quốc gia Mỹ (National Geospatial-Intelligence Agency). Trong nghiên cứu này, tư liệu ảnh vệ tinh được sử dụng là ảnh đa phổ lập thể WorldView-2 Stereo OR2A (Ortho-Ready 2A) có độ phân giải không gian là 2,0 m. Đầu thu của WorldView-2 cung cấp 8 kênh ảnh đa phổ bao gồm các kênh B1 (Coastal), B2 (Blue), B3 (Green), B4 (Yellow), B5 (Red), B6 (Edge-red), B7 (Near-Infrared 1) và B8 (Near-Infrared 2). Cặp ảnh lập thể này bao gồm cảnh ảnh trái (17MAR19030944-M2AS-056704277110_01_P002) và cảnh ảnh phải (17MAR19031103-M2AS-056704277110_01_P002) được thu nhận vào ngày 19/03/2017. Tỷ lệ độ phủ mây trên các ảnh này nhỏ hơn so với yêu cầu là 10% và về cơ bản không gây ảnh hưởng gì đến việc quan trắc các đối tượng. (Xem hình 2)

3. Quy trình thực hiện

a) Hiệu chỉnh bức xạ ảnh

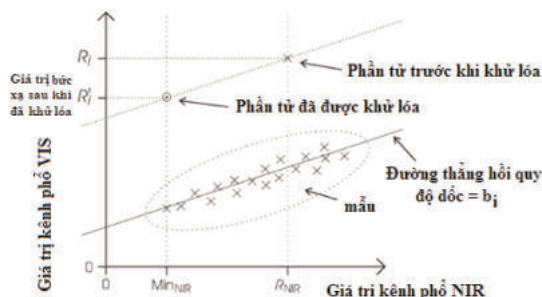
Dữ liệu ảnh vệ tinh được sử dụng trong đo vẽ lập thể địa hình dưới nước là ảnh vệ tinh đa phổ. Do ảnh hưởng của các điều kiện môi trường mà điển hình là các hiện tượng tán xạ khí quyển và lóa sáng (sun glint) do phản xạ gương của ánh sáng mặt trời tại bề mặt nước biển, nên ảnh vệ tinh đa phổ cần phải được thực hiện các bước

hiệu chỉnh bức xạ nhằm loại bỏ những ảnh hưởng nói trên. Phương pháp phổ biến nhất là sử dụng các kênh cận hồng ngoại NIR. Do kênh NIR này hầu như không có khả năng đi xuyên vào trong môi trường nước nên nó chứa các thông tin về mặt nước và được sử dụng để hiệu chỉnh cho các kênh ảnh khác.

Phương pháp được sử dụng để thực hiện hiệu chỉnh bức xạ ảnh là phương pháp như đã được mô tả bởi Hedley và ctv (2005) [3]. Phương pháp này được lựa chọn do có ưu điểm là người dùng có thể dễ dàng thao tác thực hiện việc hiệu chỉnh bức xạ do ảnh hưởng của hiện tượng lóa sáng (sunlint) do phản xạ của ánh sáng mặt trời trên bề mặt nước biển cũng như kết hợp được với việc hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển theo phương pháp DOS (Dark Object Subtraction) vốn không đòi hỏi các tham số chính xác về môi trường khí quyển và khí tượng.

Tuy nhiên, đối với ảnh WorldView-2, việc thực hiện hiệu chỉnh bức xạ đối với mỗi kênh ảnh sẽ được phân chia theo hai nhóm. Trong đó, nhóm 1 bao gồm các kênh ảnh (Blue, Green, Red và NIR1) và nhóm 2 bao gồm các kênh ảnh (Coastal, Yellow, Red-edge và NIR2). Trong nhóm 1, các kênh ảnh Blue (Kênh 2), Green (Kênh 3) và Red (Kênh 5) sẽ được hiệu chỉnh sử dụng kênh cận hồng ngoại NIR1 (Kênh 7) còn đối với nhóm 2, các kênh ảnh Coastal (Kênh 1), Yellow (Kênh 4) và Red-edge (Kênh 6) sẽ được hiệu chỉnh sử dụng kênh cận hồng ngoại còn lại NIR2 (Kênh 8). Việc thực hiện như trên là do các

nhóm kênh này được sắp xếp trên những mảng khác nhau không đồng thời thu nhận tín hiệu tại cùng một thời điểm mà có sai lệch nhỏ về thời điểm thu nhận tín hiệu [4].



Hình 3: Đồ họa biểu diễn mô hình hồi quy tuyến tính

Việc hiệu chỉnh đối với hai nhóm 1 và 2 được thực hiện theo phương trình hồi quy tuyến tính như sau [3]:

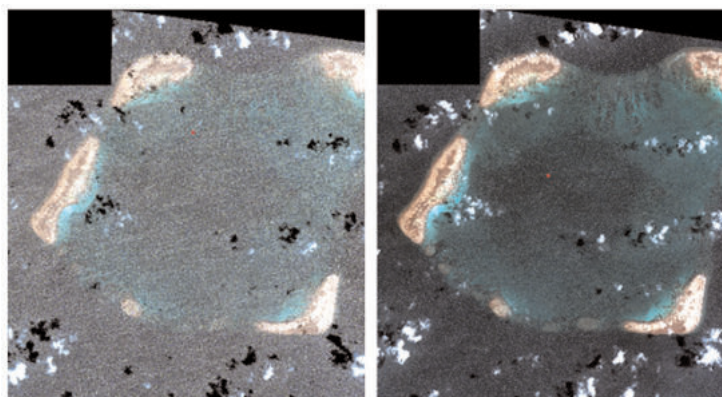
$$R'_i = R_i - b_i(R_{NIR1} - Min_{NIR1}) \quad (1)$$

Và

$$R'_j = R_j - b_j(R_{NIR2} - Min_{NIR2}) \quad (2)$$

Trong đó, R' là giá trị bức xạ của ảnh sau khi hiệu chỉnh, R là giá trị bức xạ của ảnh trước khi hiệu chỉnh, b là hệ số độ dốc của phương trình hồi quy, Min_{NIR1} và Min_{NIR2} là các giá trị nhỏ nhất tương ứng trên các kênh ảnh NIR1 và NIR2 trên toàn bộ pixel của cảnh ảnh hoặc trên tập các pixel lấy mẫu, $i = (2, 3, 5)$ và $j = (1, 4, 6)$.

Việc lấy mẫu được thực hiện tại những vị trí



Hình 2: Cặp ảnh lập thể trái và phải khu vực bãi Hải Sâm

nước sâu (thông thường độ sâu lớn hơn 2 m) có hiện tượng lóa sáng một cách rõ ràng và có thể cả những nơi ít có hiện tượng lóa sáng. Tại những vị trí đó, việc lấy mẫu có thể thực hiện theo phương pháp hình hộp với kích thước khoảng 50x50 pixel. Việc lấy mẫu như này cần tránh những pixel như bề mặt đất hay mây lẫn vào trong dữ liệu mẫu.

Lưu ý: Trước khi thực hiện bước hiệu chỉnh bức xạ ảnh như trên, các kênh ảnh cần được chuyển từ giá trị độ xám DN (Digital Number) về giá trị năng lượng bức xạ tại đỉnh khí quyển theo biểu thức như sau:

$$R_i = Gain_i \cdot DN_i \cdot \frac{K_i}{\Delta\lambda_i} + Offset_i \quad (3)$$

Trong đó: DN_i là giá trị độ xám DN của từng pixel trên kênh ảnh i , R_i là năng lượng bức xạ ở đỉnh khí quyển của từng pixel trên kênh ảnh i , K_i là giá trị định chuẩn tuyệt đối (*abscalefactor*) của kênh ảnh i , $\Delta\lambda_i$ là độ rộng (*effective bandwidth*) của kênh ảnh i . K_i và $\Delta\lambda_i$ được cung cấp trong file metadata của dữ liệu ảnh. Các giá trị $Gain_i$ và $Offset_i$ của ảnh được cung cấp trong bảng các tham số hiệu chỉnh được công bố theo tài liệu chính thức của nhà cung cấp ảnh vệ tinh WorldView-2.

b) Tăng dày không chế ảnh

Tăng dày không chế ảnh vệ tinh được thực hiện trên các trạm xử lý ảnh số bằng các phần mềm xử lý ảnh chuyên nghiệp có hỗ trợ đối với ảnh Worldview-2. Do trên khu vực thi công hiện nay không có các điểm khống chế tọa độ GPS nên quá trình định hướng ảnh trong trường hợp này sẽ sử dụng mô hình hình học là mô hình hàm hữu tỷ được cung cấp dưới định dạng tệp với phần mở rộng là *.RPB đi kèm với file dữ liệu ảnh.

Để tăng cường độ chính xác, trong bước xử lý này các điểm nổi ảnh (tie-points) sẽ được đo nhằm định hướng tương đối cảnh ảnh phụ so với cảnh ảnh chính của mô hình lập thể (nhằm loại bỏ thị sai dọc xuất hiện trên mô hình lập thể) hoặc để liên kết các cảnh ảnh trong trường hợp

tăng dày khối ảnh. Các điểm nổi ảnh là các điểm ảnh cùng tên được chọn từ các đối tượng địa vật giống nhau trên cặp ảnh lập thể. Đồng thời, vị trí của các điểm nổi ảnh nên được đặt tại các vị trí phân bố chuẩn với tối thiểu 6 điểm trên một mô hình.

Ngoài ra, đối với việc đo vẽ khu vực biển đảo, việc lựa chọn các điểm nổi ảnh tốt nhất nên là những điểm nằm trên phần đảo nổi tại thời điểm thu nhận ảnh để đảm bảo các điều kiện về phương trình đồng phương của các điểm ảnh cùng tên. Trong trường hợp khó khăn hoặc trong trường hợp các đảo chìm hoàn toàn thì nên chọn các điểm nổi ảnh tại các vị trí nông để hạn chế bớt ảnh hưởng của hiện tượng khúc xạ tia sáng dẫn đến ảnh hưởng đến độ chính xác của công tác định hướng mô hình hay tăng dày không chế ảnh. Sai số trung phương của các điểm nổi ảnh thông thường phải nhỏ hơn giá trị 1 pixel.

c) Đo vẽ lập thể độ sâu địa hình đáy biển

Đo vẽ lập thể độ sâu địa hình đáy biển được tiến hành trên trạm đo vẽ ảnh lập thể sử dụng các phần mềm xử lý ảnh viễn thám chuyên nghiệp. Trong đó bao gồm đo vẽ các đường đẳng sâu và các điểm ghi chú điểm độ sâu. Các điểm ghi chú độ sâu phải được thể hiện đầy đủ tại những vị trí cao nhất và thấp nhất so với địa hình xung quanh hay tại các vị trí đặc trưng khác. Mật độ điểm độ sâu phải tuân theo quy định trong Thiết kế kỹ thuật chi tiết thành lập bản đồ địa hình. Để phát huy hết hiệu quả đo sâu thì ảnh vệ tinh đa phổ sau khi đã được hiệu chỉnh bức xạ sẽ sử dụng tổ hợp các kênh phổ Coastal, Blue và Green.

Trong quá trình đo vẽ lập thể, các đường đẳng sâu sẽ được đặt giá trị ở độ sâu cố định theo những giá trị độ sâu được tính ngược từ phương trình hiệu chỉnh độ sâu do ảnh hưởng của khúc xạ bề mặt và phương trình tính chuyển hệ quy chiếu như mô tả ở các bước sau để đảm bảo rằng giá trị của các đường đẳng sâu sau khi hiệu chỉnh lại sẽ tương ứng là những giá trị chẵn với khoảng cao đều theo như quy định trong Thiết kế kỹ thuật Dự án.

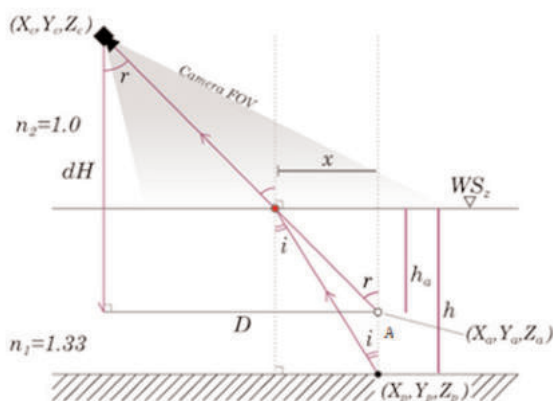
d) Hiệu chỉnh độ sâu do ảnh hưởng của

khúc xạ bề mặt nước

Do ảnh hưởng của hiện tượng khúc xạ gây ra bởi sự khác biệt về chiết quang của môi trường nước khi ánh sáng đi qua giao diện của bề mặt nước với bề mặt không khí làm cho độ sâu quan trắc tại vị trí của các điểm đo địa hình đáy biển trên mô hình lập thể nông hơn so với độ sâu thực tế. Các kết quả nghiên cứu ngoài nước cho thấy việc hiệu chỉnh chênh lệch giá trị độ sâu có thể sử dụng công thức tính gần đúng trong trường hợp góc chụp nhỏ như sau [5]:

$$h_{WGS84} = n \cdot (Z_A - Z_{WS}) \quad (4)$$

Trong đó: h_{WGS84} là độ sâu thực tế của điểm quan trắc A so với mặt nước, n là chiết quang của nước ($n \approx 1.33$), Z_A và Z_{WS} là độ sâu quan trắc tương ứng trên mô hình của điểm A và bề mặt nước.



Hình 4: Nguyên lý khúc xạ đối với một ảnh đơn (Dietrich, 2017)

e) Tính chuyển độ sâu về hệ quy chiếu, hệ tọa độ quốc gia

Các điểm đo sâu thu nhận được trên hệ thống do vẽ ảnh lập thể thường được thể hiện bằng giá trị độ cao tương đối so với mặt tham chiếu ellipsoid quốc tế WGS84. Trong các ứng dụng hải dương học, độ cao ellipsoid không có nhiều ý nghĩa mà tùy vào ứng dụng nó cần phải được chuyển đổi về một mặt geoid toàn cầu mà cụ thể là mặt geoid toàn cầu đang được sử dụng phổ biến hiện nay là mặt EGM2008 theo công thức như sau [6]:

$$h_{EGM2008} = h_{WGS84} - N \quad (5)$$

Trong đó, h_{WGS84} là độ cao so với mặt tham chiếu ellipsoid WGS84, $h_{EGM2008}$ là độ cao so với mặt tham chiếu geoid toàn cầu EGM2008 và N là độ cao geoid.

Giá trị độ cao $h_{EGM2008}$ cũng cần phải được chuyển đổi về hệ độ cao thủy chuẩn quốc gia (đối với Việt Nam, hệ độ cao quốc gia có điểm gốc tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu, Đồ Sơn, Hải Phòng). Tuy nhiên, trong nghiên cứu này do thiếu các số liệu hiệu chỉnh giữa hai mặt tham chiếu này, nên nó sẽ được bỏ qua và độ cao theo hệ độ cao thủy chuẩn quốc gia sẽ được lấy xấp xỉ bằng với độ cao so với mặt tham chiếu geoid toàn cầu EGM2008.

Ngoài ra, một trong những tham số hiệu chỉnh quan trọng cũng phải được xét đến là độ cao của thủy triều tại thời điểm thu nhận ảnh. Tuy vậy, các số liệu quan trắc thủy triều cụ thể đối với từng vị trí điểm đảo, đá hay bãi ngầm trên khu vực quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa vì nhiều lí do không thể thu thập được hoặc do thiếu nên cũng sẽ không được tính đến trong nghiên cứu này.

4. Kết quả và thảo luận

Kết quả sau khi thực hiện hiệu chỉnh bức xạ nhằm loại bỏ ảnh hưởng của khí quyển và hiện tượng lóa ảnh bằng phương trình hồi quy tuyến tính cho thấy nhóm các kênh ảnh B2 (Blue), B3 (Green) và B5 (Red) có độ tương quan cao đối với kênh B7 (NIR1) trên cả hai cảnh ảnh trái và phải với hệ số R^2 nhỏ nhất là 0.79 trong khi nhóm các kênh B1 (Coastal), B4 (Yellow) và B6 (Red-edge) có độ tương quan cao với kênh B8 (NIR2) trên hai cảnh ảnh với hệ số R^2 nhỏ nhất là 0.84. (Xem bảng 1)

Mối quan hệ giữa các kênh ảnh WorldView-2 cũng được thể hiện trên biểu đồ tán xạ. Kết quả hồi quy tuyến tính cho thấy các phương trình thực nghiệm có độ khớp rất tốt đối với dữ liệu ảnh. Trong đó, kết quả của cảnh ảnh trái nhìn chung tốt hơn so với kết quả của cảnh ảnh phải khi trên biểu đồ ta thấy sự phân tán của dữ liệu

trên cảnh ảnh trái nhỏ hơn so với trên cảnh ảnh phải.

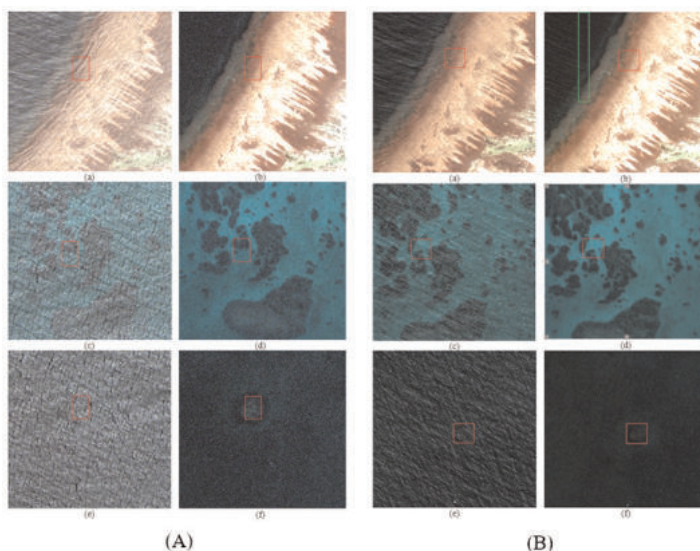
Việc đánh giá chất lượng hiệu chỉnh bức xạ ảnh theo trực quan cũng có thể thực hiện bằng cách so sánh giữa ảnh trước và sau khi thực hiện hiệu chỉnh bức xạ (Hình 5) tại một số vị trí tiêu biểu trên ảnh trái (Hình 5A) và ảnh phải (Hình 5B) của cặp ảnh lập thể. Đối với cảnh ảnh trái, ta thấy rằng tại vị trí khu vực bờ biển nơi có sóng lớn đánh vào bờ (Hình 5A.a) thì sau quá trình tiền xử lý (Hình 5A.b) ta có thể dễ dàng phân biệt được đường bờ cũng như đường chân của rạn san hô. Với vị trí chìm sâu dưới nước như trong Hình 5A.c thì do ảnh hưởng của sóng biển và lóa sáng, việc điều vẽ các đối tượng trong môi trường dưới đáy biển gặp rất nhiều khó khăn. Tuy vậy, kết quả sau hiệu chỉnh bức xạ ảnh trên Hình 5A.d một lần nữa lại cho thấy các dải san hô tại vị trí này có thể được phân biệt một cách rõ ràng so với lớp cát ở xung quanh. Vị trí thứ 3

được khảo sát trong ví dụ này là tại nơi có độ sâu lớn nhất ở giữa vùng biển của bãi Hải Sâm. Trên ảnh trước khi hiệu chỉnh bức xạ (Hình 5A.e) thì các thao tác viên gần như không quan sát được gì nhưng ngược lại sau khi thực hiện hiệu chỉnh bức xạ (Hình 5A.f) ta có thể quan sát được hình ảnh của một đụn san hô nhỏ dưới đáy vùng. (Xem hình 5)

Đối với cảnh ảnh phải, các vị trí so sánh cũng được chọn tương tự như đối với cảnh ảnh trái. Kết quả nhận được về cơ bản cũng gần giống như so với cảnh ảnh trái. Tuy nhiên, tại vị trí số 1, so sánh giữa ảnh trước và sau khi hiệu chỉnh bức xạ (Hình 5B.a và Hình 5B.b) ta nhận thấy trên Hình 5B.b có sự xuất hiện của hiện tượng chênh lệch giá trị giữa hai dải quét của ảnh (tại vị trí của hình chữ nhật màu xanh lục) mà khó thể nhận biết được trên Hình 5B.a. Hiện tượng này dẫn đến hậu quả là trên dải quét bên trái của hình chữ nhật màu xanh lục vẫn còn tồn tại vết

Bảng 1: Bảng thống kê hệ số R² giữa các kênh ảnh

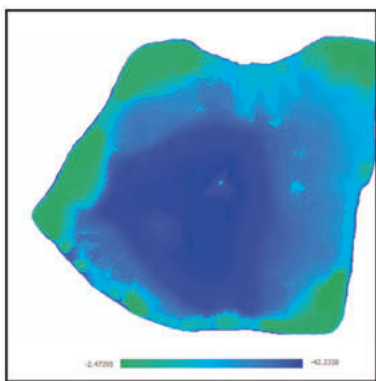
TT	Tên cảnh ảnh	Hệ số R ²						
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	
1	17MAR19030944-M2AS-056704277110_01_P002	0.55	0.95	0.97	0.59	0.97	0.60	B7
		0.93	0.58	0.57	0.92	0.53	0.91	B8
2	17MAR19031103-M2AS-056704277110_01_P002	0.44	0.79	0.84	0.45	0.93	0.43	B7
		0.84	0.52	0.53	0.92	0.43	0.91	B8



Hình 5: Một số vị trí trước và sau khi hiệu chỉnh bức xạ trên ảnh trái (A) và ảnh phải (B) của mô hình lập thể

sóng, ảnh hưởng một phần đến việc quan trắc phân chân của rạn san hô.

Kết quả đo vẽ lập thể địa hình đáy biển cho thấy rằng sau khi thực hiện hiệu chỉnh bức xạ thì khả năng đo vẽ địa hình đáy biển đối với cặp ảnh lập thể đã được xử lý đã tăng cường một cách đáng kể. Trong điều kiện môi trường nước trong như khu vực bãi Hải Sâm thì độ sâu lớn nhất đo được sau khi tính toán hiệu chỉnh tại khu vực vùng biển đạt đến độ sâu trên 42,0 m. Đây là kết quả rất khả quan nếu so với độ sâu trung bình đạt được thông thường chỉ khoảng 20,0 m và tương đương với khoảng độ sâu lớn nhất có thể đối với phương pháp đo vẽ ảnh vệ tinh đa phổ mà một số nghiên cứu trước đó đã từng chỉ ra.



Hình 6: Đo vẽ độ sâu địa hình đáy biển khu vực bãi Hải Sâm

Từ những kết quả thu được trong thử nghiệm trên, ta có thể nhận định rằng việc ứng dụng thuật toán hồi quy tuyến tính như mô tả bởi Hedley và ctv (2005) có thể áp dụng hiệu quả đối với ảnh WorldView-2 và giúp tăng cường khả năng đo sâu địa hình đáy biển trong những điều kiện như ở khu vực bãi Hải Sâm thuộc quần đảo Trường Sa (Việt Nam).

5. Kết luận

Khả năng đo sâu địa hình đáy biển phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố tự nhiên như các loại lớp phủ mặt đáy và độ trong của nước cũng như trạng thái bề mặt biển. Trong những điều kiện sóng lớn và ảnh bị lóa nhiều do phản xạ của ánh sáng mặt trời thì độ sâu đo vẽ đạt được sẽ giảm đi đáng kể. Trong phần thử nghiệm nói trên, với

những điều kiện bình thường khi sóng biển và lóa sáng trên ảnh vệ tinh WorldView-2 không quá lớn, độ sâu tối đa đo được tại khu vực bãi Hải Sâm thuộc quần đảo Trường Sa có thể đạt đến hơn 42,0 m. Thử nghiệm cũng cho thấy phương pháp hiệu chỉnh bức xạ của Hedley và ctv (2005) có thể áp dụng một cách dễ dàng, hiệu quả mà không cần đòi hỏi trang bị các modul phần mềm chuyên biệt. Với những kết quả đạt được, việc ứng dụng đo sâu địa hình đáy biển bằng phương pháp đo vẽ lập thể sử dụng ảnh vệ tinh WorldView-2 có thể áp dụng trong những điều kiện tương tự như tại các khu vực đảo, đá và bãi ngầm thuộc quần đảo Hoàng Sa và quần đảo Trường Sa. ○

Tài liệu tham khảo

- [1]. Jawak, S.D., Vadlamani, S.S., Luis, A.J. 2015, A Synoptic Review on Deriving Bathymetry Information Using Remote Sensing Technologies: Models, Methods and Comparisons, *Advances in Remote Sensing*, Vol. 4, pp. 147-162.
- [2]. Phan Quốc Yên, Đào Khánh Hoài, Đinh Thị Bảo Hoa 2017, Nghiên cứu thành lập bản đồ độ sâu đáy biển vùng nước nông khu vực Trường Sa Lớn bằng kỹ thuật đo sâu viễn thám, *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội - Các Khoa học Trái đất và Môi trường*, Tập 33, Số 4, Trang 63 - 73.
- [3]. Hedley, J.D., Harborne, A.R., Mumby, P.J. 2005, Simple and Robust Removal of Sun Glint for Mapping Shallow-Water Benthos, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 10, pp. 2107 - 2112.
- [4]. Eugenio, F., Marcello, J., Martin, J 2015, High-Resolution Maps of Bathymetry and Benthic Habitats in Shallow-Water Environments using Multispectral Remote Sensing Imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 7, pp. 3539 - 3549.

(Xem tiếp trang 43)