

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

Phan Quốc Yên^{1,2,*}, Đào Khánh Hoài¹, Đinh Thị Bảo Hoa²

¹*Viện Kỹ thuật Công trình Đặc biệt, Học viện Kỹ thuật Quân sự*

²*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 10 tháng 10 năm 2017

Chỉnh sửa ngày 06 tháng 12 năm 2017; Chấp nhận đăng ngày 29 tháng 12 năm 2017

Tóm tắt: Dữ liệu ảnh vệ tinh đang được nghiên cứu và ứng dụng hiệu quả trong việc khảo sát và thành lập bản đồ độ sâu địa hình đáy biển vùng nước nông đáp ứng cả về phương diện thời gian và nhân lực. Kỹ thuật đo sâu viễn thám góp phần cập nhật nhanh sự thay đổi địa hình, đảm bảo kịp thời cho các hoạt động dân sự và quân sự như hỗ trợ công tác an toàn hàng hải, an ninh môi trường và cứu hộ cứu nạn, tác chiến trong quân sự, đặc biệt khả năng giám sát từ xa đối với các khu vực tranh chấp. Bài báo thử nghiệm thuật toán Stumpf và cộng sự để ước tính độ sâu khu vực nước nông ven đảo Trường Sa Lớn bằng tư liệu ảnh Landsat 8. Kết quả cho thấy rằng: độ sâu tối đa đạt được là 12m nước; hệ số tương quan của mô hình R^2 là 0,924; RMSE là 0.99m. Ngoài ra kết quả được so sánh với dữ liệu bản đồ C-map và sử dụng 12 điểm kiểm tra thực tế để đánh giá độ chính xác của mô hình.

Từ khóa: Đo sâu đáy biển, địa hình, viễn thám, Landsat 8, Quần đảo Trường Sa.

1. Đặt vấn đề

Công tác khảo sát thủy văn là khảo sát mực nước của các khu vực, nó bao gồm nhiều mục tiêu như đo thủy triều, dòng chảy, trọng lực, từ trường trái đất ... Vì vậy, mục đích chính khảo sát hải văn là để có được cơ bản dữ liệu độ sâu của nước. Độ sâu liên quan đến địa hình dưới nước của đại dương, biển, hồ. Độ sâu rất quan trọng cho nhiều ứng dụng trong nghiên cứu và xã hội, ví dụ hàng hải, mô hình hải lưu, giám sát hệ sinh thái và khảo cổ học hàng hải [1], đánh giá địa hình cho hoạt động quân sự, xây dựng công trình biển, các hoạt động cứu hộ cứu nạn.

Công tác khảo sát địa hình đáy biển phát triển từ rất sớm và gần đây có cuộc cách mạng về kỹ thuật do đột phá về công nghệ. Theo truyền thống, chủ yếu được thực hiện bằng phương pháp đo đạc trực tiếp sử dụng máy đo sâu hồi âm có khả năng tạo ra các điểm đo hoặc các trắc diện theo lát cắt có độ chính xác cao. Tuy nhiên, phương pháp này thường tốn kém, chịu ảnh hưởng của điều kiện khí hậu trên biển và cần phải tiếp xúc trực tiếp với các khu vực cần khảo sát, độ phân giải thời gian và không gian thấp [2]. Đối với các khu vực có điều kiện địa hình tự nhiên phức tạp không có sự sống hoặc các đảo đang tranh chấp có quân đội đồn trú tại nhiều căn cứ trên các đảo nhỏ và bãi đá ngầm, việc tiếp cận khu vực khảo sát gặp nhiều khó khăn. Nếu tiếp xúc được thì sẽ bị hạn chế kỹ thuật khó giải quyết ở các khu vực nước

*Tác giả liên hệ. ĐT.: 84-973435369.

Email: yenphanquochv@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4194>

nông gần bờ, đặc biệt khi thủy triều xuống thấp sẽ không đảm bảo an toàn dẫn đường hàng hải.

Từ nửa thế kỷ qua, sự tiến bộ của công nghệ viễn thám đã mang lại một phương pháp mới trong cuộc cách mạng khảo sát hải văn. Khả năng quang phổ điện từ (ERM) xác định độ sâu sử dụng các phương pháp viễn thám thụ động và hệ thống thông tin địa lý (GIS) kết hợp với dữ liệu độ sâu thực. Phương pháp này dựa vào nguyên tắc vật lý là ánh sáng nhìn thấy bị suy giảm dần trong nước với độ sâu tăng dần. Những khu vực nước nông sẽ xuất hiện sáng, các khu vực nước sâu trông tối trên hình ảnh. Lượng suy giảm liên quan tới bước sóng của ánh sáng nhìn thấy, bước sóng ngắn hơn như bờ biển/sol khí và xanh lam suy giảm ít hơn trong nước so với bước sóng dài hơn như xanh lục, vàng, đỏ. Biến suy giảm của các bước sóng khác nhau của ánh sáng nhìn thấy cho phép ta biết tương quan giữa độ sâu đáy biển và giá trị bức xạ của ảnh vệ tinh đa phổ.

Trên thế giới có một vài nghiên cứu sớm để phát triển các phương pháp xác định độ sâu từ ảnh vệ tinh sử dụng các thuộc tính của phổ điện từ. Điển hình là những nghiên cứu của Lyzenga (1978; 1979; 1981; 1985; 2006, Hochberg và các đồng nghiệp, 2007; Hogrefe và các đồng nghiệp, 2008; Liu và các đồng nghiệp, 2010; Deidda và Sanna, 2012; Kanno và Tanaka, 2012), Stumpf và các đồng nghiệp (2003) [3] ... Các nghiên cứu sau này tiếp tục được phát triển dựa trên nguyên tắc vật lý trên và được áp dụng thành công cho các khu vực khác nhau.

Stumpf và các đồng nghiệp (2003) đã giới thiệu một phương pháp yêu cầu chỉ một vài điểm khảo sát là đã cho kết quả tốt trên các kiểu chất đáy phức tạp. Phương pháp này sử dụng tỷ lệ suy giảm từ hai kênh phổ để phát triển một mô hình tỷ lệ phản xạ. Sử dụng tỷ lệ giữa kênh Blue và Green trên ảnh vệ tinh IKONOS, với sự tăng dần độ sâu, phản xạ quang phổ giảm dần nhanh hơn trong kênh hấp thụ cao Green so với kênh hấp thụ thấp Blue. Vì thế, tỷ lệ giữa kênh Blue và kênh Green sẽ thay đổi theo độ sâu [3].

Trong nước có một số nghiên cứu liên quan đến địa hình trong khu vực quần đảo Trường Sa

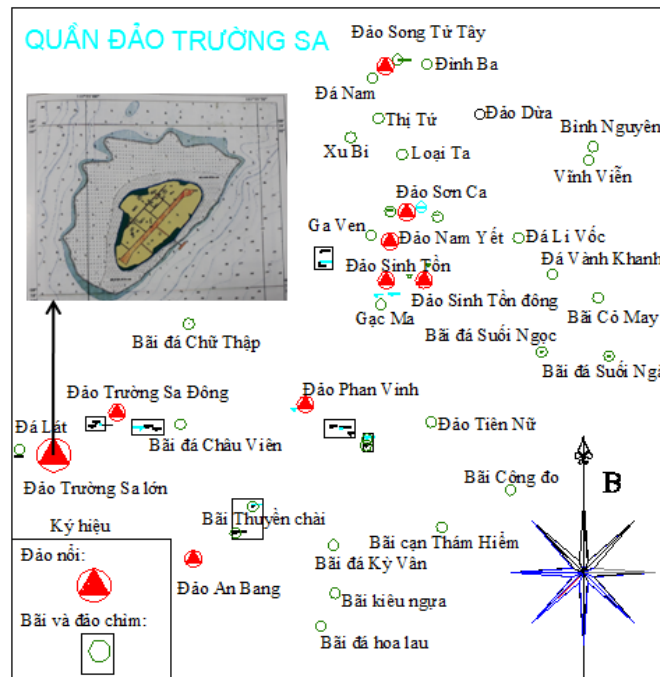
bằng công nghệ viễn thám, điển hình như: Ứng dụng công nghệ viễn thám xác định nhanh biến động đường bờ biển một số đảo [4], sử dụng ảnh vệ tinh để luận giải và kiểm chứng đến quá trình bồi xói đảo ở Trường Sa [5]. Tuy nhiên, hiện tại chưa có nghiên cứu nào đầy đủ về việc ứng dụng công nghệ viễn thám để nghiên cứu địa hình vùng nước nông ven các đảo Trường Sa, làm cơ sở khoa học cho giám sát địa hình khu vực nước nông khó tiếp cận. Bài báo này trình bày một cách hệ thống cơ sở khoa học của phương pháp thành lập bản đồ độ sâu từ ảnh vệ tinh Landsat 8.

2. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Quần đảo Trường Sa có hơn 100 đảo nổi và bãi ngầm, phân bố trong phạm vi khoảng từ vĩ tuyến 6°30' Bắc đến 12°00' Bắc và khoảng từ kinh tuyến 111°30' Đông đến 117°20' Đông. Chiều dài từ Đông sang Tây khoảng 800 km, từ Bắc xuống Nam khoảng 600 km với tổng diện tích toàn vùng đạt khoảng 480.000 km². Tính từ giữa quần đảo cách Nha Trang (Khánh Hòa) 250 hải lý, cách cực đảo Hải Nam (Trung Quốc) 595 hải lý và cách đảo Đài Loan khoảng 960 hải lý, chia thành 5 nhóm đảo chính: Song Tử, Nam Yết, Trường Sa, Vĩnh Viễn, Thám Hiểm [6].

Các đảo nổi ở quần đảo Trường Sa có diện tích nổi không lớn, địa hình các đảo nổi luôn luôn thể hiện hai phần khác nhau, là phần địa hình trên mực nước và địa hình dưới mực nước, có các bậc địa hình đặc trưng trên mực nước 4-6m; 2-3,5m; 0,5-1,5m. Đa số các đảo nổi là những phần nhô cao của ám tiêu vòng san hô bao quanh lagoon hoặc các hồ nước. Đây là những kiểu địa hình ám tiêu san hô hoặc các đảo đá gốc bị bào mòn hình thành trong giai đoạn Đệ Tứ. Phần dưới nước gồm 7 mức địa hình phân bố ở các độ sâu 0,5 đến -1,5m; -3 đến -5m; -5 đến -9m; -10 đến -15m; -30 đến -50m; -50 đến -70m; -70 đến -90m. Dưới góc độ địa mạo khối lục địa sót Trường Sa có đầy đủ một tiêu lục địa, bao gồm phần lục địa đảo nổi, thềm lục địa, sườn lục địa, chân lục địa [6].



Hình 2. Khu vực nghiên cứu.

Vị trí thử nghiệm là khu vực nước nông ven đảo nổi Trường Sa lớn (hình 2) với mức độ sâu từ 0 đến -15m, Phía ngoài bờ kè là bãi cát di chuyển theo hai mùa gió Đông Bắc và Tây Nam với các loài thực vật thân thảo mọc rải rác và các diện ngập nước thường xuyên, sâu hơn một chút khoảng độ sâu -2 đến -4m là trầm tích vụn thô gắn kết và đá vôi san hô (-4 đến -6m) [7].

2.2. Dữ liệu

Dữ liệu ảnh vệ tinh: Vệ tinh thế hệ thứ 8 - Landsat 8 đã được Mỹ phóng thành công lên quỹ đạo vào ngày 11/02/2013 với tên gọi gốc Landsat Data Continuity Mission (LDCM). Landsat 8 mang theo 2 bộ cảm: bộ thu nhận ảnh mặt đất (OLI - Operational Land Imager) và bộ cảm biến hồng ngoại nhiệt (TIRS - Thermal Infrared Sensor). Những bộ cảm này được thiết kế để cải thiện hiệu suất và độ tin cậy cao hơn so với các bộ cảm Landsat thế hệ trước. Landsat 8 thu nhận ảnh với tổng số 11 kênh phổ, bao gồm 9 kênh sóng ngắn (1.Bờ biển/Sol khí, 2.Xanh lam - Blue, 3.Xanh lục - Green, 4.Đỏ-Red, 5.Cận hồng ngoại, 6,7.hai kênh Hồng ngoại sóng ngắn, 8.Toàn sắc, 9.Mây/quyển khí)

và 2 kênh nhiệt sóng dài. Nhiệm vụ của Landsat 8 là cung cấp những thông tin quan trọng trong nhiều lĩnh vực như quản lý năng lượng và nước, theo dõi rừng, giám sát tài nguyên môi trường, quy hoạch, khắc phục thảm họa và lĩnh vực nông nghiệp [8].

Dữ liệu ảnh Landsat 8 được sử dụng trong nghiên cứu này được chụp 9h 50 phút ngày 30/3/2014. Là thời điểm khô ráo, tầm nhìn xa trên 10km, khu vực chụp ảnh ít ảnh hưởng của mây và sương mù, độ phủ mây của tấm ảnh 7,9%. Giá trị $M_p = 2.0000E-05$, $A_p = -0.1$ cho cả 2 kênh green và blue, và $\theta_{SE} = 62.97397614$.

Dữ liệu độ sâu khảo sát: Dữ liệu độ sâu được thu thập bằng khảo sát trực tiếp ngoài thực địa (tháng 3/2015) bằng máy đo sâu Hidrobox kết hợp với thiết bị định vị GPS Trimble 2008. Dữ liệu đã được biên tập kết hợp và đối soát với hải đồ tỷ lệ 1:100.000 do Quân chủng Hải Quân sản xuất. Tập dữ liệu được biên tập 61 điểm đo được hiệu chỉnh thủy triều về mức nước tức thời tại thời điểm chụp ảnh (thủy triều đang lên, độ cao triều vào thời điểm này là 1.3m [9]). Trong 61 điểm đo, sử dụng

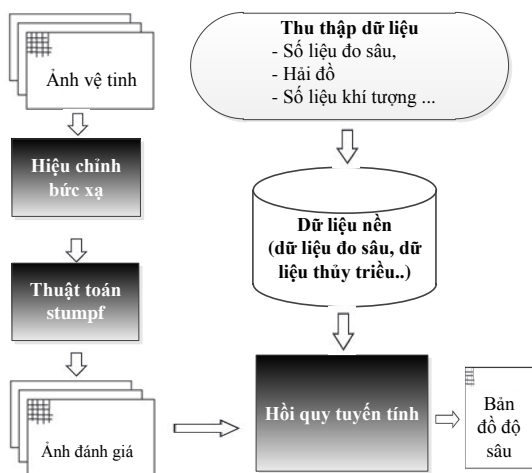
49 điểm vào xây dựng mô hình, 12 điểm còn lại để kiểm tra độ chính xác của mô hình ước tính độ sâu.

Dữ liệu miễn phí Cmap: Hải đồ điện tử C-MAP thuộc hệ thống hải đồ điện tử ECS của Na uy 1996,1997,1998 và phiên bản V4 được cập nhật cuối cùng vào tháng 2 năm 1999. Tổ chức C-Map được thành lập năm 1985 và hiện tại đang dẫn đầu thế giới ngành công nghiệp bản đồ điện tử về năng lực sản xuất, khối lượng dữ liệu bán ra, các hệ thống máy định vị, cũng như đóng góp cho khoa học và đổi mới kỹ thuật trong ngành. Hải đồ C-Map được biên tập, xây dựng lại mô hình để so sánh kết quả mô hình độ sâu được ước tính từ ảnh vệ tinh.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Quy trình xác định độ sâu từ ảnh viễn thám

Quy trình xác định độ sâu từ ảnh vệ tinh được thực hiện theo trình tự các bước: Thu thập số liệu (đo thủy triều, cao sóng, độ sâu, kiểu chất đáy, thu thập ảnh vệ tinh...); Hiệu chỉnh số liệu độ sâu (thủy triều, chất đáy...); Hiệu chỉnh ảnh vệ tinh (các bước nắn ảnh, hiệu chỉnh khí quyển, hiệu chỉnh lóe...); Tính ảnh tỷ số (thuật toán Stumpf); Xây dựng mô hình xác định độ sâu với đầu vào là ảnh tỷ số và số liệu các điểm độ sâu đã hiệu chỉnh; Tính bản đồ độ sâu với mô hình đã xác định. Quy trình đầy đủ như hình 2.



Hình 2. Quy trình xác định độ sâu từ ảnh viễn thám.

3.2. Hiệu chỉnh bức xạ

Các bước thu thập số liệu và hiệu chỉnh số liệu độ sâu đã được thực hiện trong phần thu thập số liệu. Ở bước này ta tiến hành hiệu chỉnh bức xạ để chuyển đổi giá trị số nguyên của ảnh sang giá trị thực của bức xạ tại đỉnh khí quyển ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$). Với ảnh Landsat 8, hiệu chỉnh bức xạ được thực hiện như sau [8]:

$$\rho\lambda' = M_{\rho} \cdot Q_{cal} + A_{\rho} \quad (1)$$

Trong đó, $\rho\lambda'$ - giá trị phản xạ hành tinh đỉnh khí quyển, chưa hiệu chỉnh góc mặt trời; M_{ρ} - hệ số đối với từng kênh ảnh cụ thể (giá trị REFLECTANCE_MULT_BAND_x trong file metadata ảnh Landsat 8, trong đó x là kênh ảnh); A_{ρ} - hệ số đối với từng kênh ảnh cụ thể (giá trị REFLECTANCE_ADD_BAND_x trong file metadata ảnh Landsat 8); Q_{cal} - giá trị số của kênh ảnh.

Giá trị bức xạ phổ sẽ được sử dụng để xác định giá trị phản xạ. Giá trị phản xạ đối với ảnh Landsat 8 được xác định như sau:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

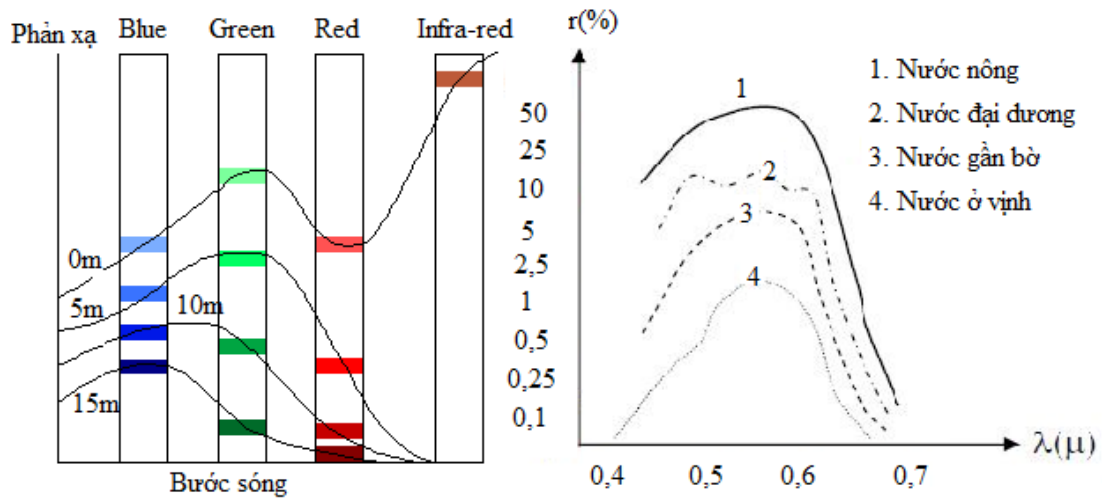
Trong đó, $\rho\lambda$ - giá trị phản xạ phổ tại đỉnh khí quyển; θ_{SE} - giá trị góc ngẩng mặt trời địa phương. Góc ngẩng mặt trời trung tâm cảnh (độ) được cung cấp trong file metadata (SUN_ELEVATION); θ_{SZ} - giá trị góc đỉnh mặt trời địa phương.

3.3. Xác định độ sâu bằng kỹ thuật đo sâu viễn thám

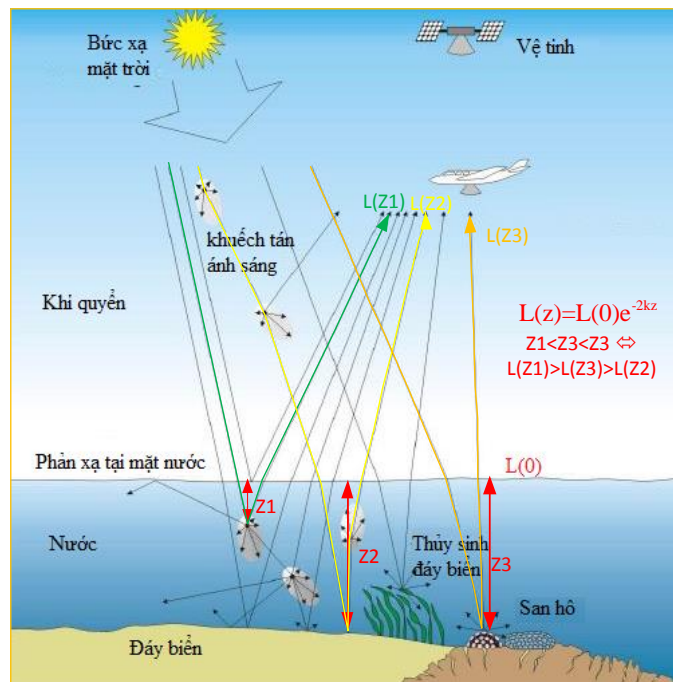
Khi ánh sáng xâm nhập vào nước, cường độ của nó giảm dần theo cấp số nhân với độ sâu tăng dần. Quá trình này được gọi là sự suy giảm và nó tác động ảnh hưởng sâu sắc trên dữ liệu viễn thám trong môi trường nước. Ánh sáng bị yếu dần đi đến một độ sâu nào đó sẽ không có phản xạ lại và bị hấp thụ hoàn toàn trong nước. Do đó, những vùng nước nông xuất hiện màu

sáng, và những khu vực sâu chỉ nhìn thấy màu tối trên ảnh. Mức độ suy giảm là khác nhau với các bước sóng của bức xạ điện từ. Trong vùng ánh sáng nhìn thấy, bước sóng màu đỏ của quang phổ suy giảm nhanh hơn so với màu

xanh có bước sóng ngắn hơn. Nước biển, nước ngọt và nước cất có chung đặc tính thấu quang, tuy nhiên độ thấu quang của nước đục giảm rõ rệt và bước sóng càng dài có độ thấu quang càng lớn [10] (hình 3).



Hình 3. Khả năng phân xạ và hấp thụ ánh sáng của nước [10].



Hình 4. Mô hình quang học của nước nóng.

Như hình 4, cảm biến nhận được bức xạ L_s theo Austin (1974) như sau [11]:

$$L_s = T(L_w + L_r) + L_d \quad (3)$$

Trong đó, L_w là bức xạ dưới nước được truyền xuyên qua bề mặt nước - không khí; L_r là phản xạ bức xạ tại bề mặt biển; L_d là bức xạ khí quyển; T là hệ số truyền khí quyển của bức xạ từ bề mặt tới cảm biến. Tất cả các thông số trên đều phụ thuộc vào bước sóng.

Với sự thay đổi thể hiện bằng Luật Beer. Lyzenga(1987), Philpot (1989) chỉ ra rằng: Quan hệ của phản xạ thu được với độ sâu và độ phản xạ đáy sẽ được mô tả như công thức sau:

$$R_w = (A_d - R_\infty)e^{-gz} + R_\infty \quad (4)$$

Trong đó, R_∞ là phản xạ cột nước khu vực nước sâu; A_d là phản xạ đáy; z là độ sâu; g là một hàm hệ số suy giảm cho cả ánh sáng đi xuống và ánh sáng đi lên. Công thức (4) có thể được sắp xếp lại để mô tả độ sâu trong giới hạn phản xạ và suất phản chiếu. Chuyển về công thức (4) ta có:

$R_w - R_\infty = (A_d - R_\infty)e^{-gz}$, logarit Nêpe hai vế ta có:

$$\ln(R_w - R_\infty) = \ln(A_d - R_\infty) + \ln(e^{-gz}), \text{ hay}$$

$$\ln(R_w - R_\infty) = \ln(A_d - R_\infty) - gz, \text{ suy ra}$$

$$z = g^{-1}[\ln(A_d - R_\infty) - \ln(R_w - R_\infty)] \quad (5)$$

Việc đánh giá độ sâu từ một kênh đơn sử dụng công thức (5) sẽ phụ thuộc vào phản chiếu A_d . Lyzenga (1978, 1985) chỉ ra rằng sử dụng hai kênh hiệu chỉnh phản xạ để xác định độ sâu và tạo ra từ công thức (5) bằng giải pháp hồi quy đa tuyến tính trong phương trình (6) [12, 13].

$$Z = a_0 + a_i X_i + a_j X_j \quad (6)$$

$$\text{Với } X_i = \ln[R_w(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i)] \quad (7)$$

Các hằng số a_0 , a_i và a_j thường được xác định từ hồi quy đa tuyến tính (Hoặc một công nghệ tương tự). Đối với bất kỳ một giải pháp xác định độ sâu từ hệ thống viễn thám thụ động,

các biến đổi độ trong đục của nước và biến đổi hấp thụ phổ tạo ra nhiều biến chứng phức tạp (Philpot 1989; Van Hengel and Spitzer 1991). Giải quyết theo phương pháp biến đổi tuyến tính ở trên có 5 biến phải xác định bằng thực nghiệm. $R_\infty(\lambda_i)$, $R_\infty(\lambda_j)$, a_0 , a_i và a_j . Phải điều chỉnh 5 hệ số thực nghiệm có thể khó khăn cho những khu vực rộng lớn, ngay cả những khu vực nhỏ trong điều kiện chất lượng nước không đảm bảo. Thêm vào nữa, khi phản xạ chất đáy thấp (vì có thể xảy ra với khu vực có tảo và cở biển dày đặc). Dẫn tới $A_d < R_\infty \Rightarrow (R_w - R_\infty) < 0 \Rightarrow$ không định nghĩa được X ngoại trừ sử dụng một phương pháp khác [3]. Phương pháp Stumpf được áp dụng cho ảnh viễn thám độ phân giải cao như Quickbird [14], Worldview [15, 16], Ikonos [3], Landsat [17, 18] và đạt hiệu quả tốt.

3.4. Phương pháp Stumpf/ Biến đổi tỷ lệ

Để tìm kiếm một phương pháp có hệ số phản xạ cao hơn, ít tham số đầu vào hơn, giảm các tham số thực nghiệm, đặc biệt vẫn có hiệu quả qua các biến đổi của môi trường sống đáy biển, một khu vực biển rộng lớn. Mỗi kênh có hệ số hấp thụ nước khác nhau và theo Philpot (1989) phản xạ đáy cả 2 kênh có sự thay đổi tương tự nhau. Tức là phản xạ đáy của cát trên kênh xanh lam cũng tương tự phản xạ của cát trên kênh xanh lục. Theo Stumpf và các đồng nghiệp (2003), phản xạ các chất đáy là khác nhau khi ở cùng một hằng số độ sâu. Tuy nhiên tỷ lệ giữa 2 kênh ảnh (tại độ sâu z , điểm ảnh i, j bất kỳ) $R_{w,z}(\lambda_{blue}) / R_{w,z}(\lambda_{green})$ không đổi. Khi độ sâu tăng lên, hệ số phản xạ của 2 kênh đều giảm. Kênh bị nước hấp thụ cao (Green), càng sâu hấp thụ càng tăng nhanh dẫn tới có hệ số phản xạ $R_w(\lambda_{green})$ giảm nhanh. Trong khi đó kênh hấp thụ ít hơn (Blue) hấp thụ tăng chậm hơn dẫn tới hệ số phản xạ $R_w(\lambda_{blue})$ giảm ít hơn. Do đó tỷ lệ $R_w(\lambda_{blue}) / R_w(\lambda_{green})$ tăng lên theo độ sâu Z ,

và tỷ lệ này không phụ thuộc vào độ phân xạ chất đáy, cụ thể là:

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0 \quad (8)$$

m_1 : Là hằng số; n : Là hằng số cố định cho tất cả các vùng; m_0 : Là phần bù (offset) cho độ sâu $Z = 0$, Tương tự a_0 trong công thức (6); R_w : Giá trị phản xạ của điểm ảnh (sau khi hiệu chỉnh); λ_i, λ_j : Hai kênh phổ dùng để lập ảnh tỉ số.

Giá trị cố định n trong công thức (8) được lựa chọn để đảm bảo rằng cả hai thông số logarit sẽ dương dưới mọi điều kiện và tỷ lệ sẽ tạo ra một tuyến tính với độ sâu Z [3].

Các giá trị m_1, m_0 được xác định bằng phân tích hồi quy tuyến tính giữa độ sâu thực tế và giá trị điểm ảnh tỷ số.

$$AnhTs = \ln(nR_w(\lambda_i)) / \ln(nR_w(\lambda_j)) \quad (9)$$

Và cuối cùng độ sâu được tính

$$Z = m_1(AnhTs) - m_0 \quad (10)$$

Phương pháp Stumpf hay biến đổi tỷ số ảnh có một số ưu điểm như sau:

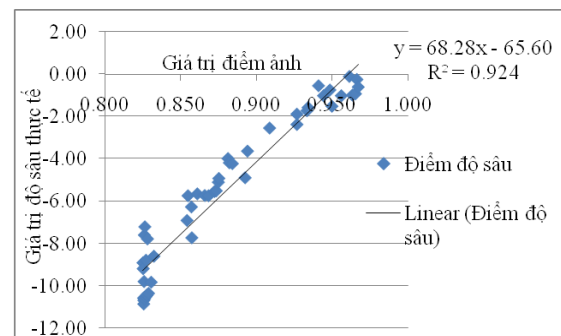
- 1) Không cần yêu cầu loại trừ các điểm nước đen trên điểm ảnh;
- 2) Phương pháp này yêu cầu các hệ số thực nghiệm ít hơn các phương pháp khác, dễ sử dụng và ổn định trong khu vực địa lý rộng lớn;
- 3) Có thể dễ dàng điều chỉnh khi có dữ liệu đo sâu hồi âm tin cậy.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Xây dựng mô hình và đánh giá độ chính xác mô hình

Với đầu vào ảnh viễn thám thu thập như đã trình bày mục "2.2. Dữ liệu", sử dụng phần mềm ArcGIS tính hiệu chỉnh bức xạ các kênh B2 và B3 theo công thức (1) và (2). Sau đó tính ảnh tỷ số theo công thức (9) với đầu vào

là hai kênh ảnh B2 và B3 đã được hiệu chỉnh bức xạ, tức là: $AnhTS = \ln(B2)/\ln(B3)$. Tiếp theo sử dụng công cụ Extract by Value trong ArcGIS để trích xuất 49 giá trị điểm ảnh của ảnh tỷ số (AnhTS) và giá trị độ sâu thực tế. Sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính để hồi quy tập 49 giá trị điểm ảnh tỷ số và tập 49 giá trị độ sâu thực tế, kết quả ta được mô hình như hình 5.



Hình 5. Tương quan giữa giá trị độ sâu thực tế và giá trị điểm ảnh tỷ số.

Như vậy, mô hình ước tính độ sâu tính toán được theo phương pháp Stumpf và cộng sự trên ảnh Landsat8 cho khu vực nước nông ven đảo Trường Sa lớn là:

$$z = 68,28 * AnhTS - 65,6 = 68,28 * \frac{\ln(B2)}{\ln(B3)} - 65,6 \quad (11)$$

Các chỉ số của mô hình: R^2 (R Square) là 0,924; hệ số điều chỉnh (Adjusted R Square) là 0,922; sai số chuẩn (Standard Error) là 1,01; sai số toàn phương trung bình RMSE là 0,99m; sai số trung bình mô hình MAE là 1,55m. Như vậy, mô hình có hệ số tương quan cao, với sai số toàn phương trung bình rất thấp là cơ sở đảm bảo tin cậy để sử dụng mô hình này ước tính bản đồ độ sâu.

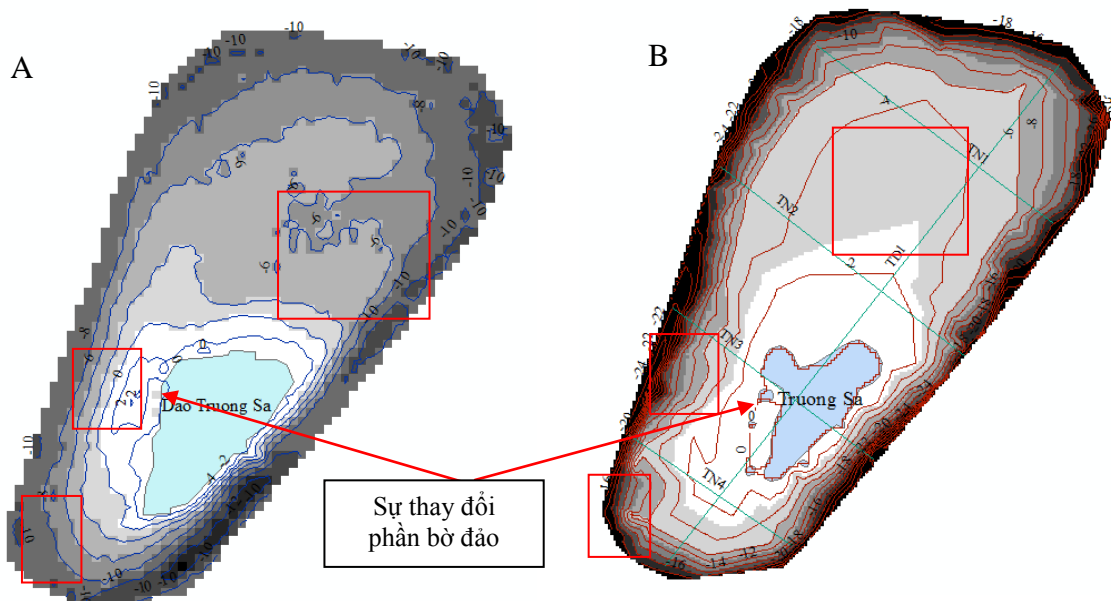
Đánh giá sai số toàn phương RMSE cho từng phạm vi ta thấy rằng: sai số toàn phương tốt nhất trong phạm vi -1 đến -5m, với RMSE là 0,77m; tiếp theo là phạm vi từ -6 đến -9m với 0,814 và phạm vi từ -0 đến -1m với 0,843; Trong phạm vi độ sâu lớn hơn -9m cho kết quả kém nhất với RMSE là 1,27m.

Những khu vực gần bờ với độ sâu từ 0-0.6m thường khó xác định trên ảnh vệ tinh Landsat 8, bởi vì độ phân giải ảnh Landsat 8 là 30m, những độ sâu gần bờ thường cùng Pixel với ranh giới đường biên giữa đất liền và nước. Do đó, tách biên nước và đất liền thường làm mất các điểm ảnh đó. Nếu không tách biên nước thì độ chính xác các điểm gần bờ cũng tương đối thấp.

4.2. Thành lập bản đồ độ sâu và so sánh với bản đồ độ sâu C-Map

Kết quả bản đồ độ sâu

Bản đồ độ sâu khu vực nước nông được ước tính từ ảnh Landsat8 theo công thức (11), kết quả như hình 6 (A), kết quả chỉ ra rằng độ sâu tối đa có thể ước tính được trên ảnh vệ tinh là 12m nước.

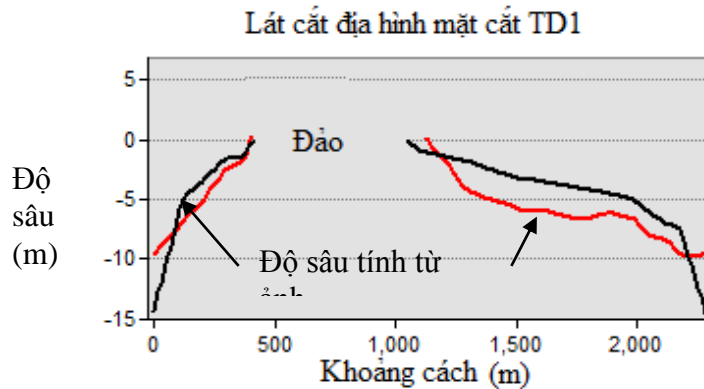


Hình 6. So sánh dữ liệu ước tính từ ảnh vệ tinh (A) và Hải đồ điện tử C_Map (B).

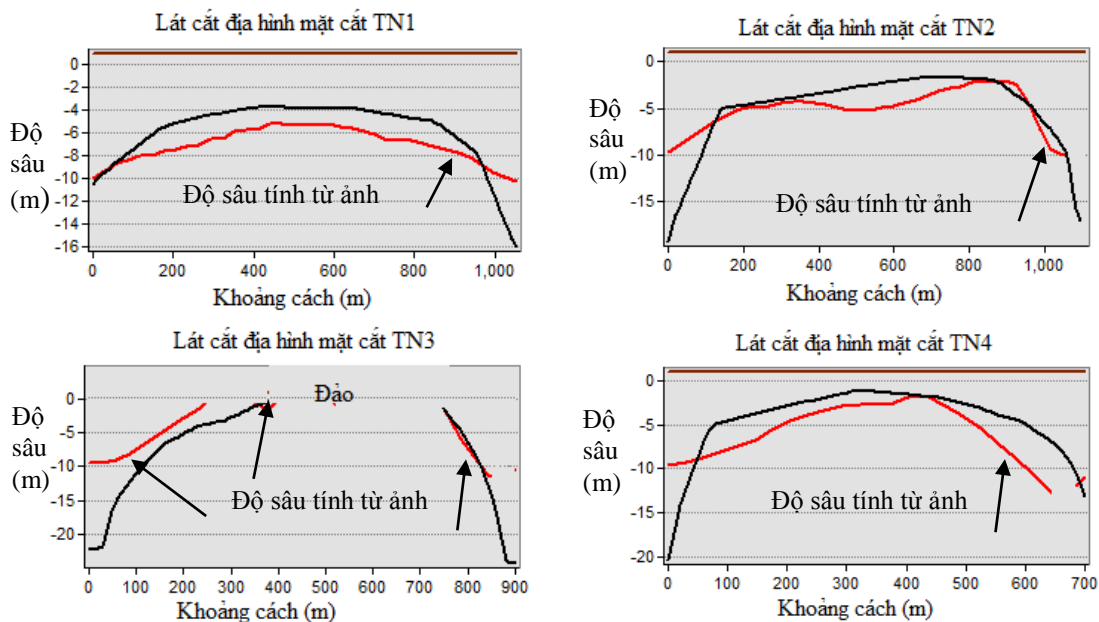
Địa hình khu vực nghiên cứu thoải dần từ bờ ra xa. Theo hướng Bắc tính từ đảo khoảng 1,2 km, độ sâu giảm đều dần từ 0-5m trong 700m và độ sâu tăng nhanh 5m-14m trong 500m còn lại. Phía Đông và Nam của đảo khu vực nước nông hẹp hơn. Trung bình độ sâu giảm nhanh đến 12m trong phạm vi 150m. Hướng Tây, Tây Nam của đảo trong khoảng 500m là độ sâu thoải dần đều. Trên trắc dọc (TD1) của đảo theo hướng Đông Bắc - Tây Nam và các trắc ngang (TN1 đến TN4) theo hướng Tây Bắc - Đông Nam như hình 6 (B) và hình 7, hình 8 thể hiện đầy đủ hình thái địa hình khu vực nước nông ven đảo Trường Sa lớn.

Kiểm tra độ chính xác của bản đồ ước tính từ ảnh vệ tinh

Sử dụng 12 điểm độ sâu thực tế để kiểm tra độ chính xác bản đồ tính được ta thấy rằng: Với 3 điểm độ sâu trong phạm vi từ -2 đến -5m cho kết quả tốt nhất với sai số trung bình 1,1m; 4 điểm trong phạm vi độ sâu từ -6 đến -9m cho kết quả ít tốt hơn với sai số trung bình 1,7m; và kém nhất là 3 điểm với độ sâu lớn hơn -9m cho sai số trung bình 2,2m và 2 điểm độ sâu nhỏ hơn -2m với sai số trung bình 2,3m. Đặc biệt, các khu vực có độ sâu nhỏ hơn -1m (khu vực phía Tây trong phạm vi 100m so với bờ đảo) có chất lơ lửng gần bề mặt lớn, dẫn đến kết quả độ sâu tính được lớn hơn 0 sau khi đã hiệu chỉnh thủy triều (các khu vực gần bờ được thể hiện như hình 7 và hình 8 TN3).



Hình 7. Lát cắt địa hình theo hướng Đông Bắc - Tây Nam.



Hình 8. Lát cắt địa hình theo hướng Tây Bắc - Đông Nam.

So sánh bản đồ độ sâu ước tính từ ảnh vệ tinh và bản đồ C-Map

So sánh độ sâu của mô hình và độ sâu của hải đồ tương đối phù hợp cả về độ sâu và hình dáng địa hình như hình 6. Qua thời gian từ 1999 đến 2014 đã có sự thay đổi địa hình do dòng chảy, bồi đắp... Tuy nhiên dáng địa hình vẫn không thay đổi nhiều. Hình dáng bờ đảo đã có sự thay đổi đáng kể, đảo đã được mở rộng lớn hơn so với năm 1999. Bản đồ tính được bằng ảnh viễn thám (hình 6-A) thể hiện độ sâu chi

tiết hơn so với bản đồ C-Map. Các khu vực sai khác đáng kể về địa hình đã được đánh dấu hình chữ nhật trên hình vẽ (hình 6).

Sử dụng các lát cắt đặc trưng địa hình cho hai lớp bản đồ độ sâu gồm lát cắt dọc (TD1) của đảo theo hướng Đông Bắc - Tây Nam và các lát cắt ngang (TN1 đến TN4) theo hướng Tây Bắc - Đông Nam như hình 6-B, kết quả được thể hiện trên hình 7 và hình 8. Từ hình 7 ta thấy rằng: độ sâu tính được bằng ảnh vệ tinh theo lát cắt này trung bình sâu hơn 2m so với

hải đồ C-Map, phạm vi gần bờ có độ sâu lớn hơn và phạm vi đảo theo hướng này năm 2014 cũng lớn hơn năm 1999. Kết hợp lát cắt địa hình TD1 và TN1, TN2 ta thấy độ sâu khu vực phía Bắc của đảo, cách bờ đảo từ 200 - 800m bình độ ước tính được có độ sâu trung bình lớn hơn 2m so với bản đồ C-Map năm 1999. Lát cắt ngang TN3 cũng cho thấy độ sâu khu vực phía tây bờ đảo cách bờ đảo khoảng 100-300m, độ sâu ước tính được lớn hơn 1,2m so với bản đồ C-Map.

5. Kết luận

Kết quả nhận được trong nghiên cứu cho thấy, độ sâu vùng nước nông ven các đảo thuộc quần đảo Trường Sa tương quan với sự suy giảm năng lượng phản xạ phổ trên ảnh vệ tinh đa phổ. Với độ sâu xác định được 12m nước, các chỉ số thống kê của mô hình tính toán được cho thấy thuật toán biến đổi tỷ lệ phù hợp để ước tính độ sâu khu vực nước nông ven các đảo trên quần đảo Trường Sa. Làm cơ sở để đánh giá hình thái địa hình khu vực nước nông tại quần đảo này. Công tác ước tính độ sâu này cũng được sử dụng như một công cụ để đánh giá các khả năng thuận tiện hay khó khăn để kiểm tra các khu vực ven bờ biển hay ven các đảo trước khi tiến hành khảo sát thủy văn có độ phân giải cao được thực hiện bằng cách sử dụng công cụ đất liền như hồi âm đa tia vv.. Bằng cách sử dụng các kết quả của công cụ này có thể đánh giá sự thay đổi độ sâu của một khu vực lớn đòi hỏi thường xuyên cập nhật dữ liệu thủy văn có độ phân giải cao.

Tài liệu tham khảo

- [1] Hell, B., Mapping bathymetry: From measurement to applications, 2011, Department of Geological Sciences, Stockholm University.
- [2] Jawak, S.D., S.S. Vadlamani, and A.J. Luis, A synoptic review on deriving bathymetry information using remote sensing technologies: models, methods and comparisons. *Advances in Remote Sensing*, 2015. 4(02): p. 147.
- [3] Stumpf, R.P., K. Holderied, and M. Sinclair, Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, 2003. 48(part2): p. 547-556.
- [4] Trương Thị Hòa Bình, Ứng dụng công nghệ viễn thám xác định nhanh biến động đường bờ biển một số đảo vùng quần đảo Trường Sa và Hoàng Sa. Báo cáo tổng hợp đề tài nghiên cứu khoa học, 2008.
- [5] Phạm Xuân Hoàn và cs, Phân tích và xử lý dữ liệu ảnh vệ tinh quang học đa thời gian kết hợp với dữ liệu đo đạc thực địa để luận giải và kiểm chứng quá trình bồi xói đảo ở Trường Sa. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam*, 2017.
- [6] Nguyễn Thế Tiếp, et al., Các loại hình tai biến vùng quần đảo Trường Sa. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, 2012.
- [7] Trần Anh Tuấn, Nghiên cứu đặc điểm cảnh quan các đảo nổi san hô quần đảo Trường Sa. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 2014. tập 14, số 3.
- [8] <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>, Thông tin chi tiết về vệ tinh Landsat 8.
- [9] Phòng bảo đảm Hàng Hải, Bảng thủy triều năm 2014 - tập 3. 2013.
- [10] Nguyễn Khắc Thời, Giáo trình viễn thám. Trường đại học Nông nghiệp Hà Nội, 2011.
- [11] Austin, R., The remote sensing of spectral radiance from below the ocean surface. *Optical aspects of oceanography*, 1974: p. 317-344.
- [12] Lyzenga, D.R., Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Applied optics*, 1978. 17(3): p. 379-383.
- [13] Lyzenga, D.R., Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data. *International journal of remote sensing*, 1985. 6(1): p. 115-125.
- [14] Lyons, M., S. Phinn, and C. Roelfsema, Integrating Quickbird multi-spectral satellite and field data: mapping bathymetry, seagrass cover, seagrass species and change in Moreton Bay, Australia in 2004 and 2007. *Remote Sensing*, 2011. 3(1): p. 42-64.
- [15] Ehses, J. and J. Rooney, Depth derivation using multispectral WorldView-2 satellite imagery. US Department of Commerce. NOAA Technical Memorandum NMFS-PIFSC-46, 2015. 24.
- [16] Bramante, J.F., D.K. Raju, and T.M. Sin, Multispectral derivation of bathymetry in Singapore's shallow, turbid waters. *International journal of remote sensing*, 2013. 34(6): p. 2070-2088.

- [17] Jagalingam, P., B. Akshaya, and A.V. Hegde, Bathymetry mapping using Landsat 8 satellite imagery. *Procedia Engineering*, 2015. 116: p. 560-566.
- [18] Spitzer, D. and R. Dirks. Classification of bottom composition and bathymetry of shallow waters by passive remote sensing. in *IN: Remote sensing for resources development and environmental management; Proceedings of the Seventh International Symposium, Enschede, Netherlands, Aug. 25-29, 1986. Volume 2 (A88-41961 17-43)*. Rotterdam, AA Balkema, 1986, p. 775-777. 1986.

Research Bathymetry Mapping of Shallow Water Areas around Islands in the Truong Sa Archipelago by Deep - Remote sensing technology

Phan Quoc Yen^{1,2}, Dao Khanh Hoai¹, Dinh Thi Bao Hoa²

¹*Military Technical Academy, 236 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Vietnam*

²*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam*

Abstract: Satellite image data is being researched and applied effectively in the survey and establishment of bathymetry mapping in shallow water areas in both time and human terms. Remote sensing techniques contribute to rapid updating of topography, timely assurance of civil and military operations such as maritime safety, environmental security and rescue, warfare in the military, especially the ability to remotely monitor disputed areas. The article experiment with the Stumpf algorithm to estimate the shallow water depths on the Spratly Island by Landsat 8 image. The correlation coefficient of the model R^2 is 0.924; RMSE is 0.99m. In addition, the results are compared with the map data of C-map and use 12 actual test points scores to evaluate the accuracy of the model.

Keywords: Bathymetry, terrain, remote sensing, Landsat 8, Truong Sa archipelago.