

Báo cáo khoa học: Bằng chứng về những thay đổi môi trường gây ra bởi hành vi bồi đắp đảo của Trung Quốc

Leland Smith¹, Peter Cornillon², Don Rudnickas³ & Colleen B. Mouw

Bài báo cáo định lượng những ảnh hưởng đến môi trường từ các hành vi bồi đắp đảo trên Biển Đông, kết quả từ việc nạo vét và có thể tác động tiêu cực đến hệ động vật, thực vật biển và hệ sinh thái biển. Mức độ thiệt hại gây ra bởi việc xây dựng đảo được cho là trầm trọng vì các rạn san hô ở Biển Đông tập trung đa dạng sinh học biển lớn nhất trên Trái Đất. Bằng cách sử dụng các hình ảnh vệ tinh, chúng tôi điều tra được rằng, việc bồi đắp đảo trên Đá Vành Khăn ở Biển Đông làm tăng tán xạ ngược lên tới 350% ở vùng nước xung quanh, với lượng trầm tích vượt quá 250 km² trong suốt thời gian xây dựng đảo, và khu vực bị ảnh hưởng rộng trên 1.200 km². So sánh chất diệp lục tố a, tán xạ ngược, hấp thụ và phổ phản xạ trong viễn thám (remote sensing reflectance) từ hình ảnh vệ tinh ở bước sóng 412nm cho thấy các hoạt động nạo vét đảo khiến cho sức khỏe sinh học của khu vực này bị suy giảm, nguyên nhân là do các hoạt động này tạo ra các chất lắng cặn và chúng làm nghẹt môi trường sống tự nhiên và các rạn san hô. Chúng tôi lo ngại trước những ảnh hưởng từ mối quan hệ giữa việc xây dựng đảo, lượng lớn hợp chất lắng cặn dư đáy biển (large particulate plumes) và việc suy giảm của các sinh vật biển nên đã tiến hành nghiên cứu xa hơn về tác động đến hệ sinh thái biển. Các mối liên hệ tiềm tàng giữa những thiệt hại này với sự suy giảm về lâu dài của đời sống sinh vật biển và các nguồn tài nguyên có thể hỗ trợ các cơ quan liên chính phủ những cơ sở để đánh giá mức độ thiệt hại. Điều này có thể dẫn đến các chính sách rắn đe nhằm hạn chế xây dựng đảo cũng như vấn đề bồi thường sau đó

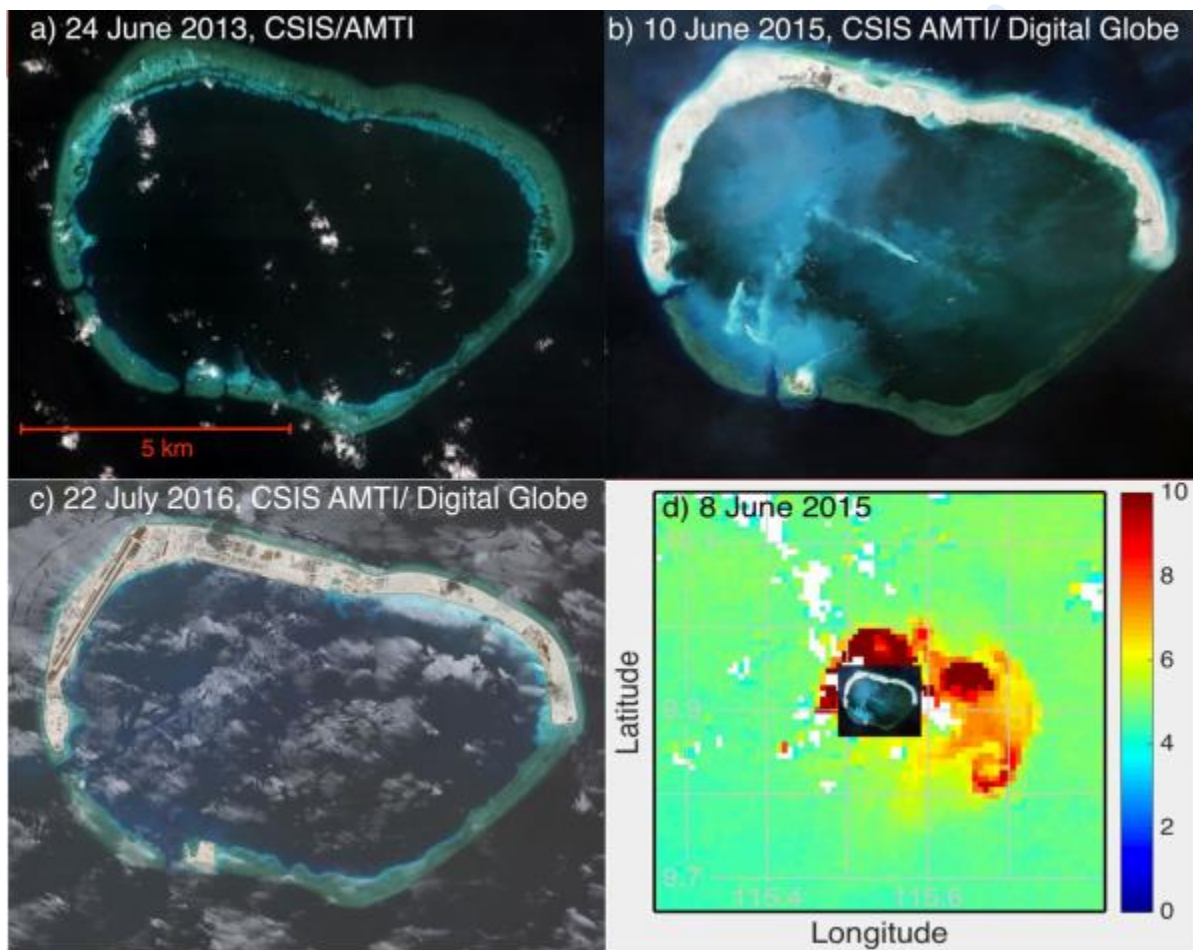
¹ Georgetown University Law center, Washington, Dc, USA.

² Graduate School of Oceanography, University of Rhode island, narragansett, RI, USA.

³ U.S. coast Guard international ice Patrol, new London, ct, USA. correspondence and requests for materials should be addressed to L.S. (email: lhs37@georgetown.edu)

Xây dựng đảo nhân tạo thường bao gồm nạo vét kiểu hút cắt (cutter suction dredging - CSD) và/hoặc nạo vét kiểu phễu kéo (trailing hopper dredging - THD), và theo sau đó thường là hoạt động xây dựng sân bay.^{1,2} Hành động này cho phép các quốc gia tăng cường sức mạnh quân sự thông qua trang bị vũ khí trên các đảo mới này và bảo vệ các tàu cá tối quan trọng.³ Từ năm 2013 đến 2017, trên Biển Đông, Trung Quốc đã xây dựng khoảng 1.295 hecta đảo mới, Việt Nam xây dựng khoảng 49 hecta đảo mới và Đài Loan xây dựng khoảng 3 hecta đảo mới.⁴ Mức độ của hành động này trên Biển Đông và những thay đổi môi trường trên thực tế có thể khiến cho môi trường sinh học sinh vật sống dưới đáy biển bị suy giảm,⁵ lẽ dĩ nhiên điều đó đưa đến câu hỏi: những hành động này tác động như thế nào đến môi trường đại dương xung quanh? Mối liên quan giữa các hoạt động xây dựng đảo của Trung Quốc và suy thoái môi trường biển là rất lớn, vì quần đảo Trường Sa trên Biển Đông là một hệ sinh thái biển đặc biệt, chúng là nguồn tạo ấu trùng quan trọng cho các rạn san hô trong khu vực.^{6,7} Nhu cầu về nguồn cá ngày càng cao ở Biển Đông đã dẫn đến căng thẳng chính trị, thậm chí là vũ lực, khi hàng triệu người trong khu vực phụ thuộc vào đánh bắt cá để sinh nhai.⁸ Việc bảo tồn các loài sinh vật cũng như sự ô nhiễm lan rộng các tiểu vùng và xuyên biên giới các quốc gia trên Biển Đông càng làm phức tạp thêm những căng thẳng này. Các quốc gia nằm ngoài Biển Đông cũng bị ảnh hưởng bởi hệ sinh thái Biển Đông vì vùng biển này nằm ở rìa phía tây của Tam giác San Hô, nơi tập trung đa dạng sinh học biển lớn nhất trên Trái đất, trong đó có nhiều loài đang bị đe dọa.⁹ Nói chung, mặc dù đã có nhiều nghiên cứu xem xét tác động của việc nạo vét,^{10,11} nhưng căng thẳng chính trị ở Biển Đông đã cản trở các phép đo tại chỗ trên thực địa gần các địa điểm xây dựng đất đảo nhân tạo. Kết quả trình bày trong tài liệu này, dựa trên nghiên cứu về trường hợp Đá Vành Khăn (9,90°N, 115,54°E) (Ảnh 1a-c) cho đến tháng 12/2018, bổ sung thêm nghiên cứu [của BH2016 Hereafter¹²], trong các công trình đó, các tác giả đã ghi lại mức độ thiệt hại do xây dựng đảo, từ khi bắt đầu tiến hành nạo vét đến tháng 12/2015. Trong đó, đặc biệt chú ý đến các tác động sinh học. Đá Vành Khăn được lựa chọn do được nạo vét quy mô lớn (gần 558 hecta) và xây dựng đường băng lớn (2.644 m x 55 m) (ảnh 1c).^{13, 14} Ngày bắt đầu và kết thúc các hoạt động nạo vét dường như không được công khai. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã giới hạn

ngày bắt đầu dựa trên phân tích hình ảnh được lưu trữ trên trang web của Sáng kiến Minh bạch Hàng hải Châu Á (Asia Maritime Transparency Initiative), website Mischief Reef Tracker [<https://amti.csis.org/mischief-reef/> kể từ 26/10/2017] của Trung tâm Nghiên cứu Chiến lược Quốc tế (The Center for Strategic and International Studies). Đá Vành Khăn phần lớn chìm vào năm 2014, sau khi bắt đầu nạo vét thì nổi trên mặt nước từ năm 2015, và có các khu dân cư và một đường băng vào năm 2016 (hình ảnh 1a-c). Những quan sát này nhất quán với sự gia tăng diện tích của vùng nước bị ảnh hưởng được ghi lại dưới đây.



Hình 1. Tiến trình xây dựng đảo và các thay đổi môi trường tại Đá Vành Khăn. Hình ảnh độ phân giải cao của Sáng kiến Minh bạch Hàng hải Châu Á của Trung tâm Nghiên cứu Chiến lược Quốc tế cho thấy (a) Đá Vành Khăn nguyên trạng năm 2013, (b) bằng chứng về hành vi nạo vét lớn năm 2015, (c) bằng chứng về những phát triển trên

mặt đất Đá Vành Khăn năm 2016, (d) phân tích của chúng tôi về hình ảnh màu đại dương từ Máy quang phổ hình ảnh (MODIS-Aqua) chỉ ra một lượng tán xạ lớn trùng với thời gian tiến hành hoạt động nạo vét cao trong hình (b).

Các phương pháp

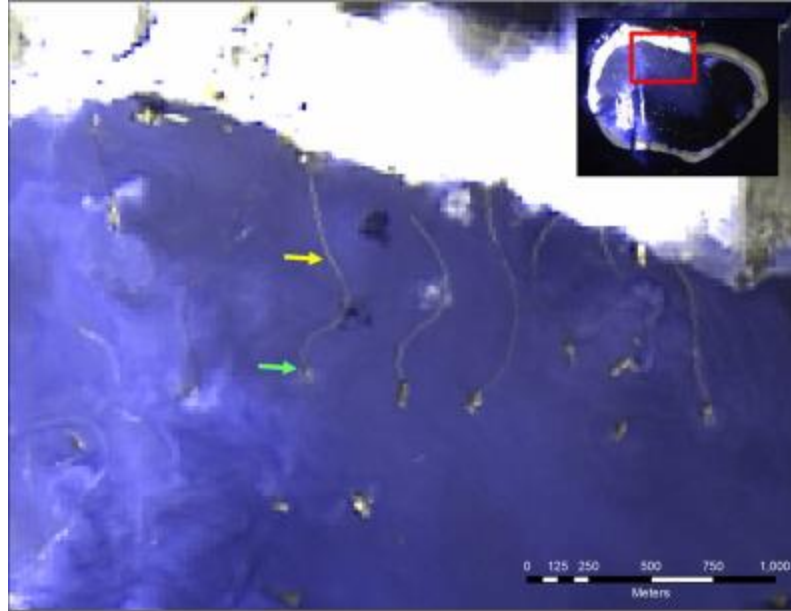
Phân tích nạo vét. Phương pháp xử lý ảnh vệ tinh đa phổ độ phân giải trung bình Landsat 7 ETM+ (ETM +), Bộ Thu nhận ảnh mặt đất Landsat 8 (OLI) và hình ảnh vệ tinh Sentinel 2A (cấp 1C) (truy cập thông qua website Khảo sát địa chất Hoa Kỳ - United States Geological Survey (USGS): <https://earthexplorer.usgs.gov/>) đã được sử dụng để theo dõi tiến độ xây dựng Đá Vành Khăn. Bằng giải đoán trực quan và mô tả thủ công mỗi hình ảnh được sử dụng, đã ước tính được số lượng tàu trong đầm phá, số lượng tàu nạo vét, diện tích đất được bồi đắp và tỷ lệ nạo vét được xác định từ tháng 1/2014 đến tháng 12/2017. Hình ảnh với độ mây che phủ dưới 50% trên rạn san hô đã được tải xuống và chuyển đổi thành hình ảnh đa phổ sử dụng chức năng ngăn xếp lớp trong ERDAS Imagine 2016.

Đá Vành Khăn nằm ở đường 119, hàng 53 trên quỹ đạo Landsat. Landsat 7 được phóng vào năm 1999 và Landsat 8 được phóng vào năm 2013. Cả hai vệ tinh có chu kỳ 16 ngày, đi qua khu vực nghiên cứu khoảng 0240Z nhưng Landsat 7 và 8 hoạt động luân phiên vì vậy mỗi vệ tinh hoạt động trong thời gian 8 ngày. Cả hai cảm biến ETM + và OLI đều đa phổ với độ phân giải không gian 30m. Các dải 3, 2 và 1 màu đỏ, xanh lục và xanh lam (RGB) được sử dụng cho ETM+ và các dải 4, 3 và 2 RGB được sử dụng cho OLI để tạo ra màu sắc chân thực. Chúng tôi cũng sử dụng ảnh toàn sắc/Panchromatic (band 8) với độ phân giải 15m có sẵn trên cả hai cảm biến. Vào năm 2003, Bộ hiệu chỉnh đường quét (Scan Line Corrector - SLC) của Landsat 7 đã hỏng, dẫn đến các điểm ảnh bị sót rộng khoảng 120m (4 điểm ảnh), do đó số lượng tàu tính toán không chính xác. Hình ảnh chứa các điểm ảnh bị bỏ qua song song và che phủ đường bờ biển không được sử dụng để mô tả khu vực.

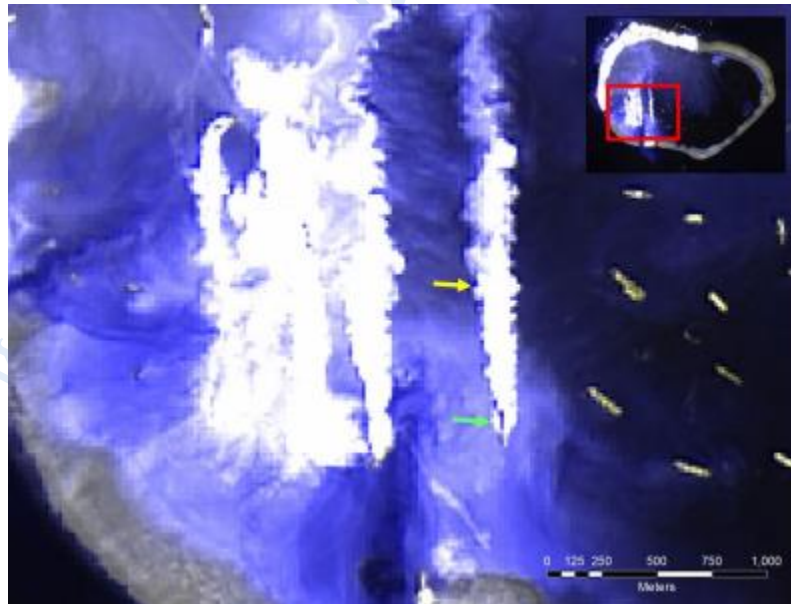
Sentinel 2A được phóng vào năm 2015, có chu kỳ 10 ngày, đi qua khu vực nghiên cứu khoảng 0300Z. Các dải 3, 2 và 1 RGB với độ phân giải 10m được sử dụng để tạo ra màu sắc chân thực. Trong tổng số 214 hình ảnh từ Landsat và Sentinel, 138 hình ảnh được phân tích trong điều kiện hoàn toàn không có mây che phủ. Mỗi hình ảnh được kiểm tra trực quan trong các dải màu thật và hình ảnh toàn sắc để ước tính số lượng tàu trong đầm phá. Nạo vét khối lượng lớn đã được tiến hành. Tàu nạo vét kiểu hút cát được nhận dạng thông qua các đường ống nạo vét lớn dẫn đến rạn san hô (hình 2). Tàu nạo vét kiểu phễu kéo được xác định thông qua các tàu trong đầm phá trùng với lượng lớn chất lắng cặn dư đáy biển (large plumes) dọc theo đó (hình 3). Độ phân giải không gian của các vệ tinh được sử dụng không thể nhận dạng chi tiết hơn các thiết bị cũng như không xác định được các tàu nạo vét không tham gia nạo vét; tức là, số lượng tàu nạo vét tham gia xây dựng Đá Vành Khăn ước tính được thấp hơn số lượng trên thực tế.

Độ phân giải không gian của hình ảnh trong phương pháp này có lỗi vì độ phân giải không đủ để phân biệt các tàu có thể được neo cùng với nhau. Một hình ảnh từ Digital Globe có độ phân giải cao vào tháng 4/2016 đã được sử dụng để xác thực các loại tàu nạo vét có mặt và quan sát thấy nhiều tàu được neo theo cách này.

Diện tích đất bồi đắp được phác họa thủ công bằng cách sử dụng hộp công cụ Draw/AOI trong ERDAS Imagine. Phần đất bồi đắp có thể được phân biệt rõ ràng với vùng đất ngập nước bởi phản xạ lớn, tạo ra màu trắng sáng trong hình ảnh và tương phản mạnh mẽ với vùng nước xung quanh. Cho đến ngày 30/4/2016, không có hoạt động nạo vét nào nữa được xác định và cứ sáu tháng lại phân tích một lần mà không phát hiện diện tích đất mới nào cho đến tháng 11/2017. Quá trình phân định thủ công có thể bị lỗi do việc giải thích hình ảnh từ nhà phân tích. Để giảm thiểu khả năng này, một người đã tiến hành mọi phân tích để đảm bảo tính nhất quán.



Hình 2. Tàu nạn vết kiểu hút cắt được xác định bởi các đường ống nạn vết bằng OLI sử dụng các dải 8-8-2 trong RGB vào ngày 6/5/2015. Mũi tên màu xanh lá cây và màu vàng tương ứng chỉ vào một nạn vết mẫu và đường ống.



Hình 3. Tàu nạn vết kiểu phễu kéo được xác định bởi lượng chất lắng cặn dư đáy biển (plumes) dọc theo đó bằng OLI sử dụng các dải 8-8-2 trong RGB vào ngày

6/5/2015. Mũi tên màu xanh lá cây và màu vàng chỉ vào một nạo vét mẫu và tạo ra chất lắng cặn dư đáy biển (plume) tương ứng.

Các biện pháp tác động.

Chúng tôi xem xét tác động của việc nạo vét từ hai quan điểm khác nhau. Đầu tiên, trên cơ sở hàm thời gian, chúng tôi xác định khu vực tán xạ ngược từ đại dương, trong dải quang phổ 412nm của Máy quang phổ hình ảnh độ phân giải vừa phải (MODIS) vượt quá ngưỡng xác định từ một vùng cách xa Đá Vành Khăn. Điều này cung cấp ước tính về khu vực bị ảnh hưởng và cách khu vực này thay đổi theo thời gian. Thứ hai, trên cơ sở hàm khoảng cách từ rạn san hô, chúng tôi xác định sự thay đổi về đặc điểm quang phổ của vùng nước trong vùng lân cận của rạn san hô. Điều này cho phép chúng tôi tách các tác động sinh học tiềm năng khỏi các tác động hoàn toàn là vật lý cả ở đầm phá và bên ngoài rạn san hô. Điều quan trọng là phải nhấn mạnh rằng cả hai là phép đo cột nước, chúng không cung cấp ước tính các san hô cụ thể đã bị bao phủ hoặc bị ảnh hưởng bởi việc nạo vét. Tuy vậy, khi kết hợp cùng nhau, chúng chỉ ra một tác động sinh học đáng kể như sẽ được hiển thị dưới đây. Một điều cũng quan trọng là chỉ có dữ liệu MODIS được sử dụng cho các biện pháp tác động do đó kết quả phù hợp với thời gian.

Khu vực bị ảnh hưởng Xác định từ Tán xạ ngược. Chúng tôi sử dụng tán xạ ngược, ước tính bằng thuật toán bán phân tích tổng quát thuộc tính quang học (GIOP)¹⁵ áp dụng cho các bức xạ quang phổ thu được từ MODIS-Aqua, để ước tính vùng bị ảnh hưởng. Mặc dù phương pháp được sử dụng khác với phương pháp của BH2016, hai phương pháp tiếp cận khá phù hợp với thời gian của các sự kiện. Do đó, nghiên cứu này nhằm để chứng thực kết quả của BH2016, cũng như cung cấp chi tiết về hoạt động của tàu và để kéo dài thời gian nghiên cứu đến hết tháng 12 năm 2018; nghiên cứu về BH2016 bao gồm khoảng thời gian đến tháng 12 năm 2015.

Để cho phép một quan điểm lịch sử, cũng như cung cấp dữ liệu cần thiết cho nghiên cứu này, mỗi hạt ban ngày Cấp độ 2 (L2) từ tháng 1 năm 2013 đến tháng 12 năm 2018 chạm vào một phần của Đá Vành Khăn đã được mua lại từ trang web Ocean Color của

NASA [<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>] [“Cấp độ 2” đề cập đến mức xử lý của dữ liệu, một danh pháp được sử dụng rộng rãi cho các bộ dữ liệu có nguồn gốc từ vệ tinh, mặc dù ý nghĩa chính xác của mức độ xử lý khác nhau tùy theo tổ chức. Định nghĩa do Cơ quan Hàng không và Vũ trụ Quốc gia (NASA) ban hành được sử dụng ở đây: <http://science.nasa.gov/earth-science/earth-science-data/data-processing-levels-for-eosdis-data-products/>. Điều quan trọng cho cuộc thảo luận này là các sản phẩm L2 ở tọa độ vệ tinh và các sản phẩm L3 ở tọa độ địa lý]. Dữ liệu được trích xuất từ mỗi hạt để sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm thời gian điểm ảnh vệ tinh đi qua và đối với mỗi điểm ảnh trong hạt, thước đo chất lượng của dữ liệu (được gọi là l2_flags trong tập dữ liệu), vị trí của điểm ảnh (vĩ độ và kinh độ) và tổng độ hấp thụ và tổng tán xạ ngược dựa trên mô hình GIOP cho từng dải phổ có sẵn trên MODIS trong phần nhìn thấy của phổ (412, 443, 469, 488, 531, 547, 555, 645, 667, 678nm). Khu vực nghiên cứu được bao phủ bởi vệ tinh ít nhất một lần mỗi ngày, nhưng vì các kênh quang phổ quan tâm nằm trong phần nhìn thấy của quang phổ, nên có thể nhìn rõ các rạn san hô và vùng nước xung quanh trong điều kiện không có mây.

Quá trình xử lý bắt đầu bằng cách lấy lại các trường hấp thụ L2 và tán xạ ngược vào lưới phẳng-vuông 334×334 km (L3) tập trung vào Đá Vành Khăn với khoảng cách lưới 750m theo kinh độ và vĩ độ. [Độ phân giải 750 m đã được chọn để có thể so sánh các trường hấp thụ và tán xạ ngược với các trường thu được từ Bộ đo quang kế hồng ngoại có thể nhìn thấy (VIIRS) được mang trên tàu vũ trụ Đối tác quỹ đạo cực quốc gia Suomi (NPP). Tuy nhiên, các truy xuất từ VIIRS tỏ ra nhiều hơn so với MODIS, vì vậy những dữ liệu này không được sử dụng trong phân tích này.] Là một phần của quy trình hồi quy, các cờ xử lý (chất lượng) L2 được sử dụng để đánh dấu, để sau này loại ra, điểm ảnh được đánh dấu là độ bức xạ cao, mây, nước thấp tạo ra bức xạ, hấp thụ sol khí, diệp lục ra khỏi giới hạn, nghi ngờ điều chỉnh khí quyển hoặc hồng sản phẩm. Không được đánh dấu là các điểm ảnh được gán cờ là có chứa cocco-lithophores, nước đục hoặc ánh sáng vừa phải. Một bức ảnh xử lý lấy hình mặt đất được tạo ra bằng cách tổng hợp các hình ảnh ngược lại 412nm đã được ánh xạ lại từ 2002-2010 (tổng cộng 2.679 hình ảnh) và tạo

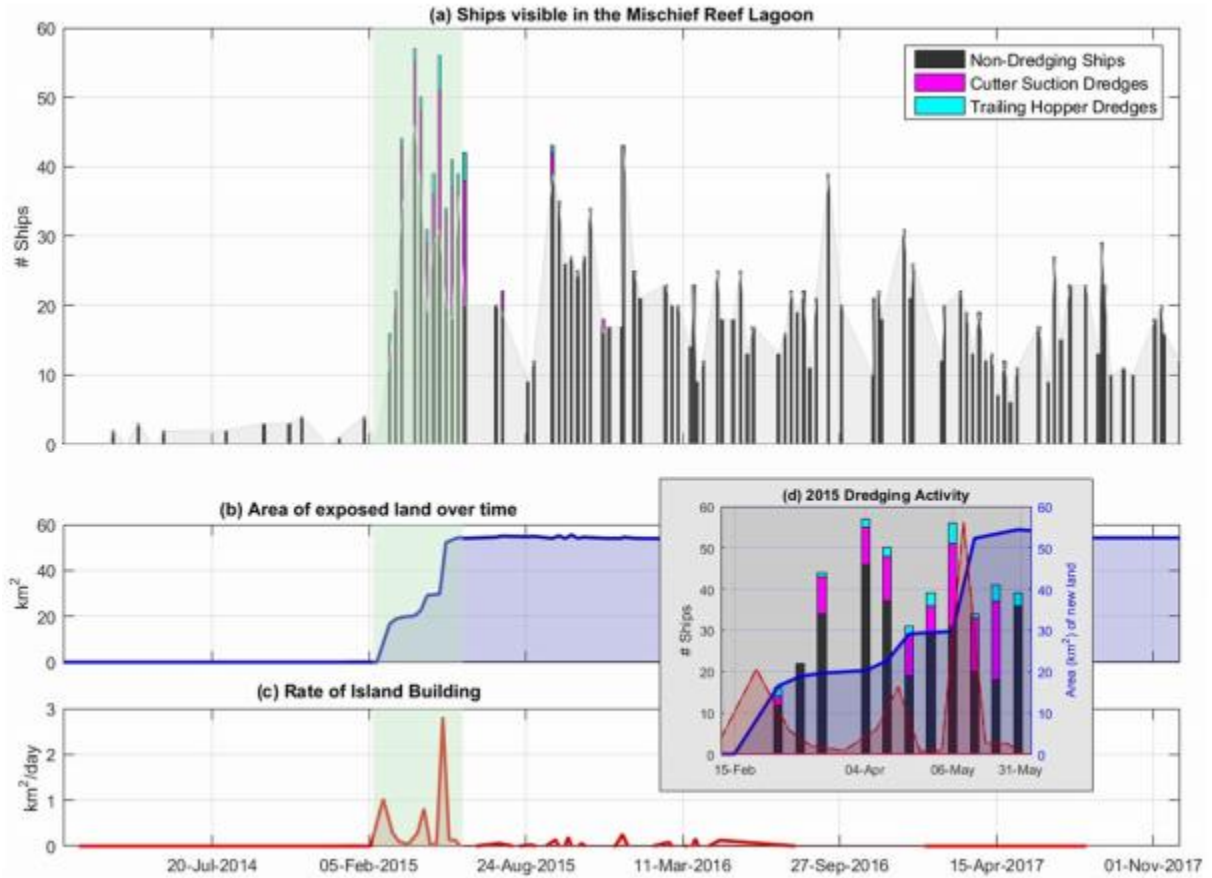
ngưỡng hình ảnh thu được ở $4,55^{-1}$ m; các giá trị trên $4,55$ m⁻¹ được đặt thành một, các giá trị đất, các giá trị còn lại, đại dương, được đặt thành không. Bức ảnh xử lý lấy hình mặt đất thu được thể hiện tốt về hình dạng và kích thước với hình ảnh của Đá Vành Khăn từ trang web Sáng kiến Minh bạch Hàng hải Châu Á, trang web Mischief Reef Tracker. Bức ảnh xử lý lấy hình mặt đất cũng phù hợp với các rạn san hô tiếp xúc khác trong khu vực. Không có nỗ lực nào được thực hiện để phân biệt giữa vùng đất nằm trên mặt nước khi thủy triều lên nhưng không nằm trên mặt nước khi thủy triều thấp. Các điểm ảnh “mặt đất” đã được đánh dấu để loại trừ trong phân tích tiếp theo. Đối với mỗi hình ảnh được ánh xạ lại, số lượng điểm ảnh không được đánh dấu để loại trừ, tổng giá trị tán xạ ngược (hoặc độ hấp thụ) của các điểm ảnh này và tổng bình phương của các giá trị tán xạ ngược được xác định cho mỗi vòng hình khuyên 1 km (0-1 km, 1-2 km, 2-3 km, ...) tập trung vào Đá Vành Khăn từ 1 đến 100 km. Điều này cho phép xác định giá trị trung bình và phương sai cho bất kỳ giai đoạn và/hoặc nhóm vòng tròn hình khuyên nào.

Để xác định khu vực bị ảnh hưởng, giá trị tán xạ nền trung bình cho từng dải quang phổ nhìn thấy được trong mỗi hình ảnh được xác định cho một khoảng cách từ 31 đến 50 km từ rạn san hô, một khu vực không bị ảnh hưởng bởi việc nạo vét như được trình bày dưới đây. Số lượng điểm ảnh trong một khoảng cách từ 7 đến 35 km, vượt quá 30% tán xạ nền trung bình cho dải quang phổ đã cho, sau đó được nhân với diện tích của một điểm ảnh cho vùng bị ảnh hưởng. Các điểm ảnh bị che có thể đã bị ảnh hưởng nhưng không được tính do đó ước tính khu vực bị ảnh hưởng cho một vết loang là giới hạn thấp hơn trên khu vực bị ảnh hưởng thực tế cho ngày hôm đó. Hơn nữa, đầm phá trong Đá Vành Khăn không nằm trong tính toán này bởi vì giá trị trong đầm thường vượt quá giá trị của nền trong thời kỳ nạo vét trước và tất nhiên cả trong và sau khi nạo vét.

Để ước tính diện tích đáy biển có khả năng bị ảnh hưởng bởi các trầm tích chìm, độ tán xạ trung bình của các điểm ảnh, được đánh dấu là bị ảnh hưởng, được xác định cho năm 2008 và 2015. Độ tán xạ trung bình của các điểm ảnh bị ảnh hưởng được đưa ra bởi:

$$\overline{CBS}_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^N BS_{i,j,k} * Impacted_{i,j,k}}{\sum_{k=1}^N Clear_{i,j,k}}$$

Trong đó N là số lượng vệ tinh đi qua trong khoảng thời gian quan tâm, $BS_{i,j,k}$ là tán xạ ngược cho điểm ảnh (i, j)th của hình ảnh thứ kth,



Hình 4. Kết quả phân tích hình ảnh Landsat và Sentinel. (a) Hiển thị số lượng tàu (nạo vét và không nạo vét) trong đầm phá từ tháng 1 năm 2014 đến tháng 12 năm 2017. (b) Hiển thị diện tích đất của dự án xây dựng đảo. (c) Là tốc độ nạo vét (được tính bằng sự thay đổi diện tích đất giữa các hình ảnh vệ tinh có thể sử dụng). (d) Là tập hợp con của khung thời gian hoạt động nạo vét cao điểm từ tháng 2 đến tháng 5 năm 2015 được xác định trong (a-c) bởi bóng màu xanh lục.

$$Impacted_{i,j,k} = \begin{cases} 1 & \text{if } BS_{i,j,k} > 1.3 * Background_{i,j,k} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

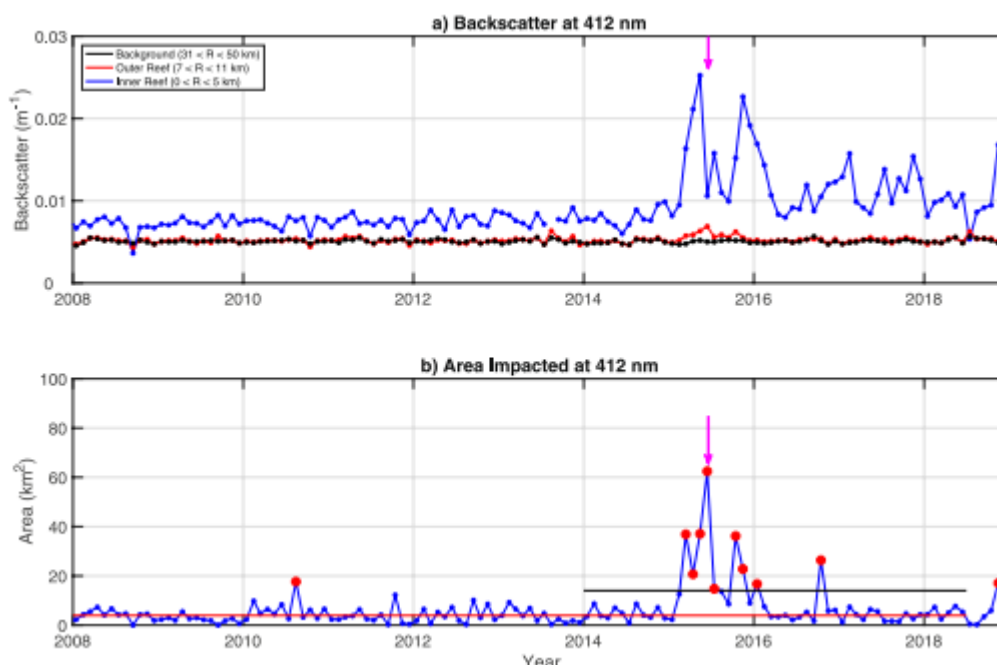
$Background_k$ là tán xạ nền trung bình như được mô tả ở trên cho hình ảnh đã cho, và

$$Clear_{i,j,k} = \begin{cases} 1 & \text{if there is an acceptable value for pixel}(i, j)\text{ of the } k^{\text{th}} \text{ image,} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

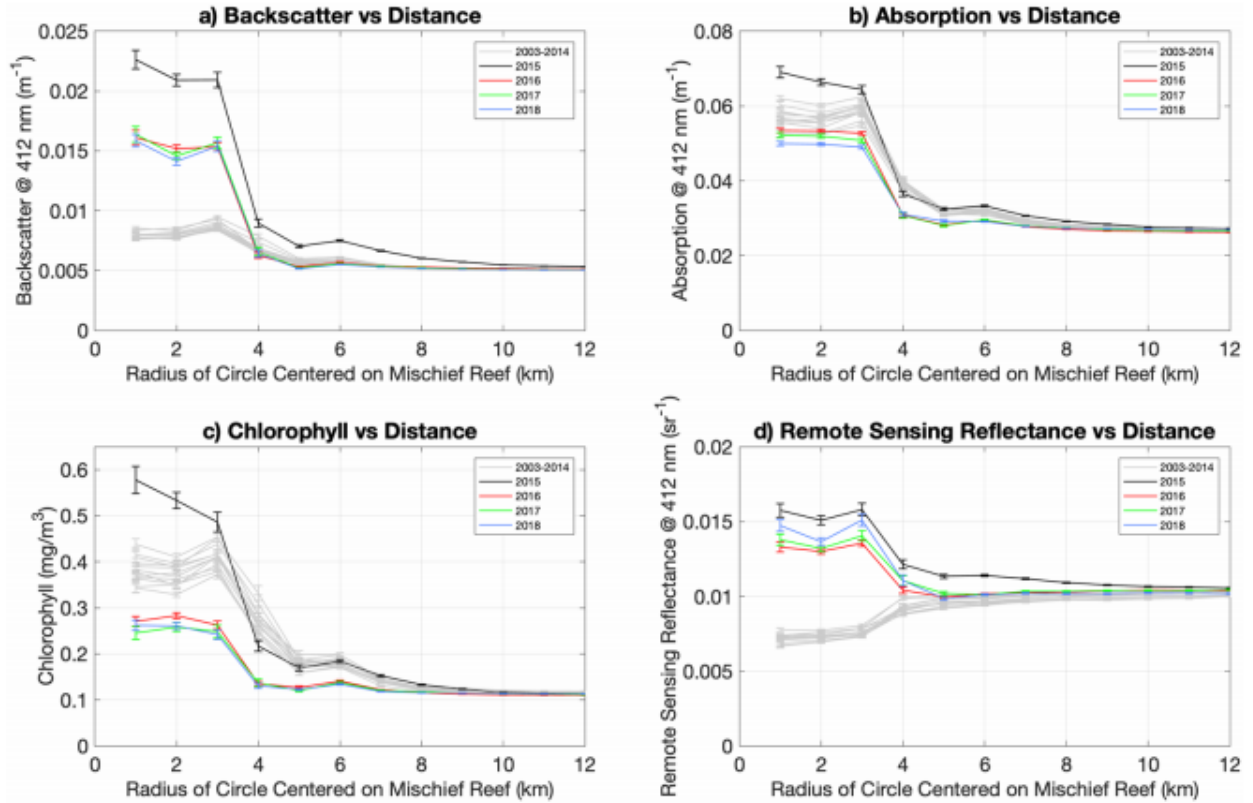
Số lượng điểm ảnh bị ảnh hưởng được xác định cho mỗi hình ảnh có ít nhất 100 điểm ảnh rõ ràng trong khu vực nền và ít nhất một điểm ảnh rõ ràng trong khoảng từ 7 đến 35 km từ trung tâm rạn san hô. Phương pháp đo hàng tháng của các số lượng khác nhau được xác định bằng cách lấy trung bình số lượng trên tất cả các hình ảnh tháng đã cho, sử dụng phương trình 1. Cuối cùng, chúng tôi lưu ý rằng các rạn san hô gần nhất có bề mặt nhô ra, cách đó khoảng 40 km, cho thấy không có mối liên hệ nào với các luồng phát ra từ Đá Vành Khăn (Hình 1d).

Hậu quả sinh học. Để ước tính tác động sinh học tiềm năng lâu dài của việc nạo vét, chúng tôi lại sử dụng dữ liệu MODIS từ Aqua, lần này là điệp lục, ước tính với thuật toán Ocean Color Index (OCI)¹⁶ và độ phản xạ viễn thám đo được ở bước sóng 412nm. Các dữ liệu này được truy cập riêng từ dữ liệu GIOP, mặc dù từ cùng một trang web (trang web của NASA Ocean Color). Chúng tôi một lần nữa tải xuống mỗi hạt OCI ban ngày L2, từ tháng 7 năm 2002 đến tháng 12 năm 2018, đã chạm vào một phần của Đá Vành Khăn và thực hiện theo các bước tiền xử lý tương tự như được mô tả cho dữ liệu GIOP; tức là, dữ liệu OCI đã được ghi nhận vào cùng một lưới 750 m, được phủ bằng cách sử dụng các cờ giống nhau (mặc dù các giá trị cho sản phẩm OCI) và sau đó được chia thành các vòng hình khuyên dài 1 km tập trung vào Đá Vành Khăn. Ảnh xử lý lọc hình mặt đất tương tự cũng được sử dụng. Để phục vụ như các điểm tham chiếu, Hình 4 hiển thị số lượng tàu, diện tích đất của dự án xây dựng đảo và tốc độ nạo vét như là một hàm của thời gian.

Lựa chọn dải quang phổ. Sự gia tăng rõ rệt của tán xạ ngược trong năm 2015 đã được nhìn thấy trên tất cả các dải quang phổ có thể nhận diện bằng mắt thường (412, 443, 469, 488, 531, 547, 555, 645, 667, 678 nm). Chúng tôi trình bày kết quả cho dải 412nm vì chiều dài sóng này thu được các tác động từ thực vật phù du và trầm tích (các hạt không phải tảo) và các dải màu đỏ thường được sử dụng để phát hiện độ đục không đáng tin cậy (Barnes và Hu, 2016). Độ tán xạ trung bình hàng tháng, được hiển thị trong Hình 5a cho ba vùng: rạn san hô bên trong (trong phạm vi 5 km từ trung tâm rạn san hô - 115,54° E, 9,91°), rạn san hô bên ngoài (khu vực ngay bên ngoài rạn san hô – từ 7 đến 11 km của trung tâm rạn san hô) và một khu vực nền (từ 31 đến 50 km của trung tâm rạn san hô). Các phương pháp hàng năm của các thông số màu đại dương như là một hàm khoảng cách từ Đá Vành Khăn được hiển thị trong hình 6 ở 412nm.



Hình 5. Trung bình tán xạ ngược hàng tháng (a) trong vùng lân cận của Đá Vành Khăn và (b) khu vực bị ảnh hưởng trong khu vực giữa 7 và 30 km. Mũi tên màu đỏ là giá trị cho ngày 8 tháng 6 năm 2015. Đường màu đỏ nằm ngang ở bảng dưới là vùng trung bình 'bị ảnh hưởng, do sự biến thiên tự nhiên trong hệ thống, trước năm 2013 và đường màu xám là 3 độ lệch chuẩn trên mức trung bình này.



Hình 6. Các tham số màu đại dương theo khoảng thời gian là một hàm số khoảng cách tính từ Đá Vành Khăn. (a) Tán xạ ngược ở 412nm, (b) Hấp thụ ở 412nm, (c) Nồng độ diệp lục và (d) Phản xạ trong viễn thám (remote sensing reflectance) ở 412nm. Tất cả được tính trung bình trên 1 km vòng hình khuyên như một hàm số của khoảng cách tính từ Đá Vành Khăn trong một năm bắt đầu từ ngày 1/1/2003. Các đường biểu thị cho những năm trước 2015 được hiển thị bằng màu xám, đường biểu thị cho năm 2015 - giai đoạn có nạo vét lớn - được thể hiện bằng màu đen và các đường biểu thị cho giai đoạn sau khi nạo vét lớn được thể hiện bằng màu sắc khác.

Các kết quả

Thời gian nạo vét. Nạo vét và xây dựng đảo trên Đá Vành Khăn bắt đầu vào cuối tháng 1 năm 2015 và rạn san hô đã đạt tới diện tích tối đa (20,94 km²) vào ngày 30 tháng 5 năm 2015 (Hình 4). Nạo vét đã được quan sát sau tháng Năm nhưng không phát hiện ra sự gia tăng diện tích đất, do đó người ta cho rằng hoạt động này được tập trung vào việc

tăng chiều cao của đất, một chiều không được đo bằng nghiên cứu này. Vùng đất tiếp xúc đầu tiên được quan sát vào ngày 30 tháng 1 năm 2015 (0,01 km²). Các tàu đã được quan sát trong đầm bắt đầu vào ngày 16 tháng 3 năm 2014 và hoạt động nạo vét đầu tiên (được xác định bằng các ống hút và/hoặc các trầm tích dọc theo các tàu trong đầm phá) đã được quan sát vào ngày 3 tháng 3 năm 2015.

Hình ảnh vệ tinh cuối cùng với hoạt động nạo vét được xác định là từ ngày 30 tháng 11 năm 2015. Tỷ lệ xây dựng đảo nhỏ (<0,3 km² ngày 1) trong khoảng thời gian từ tháng 6 năm 2015 đến tháng 9 năm 2016 được cho là do sự thay đổi nhỏ trong quy trình khoanh vùng cũng như thu hẹp một chút của diện tích đất khi các cạnh được xây dựng thành một bức tường biển được xác định rõ.

Dòng thời gian tác động. Hình 5b cho thấy khu vực bị ảnh hưởng trung bình hàng tháng. Vùng bị ảnh hưởng biểu thị bằng dấu chấm màu đỏ tại thời điểm mũi tên đỏ tươi là dành cho đường truyền vệ tinh ngày 8 tháng 6 năm 2015 và tương ứng với hình ảnh được hiển thị trong Hình 1d. Độ tán xạ trung bình của đường truyền vệ tinh này tương ứng với giá trị của đường cong tại vị trí của mũi tên đỏ tươi trong Hình 5a. (Lưu ý rằng khu vực bị ảnh hưởng vượt ra ngoài giới hạn của khu vực “rạn san hô bên ngoài”.) Chúng tôi cho rằng khu vực bị ảnh hưởng trung bình khoảng 4 km² trước khi nạo vét (2003, 2014) là sự thay đổi tự nhiên trong dữ liệu - kiểm tra trực quan về hình ảnh trước khi nạo vét cho thấy các điểm ảnh “nhìn chung” được phân tán ngẫu nhiên trong khu vực hoặc được nhóm lại ở ngoại vi các khu vực được gắn cờ vì một trong những lý do được nêu trong Phần 2. Mức trung bình hàng tháng của khu vực bị ảnh hưởng trong giai đoạn 2008-2017 đạt cực đại tại 62 km² vào tháng 6 năm 2015; diện tích của vết loang vào ngày 8 tháng 6 là 262 km² so với giá trị nền trước nạo vét khoảng 7 km². Khu vực chùm trung bình hàng tháng trung bình hàng năm từ 2015 đến 2017 là 3,8 km² với giá trị trung bình của năm 2015 là 23 km². Những thống kê này loại trừ khu vực trong phạm vi 7 km từ trung tâm của rạn san hô. Điều quan trọng là phải nhấn mạnh rằng những con số này dành cho kích thước chùm trung bình trong một tháng nhất định, không phải là khu vực tích lũy được bao phủ bởi các đám mây, sẽ được thảo luận dưới đây. Hơn nữa, các mức trung bình này

không bao gồm các khu vực có khả năng bị ảnh hưởng bởi các đám mây; tức là, một lần nữa, những con số này thể hiện giới hạn thấp hơn trên khu vực bị ảnh hưởng. Chúng tôi có thể ước tính tổng diện tích bị ảnh hưởng bằng cách bình thường hóa cho phần mây che phủ nhỏ ở vùng lân cận rạn san hô nhưng chúng tôi đã quyết định trình bày giới hạn dưới nghiêm ngặt hơn ở đây.

Trước khi có hoạt động nạo vét, tán xạ ngược được nâng lên ở trung tâm của rạn san hô (đến khoảng cách xuyên tâm khoảng 5 km), so với khu vực rạn san hô bên ngoài, phân rã đến mức nền không đổi ở khoảng 8 km (Hình 6a). Các đường cong cho những năm trước khi nạo vét không thể phân biệt được về mặt thống kê cho thấy môi trường ổn định. Điều này thay đổi đáng kể đối với tán xạ ngược bắt đầu từ năm 2015, với độ tán xạ trung bình trong rạn san hô tăng gấp 3 lần vào năm 2015 so với mức trước năm 2015 (Hình 6a) và phân rã từ rạn san hô xuống mức nền ở khoảng cách xuyên tâm 10 km. Điều này trùng với thời kỳ nạo vét dữ dội nhất. Sự gia tăng tương đối nhỏ ở khu vực rạn san hô bên ngoài so với bên trong rạn san hô không có gì đáng ngạc nhiên khi khu vực rạn san hô bên trong nông và gần như kín (Hình 1b) so với khu vực rạn san hô bên ngoài, nằm trong đại dương mở, do đó trầm tích được nạo vét trong cột nước trong rạn san hô bên trong không có khả năng phân tán nhanh như vậy. Trong những năm (2016-2018) sau khi nạo vét, tán xạ ngược trong rạn san hô giảm xuống khoảng gấp đôi mức trước năm 2015, với rất ít thay đổi trong ba năm và rơi xuống mức trước năm 2015 ngay bên ngoài rạn san hô.

Tương tự như tán xạ ngược, sự hấp thụ cũng cho thấy các giá trị nâng cao phía trong rạn san hô so với khu vực rạn san hô bên ngoài. Tuy nhiên, có sự khác biệt trong phản ứng giữa các tham số này liên quan đến hoạt động nạo vét. Vào năm 2015, khi việc nạo vét bắt đầu, sự hấp thụ chỉ cao hơn một chút trong đầm phá nhưng giống hệt về mặt thống kê so với những năm trước bên ngoài đầm phá (Hình 6b). Ngược lại, sự hấp thụ thấp hơn trong rạn san hô và ngay bên ngoài rạn san hô, đến khoảng cách khoảng 8 km, trong giai đoạn nạo vét sau năm 2016, so với giai đoạn trước khi nạo vét. Sự khác biệt trong phản ứng của sự hấp thụ và tán xạ ngược trong thời gian nạo vét dày đặc là không đáng ngạc nhiên. Các hoạt động nạo vét di chuyển trầm tích (các hạt không tảo), trong khu vực này

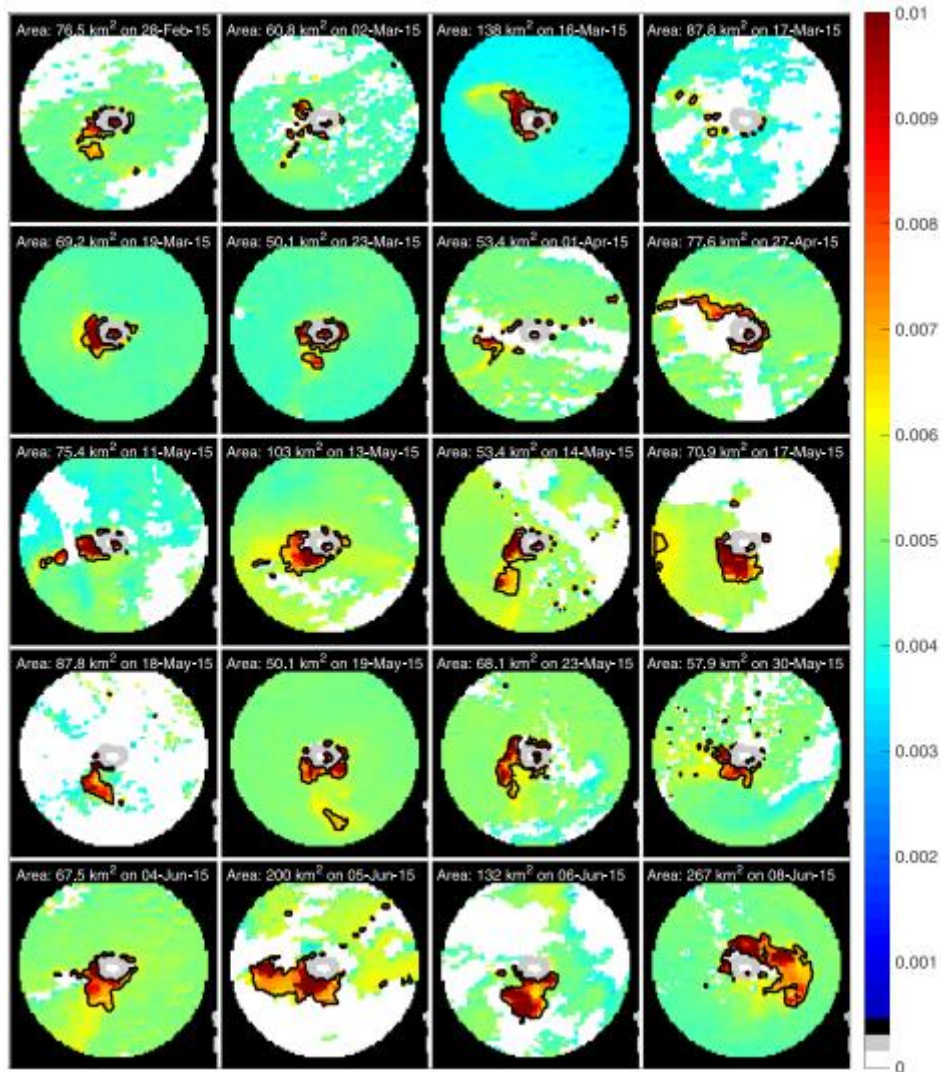
là cát và bùn vôi. Cát có tác động lớn đến cường độ tán xạ ngược nhưng tác động nhỏ đến sự hấp thụ.

Sự gia tăng mức độ chất diệp lục (Hình 6c) trong năm 2015, trên mức trước khi nạo vét, cho thấy rằng việc nạo vét có thể đã kích thích sự phát triển của thực vật phù du. Mặc dù điều này là có thể, chúng tôi có xu hướng tiếp cận các ước tính này một cách thận trọng vì nồng độ trầm tích lớn trong cột nước trong quá trình nạo vét, nồng độ có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của việc thu hồi chất diệp lục. Hấp dẫn hơn là sự suy giảm nồng độ chất diệp lục sau khi ngừng nạo vét - khi các hoạt động nạo vét chấm dứt, và các trầm tích trong cột nước lắng xuống, môi trường sống tự nhiên đã bị phá vỡ đáng kể, bị làm mờ bởi trầm tích bị di dời, được chứng minh bằng sự lắng đọng của chất diệp lục, mức độ nạo vét trước. Điều đặc biệt quan tâm là sự giảm cả hai lượng này kéo dài đến ít nhất 8 km tính từ tâm của rạn san hô, ít nhất là 2 km ngoài rìa ngoài của rạn san hô.

Kiểm tra độ phản xạ viễn thám ở 412nm cũng gợi ý các xu hướng này (Hình 6d). Trước khi nạo vét, độ phản xạ viễn thám thấp ở trung tâm của rạn san hô, và cao hơn bên ngoài rạn san hô. Độ phản xạ viễn thám xấp xỉ bằng tỷ lệ tán xạ ngược so với tổng độ hấp thụ và tán xạ ngược. Do đó, sự gia tăng của tán xạ ngược và giảm độ hấp thụ quan sát được trong phản ứng với các hoạt động nạo vét làm tăng đáng kể phản xạ viễn thám trong rạn san hô.

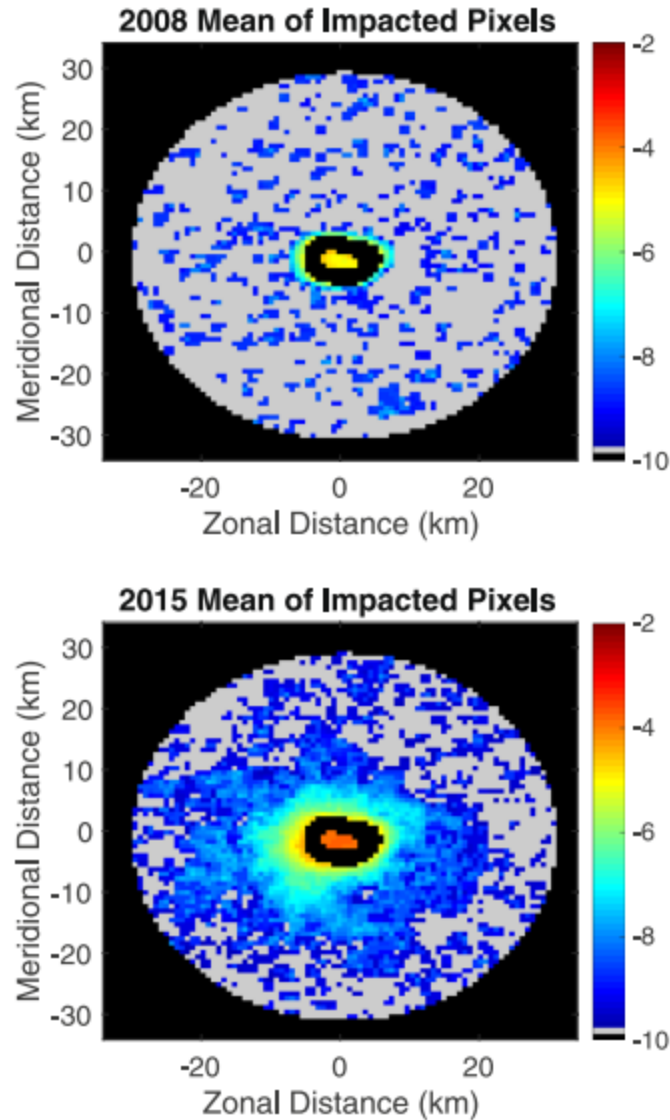
Hình 7 cho thấy tán xạ ngược cho 20 hình ảnh rõ nét nhất của khu vực trong phạm vi 30 km của Đá Vành Khăn trong khoảng thời gian từ 28 tháng 2 đến 8 tháng 6 năm 2015, hình ảnh cuối cùng tương ứng với hình 1d. Vùng biển cách trung tâm Đá Vành Khăn hơn 30 km đã được che (màu đen) để tập trung sự chú ý vào các luồng phát sinh từ việc nạo vét. Chỉ trong một trường hợp, ngày 27 tháng 4 năm 2015, khối lượng tán xạ ngược vượt quá giá trị nền ($0,0049 \text{ m}^{-1}$ cho đường truyền vệ tinh này) theo hệ số 1,3 ($0,0064 \text{ m}^{-1}$) kéo dài hơn 30 km từ trung tâm của Đá Vành Khăn. Quan tâm đặc biệt liên quan đến các lô này là hình dạng và vị trí của chùm khói phát ra từ rạn san hô và đặc biệt là sự nhanh chóng mà nó thay đổi. Ví dụ, hãy xem xét bốn hình ảnh ở hàng dưới cùng

của hình, 4 Tháng 8 năm 2015. Luồng phát triển nhanh chóng từ một vệt tương đối nhỏ (68 km^2) kéo dài về phía tây nam, đến một vệt lớn hơn đáng kể (262 km^2) phát ra từ phía bắc và quấn quanh phía đông. Mặc dù có thể là chùm sáng thứ 4 đã được tiến hành xung quanh rạn san hô góp phần vào chùm thứ 8, nhưng điều này là không thể bởi vì cường độ của tán xạ ngược của các luồng được hiển thị (không hoàn toàn vì các điểm ảnh bị gán cờ) ở phía nam của rạn san hô thứ 5 và thứ 6 vượt quá mức của ngày thứ 4. Nhiều khả năng, trầm tích trong các khối chìm tương đối nhanh, <48 giờ, với sự giảm đồng thời của tán xạ ngược và trầm tích mới từ hoạt động nạo vét được đưa ra khỏi rạn san hô để tạo thành các luồng mới, do đó chìm xuống tương đối nhanh. Giải thích này được đưa ra bởi các cặp hình ảnh khác theo thời gian cũng được hiển thị trong Hình 7.



Hình 7. Tán xạ ngược ở 412nm trong vòng 30 km xung quanh Đá Vành Khăn (màu xám nhạt) vào những ngày được lựa chọn đầu năm 2015. Các điểm ảnh được gắn cờ (Flagged pixels) được biểu thị bằng màu trắng. Khu vực mà tán xạ ngược > 130% giá trị trung bình trong vòng từ 31 đến 50 km xung quanh Đá Vành Khăn được ghi trong tiêu đề mỗi tấm hình. Các đường bao quanh $0,0064 m^{-1}$ được biểu thị bằng màu đen. Những đường bao quanh này biểu thị mức độ gần đúng của chất lắng cặn dư đáy biển (plume) dựa trên diện tích ước tính; gần đúng bởi vì đường bao quanh chính xác được xác định từ nồng độ trung bình của “nền” (“background”), thay đổi nhẹ qua hình ảnh.

Hình 8 hiển thị tán xạ ngược trung bình, được xác định bằng công thức 1, cho năm 2008 (trước khi nạo vét) và độ tán xạ ngược trung bình của năm 2015 (trong quá trình nạo vét), cả hai cho cùng một khu vực như trong Hình 7. Bởi vì phạm vi động của tán xạ ngược trung bình của các điểm ảnh bị ảnh hưởng là lớn và bị chi phối bởi tán xạ ngược trong rạn san hô, biểu thức tự nhiên của các giá trị trung bình được hiển thị trong Hình 8. Giá trị trung bình năm 2008 cho thấy các cụm phân phối ngẫu nhiên các điểm ảnh “bị ảnh hưởng” cách xa rạn san hô. Đây có thể là do biến động ngẫu nhiên được xác định từ thuật toán truy xuất. Tuy nhiên, có một vùng các điểm ảnh “bị ảnh hưởng” liền kề kéo dài từ trung tâm rạn san hô đến khoảng cách gần 2 km ngoài rìa của rạn san hô. Đây có lẽ là do trầm tích bị xói mòn vào cột nước do các quá trình tự nhiên, sóng, dòng chảy và gió. Độ tán xạ trung bình của các cụm nhỏ các điểm ảnh “bị ảnh hưởng” cách xa rạn san hô nhỏ hơn 1/1000 so với tán xạ trung bình trong rạn san hô. Ngược lại, hình ảnh năm 2015 cho thấy một khu vực tiếp giáp của các điểm ảnh “bị ảnh hưởng” kéo dài ra xa hơn vào đại dương mở, đến khoảng cách khoảng 20 km từ trung tâm của rạn san hô. Các giá trị trong rạn san hô này lớn hơn khoảng 15 lần so với năm 2008; tức là, những người do các quá trình tự nhiên. (Những năm trước 2015 khác tương tự như năm 2008). Độ tán xạ trung bình ngoài rạn san hô giảm khoảng một bậc độ lớn trên mỗi km trong giai đoạn trước khi nạo vét.



Hình 8. Logarit tự nhiên của tán xạ ngược trung bình hàng năm của các điểm bị ảnh hưởng trong năm 2008 (bảng trên) và 2015 (bảng dưới) là một hàm số khoảng cách tính từ Đá Vành Khăn (khu vực hình elip màu đen ở trung tâm bức hình). Các điểm ảnh không được gắn cờ (not Flagged pixels) bị ảnh hưởng tại bất kỳ thời gian nào trong năm được hiển thị bằng màu xám.

Việc giảm tán xạ trung bình từ rạn san hô năm 2015 chậm hơn rất nhiều, xấp xỉ một bậc độ lớn cứ sau ba km. Cách trung tâm rạn san hô khoảng 20 km, sự phân bố của các dải đất/khu vực bị ảnh hưởng “bị ảnh hưởng” giống như năm 2008; ví dụ, khu vực bị ảnh hưởng bị giới hạn trong phạm vi khoảng 20 km từ trung tâm rạn san hô, giả sử rằng trăm

tích không được tiến ra bên ngoài khu vực này khi nó chìm xuống đáy. Điều này cho thấy một khu vực tổng thể bị ảnh hưởng bởi các hoạt động nạo vét vượt quá 1.200 km², với tốc độ giảm nhanh chóng khi ra khỏi rạn san hô. Rất khó để liên kết khối lượng trầm tích với tán xạ ngược quan sát được vì các đặc điểm của trầm tích trong khu vực này không được biết rõ và không thể lấy mẫu tại chỗ do tình hình chính trị. Những quan sát này do đó vẫn mang tính định lượng cho đến hiện tại.

Thảo luận

Phù hợp với các quan sát của BH2016, chúng tôi nhận thấy tán xạ ngược gia tăng đáng kể tại khu vực xung quanh và trong Đá Vành Khăn, liên quan đến sự gia tăng lượng trầm tích do nạo vét. Phù hợp với các hoạt động bồi đắp đảo được quan sát từ dữ liệu của Landsat và Sentinel, tán xạ ngược so với thời điểm trước khi tiến hành nạo vét tăng gần gấp ba vào năm 2015, sau đó giảm gần gấp đôi vào năm 2016, và vẫn giữ nguyên mức đó vào năm 2018. Điều đặc biệt cần lưu ý là lượng trầm tích tạo ra bởi nạo vét dường như đã tác động đến hệ sinh thái khu vực, thể hiện qua sự giảm độ hấp thụ và nồng độ diệp lục, bắt đầu vào năm 2016 xuyên suốt đến năm 2018, trong khoảng thời gian nghiên cứu. Nguyên nhân có thể suy đoán là các hoạt động nạo vét làm nghẹt môi trường sống tự nhiên do trầm tích dư thừa một cách đáng kể. Hơn nữa, trầm tích dư thừa có khả năng làm nghẹt các tổ hợp rạn san hô từ trầm tích chìm và giảm lượng ánh sáng chiếu đến các tổ hợp rạn san hô và cộng đồng sinh vật sống dưới đáy đại dương. Mặc dù cảm biến truyền qua vệ tinh chỉ cung cấp bằng chứng về trầm tích ở độ cao hơn 10m của cột nước nhưng tác động của lượng trầm tích đến đáy biển được suy luận dựa trên sự giảm nhanh nồng độ trên bề mặt; nghĩa là, chúng tôi giả định trầm tích đang chìm xuống. Cách giải thích này phù hợp với tốc độ nhanh chóng mà lượng hợp chất này tiêu tan (hình 7) so với cách giải thích bằng sự khác biệt theo chiều ngang của chúng. Do đó, hình ảnh cho thấy mức độ mặt nước bị ảnh hưởng bởi trầm tích được cho là biểu lộ một cách hợp lý mức độ đáy biển bị ảnh hưởng bởi trầm tích chìm. Khi nồng độ trên bề mặt của trầm tích rời khỏi Đá nhanh chóng, độ dày của trầm tích dưới đáy biển cũng được cho là tương tự. Hình 7 cho thấy khu vực bị ảnh hưởng kéo dài đến khoảng 20 km tính từ trung tâm Đá Vành

Khăn với diện tích khoảng 1.200 km², cho dù tác động ở các rìa ngoài của khu vực có thể nhỏ. Bên cạnh đó, chúng tôi lưu ý rằng, mặc dù kích cỡ của một lượng hợp chất cụ thể nói chung thường bị xác định thấp hơn vì các điểm ảnh bị ảnh hưởng có thể bị các đám mây che khuất (hoặc được gấn cờ vì các lý do khác đã đề cập trong phần 2), khu vực ảnh hưởng tích lũy, được hiển thị trong hình 8, có khả năng là một ước tính hợp lý vùng bị ảnh hưởng - các đám mây có tác động duy nhất về nồng độ trung bình của các điểm ảnh bị ảnh hưởng, trên khối lượng trầm tích chìm xuống đáy biển tại một địa điểm nhất định.

Như đã trình bày, những ngày trong năm 2015 mà chúng tôi tìm thấy các lượng trầm tích dư thừa đáng kể tại khu vực xung quanh Đá Vành Khăn (không được hiển thị ở đây) tương ứng với những gì được tìm thấy trong nghiên cứu BH2016 (Hình 9). Tuy nhiên, kích thước của các lượng trầm tích dư thừa được tìm thấy bởi BH2016 lớn hơn khoảng 50% so với diện tích bị ảnh hưởng mà chúng tôi tìm thấy. Điều này là do khác nhau về biện pháp được sử dụng. Nếu biện pháp tương tự được sử dụng ở nghiên cứu này giống như biện pháp được sử dụng bởi BH2016, người ta sẽ mong đợi kết quả diện tích bị ảnh hưởng của chúng tôi trong năm 2016 và 2017 sẽ lớn hơn khoảng 50% so với những gì chúng tôi hiển thị trong Hình 5b. Báo cáo này được xây dựng dựa trên các nghiên cứu gần đây thông qua phân tích tập trung. Một báo cáo gần đây ghi lại các địa điểm tiến hành hoạt động nạo vét trên Biển Đông, cho thấy sự tổn thương ngày càng tăng của các khu vực quan trọng về mặt sinh thái.¹⁷ Một báo cáo khác đã kiểm tra khả năng của các cảm biến Planet Dove để xác định sự khác biệt giữa các loại đáy gần các vị trí nạo vét.¹⁸ Một nghiên cứu khác thảo luận về tác động và việc sử dụng rộng rãi các tàu bắt sò tai tượng, có thể khiến các hợp chất dư thừa ngăn cản ánh sáng truyền trong nước, tại Đảo Thị Tứ.¹⁹ Lượng trầm tích được tạo ra bởi các hoạt động này sẽ tương đối nhỏ so với khối lượng lớn hơn do hoạt động nạo vét và bồi đắp đảo gây ra.

Tầm quan trọng về mặt địa chính trị của các tác động trên có thể mang lại ý nghĩa lớn. Biển Đông giáp với Đài Loan và Trung Quốc ở phía bắc, Việt Nam ở phía tây, Malaysia và Indonesia ở phía nam, Brunei và Philippines ở phía đông. Các quốc gia này đều yêu sách về quyền chủ quyền đối với các nguồn tài nguyên trong vùng biển của mình

được xác lập trên cơ sở Công ước Liên Hợp Quốc về Luật Biển 1982. Công ước này có 167 quốc gia thành viên, bao gồm cả Trung Quốc và Philippines, quy định về ranh giới các vùng biển, bảo vệ môi trường biển cũng như nhiều quy định khác. Hành vi gây ô nhiễm môi trường biển của một quốc gia càng khiến các tranh chấp về lãnh thổ trở nên căng thẳng hơn. Trong đó, tranh chấp phức tạp nhất là hai quần đảo Trường Sa và Hoàng Sa, bao gồm nhiều thực thể được xác định là không thích hợp cho con người đến ở. Theo ý kiến từ các chuyên gia tại phiên tòa trong Vụ kiện Trọng tài Biển Đông giữa Philippines và Trung Quốc, việc Trung Quốc xây dựng đảo gây nên sự suy thoái các rạn san hô với tốc độ nhanh nhất trong lịch sử loài người,²⁰ kéo theo đó là sự suy giảm chất diệp lục tố a được kiểm nghiệm từ năm 2016 đến 2018 ở các đầm phá và vùng biển xung quanh. Hành vi tàn phá các rạn san hô như vậy không chỉ ảnh hưởng đến khu vực ngay trước mắt mà còn làm giảm trữ lượng nguồn cá, có ý nghĩa quan trọng về mặt thương mại, cũng như làm suy giảm khả năng giải độc chất thải của Thái Bình Dương có thể tác động đến khí hậu.²¹ Bên cạnh đó, các cấu trúc nhân tạo như sân bay, hủy hoại môi trường sống của rạn san hô, có thể tạo ra địa và có thể gây nên hiện tượng tuyệt chủng đối với cá, động vật không xương sống và các thành phần quan trọng khác của hệ sinh thái trong khu vực.^{22, 23} Theo như kết quả nghiên cứu của chúng tôi, địa hình tự nhiên của rạn san hô bị biến đổi, sinh sản suy giảm và khả năng duy trì sự sống có thể bị giảm đi. Trong nhiều trường hợp, có khả năng việc bồi đắp xây dựng đảo không thể đảo ngược được.²⁴ Mặc dù đã tồn tại nhiều nghiên cứu, vụ kiện và các báo cáo truyền thông có chủ đề liên quan đến việc xây dựng đảo của Trung Quốc, nhưng hầu như không hề định lượng về mức độ thay đổi môi trường xung quanh gây ra bởi hành vi trên trước báo cáo này. Do đó, rất khó cho các luật gia hoặc các tổ chức đa phương để tạo ra các quy định xoay quanh chủ đề này hoặc để thấu hiểu các thiệt hại về mặt sinh thái mà hoạt động này gây ra. Báo cáo này là một nỗ lực nhằm khắc phục khó khăn trên bằng cách cung cấp các phép đo định lượng mà từ đó các nhà khoa học khác có thể phân tích dựa trên các gợi mở về việc xây dựng đảo trên Biển Đông. Tuy nghiên cứu này chỉ tập trung vào một rạn san hô cụ thể, hoạt động bồi đắp đảo hiện đang diễn ra trên rất nhiều thực thể khác trong thực tiễn.

Kết luận

Lượng trầm tích liên quan đến máy nạo vét kiểu hút cát và máy nạo vét kiểu phễu kéo trong vùng nước xung quanh Đá Vành Khăn cũng như các tàu nạo vét dễ dàng được phát hiện bởi các cảm biến từ vệ tinh trong phạm vi nhìn thấy của phổ điện từ. Một điểm ảnh được xác định là bị ảnh hưởng từ các hoạt động nạo vét nếu tán xạ ngược trong dải quang phổ 412nm của cảm biến vượt quá tán xạ trung bình trong cùng một ngày ở vùng cách Đá Vành Khăn trong khoảng từ 30 đến 50 km. Vùng tiếp giáp các điểm ảnh như vậy trung bình trong thời gian nạo vét kéo dài đến khoảng 20 km tính từ trung tâm Đá Vành Khăn, một khu vực vượt quá 1.200 km², mặc dù độ sâu của trầm tích lắng đọng dưới đáy biển có thể giảm nhanh chóng khỏi đảo. Đây chắc chắn không phải lý do khu vực trong Đá Vành Khăn có tán xạ ngược so với thời điểm trước khi tiến hành nạo vét tăng gần gấp ba vào năm 2015, sau đó giảm gần gấp đôi vào năm 2016, và vẫn giữ nguyên mức đó vào năm 2018; khu vực trong Đá Vành Khăn có khả năng bị ảnh hưởng nặng nề.

Điều cần lưu ý là thời gian tăng/giảm độ hấp thụ, tán xạ ngược, chất diệp lục tố a và phổ phản xạ trong viễn thám (remote sensing reflectance) đều có liên quan đến thời điểm bắt đầu và kết thúc hoạt động nạo vét. Phản xạ ngược và phổ phản xạ trong viễn thám (remote sensing reflectance) (ở 412nm) tăng nhanh trùng khớp với thời điểm bắt đầu tiến hành nạo vét, sau đó có xu hướng giảm về mức trước khi nạo vét, đến cuối giai đoạn của nghiên cứu này (tháng 12/2018). Tuy nhiên, trong khoảng thời gian nghiên cứu, cả diệp lục tố a và sự hấp thụ không hề giảm cho đến khi chấm dứt việc nạo vét và cũng không cho thấy sự phục hồi về về mức trước khi nạo vét. Người ta cho rằng, ban đầu các hoạt động nạo vét kích thích sự phát triển của thực vật phù du cung cấp chất dinh dưỡng cho bề mặt đại dương, nhưng sau đó, hoạt động này làm suy giảm sức khỏe sinh học của khu vực, bằng chứng là giảm sự hấp thụ và nồng độ chất diệp lục, làm nghẹt môi trường sống tự nhiên và các rạn san hô với trầm tích.

Đóng góp của các tác giả

L. Smith đã khơi nguồn cảm hứng cho dự án cũng như cung cấp nền tảng về vấn đề pháp lý và môi trường liên quan đến việc bồi đắp đảo trên Biển Đông, ông cũng thực hiện xử lý ban đầu dữ liệu MODIS. *Tiến sĩ Cornillon* phối hợp và tiếp tục xử lý dữ liệu vệ tinh cũng như chuẩn bị hình 1 và hình 5-8. *D. Rudnickas* phân tích các hoạt động nạo vét (Phần 2.1 và 3.1, bao gồm cả hình 2-4). *Tiến sĩ Moww* giải thích tín hiệu sinh học liên quan đến việc phân tích dữ liệu MODIS và đưa ra các kết luận cụ thể về tác động sinh học có thể có.

Bài viết được đăng trên Scientific Reports, tạp chí Nature.

Dịch: Nguyễn Mai Hương, Trịnh Ngọc Tú

Hiệu đính: Trần Quang

Danh mục tham khảo

- ¹ Permanent Court of Arbitration in The Hague. Annex 799-800. The magic dredge pumping artifact ‘tianjing hao’, a great meritorious machine in china’s land reclamation in nansha (2015a).
- ² Ferse, S., Mumby, P. & Ward, S. Expert report: Assessment of the potential environmental consequences of construction activities on seven reefs in the spratly islands in the South China Sea. Tech. Rep., Permanent Court of Arbitration (2017).
- ³ Beech, H. The environment is the silent casualty of Beijing’s ambitions in the South China Sea. (2016).
- ⁴ Center for Strategic and International Studies. Island tracker (2017a).
- ⁵ Crowe, S. E., Bergquist, D. C., Sanger, D. & Van Dolah, R. Physical and biological alterations following dredging in two beach nourishment borrow areas in South Carolina’s coastal zone. *J. Coastal Res.* 32(4), 875–889 (2016).
- ⁶ McManus, J. The Spratly Islands: a marine park? *Ambio* 23, 181–186 (1994).
- ⁷ Dorman, J. G., Castruccio, F. S., Curchitser, E. N., Kleypas, J. A. & Powell, T. M. Modeled connectivity of acropora millepora populations from reefs of the Spratly Islands and the greater South China Sea. *Coral Reefs* 35, 169–179 (2016).
- ⁸ Bale, R. One of the world’s biggest fisheries is on the verge of collapse. *National Geographic News* (2016).
- ⁹ Carpenter, K. E. Eastern South China Sea environmental disturbances and irresponsible fishing practices and their effects on coral reefs and fisheries. Tech. Rep., United Nations - Permanent Court of Arbitration Annex 240, (hereinafter “Carpenter Report”) (2014).
- ¹⁰ Bak, R. P. Lethal and sublethal effects of dredging on reef corals. *Mar. Pollut. Bull.* 9, 14–16 (1978).
- ¹¹ Erfemeijer, P. L., Riegl, B., Hoeksema, B. W. & Todd, P. A. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: A review. *Mar. Pollut. Bull.* 64, 1737–1765 (2012).
- ¹² Barnes, B. B. & Hu, C. Island building in the South China Sea: detection of turbidity plumes and artificial islands using Landsat and Modis data. *Sci. Reports* 6, <https://doi.org/10.1038/srep33194> (2016).

-
- ¹³ Center for Strategic and International Studies. Airstrips near completion (2016).
- ¹⁴ Center for Strategic and International Studies. Mischief reef tracker (2017b).
- ¹⁵ Werdell, P. J. *et al.* Generalized ocean color inversion model for retrieving marine inherent optical properties. *Appl. Opt.* **52**, 2019–2037 (2013).
- ¹⁶ Hu, C., Lee, Z. & Franc, B. Chlorophyll-a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference. *J. Geophys. Res.* **117**, <https://doi.org/10.1029/2011JC007395> (2012).
- ¹⁷ Mora, C., Caldwell, I. R., Birkeland, C. & McManus, J. W. Dredging in the spratly islands: Gaining land but losing reefs. *PLOS Biol.* **14**(3), <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002422> (2016).
- ¹⁸ Asner, G. P., Martin, R. E. & Mascaro, J. Coral reef atoll assessment in the South China Sea using planet dove satellites. *Remote. Sens. Ecol. Conserv.* **14**(3), <https://doi.org/10.1002/rse2.42> (2017).
- ¹⁹ McManus, J. W. Offshore coral reef damage, overfishing, and paths to peace in the South China Sea. *Remote. Sens. Ecol. Conserv.* **32**, <https://doi.org/10.1163/15718085-12341433> (2017).
- ²⁰ Permanent Court of Arbitration. Hearing on the merits and remaining issues of jurisdiction and admissibility: Day 4 (2015b).
- ²¹ Moberg, F. & Folke, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecol. Econ.* **29**, 215–233 (1999).
- ²² Ives, M. The rising environmental toll of China’s offshore island grab. Yale Environment 360/Yale University (truy cập 19/12/2017) (2016).
- ²³ Holmes, O. South China Sea images reveal impact on coral of Beijing’s military bases. *The Guardian* (2015). (truy cập 20/12/2017).
- ²⁴ Carpenter, K. E. & Chou, L. Environmental consequences of land reclamation activities on various reefs in the South China Sea. Tech. Rep., United Nations - Permanent Court of Arbitration Annex 699, (hereinafter “Second Carpenter Report”) (2015).