Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển; Tập 17, Số 2; 2017: 149-157
DOI: 10.15625/1859-3097/17/2/8388
http://www.vjs.ac.vn/index.php/jmst

ĐẶC TRƯNG QUANG HỌC NƯỚC BIỂN VỊNH NHA TRANG

Phan Minh Thụ[1*], Bùi Hồng Long[1], Phạm Ngọc Lãng[2]

[1]Viện Hải dương học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
[2]Học viện Khoa học và Công nghệ,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
[*]E-mail: phanminhthu@vnio.org.vn

Ngày nhận bài: 7-6-2016

TÓM TẮT: Đặc trưng quang học nước biển biểu hiện qua các đặc tính quang học hiển nhiên (AOP) và đặc tính quang học tuyệt đối (IOP). Dựa vào kết quả khảo sát trong thời gian 2013 và 2014, bài báo trình bày hiện trạng, biến động không gian và thời gian của các thông số quang học nước biển cũng như ảnh hưởng của một số yếu tố môi trường đến sự biến động của thông số quang học này. Hệ số suy giảm ánh sáng trung bình là 0,122 ± 0,052 m^{-1} vào mùa khô và 0,187 ± 0,121 m^{-1} vào mùa mưa. Độ sâu tầng ưu quang, $z_{1\%}$ tương ứng với độ sâu mà ánh sáng hữu dụng cho quang hợp (PAR) bằng 1% so với tầng mặt, trung bình 29,50 ± 9,05 m vào mùa khô, và 24,68 ± 10,60 m vào mùa mưa. Hệ số hấp thụ ánh sáng của các thành phần lơ lửng hầu như ít thay đổi giữa mùa khô và mùa mưa nhưng CDOM (chất hữu cơ hòa tan hấp thụ màu) vào mùa mưa cao hơn rất nhiều lần so với mùa khô. Các thông số quang học ảnh hưởng bởi các thành phần vật chất và có quan hệ chặt chẽ với các thông số môi trường trong nước.

Từ khóa: Quang học nước biển, quang học hiển nhiên, quang học tuyệt đối, vịnh Nha Trang.

MỞ ĐẦU

Đặc trưng quang học biển được thể hiện thông qua đặc tính quang học hiển nhiên (AOP- Apparent Optical Properties) và đặc trưng quang học tuyệt đối (IOP- Inherent Optical Properties) của cột nước. Giá trị AOP được đánh giá phần nào thông qua quá trình truyền sáng trong toàn cột nước và khả năng tán xạ, phản xạ của nước. Trong khi đó, IOP được đánh giá bằng khả năng hấp thụ và tán xạ của các thành phần có trong nước. Như vậy, các thành phần của quang học biển bao gồm: Hấp thụ năng lượng ánh sáng của nước, chất lơ lửng trong nước, chất hữu cơ hòa tan trong nước, tán xạ ánh sáng của nước và chất lơ lửng có trong nước. Lan truyền ánh sáng trong môi trường nước phụ thuộc chất lượng và những thành phần tồn tại trong môi trường nước bao gồm nước tinh khiết, chất lơ lửng và chất hòa tan. Khả năng hấp thụ và tán xạ năng lượng ánh sáng của nước và các thành phần có trong nước được gọi là đặc trưng quang học biển (inherent optical properties/marine optics/ocean optics) [1-3].

Các thông số quang học biển được ứng dụng trong việc xây dựng các thuật toán và hiệu chỉnh chúng trong phân tích và giải đoán ảnh viễn thám cho môi trường nước. Gordon và nnk., [4, 5], Morel [6] và Morel và Prieur [7] đã xây dựng mối tương quan giữa quang học biển với các giá trị của ảnh viễn thám. Tuy nhiên, phải đến khi hệ thống vệ tinh viễn thám màu đại dương triển khai, những nghiên cứu ứng dụng quang học biển vào phân tích ảnh viễn thám mới được triển khai mạnh mẽ. Lee và nnk., [8] đã phát triển thành quy trình để xác định giá trị quang học biển từ ảnh viễn thám mùa đại dương. Trên cơ sở đó, nhiều giải thuật

phân tích ảnh viễn thám dựa vào quang học biển được đề cập. Tuy nhiên, các dữ liệu về quang học biển ở vùng biển Việt Nam còn tương đối hạn chế [9-13].

Vịnh Nha Trang là một trong những vịnh nằm ở vùng duyên hải Nam Trung Bộ. Điều kiện khí tượng tương đối ôn hòa bị chi phối bởi khí hậu nhiệt đới gió mùa có ảnh hưởng khí hậu đại dương; có mùa mưa muộn (từ tháng 9 đến tháng 12). Đặc trưng khí hậu chủ yếu là: nhiệt độ cao đều quanh năm (25 - 26°C), sự phân mùa khá rõ rệt (mùa mưa và mùa khô) và ít bị ảnh hưởng của bão. Vịnh Nha Trang ảnh hưởng của nguồn nước ngọt từ sông Cái (phía bắc, với lưu lượng nước bình quân là 55,70 m^3/s và lưu lượng nước mùa kiệt là 7,32 m^3/s) và sông Tắc (phía nam, với lưu lượng nước bình quân 20,40 m^3/s và lưu lượng nước mùa kiệt là 2,90 m^3/s). Thủy triều tại đây thuộc dạng nhật triều không đều. Vào mùa mưa, lượng nước ngọt từ sông Cái có thể ảnh hưởng đến toàn vịnh [14], từ đó ảnh hưởng đến tính chất quang học của nước biển. Cho đến nay, các thông tin về đặc trưng quang học biển của vịnh Nha Trang còn rất hạn chế.

Bài báo cung cấp các dẫn liệu về đặc trưng quang học nước biển ở vịnh Nha Trang góp phần làm cơ sở khoa học để nâng cao chất lượng giải đoán ảnh viễn thám đối với các vực nước ven bờ biển Việt Nam.

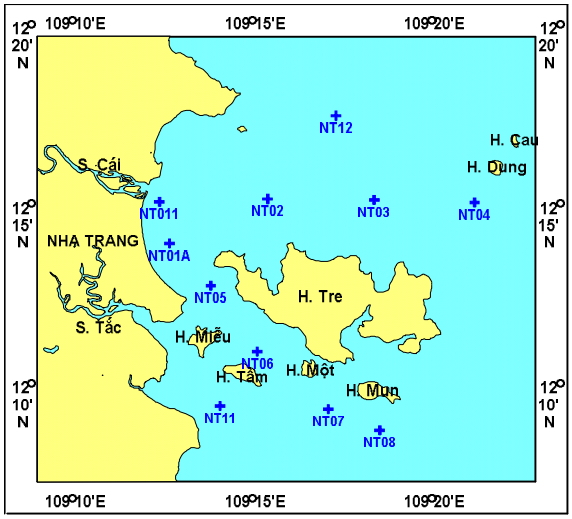
PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Khảo sát, thu mẫu và xử lý mẫu

Các chuyến khảo sát mùa mưa và mùa khô được thực hiện tại vịnh Nha Trang (hình 1). Tại mỗi trạm khảo sát, mẫu nước được thu ở 2 tầng mặt và đáy, tuy nhiên nếu độ sâu nhỏ hơn 5 m, mẫu nước chỉ thu ở tầng 1 m. Các mẫu nước về Chl-a (Chlorophyll-a), TSS (Vật chất lơ lửng) được giữ lạnh và xử lý ngay lập tức sau khi về đến phòng thí nghiệm. Thêm vào đó, đặc tính lan truyền ánh sáng của cột nước được đo bằng máy PRR2600 từ tầng mặt đến cách đáy 2 m.

Tại phòng thí nghiệm, Chlorophyll-a được lọc qua màng GF/F và chiết suất bằng aceton 90% trong 24 giờ, sau đó đo trên máy quang phổ [15, 16]; mẫu TSS được lọc bằng màng GF/F và xác định bằng phương pháp trọng lượng sau khi sấy ở 105°C đến trọng lượng không đổi [17].

Đặc tính quang học biển được xác định bởi các hệ số hấp thụ ánh sáng của các thành phần trong môi trường nước như vật chất lơ lửng (a_{ph}), sắc tố thực vật nổi (a_{ϕ}), thành phần không chứa sắc tố thực vật (a_d), chất hữu cơ hòa tan hấp thụ màu (CDOM) theo quy phạm của NASA [18].



Hình 1. Trạm vị khảo sát tại vịnh Nha Trang

Phương pháp xác định các thông số quang sinh học

Hệ số suy giảm ánh sáng trong cột nước

Gọi $K_d(\lambda, z)$ là hệ số suy giảm ánh sáng có bước sóng λ tại độ sâu z trong cột nước được xác định theo công thức sau [19]:

$$K_d(\lambda,z) = \frac{\ln\left(E_d(\lambda,z+1)\right) - \ln\left(E_d(\lambda,z-1)\right)}{(z+1)-(z-1)}$$

Trong đó: $E_d(\lambda,z-1)$ và $E_d(\lambda,z+1)$ là cường độ ánh sáng đi xuống có bước sóng λ tại độ sâu (z-1) m và (z+1) m.

Đối với PAR, hệ số suy giảm ánh sáng trung bình trong tầng ưu quang $\overline{K}_d(PAR)$ được tính theo công thức:

$$\overline{K}_d(PAR) = \frac{\ln\left(E_d(PAR,0^-)\right) - \ln\left(E_d(PAR,z_e)\right)}{z_e}$$

Trong đó: $E_d(PAR,0^-)$ và $E_d(PAR,z_e)$ là giá trị PAR dưới mặt nước và tại độ sâu tầng ưu quang (ở đây $E_d(PAR,z_e)$ = 1% $E_d(PAR,0^-)$).

Xác định các thông số IOP

Hấp thụ ánh sáng của CDOM ($a_{dg}(\lambda)$): Tính toán CDOM theo công thức sau [18]:

$$a_{dg}(\lambda) = \frac{2{,}303}{l}\left\{\left[OD_s(\lambda) - OD_{bs}(\lambda)\right] - OD_{null}\right\}$$

Trong đó: l là chiều dài cuvet (l = 0,05 m); $OD_s(\lambda)$ và $OD_s(\lambda)$ là mật độ quang của mẫu nước biển và mẫu trắng; OD_{null} là mật độ quang nền, thường được sử dụng ở bước sóng đỏ hoặc cận hồng ngoại. Trong nghiên cứu này, OD_{null} được sử dụng ở bước sóng 700 nm; 2,303 là hệ số chuyển đổi từ log10 sang ln.

Hệ số hấp thụ ánh sáng của TSM ($a_{ph}(\lambda)$) được tính toán như sau:

$$a_{ph}(\lambda) = a_{\phi}(\lambda) + a_d(\lambda)$$

Với $a_{\phi}(\lambda)$ là hấp thụ ánh sáng của thực vật nổi và $a_d(\lambda)$ hấp thụ ánh sáng của TOM đã khử thực vật nổi [20].

$$a_{ph}(\lambda) = 2{,}3OD_{sp}(\lambda)/lg \quad \text{với} \quad OD_{sp}(\lambda) = aOD_{fp}(\lambda) + b\left[OD_{fp}(\lambda)\right]^2$$

$$a_d(\lambda) = 2{,}3OD_{sd}(\lambda)/lg \quad \text{với} \quad OD_{sd}(\lambda) = aOD_{fd}(\lambda) + b\left[OD_{fd}(\lambda)\right]^2$$

Và: $$lg = \frac{V_f}{s}$$

Trong đó: V_f là thể tích nước biển lọc; s: Diện tích của lớp phủ TSM trên màng GF/F; OD_{fp} và OD_{fd} là mật độ quang của TSM trên màng và của TSM trên màng đã khử sắc tố thực vật nổi, các giá trị OD_{fp} và OD_{fd} phải được hiệu chỉnh tại bước sóng 750 nm; a và b là hệ số hiệu chỉnh sự ảnh hưởng của màng GF/F đến kết quả đo. Theo Cleveland và Weidemann [20], a = 0,378 và b = 0,523.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Đặc điểm một số yếu tố môi trường có liên quan ở vịnh Nha Trang

Kết quả các đợt khảo sát cho thấy một số yếu số môi trường nước ở vịnh Nha Trang biến động theo thời gian, khác nhau rõ rệt giữa mùa khô và mùa mưa (bảng 1).

Bảng 1. Thống kê một số yếu tố môi trường trong nước biển vịnh Nha Trang

Năm	Mùa	Thống kê	S (‰)	TSM (mg/l)	Chl-a (µg/l)
2013	Mùa khô	Nhỏ nhất	27,77	0,70	0,19
		Lớn nhất	34,21	5,65	2,17
		Trung bình	33,02 ± 1,42	1,68 ± 1,24	0,64 ± 0,54
	Mùa mưa	Nhỏ nhất	29,61	0,55	0,27
		Lớn nhất	32,93	11,55	1,69
		Trung bình	32,52 ± 0,78	2,30 ± 2,46	0,81 ± 0,41
2014	Mùa khô	Nhỏ nhất	29,64	0,40	0,11
		Lớn nhất	34,12	6,45	1,84
		Trung bình	33,39 ± 0,89	1,39 ± 1,40	0,46 ± 0,38

Nguồn: [21].

Độ mặn biến động mạnh trong mùa mưa và ít biến động hơn trong mùa khô do ảnh hưởng của nguồn nước ngọt ở cửa sông. Kéo theo đó, hàm lượng TSM mùa khô (trung bình đạt 1,54 mg/L) thấp hơn có ý nghĩa ($p < 0{,}01$) so với mùa mưa (trung bình đạt 2,30 mg/L).

Hàm lượng sắc tố thực vật nổi khác nhau rõ rệt giữa mùa khô và mùa mưa. Vào mùa khô, giá trị trung bình của Chl-a là 0,55 mg

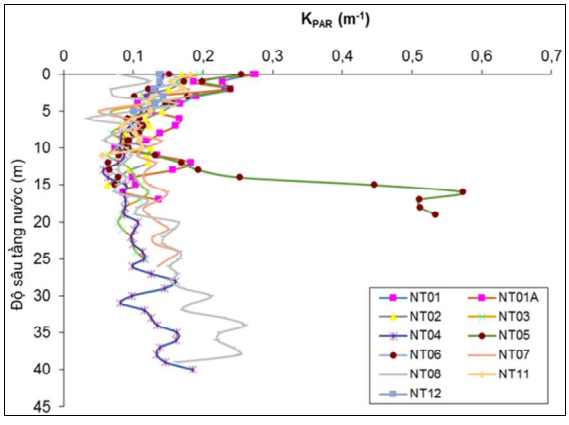
Chl-a/m^3, trong khi đó vào mùa mưa, hàm lượng Chl-a trung bình là 0,81 mg Chl-a/m^3.

Đặc trưng AOP

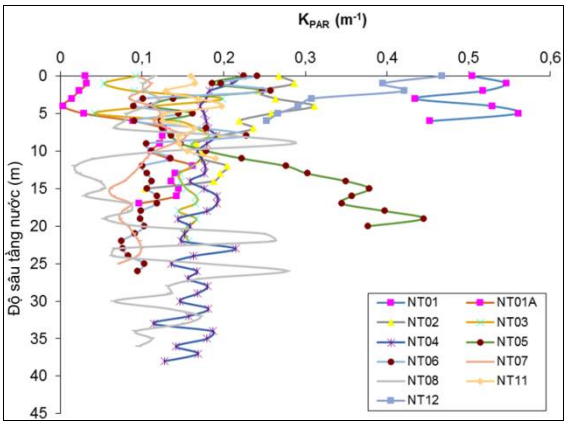
Hệ số suy giảm ảnh sáng chi phối khả năng xâm nhập ánh sáng vào trong cột nước, từ đó ảnh hưởng đến quá trình sản xuất sơ cấp của thủy vực. Hơn nữa, hệ số này còn là một trong những thông số quan trọng trong nhiều mô hình sinh thái, mô hình sinh địa hóa của nước. Hệ số suy giảm ánh sáng bị ảnh hưởng bởi thành phần vật chất trong nước cũng như khả năng hấp thụ ánh sáng của các chất hòa tan.

Kết quả khảo sát ở vịnh Nha Trang cho thấy (hình 2 và hình 3), hệ số suy giảm ánh sáng - K_{PAR} biến động mạnh theo không gian và thời gian, trong đó: K_{PAR} mùa khô ít biến động hơn mùa mưa. Vào mùa khô, hệ số suy giảm ánh sáng trung bình ở tầng ưu quang dao động từ 0,080 m^{-1} đến 0,242 m^{-1}, trung bình 0,122 ± 0,052 m^{-1}. Trong khi đó, vào mùa mưa, giá trị này dao động từ 0,087 m^{-1} đến 0,494 m^{-1}, trung bình 0,187 ± 0,121 m^{-1}.

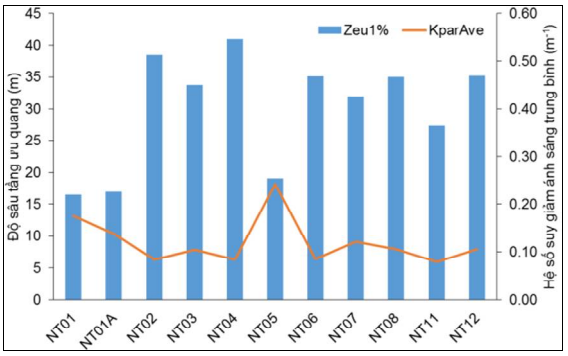
Ngoài ra, kết quả nghiên cứu còn cho thấy, các trạm xa bờ như NT 6, 7, 8, 3 và 4 ít ảnh hưởng của nguồn nước lục địa, TSM thấp thì có hệ số K_{PAR} thường thấp, ánh sáng có khả năng xuyên sâu hơn. Vào mùa mưa, nguồn vật chất từ sông Cái đã ảnh hưởng đến hầu hết vùng phía bắc Hòn Tre vịnh Nha Trang, do đó hệ số suy giảm ánh sáng các trạm NT 2, 3, 4 mùa mưa cao hơn mùa khô (hình 2 và hình 3).



Hình 2. Biến động của hệ số suy giảm ánh sáng ở vịnh Nha Trang, mùa khô



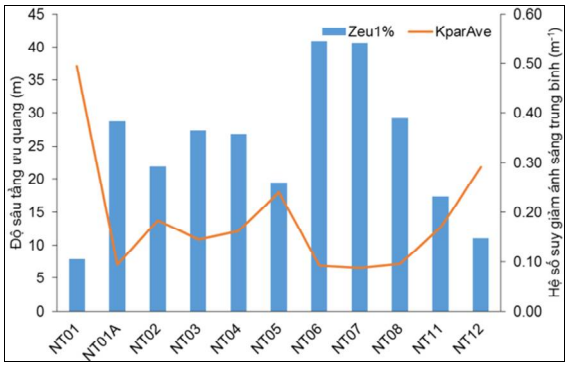
Hình 3. Biến động của hệ số suy giảm ánh sáng ở Vịnh Nha Trang, mùa mưa



Hình 4. Mối quan hệ giữa độ sâu tầng ưu quang (Zeu 1%) và hệ số suy giảm ánh sáng trung bình (KparAve) ở vịnh Nha Trang, mùa khô

Hơn nữa, dựa vào phân bố của cường độ PAR và hệ số suy giảm ánh sáng, nghiên cứu đã xác định được độ sâu tầng ưu quang ở vịnh Nha Trang. Độ sâu tầng ưu quang (1% $E_q(PAR,0^-)$) vào mùa khô dao động từ 16,51 m đến 41,00 m, trung bình 29,50 ± 9,05 m và vào mùa mưa dao động từ 7,97 m đến 40,93 m, trung bình 24,68 ± 10,60 m. Vào mùa mưa, các trạm vùng ven bờ có độ sâu tầng ưu quang giảm đáng kể so với mùa khô (hình 4 và hình 5). So sánh với độ sâu mực nước của các trạm nghiên cứu, độ sâu tầng ưu quang tại hầu hết các trạm thường lớn hơn rất nhiều so với độ sâu cột nước (trừ trạm NT4 và NT8). Do đó, có thể kết luận rằng, vịnh Nha Trang là thủy vực giàu ánh sáng, trong điều kiện hàm lượng TSM ở cửa sông Cái nhỏ hơn 11,55 mg/l và trời trong xanh, ánh sáng có thể phân bố đến toàn cột nước. Đây là yếu tố thuận lợi để thực vật

nổi phát triển và làm tăng khả năng đồng hóa muối dinh dưỡng trong thủy vực.



Hình 5. Mối quan hệ giữa độ sâu tầng ưu quang (Zeu 1%) và hệ số suy giảm ánh sáng trung bình (KparAve) ở vịnh Nha Trang, mùa mưa

Đặc trưng IOP

Kết quả đánh giá IOP ở vịnh Nha Trang cho thấy, IOP biến động mạnh (bảng 2) và có sự thay đổi theo mùa rõ rệt. Theo đó, bất cứ thành phần nào của nước làm gia tăng hệ số hấp thụ ánh sáng cũng ảnh hưởng đến khả năng hấp thụ ánh sáng của các thành phần khác.

Hệ số hấp thụ ánh sáng của TSM (a_p) tại bước sóng 440 nm tăng từ 0,1101 ± 0,0494 m^{-1} vào mùa khô, lên 0,1144 ± 0,0832 m^{-1} vào mùa mưa; hệ số hấp thụ của thực vật nổi (a_{ph}) trung bình 0,0483 ± 0,0464 m^{-1} vào mùa khô và 0,0479 ± 0,0247 m^{-1} vào mùa mưa; và của CDOM là 0,0128 ± 0,0116 m^{-1} vào mùa khô và 0,2516 ± 0,3467 m^{-1} vào mùa mưa. Một cách tổng quát, hệ số hấp thụ ánh sáng của các thành phần lơ lửng hầu như ít thay đổi giữa mùa khô và mùa mưa nhưng CDOM thì biến động rõ rệt, mùa mưa cao hơn rất nhiều lần so với mùa khô ($p < 0,01$). Điều này cho thấy lượng nước từ lục địa đổ vào thủy vực đã ảnh hưởng đến khả năng hấp thụ ánh sáng của thủy vực.

Bảng 2. Hệ số hấp thụ ánh sáng (m^{-1}) của các thành phần trong nước ở vịnh Nha Trang

Trạm	Chl-a mg/m^3	TSM mg/l	a_p		a_{nph}		a_{ph}		a_y	
			443	440	443	440	443	440	443	440
Mùa khô										
Min	0,190	0,750	0,0480	0,0419	0,0182	0,0140	0,0206	0,0216	0,0021	0,0020
Max	1,111	4,850	0,2007	0,2008	0,1324	0,1329	0,1642	0,1707	0,0287	0,0287
TB	0,513	1,664	0,1110	0,1101	0,0622	0,0617	0,0489	0,0483	0,0132	0,0128
±SD	0,281	1,120	0,0488	0,0494	0,0364	0,0390	0,0446	0,0464	0,0118	0,0116
Mùa mưa										
Min	0,267	0,550	0,0313	0,0353	0,0137	0,0173	0,0176	0,0180	0,0023	0,0054
Max	1,687	4,800	0,3077	0,3212	0,2514	0,2615	0,0821	0,0870	0,9657	0,9681
TB	0,839	2,027	0,1090	0,1144	0,0636	0,0665	0,0454	0,0479	0,2458	0,2516
±SD	0,524	1,526	0,0802	0,0832	0,0677	0,0699	0,0230	0,0247	0,3469	0,3467

Ghi chú: a_y: CDOM; a_p: TSM; a_{ph}: Chl-a và a_{nph}: thành phần không có sắc tố thực vật nổi; TB: Trung bình, SD: độ lệch chuẩn.

THẢO LUẬN

K_{PAR}

Các kết quả nghiên cứu về K_{PAR} ở vịnh Nha Trang cho thấy quá trình truyền sáng trong toàn cột nước bị chi phối bởi nhiều thành phần vật chất trong môi trường. K_{PAR} tầng ưu quang ở vịnh Nha Trang trung bình 0,122 ± 0,052 m^{-1} vào mùa khô và 0,187 ± 0,121 m^{-1} vào mùa mưa. Theo kết quả nghiên cứu của các tác giả trước đây, K_{PAR} phụ thuộc rất nhiều vào các thành phần vật chất lở lửng và hòa tan trong nước, đặc biệt là đối với trường hợp nước đục (case II water) [22-26]. Các tác giả này cho rằng, K_{PAR} phụ thuộc vào khả năng hấp thụ ánh sáng của nước, vật chất lơ lửng, thực vật nổi và CDOM [26, 27]. Điều này cũng được thể hiện trong mối quan hệ giữa K_{PAR} với TSM và Chl-a trong nghiên cứu này. Nơi có TSM và/hoặc Chl-a cao thường có giá trị K_{PAR} lớn.

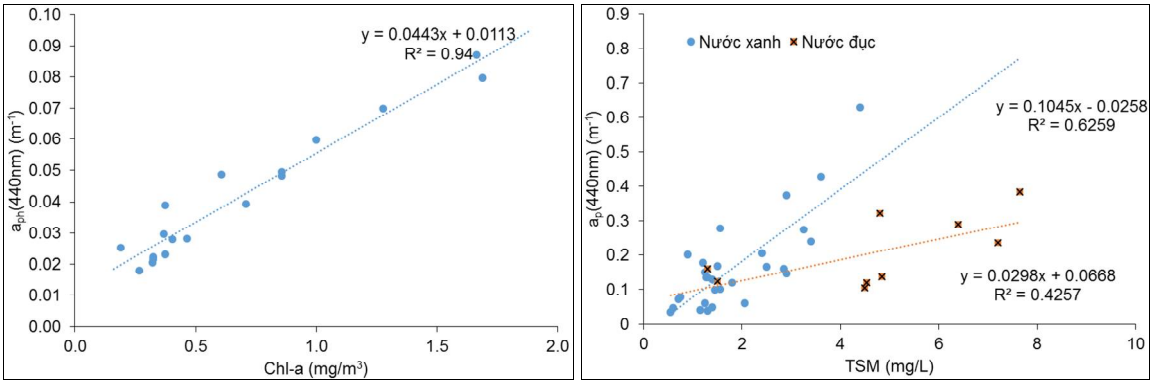
Mối quan hệ giữa AOP/IOP với một số yếu tố môi trường

Mối quan hệ giữa các thông số môi trường với phản xạ viễn thám cũng như các thông số đặc trưng quang học biển là cơ sở để xây dựng các thuật toán thực nghiệm hoặc bán thực nghiệm trong giải đoán ảnh viễn thám. Mối quan hệ này thể hiện thông qua các biểu thức:

Thuật toán thực nghiệm: $y = f(R_{rs})$, trong đó y là yếu tố môi trường.

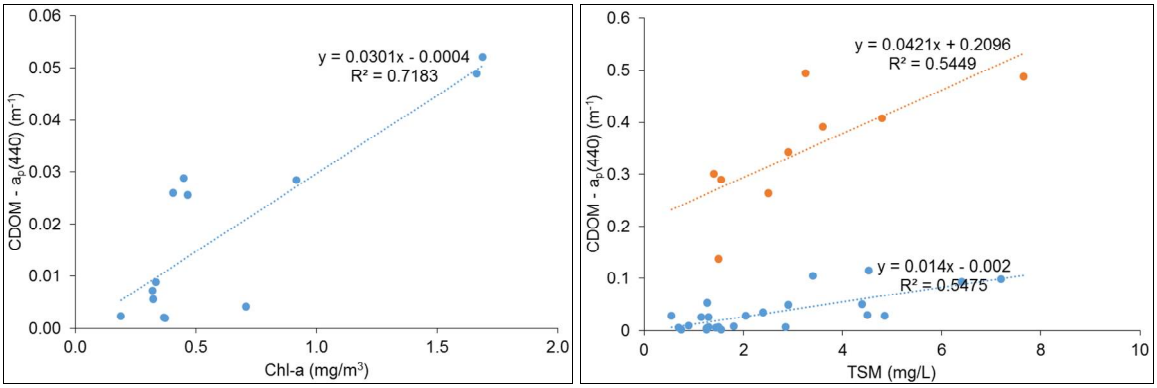
Thuật toán bán thực nghiệm: $y=f(a, b,/r_{rs})$, trong đó a, b là hệ số hấp thụ và tán xạ ánh sáng hoặc r_{rs} phản xạ viễn thám dưới lớp nước mặt (r_{rs} là hàm của a và b).

Kết quả phân tích cho thấy tồn tại mối quan hệ giữa các thông số của quang học biển với các thông số môi trường, cụ thể là với Chl-a và TSM. Mối tương quan giữa các thông số của quang học biển với Chl-a và TSM (hình 6) cho thấy tương quan giữa Chl-a với hệ số hấp thụ $a_p(440)$ là rất chặt chẽ trong khi đó, tương quan giữa TSM và $a_p(440)$ ít chặt chẽ hơn. Mối tương quan với TSM có thể chỉ ra rằng hệ số góc lớn chứng tỏ nước ít đục hơn, và ngược lại khi hệ số góc của đường thẳng quan hệ giảm thì nước càng bị đục. Tuy nhiên, điều này cần được làm rõ bằng các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 6. Mối quan hệ a_{ph} với Chl-a và a_p với TSM

Mặt khác, CDOM thể hiện mối tương quan với chất hữu cơ hòa tan. Tuy nhiên, một phần chất hữu cơ hòa tan đến từ chất lơ lửng. Hơn nữa, bất cứ thành phần hấp thụ ánh sáng nào trong nước tăng thì cũng kéo theo thành phần khác. Điều này minh chứng rằng, TSM có mối tương quan với $a_p(440)$ thì TSM cũng có mối quan hệ $a_y(440)$ (hình 7) và cũng xảy ra đối với Chl-a. Mối tương quan giữa TSM với CDOM cũng chia thành hai nhóm như mối quan hệ giữa TSM với $a_p(440)$ (hình 7).



Hình 7. Mối quan hệ CDOM với Chl-a và TSM

Kết quả đánh giá mối quan hệ giữa các hệ số hấp thụ ánh sáng của các thành phần vật chất trong nước như TSM và Chl-a cho phép đánh giá định lượng các yếu tố này. Mối quan hệ giữa $a_y(440)$, $a_p(440)$ với TSM đã chỉ ra rằng nguồn nước ngọt từ lục địa đã ảnh hưởng đến khu vực nghiên cứu. Điều này phù hợp với nghiên cứu của nhiều tác giả tại các vực nước ven bờ [3, 28, 29]. Tuy nhiên, theo Xi và nnk., [28, 30] tăng cường tập số liệu về IOP tại khu vực nghiên cứu để xác định nguồn gốc của nguồn vật liệu trong thủy vực.

KẾT LUẬN

Bài báo đã cung cấp những dữ liệu đầu tiên về quang học biển ở vịnh Nha Trang. Các yếu tố IOP và AOP ở vịnh Nha Trang biến động mạnh, thay đổi theo mùa và chịu sự chi phối của nguồn vật chất đưa vào vùng nước. Hệ số suy giảm ánh sáng trung bình ở tầng ưu quang trung bình 0,122 ± 0,052 m^{-1} vào mùa khô và 0,187 ± 0,121 m^{-1} vào mùa mưa; tương ứng với độ sâu tầng ưu quang trung bình 29,50 ± 9,05 m vào mùa khô, và 24,68 ± 10,60 m vào mùa mưa. Ngoài ra, hệ số hấp thụ ánh sáng của các thành phần vật chất trong nước có mối quan hệ chặt chẽ với các thông số môi trường. Hệ số tương quan giữa a_{ph} với Chl-a là $R^2 = 0,94$ và giữa a_p với TSM là $R^2 = 0,626$ cho trường hợp nước xanh, trong khi đó hệ số tương quan giữa CDOM với Chl-a và TSM thấp hơn. Do đó, có thể sử dụng các giá trị của các thông số môi trường (như TSM và Chl-a) để đánh giá AOP hoặc IOP trong nước. Điều đó cho thấy, khả năng sử dụng các thông số quang học biển để nâng cao chất lượng giải đoán ảnh viễn thám trong đánh giá chất lượng môi trường ở vịnh Nha Trang nói riêng và ở vùng biển ven bờ Việt Nam nói chung.

Lời cảm ơn: Bài báo sử dụng số liệu của đề tài VAST.ĐLT.01/13-14, tiểu dự án NANO SEA 2013 - 2015 và đề tài VAST.UĐCN.01/14-15, VAST.HTQT.NGA.03/17-18. Các tác giả xin chân thành cảm ơn ThS. Lê Trọng Dũng, CN. Nguyễn Minh Hiếu, CN. Nguyễn Trịnh Đức Hiệu đã tham gia thu mẫu để chúng tôi có thể phân tích và sử dụng kết quả cho bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Preisendorfer, R. W., 1976. Hydrologic optics. Vol. I. Introduction. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. *Environment Research Laboratory*.
2. Zaneveld, R., Barnard, A., and Lee, Z. P., 2006. Why are inherent optical properties needed in ocean-colour remote sensing. *Remote Sensing of Inherent Optical Properties: Fundamentals, Tests of Algorithms and Applications*, **5**, 3-11.
3. Mouw, C. B., Greb, S., Aurin, D., DiGiacomo, P. M., Lee, Z., Twardowski, M., Binding, C., Hu, C., Ma, R., Moore and Moses, W., 2015. Aquatic color radiometry remote sensing of coastal and inland waters: Challenges and recommendations for future satellite missions. *Remote Sensing of Environment*, **160**, 15-30.
4. Gordon, H. R., and Morel, A. Y., 1983. Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery: a review. *Lecture notes on coastal and estuarine studies*, (4).
5. Gordon, H. R., and Wang, M., 1994. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. *Applied optics*, **33**(3), 443-452.
6. Morel, A., 1974. Optical properties of pure water and pure sea water. *Optical Aspects of Oceanography*, 1-24.
7. Morel, A., and Prieur, L., 1977. Analysis of variations in ocean color. *Limnology and oceanography*, **22**(4), 709-722.
8. Lee, Z., Carder, K. L., and Arnone, R. A., 2002. Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters. *Applied optics*, **41**(27), 5755-5772.
9. Lund-Hansen, L. C., Hai, D. N., Lam, N. N., and Nielsen, M. H., 2010. Optical properties of a tropical estuary during wet and dry conditions in the Nha Phu estuary, Khanh Hoa Province, south-east Vietnam. *Hydrobiologia*, **644**(1), 207-216.
10. Loisel, H., Mangin, A., Vantrepotte, V., Dessailly, D., Dinh, D. N., Garnesson, P.,

Ouillon, S., Lefebvre, J-P, Mériaux, X., and Phan, T. M., 2014. Variability of suspended particulate matter concentration in coastal waters under the Mekong's influence from ocean color (MERIS) remote sensing over the last decade. *Remote Sensing of Environment*, **150**, 218-230.

11. Loisel, H., Vantrepotte, V., Dinh Ngoc Dat, Ouillon, S., Lefebvre, J-P., Mériaux, X., Phan Minh Thu, Mangin, A., 2013. Analysis of the suspended particulate matter concentration variability of the coastal waters under the Mekong's influence from remote sensing. *Proceedings of IRD-VAST Symposium on Marine Science, Hai Phong, Vietnam*. Pp. 96-107.
12. Phan Minh Thụ, 2011. Đánh giá một số thông số quang sinh học ở vịnh Nha Trang. *Hội thảo Ứng dụng GIS toàn quốc 2011. Đà Nẵng* 17-18/12/2011, 116-122.
13. Thu, T. P. M., Schaepman, M. E., Leemans, R., An, A. N. T., Son, S. T. P. H., Tien, T. N. M., and Bac, P. T., 2008. Water quality assessment in the Nha Trang bay (Vietnam) by using in-situ and remotely sensed data. In *Proceedings GeoInformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (GIS-IDEAS), Hanoi, Vietnam, 4-6 December, 2008*. 253-258.
14. Phan Minh Thụ, 2011. Vật chất lơ lửng ở vịnh Nha Trang trong mối quan hệ phát triển bền vững du lịch biển. *Tuyển tập Hội nghị Khoa học và Công nghệ biển toàn quốc lần thứ V*. Tập V: Sinh thái, Môi trường và Quản lý biển, Hà Nội, 20-21/10/2011. 94-99.
15. Jeffrey, S. W., Mantoura, R. F. C., Wright, S. W., 1997. Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods. UNESCO Publishing.
16. Jeffrey, S. W., and Welschmeyer, N. A., 1997. Spectrophotometric and fluorometric equations in common use in oceanography. *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*, 597-615.
17. Federation, W. E., and American Public Health Association, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. *American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA*.
18. Pegau, S., Zaneveld, J. R. V., Mitchell, B. G., Mueller, J. L., Kahru, M., and Wieland, J., 2003. Inherent Optical Properties: Instruments, Characterizations, Field Measurements and Data Analysis Protocols. Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation. *NASA Tech Memo, 211621*.
19. Murty, A. V. S., 1969. A theoretical approach to the attenuation coefficient of light in sea water. *Indian Journal of Fisheries*, **16**(1&2), 151-155.
20. Cleveland, J. S., and Weidemann, A. D., 1993. Quantifying absorption by aquatic particles: A multiple scattering correction for glass-fiber filters. *Limnology and Oceanography*, **38**(6), 1321-1327.
21. Phan Minh Thụ, Nguyễn Trịnh Đức Hiệu, Phạm Thị Phương Thảo, 2016. Biến động chất lượng nước vịnh Nha Trang. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **16**(2), 144-150.
22. Biber, P. D., Gallegos, C. L., and Kenworthy, W. J., 2008. Calibration of a bio-optical model in the North River, North Carolina (Albemarle-Pamlico sound): A tool to evaluate water quality impacts on seagrasses. *Estuaries and Coasts*, **31**(1), 177-191.
23. Lacroix, G., Ruddick, K., Park, Y., Gypens, N., and Lancelot, C., 2007. Validation of the 3D biogeochemical model MIRO&CO with field nutrient and phytoplankton data and MERIS-derived surface chlorophyll a images. *Journal of Marine Systems*, **64**(1), 66-88.
24. Lee, Z., Shang, S., Hu, C., Du, K., Weidemann, A., Hou, W., Lin, J., and Lin, G., 2015. Secchi disk depth: A new theory and mechanistic model for underwater visibility. *Remote Sensing of Environment*, **169**, 139-149.
25. Nechad, B., and Ruddick, K., 2010. A model of diffuse attenuation of the

downwelling irradiance for ecosystem models. In *SPIE Asia-Pacific Remote Sensing*. International Society for Optics and Photonics. Pp. 78580D-1.

26. Lin, S., Zou, T., Gao, H., and Guo, X., 2009. The vertical attenuation of irradiance as a function of turbidity: a case of the Huanghai (Yellow) Sea in spring. *Acta Oceanologica Sinica*, **28**(5), 66-75.
27. Kirk, J. T. O., 1984. Dependence of relationship between inherent and apparent optical properties of water on solar altitude. *Limnology and Oceanography*, **29**(2), 350-356.
28. Xi, H., Qiu, Z., He, Y., and Jian, W., 2007. The absorption of water color components and spectral modes in the Pearl River estuary. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, **25**(4), 359-366.
29. Morel, A., and Gentili, B., 2009. A simple band ratio technique to quantify the colored dissolved and detrital organic material from ocean color remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, **113**(5), 998-1011.
30. Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., and Rinaldi, A., 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, **9**(3), 329-357.

MARINE OPTICAL PROPERTIES OF SEAWATER IN NHA TRANG BAY

Phan Minh Thu[1], Bui Hong Long[1], Pham Ngoc Lang[2]

[1]Institute of Oceanography, VAST
[2]Graduate University of Science and Technology, VAST

ABSTRACT: Marine optics of seawater includes apparent optical properties (AOP) and inherent optical properties (IOP). Based on survey data in the period of 2013-2014, the paper showed features and spatial and temporal variations of marine optical properties of seawater as well as the impacts of some environmental parameters on these variables. The average of light attenuation coefficient was quantitation of 0.122 ± 0.052 m^{-1} in the dry season and 0.187 ± 0.121 m^{-1} in the rainy season. Euphotic zone depth, $z_{1\%}$ reflecting the depth where photosynthetically available radiation (PAR) is 1% of its surface value, averaged 29.50 ± 9.05 m in the dry season and 24.68 ± 10.60 m in the rainy season. The absorption coefficient of detritus components in water virtually underwent few changes between dry and rainy seasons but CDOM (Colored Dissolved Organic Matter) in the rainy season was much higher than that in the dry season. The seawater optical properties were influenced by the seawater components and closely related to environmental parameters of waters.

Keywords: Optical property, apparent optical properties (AOP), inherent optical properties (IOP), Nha Trang bay.