



Giám sát ô nhiễm chất phóng xạ trong nước biển bằng tích hợp công nghệ viễn thám và số liệu quan trắc thực địa

Trần Ngọc Tường^{1*}, Phạm Hồng Hải¹, Lê Thành An², Nguyễn Duy Phương², Lương Chính Kế³, Lê Minh³

¹Trung tâm Công nghệ tích hợp liên ngành giám sát hiện trường, ĐH Công Nghệ

²Học viện Quốc tế, Bộ Công an

³Hội Trắc địa, bản đồ, viễn thám Việt Nam

Email tác giả liên hệ: tuongtn@fimo.edu.vn

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13235023>

Tóm tắt:

Môi trường biển hiện nay đang là vấn đề được thế giới quan tâm trước áp lực về ô nhiễm, đặc biệt ô nhiễm chất phóng xạ do chất thải rắn, nước làm mát từ của lò phản ứng hạt nhân từ các nhà máy điện nguyên tử thải ra. Việt Nam là quốc gia biển chịu ảnh hưởng chung trong vấn đề ô nhiễm này. Bài báo giới thiệu phương pháp phát hiện sự bất bình thường của môi trường nước biển và kết hợp với lấy mẫu thực địa để tìm ra nguyên nhân của nguồn ô nhiễm, trước hết cho mục đích ô nhiễm chất phóng xạ. Phương pháp đề xuất dựa vào hiện tượng huỳnh quang phát ra của thực vật phù du mà cảm biến vệ tinh thu nhận được khi chúng hấp thụ bức xạ Mặt trời để quang hợp trao đổi chất và thải oxy. Nghiên cứu của chúng tôi mới ở giai đoạn đầu về phần lý thuyết sẽ được chia sẻ ở đây. Kết quả thực nghiệm sẽ được giới thiệu vào dịp tiếp theo.

Từ khóa: Ô nhiễm chất phóng xạ, huỳnh quang, bức xạ, khuếch tán

Ngày nhận bài: 25/03/2024

Ngày sửa lại: 30/03/2024

Ngày chấp nhận đăng: 30/03/2024

Ngày xuất bản: 30/03/2024

Monitoring seawater radioactive contamination by intergrating application remote sensing technology and field observation data

Tran Ngoc Tuong^{1*}, Pham Hong Hai¹, Le Thanh An², Nguyen Duy Phuong², Luong Chinh Ke³, Le Minh³

¹Center of Multidisciplinary Integrated Technologies for Field Monitoring, University of Engineering and Technology

²Academy of International Studies, Ministry of Public Security

³Vietnam Association of Surveying, Mapping, Remote Sensing

Corresponding Author Email: tuongtn@fimo.edu.vn

Abstract:

The marine environment is now a matter of being concerned by the world in prior pressure on pollution, especially radioactive contamination of solid waste, cooling water of nuclear reactors from nuclear power plants discharged. Vietnam is a sea nation affected by this pollution. Our article introduces methods to detect the abnormalities of the seawater environment and combined with field sampling to find the cause of pollution sources, first for the purpose of radioactive contamination. The proposal method is based on the fluorescent phenomenon emitted by phytoplankton but the satellite sensor receives when they absorb solar radiation to massage metabolism and emission oxygen. Our new research in the early stages of theoretical part will be shared here. Experiment results will be introduced on the next occasion.

Keywords: Radioactive contamination, phenomenon, radiation, diffusive

Submission received: 25/03/2024

Revised: 30/03/2024

Accepted: 30/03/2024

Published: 30/03/2024

1. Đặt vấn đề

Đề Việt Nam giàu lên từ biển, mạnh lên từ biển đòi hỏi môi trường biển của Việt Nam được bảo vệ lành mạnh, không chỉ ổn định môi trường chính trị mà còn đòi hỏi môi trường biển đảo tự nhiên của chúng ta phát triển bền vững, trước hết tránh được các rủi ro ô nhiễm nước biển. Nguồn ô nhiễm biển không chỉ là các chất thải rắn từ sinh hoạt mà còn là các chất thải rắn từ phế thải công nghiệp như các từ các lò cao đồ ra biển của các nước có chung bờ biển. Không những thế, các chất thải lỏng làm mát từ các nhà máy trong vận hành sản xuất cũng được xả thải trực tiếp ra biển, mang theo các hóa chất cũng như những phân tử kim loại nặng làm hệ sinh thái biển bị chết, thậm chí bị hủy diệt trên diện rộng. Một vấn đề nổi cộm vào cuối năm 2020 về thông tin của Bộ Khoa học công nghệ và Viện nghiên cứu hạt nhân Philippines ghi nhận nồng độ phóng xạ cao bất thường ở các rạn san hô trên Biển Đông. Các chuyên gia Philippines phát hiện i-ốt 129 tại một số rạn san hô thuộc quần đảo Trường Sa của Việt Nam và vùng biển phía đông Philippines. Trong đó, nơi có nồng độ phóng xạ cao nhất nằm gần khu vực đá Vành Khăn thuộc quần đảo Trường Sa của Việt Nam. Các nhà khoa học Philippines cho biết i-ốt 129 là sản phẩm của quá trình phân rã hạt nhân. Điển hình là từ các vụ thử hạt nhân, sự cố hạt nhân hoặc quá trình tái xử lý năng lượng hạt nhân (báo điện tử VTC News, ngày 08/12/2020).



Sự rò rỉ chất phóng xạ từ sự cố các nhà máy điện hạt nhân không chỉ ảnh hưởng tới môi trường không khí mà kể cả môi trường nước do mưa, gió, bụi. Không những thế những lò làm mát bằng nước của một số nhà máy điện nguyên tử lại được xả thải ra các hồ vịnh thông với biển. Do vậy nguồn ô nhiễm phóng xạ của môi trường nước biển có nguy cơ rất cao. Hơn thế nữa, sự cố thiên tai môi trường khiến nhà máy điện hạt nhân bị huỷ hoại như nhà máy Fukushima của Nhật Bản vào năm 2011 khiến hàng triệu m³ nước từ lò phản ứng hạt nhân chảy ra biển.

Trong nửa thế kỷ qua, thế giới đã chứng kiến tỷ lệ các sự cố trong đó chất phóng xạ bị đổ hoặc thải ra đại dương. Một nhà máy nhiên liệu hạt nhân của Anh đã nhiều lần xả chất thải phóng xạ ra biển Ailen, một nhà máy tái chế hạt nhân của Pháp đã xả chất thải tương tự vào eo biển Anh, và trong nhiều thập kỷ, Liên Xô đã đổ một lượng lớn chất phóng xạ xuống Bắc Băng Dương, biển Kara và biển Barent. Mặc dù sự rộng lớn của đại dương có khả năng làm loãng nhiễm bẩn hạt nhân, các dấu hiệu lây lan vật liệu phóng xạ đang được phát hiện ra khỏi Nhật Bản, bao gồm phát hiện nồng độ phóng xạ nâng cao của Caesium và iốt trong cá ở phía nam của Fukushima, và cấp độ phóng xạ cao trong nước biển cách xa bờ tới 30km.

Trong năm 2016, ba nhà máy điện hạt nhân của Trung Quốc ở những vị trí gần với Việt Nam đã bắt đầu đi vào hoạt động: hai tổ máy đầu tiên có công suất 1.000 MW của Nhà máy điện hạt nhân Phòng Thành (Quảng Tây) đi vào hoạt động thương mại, hai tổ máy 650 MW của Nhà máy Xương Giang trên đảo Hải Nam và ba tổ máy 600 MW của Nhà máy Trường Giang (Quảng Đông) đã được kết nối lưới điện quốc gia của Trung Quốc. Mỗi nhà máy đều thiết kế dự kiến có 6 tổ máy (<https://tuoitre.vn/10/10/2016>). Nhà máy Phòng Thành ở tỉnh Quảng Tây, cách TP.Móng Cái (tỉnh Quảng Ninh) 50km và cách TP.Hà Nội khoảng 500km; nhà máy Trường Giang (tỉnh Quảng Đông) cách biên giới Việt Nam 200km và nhà máy Sương Giang (đảo Hải Nam) cách đảo Bạch Long Vĩ (Hải Phòng) hơn 100km.

Ted Poston (một nhà sinh thái học thuộc Phòng thí nghiệm Quốc gia Tây Bắc Thái Bình Dương của chính phủ Hoa Kỳ ở Richland, Washington) giải thích nếu các hạt nhân phóng xạ ở dạng hòa tan, chúng sẽ hoạt động khác với khi chúng bị hấp thụ thành các hạt. Nếu iốt-131 được rong biển hoặc sinh vật phù du hấp thụ, nó có thể được chuyển sang cá, đến lượt chúng lại bị những loài cá lớn ăn thịt, như đã thấy ở biển Ailen. Cá cũng có thể hấp thụ các hạt nhân phóng xạ trong nước thông qua mang của chúng, và các hạt nhân phóng xạ có thể bị động vật thân mềm ăn vào. Buessler và các chuyên gia khác cho rằng: Cả các nguyên tố phóng xạ tồn tại trong thời gian ngắn (chẳng hạn như iốt-131) và các nguyên tố tồn tại lâu hơn (chẳng hạn như xêzi-137), với chu kỳ bán rã 30 năm, đều có thể bị thực vật phù du hấp thụ, động vật phù du, tảo bẹ và các sinh vật biển khác và sau đó được truyền vào chuỗi thức ăn, cho cá, động vật có vú biển và con người.

Trong một thế giới mà sự phụ thuộc toàn cầu vào thủy sản để làm thực phẩm ngày càng tăng, ít nhất 10% dân số thế giới phụ thuộc vào nghề cá để kiếm sống - một môi trường bị ô nhiễm tiềm ẩn có thể dẫn đến một chuỗi thực phẩm bị ô nhiễm, làm dấy lên lo ngại của người tiêu dùng. Chúng ta cũng biết rằng khoảng 95% bệnh ung thư ở người được kích hoạt do tiếp xúc với các chất độc hại có trong môi trường, bao gồm cả thực phẩm (theo Elizabeth Grossman, pril 7, 2011, Published at the Yale School of the Environment).

Vào đầu thập niên 80 của thế kỷ trước các nhà nghiên cứu đã thực nghiệm trong phòng thí nghiệm nhằm sử dụng chỉ số sinh học để theo dõi ô nhiễm xạ trong môi trường biển thông qua nuôi trai, sò biển bằng thực vật phù du bị nhiễm xạ [1]. Thông qua đó để thấy được mức độ lây nhiễm phóng xạ từ vật này sang vật khác. Trong những năm 90 của thế kỷ trước cũng đã có nhiều nghiên cứu về ô nhiễm môi trường biển bởi chất phóng xạ thông qua chất trầm tích ở đáy biển, cũng như ở bề mặt lớp nước [2,3]. Tiếp tục vào đầu những năm 2000, một số nghiên cứu ô nhiễm nước biển thông qua chất trầm tích [4-6] ở biển East Coast Peninsular của Malaysia; biển Pacific cách Fukushima ở khoảng cách 30 km; và vùng biển Nhật Bản. Đáng quan tâm về nghiên cứu của nhóm nhà khoa học Trung Quốc gần đây nhất vào năm 2020 [7] đã dùng tàu thăm dò lấy mẫu nước mặt trên 3 vùng biển Trung Quốc, vùng biển Hoa Đông và Hoàng Hải. Kết quả công bố: Tồn kho chất phóng xạ ¹³⁷Cs cao trong cột nước, độ hòa tan cao và thời gian lưu trú trung bình dài. Thời gian cư



trú trung bình của 137Cs ở biển Trung Hoa được xác định là $45,6 \pm 3,8$ năm; $36,8 \pm 3,1$ năm đối với biển Hoa Đông và $12,0 \pm 1,0$ năm đối với biển Hoàng Hải.

Các hạt trầm tích trôi nổi trên tầng lớp nước mặt cũng như thực vật phù du có thể được trích xuất từ các ảnh vệ tinh chuyên cho biển đại dương như ảnh vệ tinh Modis của Mỹ hay ảnh Sentinel của EU. Kết hợp với số lượng nhỏ mẫu nước bề mặt sau khi đưa về phòng thí nghiệm chất lọc, sấy khô và dùng thiết bị chuyên dụng để đo nồng độ phóng xạ của chất phóng xạ, chúng ta có thể sử dụng giá trị phản xạ viễn thám đã được xử lý loại bỏ những tín hiệu nhiễu để tham chiếu về hàm lượng chất phóng xạ trên quy mô cho từng pixel ảnh. Hết hợp với GIS chúng ta có thể biểu diễn phân bố không gian của chất phóng xạ cho cả một vùng biển rộng lớn mà chúng ta quan tâm. Phương pháp đo hàm lượng phóng xạ các mẫu trầm tích, phù du trong phòng thí nghiệm có thể tham khảo [3,8,9].

Viễn thám vệ tinh được coi là một lĩnh vực khoa học cho phép tiếp cận có hiệu quả không chỉ đối với các đối tượng trên lục địa mà còn đối với các thực thể biển đảo. Đây là một công cụ quan trọng về áp dụng công nghệ tiên tiến để phát triển nền tảng “Hạ tầng dữ liệu không gian địa lý quốc gia” về biển đảo của Việt Nam, hướng tới đáp ứng yêu cầu quản lý Nhà nước, phát triển kinh tế - xã hội, bảo đảm quốc phòng, an ninh; bảo đảm khả năng kết nối liên thông với hạ tầng dữ liệu không gian địa lý các nước trong khu vực và quốc tế. Phát triển ứng dụng công nghệ viễn thám đã được Đảng và Chính Phủ đặc biệt quan tâm. Thủ tướng Chính phủ đã ký Quyết định số 149/QĐ-TTg ngày 01/02/2019 phê duyệt “Chiến lược phát triển viễn thám quốc gia đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2040”. Quan điểm của Chiến lược là phát triển viễn thám với thiết bị, công nghệ tiên tiến, hiện đại. Nhà nước tập trung đầu tư hệ thống thu nhận dữ liệu ảnh viễn thám, cơ sở dữ liệu viễn thám quốc gia, phát triển công nghệ viễn thám, quan trắc và giám sát bằng viễn thám trong một số lĩnh vực. Thông tin, dữ liệu, sản phẩm viễn thám đáp ứng tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật và được chia sẻ, sử dụng có hiệu quả trong các ngành, các lĩnh vực.

2. Phương pháp

Phương pháp đề xuất giám sát ô nhiễm phóng xạ nước biển được giải quyết thông qua xác định định tính cũng như định lượng về khả năng hấp thụ bức xạ Mặt Trời của thực vật phù du ở lớp nước mặt có độ sâu z (m) bằng công nghệ viễn thám.

2.1. Thực vật phù du từ viễn thám vệ tinh

Thực vật phù du là những sinh vật đơn bào đa dạng về mặt phân loại, sống ở tầng trên của gàn như tất cả các vùng nước trên Trái đất, và chúng có khả năng quang hợp. Quá trình quang hợp ròng hàng năm của riêng thực vật phù du đại dương có mức độ tương tự như của tất cả các loài thực vật trên cạn và nó đóng một vai trò quan trọng trong chu trình carbon sinh quyển [11]. Năng suất đại dương bị tác động mạnh bởi các biến đổi khí hậu nhưng việc định lượng tác động này và sự dự đoán sự thay đổi trong tương lai đòi hỏi sự hiểu biết về các yếu tố môi trường, mức độ sử dụng ánh sáng và tăng trưởng của thực vật phù du. Tuy nhiên, việc xác định đặc điểm toàn cầu về sự biến đổi sinh lý của biển được cho là thách thức lớn hơn nhiều so với việc chỉ đơn giản là định lượng trữ lượng thực vật phù du. Năm 2002, hình ảnh quang phổ có độ phân giải vừa phải (bộ cảm MODIS) của NASA với khả năng phát hiện huỳnh quang diệp lục của thực vật phù du để đánh giá tình trạng sinh lý của chúng. Cũng như đối với thực vật trên cạn, quá trình quang hợp oxy trong thực vật phù du liên quan đến việc thu nhận ánh sáng và chuyển tải điện tử giữa hai trung tâm phản ứng sắc tố chịu trách nhiệm cho quá trình chuyển hóa oxy, nơi năng lượng ánh sáng được thu nhận ở dạng hóa học [12]. Sự phát xạ huỳnh quang dưới ánh sáng mặt trời tự nhiên có thể được phát hiện trong phổ bức xạ đi lên từ phía dưới bề mặt và từ bên trên bề mặt nước biển. Sự phát xạ từ Mặt Trời và sự hấp thụ sắc tố mạnh bằng tín hiệu “huỳnh quang tự nhiên” của thực vật phù du biển, ban đầu được đề xuất như một công cụ để tính tỷ lệ quang hợp của thực vật phù du và có thể ghi lại sự biến đổi sinh lý [13]. Những quan sát hiện trường như vậy là công cụ để phát triển khả năng phát hiện huỳnh quang bằng đầu thu cảm biến trên vệ tinh. Cho đến nay, việc áp dụng bằng quan sát vệ tinh hiện tượng huỳnh quang của thực vật phù du diệp lục còn hạn chế. Ba yếu tố chính điều chỉnh sự phân bố huỳnh quang của thực vật phù du toàn cầu, là: (1) nồng độ sắc tố, (2) phản ứng quang-sinh bảo vệ, ngăn ngừa thiệt hại do ánh sáng có cường độ cao, và (3) hiện tượng tự che bóng trong hiệu suất hấp thụ

ánh sáng [14]. Sản lượng lượng tử huỳnh quang của thực vật phù du diệp lục quan trắc từ vệ tinh có thể chứng minh một công cụ mới quan trọng để xác định đặc điểm ứng suất chất ô nhiễm trong các đại dương, cải thiện ước tính quang hợp của đại dương và giải quyết các vấn đề tương tác giữa sinh vật phù du và khí hậu.

Huỳnh quang diệp lục (F) là một thông lượng nhỏ để khử sự kích thích đối với năng lượng ánh sáng Mặt Trời được thực vật phù du hấp thụ phục vụ trao đổi chất, thải ô-xy. Dòng ánh sáng huỳnh quang này được phân giải dễ dàng trong dữ liệu trường bức xạ và thường được điều chỉnh bởi: nồng độ hay hàm lượng chất diệp lục (Chl), hệ số hấp thụ riêng của thực vật phù du diệp lục ($\langle a_{ph} \rangle$), thông lượng của bức xạ hoạt động quang hợp ($iPAR$) ở thời điểm thu nhận ảnh, và năng suất lượng tử của huỳnh quang (φ) [15]:

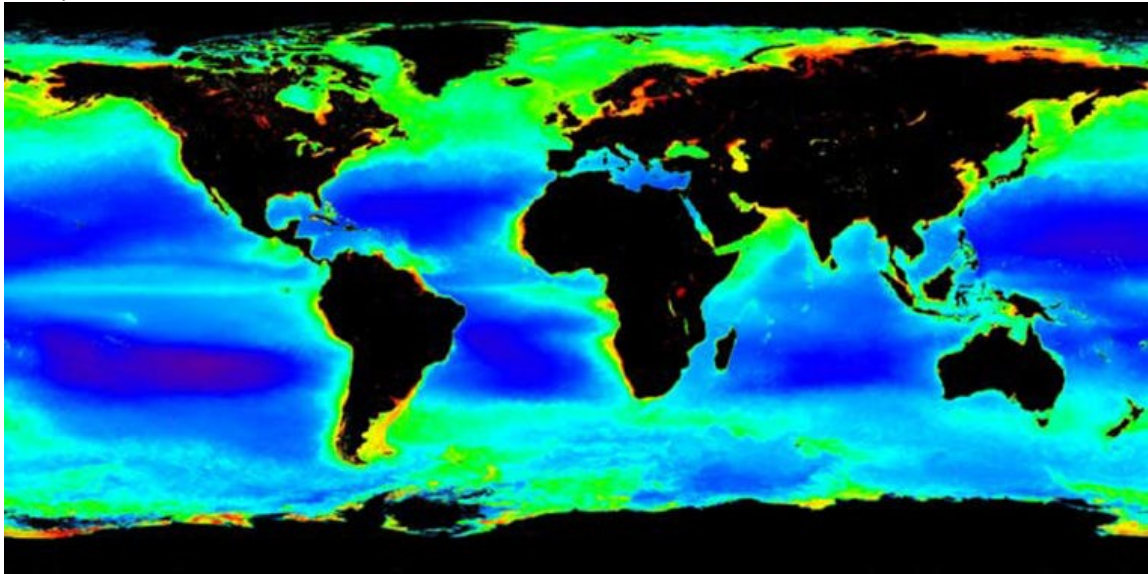
$$F = Chl \cdot \langle a_{ph}^* \rangle \cdot iPAR \cdot \varphi \quad (1)$$

Phương trình (1) nêu bật những phụ thuộc cơ bản của phát xạ huỳnh quang cảm ứng Mặt Trời, nhưng các yếu tố bổ sung khác cần phải được xem xét khi trích xuất tín hiệu huỳnh quang của thực vật phù du từ ảnh viễn thám.

Sự phân bố huỳnh quang diệp lục thực vật phù du đại dương mở, toàn cầu (F_{sat}) khi sử dụng cụ thể là ảnh vệ tinh Modis sau khi tính $iPAR$, chúng ta có phương trình (2) đơn giản hơn:

$$F_{sat} = Chl_{sat} \cdot \langle a_{ph}^* \rangle \cdot \varphi \cdot S \quad (2)$$

Trong đó $S = 100 \text{ (mWcm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{ m)}$; Chl_{sat} là nồng độ chất diệp lục ở lớp bề mặt trích xuất từ vệ tinh Modis.



Hình 1: Hàm lượng phù du diệp lục (chlorophyll-a) được trích xuất từ vệ tinh Modis

Để thu được tín hiệu huỳnh quang diệp lục từ ảnh viễn thám màu đại dương, cần tính độ cao đường huỳnh quang để loại bỏ ảnh hưởng của tán xạ ngược và tán xạ Raman [16], ví dụ cho ảnh Modis, trước hết tính F_{sat} từ 3 bước sóng $678 \mu\text{m}$, $667 \mu\text{m}$, và $748 \mu\text{m}$:

$$F_{sat} = L_{WN}(678) - \frac{70}{81}L_{WN}(667) - \frac{11}{81}L_{WN}(748) \quad (3)$$

Trong đó $L_{WN}(\lambda)$ là bức xạ rời khỏi mặt nước của bước sóng λ được chuẩn hóa, có đơn vị là $[\text{mWcm}^{-2} \text{ sr}]$. Sau đó, tính bức xạ huỳnh quang hay gọi là độ cao đường huỳnh quang $L_{w,f}(0^+, 678)$ được xác định:

$$L_{w,f}(0^+, 678) = F_{sat} \frac{E_d(0^+, 678)}{F_0(678)} \quad (4)$$

Ký hiệu 0^+ là biểu diễn đại lượng ở ngay phía trên bề mặt nước của bước sóng λ cụ thể. E_d là thông lượng bức xạ mặt trời đi xuống trực tiếp tiếp cận tới bề mặt nước, F_0 là năng lượng bức xạ mặt trời ở đỉnh khí quyển của bước sóng cụ thể.

Sự có mặt của bức xạ huỳnh quang từ lớp nước phía dưới bề mặt giữa độ sâu z_1 và $z_{1+\Delta z}$ được đo ở dải phát xạ (λ_{em}) là:

$$\Delta L_{W,f}(z_1, \Delta z, \lambda_{em}) = \frac{\phi}{4\pi C_f} \int_{z_1+\Delta z}^{z_1} \int_{400nm}^{700nm} \frac{\lambda}{hc} a_{ph}(z, \lambda) E_0(0^-, \lambda) e^{-K(\lambda, z)z} d\lambda dz \quad (5)$$

Trong đó: $K(z, \lambda)$ [m^{-1}] – hệ số suy giảm ánh sáng trong mô trường nước; $a_{ph}(z, \lambda)$ [m^{-1}] – hệ số hấp thụ bức xạ của phù du; $E_0(0^-, \lambda)$ [$Wm^{-2} nm^{-1}$] - lượng chiếu xạ (từ Mặt Trời) ngay dưới bề mặt nước; C_f [nm] – là tỷ lệ nghịch đảo của các photon huỳnh quang tại dải sóng phát xạ được phát hiện xung quanh λ_{em} so với phổ huỳnh quang toàn phần; ϕ là năng suất lượng tử của huỳnh quang (tổng số photon huỳnh quang trên mỗi photon hấp thụ); λ/hc – tham số chuyển đổi $E_0(0^-, \lambda)$ về đơn vị lượng tử [$m^{-2} s^{-1} nm^{-1}$], theo [6,10]; 4π – hằng số giải thích rằng huỳnh quang là đẳng hướng. Đơn vị của $\Delta L_{W,f}(z_1, \lambda_{em})$ là đơn vị lượng tử [$m^{-2} s^{-1} nm^{-1}$].

Ánh sáng huỳnh quang bị suy giảm trên đường đi đến bề mặt nước với hệ số suy giảm khuếch tán, $k_L(\lambda_{em})$. Tích hợp dọc theo độ sâu z sẽ là tổng lượng ánh sáng huỳnh quang [17,18], chúng ta nhận được:

$$L_{W,f}(0^-, \lambda_{em}) = \frac{\phi}{4\pi C_f} \int_{400}^{700} \frac{\lambda}{hc} \frac{1}{(K(\lambda) + k_L(\lambda_{em}))} a_{ph}(\lambda) E_0(0^-, \lambda) d\lambda \quad (6)$$

Lượng bức xạ huỳnh quang rời khỏi nước đi về đầu thu cảm biến trên vệ tinh, $L_{W,f}(0^+, \lambda_{em})$ đúng bằng lượng bức xạ huỳnh quang ngay bên dưới mặt biển, $L_{W,f}(0^-, \lambda_{em})$, truyền qua giao diện mặt phân cách giữa không khí-biển (air-sea interface):

$$L_{W,f}(0^+, \lambda_{em}) = \frac{tL_{W,f}(0^-, \lambda_{em})}{n_w^2} \quad (7)$$

Trong đó n_w là chỉ số khúc xạ của nước biển và t là tham số truyền bức xạ theo phương thiên địa (nadir) trên mặt biển.

Tổng lượng bức xạ theo (6) và (7) sẽ đúng bằng lượng bức xạ của (4), ví dụ cho ảnh vệ tinh Modis ở bước sóng phát xạ (678 nm). Từ đây ta sẽ tính được năng suất lượng tử ϕ_{sat} :

$$\phi_{sat} = \frac{4\pi n_w^2 C_f}{tF_0(678)} \frac{E_d(0^+, 678)F_{sat}}{\int_{400}^{700} \frac{\lambda}{hc} \frac{1}{K(\lambda) + k_L(678)} a_{ph}(\lambda) E_0(0^-, \lambda) d\lambda} \quad (8)$$

Phần trình bày trên đây cho chúng ta thấy rằng dưới tác động của nguồn năng lượng chiếu xạ Mặt Trời, các sinh vật phù du có cấu tạo đơn bào sống ở lớp nước mặt ở độ sâu z (m) sẽ hấp thụ và thực hiện trao đổi chất để tồn tại và phát triển. Trong quá trình đó, chúng phát ra ánh sáng huỳnh quang. Lượng năng lượng ánh sáng huỳnh quang “chui” khỏi mặt nước và được đầu cảm biến vệ tinh “bắt” được. Đặc trưng cho các loại sinh vật phù du là sinh vật phù du diệp lục (chlorophyll-a). Loại sinh vật phù du biển rất nhạy cảm với môi trường, vì vậy khi môi trường nước bị ô nhiễm (ví dụ phóng xạ) thì khả năng hấp thụ bức xạ mặt trời sẽ bị suy giảm kéo theo lượng huỳnh quang phát ra cũng bị suy giảm, và tín hiệu phổ bức xạ trên ảnh vệ tinh cũng suy giảm theo. Sử dụng đặc điểm này, phù du diệp lục có thể được coi là đối tượng để giám sát chất lượng nước biển.

2.2. Sự hấp thụ bức xạ Mặt trời của thực vật phù du diệp lục

Hai vệ tinh cho môi trường biển chúng ta có thể sử dụng trong thực tế hiện nay nhằm giảm chi phí là ảnh vệ tinh Sentinel-3 OLCI và ảnh vệ tinh Modis Aqua nhằm tính lượng bức xạ mà phù du diệp lục hấp thụ trong việc theo dõi trạng thái ô nhiễm nước biển. Lượng bức xạ được hấp thụ bởi phù du diệp lục ARP được viết dưới dạng tổng quát sau:

$$ARP = \int_{400}^{700} \int_0^z a_{\theta}(\lambda) E_0(\lambda, z) dz d\lambda \quad (9)$$

Trong đó $a_{\theta}(\lambda)$ là hệ số hấp thụ của phù du, E_0 – bức xạ chiếu xạ của Mặt Trời, z – độ sâu lớp nước mặt. Đại lượng $E_0(z)$ có mối quan hệ:

$$E_0(z) = \frac{E_d(z)}{\mu_d(z)} + \frac{E_u(z)}{\mu_u(z)} \quad (10)$$

Với

$$E_d(z) = E_d(0^-) e^{-K_d z}; E_u(z) = E_u(0^-) e^{-K_u z} \quad (10a)$$



Và

$$K_d \approx (a + b_b)/\overline{\mu}_d, K_u \approx (a + b_b)/\overline{\mu}_u \quad (10b)$$

Trong đó: K_i là hệ số suy giảm khuếch tán đi xuống ($i = d$) và đi lên ($i = u$); E_i – bức xạ chiếu xạ đi xuống ($i = d$) và đi lên ($i = u$); a, b_b – hệ số hấp thụ toàn phần và hệ số tán xạ ngược toàn phần; $\overline{\mu}_i$ ($i = d, u$) – cosin trung bình của góc thiên đỉnh Mặt Trời ứng với chiếu xạ đi xuống và đi lên. 0- đại lượng được tính ngay ở dưới bề mặt nước.

Sau khi thế (10), (10a), (10b) vào (9) và tính tích phân, chúng ta nhận được công thức cuối cùng ở dạng tổng, ví dụ cho ảnh Modis ứng với 6 kênh ảnh ở dải phổ khả kiến, (với $i = 1, 2, \dots, 6$) và độ sâu $z = 685$ mm:

$$ARP = \sum_i^6 a_\phi(\lambda_i) w_{a\phi}(i) E_d(\lambda_i, 0^-) w_{Ed}(i) \left[\frac{1 - e^{-K_d(\lambda_i)z_{685}}}{\overline{\mu}_d K_d(\lambda_i)} + \frac{1 - e^{-K_u(\lambda_i)z_{685}}}{\overline{\mu}_u K_u(\lambda_i)} \right] \quad (11)$$

Trong đó: $w_{a\phi}$ – hàm trọng số của hệ số hấp thụ của phù du; w_{Ed} – hàm trọng số của bức xạ chiếu xạ đi xuống; $R(\lambda_i)$ – giá trị phản xạ của chiếu xạ và được tính theo công thức:

$$R(\lambda_i) = R_{rs} \frac{Q n_w^2}{[1 - \rho(\theta)][1 - \rho(\theta_{sat})]} \quad (12)$$

Trong đó: R_{rs} – phản xạ viễn thám; Q – hệ số; n_w – hệ số khúc xạ của nước biển; θ và θ_{sat} – Góc thiên đỉnh Mặt Trời và góc thiên đỉnh vệ tinh.

Để tính $E_d(0^-)$ cho bước sóng λ bất kỳ từ công thức (10a) cần có $E_d(0^+)$ tức là bức xạ chiếu xạ (của Mặt Trời) đi xuống ngay bên trên bề mặt nước, gồm 2 thành phần là bức xạ chiếu xạ trực tiếp (dd) và khuếch tán (ds):

$$E_d(\lambda, 0^-) = E_{dd}(\lambda, 0^+)(1 - \rho_d) + E_{ds}(\lambda, 0^+)(1 - \rho_s) \quad (13)$$

Trong đó: ρ_d và ρ_s là phản xạ bề mặt biển trực tiếp và phản xạ bề mặt biển khuếch tán và được xác định:

$$\begin{cases} \rho_d = \rho_{dsp} + \rho_f \\ \rho_s = \rho_{ssp} + \rho_f \end{cases} \quad (13a)$$

Với ρ_{dsp} ; ρ_{ssp} – phản xạ gương trực tiếp và phản xạ gương khuếch tán được tính theo định luật Fresnel; ρ_f – phản xạ bọt sóng biển, phụ thuộc vào vận tốc gió W .

Thành phần $E_{dd}(\lambda, 0^+)$ từ (13) là thành phần chiếu xạ trực tiếp đi xuống từ Mặt Trời được xác định theo biểu thức sau [18]:

$$E_{dd}(\lambda, 0^+) = F_0 \cos(\theta) \prod T_i \quad (14)$$

Trong đó: F_0 là lượng chiếu xạ ở đỉnh khí quyển ứng với bước sóng λ , θ – góc thiên đỉnh mặt trời; T_i là các tham số truyền bức xạ trong khí quyển của các thành phần i khí quyển.

Thành phần $E_{ds}(\lambda, 0^+)$ từ (13) là thành phần chiếu xạ khuếch tán đi xuống từ Mặt Trời được xác định theo biểu thức sau:

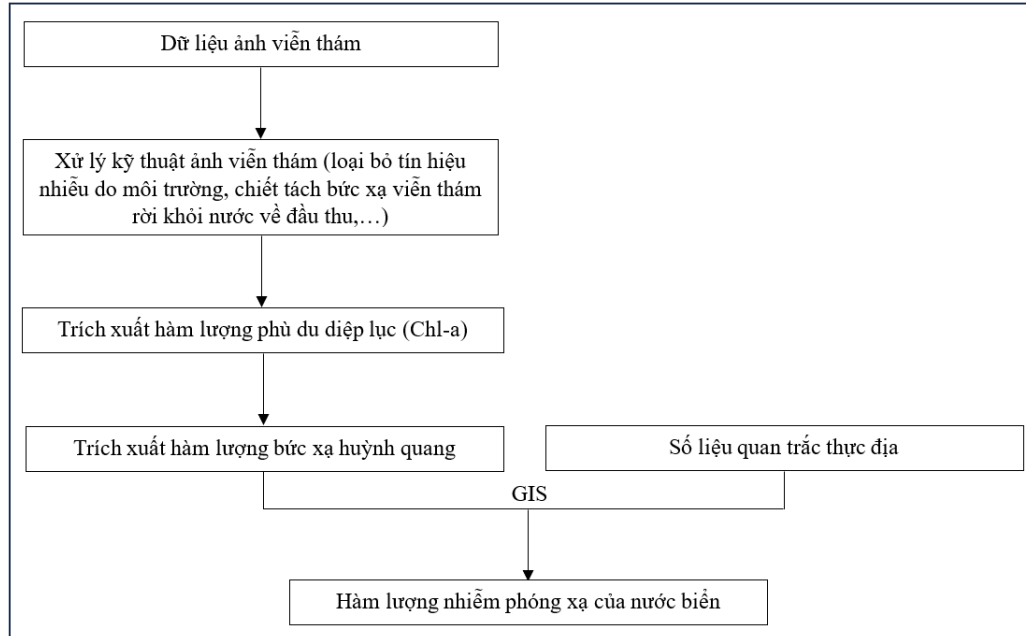
$$E_{ds}(\lambda, 0^+) = I_r + I_a + I_g \quad (15)$$

Trong đó: I_r ; I_a ; I_g – là các thành phần khuếch tán của của bức xạ chiếu đi tới mặt biển xuất hiện bởi tán xạ phân tử khí quyển, tán xạ do sol-khí và đa tương tác giữa bề mặt và không khí. Thành phần thứ 3 trong (15) trong thực tế bằng 0.

Trên đây là tóm lược những thuật toán cơ bản để tính lượng bức xạ hấp thụ của phù du mà nó sử dụng để trao đổi chất trong quá trình tồn tại và phát triển gắn liền với hiện tượng huỳnh quang mà đầu cảm biến trên vệ tinh thu nhận được. Sự thay đổi lượng bức xạ hấp thụ của phù du cho một đơn vị khối lượng xác định trên một đơn vị diện tích pixel ảnh sẽ cung cấp cho chúng ta biết được môi trường có bị ô nhiễm không.

Viễn thám là công nghệ gián tiếp giám sát phát hiện sự bất bình thường của môi trường, vì vậy cần có số liệu ngoại nghiệp bổ trợ. Cụ thể, cần có các mẫu nước biển thu thập ở một số điểm mà chúng ta quan tâm và được xử lý đo trong phòng thí nghiệm nhờ các thiết bị chuyên dụng để phát hiện ô nhiễm nước là do chất phóng xạ hay các nguồn ô nhiễm khác. Viễn thám sẽ thực hiện tham chiếu từ bức xạ ảnh sau khi đã được xử lý đối với số liệu thực địa. Trên cơ sở đó chúng ta có

thể lập bản đồ phân bố không gian ô nhiễm theo định lượng trên mỗi pixel ảnh. Đây là những dữ liệu sát thời gian thực khi chúng ta sử dụng vệ tinh có độ phân giải thời gian ngắn như vệ tinh Modis. Dưới đây là sơ đồ minh họa tóm tắt quy trình giám sát ô nhiễm chất phóng xạ trong nước biển bằng tích hợp công nghệ viễn thám và số liệu quan trắc thực địa (hình 2):



Hình 2: Sơ đồ minh họa tóm tắt quy trình giám sát ô nhiễm chất phóng xạ trong nước biển bằng tích hợp công nghệ viễn thám và số liệu quan trắc thực địa

3. Kết luận

Bài báo đề xuất một phần về phương pháp giám sát ô nhiễm phóng xạ môi trường biển kết hợp với số liệu quan trắc thực địa trên tín hiệu huỳnh quang do phù du phát ra trong quá trình hấp thụ năng lượng ánh sáng Mặt trời. Lợi thế của phương pháp là: có thể sử dụng miễn phí ảnh vệ tinh về biển và đại dương của Mỹ và EU kết hợp với ảnh vệ tinh của Việt Nam; quy mô giám sát rộng và sát với thời gian thực; làm chủ được phương pháp và các thuật toán cần thiết để xây dựng phần mềm độc lập; đối tượng nghiên cứu sử dụng là thực vật phù du diệp lục có độ nhạy cao đối với sự thay đổi của môi trường biển và đại dương. Nhóm tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu thử nghiệm phương pháp tại khu vực vịnh Bắc Bộ và sẽ kiểm chứng, đánh giá độ chính xác trong bài báo tiếp theo.

Cam kết của các tác giả

Tất cả các tác giả có tên trong bài báo cam kết sự đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Henning Dahlgaard, “Bioindicators for Monitoring Radioactive Pollution of the Marine Environment”, *Risø National Laboratory, DK-4000 Roskilde, Denmark*, May 1981.
- [2] Assinder DJ, Robinson CD, Halsall J, Telford A., (1994) “The distribution and behavior of artificial radionuclides in sediments of the north Wales coast, UK”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry-Articles* 182(2):225-235, <http://dx.doi.org/10.1007/BF02037498>.
- [3] Pettersson H.B.L., Amano H., Berezhnov V.I., Chaykovskaya E., Chumichev V.B., Chung C.S., Gastaud J., Hirose K., Hong G.H., Kim C.K., Kim S.H., Lee S.H., Morimoto T., Nikitin A., Oda K., Povinec P.P., Suzuki E., Tkalin A., Togawa O., Veletova N.K., Volkov Y., Yoshida K., “Anthropogenic Radionuclides in Sediments in the NW Pacific Ocean and its Marginal Seas: Results of the 1994-1995”, *Japanese-Korean-Russian Expeditions, The Science of the Total Environment*, 237/238, pp. 213-224, 1999.
- [4] Ahmad Z, Yii MW, Abu Bakar AS, Shahar H. (2010), “Spatial distributions of Cs-137 and Pu239+240 in surface seawater within the Exclusive Economic Zone of East Coast Peninsular Malaysia”, *Applied Radiation and Isotopes* 68(9):1839-1845, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2010.04.012>



- [5] Jian Zheng, Tatsuo A Ono, Shigeo Uchida, Jing Zhang and Makio C.Honda, “ Distribution of Puisotopes in marine sediments in the Pacific 30 km off Fukushima after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident”, *Geochemical Journal, Vol. 46*, pp.361-369, 2012.
- [6] Ootosaka S, Amano H, Ito T, Kawamura H, Kobayashi T, Suzuki T, Togawa O, Chaykovskaya EL, Lishavskaya TS, Novichkov VP, Karasev EV, Tkalin AV, Volkov YN, (16 Oct 2006) “Anthropogenic radionuclides in sediment in the Japan Sea: distribution and transport processes of particulate radionuclides”, *Journal of Environmental Radioactivity 91 (3)*, pp.128-145, [doi: 10.1016/j.jenvrad.2006.09.001](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2006.09.001)
- [7] Junwen Wu, Xiyu Xiao, and Jiang Sun, (29/05/2020), “Distribution and budget of ^{137}Cs in the China Seas”, [doi: 10.1038/s41598-020-65280-x](https://doi.org/10.1038/s41598-020-65280-x).
- [8] Linsen Yang, Yongchao Qian, Xiang-Yu Kong, Mengting Si, Yuanyuan Zhao, Bo Niu, Xiaolu Zhao, Yan Wei, Lei Jiang, and Liping Wen, “Specific Recognition of Uranyl Ion Employing a Functionalized Nanochannel Platform for Dealing with Radioactive Contamination”, *ACS Appl Mater Interfaces 2020, 12, 3*, pp.3854–3861, 2020.
- [9] Masaaki Akamatsu, Hirokazu Komatsu, Atsuki Matsuda, Taizo Mori, Waka Nakanishi, Hideki Sakai, Jonathan P. Hill, and Katsuhiko Ariga, (2017), “Visual Detection of Cesium Ions in Domestic Water Supply or Seawater using a Nano-optode”, <https://www.journal.csj.jp/>.
- [10] Behrenfeld, M. J. Randerson, J. T., McClain, C. R., Feldman, G. C., Los, S., Tucker, C., Falkowski, P.G., Field, C.B., Frouin, R., Esaias, W., and Kolber, D. and Pollack, N., “Biospheric primary production during an ENSO transition”, *Science*, 291, pp.2594–2597, 2001.
- [11] Falkowski, P. G. and Kolber, Z., “Variations in chlorophyll fluorescence yields in phytoplankton in the world oceans”, *Aust. J. Plant. Physiol.*, 22, pp.341–355, 1995.
- [12] Schallenberg, C., Lewis, M. R., Kelley, D. E., and Cullen, J. J., “Inferred influence of nutrient availability on the relationship between Sun-induced chlorophyll fluorescence and incident irradiance in the Bering Sea”, *J. Geophys. Res.*, 113, C07046, [doi: 10.1029/2007JC004355](https://doi.org/10.1029/2007JC004355), 2008.
- [13] Bricaud, A., Morel, A., Babin, M., Allali, K. and Claustre, H., “Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll a concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models”, *J. Geophys. Res.*, 103, 31,033–31,044, 1998
- [14] Babin, M., Morel, A. and Gentili, B., “Remote sensing of sea surface sun-induced chlorophyll fluorescence: consequences of natural variations in the optical characteristics of phytoplankton and the quantum yield of chlorophyll a fluorescence”, *Int. J. Remote Sens.*, 17, pp.2417–2448, 1996.
- [15] Abbott, M. R. and Letelier, R.M., (1999) “Algorithm theoretical basis document chlorophyll fluorescence”, MODIS product number 20, NASA, http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod22.pdf
- [16] Huot Y., Brown C. A. and Cullen J. J., “New algorithms for MODIS sun-induced chlorophyll fluorescence and a comparison with present data products”, *Limnol. Oceanogr. Methods*, 3, pp.108–130, 2005.
- [17] Kiefer, D. A., Chamberlin, W. S. and Booth, C. R., “Natural fluorescence of chlorophyll a: Relationship to photosynthesis and chlorophyll concentration in the western South Pacific gyre”, *Limnol. Oceanogr.*, 34, pp.868–881, 1989.
- [18] Leckner, B., “The spectral distribution of solar radiation at the earth's surface — elements of a model”, *Solar Energy*, 20, pp.143–150, 1978.

