TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Quan trắc các trường thủy động lực khu vực biển từ Hải Phòng tới Thái Bình trong giai đoạn bão Yagi (9/2024)

Nguyễn Kim Cương[1]*, Trần Ngọc Anh[1], Trần Thanh Huyền[2], Nguyễn Bá Thủy[3], Nguyễn Xuân Lộc[1], Vũ Hải Đăng[4]

[1] Trường ĐH Khoa học Tự nhiên, ĐH Quốc gia Hà Nội; cuongnk@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; nxloc@hus.edu.vn
[2] Trường ĐH Littoral - Côte d'Opale (ULCO) - Pháp; huyen-thanh.tran@univ-littoral.fr
[3] Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; thuybanguyen@gmail.com
[4] Viện Địa chất và Địa vật lý Biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; vuhaidang@hotmail.com

*Tác giả liên hệ: cuongnk@hus.edu.vn ; Tel.: +84–949170184

Ban Biên tập nhận bài: 10/9/2024; Ngày phản biện xong: 28/10/2024; Ngày đăng bài: 25/3/2025

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp quan trắc hiện đại các trường thủy động lực trên mặt biển và bộ số liệu hiếm có đã thu nhận được tại khu vực biển từ Hải Phòng tới Thái Bình trong giai đoạn trước và khi bão Yagi đi vào vịnh Bắc Bộ bằng hệ thống radar di động tần số cao. Các số liệu quan trắc mực nước, sóng và dòng chảy được trình bày và phân tích biến động theo không gian và thời gian. Từ số liệu quan trắc mực nước từ trạm hải văn Hòn Dấu cho thấy giai đoạn khi bão Yagi đổ bộ đã gây nước dâng và rút lớn nhất tương ứng là 124 cm và 84 cm. Các quan trắc radar với độ phân giải không gian và thời gian cao cho thấy độ cao sóng có nghĩa giai đoạn bão tác động trực tiếp tới bờ biển có thể đạt xấp xỉ 3 m và biến động lớn theo độ sâu. Bão đã làm đổi hướng dòng chảy về hướng đông nam thay vì hướng tây nam như giai đoạn trước đó do tác động của gió ở phía trái đường đi của bão.

Từ khóa: Bão Yagi; Radar biển; Độ cao sóng; Dòng chảy mặt biển.

1. Mở đầu

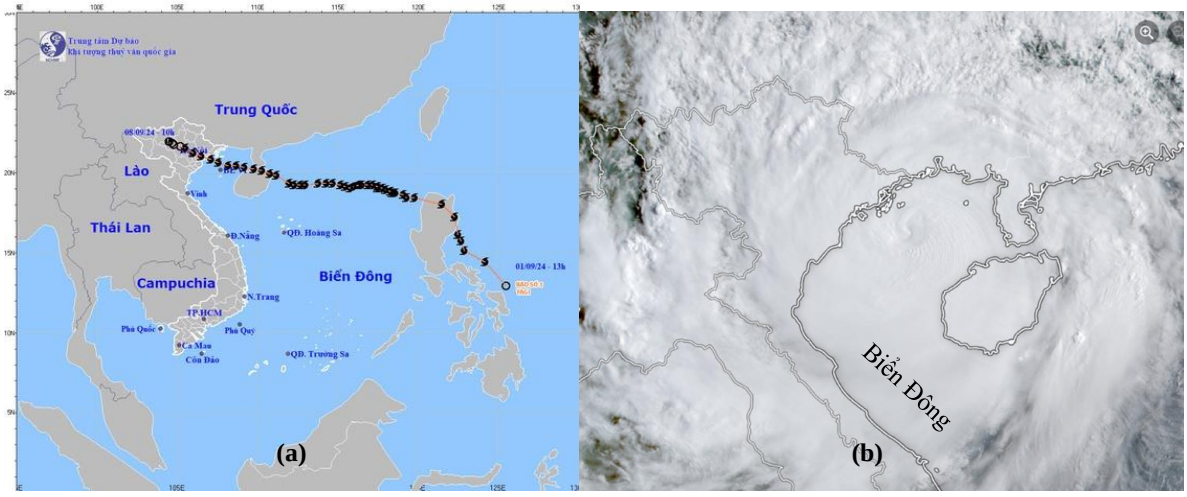
Hiện nay, ở Việt Nam, các trạm quan trắc sóng và dòng chảy vẫn còn chưa thực sự phủ khắp với công nghệ hiện đại. Dọc bờ biển Việt Nam có 17 trạm hải văn quan trắc các yếu tố sóng, mực nước và các yếu tố khí tượng trong đó sóng được quan trắc bằng mắt nên độ chính xác chưa thực sự đảm bảo. Bên cạnh đó, việc quan trắc tại các trạm này khá hạn chế trong các điều kiện ban đêm cũng như có khoảng cách giữa các trạm lớn hay thời gian giữa các obs còn khá xa (6h). Việc quan trắc profile dòng chảy và sóng trên mặt biển được thực hiện chủ yếu trong các nghiên cứu là từ các trạm đo cố định với các thiết bị thiết lập theo điểm như các máy AWAC hoặc máy ADCP. Bằng việc ứng dụng hệ thống radar biển thu được các số liệu sóng và dòng chảy trên diện rộng với độ phân giải cao cả về không gian và thời gian.

Radar đã được sử dụng nghiên cứu khoa học biển từ những năm 1977 với sự ra đời của hệ thống radar tần số cao CODAR (*COastal raDAR*) và sau đó là hệ thống WERA (*WEllen Radar*) năm 1980 [1]. Sau gần 50 năm phát triển và sử dụng, các hệ thống radar biển này đã được sử dụng phổ biến để quan trắc sóng và dòng chảy mặt biển [2], phục vụ cho giám sát biển ven bờ và các hoạt động hàng hải [3], quan trắc lan truyền dầu [4] hoặc các chất ô nhiễm [5, 6], các hoạt động tìm kiếm cứu hộ cứu nạn [7] hoặc các nghiên cứu về sự phân tán của các ấu trùng hoặc dự báo sự di chuyển của các quần thể sinh vật [8, 9].

Năm 2011, tại Việt Nam đã được đầu tư 3 trạm radar biển của hãng CODAR tại Hòn Dấu, Nghi Xuân và Đồng Hới, hoạt động ở tần số 4,65 MHz [10]. Các số liệu đã góp phần làm sáng tỏ thêm nhiều cơ chế về dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ cũng như xây dựng nên một cơ sở dữ liệu radar biển rất có giá trị [10, 11]. Mặc dù vậy, do các trạm cố định nên vùng đo của các radar này cũng cố định và chủ yếu cung cấp số liệu xa bờ với độ phân giải còn khá thô với độ phân giải không gian (5,8 km) và thời gian (01 h). Năm 2019, trong khuôn khổ dự án FIRST của Bộ Khoa học và Công nghệ, Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường ĐH Khoa học Tự nhiên đã được đầu tư một hệ thống radar di động của WERA có khả năng đo đạc tại các vùng biển linh hoạt theo nhu cầu với độ phân giải cao hơn [12].

Mặc dù khá phong phú về các phương pháp đo đạc trực tiếp và gián tiếp nhưng việc quan trắc các yếu tố khí tượng - hải văn trong bão hoặc gió mùa mạnh luôn gặp nhiều khó khăn do tác động của bão rất lớn tới các hệ thống quan trắc. Bão gây khó khăn trong việc quan trắc trên biển do sóng lớn và dòng chảy mạnh. Các tàu quan trắc thường không thể triển khai trên biển để đảm bảo an toàn cho các nhà khoa học cũng như tài sản. Việc quan trắc bằng vệ tinh thường gặp khó khăn khi quan trắc với bước sóng phổ kiến do mây che phủ diện rộng và dày. Quan trắc bằng mắt trong bão là việc làm rất khó và nguy hiểm do điều kiện gió to, mưa lớn và độ chính xác cũng không cao do biển động rất mạnh. Các quan trắc từ các trạm radar biển lắp đặt trên bờ có thể coi là giải pháp hiện đại và góp phần cung cấp số liệu trong các điều kiện cực trị như vậy. Chính vì thế, các số liệu khí tượng - hải văn trong các cơn bão tại Việt Nam rất hiếm và hạn chế về phân bố theo không gian và thời gian.

Cơn bão số 3 (bão Yagi) được đánh giá là cơn bão mạnh nhất trong vòng 30 năm qua trên khu vực Biển Đông, gây thiệt hại lớn cho các vùng lãnh thổ trên đường đi (Hình 1a). Tại Việt Nam, bão Yagi đổ bộ vào khu vực từ Hải Phòng tới Quảng Ninh với cường độ cấp 12-13 với gió mạnh và sóng lớn làm chìm nhiều loại tàu thuyền, gãy đổ đường điện và viễn thông, gây xói lở bờ biển… gây thiệt hại ước tính lên đến hàng chục nghìn tỷ đồng. Có thể nói, đây là một trong những cơn bão gây thiệt hại lớn nhất cho nước ta với phạm vi ảnh hưởng rất lớn. Bão Yagi đi vào Vịnh Bắc Bộ từ rạng sáng ngày 07/9/2024 và đổ bộ vào đất liền vào khoảng 13h cùng ngày. Trên ảnh mây vệ tinh lúc 8h sáng ngày 07/9/2024 (Hình 1b), có thể thấy đây là thời gian tâm bão nằm giữa Vịnh Bắc Bộ với vùng gió cực đại tác động tới khu vực Quảng Ninh - Hải Phòng. Đây cũng là giai đoạn biển động do gió đã thổi đủ lâu kể từ khi bão đi qua đảo Hải Nam gây nên sóng lớn tác động trực tiếp vào bờ.



Hình 1. (a) Đường đi của bão số 3 (Yagi) [13]; (b) Hình ảnh mây vệ tinh lúc 8h ngày 07/9/2024.

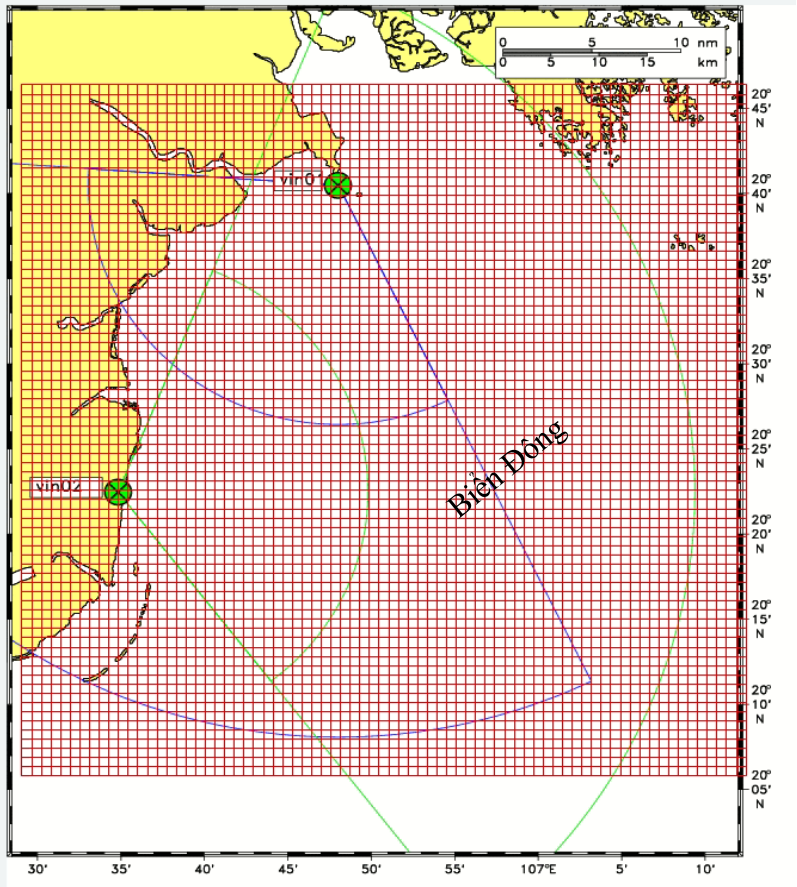
Nghiên cứu này trình bày những quan trắc mực nước, sóng biển và dòng chảy mặt biển trong giai đoạn trước và khi bão Yagi đổ bộ vào khu vực Vịnh Bắc Bộ, đây là thời điểm tác động rất mạnh tới khu vực biển ven bờ phía tây bắc Vịnh Bắc Bộ. Các số liệu mực nước được

thu thập từ trạm hải văn Hòn Dấu để đánh giá nước dâng/rút khu vực ven biển Hải Phòng. Các số liệu độ cao sóng và dòng chảy mặt biển được quan trắc từ hệ thống radar tần số cao được triển khai tại khu vực Đồ Sơn - Hải Phòng (trạm vin01) và tại khu vực huyện Tiền Hải - Thái Bình (trạm vin02) trong khuôn khổ dự án VinIF.2023.DA151. Đây là những số liệu được phủ diện rộng với độ phân giải cao cả về không gian và thời gian. Vùng bao phủ dữ liệu có thể tới 40 km xa bờ. Ưu điểm của hệ thống này là có thể triển khai đo đạc trong các điều kiện cực trị như bão hay gió mùa mạnh do đây là hệ thống được triển khai trên đất liền và tự vận hành đo đạc với sự theo dõi từ xa của các chuyên gia. Các số liệu này góp phần đánh giá tác động của bão và mối tương tác sóng - dòng chảy trên khu vực quan trắc. Đây là nguồn số liệu đáng quý phục vụ nghiên cứu chuyên sâu hơn các trường sóng, dòng chảy và tác động tới ven bờ trong bão Yagi.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu quan trắc radar và mực nước

Hệ thống radar Wera đã được triển khai ở nhiều nơi trên thế giới, đã được kiểm chứng và cho độ tin cậy cao khi so sánh với các số liệu quan trắc bằng ADCP [14–17]. Tại Việt Nam, hệ thống radar tần số cao (HF Radar) gồm 02 trạm riêng biệt được triển khai tại Đồ Sơn - Hải Phòng và Tiền Hải - Thái Bình, cung cấp số liệu đo đạc các yếu tố: sóng, dòng chảy mặt biển từ 01/8/2024. Thời gian đo đạc dự kiến trong 08 tháng. Hệ thống được thiết lập để đo đạc liên tục với độ phân giải thời gian 30 phút và độ phân giải không gian 1 km (Hình 2). Trên hình 2 thể hiện vị trí hai trạm radar và vùng đo đạc dự kiến, trong đó vòng tròn nhỏ là vùng đo đạc sóng và vòng tròn lớn là vùng đo đạc dòng chảy dự kiến. Hệ thống radar này đã được triển khai tại Phú Yên năm 2019; tại Phan Thiết năm 2022 - 2023 và đã được kiểm chứng với số liệu đo đạc bằng máy AWAC [12, 18].



Hình 2. Vị trí các trạm, lưới và vùng đo đạc dự kiến tại 2 trạm: vin01 tại Đồ Sơn - Hải Phòng và vin02 tại Tiền Hải - Thái Bình; vòng tròn nhỏ là vùng đo sóng dự kiến với bán kính 20 km; vòng tròn lớn là vùng đo dòng chảy dự kiến với bán kính 50 km.

Trạm Hải văn Hòn Dấu là trạm đo đạc mực nước hàng giờ tại 20,66°N và 106.80°E. Trạm Radar vin01 được đặt tại khu vực Hòn Dấu resort, cách trạm Hòn Dấu khoảng 1km về phía tây. Các số liệu mực nước được thu thập trong giai đoạn bão Yagi đổ bộ (từ ngày 01/9 đến 10/9/2024) để xác định độ lớn nước dâng. Mặc dù, khu vực biển từ Hải Phòng đến Thái Bình không nằm ở khu vực bên phải đường đi của bão Yagi - nơi vùng gió mạnh nhất, nhưng ảnh hưởng của bão tới các trường thủy động lực cũng rất lớn.

2.2. Phương pháp

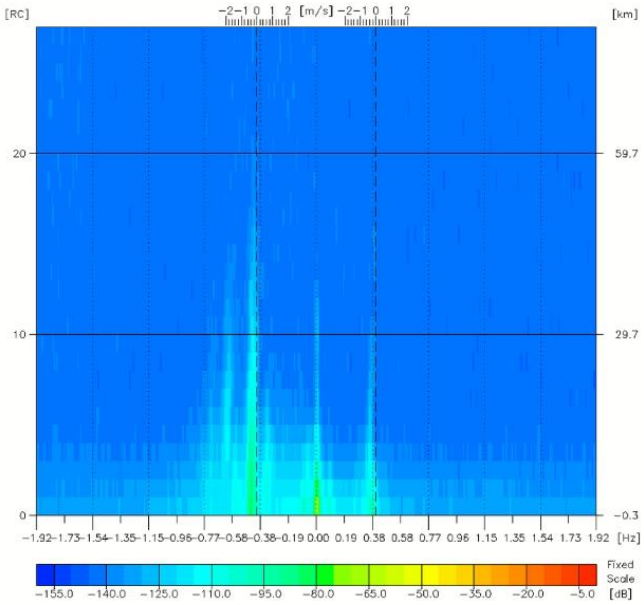
Hệ thống gồm 02 trạm radar được đặt cách nhau khoảng 40 km. Mỗi trạm radar gồm 04 anten phát tín hiệu và 12 anten thu tín hiệu (Hình 3). Hệ thống sẽ cung cấp các số liệu đo đạc sóng và dòng chảy trên mặt biển từ hai trạm. Hệ thống này đo đạc dựa trên sự tán xạ của sóng điện từ (sự tán xạ Bragg). Các radar phát sóng điện từ với tần số cao (16 MHz) lan truyền trên mặt biển và đo đạc sự thay đổi dựa trên hiệu ứng Doppler của sóng điện từ phản hồi gây nên bởi sóng và dòng chảy, dựa trên nguyên lý phản xạ sóng điện từ (hiệu ứng Doppler), khi gặp vật cản trên biển sẽ sinh ra tín hiệu phản xạ với độ trễ so với nguồn phát. Biểu đồ phổ sóng Doppler cung cấp thông tin về tín hiệu phản xạ mà anten thu tín hiệu của radar nhận được (Hình 4). Dựa trên thông tin phổ, ta có thể trích xuất thông tin về dòng chảy (đỉnh Bragg bật một) và sóng (đỉnh Bragg bậc hai) [19]. Dựa vào độ lệch giữa đỉnh Bragg bậc một so với tần số trung tâm (Hình 4), ta có thể xác định được vận tốc dòng chảy hướng tâm tại mỗi trạm. Tại vùng chồng lấn đo đạc giữa 2 trạm, ngoài số liệu độ cao sóng và vận tốc dòng chảy sẽ có thêm số liệu hướng sóng và hướng dòng chảy. Số liệu từ hai trạm chỉ cung cấp các giá trị dòng chảy hướng tâm (Hình 5). Sau đó, kết hợp giữa hai số liệu đo đạc đó sẽ cung cấp đầy đủ số liệu dòng chảy theo các phương khác nhau và đưa ra số liệu đầy đủ cả vận tốc và hướng dòng chảy với độ phân giải cao về không gian và thời gian [19]. Mực nước triều thiên văn được tính toán dựa trên phương pháp phân tích hằng số điều hòa cho chuỗi mực nước nhiều năm tại Hòn Dấu. Từ đó, mực nước dâng/rút được tính bằng cách loại triều trên chuỗi số liệu mực nước thực đo [20].

$$\eta_{res} = \eta_{obs} - \eta_{tide} \quad (1)$$

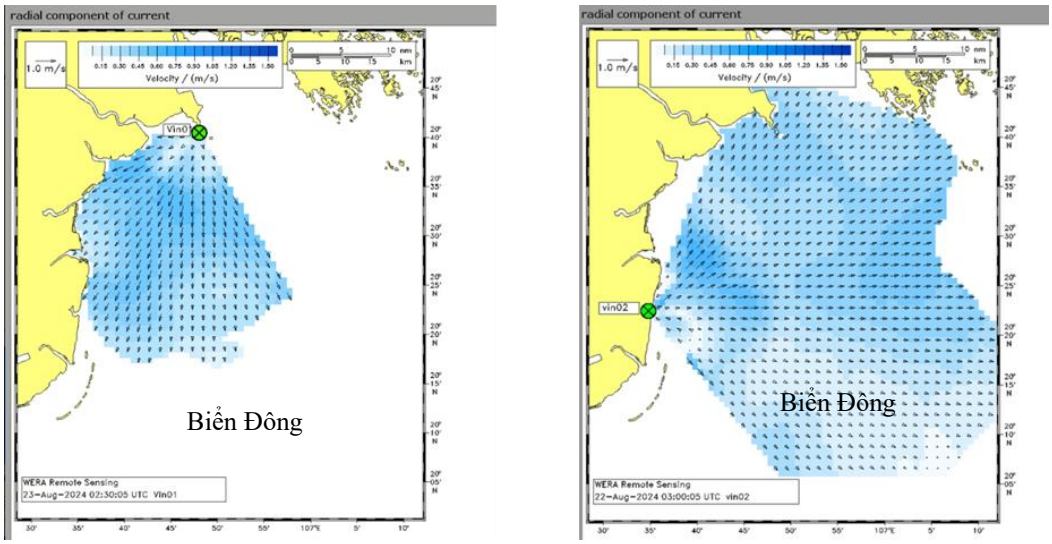
Trong đó η_{res} là giá trị mực nước dâng/rút; η_{obs} là giá trị mực nước quan trắc tại trạm Hòn Dấu; η_{tide} là giá trị mực triều thiên văn tính toán.

(a) (b)

Hình 3. Hệ thống anten phát (a) và thu tín hiệu (b).



Hình 4. Ví dụ về phổ điển hình từ hệ thống Radar: đường nét đứt đi qua hai đỉnh là đường Bragg bậc 1 và đường phản hồi bậc 2.

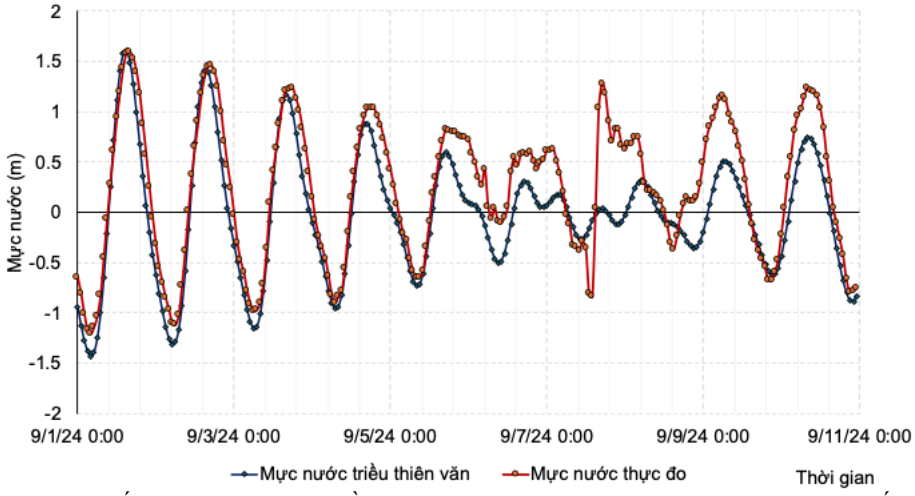


Hình 5. Các trường số liệu dòng chảy hướng tâm từ hai trạm radar.

3. Kết quả và thảo luận

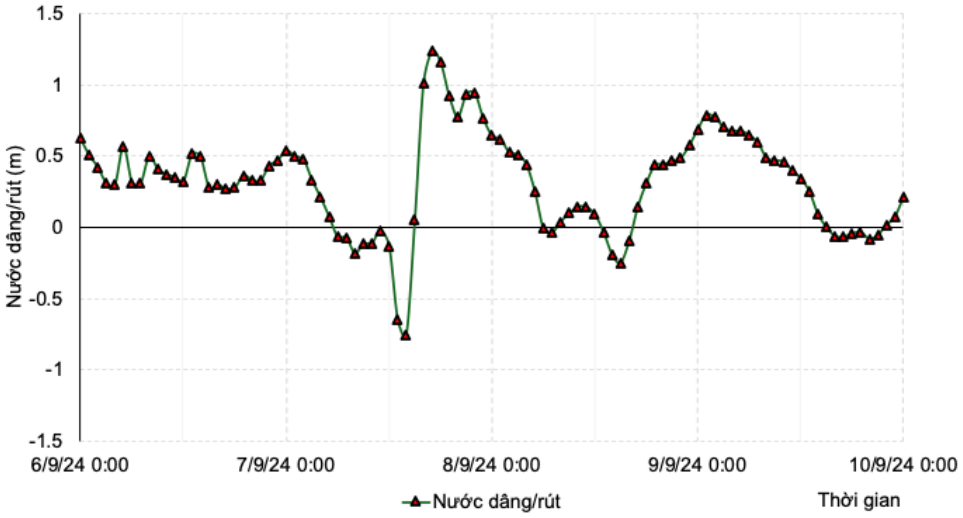
3.1. Biến động mực nước tại trạm Hòn Dấu giai đoạn trước và khi bão Yagi đổ bộ

Khu vực nghiên cứu có chế độ nhật triều tương đối rõ nét và có thể tính toán giá trị mực nước thông qua các bộ hằng số điều hòa. Khu vực này thường xuyên xảy ra hiện tượng nước dâng do bão và do sóng trong bão [21–23]. Tại Hòn Dấu, giai đoạn từ 01/9/2024 đến ngày 05/9/2024, giá trị mực nước triều thiên văn và mực nước thực đo tương đối bám sát nhau (Hình 6). Điều đó chứng tỏ gần như chỉ có thủy triều là nhân tố chính của dao động mực nước trong điều kiện bình thường. Tuy nhiên, từ ngày 06/9/2024 khi bão số 3 di chuyển đến khu vực đảo Hải Nam gây nên gió lớn cho khu vực vịnh Bắc Bộ, mực nước quan trắc đã bắt đầu có sự khác biệt rõ nét so với mực nước triều thiên văn tính từ bộ hằng số điều hòa thủy triều. Hình 7 cho thấy, từ ngày 06/9/2024, tại khu vực Hòn Dấu, mực nước đã dâng lên từ 40-50 cm. Hiện tượng nước rút bắt đầu từ 8h sáng ngày 07/9/2024 và đạt giá trị cực đại khoảng 84 cm lúc 14h khi bão bắt đầu đổ bộ trực tiếp vào ven bờ biển phía tây vịnh Bắc Bộ. Ngay sau đợt nước rút đó là một đợt nước dâng lớn bắt đầu từ 15h ngày 07/9/2024 cho tới 5h ngày 08/9/2024 với giá trị nước dâng lớn nhất đạt 124 cm. Ngày 09/9/2024 hiện tượng nước dâng vẫn tiếp tục xảy ra nhưng chỉ đạt tối đa 79 cm. Mặc dù khu vực Hòn Dấu chưa phải là khu vực gió giật cực đại nhưng với nước dâng 124 cm cũng đã làm cho sóng lớn tác động sâu hơn vào bờ, gây xói lở khá nghiêm trọng cho khu vực Hòn Dấu resort. Với cường độ mạnh của cơn bão Yagi, giá trị nước dâng lớn nhưng thời điểm bão đổ bộ đúng vào giai đoạn triều thấp nên cũng đã giảm tác động đáng kể tới các công trình ven biển. Hiện tượng



Hình 6. Biến động mực nước triều thiên văn và mực nước thực đo tại trạm Hòn Dấu.

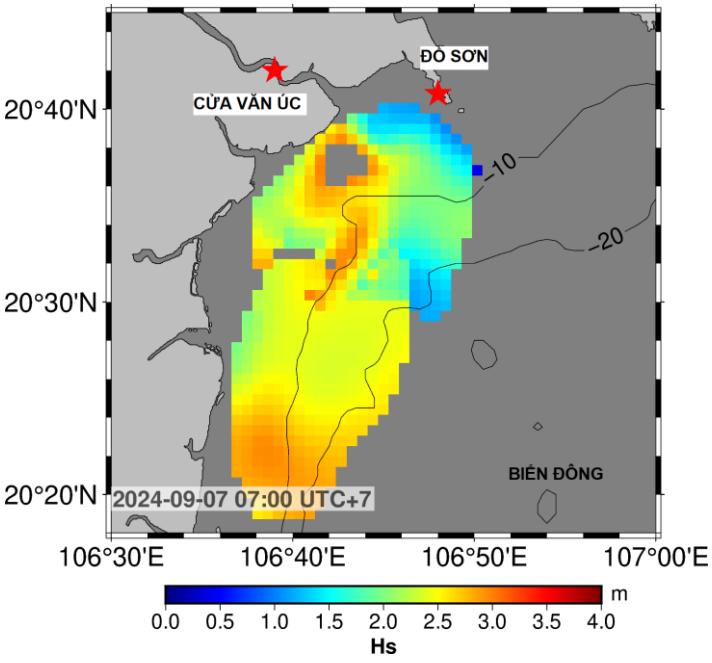
nước rút lớn cũng là hiện tượng đáng chú ý và nghiên cứu do sẽ ảnh hưởng tới việc neo đậu tàu thuyền và có thể tác động tới các tàu thuyền neo đậu khu vực nước nông.



Hình 7. Biến động mực nước dâng/rút tại trạm Hòn Dấu.

3.2. Biến động trường sóng, dòng chảy mặt biển khu vực biển từ Hải Phòng tới Thái Bình giai đoạn trước khi bão Yagi đổ bộ

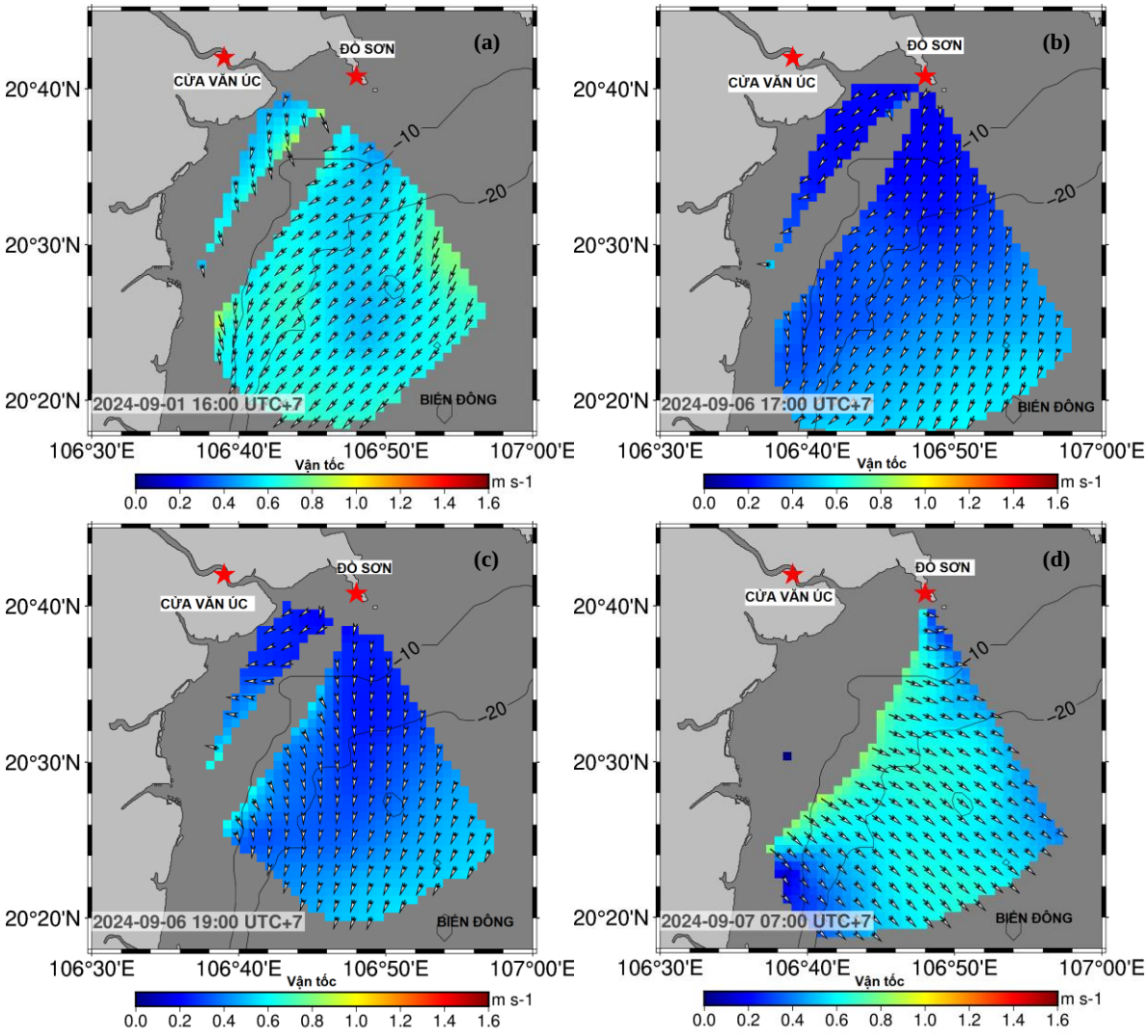
Vào thời điểm bão Yagi đi vào vịnh Bắc Bộ, với sức gió giật cấp 12-13, đã gây sóng lớn tác động trực tiếp vào bờ biển Việt Nam. Hình 9 thể hiện phân bố độ cao sóng khu vực biển từ Hải Phòng tới Thái Bình lúc 7h sáng ngày 07/9/2024 - thời điểm bão Yagi đang ở vịnh Bắc Bộ và tác động mạnh tới các điều kiện thủy động lực. Có thể thấy khi bão tác động trực tiếp tới khu vực ven bờ tây bắc vịnh Bắc Bộ, độ cao sóng có nghĩa (H_s) có thể đạt tới 2,8 m khu vực ngoài khơi Tiền Hải - Thái Bình (Hình 8). Điều đáng tiếc là hệ thống radar đã không thể đo đạc sau thời điểm 8h sáng ngày 07/9/2024 do tác động của bão gây mất điện toàn khu vực. Có thể thấy, với các sóng lớn khoảng 2,5-3 m, ảnh hưởng của địa hình khu vực lên độ cao sóng được thể hiện tương đối rõ nét trên số liệu radar biển. Độ cao sóng có xu thế tăng khi đi vào các khu vực dọc đường đẳng sâu 10m trong khi không thay đổi đáng kể khi ở vùng sâu 10-20 m. Các số liệu quan trắc này tương đồng với số liệu quan trắc bằng mắt tại trạm hải văn Hòn Dấu. Các số liệu này đã cho thấy được ảnh hưởng lớn của bão Yagi lên trường sóng mặt biển khi bão đổ bộ. Số liệu này chưa từng được ghi nhận với độ phân giải cao về không gian và thời gian như vậy. Các số liệu này có thể được sử dụng trong các mô phỏng, đánh giá về ảnh hưởng của bão Yagi tới các trường thủy động lực ven biển từ Hải Phòng tới Thái Bình.



Hình 8. Phân bố độ cao sóng có nghĩa (H_s) giai đoạn bão Yagi đi vào vịnh Bắc Bộ.

Trường dòng chảy mặt tại khu vực biển từ Hải Phòng tới Thái Bình chịu ảnh hưởng của nhiều tác động khác nhau: gió, triều và nước

sông đổ ra từ các cửa sông lớn như Văn Úc, Thái Bình, Trà Lý và Ba Lạt… Thời điểm trước khi bão đổ bộ, vận tốc dòng chảy có những thời điểm lên tới 1 m/s với hướng dòng chảy chủ yếu theo hướng đông bắc - tây nam (Hình 9a). Kết quả đo đạc này khá tương đồng với các nghiên cứu trước đây tại khu vực vịnh Bắc Bộ bằng mô hình số và quan trắc radar tần cao với đô phân giải thô hơn [24–26]. Giai đoạn này do ảnh hưởng của gió mùa đông bắc chi phối nên dòng chảy gió có xu thế áp đảo dòng triều, dẫn đến dòng chảy tổng cộng luôn chảy về phía tây nam giai đoạn trước bão. Tuy nhiên, vào thời điểm khi bão đi vào vịnh Bắc Bộ, do khu vực quan trắc nằm lệch về phía bên trái đường đi của bão Yagi nên khu vực này gió có xu thế thổi từ bờ ra khơi. Như đã phân tích ở phần trên, thời điểm bão đổ bộ là giai đoạn nước triều thấp nên dòng triều giai đoạn này cũng tương đối nhỏ. Do vậy, dòng chảy tổng cộng cũng dao động trong khoảng 20-40 cm/s và đạt đến khoảng 80 cm/s vào ngày 07/9/2024. Hình 9b-9d thể hiện phân bố của dòng chảy giai đoạn trước và sau khi bão vượt qua đảo Hải Nam đi vào vịnh Bắc Bộ. Trước khi bão đi vào vịnh Bắc Bộ (Hình 9b), dòng chảy tuy yếu hơn giai đoạn đầu tháng nhưng vẫn giữa hướng dòng chảy về phía tây nam. Tuy nhiên, chỉ vài giờ sau, khi bão đã vượt qua đảo Hải Nam và tác động trực tiếp lên khu vực vịnh Bắc Bộ, dòng chảy mặt có xu hướng đổi hướng chảy về phía nam và chuyển hướng sang phía đông nam theo hướng gió vào ngày 07/9/2024. Trong suốt thời gian từ 0h - 7h30 sáng ngày 07/9/2024 (thời điểm cuối cùng đo được dòng chảy mặt trước khi bị cắt điện), dòng chảy đều giữ hướng đông nam. Điều đó cho thấy, ảnh hưởng của bão lên dòng chảy mặt là không chỉ ở vận tốc dòng chảy mà cả hướng dòng chảy. Do tác động của gió nên dòng chảy có xu thế đổi hướng và chảy về phía đông nam thay vì phía tây nam như giai đoạn trước đó.



Hình 9. Phân bố trường dòng chảy mặt lúc: (a) 16h ngày 01/9/2024; (b) 17h ngày 06/9/2024; (c) 19h ngày 06/9/2024; (d) 7h ngày 07/9/2024.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã trình bày các kết quả đo đạc và phân tích về biến động của mực nước, trường sóng và dòng chảy mặt biển khu vực từ Hải Phòng tới Thái Bình. Có thể thấy, tác động của bão số 3 (Yagi) lên các trường thủy động lực học là tương đối lớn. Bão đã gây nên nước dâng và nước rút ở Hòn Dấu với giá trị đáng kể. Nước rút đạt giá trị lớn nhất là 84 cm và nước dâng đạt giá trị cực đại là 124 cm. Bão đã làm gia tăng trường sóng mặt biển với độ cao sóng có nghĩa lớn nhất đo được trước khi bão đổ bộ khoảng 3 m. Do vị trí tương đối của khu vực nghiên cứu nên bão đã gây nên hiện tượng đổi hướng của dòng chảy nền theo hướng chủ đạo của trường gió. Đây là bộ số liệu hiếm khi đã đo đạc được các trường thủy động lực trong bão do việc đo đạc sóng và dòng chảy trong bão với độ phân giải cao chưa từng được triển khai tại Việt Nam. Các số liệu thu được đã làm sáng tỏ hơn cơ chế và tác động của bão tới các trường thủy động lực ven bờ cũng như khẳng định giá trị của các quan trắc trong giai đoạn cực trị này. Bộ số liệu này có thể được sử dụng để kiểm chứng các mô hình số để nghiên cứu chuyên sâu hơn về tác động của bão cũng như các quá trình xảy ra trong bão tại khu vực nghiên cứu.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.K.C., T.T.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.K.C., T.N.A., T.T.H.; Xử lý số liệu: N.K.C., T.T.H., N.X.L.; Thu thập số liệu: T.N.A., N.B.T., V.H.D.; Viết bản thảo bài báo: N.K.C.; Chỉnh sửa bài báo: Tất cả các tác giả.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF) trong Dự Án mã số VinIF.2023.DA151.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Gurgel, K.W.; Antonischki, G. Remote sensing of surface currents and waves by the HF radar Wera. Proceedings of 7th International Conference on Electronic Engineering in Oceanography, Southampton, UK, 23-25 June 1997, pp. 211–217.
2. Kamli, E.; Chavanne, C.; Dumont, D. Experimental assessment of the performance of high-frequency CODAR and WERA radars to measure ocean currents in partially ice-covered waters. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2016**, *33*, 539–550.
3. Olascoaga, M.J.; Rypina, I.I.; Brown, M.G.; Beron, V.F.J.; Koak, H.; Brand, L.E.; Halliwell, G.R.; Shay, L.K. Persistent transport barrier on the West Florida Shelf. Geophys. *Res. Lett.* **2006**, *33*, L22603. https://doi.org/10.1029/2006GL027800.
4. Hodgins, D.O. Remote sensing of ocean surface currents with the SeaSonde HF radar. *Spill Sci. Technol. Bull.* **1994**, *1*, 109–129. doi:10.1016/1353-2561(94)90020-5.
5. Lekien, F.; Coulliette, C.; Mariano, A.J.; Ryan, E.H.; Shay, L.K.; Haller, G.; Marsden, J. Pollution release tied to invariant manifolds: A case study for the coast of Florida. *Physica D.* **2005**, *210*, 1–20. https://doi.org/10.1016/j.physd.2005.06.023.
6. Coulliette, C.; Lekien, F.; Paduan, J.D.; Haller, G.; Marsden, J.E. Optimal pollution mitigation in Monterey Bay based on coastal radar data and nonlinear dynamics. *Environ. Sci. Technol.* **2007**, *41*, 6562–6572. https://doi.org/10.1021/es0630691.
7. Ullman, D.S.; O'Donnell, J.; Kohut, J.; Fake, T.; Allen, A. Trajectory prediction using HF radar surface currents: Monte Carlo simulations of prediction uncertainties. *J. Geophys. Res.* **2006**, *111*, C12005. https://doi.org/10.1029/2006JC003715.
8. Bjorkstedt, B.P.; Roughgarden, J. Larval transport and coastal upwelling: An application of HF radar in ecological research. *Oceanogr.* **1997**, *10(2)*, 64–67. https://doi.org/10.5670/oceanog.1997.25.

9. Graber, H.C.; Limouzy-Paris, C.B. Transport patterns of tropical reef fish larvae by spin-off eddies in the Straits of Florida. *Oceanogr.* **1997**, *10(2)*, 68–71. doi:10.5670/oceanog.1997.26.
10. Cường, T.M.; Cương, N.K. Chế độ dòng chảy tầng mặt khu vực Vịnh Bắc Bộ dựa trên số liệu thu thập bằng radar biển. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2016**, *32(3S)*, 26–33.
11. Tran, M.C.; Sentchev, A.; Nguyen, K.C. Multi-scale variability of circulation in the Gulf of Tonkin from remote sensing of surface currents by High-Frequency radars. *Ocean Dyn.* **2021**, *71*, 175–194.
12. Bình, P.D.H. và Thảo, H.T. Đánh giá khả năng ứng dụng radar HF di động trong công tác quan trắc sóng và dòng chảy mặt khu vực ven biển. *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2019**, *10*, 41–46.
13. Trực tuyến: https://vietnamnet.vn/tin-cuoi-cung-ve-bao-so-3-yagi-vung-ap-thap-tan-dan-mien-bac-mua-lon-2319679.html# (Truy cập ngày 10/10/2024).
14. Kokkini, Z.; Potiris, M.; Kalampokis, A.; Zervakis, V. HF Radar observations of the Dardanelles outflow current in North Eastern Aegean using validated WERA HF radar data. *Mediterr. Mar. Sci.* **2014**, *15(4)*, 753–768. https://doi.org/10.12681/mms.938.
15. Liu, Y.; Weisberg, R.H.; Merz, C.R. Assessment of CODAR SeaSonde and WERA HF Radars in Mapping Surface Currents on the West Florida Shelf. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2014**, *31*, 1363–1382. https://doi.org/10.1175/JTECH-D-13-00107.1.
16. Shay, L.K.; Martinez-Pedraja, J.; Cook, T.M.; Haus, B.K.; Weisberg, R.H. High-Frequency Radar Mapping of Surface Currents Using WERA. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2007**, *24*, 484–503. https://doi.org/10.1175/JTECH1985.1.
17. Helzel, T.; Petersen, L.; Mariette, V.; Pavec, M. Reliability of Coastal Radar WERA for Coastal Zone Management. *J. Coast. Res*. **2011**, *SI 64*, 1345–1347.
18. Cuong, N.K.; Anh, T.N.; Loc, N.X.; Binh, P.D.H.; Dang, V.H. Advanced high-resolution measurements of surface waves and currents using two land-based hf radars for offshore operations. Proceedings of the third Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering (VSOE), 12-14 December 2024, Hanoi, Vietnam.
19. Helzel, T.; Kniephoff, M.; Petersen, L. Oceanography radar system WERA: features, accuracy, reliability and limitations. *Turk. J. Elec. Eng. Comp. Sci.* **2010**, *18(30)*, 389–397.
20. Huấn, P.V. Động lực học biển - Phần 3: Thủy triều. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2002, tr. 89.
21. Hien, N.X.; Uu, D.V.; Thuc, T.; Tien, P.V. Study on wave setup with the storm surge in Hai Phong coastal and estuarine region. *VNU J. Sci. Earth Sci.* **2010**, *26*, 82–89.
22. Thai, T.H.; Thuy, N.B.; Dang, V.H.; Kim, S.; Hole, R.L. Impact of the interaction of surge, wave and tide on a storm surge on the north coast of Vietnam. *Procedia IUTAM* **2017**, *25*, 82–91. https://doi.org/10.1016/j.piutam.2017.09.013.
23. Thuy, N.B.; Kim, S.; Anh, T.N.; Cuong, N.K.; Thuc, P.T.; Hole R.L. The influence of moving speeds, wind speeds, and sea level pressures on after-runner storm surges in the Gulf of Tonkin, Vietnam. *Ocean Eng.* **2020**, *212*, 107613. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107613.
24. Chung, T.V.; Long, B.H. Một số kết quả tính toán dòng chảy trong vịnh Bắc Bộ bằng mô hình ba chiều phi tuyến tính. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2015**, *15(4)*, 320–333.
25. Hai, N.H.; Vinh, V.D.; Lan, T.D. Impact of sea level rise on current and wave in Van Uc coastal area. *Vietnam J. Mar. Sci. Technol.* **2019**, *19(3)*, 313–325.

26. Zhang, J.; Chen, B.; Zhu, D. Numerical study of the circulation and water transport in Beibu Gulf: A short communication. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. Virtual, Indonesia* **2021**, *869*, 012069.

Observations of hydrodynamic fields in the coastal water from Hai Phong province to Thai Binh province, Vietnam during the Yagi storm (09/2024)

Nguyen Kim Cuong[1]*, Tran Ngoc Anh[1], Tran Thanh Huyen[2], Nguyen Ba Thuy[3], Nguyen Xuan Loc[1], Vu Hai Dang[4]

[1] VNU University of Science - Vietnam National University, Hanoi; cuongnk@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; nxloc@hus.edu.vn
[2] University of the Littoral Opal Coast - France; huyen-thanh.tran@univ-littoral.fr
[3] Vietnam National Hydrometeorological Forecasting Center, Hanoi; thuybanguyen@gmail.com
[4] Institute of Marine Geology and Geophysics - VAST, Hanoi; vuhaidang@hotmail.com

Abstract: This paper presents a modern observation technique for sea surface hydrodynamics and an achieved rare dataset for the coastal zone from Hai Phong province to Thai Binh province in Vietnam before and during the Yagi storm moved into the Gulf of Tonkin by using a mobile HF radar system. Measured water level, significant wave height, and surface currents will be presented, and their spatial and temporal distributions will be analyzed. At Hon Dau station, during the Yagi storm, the maximum storm surge and set down level were about 124 cm and 84 cm, respectively. The high temporal and spatial observations showed that the significant wave height reached about 3 m and showed the effect of bathymetry with large variations. The storm's wind changed the direction of the background surface current to northeastward instead of southwestward because the study area was on the left of the track of the Yagi storm.

Keywords: Yagi storm; Marine radar system; Significant wave height; Surface current.