

PHÂN TÍCH XU THẾ BIẾN ĐỔI MỰC NƯỚC VÀ CÁC SÓNG TRIỀU CHÍNH TẠI TRẠM HẢI VĂN VŨNG TÀU

Ngô Nam Thịnh⁽¹⁾, Nguyễn Văn Hồng⁽²⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM

⁽²⁾Phân viện Khoa học Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biển

Ngày nhận bài: 12/3/2026; ngày chuyển phản biện: 13/3/2026; ngày chấp nhận đăng: 7/5/2026

Tóm tắt: Nước biển dâng do biến đổi khí hậu đã và đang làm cho mực nước biển ven bờ ngày càng biến đổi phức tạp. Mực nước trạm hải văn Vũng Tàu được đánh giá, phân tích xu thế biến đổi cực trị trong giai đoạn từ năm 1980 đến 2023. Xu thế biến đổi mực nước trạm hải văn Vũng Tàu nhìn chung là tăng, với tốc độ dâng lên trung bình năm khoảng 3,5 mm/năm, mực nước cực đại và cực tiểu năm cũng cho thấy xu thế tăng. Ngoài ra, phần mềm U_Tide được ứng dụng tính toán phân tích thành các sóng triều thành phần của trạm mực nước hải văn Vũng Tàu để đánh giá xu thế biến đổi các sóng triều chính. Kết quả phân tích xu thế về biên độ của 4 sóng triều chính cho thấy biên độ các sóng triều cũng có xu thế tăng với mức tăng khác nhau, còn pha dao động của các sóng triều lại có xu thế giảm.

Từ khóa: Thủy triều, xu thế biến đổi mực nước, sóng triều, Vũng Tàu, U_Tide.

1. Đặt vấn đề

Mực nước là một trong những yếu tố thủy, hải văn cần được quan tâm, xem xét. Theo đó, phân tích, đánh giá các đặc trưng cực trị, xu thế và mức độ biến đổi mực nước là hết sức cần thiết, góp phần đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu (BĐKH), nước biển dâng (NBD) [1]. Bên cạnh đó, việc phân tích và tính toán đặc trưng mực nước còn có ý nghĩa quan trọng đối với việc thiết kế các công trình vùng ven bờ, ảnh hưởng đến chi phí và độ an toàn của công trình.

Trong những năm gần đây, hướng nghiên cứu chuyển dịch sang việc phân tích sự thay đổi của các hằng số điều hòa thủy triều để làm rõ cơ chế tác động của biến đổi khí hậu lên cấu trúc triều. Các nghiên cứu quốc tế của Mawdsley và cộng sự [2] hay Pickering và cộng sự [3] đã chứng minh rằng NBD không chỉ làm dâng mực nước tĩnh mà còn làm thay đổi độ sâu thủy vực, từ đó tác động phi tuyến đến biên độ và pha của các sóng triều thành phần thông qua việc thay đổi ma sát đáy và cộng hưởng sóng triều. Tại khu vực Biển Đông, Devlin và cộng sự [4] cũng

đã chỉ ra sự tương quan chặt chẽ giữa mực nước biển trung bình và biên độ dao động triều, đặc biệt là các sóng triều chính như M2, S2, K1, O1.

Tại Việt Nam, mặc dù đặc trưng thủy triều đã được hệ thống hóa từ sớm bởi Nguyễn Ngọc Thụy [5], nhưng việc đánh giá xu thế dài hạn của các phân triều dưới tác động của NBD vẫn còn là một khoảng trống cần được làm rõ. Trạm hải văn Vũng Tàu, với vị thế là một trong những trạm chuẩn có chuỗi số liệu ổn định nhất khu vực phía Nam, đã được các tác giả như Nguyễn Kim Cương, Đinh Văn Ưu [6] phân tích về biến động mực nước, cho thấy những dấu hiệu sơ khởi về sự dịch chuyển các đặc trưng cực trị.

Kế thừa các kết quả trên, nghiên cứu này đi sâu vào phân tích chuỗi số liệu 44 năm tại trạm hải văn Vũng Tàu, sử dụng phương pháp phân tích hằng số điều hòa hiện đại (U_Tide) [7-8] kết hợp với kiểm định phi tham số để tách biệt xu thế biến đổi của 4 sóng triều chính. Việc làm sáng tỏ sự thay đổi về biên độ và pha của các phân triều không chỉ nâng cao độ chính xác cho công tác dự báo thủy triều mà còn là cơ sở khoa học quan trọng để đánh giá các hệ quả về năng lượng truyền triều, xâm nhập mặn và xói lở bờ biển trong bối cảnh biến đổi khí hậu diễn biến phức tạp.

Tác giả liên hệ: Ngô Nam Thịnh
Email: nnhtinh@hcmunre.edu.vn

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu

Số liệu ở nghiên cứu này là các chuỗi quan trắc dài 44 năm từ 01/01/1980-31/12/2023 ở trạm Vũng Tàu. Số liệu này được thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ thông qua các đề tài nghiên cứu trước. Số liệu này sẽ được thống kê đặc trưng cực trị để đánh giá xu thế cũng như sử dụng mực nước giờ từng năm để phân tích điều hòa thủy triều đánh giá xu thế biến đổi của 4 sóng triều chính trạm hải văn Vũng Tàu.

2.2. Phương pháp

Tốc độ biến thiên theo thời gian (dâng lên hoặc hạ xuống) của mực nước được xác định theo phương pháp phân tích xu thế (phân tích trend) [9-10].

Theo phương pháp này, người ta xác định mối liên hệ giữa mực nước và thời gian dưới dạng một phương trình hồi quy tuyến tính:

$$y = a x + b \quad (1)$$

Trong đó: $a = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} r$, $b = m_y - a m_x$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sigma_x \sigma_y} - m_x m_y, \quad m_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$D_x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - m_x^2, \quad \sigma_x = \sqrt{D_x}, \quad m_y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$D_y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - m_y^2, \quad \sigma_y = \sqrt{D_y}, \quad n - , \text{ độ dài chuỗi số liệu quan trắc mực nước.}$$

Trong phương trình (1) hệ số a có ý nghĩa là tốc độ biến thiên của mực nước y trong một đơn vị thời gian x . Nếu chuỗi phân tích là giá trị mực nước năm, hệ số a là tốc độ dâng lên (hay hạ xuống) của mực nước trong một năm. Nếu phân tích mực nước tháng, hệ số a là tốc độ dâng lên

(hay hạ xuống) của mực nước trong một tháng.

Phương pháp phân tích này được áp dụng đối với các chuỗi mực nước giờ, ngày, tháng hoặc năm. Nếu quan tâm tới xu thế tăng lên hay giảm đi của các mực nước cực tiểu và cực đại năm, phương pháp này cũng có thể áp dụng để phân tích.

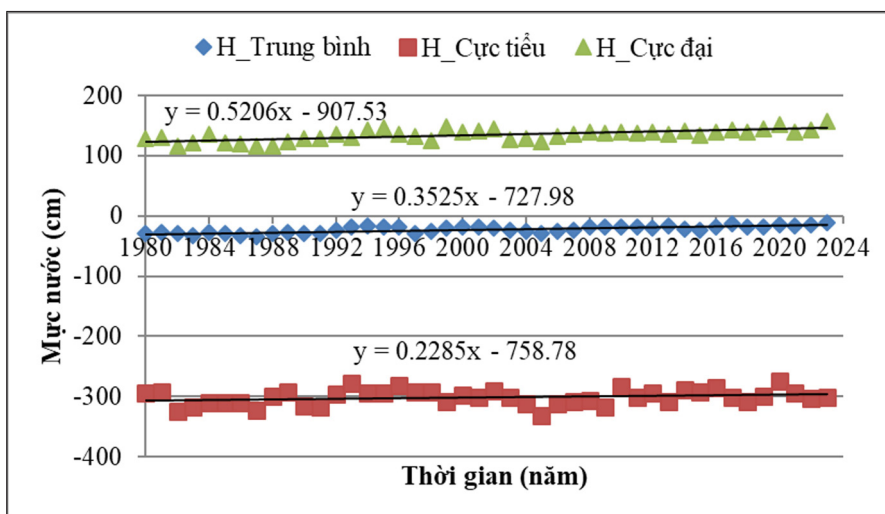
Phương pháp phân tích điều hòa thủy triều là sử dụng các chuỗi quan trắc mực nước theo thời gian tại một trạm quan trắc nào đó để tính toán được các hằng số điều hòa của các sóng triều thành phần tạo nên dao động mực nước tại trạm đó. Hiện nay, có rất nhiều phương pháp khác nhau để phân tích dao động mực nước, tùy thuộc vào độ dài số liệu và nhu cầu của người dùng có thể sử dụng những phương pháp phân tích khác nhau. Các phương pháp có thể được sử dụng để phân tích dao động mực nước bao gồm [7-8]: phương pháp Franco, phương pháp hàng hải, phương pháp wavelet, phương pháp mạng Neutron, phương pháp bình phương tối thiểu,... Trong các phương pháp trên, phương pháp bình phương tối thiểu U_Tide được tin dùng hơn vì nó cho phép sử dụng những chuỗi quan trắc được thực hiện ở những thời điểm khác nhau tại cùng một điểm. Trong sơ đồ chi tiết của phương pháp này có tính tới cả sự biến đổi liên tục theo thời gian của các tham số thiên văn, do đó nâng cao độ chính xác của các hằng số điều hòa.

Bước đầu phân tích triều thực sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu cho các sóng thành phần nhằm tìm ra các hằng số điều hòa (pha và biên độ) phù hợp của chúng để đánh giá xu thế biến đổi của chúng theo thời gian dài [9-10].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xu thế biến đổi mực nước cực trị

Kết quả phân tích xu thế biến đổi mực nước cực trị trạm Vũng Tàu giai đoạn 1980-2023 cho thấy xu thế chung của mực nước cực trị tại trạm Vũng Tàu là tăng, với mức tăng không đều nhau giữa cực đại, trung bình và cực tiểu. Tốc độ dâng lên của mực nước trung bình năm khoảng 3,5 mm/năm; mực nước cực đại tăng khoảng 5,2 mm/năm; mực nước cực tiểu có sự biến động qua các năm, nhưng xu thế chung của toàn chuỗi số liệu biến đổi khá ít tăng khoảng 2,3 mm/năm (Hình 1).



Hình 1. Xu thế biến đổi mực nước (cm/năm) trạm Vũng Tàu

Tương tự, xu thế biến đổi mực nước trạm Vũng Tàu được tính theo các giai đoạn khác nhau như: 1980-1985, 1986-2005 và trong 18 năm gần đây 2006-2023 để đánh giá tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng trong những năm gần đây tại các trạm. Xu thế mực nước trạm Vũng Tàu được chia làm 3 giai đoạn như trên là dựa trên giai đoạn nền của

kịch bản biến đổi khí hậu AR5 của IPCC mới nhất là 1986-2005. Do đó, xu thế mực nước trạm Vũng Tàu sẽ được đánh giá trước và sau giai đoạn nền của kịch bản biến đổi khí hậu nhằm xem xét sự biến đổi mực nước trong những năm gần đây so với giai đoạn nền. Kết quả tính toán được thể hiện cụ thể như trong Bảng 1.

Bảng 1. Xu thế biến đổi (mm/năm) của mực nước năm trạm Vũng Tàu

Giai đoạn	1980-1985	1986-2005	2006-2023	1980-2023
Cực đại	-8,2	7,3	7,7	5,2
Trung bình	-5,2	4,4	5,1	3,5
Cực tiểu	-36,6	-0,3	7,4	2,3

- Giai đoạn 1980-1985: Kết quả tính toán xu thế biến đổi mực nước qua các giai đoạn khác nhau cho thấy xu thế biến đổi mực nước cực đại, trung bình và cực tiểu giai đoạn 1980-1985 đều giảm với mức độ giảm khác nhau, trong đó cực tiểu giảm lớn nhất lên đến -36,6 mm/năm.

- Trong giai đoạn 1986-2005, xu thế cực đại và trung bình đều tăng trong khi xu thế cực tiểu lại giảm với mức giảm khá thấp khoảng -0,3 mm/năm. Xu thế cực đại tăng khá mạnh với tốc độ 7,3 mm/năm, trung bình tăng 4,4 mm/năm.

- Xu thế biến đổi mực nước trong vòng 18 năm gần đây (2006-2023) tăng, cực đại tăng lên 7,7 mm/năm, trung bình tăng 5,1 mm/năm, cực tiểu tăng lên đến 7,4 mm/năm. Kết quả tính toán cho thấy, tác động của biến đổi khí hậu và

nước biển dâng đến khu vực ven biển Vũng Tàu là có và tác động mạnh trong những năm gần đây. Trong giai đoạn 2006-2023, xu thế biến đổi mực nước cực trị trạm Vũng Tàu cho thấy có sự phù hợp chung với đánh giá xu thế của toàn cầu của IPCC lần thứ 6 năm 2021 (tăng 3,7 mm/năm giai đoạn 2006-2018) [11].

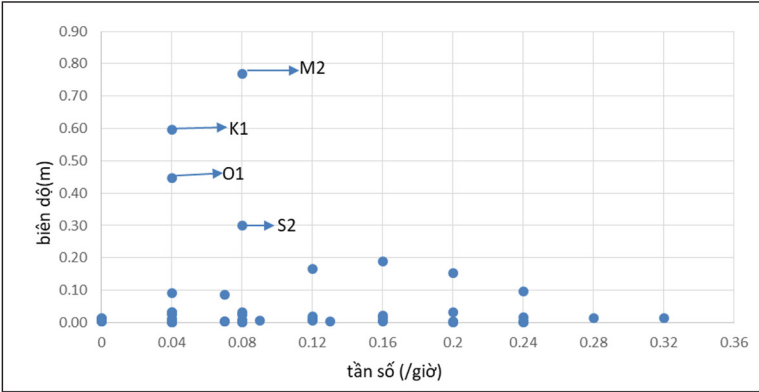
3.2. Xu thế biến đổi các sóng triều

Kết quả phân tích điều hòa thủy triều từng năm (1980-2023) tại Vũng Tàu cho 64 sóng thành phần. Kết quả 64 sóng thành phần được trình bày trong Hình 2. Biên độ các sóng thành phần M2, K1, O1, và S2 tính toán được lần lượt là 0,77 m, 0,59 m, 0,45 m và 0,30 m.

Hình 2 cho thấy mức độ đóng góp theo biên

độ của từng sóng thành phần. Theo đó các sóng triều thành phần chủ yếu tập trung ở tần số 0,04 và 0,08. Tương ứng các thành phần nhật triều và bán nhật triều có đóng góp lớn nhất trong dao động mực nước. Phần lớn các sóng triều tập trung ở khoảng biên độ không đáng kể dưới 4 cm. Trạm hải văn Vũng Tàu nằm ven biển nên ít

chịu ảnh hưởng của lực địa, các công trình hạ tầng và quá trình đô thị hóa. Việc phân tích điều hòa các sóng triều thành phần cho kết quả khá tốt so với những trạm thủy văn. Kết quả phân tích các sóng triều thành phần của trạm Vũng Tàu sẽ được xử lý để đánh giá xu thế cũng như tìm mối liên hệ với nước biển dâng.

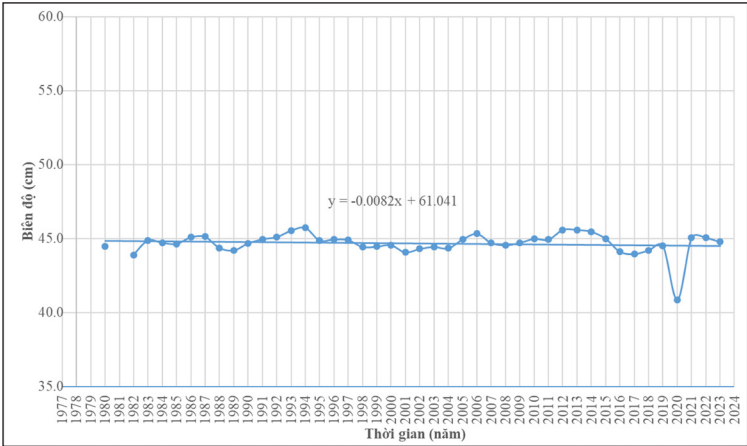


Hình 2. Phân bố các sóng thành phần tại Vũng Tàu theo tần số và biên độ

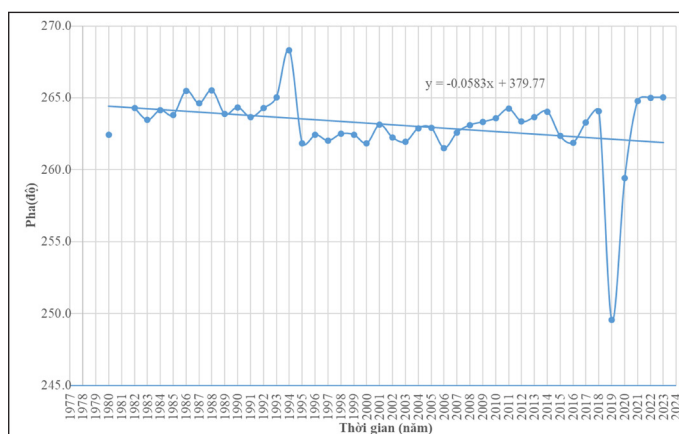
Sóng O1

Biên độ và pha sóng triều O1 qua các năm được thể hiện như Hình 3 đến Hình 4. Nhìn chung, biên độ và pha của sóng O1 có xu thế giảm trong giai đoạn từ 1980-2023. Biên độ sóng nhật triều O1 trong 44 năm biến đổi rất ít, xu thế giảm khoảng -0,082 mm/năm. Trong khi pha dao động của sóng triều O1 lại có xu thế

giảm, với mức giảm là -0,0583 độ/năm. Như thế, trong 44 năm lịch sử, sóng triều O1 đã có những biến đổi dưới tác động của nước biển dâng. Hình 4 cho thấy biên độ sóng O1 đóng góp vào dao động mực nước tổng cộng khoảng 10%, đồng thời xét về xu thế biến đổi của biên độ theo phần trăm thì cũng cho thấy xu thế giảm trong 44 năm từ 1980-2023.



Hình 3. Xu thế biến đổi biên độ sóng triều O1 tại trạm Vũng Tàu

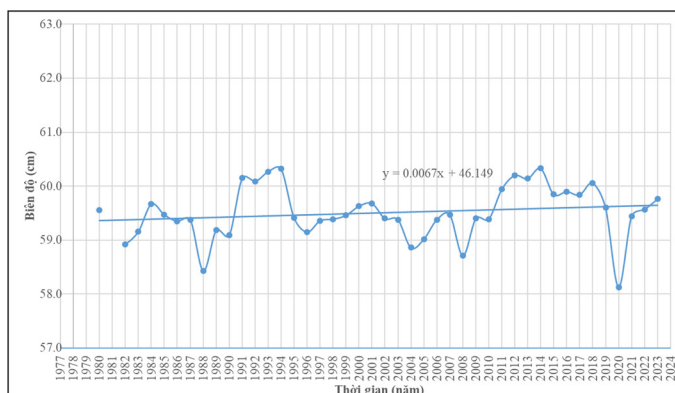


Hình 4. Xu thế biến đổi pha dao động sóng triều O1 tại trạm Vũng Tàu

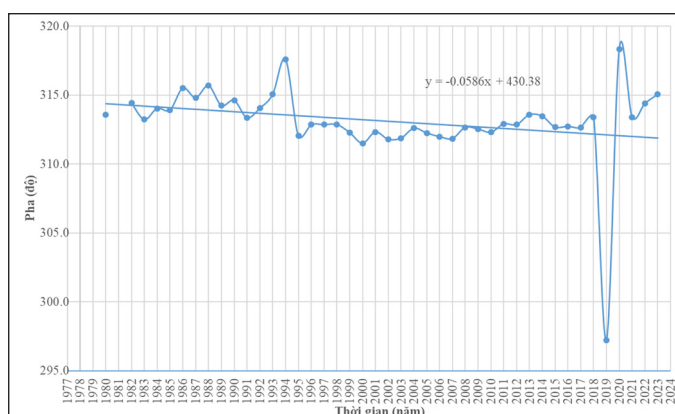
Sóng K1

Kết quả xu thế biến đổi về biên độ của sóng triều K1 (Hình 5) cho thấy có sự tăng nhẹ qua các năm, với mức tăng rất ít khoảng 0,067 mm/năm.

Trong khi đó, pha dao động của sóng triều K1 lại có xu thế giảm, với mức giảm khoảng -0,0586 độ/năm, xét trên xu thế này thì càng về sau pha dao động của sóng triều K1 càng giảm (Hình 6).



Hình 5. Xu thế biến đổi biên độ sóng triều K1 tại trạm Vũng Tàu

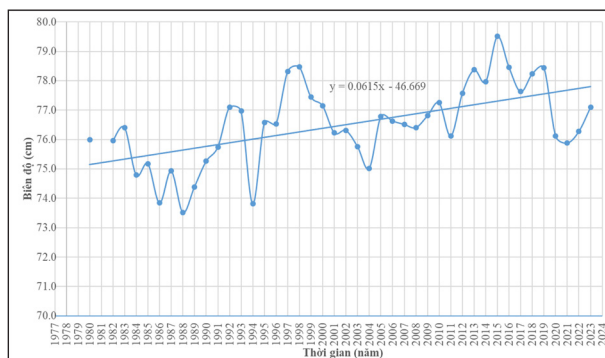


Hình 6. Xu thế biến đổi pha dao động sóng triều K1 tại trạm Vũng Tàu

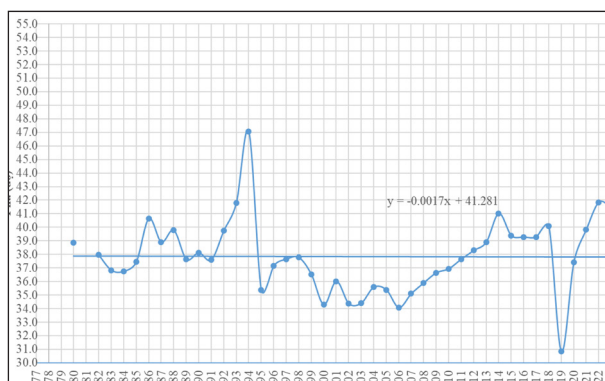
Sóng M2

Kết quả tính toán xu thế biến đổi của sóng bán nhật triều M2 cho thấy, về biên độ có xu thế tăng (Hình 7), về pha có xu thế giảm (Hình 8). Tốc độ biến đổi của biên độ của sóng M2 khá lớn

khoảng 0,615 mm/năm. Đồng thời, sóng M2 này đóng góp vào dao động mực nước tổng cộng khá lớn (khoảng 18%). Kết quả tính toán xu thế biến đổi của pha dao động sóng M2 cho thấy xu thế giảm, với mức giảm khoảng -0,0017 độ/năm.



Hình 7. Xu thế biến đổi biên độ sóng triều M2 tại trạm Vũng Tàu

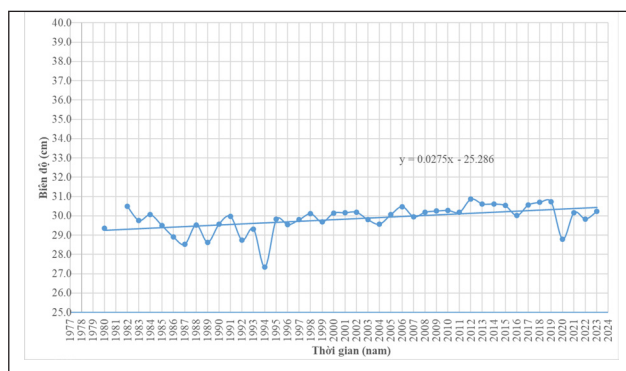


Hình 8. Xu thế biến đổi pha dao động sóng triều M2 tại trạm Vũng Tàu

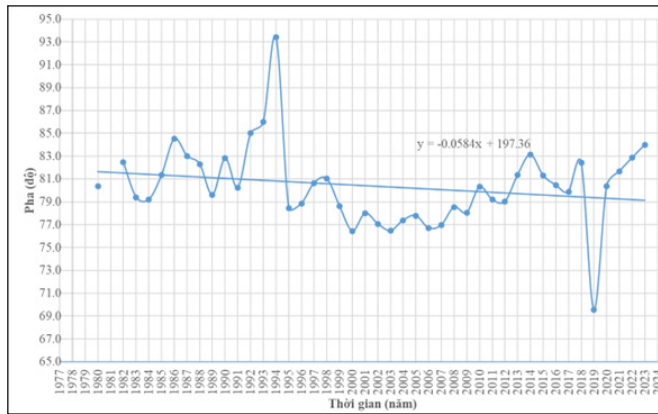
Sóng S2

Kết quả tính toán về xu thế biến đổi sóng triều S2 cho thấy (Hình 9): Về biên độ, xu thế biến đổi của sóng triều S2 có xu thế tăng, với tốc độ tăng khoảng 0,275 mm/năm, trong

khi đóng góp của nó vào dao động mực nước tổng cộng khoảng 6,9%. Về pha dao động, xu thế biến đổi của sóng S2 có xu thế giảm, với tốc độ giảm khoảng -0,0584 độ/năm (Hình 10).



Hình 9. Xu thế biến đổi biên độ sóng triều S2 tại trạm Vũng Tàu



Hình 10. Xu thế biến đổi pha dao động sóng triều S2 tại trạm Vũng Tàu

4. Kết luận

Mức nước trạm Vũng Tàu đã được thu thập và phân tích xu thế biến đổi cực trị cũng như được sử dụng để phân tích điều hòa thủy triều trong giai đoạn 1980 đến 2023.

Xu thế biến đổi mực nước của trạm Vũng Tàu nhìn chung là tăng, tốc độ dâng lên của mực nước trung bình năm khoảng 3,5 mm/năm; mực nước cực đại tăng khoảng 5,2 mm/năm; mực nước cực tiểu có sự biến động qua các năm, nhưng xu thế chung của toàn chuỗi số liệu biến đổi khá ít tăng khoảng 2,3 mm/năm. Về xu thế biến đổi trong giai đoạn gần đây, xu thế biến đổi mực nước tại trạm Vũng Tàu trong 18 năm gần đây lại có tốc độ tăng mạnh, điều này càng chứng minh tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng trong những năm gần đây càng rõ ràng hơn.

Mức nước trạm Vũng Tàu đã được phân tích thành các sóng triều thành phần để xem xét mối

liên hệ với nước biển dâng và đánh giá xu thế biến đổi về biên độ và pha của 4 sóng triều chính. Kết quả tính toán xu thế cho thấy về biên độ của 4 sóng triều chính có xu hướng tăng trong khi về pha dao động lại có xu thế giảm. Điều này cho thấy sự biến thiên khá phức tạp của thủy triều dưới tác động của nước biển dâng. Sự thay đổi về biên độ và pha dao động của các sóng triều thành phần do nước biển dâng sẽ khó dự báo hơn, việc pha dao động của các sóng triều giảm sẽ làm thay đổi thời gian triều đạt đỉnh, khiến nước lớn hoặc nước ròng đến sớm hơn và có thể làm thay đổi bản chất tương tác giữa dòng chảy và mực nước tại khu vực đó.

Biến đổi về biên độ và pha dao động của các sóng triều thành phần chưa được xem xét trong mối liên hệ với kịch bản nước biển dâng, mà chỉ xem xét dựa trên hàm xu thế biến đổi. Cần kết hợp phương pháp mô hình toán 2 chiều trong tính toán mực nước với phương pháp phân tích dao động điều hòa để đạt kết quả tốt hơn.

Đóng góp của từng tác giả trong bài báo: Xây dựng ý tưởng: Ngô Nam Thịnh, Nguyễn Văn Hồng; Xử lý số liệu: Ngô Nam Thịnh; Lên nội dung bản thảo: Ngô Nam Thịnh; Chính sửa góp ý bản thảo: Nguyễn Văn Hồng; Hoàn chỉnh bản thảo: Ngô Nam Thịnh, Nguyễn Văn Hồng.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của mình, chưa từng công bố trước đó, không sao chép, đạo văn; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

- [1] Bộ Tài nguyên và Môi trường, *Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam*. Nhà xuất bản Tài nguyên, Môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 2020
- [2] R. J. Mawdsley, I. D. Haigh, and M. N. Tsimplis, "Global analysis of historical record-length changes in vertical tidal constituents," *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 120, no. 5, pp. 3507-3528, 2015.

- [3] M. D. Pickering et al., "The impact of future sea-level rise on the global tides," *Continental Shelf Research*, vol. 142, pp. 50-68, 2017, doi: 10.1016/j.csr.2017.02.004.
- [4] A. T. Devlin et al., "Coupling of sea level and tidal range in the South China Sea," *Ocean Science*, vol. 13, no. 4, pp. 567-584, 2017, doi: 10.5194/os-13-567-2017.
- [5] N. N. Thụy, *Thủy triều vùng biển Việt Nam*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2005.
- [6] K. C. Nguyễn và V. Ư. Đình, "Phân tích biến động mực nước trạm Vũng Tàu giai đoạn 1979-2013," *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*, tập 31, số 3S, 147-156, 2015.
- [7] M. G. G. Foreman, *Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction*. Technical Report, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, Canada, 2004.
- [8] D. L. Codiga, *Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Function*. Technical Report, Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI, USA, 2011.
- [9] N. Q. Trinh, "Tính toán đặc trưng mực nước biển tại Vũng Tàu," *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 4, tr. 47-52, 2004.
- [10] N. V. Tín và N. N. Thịnh, "Nghiên cứu xu thế biến đổi các yếu tố khí hậu, mực nước tại Bà Rịa-Vũng Tàu," *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 622, tr. 13-16, 2012.
- [11] IPCC, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2021, doi: 10.1017/9781009157896.

TREND ANALYSIS OF SEA LEVEL AND PRINCIPAL TIDAL CONSTITUENTS AT VUNG TAU STATION

Ngo Nam Thinh⁽¹⁾, Nguyen Van Hong⁽²⁾

⁽¹⁾HCMC University of Natural Resources and Environment

⁽²⁾Sub-Institute of Meteorology, Hydrology, Environment and Marine Sciences

Received: 12/3/2026; Accepted: 7/5/2026

Abstract: Sea-level rise driven by climate change has led to increasingly complex variations in coastal water levels. In this study, sea-level data from the Vung Tau oceanographic station were assessed and analyzed for extreme trends over the period from 1980 to 2023. The overall sea-level trend at the Vung Tau station is increasing, with an annual average rise rate of approximately 3.5 mm/year; both annual maximum and minimum water levels also exhibit increasing trends. Furthermore, the U_Tide software was utilized to perform harmonic analysis of the water level data and to decompose the data into the tidal constituents, thereby evaluating the temporal trends of the major constituents. Trend analysis of the amplitudes of four major tidal constituents indicates an increasing trend with varying magnitudes, whereas their phase lags show a decreasing trend.

Keywords: Tide, sea level trends, tidal constituents, Vung Tau, U_Tide.