

ĐẶC ĐIỂM ĐỘNG LỰC LỚP SÁT ĐÁY Ở VÙNG BIỂN VEN BỜ

TS. Phạm Văn Huấn

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên

Từ các số liệu khảo sát của máy SEAPAC 2300 STAR, tác giả tiến hành phân tích đánh giá các đặc trưng rối lớp biên như: phổ áp suất đáy, các thành phần năng lượng rối, dòng sóng trung bình, hướng và tần số của tốc độ quỹ đạo sóng, động năng rối tổng cộng, phân bố thẳng đứng của dòng chảy. Tác giả xin trình bày tóm tắt một số đặc điểm của các đặc trưng nêu trên để bạn đọc tham khảo.

1. Mở đầu

Quan trắc các đặc trưng thủy động lực và thủy thạch động lực học ở lớp sát đáy vùng biển nông ven bờ có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Những đặc trưng động lực học như tốc độ dòng chảy, phân bố thẳng đứng của dòng chảy, các tham số sóng, mực nước, biến động của dòng chảy, các tham số chuyển động quỹ đạo của sóng thu được do quan trắc là những số liệu quý làm đầu vào cho nhiều công thức tính toán về sự tương tác giữa dòng nước và nền đáy biển, mô hình hoá các quá trình trao đổi ở lớp biên sóng - dòng sát đáy. Các tham số động lực của dòng sát đáy ở vùng gần bờ có thể làm dữ liệu tính toán thực tế về vận chuyển trầm tích trong vùng sát bờ biển.

Thiết bị SEAPAC 2300 STAR là một hệ thống quan trắc cho phép ghi tự động đồng thời một loạt đặc trưng về dòng chảy, sóng và độ đục nước biển với tần số ghi cao. Kinh nghiệm trên thế giới cho biết rằng hệ thống này được sử dụng chuyên để khảo sát động lực học lớp biên sóng - dòng chảy vùng ven bờ. Thiết bị SEAPAC 2300 STAR

thuộc loại thiết bị mới trên thế giới và ở Việt Nam. Kinh nghiệm sử dụng thiết bị này trên thế giới chưa được phổ biến nhiều [1], [2], [3]. Lần đầu tiên ở Việt Nam, tác giả thực hiện thí nghiệm quan trắc bằng hệ thống này [4]. Quan trắc đặt ra mục tiêu tìm hiểu về đặc điểm động lực và thủy thạch động lực của một vùng biển ven bờ tương đối nhạy cảm, đó là vùng biển Văn Lý ở Nam Định, nơi trong nhiều năm nay được các cơ quan nghiên cứu và thiết kế quan tâm nghiên cứu, khảo sát về chế độ xói lở bờ. Bài báo này giới thiệu những kết quả khảo sát về một số đặc điểm của dòng chảy và tương tác dòng chảy - sóng lớp sát đáy vùng ven bờ.

Những giá trị độc lập của các số liệu ghi được của các đầu đo dòng chảy và áp suất sẽ được xử lý để nhận được các đặc trưng về dòng chảy trung bình. Đầu đo 1 cách đáy 30cm, đầu đo 2 cách đáy 50cm, đầu đo 3 cách đáy 70cm. Phân tích phổ năng lượng của các chuỗi đo dòng chảy tại các tầng quan trắc và áp suất sóng cho phép nhận ra cấu trúc dao động của dòng chảy trong lớp sát đáy.

Lần đầu tiên tác giả áp dụng phương pháp phân tích số liệu đo của máy SEAPAC 2300 STAR do J. Wolf (1999) đề xuất [3] để rút ra những đặc trưng chủ yếu về chế độ rối trong lớp biên sóng - dòng chảy sát đáy vùng nước biển sát bờ. Về cơ sở của phương pháp và quy trình xử lý số liệu đã được trình bày trong [4]. Trong mục 4 dẫn lại các công thức để thuận tiện theo dõi kết quả.

2. Phương pháp quan trắc và thu thập số liệu

Thiết bị SEAPAC 2300 STAR được đặt tại vùng biển ven bờ Văn Lý (Nam Định). Điểm đặt máy cách bờ khoảng 500m, tại độ sâu 3m. Như vậy, những đặc trưng quan trắc sẽ phản ánh chế độ động lực của vùng nước có tương tác của sóng và dòng chảy ven bờ, ảnh hưởng của sóng do nước nông và bờ biển. Đây cũng là nơi quá trình vận chuyển trầm tích quyết định tới biến đổi bờ đáy liên quan trực tiếp tới sự xói lở bờ biển của đoạn bờ này.

Khi bố trí quan trắc máy đã thiết lập các tham số đo và chế độ đo như sau:

- Tốc độ dòng chảy ở lớp biên sóng-dòng chảy sát đáy được ghi tại ba mức, áp suất sóng tại đáy được ghi tại một mức, độ đục ghi tại ba mức.

- Đặt chế độ loạt ghi mỗi giờ một lần trong 175 giờ (175 burst), 512 lần ghi với tần số ghi 0,25 giây một số, vậy mỗi burst sẽ có độ dài 512 số ghi ứng với thời gian ghi 128 giây (2 phút).

Đã tiến hành xử lý sơ bộ số đo gồm các việc như hiệu chỉnh các thành phần hình chiếu dòng chảy tương ứng về

hướng bắc và hướng đông, hiệu chỉnh áp suất sóng về mức sâu của đầu đo, phân chia thành các file số liệu tương ứng với từng loạt (burst) quan trắc. Tổng số burst thu thập được bằng 181. Tập hợp tất cả các số liệu đo trong một burst được lập thành một ma trận hai chiều và lưu vào một file có tên trùng với ký hiệu burst có quy cách thuận tiện phân tích.

3. Phân tích thống kê và phổ đối với chuỗi dòng chảy và áp suất

Kết quả lấy trung bình các số đo dòng chảy trong thời gian một burst cho phép loại trừ các thăng, giáng do sóng và rối. Phần dư sẽ đặc trưng cho dòng chảy trung bình gây bởi triều và gió. Các số hạng của chuỗi thời gian của dòng chảy trung bình sát đáy $U_B(t)$ và $V_B(t)$ được tính đối với từng burst theo công thức (1,2):

$$V_B(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Vy)_i \quad (1)$$

$$U_B(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Vx)_i \quad (2)$$

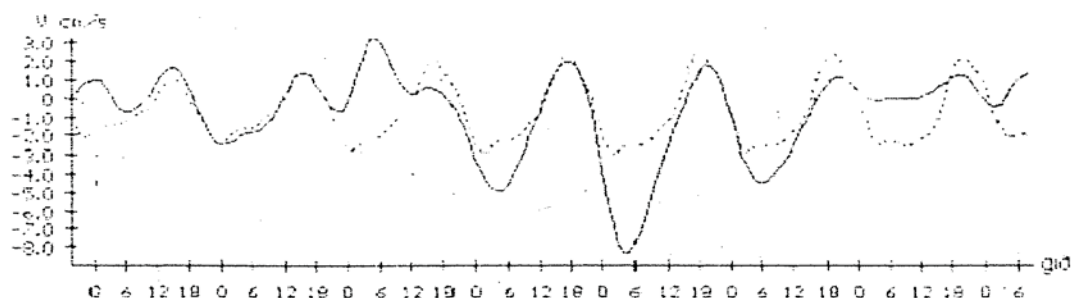
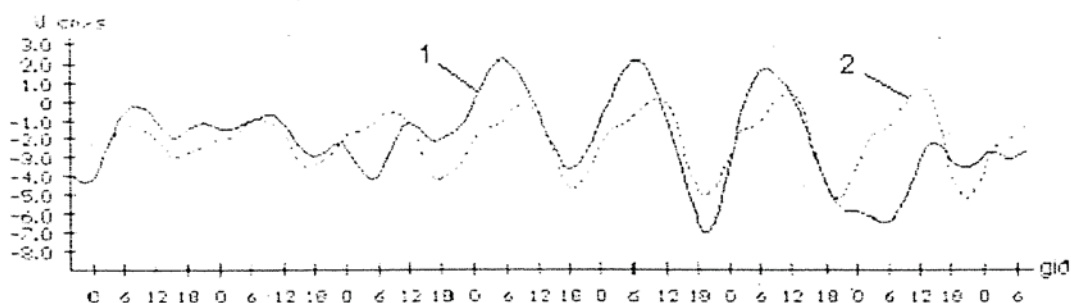
trong đó: Vx và Vy - các thành phần hướng đông và hướng bắc tương ứng của dòng chảy sát đáy theo các đầu đo 1, 2 và 3, đầu đo 1 gần đáy nhất; $N=512$ là số lần ghi trong một burst.

Thu được ba chuỗi số liệu về dòng chảy các thành phần hướng đông và hướng bắc của dòng chảy sát đáy trong thời gian từ ngày 2 đến 10 tháng VIII/2002.

Bảng 1 là kết quả phân tích điều hoà đối với ba chuỗi dòng chảy theo phương pháp bình phương nhỏ nhất.

Bảng 1. Các hằng số điều hoà dòng triều tại các lớp sét đáy (đơn vị cm/s)

Trung bình	Sóng triều										
	M_2	S_2	N_2	K_2	K_1	O_1	P_1	Q_1	M_4	MS_4	M_6
Đầu đo 1											
-2,1	0,6	0,3	0,1	0,1	1,1	1,1	0,4	0,2	0,0	0,1	0,0
	22	45	22	45	346	280	346	280	73	126	247
-0,8	0,6	0,1	0,1	0,0	0,8	1,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,0
	227	225	227	225	109	87	109	87	333	321	168
Đầu đo 2											
3,2	0,9	0,6	0,2	0,2	1,7	2,2	0,6	0,4	0,2	0,1	0,0
	198	225	198	225	168	106	168	106	282	19	167
-1,8	0,9	0,4	0,2	0,1	1,4	2,4	0,5	0,5	0,2	0,1	0,1
	32	45	32	45	311	267	311	267	138	168	335
Đầu đo 3											
0,1	1,1	0,6	0,2	0,2	1,9	2,7	0,6	0,5	0,1	0,1	0,0
	199	225	199	225	177	109	177	109	262	14	165
-5,3	1,1	0,8	0,2	0,2	2,6	3,9	0,9	0,8	0,3	0,2	0,1
	38	45	38	45	324	275	324	275	122	184	337



Thời Thịnh Cảm biến tốc độ 1

2-10-8/2002

Hình 1 a. Biến thiên tốc độ dòng theo đầu đo

1: 1 - quan trắc; 2 - dự tính kiểm tra

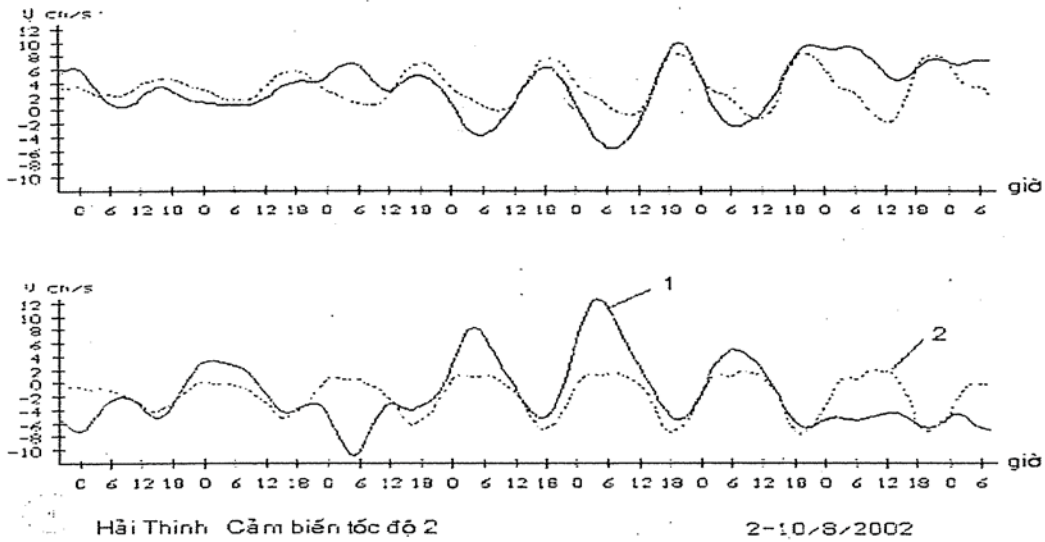
Trên các hình 1 a - c, biểu diễn sự biến thiên của tốc độ trung bình các dòng chảy sát đáy. Thấy rằng các thành phần dòng chảy (hướng đông và hướng bắc) biểu hiện diễn biến của dòng triều. Trên các đồ thị biến thiên theo thời gian của chúng biểu thị các dao động với chu kỳ triều: một ngày và nửa ngày rõ nét.

Thời kỳ quan trắc từ ngày 2 đến ngày 10 tháng VIII/2002 là thời gian

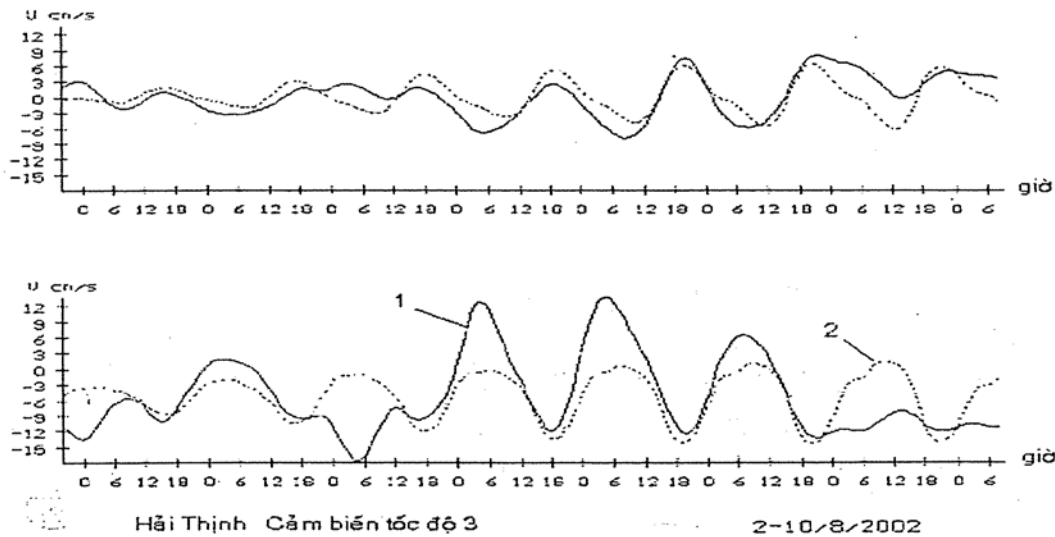
đang từ triều kém tiến đến triều cường.

Do đó, biên độ dao động của các thành phần hướng đông và hướng bắc của dòng chảy sát đáy cũng tăng dần từ vài ngày đầu tới những ngày cuối của chu kỳ quan trắc.

Cũng trên các hình này có thể so sánh các thành phần tốc độ triều dự tính theo các hằng số điều hoà dòng triều nhận được bằng phân tích điều hoà theo phương pháp bình phương nhỏ nhất.



Hình 1 b. Biến thiên tốc độ dòng theo đầu đo 2: 1 - quan trắc; 2 - dự tính kiểm tra



Hình 1c. Biến thiên tốc độ dòng theo đầu đo 3: 1 - quan trắc; 2 - dự tính kiểm tra

Khảo sát tương quan của các đại lượng đo (bảng 2) cho thấy các thành phần dòng chảy tại đầu đo 1 (sát đáy nhất) tương quan nghịch với các thành phần dòng chảy tại các đầu đo 2 và 3.

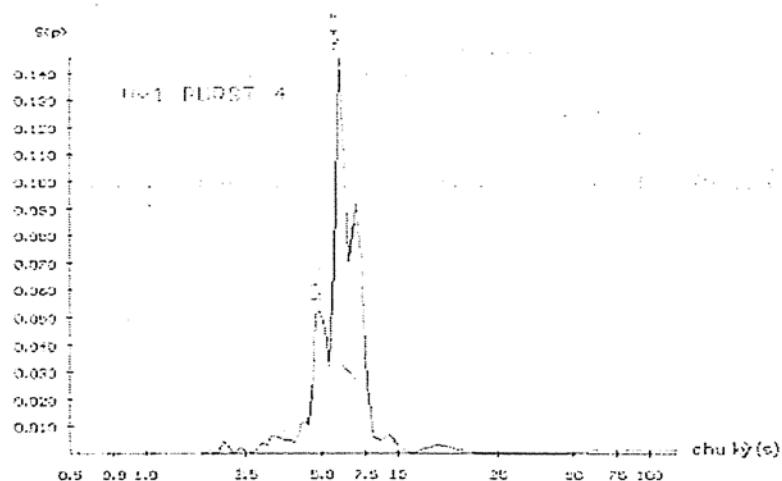
Từ quan trắc thực tế tác giả thấy rằng các giá trị đo dòng chảy tại lớp đầu đo 2 và 3 đồng nhất trong khi đó các giá trị dòng chảy tại đầu đo 1 ngược pha.

Bảng 2. Ma trận tương quan của các đại lượng đo (burst 100)

TT	Vx1	Vy1	Vx2	Vy2	Vx3	Vy3	WaveP
Vx1	1,000	0,869	-0,945	-0,890	-0,894	-0,886	0,800
Vy1	0,869	1,000	-0,851	-0,978	-0,650	-0,990	0,882
Vx2	-0,945	-0,851	1,000	0,869	0,875	0,862	-0,823
Vy2	-0,890	-0,978	0,869	1,000	0,684	0,983	-0,874
Vx3	-0,894	-0,650	0,875	0,684	1,000	0,678	-0,645
Vy3	-0,886	-0,990	0,862	0,983	0,678	1,000	-0,877
WaveP	0,800	0,882	-0,823	-0,874	-0,645	-0,877	1,000

Tất cả các chuỗi dòng chảy và áp suất sóng trong mỗi burst được phân tích phổ tần số bằng biến đổi Fourier

đối với các hàm tự tương quan của chúng. Trên các hình 2-4 là thí dụ về các phổ tần số đã phân tích theo burst 4.



Hình 2. Phổ thành phần hướng đông của dòng chảy, đầu đo 1

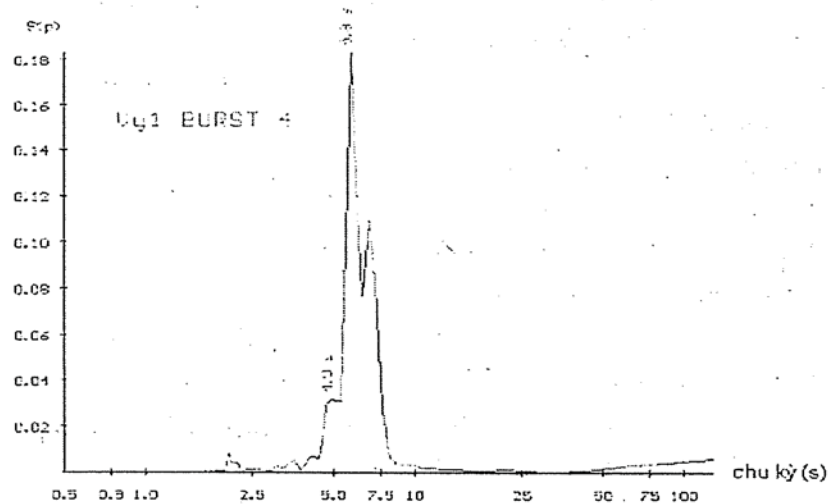
Thấy rằng tất cả các thành phần dòng chảy sát đáy và áp suất sóng đều có chung những chu kỳ dao động. Định năng lượng chủ yếu thuộc các tần số trùng tần số sóng gió.

Khi triều cường, vì độ sâu nước tại điểm đo sóng tăng lên, sóng không vỡ ngay tại điểm đo sóng mà gần bờ hơn.

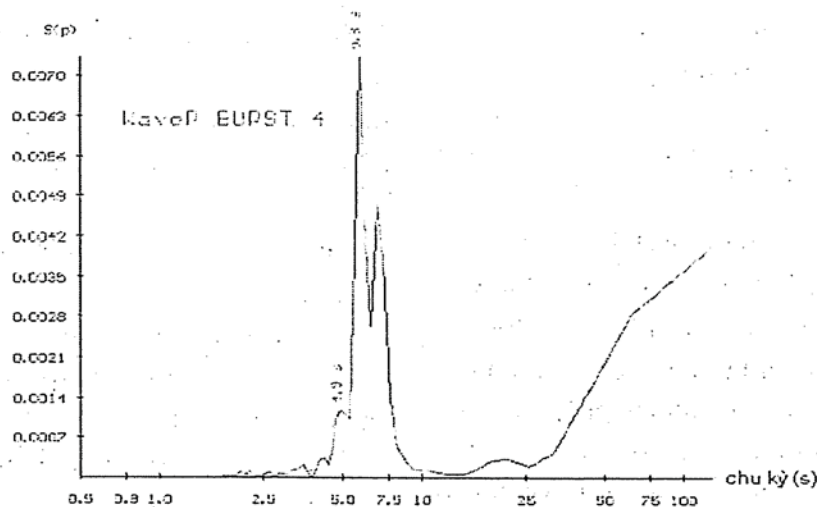
Xu hướng chung là các xoáy rối tạo thành khi sóng vỡ có chu kỳ ngắn hơn chu kỳ sóng tới. Đồng thời, các sóng thứ cấp do sóng vỡ tạo ra cũng có chu kỳ ngắn hơn chu kỳ sóng tới. Bởi vậy, nếu đo tại điểm sóng vỡ, ta có đỉnh phổ dịch chuyển về phía chu kỳ ngắn.

Sự thuận nhất đường cong phổ của dòng chảy tổng cộng và tần số đỉnh của nó gần trùng với tần số sóng gió, sóng lừng chứng tỏ các hợp phần năng lượng rối có nguồn gốc từ các quá trình xa bờ trong phổ dòng chảy toàn phần đóng

vai trò không lớn. Điều này dễ hiểu vì nơi đặt máy quan trắc có độ sâu không lớn. Những nhiễu động nguồn gốc khác sóng hoặc không ảnh hưởng tới vùng sát bờ hoặc nhanh chóng triệt tiêu ở lớp sát đáy.



Hình 3. Phổ thành phần hướng bắc của dòng chảy, đầu đo 1



Hình 4. Phổ tần số áp suất sóng

4. Phân tích các đặc trưng rối lớp biên sóng - dòng sát đáy

a. Phương pháp tách các hợp phần sóng và rối từ dòng chảy quan trắc

Giả thiết chuỗi thời gian về dòng chảy sát đáy có thể chia thành ba hợp

phần: dòng chảy trung bình gây bởi thủy triều và gió (xấp xỉ không đổi trong thời gian một burst) các tốc độ sóng dao động và các vận tốc thẳng, giáng độ rối:

$$\begin{aligned} u_B(t) &= U_B(t) + u_w(t) + u'(t), \\ v_B(t) &= V_B(t) + v_w(t) + v'(t) \end{aligned} \quad (1)$$

trong đó: $U_B(t)$, $V_B(t)$ - các chuỗi thời gian của các dòng chảy trung bình sát đáy tuần tự theo hướng đông và hướng bắc; $u_w(t)$, $v_w(t)$ - các hợp phần vận tốc sóng; $u'(t)$, $v'(t)$ là các hợp phần rối và t là thời gian.

Giả sử ta tính được phổ tần số của các hợp phần hướng đông và hướng bắc của dòng chảy tổng cộng. Khi đó có thể thực hiện tách phổ theo phương pháp Soulsby và Humphery [3]. Tuy nhiên, muốn vậy ta chỉ cần ra tần số của đỉnh phổ sóng trong phổ để tách riêng được các hợp phần sóng và rối từ phổ tổng cộng. Trong trường hợp chúng ta đang xét, vì áp suất cũng được đo, nên các hợp phần sóng của vận tốc và đã được định nghĩa như là những hợp phần của dòng tổng cộng hiệp biến (coherent) với các phổ áp suất đáy:

$$W_E(f) = \frac{C_{PE}(f)}{\sqrt{P(f)}}, W_N(f) = \frac{C_{PN}(f)}{\sqrt{P(f)}} \quad (2)$$

trong đó: $P(f)$ - phổ áp suất đáy và $C_{PE}(f)$, $C_{PN}(f)$ - các hiệp phổ (co-spectrum) của áp suất đáy với các hợp phần tốc độ hướng đông và hướng bắc tương ứng.

Ưu điểm so với phương pháp Soulsby và Humphery là ở chỗ không cần tường minh chỉ ra đỉnh của phổ sóng và chỉ có những hiệp biến của các dòng chảy với tín hiệu áp suất là được xem như các hợp phần sóng, điều này cho phép một phần năng lượng nhiều hơn được xem là hợp phần rối tại những tần số liên quan tới đỉnh năng lượng sóng.

Các dòng chảy trung bình được xác

định bằng cách lấy trung bình trong thời gian quan trắc của một burst và các hợp phần năng lượng rối và được định nghĩa như là hiệu số giữa các phổ dòng chảy toàn phần và các hợp phần sóng trên cùng một dải tần suất với các hợp phần sóng (0,025 Hz–0,5 Hz). Vậy ta có:

$$T_E(f) = C_E(f) - W_E^2(f) \quad (3)$$

$$T_N(f) = C_N(f) - W_N^2(f)$$

với: $C_E(f)$, $C_N(f)$

tuần tự là các phổ của dòng chảy toàn phần hướng đông và hướng bắc.

b. Quy trình tính toán hợp phần năng lượng rối

Dưới đây là quy trình tính năng lượng rối trên cơ sở các lập luận lý thuyết ở mục a.

- 1) Tính các hàm phổ dòng chảy toàn phần $C_E(f)$ và $C_N(f)$ dựa trên chuỗi thời gian của các thành phần hướng đông và hướng bắc dòng chảy quan trắc.
- 2) Tính hàm phổ của chuỗi thời gian áp suất đáy $P(f)$.
- 3) Tính các hàm hiệp phổ (co-spectra) $C_{PE}(f)$ và $C_{PN}(f)$ của áp suất đáy với các chuỗi dòng chảy u_E và u_N .
- 4) Tính dòng chảy toàn phần hợp biến với phổ áp suất đáy theo công thức (2).
- 5) Tính các vận tốc trung bình bằng cách lấy trung bình trong thời gian một burst.
- 6) Tính các thành phần năng lượng rối $T_E(t)$ và $T_N(t)$ theo các công thức (3).

7) Tính các đại lượng bình phương trung bình:

- Thành phần tốc độ sóng bình phương trung bình:

$$u_{wr}^2 = \langle u_w^2 \rangle = \int_{f_1}^{f_2} W_E^2(f) df \quad (4)$$

$$v_{wr}^2 = \langle v_w^2 \rangle = \int_{f_1}^{f_2} W_N^2(f) df$$

- Các hợp phần năng lượng rối phương ngang:

Ở đây dấu chỉ phép lấy trung bình thời gian trong một burst; $f_1 = 0,025$ Hz và $f_2 = 0,5$ Hz.

$$\langle u'^2 \rangle = \int_{f_1}^{f_2} T_E(f) df \quad (5)$$

$$\langle v'^2 \rangle = \int_{f_1}^{f_2} T_N(f) df$$

8) Tính biên độ của các thành phần dòng U_{CB} và sóng U_{WB} (biên độ vô hướng):

$$U_{CB} = |U_{CB}| = \sqrt{U_B^2 + V_B^2} \quad (6)$$

$$U_{WB} = |U_{WB}| = \sqrt{u_{wr}^2 + v_{wr}^2}$$

9) Tính hướng trung bình đại diện (representative mean direction) θ_{wr} và tần số f_{wr} của tốc độ quỹ đạo của sóng ở đây:

$$\theta_{wr} = \arctg \left[\frac{\int_{f_1}^{f_2} W_E(f) df}{\int_{f_1}^{f_2} W_N(f) df} \right] \quad (7)$$

$$f_{wr} = \frac{\int_{f_1}^{f_2} P(f) f df}{\int_{f_1}^{f_2} P(f) df}$$

10) Tính năng lượng rối động học toàn phần TKE và tốc độ động lực:

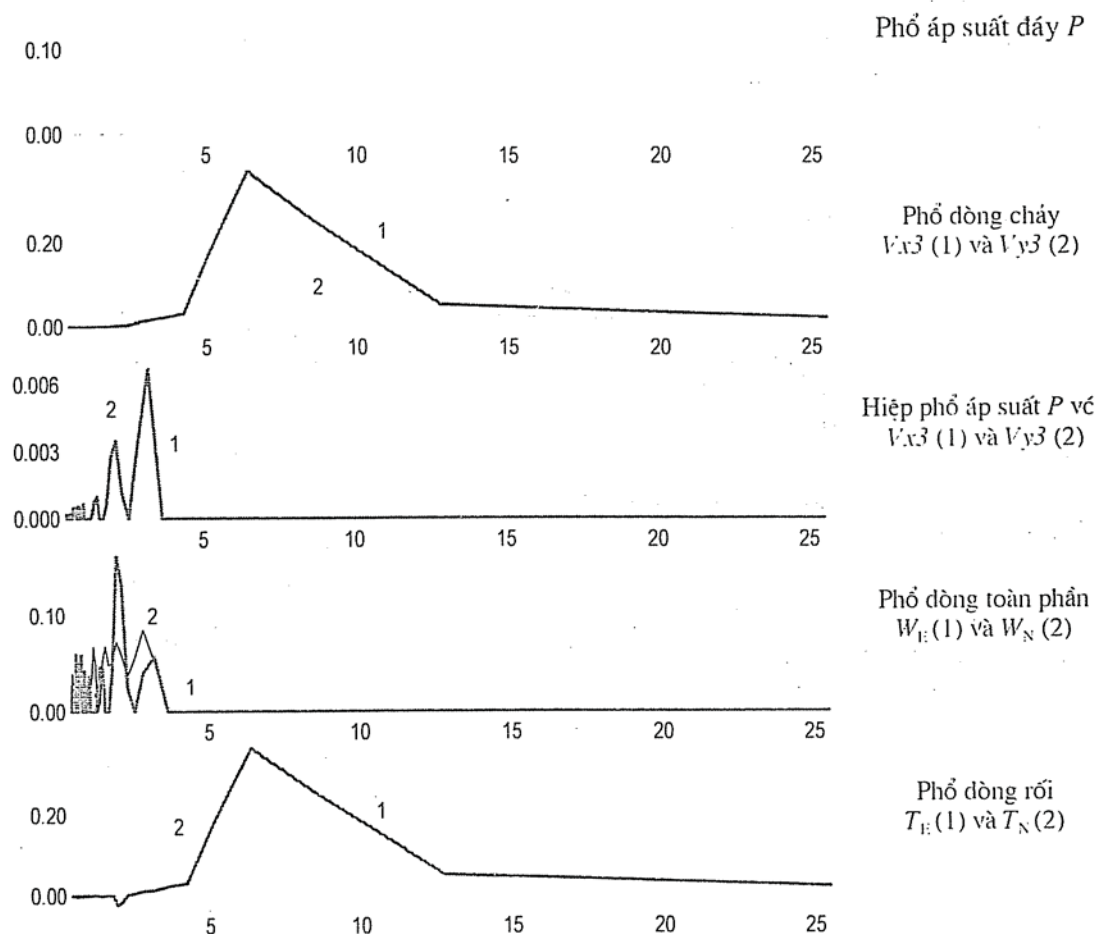
$$TKE = \frac{1}{2} \rho \left(\langle u'^2 \rangle + \langle v'^2 \rangle + \langle w'^2 \rangle \right) \quad (8)$$

$$u_*^2 = \frac{\alpha TKE}{\rho}$$

Ở đây: ρ - mật độ nước biển; $\alpha = 0,9$ thành phần thẳng đứng của tốc độ rối bằng không

c. Kết quả xử lý số liệu các burst

Đã thực hiện phân tích phổ và hiệp phổ theo quy trình 10 bước đã trình bày trong mục b. Trên hình 5, thí dụ điển hình về kết quả phân tích phổ và hiệp phổ (thí dụ đối với burst 150).



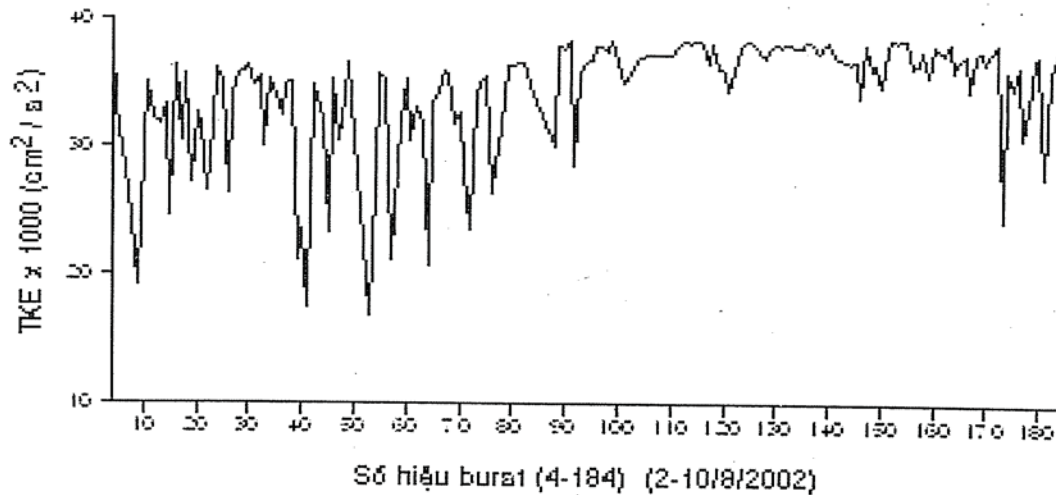
Hình 5. Kết quả phân tích phổ và hiệp phổ đối với burst 150 (trục ngang – chu kỳ, giây)

Nhận thấy rằng các hàm phổ đơn của dòng chảy tổng cộng và áp suất sóng tại đáy có các dải mang năng lượng gần như nhau, trùng với các tần số sóng gió hoặc sóng lừng (chu kỳ từ vài giây tới hơn chục giây). Trong nhiều động của áp suất biểu thị khá rõ các hợp phần tần suất thấp có nguồn gốc không phải từ sóng gió. Phân tích hiệp phổ cho thấy rằng dòng chảy toàn phần không hợp biến với các dao động sóng ở những tần số sóng.

Điều đó nói lên rằng cường độ rối ở

vùng sát bờ có nguồn gốc ở sự phá hủy sóng, sự đổ nhào sóng. Những nhiễu động với tần số cao hơn của dòng toàn phần hiệp biến với nhiễu động sóng. Vậy bản thân dao động sóng yếu tại đới sát bờ tạo nên những nhiễu động bậc cao và ở vùng cụ thể này chưa thấy có vai trò đáng kể.

Trên các hình 6 và 7 tổng hợp các kết quả tính động năng rối toàn phần và tốc độ động lực cho tất cả các burst. Trong phụ lục dẫn thí dụ kết quả tính cho burst 150.

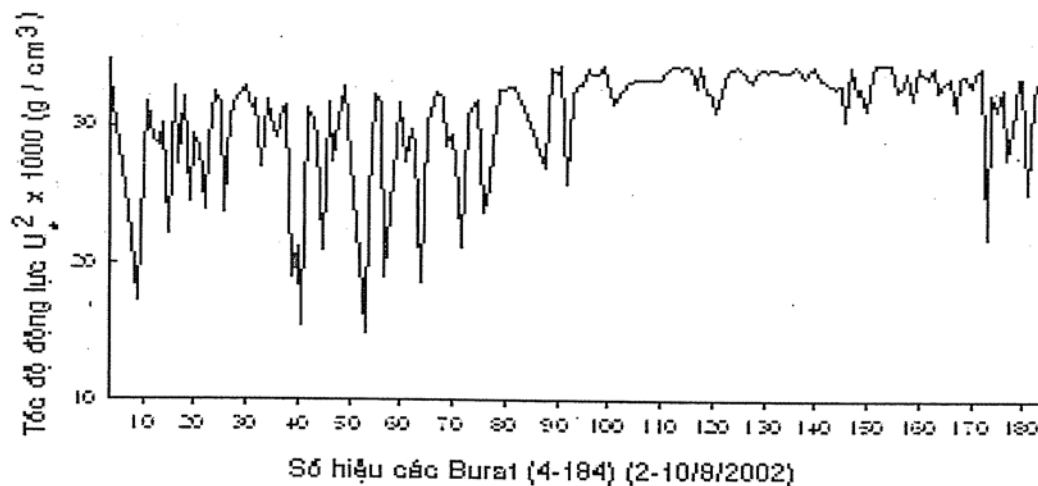


Hình 6. Biến thiên của động năng rối toàn phần theo các burst quan trắc

Tác giả nhận thấy đối với những ngày sóng yếu, khoảng nửa đầu chu kỳ quan trắc các giá trị động năng rối toàn phần biến thiên mạnh. Tại những ngày sóng và thủy triều mạnh dần (nửa sau của chu kỳ quan trắc) các giá trị tính được của động năng rối toàn phần tăng lên và ổn định hơn (hình 5).

Từ hình 6, thấy rằng giá trị động năng rối toàn phần biến thiên trong khoảng 10×10^{-3} đến $50 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}^2$.

Ước lượng giá trị động năng rối toàn phần trung bình trong cả thời kỳ quan trắc bằng $3,14 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}^2$ và tốc độ động lực trung bình bằng $3,07 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^3$.



Hình 7. Biến thiên của tốc độ ma sát theo các burst quan trắc

5. Kết luận

1) Lần đầu tiên sử dụng thiết bị độ nhạy và độ phân giải thời gian cao để khảo sát những đặc điểm của các nhiễu động trong lớp nước sát đáy ở vùng biển ven bờ

2) Cấu trúc thẳng đứng của dòng chảy lớp sát đáy khá phức tạp. Ngay trong một lớp mỏng vài chục cm sát đáy có sự phân tầng về dòng chảy. Điều này có thể cần phải tính tới trong việc xem xét cơ chế vận chuyển chất trong vùng nước ven bờ nói chung và ở lớp sát đáy nói riêng.

3) Trong vùng nước gần bờ, năng lượng rối chủ yếu nhận được từ các

nhiều động có nguồn gốc từ sóng. Những quá trình quy mô khác như dòng chảy vùng ngoài khơi, nhiễu động nguồn gốc do gió không thấy biểu hiện vai trò đáng kể.

4) Kết quả khảo sát phổ rối vùng nước gần bờ cho thấy một đặc điểm khá lý thú là sóng gió hoặc sóng lừng cung cấp năng lượng cho rối nhờ cơ chế phá huỷ sóng.

Đáng tiếc là chúng ta chỉ có một máy đo duy nhất, chưa tổ chức được quan trắc đồng thời tại nhiều điểm cách bờ, nên không có thông tin về những đặc điểm động lực này đối với một dải ven bờ rộng hơn để so sánh.

Tài liệu tham khảo

1. Phạm Văn Huấn, Đinh Văn Ưu, Nguyễn Minh Huấn, Đoàn Văn Bộ. Các đặc trưng rối lớp biên sóng - dòng sát đáy vùng biển ven bờ. *Tạp chí khoa học ĐHQG Hà Nội*, T. XIX, No1, tr. 39-46, 2003.
2. Documentation prepared for Woods Hole Instrument Systems, Limited: Preliminary Assessment of Near-Bottom Measurements in Delaware Bay. August 22, 1995.
3. Documentation prepared for Woods Hole Instrument Systems, Limited: Notes on the Analysis of Near - Bottom Measurements of Velocities, Pressure, Optical Backscatterance and Temperature. August 22, 1995.
4. J. Wolf. *The estimation of shear stresses from near-bed turbulent velocities for combined wave-current flows*. Coastal Engineering, 37, 529-543, Elsevier, 1999.