

MÔ HÌNH DÒNG CHẢY HAI CHIỀU ÁP DỤNG TẠI VÙNG VEN BỜ CỦA SÔNG VĂN ÚC - THÁI BÌNH

NCS. Trần Hồng Lam - Trung tâm KTTV Biển

1. Đặt vấn đề

Dòng chảy trong biển và đại dương là một trong những yếu tố động lực quan trọng mà từ lâu đã được nhiều tác giả trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu. Dòng chảy mà chúng ta quan trắc được chủ yếu là sự tổng hợp của ba thành phần dòng chảy cơ bản: dòng chảy gió, dòng chảy địa chuyển và dòng chảy do triều. Đối với vùng ven bờ cửa sông lớp nước có độ sâu nhỏ sự phân tầng mật độ hầu như không có, vì vậy, việc nghiên cứu dòng chảy chủ yếu tập trung vào hai thành phần dòng chảy: dòng chảy gió và dòng chảy triều. Khi nghiên cứu các quá trình động lực dòng chảy người ta thường sử dụng các quan trắc thực tế có độ dài chuỗi số liệu đủ lớn để tiến hành các phương pháp phân tích và tính toán thống kê. Các phương pháp này còn được gọi là các phương pháp tính toán dòng chảy theo thời gian có ưu điểm là kết quả thu được có độ chính xác cao, tuy nhiên để thu được chuỗi số liệu cần thiết đòi hỏi phải chi phí khá tốn kém, hơn nữa người ta không thể đặt đồng bộ một hệ thống quan trắc dòng chảy nhiều điểm trong một vùng biển cần quan tâm. Để khắc phục nhược điểm trên một hướng nghiên cứu khác cho phép người ta mô phỏng dòng chảy trong biển và đại dương bằng việc nghiên cứu các mô hình toán. Hướng nghiên cứu này còn được gọi là các phương pháp tính toán dòng chảy theo không gian. Trong những năm gần đây khi nghiên cứu dòng chảy vùng ven bờ cửa sông các nhà khoa học trên thế giới và Việt Nam thường sử dụng các mô hình toán kết hợp với các số liệu đo đạc được trong khu vực nghiên cứu để đưa ra một bức tranh dòng chảy có tính định lượng.

Dòng chảy ở vùng ven bờ cửa sông Văn Úc - Thái Bình là một trong số những bức tranh dòng chảy ven bờ bị chi phối mạnh mẽ do các quá trình triều toàn nhật ở vịnh Bắc Bộ, vì thế rất đa dạng và phức tạp. Đã có nhiều nhà khoa học Việt Nam quan tâm, điều tra nghiên cứu về hiện tượng dòng chảy do ý nghĩa quan trọng về mặt khoa học và thực tiễn.

Tuy vậy, những kết quả thu được còn có hạn chế, chưa đầy đủ, chi tiết và độ tin cậy chưa cao đối với dòng chảy ở vùng này.

Để đóng góp một phần vào việc làm sáng tỏ thêm về chế độ dòng chảy ven bờ cửa sông Văn Úc - Thái Bình, trong bài này tác giả trình bày một mô hình hai chiều đầy đủ áp dụng tính toán mực nước và động lực dòng chảy ở vùng cửa sông bị chi phối mạnh mẽ bởi chế độ nhật triều.

2. Hệ phương trình và thuật toán sai phân

a. Hệ phương trình tổng quát

Hệ phương trình tổng quát mô tả quá trình chuyển động của chất lỏng trong biển và đại dương áp dụng lý thuyết xấp xỉ Boussinesq và cân bằng thủy tĩnh sau khi rút gọn thu được dưới dạng:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV = -\frac{1}{\rho_w} \frac{\partial P_a}{\partial x} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho_w D} (\tau_x^s + \tau_x^b) + N_h \Delta U \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU = -\frac{1}{\rho_w} \frac{\partial P_a}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho_w D} (\tau_y^s + \tau_y^b) + N_h \Delta V$$

và phương trình liên tục:

$$\frac{\partial}{\partial x} UD + \frac{\partial}{\partial y} VD + \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\text{Trong đó: } U = \int_{-H}^{\zeta} u dz; V = \int_{-H}^{\zeta} v dz; D = H + \zeta \quad (3)$$

U, V - Thành phần tốc độ của dòng chảy theo các trục tọa độ x, y tương ứng;

$$\Delta U; \Delta V - \text{Toán tử Laplace có dạng: } \Delta U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}; \Delta V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \quad (4)$$

$\tau_x^s; \tau_y^s; \tau_x^b; \tau_y^b$ - Ứng suất gió bề mặt và ứng suất ma sát tại đáy theo các trục x, y tương

ứng; $\tau_x^s = C_{10} \rho_a |W| W_x; \tau_y^s = C_{10} \rho_a |W| W_y; \tau_x^b = \rho_o k |V| u; \tau_y^b = \rho_o k |V| v; V = \sqrt{u^2 + v^2}$

H - Giá trị độ sâu trung bình;

ρ_o - Mật độ nước; g - gia tốc trọng trường;

Pa - Áp suất khí quyển tại bề mặt;

f - Thành phần lực Coriolis

ζ - Dao động bề mặt nước biển so với mực nước trung bình nhiều năm;

N_k - Hệ số nhớt động học theo phương ngang.

Điều kiện ban đầu:

$$u(x, y, t) = u_o(x, y, o); v(x, y, t) = v_o(x, y, o); \zeta(x, y, t) = \zeta_o(x, y, o) \quad (5)$$

Điều kiện biên:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} = w \quad \text{tại } z = \zeta(x, y, t) \quad (6.a)$$

$$w = -u \frac{\partial H}{\partial x} - v \frac{\partial H}{\partial y} \quad \text{tại } z = -H(x, y) \quad (6.b)$$

b. Thuật toán sai phân

Để sai phân hoá hệ phương trình từ (1)-(4), sử dụng công thức sai phân theo lý thuyết Taylor. Giả sử hàm $\Phi(x, y, t)$ liên tục trong miền Ω có sơ đồ lưới sai phân với các bước lưới không gian $\Delta x = \Delta y = h$, khi đó các thành phần vi phân được thay bằng các thành phần sai phân dạng:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{\Phi(x+h) - \Phi(x)}{h} + O(h) \quad (7)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{\Phi(x) - \Phi(x-h)}{h} + O(h) \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi(x)}{\partial x^2} = \frac{\Phi(x+h) + \Phi(x-h) - 2\Phi(x)}{h^2} + O(h^4) \quad (9)$$

Còn các đạo hàm theo thời gian thì thực hiện bởi toán tử có dạng:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = \frac{\theta \Phi^{n+1} - (1-\theta)\Phi^n}{\Delta t} \quad (10)$$

Trong đó: Φ^{n+1} ; Φ^n là các hàm ở lớp thời gian sau và lớp thời gian trước đó, còn θ có giá trị trong khoảng $0 < \theta < 1$.

Từ đó khi thay thế các công thức từ (7) đến (10) vào hệ ba phương trình (1), (2) với các biến đổi đơn giản theo phương pháp luân hướng (ADI) thì ở nửa bước thời gian

$t = t_0$ ban đầu đối với phương trình thứ nhất của (1) và (3) theo hướng OX sẽ có dạng:

$$a_j \zeta_{j,k}^{n+1/2} + b_j U_{j+1,k}^{n+1} + c_j U_{j-1,k}^{n+1} = A_j \quad (11)$$

$$e_j U_{j,k}^{n+1} + f_j \zeta_{j+1,k}^{n+1/2} + g_j \zeta_{j-1,k}^{n+1/2} = B_j \quad (12)$$

$$\zeta_{j-1,k}^{n+1/2} = P_j U_{j,k}^{n+1} + Q_j \quad (13)$$

$$U_{j-1,k}^{n+1} = -R_j \zeta_{j-1,k}^{n+1/2} + S_j$$

Bằng các biến đổi khi thay thế (13) vào hệ phương trình (11) và (12) ta tìm được:

$$R_j = \frac{f_j}{e_j + g_j P_j}; S_j = \frac{B_j - g_j Q_j}{e_j + g_j P_j}; P_j = -\frac{b_j}{a_j - R_{j-1} c_j}; Q_j = \frac{A_j - c_j S_{j-1}}{a_j - R_{j-1} c_j} \quad (14)$$

Một cách tương tự đối với phương trình thứ hai của (1) và (2) ở nửa bước thời gian sau khi $t = t_0 + \Delta t$ cũng thu được hai phương trình theo hướng OY.

Điều kiện bờ

- Trên biên lỏng:

+ Nếu có số liệu đo đạc về dòng chảy, khi đó: $R1 = 0$; $S1 = U$; $P1 = 0$; $Q1 = 0$;

+ Nếu có số liệu đo đạc về mực nước, khi đó: $P1 = 0$; $Q1 = \zeta$; $R1 = 0$; $S1 = 0$;

- Trên biên cứng thực hiện điều kiện trượt không thấm, khi đó:

$$P1 = 0; Q1 = 0; R1 = 0; S1 = 0$$

- Trong trường hợp đo đạc được mực nước, khi đó: $P1 = 0$; $Q1 = \zeta$; $R1 = 0$; $S1 = 0$.

3. Phân tích một số kết quả

Kết quả áp dụng mô hình tính toán dòng chảy và mực nước tại vùng ven bờ cửa sông Văn Úc - Thái Bình theo lưới tính không gian với $\Delta x = \Delta y = 1800m$ bao gồm 760 điểm tính và 116 điểm biên (Hình 1). Phạm vi tính toán nằm trong khoảng từ (106°30' E - 107°00'E; 20°10'N - 20°42'N). Mô hình tính theo hai kiểu: riêng rẽ các sóng triều thành phần K1, O1, M2, S2 và tính tổng hợp 4 sóng triều một lần. Khi so sánh kết quả tính toán mực nước và dòng chảy trong khu vực của các mô hình khác (bảng 1, bảng 2) tại 5 điểm trong vùng tính thì kết quả tính toán của mô hình là tốt hơn. Trên cơ sở các kết quả thu được có thể rút ra một số kết luận như sau:

1) Sử dụng mô hình hai chiều đầy đủ nếu xử lý tốt các giá trị trên biên cứng, biên lỏng với số liệu phong phú có thể đạt được kết quả khá tốt. Đối với khu vực nghiên cứu có địa hình phức tạp với nhiều cửa sông lớn đổ ra cần xử lý chi tiết điều kiện biên Dirichlet hoặc điều kiện biên Neumann tại các cửa sông thì mới cho kết quả tốt;

2) Trong khu vực hẹp như vùng nghiên cứu, ảnh hưởng của tham số Coriolis rất nhỏ ($\sim 10^{-4}$), biến đổi rất ít và có thể cho bằng hằng số đặc trưng cho từng khu vực cụ thể.

3) Ảnh hưởng của lực ma sát đáy là lớn trong khu vực và biến đổi rất nhanh ở vùng gần bờ. Qua một số thử nghiệm tính toán của mô hình đã cho thấy rằng khi độ sâu của biển có giá trị $< 0,5m$ qui luật tính toán của mô hình bị phá vỡ và cho kết quả không tốt. Tại những vùng nước có độ sâu nhỏ như vậy cần phải có các nghiên cứu chi tiết hơn mới có thể nhận được các kết quả theo mong muốn;

4) Kết quả tính toán mực nước và dòng chảy trong khu vực (hình 2, 3, 4) cho thấy các sóng nhật triều chiếm ưu thế, về biên độ mực nước lớn ở phía bắc và giảm dần xuống phía nam, về dòng triều các sóng nhật triều cũng lớn hơn các sóng bán nhật triều thông thường khoảng 4 đến 5 lần và bán trục lớn của ellip dòng triều chủ yếu có hướng đông bắc - tây nam với chiều quay ngược chiều kim đồng hồ ngoại trừ vùng nước nông sát bờ.

4. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu mô hình hai chiều trên đây mới chỉ là những nghiên cứu ban đầu và còn hạn chế, tuy nhiên đã có thể tính toán mực nước và dòng chảy ở khu vực ven bờ là khá tốt cho thấy rõ khả năng to lớn của mô hình hai chiều. Để khắc phục các hạn chế của mô hình hai chiều có thể tính toán mực nước và dòng chảy ở vùng nước nông ven bờ bằng mô hình ba chiều với các tham số chi tiết hơn, nhưng làm như vậy cần một khối lượng điều tra khảo sát tổng hợp các đặc trưng thủy văn biển để thu thập số liệu nhiều hơn nữa mới đem lại kết quả tốt.

Tài liệu tham khảo

1. Trương Văn Bốn. Thử nghiệm mô hình ba chiều về hoàn lưu đại dương để tính thủy triều cho biển Đông. Tạp chí KTTV 6(642), 1999;
2. Lê Trọng Đào, 1996. Thủy triều, dòng triều vịnh Bắc Bộ. Chương trình biển KT03-03;

3. Nguyễn Ngọc Thuy. Thủy triều vùng ven biển Việt Nam. NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 1984;
4. Nguyễn Ngọc Thuy, Trần Hồng Lam, Vương Quốc Cường. Mô hình triều T1 ở biển Đông. Báo cáo tổng kết đề tài KT03-03, 1995;
5. Nguyễn Ngọc Thuy, Lê Trọng Đào, Trần Hồng Lam và NNK. Động lực triều phức hợp ở biển Đông trên cơ sở các mô hình triều chi tiết. Tạp chí các khoa học về trái đất, Hà Nội 2(T.19), 1997;
6. Blumber. A. F. and Mellor. G. L. 1987. A description of a three-dimensional ocean circulation model - American Deoph. Union;
7. Fletcher. C. A.J., 1990. Computational Techniques for Fluid Dynamics 1 - Springer - Verlag.
8. Fletcher. C. A.J., 1990. Computational Techniques for Fluid Dynamics 2 - Springer - Verlag.
9. Jaques C. J, Nihoul, Erric Dellleersnijder and Salim Djnidi. 1989. Modelling the general circulation of Shelf Seas by 3D K- ϵ Models;
10. Blumber A. F, 1977. Numerical Tidal model of Chesapeake Bay, Journal of Hydraulics Division.
11. Rolando S. B. 1992. A Barotropic wind and tide included circulation model for the gulf of Ligayen, Master of Science in Meteorology.

STT	Tên	Đơn vị	Địa chỉ	Điện thoại	Ngày	Chức vụ
1	Nguyễn Ngọc Thuy	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng
2	Trần Hồng Lam	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng
3	Nguyễn Ngọc Thuy	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng
4	Nguyễn Ngọc Thuy	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng
5	Nguyễn Ngọc Thuy	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng
6	Nguyễn Ngọc Thuy	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng
7	Nguyễn Ngọc Thuy	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng
8	Nguyễn Ngọc Thuy	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng
9	Nguyễn Ngọc Thuy	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng
10	Nguyễn Ngọc Thuy	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng
11	Nguyễn Ngọc Thuy	Viện Hải dương học	110 Nguyễn Văn Linh	8253111	19/11/97	Trưởng

Bảng 1. Kết quả so sánh HSDH thủy triều tại 5 điểm của mô hình KT03-03(T_1, T_{2a}) và tính toán (TT) với số liệu thực đo

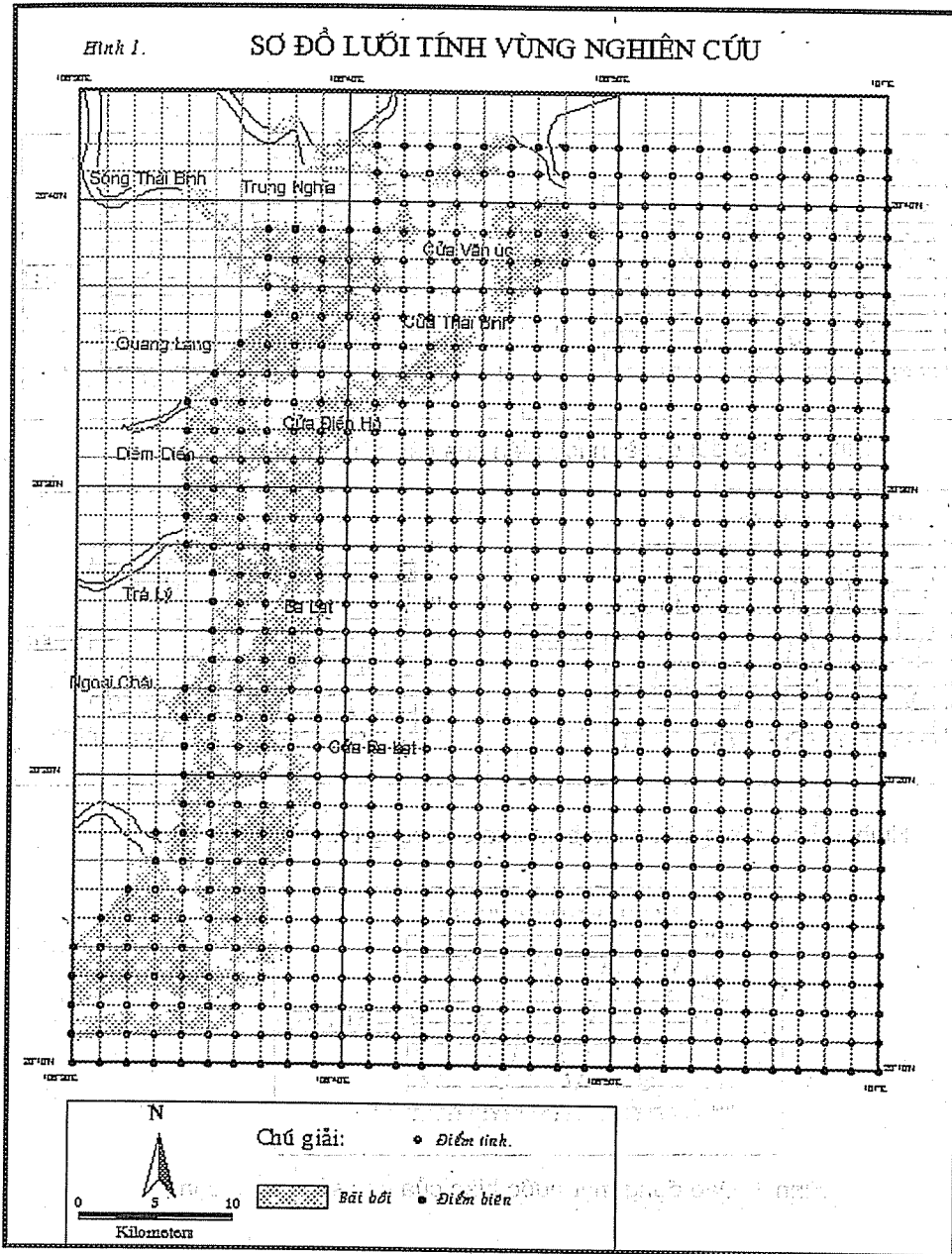
Stt	Điểm (φ, λ)	Sóng	T_{2a}		T_1		TT	
			$\Delta H(\text{cm})$	$\Delta g(\text{độ})$	$\Delta H(\text{cm})$	$\Delta g(\text{độ})$	$\Delta H(\text{cm})$	$\Delta g(\text{độ})$
1	20°41' N 106°49' E	M2	2,6	13	1,5	8	1,1	4
		S2	1,6	14	1,3	6	1,0	5
		K1	2,2	9	1,8	5	1,3	3
		O1	1,9	12	1,7	9	0,8	2
2	20°38' N 106°51' E	M2	3,6	12	1,7	11	1,8	17
		S2	2,6	11	2,0	9	2,0	8
		K1	2,1	10	1,7	6	1,4	5
		O1	2,1	9	2,2	10	0,7	8
3	20°26' N 106°41' E	M2	1,7	8	2,1	7	2,2	3
		S2	1,6	11	1,7	8	1,2	4
		K1	2,1	7	1,9	4	0,8	3
		O1	2,2	11	1,8	7	1,0	5
4	20°18' N 106°39' E	M2	3,6	19	1,9	10	1,2	7
		S2	2,2	12	2,1	7	1,5	4
		K1	2,8	11	2,2	17	1,7	10
		O1	3,2	18	1,8	10	1,1	11
5	20°22' N 106°51' E	M2	2,1	12	2,3	11	1,8	12
		S2	2,2	17	1,3	12	1,2	8
		K1	3,4	13	2,8	14	1,5	9
		O1	1,7	11	2,1	14	1,2	10

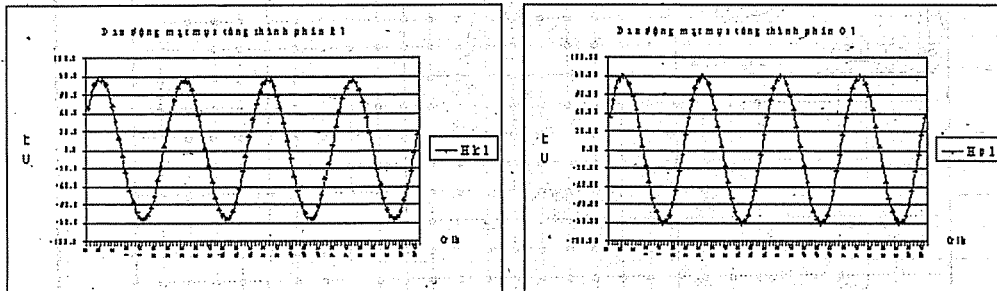
Bảng 2. Kết quả so sánh HSDH dòng triều trung bình tại 5 điểm của mô hình KT03-03(T_1, T_{2a}) và tính toán (TT) với số liệu thực đo

Stt	Tầng (m)	Sóng	T_{2a}		T_1		TT	
			$\Delta U/\Delta U$ (cm/s)	$\Delta g_u/\Delta g_u$ (độ)	$\Delta U/\Delta U$ (cm/s)	$\Delta g_u/\Delta g_u$ (độ)	$\Delta U/\Delta U$ (cm/s)	$\Delta g_u/\Delta g_u$ (độ)
1	5	M2	1,6/3,2	16/21	2,6/5,7	17/22	1,2/3,1	8/12
		S2	1,2/1,6	17/33	3,3/2,8	18/22	2,1/2,4	12/28
		K1	4,3/5,1	11/13	5,7/3,5	16/18	2,8/1,9	14/19
		O1	2,4/2,2	26/21	2,2/2,7	19/32	1,8/2,4	16/25
2	10	M2	1,1/2,3	15/12	1,8/2/6	18/21	1,1/1,8	6/7
		S2	0,8/1,2	15/31	2,3/2,1	19/21	1,7/0,9	11/13
		K1	3,1/3,6	15/14	3,2/3,1	15/13	2,4/2,1	11/10
		O1	2,1/1,8	25/22	2,3/2,4	17/27	1,3/1,6	14/18

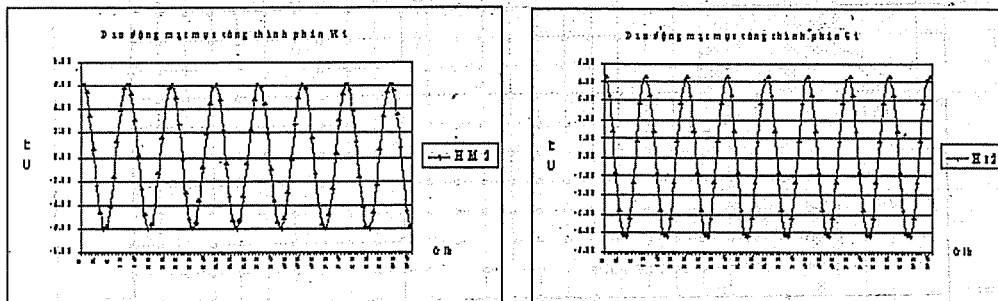
Hình 1.

SƠ ĐỒ LƯỚI TÍNH VÙNG NGHIÊN CỨU

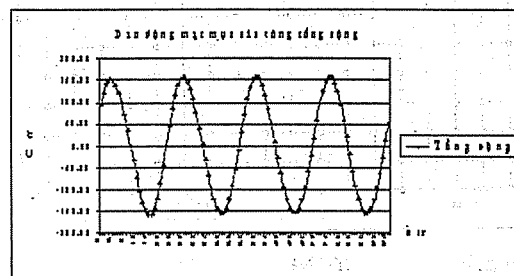




Hình 2. Dao động mặt nước biển của các sóng nhật triều.



Hình 3. Dao động mặt nước biển của các sóng bán nhật triều



Hình 4. Dao động mặt nước biển của các sóng tổng cộng