

## NGHIÊN CỨU SỰ BIẾN ĐỔI CỦA BIÊN ĐỘ TRONG QUÁ TRÌNH DỊCH CHUYỂN CỦA SÓNG NỘI TẠI VÙNG BIỂN VIỆT NAM

NGUYỄN BÁ XUÂN, TRẦN VĂN CHUNG

*Tóm tắt:* Bài báo trình bày một số kết quả tính toán, nghiên cứu sự biến đổi của biên độ sóng nội trong quá trình dịch chuyển tại vùng biển Việt Nam, dựa trên cơ sở áp dụng phương pháp giải bài toán giá trị riêng và mối quan hệ tán sắc của sóng nội. Từ kết quả nghiên cứu nhận thấy: Trong quá trình dịch chuyển trong không gian và theo thời gian, biên độ sóng nội luôn luôn biến đổi từ 1m đến 35m; Quy luật biến đổi theo chiều thẳng đứng của biên độ trung bình sóng nội ở vùng biển ngoài khơi miền Trung có xu thế tăng dần và đạt cực đại tại các độ sâu xấp xỉ : 250m, 350m và 450m.

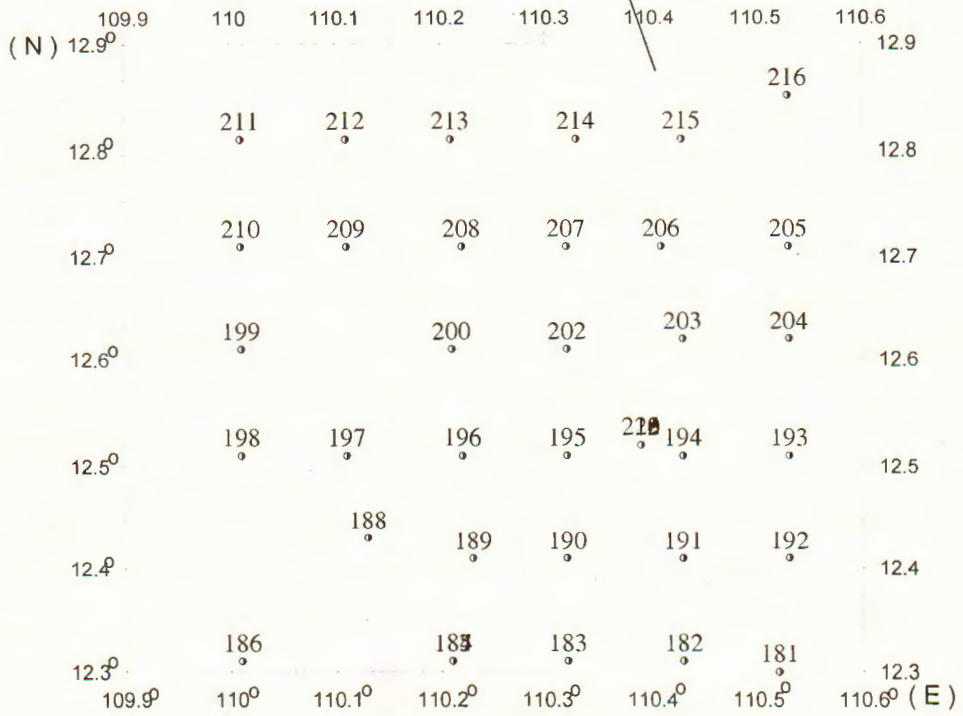
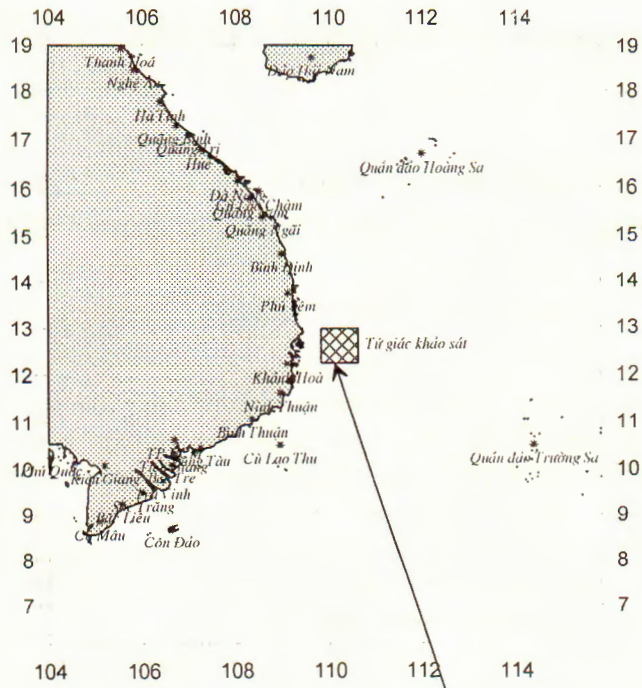
### I. MỞ ĐẦU

Lịch sử nghiên cứu sóng nội được bắt đầu bởi Nansen từ năm 1902 ( khi phát hiện ra hiện tượng nước chết, là nơi máy tàu vẫn chạy nhưng bản thân con tàu không dịch chuyển được ).Tuy nhiên sóng nội chỉ thực sự được nghiên cứu mạnh trong khoảng vài chục năm trở lại đây, nhờ vào việc áp dụng các phương pháp tính toán hiện đại cùng với sự phát triển mạnh mẽ của các kỹ thuật đo đạc chính xác. Sóng nội là một hiện tượng động lực rất phức tạp và có ảnh hưởng lớn đến nhiều quá trình Hải dương học khác. Yêu cầu đặt ra trong nghiên cứu sóng nội của chúng tôi, trước hết là để hoàn thiện sự hiểu biết về bản chất của hiện tượng, sau đó nghiên cứu sự ảnh hưởng của sóng nội với các quá trình Hải dương học khác, đặc biệt với sự lan truyền của trường thủy âm trong biển.

Ở Việt Nam, sóng nội được nghiên cứu từ 2003 đến 2005 trong khuôn khổ của một đề tài cấp Nhà nước, mã số KC-09-18, do các tác giả chủ trì nghiên cứu về phần sóng nội [1]. Sau đề tài này, các tác giả vẫn tiếp tục duy trì theo đuổi hướng nghiên cứu này, tuy nhiên bằng nhiều phương pháp nghiên cứu áp dụng khác nhau. Bài báo được thực hiện dựa trên cơ sở của nguồn kinh phí hỗ trợ của đề tài nghiên cứu cơ bản mang mã số 713606, do tác giả làm chủ trì trong giai đoạn 2006 - 2008.

### II. TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

#### 1. Tài liệu sử dụng:



Hình 1. Sơ đồ mạng lưới trạm trong vùn (tứ giác) khảo sát

**Bảng 1: Tọa độ và thời gian đo đạc tại các trạm trong tứ giác khảo sát**

K.độ (°E)	V.độ (°N)	Trạm	Ngày đo	Giờ đo	K.độ (°E)	V.độ (°N)	Trạm	Ngày đo	Giờ đo
110.52	12.3	181	13/4/1981	07h:32'	110.11	12.71	209	14/4/1981	06h:39'
110.43	12.31	182	13/4/1981	08:19	110.01	12.71	210	14/4/1981	07:22
110.32	12.31	183	13/4/1981	09:05	110.01	12.81	211	14/4/1981	08:10
110.21	12.31	184	13/4/1981	09:57	110.11	12.81	212	14/4/1981	09:00
110.21	12.31	185	13/4/1981	10:48	110.21	12.81	213	14/4/1981	09:48
110.01	12.31	186	13/4/1981	11:42	110.33	12.81	214	14/4/1981	10:37
110.21	12.31	187	13/4/1981	10:32	110.43	12.81	215	14/4/1981	11.35
110.13	12.43	188	13/4/1981	13:23	110.53	12.85	216	14/4/1981	12:21
110.23	12.41	189	13/4/1981	14:12	110.01	12.51	198	14/4/1981	21:19
110.32	12.41	190	13/4/1981	15:05	110.01	12.61	199	14/4/1981	22:12
110.43	12.41	191	13/4/1981	15:53	110.21	12.61	200	14/4/1981	23:46
110.53	12.41	192	13/4/1981	16:42	110.32	12.61	202	14/4/1981	00:42
110.53	12.51	193	13/4/1981	17:32	110.43	12.62	203	14/4/1981	02:00
110.43	12.51	194	13/4/1981	18:19	110.53	12.62	204	14/4/1981	02:47
110.32	12.51	195	13/4/1981	19:00	110.53	12.71	205	14/4/1981	03:38
110.22	12.51	196	13/4/1981	19:50	110.41	12.71	206	14/4/1981	04:24
110.11	12.51	197	4/13/1981	20:35	110.32	12.71	207	14/4/1981	05:07
110.01	12.51	198	13/4/1981	21:19	110.22	12.71	208	14/4/1981	05:56
110.01	12.61	199	13/4/1981	22:12	110.11	12.71	209	14/4/1981	06:39
110.21	12.61	200	13/4/1981	23:46	110.01	12.71	210	14/4/1981	07:22
110.32	12.61	202	13/4/1981	00:42	110.01	12.81	211	14/4/1981	08:10
110.43	12.62	203	14/4/1981	02:00	110.11	12.81	212	14/4/1981	09:00
110.53	12.62	204	14/4/1981	02:47	110.21	12.81	213	14/4/1981	09:48
110.53	12.71	205	14/4/1981	03:38	110.33	12.81	214	14/4/1981	10:37
110.41	12.71	206	14/4/1981	04:24	110.43	12.81	215	14/4/1981	11.35
110.32	12.71	207	14/4/1981	05:07	110.53	12.85	216	14/4/1981	12:21
110.22	12.71	208	14/4/1981	05:56					

Trong bài báo này, các tác giả đã sử dụng nguồn số liệu nhiệt-muối đo đạc trong chuyến khảo sát của tàu BOGOROV ( Liên Xô cũ ) ở Biển Đông. Chuyến khảo sát này được thực hiện từ 19/3 đến 11/5/1981, bao gồm 368 trạm mặt rộng, trong đó có 35 trạm được thực hiện trong một khoảng thời gian xấp xỉ một ngày đêm và trong một vùng giới hạn bởi một tứ giác hình vuông có độ dài mỗi cạnh khoảng 0.5 độ theo kinh tuyến và vĩ tuyến. Tứ giác này nằm ở vùng biển sâu ngoài khơi tỉnh Phú Yên và Khánh Hoà, với độ sâu trung bình khoảng 1800m. Nguồn số liệu này được viện Hải dương học Viễn Đông (Liên bang Nga ) cung cấp. Đây là nguồn số liệu có mức độ đo đạc khá chi tiết trong một kích thước không gian và thời gian tương đối nhỏ, do đó có thể sử dụng cho nhiều nghiên cứu chuyên sâu về các yếu tố Hải dương học. Các số liệu nhiệt, muối của chuyến khảo sát

này được đo đạc bằng thiết bị “ISTOK” do Liên Xô cũ chế tạo, có chế độ đo đạc tự động theo chiều sâu qua từng mét một cho tới độ sâu khoảng 550m. Chúng tôi đã sử dụng nguồn số liệu nhiệt, muối của 35 trạm này để tiến hành nghiên cứu về khả năng biến đổi và dịch chuyển của biên độ sóng nội trong vùng biển nghiên cứu. Sơ đồ mạng lưới trạm và thời gian đo đạc tại các trạm khảo sát có thể tham khảo ở hình 1 và bảng 1.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### *Cơ sở lý thuyết của phương pháp tính:*

Cơ sở lý thuyết của phương pháp tính được xuất phát bằng việc sử dụng các phương trình động lượng và liên tục trong Đại dương phân tầng với giả thiết cho rằng: chất lỏng không nén được; không có gradien mật độ nằm ngang; không có hoặc rất nhỏ độ trượt trung bình; sự đẳng hướng chất lỏng theo phương nằm ngang, khi đó các mối quan hệ tán sắc của sóng nội theo sự phân tầng thẳng đứng của mật độ trong môi trường Đại dương quay được giải bằng bài toán của các giá trị riêng do Gill đề xuất [6, 8]:

$$\frac{d^2 W_{\omega,j}(z)}{dz^2} + k^2 \left[ \frac{N^2(z) - \omega^2}{\omega^2 - f^2} \right] W_{\omega,j}(z) = 0, \quad 0 \leq z \leq H \quad (1)$$

Trong đó  $H$  (m) là độ sâu của cột nước,  $\omega$  là tần số của sóng nội,  $f$  là tần số quán tính, phụ thuộc vào tốc độ quay của trái đất ( tần số góc  $\Omega$  ) và vĩ độ  $\varphi$  (  $f=2\Omega \sin \varphi$  ), và  $N$  là tần số nổi ( phụ thuộc vào độ sâu ), được xác định bởi [4, 6, 7, 8] :

$$N(z) = \left( - \frac{g}{\bar{\rho}} \frac{d\rho}{dz} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Trong đó  $g$  là gia tốc trọng trường và  $\bar{\rho}$  mật độ trung bình nước biển. Các tần số sóng nội  $\omega$  là các tần số nằm giữa tần số quán tính tại giới hạn dưới và tần số nổi cực đại  $N_{\max}$  tại giới hạn trên. Giải phương trình này được dựa trên việc sử dụng điều kiện biên  $W_{\omega,j}(0) = W_{\omega,j}(H) = 0$ , sẽ cung cấp các mối quan hệ tán sắc ( modes ) của hệ thống. Các modes này chỉ dao động trong giới hạn của cột nước, trong đó tần số sóng nội  $\omega$  phải nhỏ hơn tần số nổi  $N(z)$ . Bên ngoài giới hạn này các lời giải sẽ suy biến giảm theo hàm số mũ. Mỗi tần số  $\omega$  sẽ có một tập hợp riêng của các modes thẳng đứng của  $W_{\omega,j}(z)$  và phụ thuộc vào độ sâu, trong đó  $j$  biểu thị số của các modes. Như vậy có thể nhận thấy rằng, sự dịch chuyển thẳng đứng của trường sóng nội tuyến tính được thể hiện là một sự kết hợp của các sóng phẳng hoặc là một tổng gấp đôi trọng số lấy qua các số mode  $j$  và tần số  $\omega$ , có dạng sau [8]:

$$\xi(x, z, t) = \int_f \sum_{j=1}^{N_{\max}} A(\omega, j) W_{\omega, j}(z) e^{i[k_{\omega, j} x - \omega t + \psi]} d\omega \quad (3)$$

Trong đó  $A(\omega, j)$  là biên độ mode thứ  $j$  liên quan với phổ Garrett-Munk (GM),  $k_{\omega, j}$  là số sóng tương ứng,  $x$  là khoảng cách,  $t$  là thời gian và  $\psi$  là pha.  $A(\omega, j)$  trọng số của biến ngẫu nhiên Gaussian có giá trị trung bình bằng zê rô đối với phổ GM, đã được mô tả trong nhiều công trình công bố trong thập niên 1970. Garrett và Munk đã công thức hóa một mô hình thực nghiệm về các phổ mode của sóng nội dựa trên nhiều đo đạc thực nghiệm. Mô hình GM được kiểm chứng bằng sự kết hợp nhiều nguồn số liệu nên phù hợp hơn các mô hình khác và đã được chấp nhận bởi các nhà khoa học trên Thế giới. Các giả thiết sau đây được thực hiện dưới dạng hiện hoặc ẩn dựa trên cơ sở phép lấy đạo hàm của mô hình GM, tức là tuyến tính hóa, không có sự biến dạng, đáy là mặt phẳng hoặc biến đổi chậm, trường mật độ đồng nhất theo phương nằm ngang hay thay đổi chậm và trường sóng nội là trường sóng ngẫu nhiên. Phổ GM được dựa vào một hàm phân bố năng lượng qua các mode và tần số. Phân bố năng lượng theo các mode rời rạc và theo tần số liên tục là độc lập với nhau. Năng lượng thu được là tích số của hai số hạng và tham số năng lượng toàn phần  $A(\omega, j)$  trong phương trình ( 3 ) được biểu diễn dưới dạng của phổ GM [5]:

$$A(\omega, j) = \left[ 2rB(\omega)H(j) \int_0^H N(z) dz \right]^{1/2} \quad (4)$$

trong đó  $r$  (  $320\text{m}^2\text{cph}$ , được đề nghị cho vùng nước sâu ) là một tham số năng lượng, phụ thuộc vào mùa và vị trí phân bố. Mô hình GM giả thiết rằng, sự phân bố năng lượng qua các mode là dựa trên một số vô hạn các mode. Tuy nhiên, phương trình (1) có thể được giải chỉ cho một số hữu hạn của các mode. Hơn nữa các kết quả thí nghiệm đã xác nhận rằng, vài đơn thức đầu tiên ước lượng cho giá trị 98% của năng lượng toàn phần. Bởi vậy, việc sử dụng một số hữu hạn của các mode không có bất kỳ sự thay đổi nào tới mô hình GM. Sẽ bỏ qua năng lượng trong các phương thức bậc cao. Từ đây các tham số  $B(\omega)$  và  $H(j)$  của mô hình GM được sửa đổi cho phù hợp và được cho bởi:

$$B(\omega) = \frac{2f}{\pi\omega\sqrt{\omega^2 - f^2}}, \quad \int_f^{N_{\max}} B(\omega) d\omega = 1, \quad (5)$$

$$H(j) = \frac{(j^2 + j_*^2)^{-\frac{p}{2}}}{\sum_{j=1}^M (j^2 + j_*^2)^{-\frac{p}{2}}}, \quad \sum_{j=1}^M H_M(j) = 1 \quad (6)$$

M và  $H_M(j)$  được đưa vào để biểu thị số hữu hạn của các mode. Nếu vài kiểu mode được sử dụng, sự phân bố năng lượng giữa các mode bậc thấp hơn thay đổi một cách đáng kể. Để chính xác cho hiệu ứng này, tham số bằng thông mode  $j^*$  được lựa chọn để phụ thuộc vào số của các phương thức M.

$$j^* = \begin{cases} 1 & \text{cho } M \leq 2 \\ 2 & \text{cho } M = 3 \\ 3 & \text{cho } M \geq 4 \end{cases} \quad (7)$$

$j^*$  có hiệu ứng của sự tăng tỉ lệ của năng lượng theo các mode thấp hơn khi M là nhỏ. Điều này bảo đảm sự phân bố năng lượng giữa một vài mode đầu tiên chỉ thay đổi ít. P được gọi là tham số dốc của mode và một giá trị 2 được sử dụng trong mô hình của chúng ra.

Sự dịch chuyển thẳng đứng  $\xi(x, z, t)$  cho bởi phương trình (3) được điều chỉnh lấy tổng quan qua một số hữu hạn của các mode và tần số. Chúng ta xác định một số hữu hạn những (15 tần số), đặt các tần số giữa tần số quán tính  $f$  và tần số nổi cực đại  $N_{\max}$ . Các tần số này được lựa chọn bằng nhau phân bố trên một thang lô-ga. Cho mỗi tần số phương trình (1) được giải cho một số của phương thức M. Các phương thức được ký hiệu bởi  $W_{\omega, j}(z)$  Số cực đại của các mode phụ thuộc vào độ sâu H của cột nước. Vì vậy, chúng ta chọn M, số cực đại của các mode theo gợi ý theo Elliot và Jackson, như sau :

$$M = \begin{cases} 2 & \text{cho } 0 < H < 25\text{m} \\ 3 & \text{cho } 25 \leq H < 100\text{m} \\ 4 & \text{cho } 100 \leq H < 250\text{m} \\ 5 & \text{cho } H \geq 250\text{m} \end{cases} \quad (8)$$

### ***Mô phỏng sự lan truyền của sóng nội bằng phương pháp giải bài toán các giá trị riêng và mối quan hệ tán sắc của sóng nội:***

Như vậy từ cơ sở lý thuyết có thể mô phỏng lại bài toán lan truyền sóng nội với phương pháp giải như sau: các giá trị riêng và các mode sóng nội được xác định bởi độ sâu nước H (m), profile tần số nổi  $N(z)$  và tần số quán tính  $\omega_1$  (rad/s). Khi đó các mode sóng nội  $W_j(z)$  thỏa mãn bài toán giá trị riêng với giả thiết rằng: chất lỏng không nhớt, không nén và thỏa mãn phép xấp xỉ

$$\text{Boussinesq: } \frac{d^2 W_j(z)}{dz^2} + \left\{ \gamma_j^2 [N^2(z) - \omega_j^2] - k^2 \right\} W_j(z) = 0, \quad (9)$$

trong đó  $W_j(0) = W_j(H) = 0$  ( thỏa mãn điều kiện biên ( $W=0$  tại  $z=0$  ( tại bề mặt ) và  $W=0$  tại  $z=H$  ( tại đáy )) và  $k$ : số sóng không gian đã biết theo rad/s.

Các đại lượng  $\gamma_j^2, j=1, \dots, J$  - là các giá trị riêng liên quan đến các tần số riêng sóng nội bằng phương trình:  $\omega_j^2 = \omega_l^2 + k^2 / \gamma_j^2$ .

Các mode sóng nội được chuẩn hóa như sau:  $\int_0^H [N^2(z) - \omega_l^2] W_j(z) W_{j'}(z) dz = \delta_{j,j'}$ ,

với  $N^2(z) - \omega_l^2 > 0$ . Một xấp xỉ sai phân hữu hạn của bài toán giá trị riêng trong phương trình ( 9 ) thu được bằng cách chia khoảng  $[0, H]$  theo  $N$  phần, với kích cỡ sai phân theo phương thẳng đứng  $\Delta z = H/N$ . Đầu tiên, để đơn giản ta xem như xử lý bài toán cho giá trị  $j$ . Viết lại phương trình (9), với việc khử đi sự phụ thuộc trên  $j$ , ta được:

$$\frac{d^2 w(z)}{dz^2} + \{ \lambda b^2(z) - k^2 \} w(z) = 0 \quad (10)$$

trong đó:  $w(0) = w(H) = 0, b^2(z) = N^2(z) - \omega_l^2$  và  $\lambda = \gamma^2$ . Sau đó, bằng cách mô tả theo phép xấp xỉ:  $b_n^2 = b^2(n\Delta z), w_n = w(n\Delta z)$  với  $n=0, \dots, N$ , và áp dụng sai phân trung tâm ba điểm tới phương trình ( 10 ) ta thu được: các giá trị của  $w(z)$  tại các điểm rời rạc với một khoảng không gian  $\Delta z$  có thể viết:

$$w\{(n-1)\Delta z\} = w_{n-1}, w\{n\Delta z\} = w_n, w\{(n+1)\Delta z\} = w_{n+1}$$

Sử dụng phép khai triển chuỗi Taylor cho  $i-1$  và  $i+1$ , ta có:

$$w_{n-1} = w_n - \Delta z \left. \frac{dw}{dz} \right|_n + \frac{(\Delta z)^2}{2!} \left. \frac{d^2 w}{dz^2} \right|_n + O(\Delta z^3) \quad (11a)$$

$$w_{n+1} = w_n + \Delta z \left. \frac{dw}{dz} \right|_n + \frac{(\Delta z)^2}{2!} \left. \frac{d^2 w}{dz^2} \right|_n + O(\Delta z^3) \quad (11b)$$

Lấy phương trình ( 11a ) cộng phương trình ( 11b ) ta được:

$$\frac{d^2 w}{dz^2} = \frac{w_{n+1} - 2w_n + w_{n-1}}{\Delta z^2}. \text{ Thế vào phương trình (10) và biến đổi ta được:}$$

$$-w_{n+1} + (2 + \Delta z^2 k^2) w_n - w_{n-1} = \lambda \Delta z^2 b_n^2 w_n, \quad n = 1, \dots, N-1 \quad (12)$$

trong đó  $w_0 = w_N = 0$ . Một phương trình ma trận, của dạng  $A\bar{w} = \lambda B^2 \bar{w}$ , thu được từ phương trình ( 12 ) cho cột véc tơ  $\bar{w} = col(w_n, n = 1, N-1)$ . Phương trình ma trận được

đưa ra dạng chuẩn hóa bởi nhân trên vế trái bởi  $B^{-1}$ , thu được  $(B^{-1}AB^{-1})B\bar{w} = \lambda B\bar{w}$  và xác định véc tơ mới  $\bar{u} = B\bar{w}$ . Dạng chuẩn hóa là  $C\bar{u} = \lambda\bar{u}$  trong đó  $C = B^{-1}AB^{-1}$ . Giả sử hàm trọng số là dương và tới hạn đến bước này, từ các mục trong ma trận đường chéo  $B^{-1}$  là  $1/\sqrt{\Delta z^2 b_n^2} = 1/(\Delta z b_n)$ ,  $n=1, N-1$ . Các mục trong ma trận ba đường chéo  $C$  là  $c_{n,n} = (2 + \Delta z^2 k^2)/(\Delta z^2 b_n^2)$ ,  $n=1, \dots, N$ . Trong khi đó các đường chéo cận trên và các chéo cận dưới là  $c_{n-1,n} = c_{n,n-1} = -1/(\Delta z^2 b_n b_{n-1})$ ,  $n=2, \dots, N-1$ . Ma trận đối xứng ba đường chéo  $C - \lambda I$  là phù hợp cho việc áp dụng của dãy Strum và trở thành ổn định cho định thức của nó. Các zêrô xác định của ma trận gần đúng các giá trị riêng của phương trình (9). Các giá trị riêng của phương trình (9) là bên dưới biên bởi  $k^2 / \max[N^2(z) - \omega_l^2]$  có thể được thiết lập sử dụng một mở rộng của đối số. Các giá trị riêng được tìm thấy bởi bắt đầu tại  $k^2 / \max[N^2(z) - \omega_l^2]$ , lấy các bước nhỏ của kích cỡ  $\Delta\lambda$  cho đến khi một sự giao nhau zêrô của  $\det[C - \lambda I]$  (ký hiệu:  $\det$  là định thức) được tìm thấy, và sau đó áp dụng phân đôi. Quá trình được lặp cho tới  $J$  các giá trị riêng  $\lambda_j \cong \gamma_j^2$ ,  $j=1, J$  được tìm thấy. Các véc tơ riêng  $\bar{u}_j$  tương ứng với  $\lambda_j$  được tìm thấy bởi phép lặp đảo ngược. Cho hầu hết véc tơ bất kỳ  $\bar{v} = \sum_{m=1}^J a_m \bar{u}_m$ , sau đó:  $[C - (\lambda_j - \varepsilon)I]^{-1} \bar{v} = \sum_{m=1}^J \frac{a_m}{\lambda_m - (\lambda_j - \varepsilon)} \bar{u}_m \cong \frac{a_j}{\varepsilon} \bar{u}_j$

trong đó  $\varepsilon$  có thể quá nhỏ. Ở đây lời giải phương trình ma trận ba đường chéo  $[C - (\lambda_j - \varepsilon)I] \bar{v}_i = \bar{v}_{i-1}$  cho vài các phép lặp sẽ đưa đến véc tơ riêng  $\bar{u}_j$  với vài hệ số tỉ lệ. Các hàm riêng trên lưới độ sâu được xác định bằng cách  $\bar{w}_j = B^{-1} \bar{u}_j$ ,  $j=1, \dots, J$ . Chúng cần phải được chuẩn hóa để thu được  $W_j$ ,  $j=1, \dots, J$ . Các dịch chuyển sóng nội dạng phức, với phần thực và phần ảo, được lấy có dạng:

$$\zeta(r, z, t) = \sum_{j=1}^J \int_{-\infty}^{+\infty} A_j(k) W_j(k^2, z) \exp[ikr + i\omega_j(k^2)t] dk \quad (13)$$

trong đó  $k^2$  phụ thuộc các mode sóng nội và các tần số riêng được biểu thị tường minh. Các hệ số mở rộng  $A_j(k)$  được đồng nhất các biến ngẫu nhiên phân bố dạng phức Gauss với trung bình bằng zêrô. Phương sai của chúng được cho bởi phổ mũ Garrett-Munk biểu diễn:

$$P_j(k^2) = E_0 \frac{4}{\pi^2} \frac{3}{j^2 + 9(k^2 + k_j^2)^2} \quad (14)$$



trong đó  $k_j = (\pi F_1 / BN_0)j$ ,  $B=1300\text{m}$ ,  $N_0=3$  cph (chu trình/giờ) và  $E_0=4.0$ . Đại lượng  $F_1$  là tần số quán tính, với  $F_1 = \left(\frac{1}{2}\right) \sin(\varphi)$  (cph). Phổ mũ có thể được chuẩn hóa

như sau:  $\sum_{j=1}^J \int_{-\infty}^{+\infty} P_j(k^2) dk \cong E_0$ , đối với  $J$  lớn, trong đó thừa số mật độ năng lượng  $E_0$  được

lựa chọn phù hợp với sóng nội nhằm biểu thị một giá trị tích phân độ sâu của  $4,0 \cdot 10^3 \text{ J/m}^2$  với mật độ nước biển.  $E_0$  được tách ra bởi mật độ vì mật độ không được đưa vào trong chuẩn hóa của các mode sóng nội. Mỗi tính toán các dịch chuyển sóng nội tùy vào một xấp xỉ số trị của tích phân trong phương trình (13). Bắt đầu này với một lựa chọn của một số sóng cực đại  $k_{\max}$  tới khoảng biên bao gồm phần lớn năng lượng trong phổ sóng nội. Cho phổ mũ Garrett-Munk này khoảng  $0.5 \text{ cycles/km}$  ( trong tính toán đổi thành  $\text{rad/m}$  ). Khoảng  $[0, k_{\max}]$  được chia  $M$  phần của kích cỡ  $\Delta k = k_{\max} / M$ . Số sóng nằm ngang rời rạc, sử dụng trong tính toán tần số riêng sóng nội, được lấy là  $k_m = m\Delta k$ ,  $m=1, M$ . Tích phân trong phương trình (13) được xấp xỉ, sử dụng cả giá trị dương và âm của  $m$ , bởi :

$$\zeta(r, z, t) = \sum_{j=1}^J \sum_{m=\pm 1}^{\pm M} \sqrt{\frac{P_j(k_m^2)}{\Delta k}} G_{j,m}(k) W_j(k_m^2, z) \exp[ik_m r + i\omega_j(k_m^2)t] \Delta k \quad (15)$$

Trong đó cả phần thực và phần ảo của  $G_{j,m}$  là các biến ngẫu nhiên Gaussian với trung bình là zêrô và phương sai bằng đơn vị. Sự kiểm tra số lượng năng lượng trong trường sóng nội là một sự kiểm tra cần thiết. Nó được chấp nhận bởi cho rằng mật độ năng

lượng tích phân theo độ sâu thỏa mãn:  $\int_0^H [N^2(z) - \omega_j] \langle \zeta(r, z, t) \zeta^*(r, z, t) \rangle dz \cong 2E_0$

Dấu hoa thị "\*" ở trên thể hiện các liên hợp phức và xuất hiện thừa số của 2 bởi vì cả hai phần thực và phần ảo của dịch chuyển được đưa vào. Dấu ngoặc ôm " $\langle \rangle$ " thể hiện phép lấy trung bình qua sự thực hiện dịch chuyển. Thay thế phương trình (15) vào trong lấy trung bình toàn bộ cho:

$$\langle \zeta(r, z, t) \zeta^*(r, z, t) \rangle \cong \sum_{j,j'=1}^J \sum_{m,m'}^{\pm M} \sqrt{P_j(k_m^2) P_{j'}(k_{m'}^2)} \langle G_{j,m} G_{j',m'}^* \rangle W_j(k_m^2, z) W_{j'}(k_{m'}^2, z) \exp\{i[k_m - k_{m'}]r + i[\omega_j(k_m^2) - \omega_{j'}(k_{m'}^2)]t\} \Delta k$$

Sự độc lập của  $G_{j,m}$  đưa đến  $\langle G_{j,m} G_{j',m'}^* \rangle = 2\delta_{j,j'} \delta_{m,m'}$  và do đó:

$$\langle \zeta(r, z, t) \zeta^*(r, z, t) \rangle \cong 2 \sum_{j=1}^J \sum_{m=\pm 1}^{\pm M} P_j(k_m^2) W_j^2(k_m^2, z) \Delta k$$

Ước lượng mật độ năng lượng tích phân theo độ sâu cho:

$$\int_0^H [N^2(z) - \omega_i^2] \langle \zeta(r, z, t) \zeta^*(r, z, t) \rangle dz \cong 2 \sum_{j=1}^J \sum_{m=\pm 1}^{\pm M} P_j(k_m^2) \Delta k \cong 2E_0$$

bởi vì cách thức tiêu chuẩn hóa và chuẩn hóa của phổ mũ Garrett-Munk.

**Xác định các thông số đầu vào từ nguồn số liệu thực đo:**

Các giá trị  $N(z)$  và  $\omega_i$  được xác định từ số liệu thực đo [2, 6], cụ thể như sau:

a) Xác định  $N(z)$  ( tần số Brunt-Vaisala ):  $N^2 = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}$ , trong đó  $g$  là gia tốc trọng

trường

(  $m/s^2$  ),  $\rho$ : mật độ nước biển (  $kg/m^3$  ). Các bước xác định  $g$ ,  $\rho$  như sau:

- Xác định  $g$ :  $g = (9,78032 + 0,005172 \sin^2 \varphi - 0,00006 \sin^2 2\varphi) \left(1 + \frac{z}{a}\right)^{-2}$

trong đó  $a$ : bán kính trái đất ( $a=6371000m$ ),  $\varphi$ : vĩ độ địa lý,  $z$ : độ cao so với mặt biển (m).

- Xác định  $\rho$ :  $\rho(S, T, P) = \frac{\rho(S, T, 0)}{\left(1 - \frac{P}{K(S, T, P)}\right)}$

trong đó  $\rho(S, T, 0)$  và  $K(S, T, P)$  được xác định như sau:

+ Với  $\rho(S, T, 0)$ :

$$\begin{aligned} \rho(S, T, 0) = & \rho_w + \\ & + S(0,824493 - 4,0899 \cdot 10^{-3} T + 7,6438 \cdot 10^{-5} T^2 - 8,2467 \cdot 10^{-7} + 5,3875 \cdot 10^{-9} T^4) \\ & + S^3 \left( -5,72466 \cdot 10^{-3} + 1,0227 \cdot 10^{-4} T - 1,6546 \cdot 10^{-6} T^2 \right) + 4,8314 \cdot 10^{-4} S^2 \end{aligned}$$

trong đó:  $\rho_w = 99,842594 + 6,79395 \cdot 10^{-2} T - 9,095290 \cdot 10^{-3} T^2 + 1,001685 \cdot 10^{-4} T^3 - 1,120083 \cdot 10^{-6} T^4 + 6,536332 \cdot 10^{-9} T^5$

(mật độ nước nguyên chất  $S=0$  )

+ Với  $K(S, T, P)$  ( $K$  là Secant Bulk Modulus)

$$K(S,T,P) = K(S,T,0) + P(3,239908 \cdot 1,4371310^{-3}T + 1,1609210^{-4}T^2 - 5,7790510^{-7}T^3) \\ + P \times S(2,283810^{-3} - 1,098110^{-5}T - 1,607810^{-6}T^2) + 1,9107510^{-4}P \times S^{3/2} \\ + P^2(8,5093510^{-5} - 6,1229310^{-6}T + 5,278710^{-8}T^2) \\ + P^2S(-9,934810^{-7} + 2,081610^{-8}T + 9,169710^{-10}T^2)$$

$$K(S,T,0) = K_w + S(54,6746 - 0,603459T + 1,09987 \cdot 10^{-2}T^2 - 6,1670 \cdot 10^{-5}T^3) \\ + S^3(7,944 \cdot 10^{-2} + 1,6483 \cdot 10^{-2}T - 5,3009 \cdot 10^{-4}T^2)$$

$$K_w = 19652,21 + 148,4206T - 2,327105T^2 + 1,360477 \cdot 10^{-2}T^3 - 5,155288 \cdot 10^{-5}T^4$$

( $K_w$ : cho trường hợp nước nguyên chất ( $S=0$ ))

b) Xác định  $\omega_1$  ( tần số quán tính ):  $\omega_1 = \left( \frac{2}{24} \right) \text{Sin}\varphi \left( \frac{2\pi}{3600} \right) = \frac{\pi}{21600} \text{Sin}\varphi$  (rad/s),

$\varphi$  : vĩ độ địa lý.

### III. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Dưới đây sẽ trình bày các kết quả tính toán và dự báo sự biến đổi và dịch chuyển biên độ sóng nội trong không gian và thời gian. Để xác định quy luật dịch chuyển của sóng nội, chúng tôi đã dựa trên cơ sở chọn biến số thời gian thay đổi từ 0 giây đến 3600 giây và biến số không gian từ 1 km đến 10km. Để thể hiện các kết quả nghiên cứu trên các sơ đồ và đồ thị, chúng tôi đã chọn một số hình mô tả đại diện sau đây:

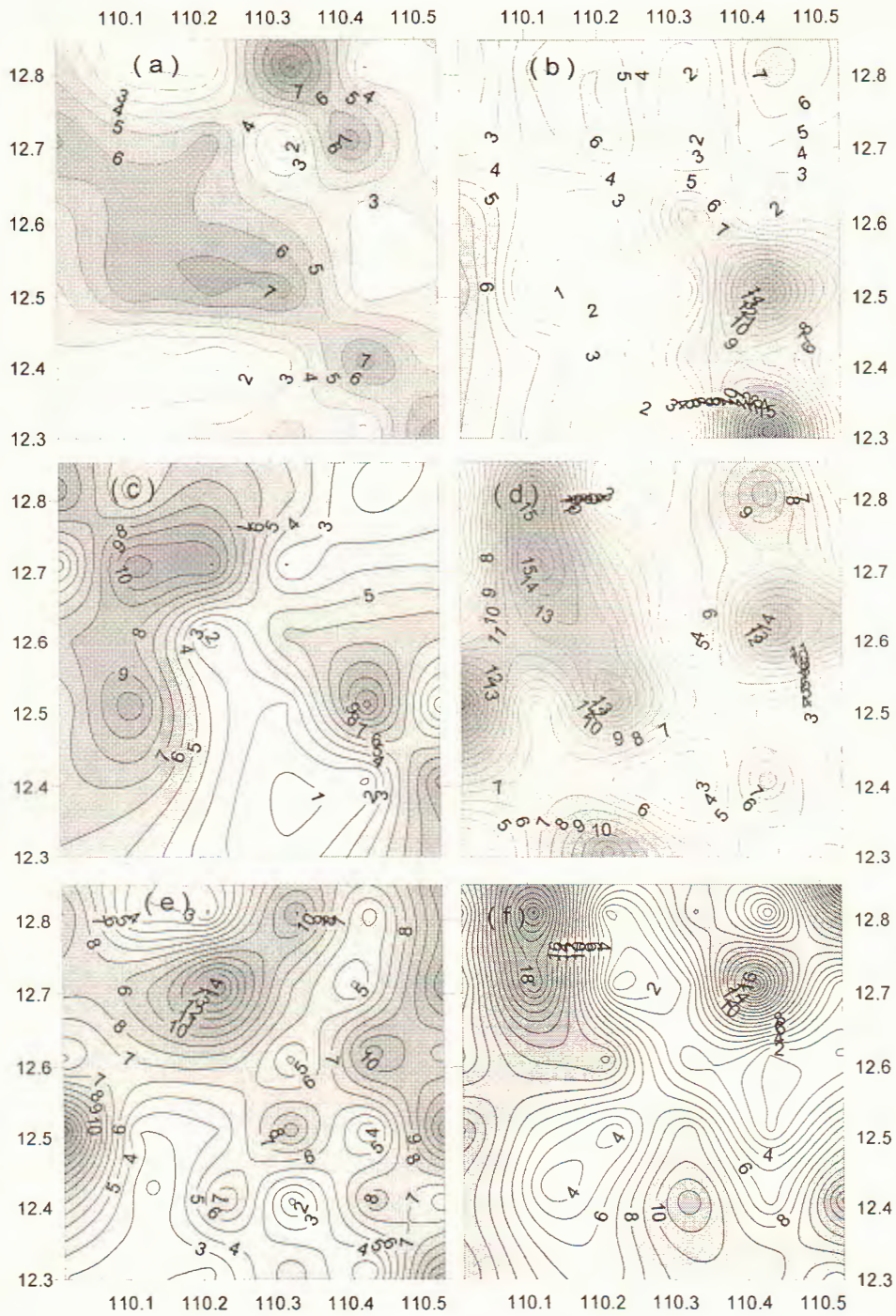
- Hình 2: biểu diễn các kết quả tính toán và dự báo trường biên độ sóng nội trong vùng nghiên cứu tại thời điểm  $t = 0$  giây.

- Hình 3: biểu diễn các kết quả tính toán và dự báo trường biên độ sóng nội trong vùng nghiên cứu tại thời điểm  $t = 3600$  giây.

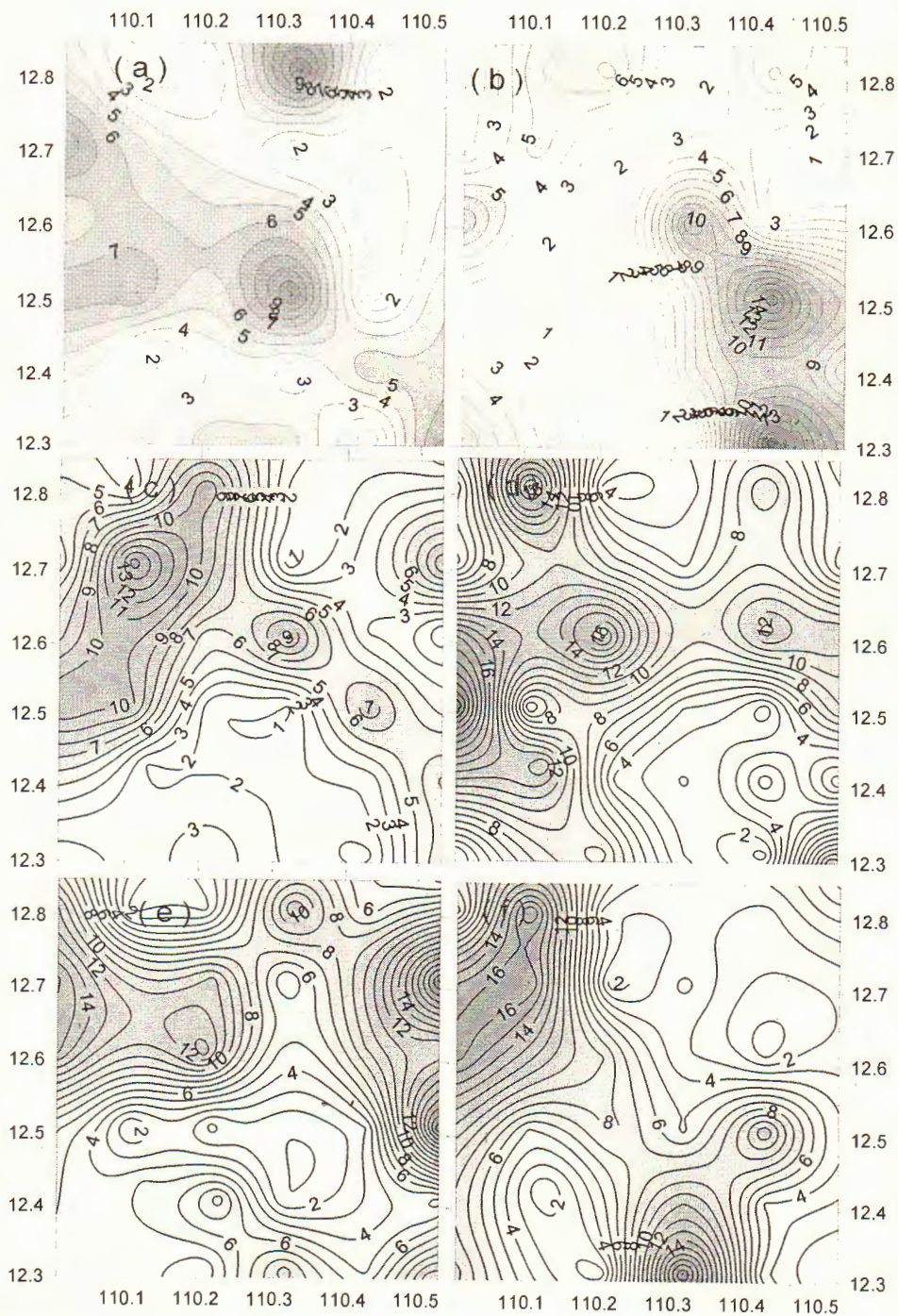
- Hình 4a: đồ thị biểu thị sự biến đổi trung bình của biên độ sóng nội trong vùng nghiên cứu theo phương thẳng đứng, tại thời điểm  $t = 0$  giây.

- Hình 4b: đồ thị biểu thị sự biến đổi trung bình của biên độ sóng nội trong vùng nghiên cứu theo phương thẳng đứng, tại thời điểm  $t = 3600$  giây.

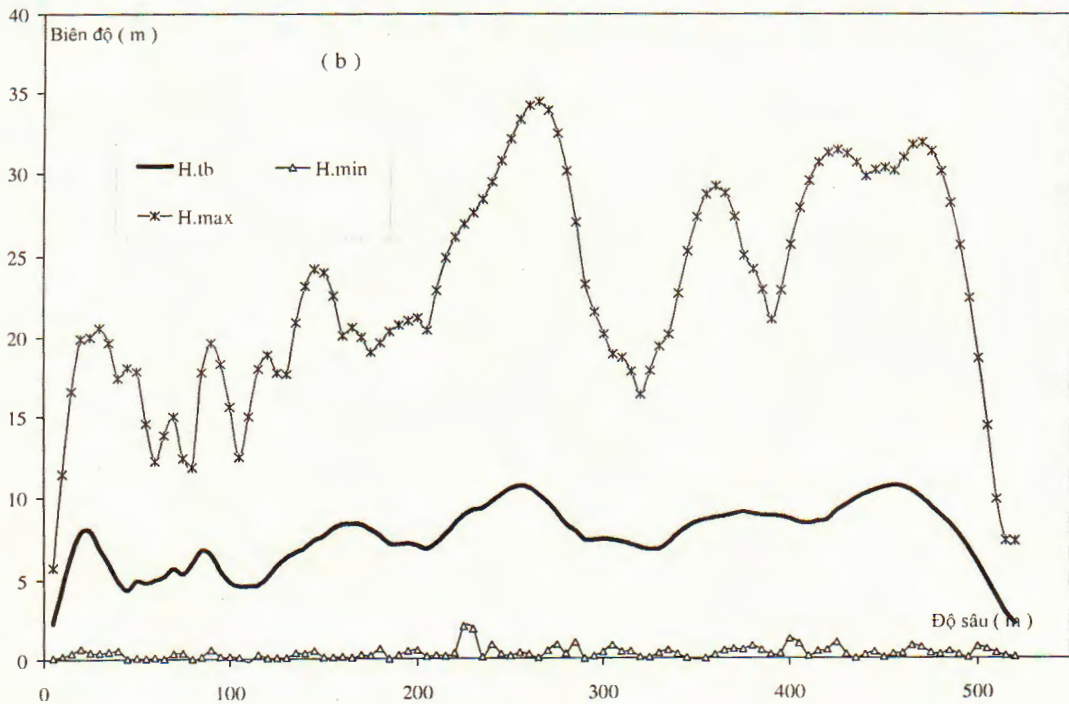
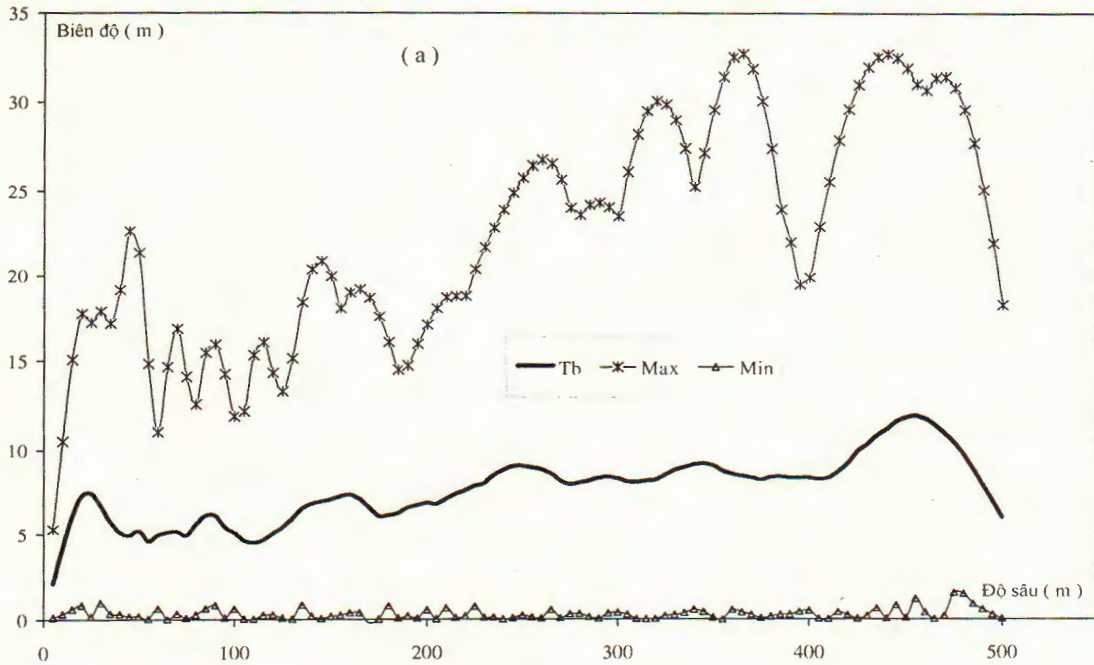
- Hình 5a và 5b: Các đồ thị biểu thị sự biến đổi của biên độ sóng nội trong thời gian và không gian tại một số trạm tiêu biểu ở vùng nghiên cứu ( trạm 190 và trạm 210 ).



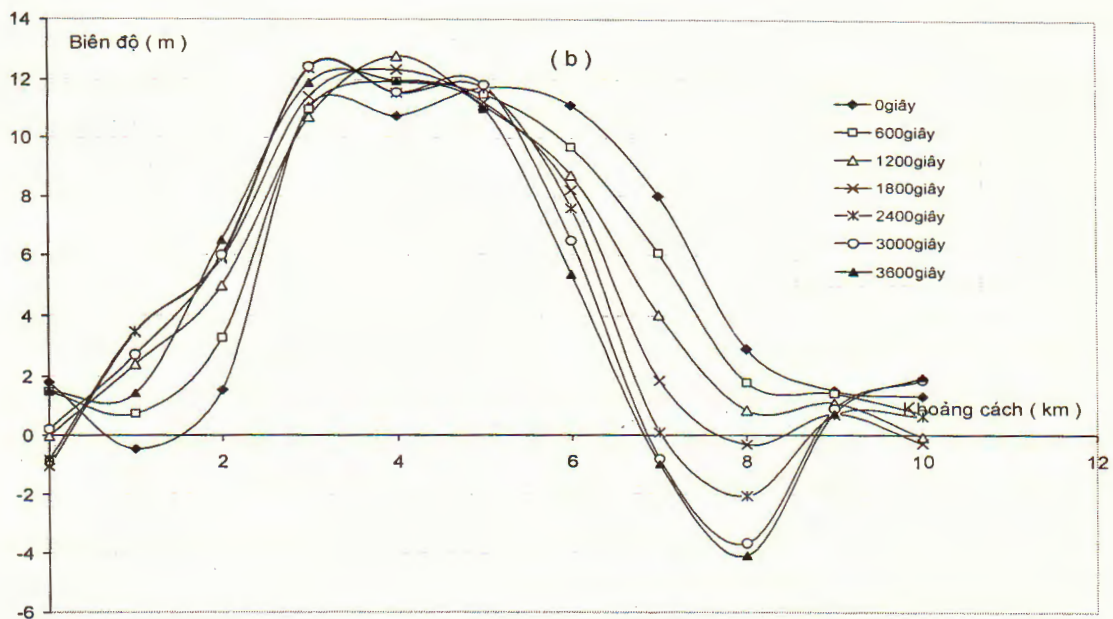
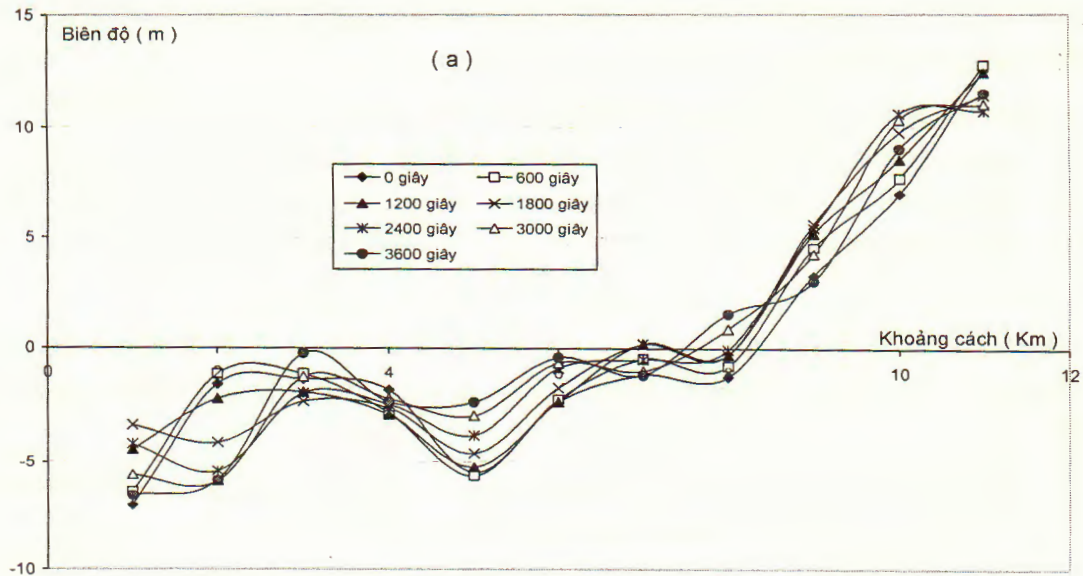
**Hình 2.** Trường biên độ sóng nội (m) tại các tầng: (a)-10m; (b)-50m; (c)-100m; (d)-150m; (e)-200m; (f)-300m; (thời gian  $T=0h$ ). Thời gian khảo sát: tháng 4/1981



**Hình 3.** Trường biên độ sóng nội tại các tầng: (a)-10m; (b)-50m; (c)-100m; (d)-150m; (e)-200m; (f)-300m; (sau 1 giờ dịch chuyển). Thời gian khảo sát: tháng 4/1981



**Hình 4.** Sự biến đổi của biên độ sóng nội trung bình (  $H_{tb}$  ), cực đại (  $H_{max}$  ), cực tiểu (  $H_{min}$  ) ( a: tính toán vào thời điểm  $T=0h$ ; b: tính toán cho  $T=1h$  )



**Hình 5.** Biến đổi biên độ sóng trong không gian và thời gian tại tầng 50m: tại trạm 190 (a) và trạm 210 (b)

Từ việc phân tích các hình trên, có thể rút ra những nhận xét sau đây :

- Như vậy, từ hình 2 và hình 3 có thể nhận thấy, biên độ của sóng nội trong quá trình dịch chuyển luôn luôn biến đổi trong không gian và thời gian và có thể đạt giá trị từ 1 đến

35m ( tức là độ cao từ 2-70m ). Theo phương thẳng đứng, biên độ sóng nội khi càng xuống các tầng sâu càng có giá trị lớn hơn.

- Quy luật biến đổi trên cũng được thể hiện rõ nét hơn, khi giá trị của biên độ sóng nội được tính trung bình cho toàn vùng nghiên cứu, theo các tầng, từ tầng 10m đến 550m. Từ hình 4a và 4b, nhận thấy rằng, biên độ trung bình và cực đại của sóng nội có xu thế tăng lên theo độ sâu khá rõ nét và có thể đạt cực đại 30-35m, tại các tầng 250m, 350m và 450m.

- Từ hình 5a và 5b có thể nhận thấy chi tiết hơn về sự biến đổi của biên độ sóng nội tại tầng 50m theo khoảng cách ( từ 0km đến 10km ) và theo thời gian ( từ 0 giây đến 3600 giây ).

- Các kết quả tính toán và dự báo biên độ sóng nội dựa trên phương pháp tính này cho kết quả khá tương đồng với các kết quả tính toán áp dụng bằng phương pháp đánh giá gián tiếp biên độ sóng nội dựa trên về mức độ mức độ đánh giá sự dịch chuyển của đường đẳng trị nhiệt độ theo số liệu đo tại trạm liên tục nhiều ngày với khoảng khoảng đo qua 10 phút/lần [1,2,3].

- Như vậy, thông qua các kết quả tính toán có thể rút ra nhận xét và đánh giá chung về khả năng tồn tại và sự lan truyền của sóng nội ở vùng biển Việt Nam là một hiện tượng động lực phổ biến và khá rõ nét.

#### IV. KẾT LUẬN

- Sóng nội ở vùng biển Việt Nam là một hiện tượng động lực rất phức tạp và luôn luôn biến đổi trong quá trình lan truyền trong không gian và thời gian. Biên độ sóng nội trung bình và cực đại trong vùng biển nghiên cứu có quy luật tăng dần theo độ sâu. Biên độ sóng nội có thể đạt cực đại 35-40m tại các độ sâu 250, 350 và 450m.

- So sánh với các kết quả tính toán bằng các phương pháp khác cho thấy, chúng có giá trị gần tương đương nhau, điều này cho phép nói rằng, việc áp dụng bước đầu phương pháp giải bài toán giá trị riêng và mode sóng nội dựa trên các nguồn số liệu nhiệt-muối đã cho kết quả có thể chấp nhận được.

- Sự tồn tại sóng nội ở vùng biển Việt Nam có ảnh hưởng đáng kể đến các quá trình Hải dương học khác. Do đó có thể lưu ý rằng trong khi tiến hành nghiên cứu các hiện tượng Hải dương học khác, đặc biệt hiện tượng lan truyền sóng âm trong biển, chúng ta cần phải xem xét thận trọng các kết quả nghiên cứu, vì có thể bị ảnh hưởng của hiệu ứng sóng nội gây nên.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Nguyễn Bá Xuân, 2005:** Báo cáo tổng kết nghiên cứu về phần sóng nội của đề tài KC-09-18 ( Tài liệu lưu hành nội bộ ).
2. **Nguyễn Bá Xuân, Trần văn Chung, 2007:** Tính toán biên độ và phổ năng lượng sóng nội ở vùng biển Việt Nam. Tạp chí KH và CN biển, T7 ( 2007 ), số 2, Tr. 1-11.
3. **Nguyễn Bá Xuân, Trần văn Chung, 2007:** Tính toán biên độ và nghiên cứu sự ảnh hưởng của sóng nội đến vận tốc trường thủy âm vùng biển Việt Nam. Báo cáo tóm tắt Hội thảo Khoa học Quốc gia “Biển Đông-2007 ), kỷ niệm 85 năm thành lập Viện Hải dương học.
4. **Durran, D. R., 1999,** “Numerical methods for Wave Equations in Geophysical Fluid Dynamics”, Springer, 465pp
5. **Fofonoff, P. and Millard, R. C. Jr, Unesco 1983,** “Algorithms for computation of fundamental properties of seawater”, Unesco Tech. Pap. in Mar. Sci\_, No. 44, 53 pp
6. **Gill, A.E., 1982,** “Atmosphere– Ocean Dynamics”, Academic Press:NewYork, 579pp
7. **John R. Hunter, 2004,** “Physical Oceanography”, Tasmanian Partnership for Advanced Computing, University of Tasmania, 165pp
8. **Krishna Kumar, G.V. and Balasubramanian, P., 2005,** “IWAVE: an ocean simulation model for internal waves”, Research Communications, Current Science, Vol. 89, No. 11, 10 December 2005, 1927-1932pp
9. <http://www.npl.co.uk/acoustics/techguides/soundseawater/content.html#UNESCO>

# STUDY ON THE CHANGE OF THE INTERNAL WAVE AMPLITUDES IN A DISPLACEMENT PROCESS IN THE VIETNAMESE WATERS

NGUYEN BA XUAN AND TRAN VAN CHUNG

*Summary: In this paper some results of calculating and predicting a displacement of the internal wave amplitudes on basis of using the method of solving the equations of the Eigenvalues and Modes of the internal wave are presented. The results show that: the internal waves always displace in space and time with the amplitudes changed from 1m to 35m. The internal waves in the study region have a tendency of increasing the average amplitudes with the depth and reach the maximum values in the layers of 250m, 350m and 450m.*

**Ngày nhận bài:** 20 - 03 - 2008

**Địa chỉ:** Viện Hải dương học

**Người nhận xét:** TS. Lê Đình Mậu