



Một số kết quả khảo sát trường tốc độ âm biển đông

Bởi:

PGS. TS. NGŨT Phạm Văn Huân
phamhoanglam

Phạm Văn Huân, Phạm Hoàng Lâm

Trường đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG Hà Nội

Tóm tắt: Cơ sở dữ liệu về nhiệt độ và độ muối biển Đông gồm 137 181 trạm quan trắc được khai thác để tính tốc độ âm trong nước biển. Vùng biển Đông giới hạn từ 109°KĐ đến 120°KĐ , từ 2°VB đến 24°VB được chia thành lưới theo bước $0,5^{\circ}$ trên các phương kinh tuyến và vĩ tuyến. Tại mỗi điểm nút lưới đã tính phân bố thẳng đứng trung bình tháng của tốc độ âm. Từ đó xây dựng các mặt cắt thẳng đứng của tốc độ âm ứng với các vĩ tuyến 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11 và 10°VB . Kết quả phân tích phân bố tốc độ âm theo mặt rộng biển cho thấy trong thời kỳ mùa đông, thí dụ tháng 1, sự vận chuyển nước do dòng chảy lạnh mùa đông làm giảm tốc độ âm trong lớp nước mặt ở phần phía bắc và đông bắc biển Đông.

Trên toàn vùng khơi biển Đông quan sát thấy tầng cực tiểu chính của tốc độ âm (trục kênh âm ngầm đại dương) tại độ sâu biến thiên trong khoảng 1000 - 1200m, ở trung tâm các vùng khơi có thể tới sâu hơn, 1300 -1400 m.

Kết quả tính đường đi tia âm đối với trường hợp nguồn tại độ sâu 30, góc mở nguồn 30° cho bán kính vùng tối âm trên mặt khoảng 50 m, bán kính ngoài của vành khuyên sáng âm gần nguồn trên mặt bằng khoảng 300 đến 500 m.

Các đặc trưng âm học có thể được sử dụng để chỉ thị các khối nước, nghiên cứu các dòng chảy, sóng mặt và sóng ngầm, băng biển. Các phương pháp âm học được áp dụng rộng rãi khi giải quyết nhiều bài toán ứng dụng. Đó là việc tìm và khai thác vùng tập trung cá, tìm kiếm khoáng sản có ích trên đáy biển và đại dương, đảm bảo hàng hải và dẫn tàu... Đặc biệt phải kể tới việc sử dụng rộng rãi các phương pháp âm học trong lực lượng hải quân.

Lần đầu tiên kênh âm ngầm được phát hiện năm 1946 trong thời gian khảo sát ở biển Nhật Bản, sau đó được các nhà khoa học Nga L.M. Brekhovskich và L.Đ. Rozenberg giải thích. Giá trị thực tiễn của kênh âm ngầm rất to lớn. Hiện tượng truyền âm đi xa bên trong kênh âm ngầm là cơ sở của thủy âm học hiện đại.

Ngoài liên lạc và phát tín hiệu dưới nước, kênh âm ngầm có thể được sử dụng để giải quyết trực tiếp những bài toán hải dương học. Thí dụ, xây dựng hệ thống trắc đạc âm học, cho phép tiến hành quan trắc liên tục về trạng thái và chuyển động của các khối nước theo những đặc trưng tích phân của các tín hiệu cùng lúc trên những vùng nước rộng lớn của đại dương và biển.

Trong bài này, xuất phát từ cơ sở dữ liệu phong phú về các đặc trưng hải dương học cơ bản như nhiệt độ và độ muối, đã khảo sát những đặc điểm chính của trường tốc độ âm trong biển Đông, tính toán bức tranh khúc xạ tia âm trong nước biển để rút ra một số đặc trưng chủ yếu của sự truyền âm trong biển này.

1. Cách thức xử lý số liệu nhiệt độ và độ muối

Cơ sở dữ liệu về các đặc trưng vật lý cơ bản của nước biển Đông là nhiệt độ và độ muối gồm 137 184 trạm quan trắc đã được thu thập và kiểm tra để loại trừ những sai số thô. Vùng biển được khảo sát giới hạn từ vĩ tuyến 2 đến 24°VB, từ 99 đến 120°KD được chia thành những ô vuông có cạnh 0,5° theo các phương kinh tuyến và vĩ tuyến. Tại mỗi điểm nút của miền lưới này đã tiến hành nội suy tuyến tính giá trị nhiệt độ và độ muối về 45 tầng sâu, trong đó ở các lớp gần mặt biển có số tầng sâu mau hơn so với các lớp dưới sâu. Như vậy nhận được hai ma trận ba chiều về nhiệt độ và độ muối cho từng tháng trong năm.

2. Phương pháp tính tốc độ âm trong nước biển và quy trình xây dựng đường đi của tia âm

Xuất phát từ các trường nhiệt độ và độ muối trung bình tháng nhiều năm trên đây đã xác định tốc độ âm theo một trong những công thức thực nghiệm có độ chính xác cao và phổ dụng là công thức của Wilson W. D:

$$C = 1449,14 + C_T + C_S + C_P + C_{PTS}, \quad (1)$$

trong đó C tính bằng m/s; các hiệu chỉnh do nhiệt độ khác với 0°C (C_T), độ muối khác với 35‰ (C_S), áp suất khác với áp suất khí quyển (C_P) và hiệu chỉnh tổng hợp (C_{PTS}) được xác định theo các công thức:

$$C_T = 4,5721T - 4,4532 \cdot 10^{-2}T^2 - 2,60445 \cdot 10^{-4}T^3 + 7,9851 \cdot 10^{-6}T^4;$$

Một số kết quả khảo sát trường tốc độ âm biển đông

$$C_S = 1,39799(S - 35) + 1,69202 \cdot 10^{-3}(S - 35)^2;$$

$$C_P = 1,60272 \cdot 10^{-3}P + 1,0268 \cdot 10^{-6}P^2 + 3,5216 \cdot 10^{-9}P^3 - 3,3603 \cdot 10^{-12}P^4;$$

$$C_{PTS} = (S - 35)(-1,1244 \cdot 10^{-2}T + 7,7711 \cdot 10^{-7}T^2 + 7,7016 \cdot 10^{-5}P - 1,2943 \cdot 10^{-7}P^2 +$$

$$3,1580 \cdot 10^{-8}PT + 1,5790 \cdot 10^{-9}PT^2) + P(-1,8607 \cdot 10^{-4}T + 7,4812 \cdot 10^{-6}T^2 +$$

$$4,5283 \cdot 10^{-8}T^3) + P^2(-2,5294 \cdot 10^{-7}T + 1,8563 \cdot 10^{-9}T^2) + P^3(-1,9646 \cdot 10^{-10}T).$$

trong đó P – tính bằng kg/cm^2 .

Bằng công thức này, đã nhận được phân bố thẳng đứng của tốc độ âm tại tất cả các điểm thuộc vùng nước trên biển Đông, khoảng trên một ngàn điểm. Trong mục 3 sẽ rút ra một số nhận xét về đặc điểm phân bố tốc độ âm ở biển Đông trên cơ sở phân tích biến thiên không gian của trường tốc độ âm tại những mặt cắt thẳng đứng điển hình ở biển Đông.

Với mỗi trắc diện thẳng đứng của tốc độ âm, đã tiến hành tính toán sự khúc xạ tia âm trong nước biển. Quy trình tính đường đi của tia âm thực hiện trên cơ sở giả thiết rằng sự khúc xạ tia âm chỉ xảy ra trong mặt phẳng thẳng đứng. Giả thiết toàn bề dày nước biển được chia thành nhiều lớp (45 lớp), trong phạm vi mỗi lớp tốc độ âm biến thiên tuyến tính với độ sâu, tức gradient thẳng đứng của tốc độ âm trong mỗi lớp không đổi. Trong trường hợp này, đường đi của tia âm sẽ là đường tròn với bán kính R xác định theo công thức

$$R = \frac{C_o}{|\sigma_c| \cos \alpha}, \quad (2)$$

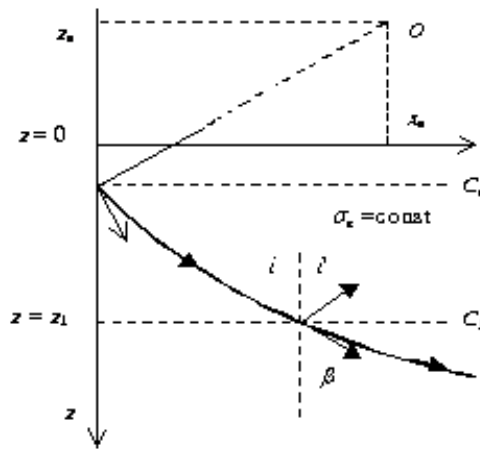
và tâm có các tọa độ:

$$x_o = \frac{C_o}{\sigma_c} \text{tg} \alpha; \quad z_o = -\frac{C_o}{\sigma_c}, \quad (3)$$

trong đó C_o – tốc độ âm tại nguồn phát; σ_c – gradient tốc độ âm theo phương thẳng đứng; α – góc ra của tia âm so với phương ngang, tức trục x .

Dưới đây trình bày quy trình tính khúc xạ tia âm trong môi trường nước biển do chúng tôi xây dựng để thực hiện tính toán tự động bức tranh khúc xạ tia âm trong nước biển trong điều kiện bất đồng nhất tốc độ âm trên phương thẳng đứng (hình 1).

Một số kết quả khảo sát trường tốc độ âm biển đông



Đường đi của tia âm trong nước biển phân lớp

Phương trình quỹ đạo đường tròn của tia âm trong lớp từ máy phát đến độ sâu z_1 sẽ có dạng:

$$(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2 = R^2.$$

Sau khi thế các giá trị của x_0, z_0, R vào phương trình này và rút gọn ta được

$$x^2 - \left(2\frac{C_0}{\sigma_c} \operatorname{tg}\alpha\right)x + z^2 - 2\frac{C_0}{\sigma_c}z = 0. \quad (4)$$

Thế giá trị độ sâu z_1 vào tọa độ z trong phương trình trên ta nhận được phương trình đại số bậc hai đối với tọa độ x dưới dạng

$$x^2 - \left(2\frac{C_0}{\sigma_c} \operatorname{tg}\alpha\right)x + z_1\left(z_1 - 2\frac{C_0}{\sigma_c}\right) = 0. \quad (5)$$

Muốn tìm tọa độ ngang của giao điểm của tia âm với biên phân cách hai lớp z_1 ta phải giải phương trình (5) đối với ẩn số là x . Có thể xảy ra ba trường hợp sau đây:

a) Khi phương trình (5) có hai nghiệm riêng biệt, tức có hai giá trị của x , ta cần chọn lấy một nghiệm x_1 phù hợp: thí dụ, nếu đường tròn quỹ đạo tia âm quay bề lõm lên trên thì chọn lấy giá trị nhỏ nhất trong hai nghiệm, đó sẽ là giao điểm thứ nhất của tia âm khi đi từ trên xuống tới biên phân cách z_1 .

b) Khi phương trình có một nghiệm kép, giá trị nghiệm x_1 chính là tiếp điểm của tia âm với biên phân cách z_1 . Trong trường hợp này, tia âm phản xạ toàn phần tại biên phân cách z_1 và tiếp tục đi lên phía trên.

c) Nếu phương trình vô nghiệm, điều đó có nghĩa rằng tia âm đã phản xạ toàn phần tại một độ sâu nhỏ hơn so với độ sâu z_1 đang xét. Trong trường hợp này, phải tìm độ sâu z_1 nhỏ hơn, tại đó xảy ra phản xạ toàn phần của tia âm. Bằng giải tích, điều này có thể thực

Một số kết quả khảo sát trường tốc độ âm biển đông

hiện bằng cách khảo sát biệt số của phương trình (5), tức tìm giá trị z_1 sao cho thoả mãn đẳng thức:

$$z_1^2 - 2\frac{C_o}{\sigma_c}z_1 - \left(\frac{C_o}{\sigma_c}\text{tg}\alpha\right)^2 = 0. \quad (6)$$

Thấy rằng có thể có hai giá trị của z_1 thoả mãn đẳng thức này và người ta phải chọn giá trị nào gần với độ sâu biên phân cách z_1 đã cho.

Nếu tia âm tiếp tục đi xuống lớp dưới, thì góc tới i của tia âm tại biên phân cách z_1 sẽ được xác định bằng cách tính trị số tang của góc nghiêng của tiếp tuyến với đường tròn quỹ đạo tia âm (4) tại điểm (x_1, z_1) . Lấy đạo hàm $\frac{dz}{dx}$ theo phương trình (4), ta được công thức tính góc giữa trục x và tia âm tại điểm (x_1, z_1) như sau:

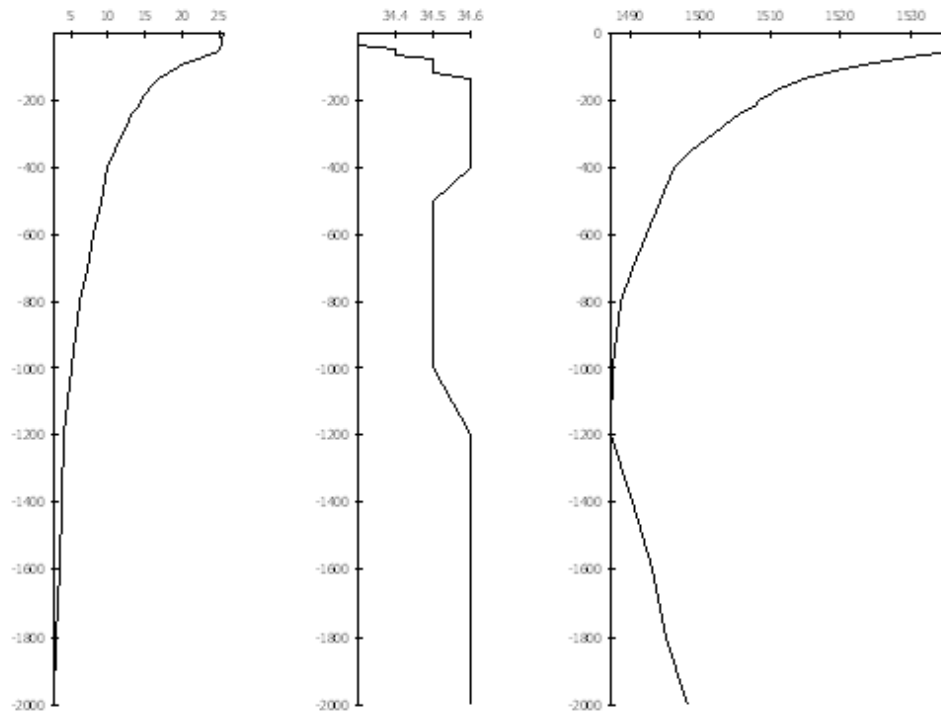
$$\begin{aligned} \text{tg}\alpha_1 &= \left. \frac{dz}{dx} \right|_{\substack{x=x_1 \\ z=z_1}} \\ &= \frac{x_1 - \frac{C_0}{\sigma_0}\text{tg}\alpha}{z_1 - \frac{C_0}{\sigma_0}} \end{aligned} \quad (7)$$

Từ điểm có tọa độ (x_1, z_1) ta tiếp tục tính quỹ đạo tia âm trong lớp từ tầng quan trắc z_1 đến tầng quan trắc z_2 theo quy trình hoàn toàn tương tự như trên và quá trình tính lặp lại cho đến tầng cuối cùng của trạm quan trắc hoặc tới đáy.

3. Một số đặc điểm phân bố tốc độ âm ở vùng khơi biển Đông và các đặc trưng đường đi của tia âm

Trên hình 2 dẫn thí dụ về phân bố thẳng đứng của nhiệt độ, độ muối và tốc độ âm tại một điểm thuộc vùng khơi biển Đông trong tháng Giêng. Sự biến thiên mạnh của nhiệt độ trong lớp nê-m nhiệt mùa quyết định sự giảm tốc độ âm trong lớp trên của biển từ mặt tới khoảng độ sâu 700 - 1000 m.

Một số kết quả khảo sát trường tốc độ âm biển đông



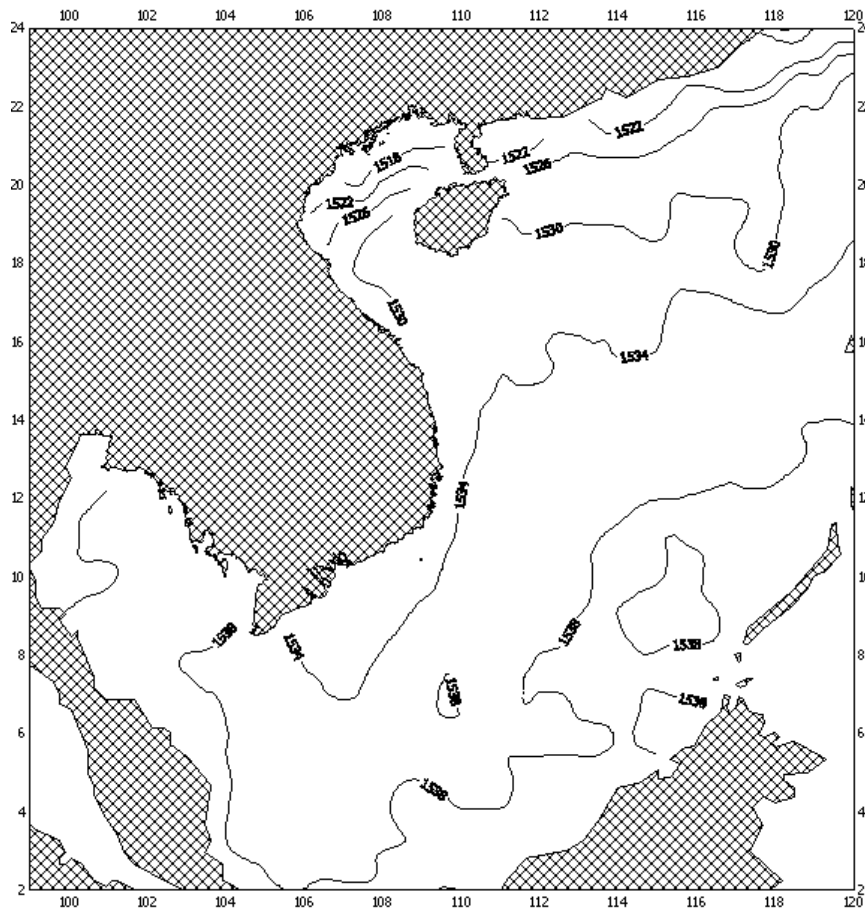
Phân bố thẳng đứng nhiệt độ (a), độ muối (b) và tốc độ âm (c) tại điểm 10,5°KĐ - 13,5°VB

Độ muối thường không có vai trò đáng kể làm biến thiên tốc độ âm. Tại một số điểm, các tháng mùa đông, do ảnh hưởng của lưỡi nước lạnh, mặn từ phía đông bắc biển xâm nhập vào biển gây nên cực đại cục bộ của độ muối tại độ sâu vài trăm mét (xem hình 2.b) chỉ làm cho phân bố tốc độ âm ít nhiều thay đổi trong lớp này.

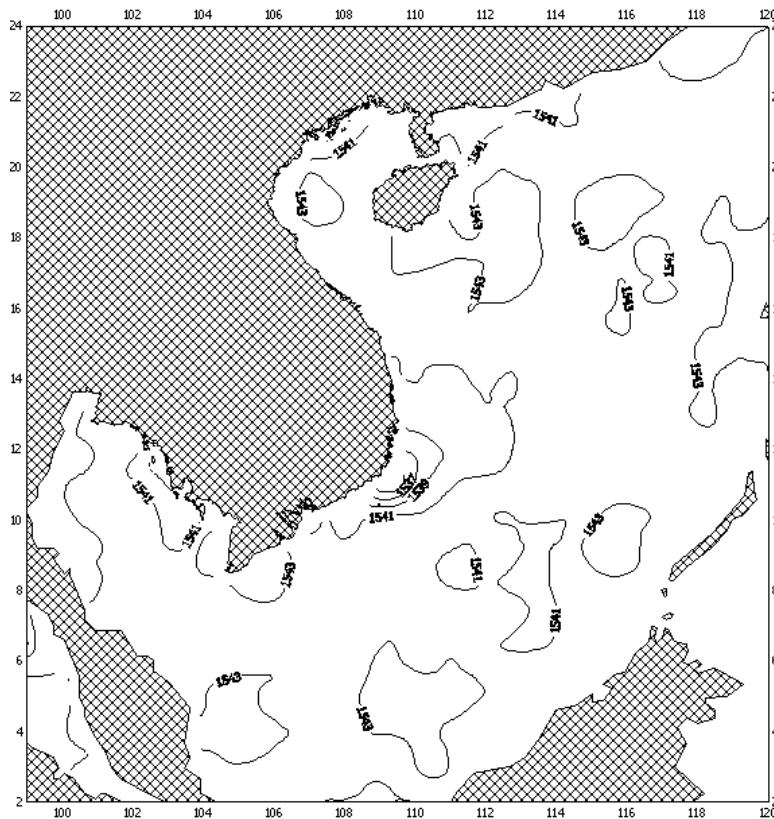
Vai trò của nhiệt độ mặt biển thể hiện ở sự phân hóa tốc độ âm theo đới bắc nam thể hiện khá rõ vào mùa đông. Trong các tháng mùa đông, dòng chảy lạnh góp phần hình thành các đường đẳng trị tốc độ âm có dạng lưỡi xâm nhập từ phía bắc và đông bắc biển (hình 3a). Trong mùa hè, trường tốc độ âm mặt biển đồng nhất hơn, nhưng tồn tại một vùng thiên giảm tốc độ âm trùng với vùng hoạt động của nước trôi gần bờ Nam Trung Bộ, Việt Nam (hình 3b).

Bắt đầu từ khoảng độ sâu 700 - 800 m, hoặc 1000 - 1200 m, khi nhiệt độ không còn biến thiên mạnh theo độ sâu, thì vai trò của áp suất bắt đầu làm tăng tốc độ âm. Vì vậy, tại vùng khơi biển Đông, thường quan sát thấy cực đại chính của tốc độ âm ở các độ sâu khoảng từ 700 đến 1200 m phù hợp với quy luật chung của vùng nhiệt đới Thái Bình Dương. Hình 5 là thí dụ về bản đồ phân bố độ sâu cực tiểu chính của tốc độ âm (trục kênh âm ngầm đại dương).

Một số kết quả khảo sát trường tốc độ âm biển Đông



Phân bố tốc độ âm trên mặt biển Đông, tháng 1

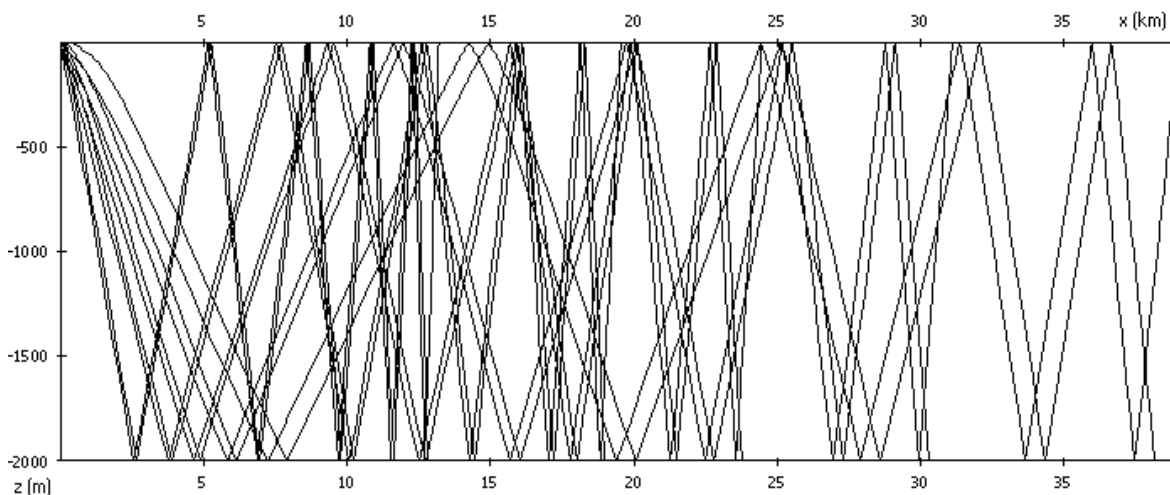


Phân bố tốc độ âm trên mặt biển Đông, tháng 7

Trên hình 4 biểu diễn bức tranh đường đi của tia âm tính cho trường hợp góc mở các tia bằng 30, 20, 15, 10, 5° so với phương ngang trong hai trường hợp: nguồn phát ở gần mặt (độ sâu 30 m) (hình 4a) và nguồn phát tại độ sâu cực tiểu chính của tốc độ âm (1000 m) (hình 4b).

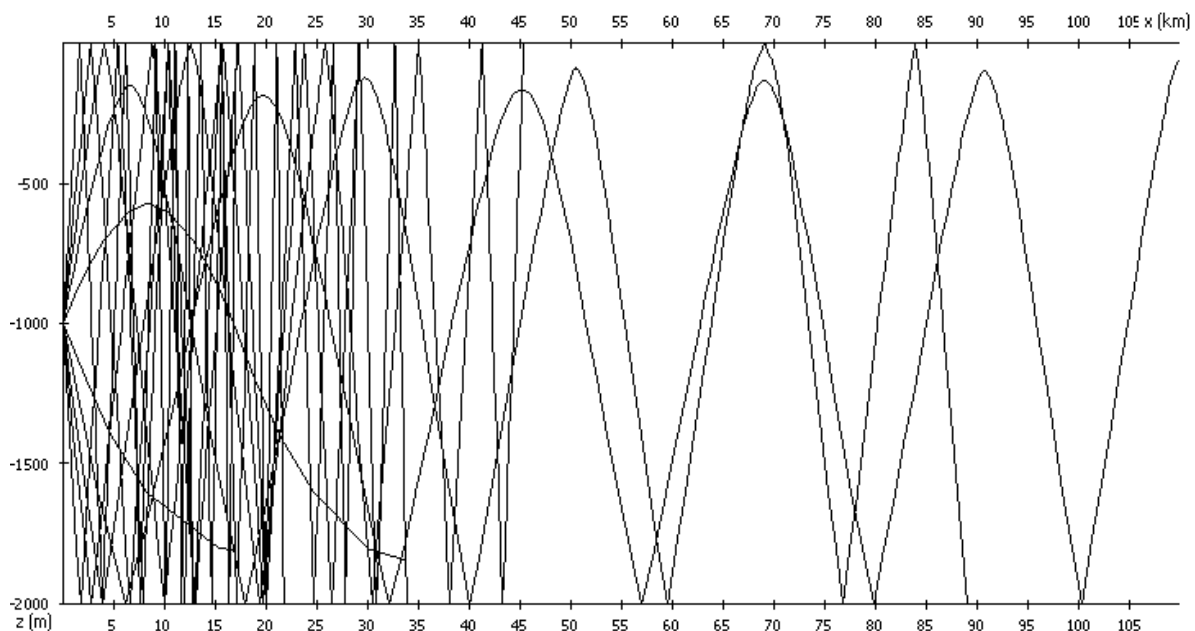
Nếu vẽ chi tiết đường đi của các tia âm trong trường hợp nguồn phát đặt tại độ sâu 30 m, ta nhận thấy rằng trên mặt biển, gần nguồn phát là một vùng tối âm có bán kính khoảng 50 m, còn vùng sáng âm thứ nhất trên mặt biển, gọi là vùng sáng gần nguồn, là một vành khuyên với bán kính ngoài biến thiên từ 300 đến 500 m.

Ta thấy rằng, do độ sâu biển nhỏ hơn so với các độ sâu đại dương và độ muối ở các tầng sâu thường chỉ bằng khoảng giá trị 35‰, nên kênh âm ngầm ở biển Đông thuộc loại kênh với tốc độ âm tại đáy biển nhỏ hơn nhiều so với tốc độ trên mặt biển và biến thiên tốc độ âm theo độ sâu không lớn. Khảo sát đường đi của các tia âm trong trường hợp nguồn ở độ sâu trục kênh âm ngầm và góc mở cực đại 30° so với phương ngang thấy rằng chỉ có các tia với góc ra nhỏ mới có thể có khả năng phản xạ bên trong bề dày nước biển. Phần các tia còn lại thường phản xạ tại đáy và mặt biển với năng lượng giảm đi khá nhiều.



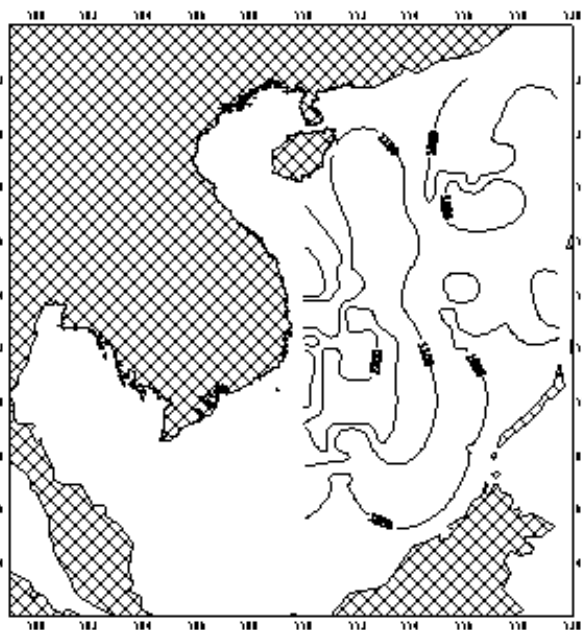
a) Nguồn phát ở độ sâu 30 m

Một số kết quả khảo sát trường tốc độ âm biển đông



b) Nguồn phát ở độ sâu 1000 m (độ sâu cực tiểu chính của tốc độ âm)

Hình 4. Đường đi của các tia âm tại điểm có tọa độ $110,5^{\circ}\text{KĐ} - 13,5^{\circ}\text{VB}$



Phân bố độ sâu cực tiểu chính của tốc độ âm ở biển Đông, tháng 1

Kết luận

Đã khai thác một cơ sở dữ liệu khá đầy đủ về nhiệt độ và độ muối để nhận được những đặc trưng trung bình về trường tốc độ âm và bức tranh truyền âm trong nước ở biển Đông.

Một số kết quả khảo sát trường tốc độ âm biển đông

Với điều kiện biển Đông, nhiệt độ nước có vai trò chính ảnh hưởng tới phân bố không gian của tốc độ âm, gây nên sự phân hóa tốc độ âm lớp gần mặt vào mùa đông với các đường đẳng trị tốc độ âm chạy theo hướng đông bắc - tây nam và có dạng lưỡi. Trong mùa hè yếu tố nước trời lạnh tạo thành một vùng tốc độ âm nhỏ tương đối ở vùng gần ven bờ Nam Trung Bộ.

Tại phần lớn các điểm thuộc vùng khơi biển Đông quan sát thấy cực tiểu chính của tốc độ âm ở các độ sâu 1000 - 1200 m phù hợp với quy luật chung của vùng nhiệt đới Thái Bình Dương. Kênh âm ngầm ở biển Đông thuộc loại kênh với gradient tốc độ âm không lớn và tốc độ âm tại đáy nhỏ hơn nhiều so với tại mặt.

Kết quả tính đường đi tia âm đối với trường hợp nguồn tại độ sâu 30, góc mở của nguồn 30° nhận được bán kính vùng tối âm trên mặt khoảng 50 m, bán kính ngoài của vành khuyên sáng âm gần nguồn trên mặt bằng khoảng 300 đến 500 m.