

TÍNH ĐÀN HỒI PHI TUYẾN ĐỊA CHẤN CỦA VĨA DẦU KHÍ VÀ ỨNG DỤNG THỰC TẾ

TRƯƠNG MINH

Hội KHKT Địa Vật lý Việt Nam

Tóm tắt: Nghiên cứu số liệu trong các giếng dầu khí cho thấy có sự tăng hấp thụ và tán sắc vận tốc pha sóng địa chấn dọc trong vỉa dầu khí. Điều đó được giải thích là do tầng chứa dầu khí thường có thành phần thạch học không đồng nhất và được gọi là môi trường đàn hồi phi tuyến (nonlinear elastic medium). Ngoài ra, còn có nguyên nhân khác là tính chất bất ổn định nhiệt động lực của hỗn hợp phức tạp và sự chuyển đổi pha (khí/chất lỏng) của chất lưu khi có sóng địa chấn truyền qua. Các hiệu ứng này liên quan đến tính đàn hồi phi tuyến địa chấn và có thể được sử dụng trong các giai đoạn khác nhau trong tìm kiếm-thăm dò dầu khí.

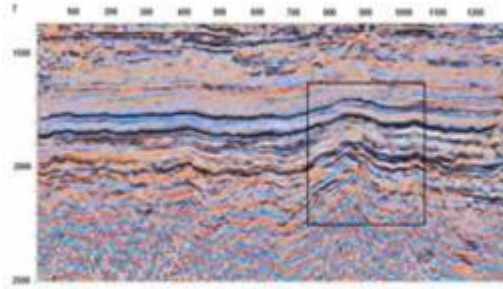
I. MỞ ĐẦU

Trong thăm dò dầu khí, phương pháp thăm dò địa chấn phải đối mặt với một số khó khăn trong công tác phân tích và minh giải số liệu thu thập được. Điều thứ nhất là các vỉa dầu khí được thể hiện trên sóng địa chấn một cách yếu ớt và hình ảnh thường không được rõ ràng. Trong môi trường phân lớp sự tương phản giữa các lớp mạnh mẽ và rõ ràng hơn nhiều, vì vậy địa chấn hình học thường được sử dụng để nghiên cứu cấu trúc địa chất. Điều đó có nghĩa là địa chấn có thể phát hiện các cấu trúc (bẫy) có khả năng tích tụ dầu khí. Còn các chất lưu trong bẫy chỉ có thể được xác định bằng cách khoan thăm dò xuyên qua các cấu trúc này. Điều thứ hai là trong môi trường không phân lớp (ví dụ như trong móng kết tinh phong hoá nứt nẻ, nơi thường có tích tụ dầu khí lớn) phương pháp địa chấn thông thường không đạt hiệu quả tốt. Trong khi đó xuất hiện khả năng sử dụng dữ liệu địa chấn để phát hiện trực tiếp các vỉa dầu khí, hay còn gọi là tìm kiếm “trực tiếp”. Đó là phương pháp dựa trên cơ sở phân tích hiệu ứng đàn hồi phi tuyến địa chấn của vỉa dầu khí. Hướng nghiên cứu này từ lâu đã thu hút sự chú ý của các nhà địa chấn học, trong những năm gần đây đã có một số thành công nhất định trong lĩnh vực này.

Dưới đây tác giả sẽ giới thiệu một số kết quả nghiên cứu ứng dụng phương pháp địa chấn phi tuyến vào tìm kiếm thăm dò dầu khí ở Việt Nam và trên thế giới.

II. TÍNH ĐÀN HỒI PHI TUYẾN ĐỊA CHẤN

Người ta cho rằng nguyên nhân hiện tượng đàn hồi phi tuyến chủ yếu là do tán sắc năng lượng dao động địa chấn trong môi trường xốp, liên quan đến sự ma sát của chất lỏng trên thành lỗ hổng khi sóng địa chấn truyền qua. Theo thuyết Frenkel-Bio-Nicolaievskij [6] thì những kết quả nêu trên có thể giải thích bởi độ nhớt khác nhau của dầu, khí và nước. Tính chất rất đặc trưng của mỏ dầu khí là hiện tượng chuyển pha của hỗn hợp dầu khí phức tạp. Hỗn hợp này thể hiện tính không ổn định nhiệt trong quá trình chuyển đổi trạng thái pha của chất lưu khi có tác động cơ học. Sự trao đổi vật chất trong lúc chuyển pha do tác động địa chấn làm mất năng lượng sóng, tức là bị hấp thụ [3]. Ngoài ra còn ghi nhận hiện tượng “phát xạ địa chấn” (Seismic emission) [1], tức là phát sinh vỉa do dao động vi địa chấn và có thể sử dụng để phát hiện vỉa dầu khí. Ở Hình 1 dẫn một ví dụ vùng phát xạ địa chấn trên lát cắt có cấu tạo chứa dầu khí. Nhưng hiệu ứng phát xạ địa chấn không có khả năng phân chia được các vỉa ở các chiều sâu khác nhau, tức là không phân dị theo chiều sâu, nhưng nó có thể hữu ích trong tổ hợp thăm dò địa vật lý. Đặc tính vượt trội của nó là khả năng sử dụng để nghiên cứu móng kết tinh và môi trường không phân lớp khác.



Hình 1. Hiện tượng phát xạ địa chấn.

Một hiệu ứng khác là gia tăng dòng dầu và giảm ngập nước đã làm xuất hiện một hướng phát triển mới - địa chấn phi tuyến [3]. Sự trao đổi vật chất trong khi chuyển đổi pha cần có thời gian và nó chỉ xuất hiện với dao động địa chấn tần số thấp.

Trong môi trường không phân lớp (ví dụ, trong móng kết tinh), nói chung địa chấn không áp dụng được khi trong các vỉa dầu khí độ tương phản sóng địa chấn yếu và bức tranh địa chất không rõ. Nhưng sử dụng dữ liệu địa chấn có khả năng phát hiện trực tiếp các vỉa dầu khí. Hướng nghiên cứu này từ lâu đã thu hút sự chú ý của các nhà địa chấn học, và trong những năm gần đây đã có một số thành công.

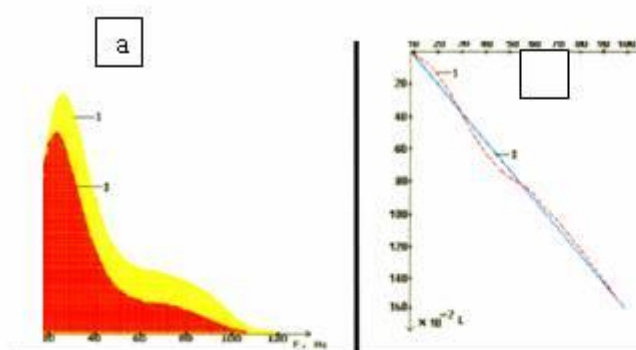
III. HẤP THỤ SÓNG ĐỊA CHẤN

Trong những năm 50, Medovsky I.G. [2] đã đưa ra giải thích mới cho các dữ liệu thăm dò địa vật lý trực tiếp, đã chỉ ra dấu hiệu của các vỉa dầu khí là vùng "mù" địa chấn, tức là không có phản xạ. Sau này, khi chuyển sang kỹ thuật số và xử lý bằng máy tính, vùng mù trên lát cắt địa chấn được giải thích là do hấp thụ sóng trong vỉa dầu.

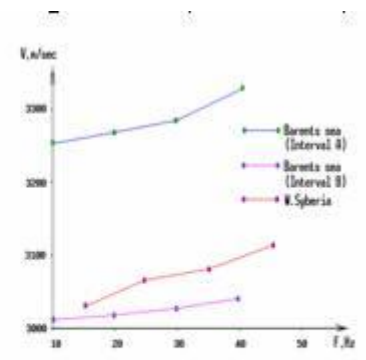
IV. PHÂN TÍCH SỐ LIỆU VSP

Hấp thụ được xác định bằng sóng tới theo phương pháp tương quan phổ (Hình 2). Ở đây ta thấy sự phụ thuộc của hấp thụ vào tần số gần như tuyến tính (Hình 2b).

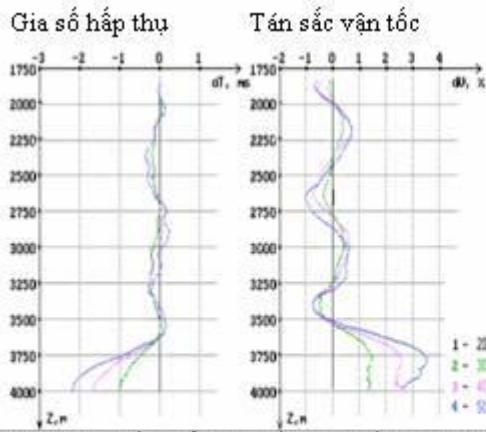
Sai số đo gia số hấp thụ có thể khoảng 0,1 %, còn tán sắc vận tốc khoảng 1 %. Cả hai dị thường này chỉ ra một cách chắc chắn các vỉa sản phẩm. Bức tranh này được quan sát thấy trong tất cả các giếng khoan được nghiên cứu (Hình 3, 4, 5).



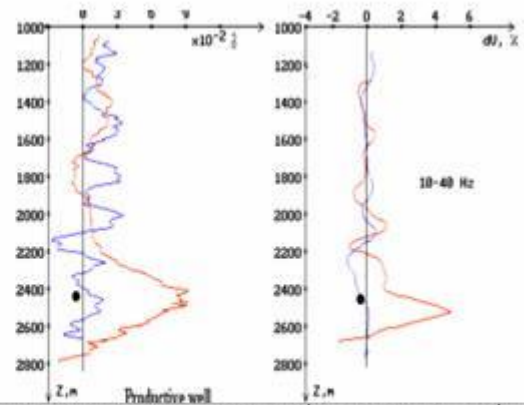
Hình 2. Xác định hấp thụ theo tương quan các phổ: a) Phổ biên độ địa chấn ở trên (1) và dưới (2) vỉa dầu. b) Sự phụ thuộc của hấp thụ vào tần số.



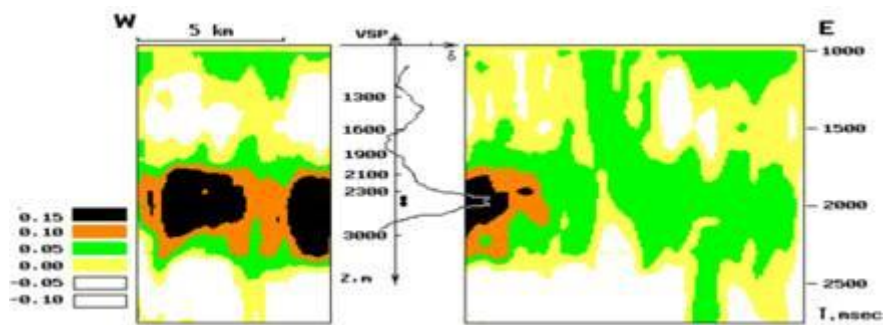
Hình 3. Tán sắc tốc độ pha theo tần số ở biển Barent, Siberi.



Hình 4. Biến đổi tán sắc vận tốc theo độ sâu và theo tần số: 20 Hz ; 30 Hz; 40 Hz; 50 Hz.



Hình 5. Tương quan hấp thụ và tán sắc vận tốc -Giếng khai thác; -Giếng khô; •Khoảng khai thác.

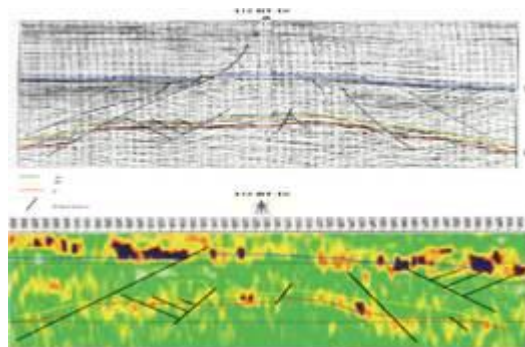


Hình 6. Hấp thụ trong các vỉa theo số liệu VSP và địa chấn trên mặt.

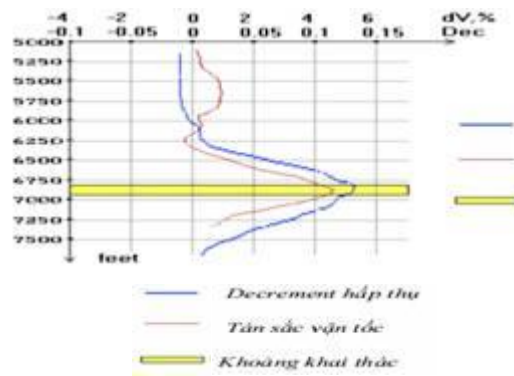
V. PHÂN TÍCH TÀI LIỆU ĐỊA CHẤN TRÊN MẶT

Xác định hấp thụ bằng phương pháp tương quan phổ trong khoảng thời gian lớn và phân tích tán sắc vận tốc bằng cách phân tích tốc độ ĐSC trên một số bộ lọc hẹp. Những dữ liệu này được so sánh với số liệu thử vỉa trong các giếng.

Trong Hình 6 đối sánh số liệu hấp thụ theo tuyến địa chấn và phân bố chúng trong giếng khoan. Trên Hình 7 trình bày các kết quả nghiên cứu các cấu trúc lớn nhất ở thềm lục địa. Trên lát cắt hấp thụ ta không thấy có sự tăng hấp thụ sóng ở độ sâu nhỏ ở cánh rìa.



Hình 7. Lát cắt địa chấn (trên) và mặt cắt hấp thụ (dưới).



Hình 8. Phát hiện vỉa bị bỏ qua trong giếng khoan "khô" (Colombia).

Một giếng khoan được cho là "khô" trên một mỏ nổi tiếng ở Colombia được xử lý và đã phát hiện cả hai dị thường mạnh nằm trên tầng sản phẩm. Sau đó các đoạn dị thường đã được thử vỉa lại và đã cho dòng dầu thương mại. Như vậy đã tìm thấy vỉa dầu khí mới trong mỏ đã cạn kiệt (Hình 8).

Do cần thiết phải làm trơn các số đo nên khả năng phân dị theo chiều đứng không được cao, song vẫn giữ được khả năng nghiên cứu mỏ có nhiều tầng sản phẩm.

Phía trên một vỉa dầu mỏng có tầng bão hòa khí 600 m, trong đó có độ hấp thụ nhỏ hơn nhiều so với vỉa dầu. Bản đồ xây dựng theo tầng dầu nói trên cho thấy kích thước vỉa và có thể đặt giếng khoan (Hình 9).

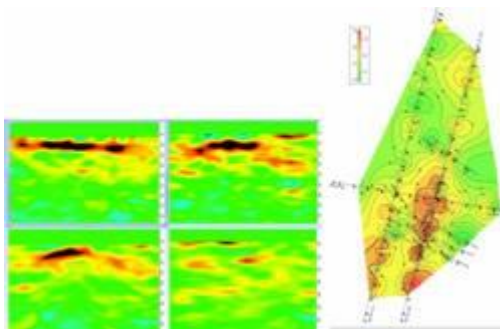
Một số kết quả nghiên cứu hấp thụ trên tài liệu địa chấn ở nước ngoài được trình bày ở các Hình 10,11.

Trong giai đoạn khai thác quan trọng nhất là nghiên cứu tầng bão hòa dầu (Hình 12). Khi vỉa bị ngập nước thì chiều dày bão hòa bị thu hẹp lại. Điều này cho phép kiểm tra và điều chỉnh lượng hút dầu và bơm ép nước.

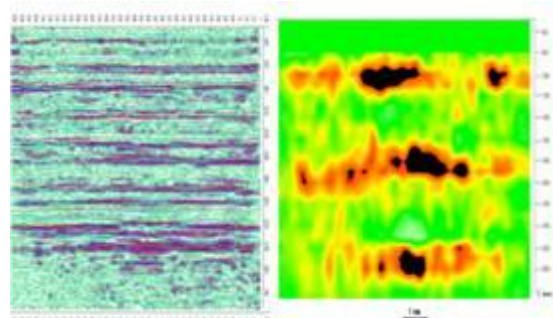
Khi vỉa sản phẩm bị suy giảm cần thiết phải bổ sung trữ lượng bằng cách tiến hành khai thác các vỉa vệ tinh bị bỏ sót. Trên Hình 13 cho thấy kết quả khoan đã xác nhận vỉa dầu dạng phi cầu tạo bên cạnh một mỏ lớn, ở phía rìa hình vẽ.

Trong giai đoạn tìm kiếm có thể phân chia các khu vực triển vọng hơn để tiến hành khoan các giếng tìm kiếm. Lúc này thông tin về loại bể và tính chất colectơ chưa có. Một ví dụ phát hiện dị thường được trình bày trên Hình 14.

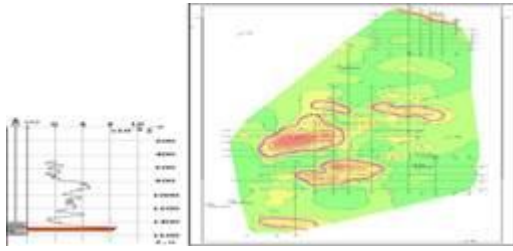
Tính chất không đàn hồi địa chấn không chỉ có ở dầu khí. Ta có thể gặp hiện tượng này khi nhận được khu vực dị thường tương là liên quan đến vỉa sản phẩm, nước ngầm, khí CO₂. Như ở vùng nước khoáng Kazacstan và có thể không phải là vỉa dầu khí.



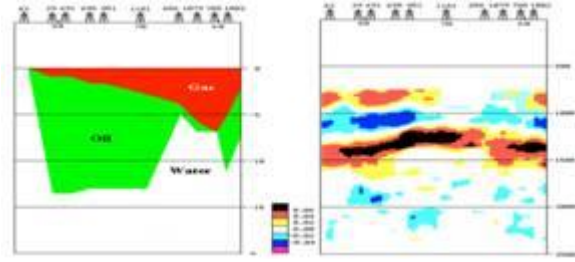
Hình 9. Các lát cắt và bản đồ hấp thụ của các vỉa bị bỏ lỡ.



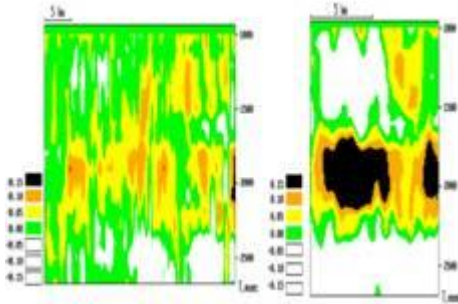
Hình 10. Lát cắt địa chấn và lát cắt hấp thụ ở Tây Siberia (Nga).



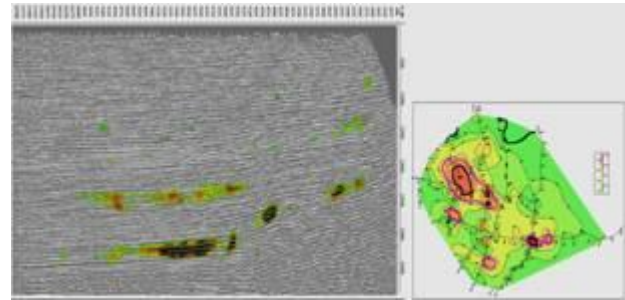
Hình 11. Hấp thụ theo số liệu VSP và địa chấn trên mặt.



Hình 12. Ảnh hưởng của tầng bão hòa dầu đến độ hấp thụ sóng.



Hình 13. Mô vẽ tinh.



Hình 14. Phân chia các khu vực triển vọng trong giai đoạn tìm kiếm.

VI. MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG TÍNH ĐÀN HỒI PHI TUYẾN ĐỊA CHẤN Ở VIỆT NAM

Tính đàn hồi phi tuyến địa chấn lần đầu tiên đã được ứng dụng để tìm kiếm dầu khí ở các bể trầm tích Sông Hồng, Cửu Long và Nam Côn Sơn với các điều kiện địa chất khác nhau. Một số tuyến địa chấn 2D, 3D và tài liệu tuyến địa chấn thẳng đứng đã được lựa chọn để xử lý theo phần mềm *Absorption and velocity dispersion AVD* (Hấp thụ năng lượng và tán sắc vận tốc sóng địa chấn) đã cho kết quả rất khả quan [5].

1. Nghiên cứu trên tài liệu địa chấn phản xạ

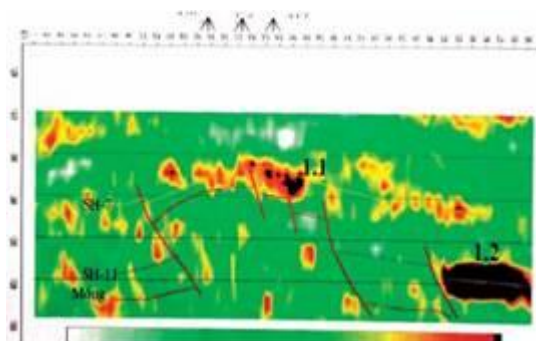
Tuyến A: cắt ngang qua mỏ Bạch Hổ (bể Cửu Long) và các giếng khai thác dầu (420, BT-2, 417), kết quả xử lý đã phát hiện được các dị thường hấp thụ (Hình 15). Dị thường A1 (1.1) ($x = 141-280$; $t = 2.100-2.300$ ms), có khả năng liên quan đến các vỉa dầu đã được phát hiện trong tầng Miocen hạ, nằm kề áp trên móng. Dị thường A2 (1.2) ($x = 421-505$; $t = 3.000-3.300$ ms) có biên độ cao, kích thước lớn, xét về vị trí và chiều sâu có thể liên quan đến các tích tụ dầu khí trong trầm tích Oligocen ở cánh sụt phía đông cấu tạo Bạch Hổ. Tuy nhiên, nếu liên kết với hai tuyến song song ở phía bắc (T A1309 3D và T 0402024) ở thời gian 3.000-3.200 ms và giếng khoan 1107, nơi có vỉa dầu, thì đây là phần kéo dài của vỉa dầu (1.2.) cánh Đông của mỏ này.

Tuyến B: (89-850-bể Sông Hồng) cắt qua cấu tạo Bạch Trĩ và giếng khoan 112-BT-1X tồn tại một số dị thường hấp thụ, trong đó các phát hiện hai dị thường đáng chú ý hơn cả (Hình 16).

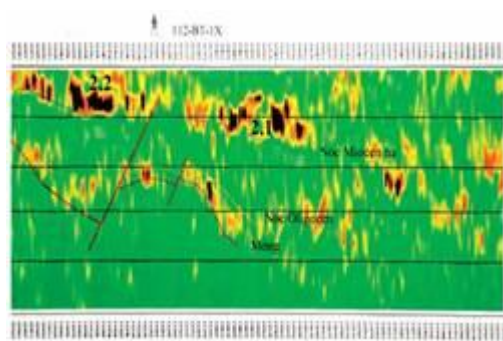
- Dị thường B1 (2.1) ($x = 11.421 - 11.605$; $t = 1.800 - 2.200$ ms) trong trầm tích Miocen trung.

- Dị thường B2 (2.2) ($x = 1.1060-1.1160$, $t = 1.700-1.800$ ms) nằm ở phía tây nam cấu tạo trong trầm tích Miocen trung. Quan sát trên mặt cắt địa chấn có sự xâm tán khí từ dưới lên trên. Cần lưu ý, tại giếng khoan 112-BT-1X chỉ phát hiện được một số dị thường nhỏ nằm ở cánh Tây Bắc và Đông Nam, có thể liên quan đến trầm tích Oligocen phủ trên thành hệ trước Kainozoi. Điều đó có thể giải thích vì sao giếng 112-BT-1X khoan trúng nóc cấu tạo nhưng không gặp đối tượng chứa dầu khí.

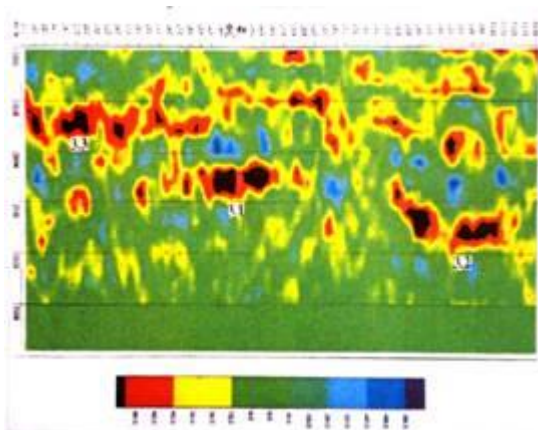
Các tuyến C và D: (bể Nam Côn Sơn) cắt qua mỏ Đại Hùng thuộc bể trầm tích Nam Côn Sơn được chọn để xử lý AVD toàn diện hơn, sử dụng các phần mềm xử lý hấp thụ và tán sắc tốc độ trên tài liệu địa chấn 3D trên mặt và tài liệu tuyến địa chấn thẳng đứng (các giếng 1X, 3X, 4X và 8X). Gia số hấp thụ được xác định theo hai phương pháp so sánh phổ và mô hình hóa (so sánh mô hình lý thuyết và thực nghiệm nhằm đạt độ tương ứng tối đa với số liệu thực tế). Sự hiện diện các giếng khoan làm chuẩn đã cho phép chọn các thông số xử lý tối ưu để giải quyết nhiệm vụ phát hiện tầng sản phẩm. Trên tuyến C phát hiện khá nhiều dị thường hấp thụ (Hình 17) trong đó có ba dị thường đáng lưu ý:



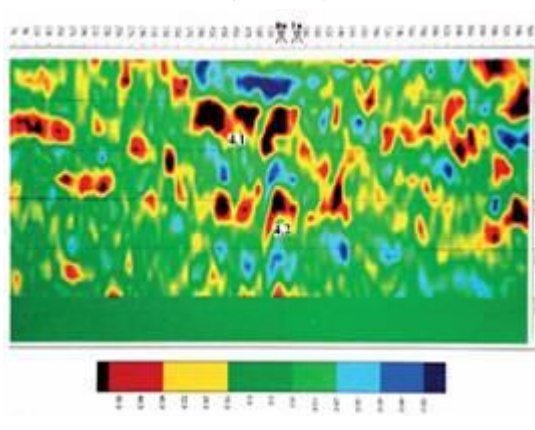
Hình 15. Mặt cắt gia số hấp thụ tuyến A.



Hình 16. Mặt cắt gia số hấp thụ tuyến B (89-850).



Hình 17. Mặt cắt gia số hấp thụ -Tuyến C.



Hình 18. Mặt cắt gia số hấp thụ -Tuyến D.

- Dị thường C1 (**3.1**) ($x = 470-590$; $t = 2.200-2.400$ ms, tương đương 2.900-3.100 m). Số liệu tính gia số hấp thụ bằng tài liệu tuyến địa chấn thẳng đứng ở giếng 4X cho thấy ở chiều sâu từ 2.800 m có dị thường hấp thụ mạnh. Giá trị tán sắc tốc độ sóng ở tọa độ $X = 512$ và 560 , $t = 2.300$ ms đạt đến +5-6 %. Liên kết dị thường này với kết quả thử vỉa tại giếng 4X cho thấy có sự trùng hợp với tập cát kết chứa dầu tuổi Miocen dưới, nằm trực tiếp trên móng.

- Dị thường C2 (**3.2**) ($x = 840-9.000$; $t = 2.600-2.700$ ms, tương ứng với chiều sâu 3.600-4.000 m). Độ tán sắc tốc độ đạt đến +5 %. Dị thường này được thể hiện ở cả hai chỉ tiêu gia số hấp thụ và độ tán sắc tốc độ trùng hợp và có giá trị cao, do đó có nhiều khả năng liên quan đến vỉa dầu khí.

- Dị thường C3 (**3.3**) nằm ở phần phía tây ($x = 117-407$; $t = 1.600-1.700$ ms, tương đương chiều sâu 1.800-2.000 m) gồm nhiều đoạn không liên tục và không kéo dài đến vị trí giếng khoan 4X. Theo phân tích, dị thường này có thể liên quan đến tập carbonat trong phần trên của trầm tích Miocen giữa phát triển tương đối trên toàn mỏ. Theo kết quả thử vỉa ở GK 1X và 8X, đá carbonat có chứa dầu khí, nhưng ở giếng 4X không có biểu hiện dầu khí. Tại điểm $X = 235$ và 274 , $t = 1.700$ ms, độ tán sắc tốc độ $dv = 0$. Vì vậy dị thường C3 có độ tin cậy thấp.

Trên tuyến D phát hiện một số dị thường tương đối mạnh (Hình 18).

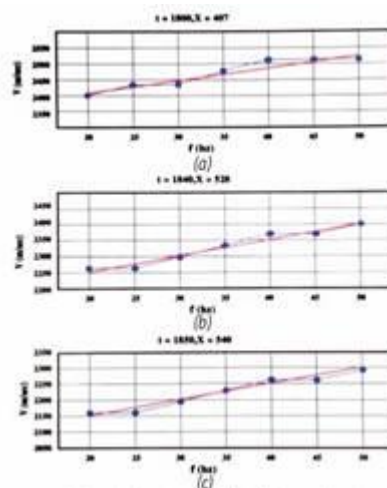
- Dị thường D1 (4.1) ($X = 380-580$; $t = 1.700-1.800$ ms, tương đương với chiều sâu 2.000-2.150 m), độ tán sắc tốc độ tại các điểm 407, 528, 540 đạt đến +6%. Trong khi đó, tại các điểm 330, 726, 840 nằm ngoài dị thường hấp thụ $dv = 0$. Liên kết tài liệu giếng khoan 1X và 8X cho thấy đây là tập đá carbonat có chứa dầu đáng kể.

- Dị thường D2 (4.2) nằm trong vùng các giếng 1X và 8X ($X = 400-600$; $t = 2.500-2.600$ ms, tương ứng với chiều sâu 4.000-4.200 m). Ở đây không có số liệu phân tích tốc độ và bức tranh sóng khá phức tạp. Tuy nhiên, dị thường D2 có thể đồng nhất với vỉa dầu khí đã được phát hiện trong tập cát kết có tuổi Miocen dưới, nằm trực tiếp trên đá móng. Qua sự phân bố các dị thường hấp thụ và tán sắc tốc độ trên hai tuyến C và D, tác giả cho rằng nếu có mạng lưới tuyến khảo sát dày hơn có thể khoan được bình độ dị thường, nghĩa là có thể xác định được ranh giới các vỉa sản phẩm.

2. Nghiên cứu AVD trên tài liệu tuyến địa chấn thẳng đứng

Để kiểm tra độ tin cậy của các dị thường hấp thụ và nghiên cứu hiệu ứng không đàn hồi trên tần số địa chấn đã tiến hành xử lý tài liệu tuyến địa chấn thẳng đứng của một số giếng trên mỏ Đại Hùng để xác định giá số hấp thụ và tán sắc tốc độ pha. Ví dụ điển hình ở giếng 8X, ở chiều sâu từ 3.700 m xuất hiện dị thường gia số hấp thụ mạnh và dị thường tán sắc tốc độ (Hình 19), chiều sâu các dị thường trùng hợp với nhau và rất phù hợp với tầng sản phẩm trong giếng khoan này. Điều đó chứng minh độ tin cậy cao của kết quả xử lý bằng phương pháp này trong giếng khoan.

Hiệu quả của việc ứng dụng hiệu ứng đàn hồi phi tuyến địa chấn của vỉa dầu khí đã được chứng minh bằng lý thuyết và thực nghiệm. Các thông số này đã trở thành các chỉ thị sự hiện diện dầu khí trong môi trường trầm tích.



Hình 19. Dị thường tán sắc tốc độ tuyến D.

VII. KẾT LUẬN

Phương pháp địa chấn hình học được xây dựng dựa trên giả định tính đàn hồi tuyệt đối của vật thể, song trên thực tế môi trường địa chất không hoàn toàn tuân theo nguyên lý đó, tùy thuộc vào thành phần và cấu trúc mà chúng có tính đàn hồi không tuyến tính khác nhau. Đặc điểm này đã tạo ra các hiệu ứng khác nhau tác động lên các thuộc tính động lực cũng như động hình của sóng địa chấn. Sự phụ thuộc của tính chất hấp thụ năng lượng và vận tốc sóng địa chấn vào tần số, hay là sự tán sắc hấp thụ và vận tốc sóng, là biểu hiện tính đàn hồi phi tuyến của môi trường địa chấn. Điều này cho phép ta nghiên cứu các đặc trưng lát cắt địa chất bằng phương pháp địa chấn hiện đại, trong đó dự báo chất lưu, đặc biệt là sự tồn tại dầu khí trong đó. Kết quả ứng dụng thực tế địa chấn phi tuyến vào tìm kiếm thăm dò dầu khí đã đưa lại những kết quả rất đáng chú ý. Trong tương lai địa chấn phi tuyến dần được hoàn thiện sẽ góp phần quan trọng nâng cao hiệu quả của công tác thăm dò địa chất dầu khí.

- 1. Арутюгов С.Л., Кузнецов О.Л., Востров Н.Н. и др.** Технологии АНЧАР 10 лет. Технологии сейсморазведки 2004 № 2.
- 2. Медовский И.Г, Мустафаев К.А.** О природе "слепых зон" при сейсморазведке в прибрежных районах Каспийского моря, Геофизическая разведка на нефть и газ, М. Гостоптехиздат 1959 стр.18-25.
- 3. Рапопорт Л.И., 1986.** Влияние критического состояния углеводородов на поглощение и скорости сейсмических волн.Сб. "Поиски и разведка нефтегазовых месторождений геофизическими методами". 1986 г. М. МИНГ.
- 4. Рыжков В.И., 2008.** Методика выделения нефтегазовых объектов по их неидеальной упругости на основе совместной обработки поверхностных и скважинных данных. *РГУ нефти и газа, М. 2008.*
- 5. Trương Minh, 2013.** Ứng dụng hiệu ứng hấp thụ và tán sắc tốc sóng địa chấn vào tìm kiếm, thăm dò và khai thác dầu khí. *TC Dầu khí số 4/2013.*
- 6.** Большая Энциклопедия Нети и Газа.