

# Áp dụng công nghệ rada xuyên đất nghiên cứu cấu trúc địa chất tầng nông khu vực quần đảo Trường Sa

ĐỖ HUY CƯỜNG, HOÀNG VĂN VƯỢNG, TRẦN VĂN KHÁ

Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

Trong những năm gần đây, công nghệ rada xuyên đất đã được áp dụng rộng rãi trong tổ hợp các phương pháp địa vật lý nghiên cứu địa chất công trình. Việc tiến hành khảo sát trực tiếp trên vùng quần đảo Trường Sa là một trong những thử nghiệm cần thiết nhằm khẳng định ưu thế của phương pháp này. Từ các kết quả thu được, nhóm tác giả đã tiến hành xử lý, phân tích và đưa ra một số nhận định bước đầu về nền móng tầng nông trên các đảo đã khảo sát. Ưu thế của phương pháp, khả năng ứng dụng trên vùng quần đảo Trường Sa đã được khẳng định và cần tiếp tục áp dụng trong tương lai.

APPLYING  
TECHNIQUE OF GEO-  
PENETRATING RADAR  
IN RESEARCHING  
SHALLOW  
GEOLOGICAL  
STRUCTURE IN AREAS  
OF TRUONG SA ISLANDS

## Summary

Among the complex of the geophysics methods, technique of geo-penetrating radar has been widely applied in geo-engineering study in recent years. the advantage of this methode has been proved during the direct investigation in Truong Sa islands. the gathered information has been processed and analyzed to give out the primary conclusions about the shallow geological structure of the investigated islands. the proved advantage and capacity of the method while applied in truongsas islands leads to its necessary use in the future.

## Mở đầu

Rada xuyên đất là một phương pháp ứng dụng các nguyên lý của sóng điện từ ở dải tần 1-1.000 MHz để nghiên cứu cấu trúc địa chất, các ranh giới và các đối phá huỷ gần tầng mặt. Trong những năm gần đây, công nghệ rada xuyên đất đã được hoàn chỉnh và áp dụng mạnh mẽ trong những lĩnh vực như: xây dựng, khảo cổ, địa chất công trình với mục đích là phát hiện các bất đồng nhất, nứt nẻ, các ranh giới địa chất, tìm kiếm khoáng sản, đánh giá độ ổn định nền móng của các công trình xây dựng, các công trình thuỷ lợi.

Việc sử dụng phương pháp này trên một số đảo thuộc vùng quần đảo Trường Sa, đánh giá độ bền vững của nền móng một số đảo và ven đảo bằng phương pháp khảo sát trực tiếp trên thiết bị rada xuyên đất SIR-3000 lần đầu tiên được Viện Địa chất và Địa vật lý biển thử nghiệm và áp dụng. Công tác xử lý và phân tích tài liệu trên các phần mềm chuyên dụng cho phép đưa ra một số nhận định về cấu trúc địa chất tầng nông và giải pháp chống xói lở, bồi tụ trong khu vực. Khu vực đã tiến hành khảo sát là bề mặt các đảo: Sinh Tồn, Song Tử Tây, Nam Yết, Sơn Ca, với mục đích nghiên cứu cấu trúc tầng nông 1÷35 m.

## Cơ sở lý thuyết

**Phép lặp đơn - điều kiện hội tụ và đánh giá sai số phương trình  $f(x) = 0$  (\*)**

Xét phương trình:  $x = \varphi(x)$  (1)

Với  $\varphi(x)$  là hàm liên tục trong khoảng cần xét. Từ một giá trị  $x^{(0)}$  nào đó gọi là giá trị lặp đầu tiên ta lập dãy  $x^{(1)}, x^{(2)}, x^{(n)}$ , theo công thức:

$$x^{(k+1)} = \varphi(x^{(k)}) \quad (k = 0, 1, \dots) \quad (2)$$

Nếu  $x^{(n)} \rightarrow \xi$  ( $n \rightarrow +\infty$ ) thì theo tính chất qua giới hạn của hàm liên tục ta luôn có:

$$\xi = \lim_{n \rightarrow +\infty} x^{(n)} = \lim_{n \rightarrow +\infty} \varphi(x^{(n-1)}) = \varphi\left[\lim_{n \rightarrow +\infty} x^{(n-1)}\right] = \varphi(\xi) \quad (3)$$

Từ đó ta có:  $\xi$  là một nghiệm của phương trình (1) hay chính là nghiệm của phương trình (\*). Vậy nếu dãy (2) hội tụ thì với  $n$  đủ lớn ta có thể lấy  $x^{(n)}$  là một giá trị gần đúng của nghiệm  $\xi$ .

Điều kiện hội tụ của dãy lặp:

Nếu: 1)  $|\varphi'(x)| \leq k < 1$  khi  $x \in (a; b)$

2)  $x^{(0)}, x^{(1)}, \dots, x^{(n)} \in (a; b)$

Thì: 3) Dãy lặp (2) hội tụ về nghiệm của phương trình (\*)

4)  $\xi$  là nghiệm duy nhất của phương trình (\*) trên  $(a; b)$ .

Từ điều kiện hội tụ 1) cho thấy: chuỗi (3) hội tụ tuyệt đối như một cấp số nhân công bội  $= k < 1$ , nghĩa là  $x^{(n)}$  tiến đến  $\xi$  nào đó khi  $n \rightarrow +\infty$ . Từ (3)  $\Rightarrow \xi$  là một nghiệm của phương trình (\*).

Cần chú ý rằng:

1. Nếu  $\varphi'(x) > 0$  thì  $(x^{(k+1)} - \xi)$  cùng dấu với  $(x^{(k)} - \xi)$ , tức là dãy  $x^{(k)}$  tiến đến  $\xi$  từ một phía. Trong trường hợp này chỉ cần  $x^{(0)} \in (a; b)$  là  $\forall x^{(1)}, x^{(2)}, \dots$  đều thuộc  $(a; b)$ .

2. Nếu  $\varphi'(x) < 0$  thì  $(x^{(k+1)} - \xi)$  khác dấu với  $(x^{(k)} - \xi)$ , tức là dãy  $x^{(k)} \rightarrow \xi$  từ hai phía (dao động quanh điểm  $\xi$ ). Trong trường hợp này nếu  $x^{(0)} \in (a; b)$  thì  $x^{(1)}$  vẫn có thể không thuộc  $(a; b)$ . Nhưng chỉ cần  $x^{(0)}, x^{(1)} \in (a; b)$  là  $\forall x^{(2)}, x^{(3)}, \dots$  đều thuộc  $(a; b)$ .

### Đánh giá sai số của nghiệm lặp

Nếu lấy  $x^{(n)}$  làm giá trị gần đúng của  $\xi$  thì sai số  $|\xi - x^{(n)}|$  có thể đánh giá theo dư thứ  $n$  của chuỗi (3):

$$|\xi - x^{(n)}| = |z^{(n-1)} + z^{(n-2)} + \dots| \leq k |z^{(n)}| (1 + k + k^2 + \dots) = |z^{(n)}| \frac{k}{1 - k}$$

$$\text{hay } |\xi - x^{(n)}| \leq |x^{(n)} - x^{(n-1)}| \frac{k}{1 - k}$$

### Sóng điện từ ứng dụng trong rada

Từ hệ phương trình Maxwell và phương trình sóng thuần nhất:

$$\nabla^2 H - \epsilon \frac{\delta^2 \bar{H}}{\delta t^2} = 0; \nabla^2 \bar{E} - \epsilon \mu \frac{\delta^2 \bar{E}}{\delta t^2} = 0$$

Ta có phương trình sau:

$$\nabla^2 E - \mu \epsilon \frac{\delta^2 E}{\delta t^2} - \mu \sigma \frac{\delta E}{\delta t} = 0 \quad (4.1)$$

Đây không phải là phương trình sóng nhưng nó biểu thị cách truyền của sóng điện từ, số hạng thứ ba của nó liên quan tới hệ số tắt dần. Số hạng thứ hai biểu thị một sóng tắt dần với vận tốc:

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} \quad (4.2)$$

Khi xét bài toán với một sóng truyền điều hoà theo phương của trục  $Z$  với biểu thức:  $E(x, t) = E(z) e^{-j\omega t}$ . Tính đạo hàm bậc nhất và bậc hai, thế vào (4.1) ta có phương trình:

$$\nabla^2 E + \omega^2 \mu \epsilon E + j \omega \mu \sigma E = 0 \quad (4.3)$$

Phương trình này cho thấy, ở dải tần cao  $\omega^2 \epsilon > \omega \sigma$ , nghĩa là số hạng thứ hai vượt trội; ở dải tần thấp  $\omega \sigma > \omega^2 \epsilon$  nghĩa là số hạng thứ 3 vượt trội. Vì thế, dải tần số giới hạn này được sử dụng trong rada xuyên đất với bản chất của sóng. Trong thực tế việc hạn chế, về giới hạn của dải tần số này là do sự thay đổi tự nhiên của lượng nước trong môi trường.

Sau nhiều phép biến đổi toán học phức tạp ta có phương trình sóng điện từ cho trường hợp sóng điều hoà:

$$E = E_0 e^{-j(\omega t - Kz)}$$

$$\text{hay } E = E_0 e^{-j(\omega t - a z)} \cdot e^{-bz}$$

Trong đó:  $k = (a + jb)$ ;  $a = \omega^2 \mu \epsilon$ ;  $b = \omega \mu \sigma$ ;  $k$  gọi là số sóng;  $a, b$  là hệ số pha và hệ số tắt dần.

$$\text{Nếu sử dụng vận tốc ánh sáng } c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \approx 2,99 \cdot 10^8 \text{ m/s,}$$

$$\text{người ta thu được công thức tính vận tốc pha: } v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

$$\text{bước sóng } \lambda = \frac{1}{P \sqrt{\epsilon \mu}}; \text{ độ sâu lớp mặt } h = \frac{2}{\sigma} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}$$

Từ lý thuyết và ứng dụng của rada xuyên đất, người ta lập một bảng các đại lượng sóng điện từ trong GPR sau đây:

| Sự truyền sóng điện từ     | Sự truyền sóng điện từ trong môi trường có độ dẫn thấp     | Ý nghĩa                                               |
|----------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| $v = \frac{\omega}{a}$     | $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$                    | $\mu_r = 1$ . Vận tốc sóng chỉ phụ thuộc $\epsilon_r$ |
| $\lambda = \frac{2\pi}{a}$ | $\lambda = \frac{1}{f \sqrt{\epsilon \mu}}$                | Bước sóng phụ thuộc vào vận tốc                       |
| $h = \frac{1}{b}$          | $h = \frac{2}{\sigma} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}$         | Độ sâu lớp mặt giảm khi độ dẫn tăng                   |
| $B = 20b \cdot lge$        | $B = 1636,01 \cdot \sigma \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}}$ | Hệ số tắt dần không phụ thuộc tần số                  |

### Độ dẫn điện của môi trường địa chất

Một môi trường địa chất có được là hỗn hợp của các thành phần đất đá, nước và không khí. Tùy thuộc mức độ ngậm nước và không khí ở trong các lỗ hổng, các lớp đất đá trong môi trường địa chất mà ảnh hưởng nhiều hay ít tới tính chất điện của môi trường. Nói chung khó có thể xác định chính xác độ dẫn điện của môi trường địa chất.

Từ thực nghiệm Archie đưa ra công thức tính độ dẫn sau đây:

$$\sigma = a \cdot \phi^m \cdot S^n \cdot \sigma_w + \sigma_c$$

Trong đó  $\phi$  là độ rỗng của đất đá;  $\sigma_w$ : độ dẫn nước;  $\sigma_c$ : độ dẫn lớp bề mặt;  $S$ : tỷ lệ lỗ hổng với lỗ ngậm nước;  $a$ : hằng số có giá trị từ 0,4÷2,0;  $m$ : hằng số có giá trị từ 1,3÷2,5;  $n$ : hằng số có giá trị bằng 2,0.

Độ dẫn của môi trường là một yếu tố quan trọng trong việc xác định cấu trúc địa chất và được ứng dụng trong công nghệ GPR. Từ thực nghiệm, người ta đã xác định được tính chất điện và vận tốc truyền sóng sau đây: rất khó phân biệt độ thấm điện của cát khô và cát ướt, phiến sét và đất bồi. Vận tốc truyền sóng của muối khô và granit bằng nhau. Độ suy giảm sóng của phiến sét và đất bồi, đá granit và muối khô cũng bằng nhau. Như vậy, việc khảo sát nhiều đại lượng vật lý cho khu vực khảo sát mới có thể dẫn đến nghiệm của bài toán.

## Thuật toán và chương trình xử lý tín hiệu rada

• Khuyếch đại tín hiệu: khi phân tích tín hiệu rada, điều tối quan trọng là xác định hệ số khuyếch đại hợp lý, vì tín hiệu rada khi truyền trong môi trường địa chất bị suy giảm rất nhanh, nhanh hơn sóng cơ học nhiều lần. Các tín hiệu trở lại đầu thu từ dưới sâu là rất nhỏ, vì vậy để có một bức tranh tín hiệu có thể phân tích được cần áp dụng phương pháp khuyếch đại tín hiệu theo độ sâu.

Độ suy giảm tín hiệu theo độ sâu được tính theo công thức:

$$A(z) = A_0 \exp(-2\alpha z)/2z$$

Độ suy giảm biên độ theo thời gian tính theo công thức:

$$A(t) = A_0 \exp(-\alpha vt)/vt$$

Trong đó:  $\alpha$  là độ suy giảm;  $h$  là độ sâu;  $v$  là vận tốc sóng;  $t$  là thời gian sóng đi và về.

Để tránh trường hợp khuyếch đại cả nhiễu, chúng tôi tiến hành khuyếch đại từng vùng. Có 3 kiểu khuyếch đại đã được ứng dụng: khuyếch đại tuyến tính, khuyếch đại tự động, khuyếch đại theo hàm mũ. Trong đó, khuyếch đại tự động dùng cho từng đường quét, khuyếch đại tuyến tính và khuyếch đại kiểu hàm mũ có thể cho từng điểm. Ba kiểu khuyếch đại này được áp dụng linh hoạt cho các vùng có cấu trúc địa chất khác nhau.

• Xây dựng hàm vận tốc hằng số điện môi  $\epsilon$  và tính nghiệm bằng phương pháp lặp: các chương trình xử lý tài liệu rada đều không cho phép người sử dụng biết được giá trị vận tốc một cách chính xác trong môi trường để từ đó có thể minh giải chính xác và toàn diện hơn kết quả thu được. Chúng tôi đã tìm hiểu thuật toán và thực hiện các phép biến đổi sau đây:

Từ công thức:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\alpha vt}/vt$$

Biến đổi tương đương:

$$V = \frac{A}{A_0} \cdot \frac{e^{-\alpha vt}}{t} = \varphi(v) \quad (**)$$

Hàm số có dạng không tuyến tính:

$$x = \varphi(x)$$

Việc giải (\*\*) tìm nghiệm  $V$  được thực hiện theo phương pháp lặp. Chương trình tính đã được lập và cho kết quả tính toán khá tốt.

## Kết quả xử lý và phân tích

Các lát cắt Georada khảo sát trực tiếp trên 3 đảo thuộc vùng quần đảo Trường Sa là: Song Tử Tây, Nam Yết, Sơn Ca. Ba đảo này đều nằm ở rìa tây bắc khu vực quần đảo và phân bố từ tọa độ  $\varphi = 8^\circ 30'$ ;  $\lambda = 111^\circ 30'$  đến  $\varphi = 10^\circ 30'$ ;  $\lambda = 114^\circ$ .

**Đảo Song Tử Tây:** tại đây đã tiến hành đo 5 tuyến. Dựa theo các cột địa tầng lỗ khoan LKSTT1, LKSTT2 trên đảo Song Tử Tây có thể thấy trong trầm tích đệ tứ của đảo này các trầm tích Holocen và Pleistocen muộn được phân định khá rõ ràng:

- Trầm tích Holocen có bề dày từ 6÷7,5 m và thành phần thạch học bao gồm chủ yếu là san hô dạng cánh (bề dày 0÷3 m), san hô vụn dạng dải, cát kết, bột kết vôi, nền lẫn vụn sinh vật cấu tạo khối (bề dày 0,7÷4 m).

- Trầm tích Pleistocen muộn có bề dày từ 11,8÷44 m và được phân chia thành 2 nhịp trầm tích:

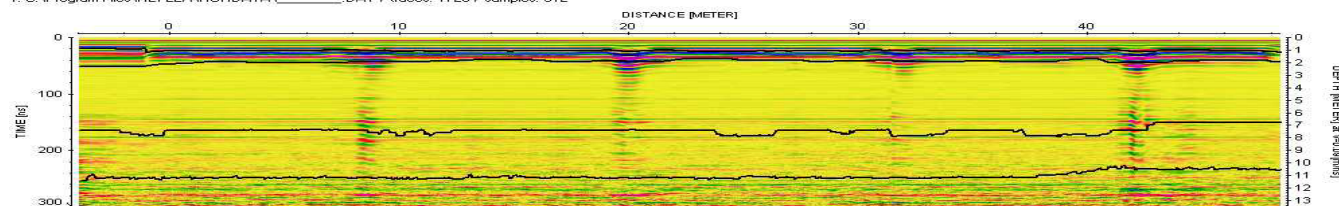
+ Nhịp thứ nhất chia thành 3 lớp: lớp 1 có bề dày 12,5 m, gồm san hô gốc dạng tỏa tia, vách xương aragorit. Lớp thứ 2 dày 4,0 m, gồm: san hô gốc cấu tạo dạng tổ ong, khung xương canxit vi hạt. Lớp thứ 3 dày 3,3 m, gồm san hô vụn dạng giả sạn kết, nhiều hạt mài tròn tốt.

+ Nhịp thứ hai chia thành 4 lớp: lớp 1 có bề dày 2 m, gồm san hô gốc cứng, xốp giàu tảo lục xanh, canxit vi hạt. Lớp thứ 2 dày 14,7 m thành phần thạch học gồm san hô gốc, khung xương cấu tạo tổ ong. Lớp thứ 3 dày 2 m, gồm san hô gốc cứng, xốp cấu tạo dạng khối, nền canxit vi hạt. Lớp thứ 4 dày 6,1 m, gồm trầm tích vụn san hô, kiến trúc giả Psefit, cuội kết, sạn kết san hô độ rỗng 2%.

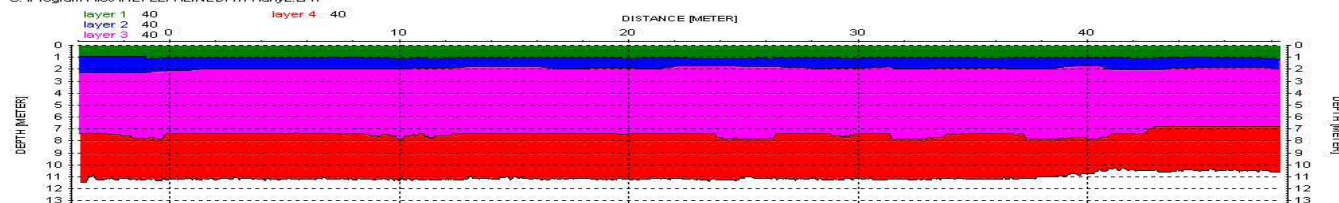
**Đảo Nam Yết:** từ kết quả khảo sát của 5 tuyến, chúng tôi đều có một nhận xét chung là trường sóng ở đây rất phẳng lặng, các tầng đất đá phân lớp song song. Độ sâu mất sóng phổ biến 13÷14 m. Theo kết quả phân tích cho thấy, trầm tích đệ tứ trên toàn vùng đảo khá đồng nhất và chủ yếu là các vật liệu trầm tích cacbonat trầm tích vụn ( $\epsilon = 6$ ) nằm ở độ sâu 1÷8 m, các đá vôi kết tinh ( $\epsilon = 7$ ) ở



1. C:\Program Files\REFLEX\ROHDATA\...\_DAT / traces: 1720 / samples: 512

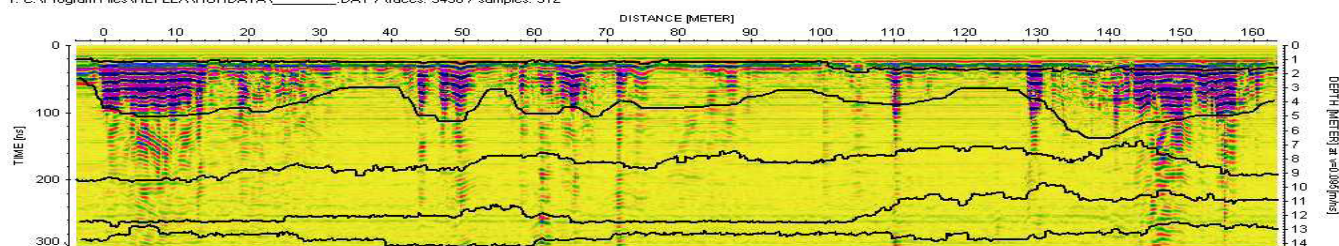


C:\Program Files\REFLEX\ROHDATA\drv2.LAY

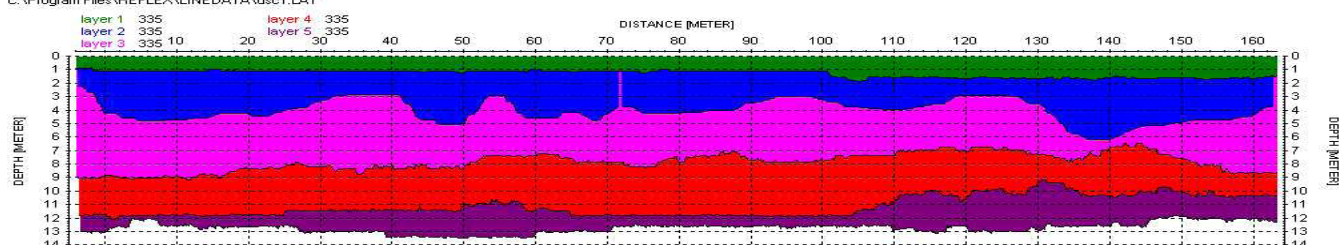


Lát cắt rada xuyên đất trên đảo Nam Yết

1. C:\Program Files\REFLEX\ROHDATA\...\_DAT / traces: 5496 / samples: 512



C:\Program Files\REFLEX\ROHDATA\drv1.LAY



Lát cắt rada xuyên đất trên đảo Sơn Ca

các độ sâu lớn hơn. Nền của đảo từ độ sâu >13 m là các vật liệu khá rắn chắc.

**Đảo Sơn Ca:** trên đảo Sơn Ca có 2 tuyến rada dài 400 m. Hai tuyến dọc đo theo chiều dài của đảo hướng đông - tây. Mặc dù đảo có diện tích nhỏ, nhưng theo tín hiệu đo rada cho thấy, ở các độ sâu 1,5÷16 m cấu trúc địa chất rất phức tạp. Hai đầu đông và tây của đảo phát hiện các cấu trúc rỗng kích thước 5÷7 m, phần trung tâm thể hiện rõ các ranh giới nâng, tạo lên các vòm nhỏ kích thước ngang 7÷15 m và đỉnh vòm ở các độ sâu từ 2÷4 m. Ở tất cả các lớp tách ra bởi các đường đồng pha đều cho thấy cấu trúc trường sóng phức tạp, rối loạn và biên độ thay đổi liên tục. Đường mất sóng nằm khá sâu (13÷15,5 m). Chắc chắn do trầm tích tuổi Holocen và Pleistocen cổ kết nên bề mặt đảo có độ rỗng lớn và bão hoà nước biển ở độ sâu 13÷15,5 m. Phần trung tâm đảo trầm tích ổn định trên nền san hô có độ gắn kết khá.

## Kết luận

- Tín hiệu rada trên các đảo khảo sát không xuyên sâu được quá 16 m, phần lớn tín hiệu bị yếu ở các độ sâu 13-15 m. Đã phân chia được các tầng cấu trúc trong trầm tích đệ tứ và thấy được mối liên hệ giữa tín hiệu sóng với các trầm tích có độ rỗng lớn.

- Kết quả minh giải cho thấy, nền móng đảo Nam Yết ở độ sâu 15-16 m là các đất đá liên kết khá rắn chắc. Phần trung tâm đảo Sơn Ca cũng có nền móng là san hô liên kết khá ở độ sâu 13-15 m.

- Trên tất cả các đảo, ranh giới mất sóng ở độ sâu từ 12,5-16 m phản ánh mức độ bão hoà nước biển, hầu hết sóng rada đều bị triệt tiêu. Có thể thấy hiệu quả của phương pháp rada xuyên đất trên khu vực quần đảo Trường Sa chỉ phát huy tốt ở các độ sâu nhỏ hơn 13 m ■