

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 9431: 2012

Xuất bản lần 1

**ĐIỀU TRA, ĐÁNH GIÁ VÀ THĂM DÒ KHOÁNG SẢN –
PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN TỪ TẦN SỐ RẤT THẤP**

*Investigation, evaluation and exploration of minerals –
Very low frequency electromagnetic method*

HÀ NỘI - 2012

Mục lục

Lời nói đầu	4
Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản- Phương pháp điện từ tần số rất thấp	5
1 Định nghĩa phương pháp, phạm vi áp dụng	5
2 Tài liệu viện dẫn	5
3 Thuật ngữ và định nghĩa	6
4 Máy và thiết bị	7
4.1 Yêu cầu máy và thiết bị	7
4.2 Các thiết bị hỗ trợ	7
4.3 Các phần mềm sử dụng	7
5 Công tác thực địa	7
5.1 Công tác chuẩn bị	7
5.2 Chọn mạng lưới đo	8
5.3 Đo thử chọn đài phát	8
5.4 Đo đạc thực địa	9
5.5 Đo kiểm tra	9
6 Công tác trong phòng	9
6.1 Đánh giá chất lượng số liệu đo đạc	9
6.2 Chinh lý tài liệu	9
6.3 Tổng hợp tài liệu	10
7 Giải đoán kết quả	10
7.1 Trình tự giải đoán	10
7.2 Các phương pháp xử lý, phân tích tài liệu	10
7.3 Lập báo cáo kết quả	10
Phụ lục A Mẫu sổ ghi chép thực địa	11
Phụ lục B Đặc trưng kỹ thuật một số máy thu, phát	13
Phụ lục C Thư mục tài liệu tham khảo	15

TCVN 9431 : 2012

Lời nói đầu

TCVN 9431 : 2012 - Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản-
Phương pháp điện từ tần số rất thấp -do Tổng cục Địa chất và Khoáng sản biên soạn,
Bộ Tài nguyên và Môi trường đề nghị,
Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm định,
Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản- Phương pháp điện từ tần số rất thấp

*Investigation, Evaluation and Exploration of Minerals-
Very Low Frequency Electromagnetic Method*

1 Định nghĩa phương pháp, phạm vi áp dụng

1.1 Nguyên tắc của phương pháp

Phương pháp điện từ tần số rất thấp (ĐTTSRT) là phương pháp thăm dò điện từ, sử dụng các đài phát sóng radio cố định, công suất lớn, tần số từ 10 +30kHz làm nguồn sóng điện từ sơ cấp để tạo ra trường cảm ứng thứ cấp trong các đối tượng dẫn bên dưới mặt đất, nằm cách xa đài phát tới hàng trăm, thậm chí hàng nghìn kilomet. Các thành phần trực giao khác nhau của trường thứ cấp được ghi nhận, từ đó thu được các thông tin về tính chất, vị trí của các đối tượng dẫn trong lát cắt địa chất.

1.2 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định các nội dung kỹ thuật chủ yếu cần phải thực hiện khi sử dụng phương pháp điện từ tần số rất thấp trong điều tra, đánh giá địa chất và thăm dò khoáng sản.

2 Tài liệu viện dẫn

TCVN 9434 : 2012. Công tác trắc địa phục vụ đo địa vật lý. 2012.

3 Thuật ngữ, định nghĩa

3.1 Trường sơ cấp

Trường điện hoặc trường từ biến đổi điều hòa mà nguồn phát là từ các đài phát thanh hoặc máy phát sóng điện từ dùng trong thăm dò địa vật lý để gây cảm ứng điện từ trong môi trường nghiên cứu.

3.2 Trường thứ cấp

Trường điện hoặc trường từ biến đổi điều hòa phát sinh do hiện tượng cảm ứng điện từ xảy ra trong môi trường địa chất .

3.3 Tần số rất thấp

Tần số sóng điện từ được sử dụng trong phương pháp điện từ tần số rất thấp, có giá trị trong khoảng từ 10 đến 30KHz.

3.4 Phân cực ellip

Khi sóng điện từ phẳng lan truyền trong môi trường dẫn, hình chiếu của đầu vectơ trường điện (hoặc trường từ) lên mặt phẳng vuông góc với phương truyền sóng tạo nên hình ellip (ellip phân cực) gọi là phân cực ellip.

3.5 Góc nghiêng (dip angle) của ellip phân cực

Góc giữa trục dài của ellip phân cực với mặt phẳng ngang gọi là góc nghiêng (dip angle) của ellip phân cực.

Trong công thức (2) thì θ là góc nghiêng của ellip phân cực.

3.6 Tâm sai của ellip phân cực (ellipticity)

Trong phương pháp ĐTTSRT đại lượng *tâm sai* của ellip phân cực là tỷ số giữa bán trục nhỏ và bán trục lớn của ellip phân cực. Một số máy thu dùng trong phương pháp ĐTTSRT đo và ghi đại lượng vật lý này.

Trong công thức (2) thì ϵ là tâm sai của ellip phân cực.

3.7 Hiệu ứng Skin (skin effect)

Hiệu ứng làm sóng điện từ bị hấp thụ năng lượng và suy yếu trong môi trường dẫn điện của lớp đất đá gần bề mặt.

3.8 Độ sâu skin (skin depth)

Độ sâu mà dưới đó sóng điện từ sơ cấp không thể tạo ra trường cảm ứng thứ cấp có thể ghi được trên mặt đất.

3.9 Thành phần đồng pha (in-phase component), thành phần vuông pha (quadrature component)

Hai thành phần của trường từ thứ cấp: thành phần đồng pha (in-phase) với trường sơ cấp và thành phần lệch pha hay vuông pha (quadrature) với trường từ sơ cấp.

3.10 Mật độ dòng (current density)

Đại lượng phản ánh cường độ dòng điện xuất hiện trong vật dẫn do trường từ sơ cấp biến đổi tạo ra.

3.11 Nguồn phát

Nguồn phát sóng điện từ có tần số rất thấp, từ 10 đến 30KHz, có công suất mạnh, đủ để ghi được trường cảm ứng thứ cấp ở cách xa hàng trăm đến hàng ngàn kilômét.

3.12 Real(Hp/Hz), Imag(Hp/Hz)

Real(Hp/Hz), Imag(Hp/Hz) : phần thực, phần ảo của tỷ số Hz/Hp, ghi được trong phương pháp ĐTTSRT. Trong đó:

Hz là thành phần thẳng đứng của trường từ thứ cấp,

Hp là thành phần nằm ngang của trường từ sơ cấp.

Trong môi trường dẫn điện, tỷ số Hz/Hp là một số phức:

$$Hz/Hp = |Hz/Hp|. \cos \Delta\varphi + i. |Hz/Hp|. \sin \Delta\varphi \quad (1)$$

$$= \tan \theta + i. \varepsilon \quad (2)$$

$$= \text{Real}(Hp/Hz) + i. \text{Imag}(Hz/Hp) \quad (3)$$

với: $\Delta\varphi$ là góc lệch pha giữa Hz và Hp

3.13 Sensor

Bộ phận thu trong máy đo ghi trường cảm ứng thứ cấp.

4 Máy và thiết bị

4.1 Yêu cầu máy và thiết bị

4.1.1 Máy thu điện từ : đo ghi các thành phần thẳng đứng và nằm ngang của trường từ thứ cấp

4.1.2 Một số thiết bị đi kèm: máy tính xách tay, la bàn, nguồn điện ắc quy

4.1.3 Có nhiều loại máy thu có thể sử dụng trong PP ĐTTSRT. Chi tiết xem phụ lục B.

4.2 Các thiết bị hỗ trợ

4.2.1 Máy phát điện từ tần số rất thấp TX27

Khi tín hiệu từ các đài phát thanh thu được yếu, hoặc không thu được thì dùng máy phát ngoài loại TX27 hoặc tương đương.

4.2.2 Máy đo điện trở EM16R

Khi đo phối hợp tham số điện trở suất biểu kiến dùng máy đo điện trở EM16R kết hợp với cặp điện cực để xác định điện trở suất biểu kiến của môi trường.

4.3 Các phần mềm sử dụng

Có thể sử dụng các phần mềm chuyên dụng sau để xử lý tài liệu ĐTTSRT :

- Ramag-d, Fraser, KHFFilter.
- Chương trình SECTOR của Thủy Điện, chương trình này có các chức năng lọc theo độ sâu, liên kết dị thường và lập lát cắt.
- Chương trình EMIXVLF của hãng Interpex, chương trình này cũng có các chức năng như chương trình trên

5 Công tác thực địa

5.1 Công tác chuẩn bị

5.1.1 Nhân lực

Nhân lực cần thiết cho 01 tổ thi công thực địa phương pháp ĐTTSRT gồm: 01 kỹ sư địa vật lý, 02 kỹ thuật địa vật lý và từ 02 – 04 công nhân giúp việc.

5.1.2 Máy và thiết bị

5.1.2.1 Trước khi đo đạc thực địa, tất cả các máy móc, thiết bị sử dụng trong phương pháp điện từ tần số rất thấp phải được kiểm tra, kiểm định theo hướng dẫn của nhà sản xuất.

5.1.2.2 Chỉ những người đã nghiên cứu và nắm vững kỹ thuật sử dụng máy mới được phép làm việc với máy.

5.1.3 Các tài liệu khác

5.1.3.1 Để thành lập các loại bản vẽ kết quả, phải sử dụng bản đồ địa hình có tỷ lệ lớn hơn hoặc bằng tỷ lệ khảo sát.

TCVN 9431 : 2012

5.1.3.2 Cần thu thập tài liệu về vị trí các đài phát sóng tần thấp có trong phạm vi bán kính vài nghìn km kể từ vị trí nghiên cứu.

5.1.3.3 Căn cứ vào hướng cấu trúc dự kiến của đối tượng nghiên cứu và vị trí các đài phát có được cần sơ bộ chọn hướng của hệ thống tuyến đo. Thiết kế sơ bộ mạng lưới tuyến đo trên bản đồ địa hình.

5.2 Chọn mạng lưới đo

5.2.1 Yêu cầu mạng lưới đo

5.2.1.1 Việc nghiên cứu trong phương pháp điện từ tần số rất thấp thực hiện theo mạng lưới tuyến đo định sẵn. Tỷ lệ và mạng lưới tuyến đo ĐTTSRT được chọn phù hợp với tỷ lệ nghiên cứu địa chất, địa chất thủy văn, địa chất công trình và các nghiên cứu địa vật lý khác

5.2.1.2 Tuyến đo cần chọn đảm bảo cắt qua đối tượng nghiên cứu, vuông góc với đối tượng nghiên cứu

5.2.1.3 Khoảng cách các tuyến đo được chọn theo tỷ lệ nghiên cứu, đảm bảo có ít nhất 3 tuyến đi qua phương kéo dài của đối tượng dự kiến.

5.2.1.4 Khoảng cách các điểm đo được chọn sao cho quan sát được ít nhất là 3 điểm dị thường khi cắt qua đối tượng.

5.2.1.5 Tuyến đo được chọn sao cho không đi qua các vật thể dẫn điện, có thể ảnh hưởng tới chất lượng tài liệu đo, như đường dây điện, trạm biến thế, hàng rào kim loại, v.v...

5.2.2 Công tác trắc địa

Công tác trắc địa phục vụ thiết kế và xác định mạng lưới tuyến đo, điểm đo trong phương pháp ĐTTSRT thực hiện theo "TCVN 9434: 2012 công tác trắc địa phục vụ đo địa vật lý".

5.3 Đo thử để chọn đài phát

Tại điểm đầu tiên trên tuyến đo, quay mặt theo hướng tuyến, mở máy để dò tìm đài phát. Khi đã bắt được tín hiệu, từ từ xoay người 360°, theo dõi và ghi lại vị trí đài phát có sóng phù hợp nhất. Chọn đài phát có cường độ tín hiệu thu được phù hợp với máy, theo quy định trong hướng dẫn của nhà sản xuất. Lưu ý rằng cường độ tín hiệu quá lớn, vượt quá ngưỡng cho phép (đài phát quá gần khu vực khảo sát) cũng hạn chế kết quả phương pháp.

Trong trường hợp không chọn được đài phát phù hợp vì các lý do nêu trên, có thể giải quyết theo 2 cách:

- Hoàn việc đo lại trong khoảng thời gian nào đó. Sau đó tiếp tục dò tìm lại đài phát phù hợp.
- Dùng máy điện từ phát riêng

5.4 Đo đạc thực địa

5.4.1 Không tiến hành đo vào những ngày thời tiết xấu: có mưa, giông, sấm chớp, những ngày có bão từ, v.v..

5.4.2 Các máy thu VLF hiện nay hầu hết được thiết kế để đo, ghi số liệu theo tuyến. Vì vậy, ngoài thực địa việc đo được thực hiện lần lượt cho từng điểm, từ đầu tuyến đến cuối tuyến. Kết thúc một tuyến đo thì chuyển sang tuyến bên cạnh, đo theo chiều ngược lại. Cứ tiếp tục như vậy cho đến khi kết thúc toàn bộ khu vực khảo sát.

5.4.3 Các máy đo VLF lưu tọa độ tuyến đo, điểm đo trên tuyến, thực chất là đánh số tuyến đo, điểm đo theo cách đã được lập trình sẵn, không thể thay đổi. Cách đánh số tọa độ này có thể không giống với cách đánh số tuyến đo, điểm đo truyền thống. Do vậy trong quá trình đo thực địa cần có sổ nhật ký để ghi chép riêng, tiện liên kết với tài liệu địa chất, tài liệu của các phương pháp khác. Mẫu sổ nhật ký thực địa xem phụ lục A.

5.4.4 Tại mỗi điểm đo đầu thu (sensor) phải được giữ cố định, thẳng đứng (sai lệch không quá $10^\circ - 15^\circ$) trong khi đo.

5.4.5 Trong quá trình đo phải liên tục theo dõi chất lượng tín hiệu đài phát. Khi tín hiệu phát yếu, máy sẽ có thông báo. Lúc đó phải dừng đo để chờ tín hiệu đạt yêu cầu mới tiếp tục quá trình đo.

5.4.6 Khi cần có thể dò tìm đài phát sóng khác để sử dụng. Luôn ghi vào nhật ký để lưu ý thông tin này.

5.4.7 Kết thúc một ngày đo, nhất thiết phải chuyển số liệu đo sang máy tính hoặc các phương tiện lưu giữ khác.

5.5 Đo kiểm tra

Để đánh giá chất lượng đo đạc có thể tiến hành đo kiểm tra với khối lượng từ 5 + 10% số điểm đo. Do cách đo ghi, lưu số đọc của các máy thu VLF là theo tuyến đo nên việc đo kiểm tra thường tiến hành trên toàn bộ một hoặc vài tuyến nhất định.

6 Công tác trong phòng

6.1 Đánh giá chất lượng số liệu đo đạc

6.1.1 Đánh giá sơ bộ

Có thể đánh giá sơ bộ chất lượng đo đạc như sau: so sánh các đường cong tín hiệu thu được đo lần 1 và đo lần 2, nếu vị trí các dị thường trên tuyến và dáng điệu đường cong có tính lặp lại tốt thì kết quả đo là đạt yêu cầu. Lúc đó có thể tính sai số cho từng phần hoặc toàn vùng.

6.1.1 Tính sai số

Sai số của phương pháp ĐTTSRT tính theo công thức:

$$\sigma_n = \pm \sqrt{\frac{\sum \sigma_i^2}{2n}}$$

σ_i là hiệu giá trị trường đo lần 1 và lần 2 tại điểm i ; n là số điểm đo kiểm tra.

6.2 Chính lý tài liệu

Xem lại các đồ thị trên máy đo trước khi đổ số liệu sang máy tính hoặc các phương tiện lưu giữ khác. Có thể loại bớt các điểm đo không đạt yêu cầu chất lượng.

Gán các thông tin bổ sung như tên tuyến, tên điểm đo. Gán tọa độ không gian phù hợp để có thể vẽ bằng các phần mềm GIS, hoặc liên kết với tài liệu địa chất, trắc địa, các tài liệu địa vật lý khác.

6.3 Tổng hợp tài liệu

Đưa các tuyến đo, điểm đo ngoài thực địa lên bản đồ. Thành lập các mặt cắt địa hình trước khi vẽ các đồ thị theo tuyến đo.

Thu thập các tài liệu địa chất, tài liệu địa vật lý khác có trong vùng để phân tích phối hợp.

7 Giải đoán kết quả

7.1 Trình tự giải đoán

Phân tích sơ bộ đặc điểm các đường cong tín hiệu.

Chọn chương trình lọc, các thông số bộ lọc áp dụng

Biến đổi trường, xác định mật độ dòng thứ cấp

Thành lập các bản vẽ, các lát cắt

Xác định đối tượng dị thường, bản chất địa chất của chúng.

7.2 Các phương pháp xử lý, phân tích tài liệu

7.2.1 Thực hiện các bộ lọc

TCVN 9431 : 2012

Dùng bộ lọc Fraser cho cả 2 thành phần thực và thành phần ảo của tín hiệu thu được nhằm làm nổi bật và rõ nhất vị trí dị thường. Vị trí các đối tượng dẫn tương ứng với cực trị đường cong sau khi lọc.

Dùng bộ lọc Karous – Hjelt cho thành phần thực của số liệu đo để xác định mật độ dòng thứ cấp trong lát cắt trên tuyến.

7.2.2 Phân tích tài liệu

Nhìn chung việc phân tích kết quả phương pháp điện từ tần số rất thấp chủ yếu là định tính hoặc bán định lượng.

Trước hết cần thành lập các bản vẽ kết quả thực hiện các bộ lọc.

Thành lập các mặt cắt theo các tuyến đo kết quả phương pháp điện từ tần số rất thấp.

Dựa vào kết quả xử lý tài liệu xác định vị trí dị thường tương ứng các đối tượng dẫn được phản ánh qua vị trí cực đại các đường cong.

Độ sâu, quy mô, hướng cắm vật thể gây dị thường phản ánh qua mặt cắt mật độ dòng

Nên phân tích phối hợp với tài liệu của các phương pháp địa vật lý khác, như đo từ mặt đất, mặt cắt điện, đo sâu điện, ảnh điện 2D, v.v..

Khi phân tích theo diện, có thể thành lập các bản đồ đồ thị theo các tuyến đo, bản đồ đẳng trị thành phần thực, thành phần ảo.

Có thể dùng một số phần mềm 3D tiên tiến hiện nay như COSCAD 3D để phân tích phối hợp.

7.3 Lập báo cáo kết quả

7.3.1 Việc lập báo cáo kết quả phương pháp điện từ tần số rất thấp được thực hiện theo các nội dung, trình tự đã quy định trong các quy định hiện hành có liên quan và trong đề án đã được duyệt.

7.3.2 Nhiều điện từ ảnh hưởng trực tiếp tới việc thi công, chất lượng số liệu, độ sâu khảo sát nên trong báo cáo và bản đồ, sơ đồ các tuyến đo cần ghi rõ, vẽ vị trí các nguồn nhiễu điện từ (đường dây tải điện cao thế, đường dây điện sinh hoạt, trạm biến thế, máy phát điện, ...).

7.3.3 Nội dung của báo cáo tổng kết phải nêu được các nội dung chính sau:

- Cơ sở pháp lý
- Mục tiêu, nhiệm vụ của công tác đo sâu cộng hưởng từ
- Phương pháp kỹ thuật thu thập tài liệu thực địa
- Khối lượng, chất lượng công tác đo đạc
- Phương pháp kỹ thuật xử lý, phân tích tài liệu
- Giải đoán địa chất tài liệu
- Đánh giá hiệu quả kinh tế, địa chất
- Các kết luận và kiến nghị nếu có

7.3.4 Các bản vẽ, biểu bảng kèm theo báo cáo

- Các đồ thị, mặt cắt kết quả đo trên các tuyến.
- Các bản đồ độ dẫn và mặt cắt độ dẫn theo chiều sâu (kết quả lọc theo chiều sâu)
- Các bản đồ đồ thị theo tuyến đo, các bản đồ đẳng trị các thành phần nằm ngang, thành phần thẳng đứng, hoặc phần thực và phần ảo.
- Kết quả giải đoán gồm vị trí các dị thường, một số nhận định về quy mô, vị trí, hướng cắm của đối tượng gây dị thường.

Phụ lục A
Mẫu số thực địa
Phương pháp điện từ tần số rất thấp

A.1 Mẫu trang bìa 1a

<p style="text-align: center;">TÊN ĐƠN VỊ THỰC HIỆN</p> <p style="text-align: center;">SỐ ĐO</p> <p style="text-align: center;">PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN TỪ TẦN SỐ RẤT THẤP</p> <p style="text-align: center;">Quyển số:</p> <p>Đề án:</p> <p>.....</p> <p style="text-align: center;">Năm</p>

A.2 Mẫu trang bìa 1b (mặt sau của trang 1a)

<p style="text-align: center;">Ai nhận được số này xin gửi lại theo địa chỉ:</p> <p style="text-align: center;">TÊN ĐƠN VỊ THỰC HIỆN</p> <p>Địa chỉ:</p> <p>Điện thoại:</p> <p style="text-align: center;">Xin cảm ơn</p> <p style="text-align: center;">Năm</p>

Phụ lục B

(Tham khảo)

Đặc trưng kỹ thuật chính của một số máy thu, phát trong phương pháp điện từ tần số rất thấp

B.1 Máy thu EM16

Đại lượng đo:

Thành phần đồng pha và thành phần vuông pha của trường thứ cấp. Tính bằng tỷ số (%) so với trường sơ cấp.

Tần số làm việc:

15 đến 30 KHz, tùy thuộc vào đài phát chọn được

Dải đo:

Thành phần đồng pha: $\pm 150\%$

Thành phần vuông pha: $\pm 40\%$

Kích thước:

58cmx30cmx22cm

B.2 Máy thu WADI

Đại lượng đo:

Thành phần đồng pha và thành phần vuông pha của trường thứ cấp. Tính bằng tỷ số (%) so với trường sơ cấp.

Đại lượng hiển thị:

- Mật độ dòng điện
- Thành phần đồng pha
- Thành phần vuông pha

Tần số làm việc:

15 đến 30 KHz, tùy thuộc vào đài phát chọn được

Dải đo:

Thành phần đồng pha: $\pm 150\%$

Thành phần vuông pha: $\pm 40\%$

Kích thước:

58cmx30cmx22cm

B.3 Máy thu ENVI SYSTEM VLF/MAG/GRAD

Đại lượng đo:

VLF:

Thành phần đồng pha và thành phần vuông pha của trường thứ cấp. Tính bằng tỷ số (%) so với trường sơ cấp.

TCVN 9431 : 2012

MAG:

Trường từ tổng. Đơn vị đo: nT

GRAD:

Gradient thẳng đứng trường từ tổng. Đơn vị đo: nT/m

Đại lượng hiển thị:

- Mật độ dòng điện
- Thành phần đồng pha
- Thành phần vuông pha

Tần số làm việc:

15 đến 30 KHz, tùy thuộc vào đài phát chọn được

Dải đo:

VLF:

Thành phần đồng pha: $\pm 150\%$

Thành phần vuông pha: $\pm 40\%$

MAG:

20.000 + 100.000 nT

Kích thước:

58cmx30cmx22cm

B.4 Máy phát TX-27

- Là loại máy phát sóng điện từ tần số rất thấp, có thể vận chuyển, mang vác dễ dàng. Dùng với máy thu loại EM16 hoặc EM16/16R trong trường hợp tín hiệu thu được từ các đài phát cố định yếu, không liên tục

- Khi dùng với máy thu EM16, một đoạn dây dẫn dài 1km tiếp đất được sử dụng làm anten phát của máy TX27.

Phụ lục C Danh mục tài liệu tham khảo

- [1.] Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 1-1: 2008. Quy trình xây dựng tiêu chuẩn Quốc gia. Bộ Khoa học và Công nghệ. 2008
- [2.] Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 1-2: 2008. Quy định về trình bày và thể hiện nội dung tiêu chuẩn quốc gia. Bộ Khoa học và Công nghệ. 2008
- [3.] Nguyễn Trọng Nga. Thăm dò điện phân giải cao. Nhà xuất bản Giáo dục. 1997.
- [4.] Nguyễn Trọng Nga. Thăm dò điện trở và điện hóa. Nhà xuất bản Giao thông vận tải. 2006.
- [5.] Nguyễn Trọng Nga. Thăm dò điện tần số thấp và cao. Nhà xuất bản Giao thông vận tải. 2006.
- [6.] Giáo trình Thăm dò điện. Moscow.1978. Iakubovxki I. V., (tiếng Nga).
- [7.] Các phương pháp thăm dò điện cảm ứng. Moscow.1978. Iakubovxki I. V., (tiếng Nga).
- [8.] Quy phạm kỹ thuật thăm dò điện. Bộ Công nghiệp xuất bản. Hà Nội, 1998
- [9.] Báo cáo "Ứng dụng phương pháp điện từ VLF để vẽ bản đồ địa chất và tìm kiếm mỏ sunphur". Lưu trữ Liên đoàn Vật lý Địa chất. Hà Nội, 1988.
- [10.] Khảo sát cấu trúc địa chất bờ sông để xác định các dị thường có khả năng gây sạt lở khu vực Sa Đéc, tỉnh Đồng Tháp bằng phương pháp Georadar và điện từ tần số rất thấp (VLF). Chủ nhiệm: TS. Lê Ngọc Thanh. Sở KH&CN Đồng Tháp. 2001.
- [11.] Khảo sát bờ sông khu vực thị trấn Hồng Ngự để xác định cấu trúc địa chất. địa chất công trình và dự báo khả năng gây sạt lở bờ sông. Chủ nhiệm: TS. Lê Ngọc Thanh. Sở KH&CN Đồng Tháp. 2003.
- [12.] Legchenko A.V., Baltassat J.-M., Beauce A., Bernard J.,2002. Nuclear magnetic resonance as a geophysical tool for hydrogeologists. Journal of Applied Geophysics, vol. 50, N^o 1-2, pp. 21-46.
- [13.] Electrical Tomography and VLF Methods contribution to underground waste water pipe construction. Vargemezis G., Gerolymatos E., Aggelopoulos A., Athens, 2007.
- [14.] Investigation of the correlations of fracture frequency and electric resistivity in impact craters in crystalline rocks. Ann Backstrom. Stockholm. 2004
- [15.] Application of intergrated geophysical techniques in the investigation of groundwater contamination: a case study of municipal solid waste leachate
- [16.] VLF – EM 16 Receiver / Transmitter TX-27. Geonics Ltd. 2010. Canada
- [17.] WADI VLF. International frequency List. A Nitro Consult Company.