

Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. Bull. Geol. Soc. Greece	Τομ. XIX Vol.	σελ. 401-430 pag.	Αθήνα 1987 Athens
--	---------------------	-------------------------	-------------------------

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΑΝΩΜΑΛΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Β. Κ. ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ*, Γ. Φ. ΚΑΡΑΚΑΪΣΗΣ*, Β. Γ. ΚΑΡΑΚΩΣΤΑΣ*
Ε. Ε. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ*, Π. Μ. ΧΑΤΖΗΔΗΜΗΤΡΙΟΥ*
Π. Ε. ΚΟΜΝΗΝΑΚΗΣ** & Σ. Τ. ΤΑΣΣΟΣ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Γίνεται ανασκόπηση της ερευνητικής δουλειάς της σχετικής με τις ανώμαλες μεταβολές του γεωηλεκτρικού πεδίου οι οποίες έχουν σχετιστεί με σεισμούς. Οι πρώτες τέτοιες παρατηρήσεις έχουν γίνει στην Ευρώπη κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών του δεκάτου εννάτου αιώνα και οι πρώτες σχετικές συστηματικές μετρήσεις έγιναν στην Ιαπωνία το 1923. Όμως, η σημαντικότερη ερευνητική δουλειά για την αναγνώριση πρόδρομων γεωηλεκτρικών σημάτων έχει πραγματοποιηθεί στη Σοβιετική Ένωση και τη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας κατά τα τελευταία είκοσι χρόνια. Αν και οι απόψεις των ειδικών επιστημόνων για τη σημαντικότητα των σημάτων αυτών είναι ακόμα αντιφατικές, φαίνεται ότι τέτοια σήματα συμβαίνουν πριν από σεισμούς και σε συνδυασμό με άλλα πρόδρομα φαινόμενα μπορούν να συμβάλλουν στη λύση του προβλήματος της βραχείας διάρκειας πρόγνωσης των σεισμών. Η σχετική εργασία που έχει πραγματοποιηθεί στον ελληνικό χώρο από την ερευνητική ομάδα ΒΑΝ και τους συνεργάτες της κατά τα τελευταία τρία χρόνια πάνω σε ορισμένα γεωηλεκτρικά σήματα σχολιάζεται. Τα διαθέσιμα στοιχεία δεν στηρίζουν την άποψη ότι το πρόβλημα της βραχείας διάρκειας πρόγνωσης των σεισμών στην Ελλάδα έχει λυθεί με βάση τις ιδιότητες αυτών των γεωηλεκτρικών σημάτων μόνο.

ABSTRACT

A review of the research work on the anomalous changes of the telluric field associated with earthquakes is presented. The first such observations have been made in Europe during the last decades of the nineteenth century and the first relevant systematic measurements were made in Japan in 1923. However, the most important research work on the identification of precursory geoelectric signals has been made in Soviet Union and in the People's Republic of China during the last twenty years. Although there are still controversial opinions on the si-

* Εργαστήριο Γεωφυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

** Εθνικό Αστεροσκοπείο "Θεόφραστος", Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

gnificance of these signals, it seems that such signals occur before earthquakes and when are combined with other precursors can contribute to the solution of the short term earthquake prediction problem. The work done by the BAN scientific group on a kind of precursory geoelectric signals during the last three years in Greece is briefly reviewed and discussed. The available information does not support the opinion that the short term earthquake prediction problem in Greece can be solved on the base of properties of these signals alone.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έρευνα πάνω στο πρόβλημα της πρόγνωσης των σεισμών έχει ενταθεί κατά τα τελευταία είκοσι χρόνια. Η βασική φιλοσοφία της σύγχρονης αυτής προσπάθειας για τη λύση του μεγάλου αυτού προβλήματος είναι η πραγματοποίηση παρατηρήσεων προδρομικών φαινομένων, δηλαδή φαινομένων που προηγούνται των σεισμών, και η αξιοποίηση των ιδιοτήτων των φαινομένων αυτών για τον προκαθορισμό των χρόνων γένεσης, των συντεταγμένων των εστιών και των μεγεθών των σεισμών με ακρίβεια που να έχει πρακτική ή τουλάχιστον επιστημονική σημασία.

Η έρευνα αυτή έδειξε την ύπαρξη μεγάλου αριθμού πρόδρομων φαινομένων (γεωφυσικών, σεισμικών, γεωδαιτικών, γεωχημικών, μακροσκοπικών, κλπ) και παράλληλη εργαστηριακή και θεωρητική ερευνητική δουλειά απέδειξε ότι σημαντικός αριθμός τέτοιων φαινομένων οφείλεται σε φυσικές μεταβολές που γίνονται στο σεισμογόνο χώρο κατά το στάδιο προετοιμασίας γένεσης του σεισμού. Όμως, σε λίγες μόνο περιπτώσεις έγινε ουσιαστική βραχείας διάρκειας πρόγνωση (της τάξης ωρών ή λίγων ημερών) μερικών σεισμών με συνδυασμό παρατηρήσεων διαφόρων πρόδρομων φαινομένων. Ο λόγος είναι, ότι δυστυχώς κανένα από τα πρόδρομα φαινόμενα που έχουν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα δεν εμφανίζεται συστηματικά πριν από όλους τους σεισμούς και κανενός οι γνωστές ιδιότητες δεν είναι επαρκείς ώστε με βάση αυτές να προκαθοριστούν τα τρία στοιχεία που συνθέτουν το πρόβλημα της πρόγνωσης. Όμως, παρ' ότι η λύση του προβλήματος της πρόγνωσης παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, πιστεύεται ότι η λύση αυτή αποτελεί σήμερα ρεαλιστικό στόχο για την επιστήμη.

Μεταξύ των πρόδρομων φαινομένων τα οποία έχουν μελετηθεί συστηματικά σε διάφορες χώρες είναι τα ηλεκτρομηχανικά φαινόμενα. Τα πρόδρομα ηλεκτρομηχανικά φαινόμενα μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: α) σ' αυτά που σχετίζονται με μεταβολές της ελκτικής ηλεκτρικής αντιστάσης των πετρωμάτων του σεισμογόνου χώρου κατά την προετοιμασία γένεσης ενός σεισμού και β) σ' αυτά που σχετίζονται με μεταβολές του γεωηλεκτρικού (ή ηλεκτροτελλουρικού, Tellus=Πη) πεδίου οι οποίες οφείλονται σε δημιουργία ηλεκτρεγερτικής δύναμης στο σεισμογόνο χώρο κατά τη φυ-

σική διαδικασία προετοιμασίας γένεσης του σεισμού. Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με τη δεύτερη κατηγορία φαινομένων, δηλαδή με τις ανώμαλες μεταβολές του γεωηλεκτρικού πεδίου που προηγούνται των σεισμών.

Θα ασχοληθούμε συγκεκριμένα: με τις παρατηρήσεις γεωηλεκτρικών φαινομένων που σχετίζονται με τους σεισμούς και έγιναν κατά κύριο λόγο στην Ευρώπη, με τις παλαιότερες σχετικές μετρήσεις υπαίθρου που έγιναν στην Ιαπωνία αλλά και τις νεώτερες που έγιναν κατά κύριο λόγο στη Σοβιετική Ένωση και την Κίνα (τρόποι μετρήσεων, ιδιότητες προδρομών σημάτων, κλπ), με την προσπάθεια ερμηνείας των γεωηλεκτρικών αυτών σημάτων με απλά φυσικά μοντέλα, με την αξιολόγηση των στοιχείων αυτών όσον αφορά την σημασία τους για την πρόγνωση των σεισμών και με τη σχετική ερευνητική προσπάθεια που γίνεται κατά τα τελευταία τρία χρόνια στη χώρα μας από τη γνωστή ερευνητική ομάδα BAN και τους συνεργάτες της. Καταβάλλεται ιδιαίτερη προσπάθεια αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της έρευνας αυτής με βάση τις σχετικές δημοσιεύσεις ή τα άλλα επίσημα στοιχεία (τηλεγραφήματα, ανακοινώσεις σε συνέδρια) τα οποία έχουμε στη διάθεσή μας.

2. ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ

Ανώμαλες μεταβολές του γεωηλεκτρικού πεδίου οι οποίες σχετίζονται με σεισμούς έχουν γίνει αντικείμενο παρατήρησης και έρευνας από τις τελευταίες δεκαετίες του δέκατου ένατου αιώνα (Deit 1973, Yamazaki 1977, Dmowska 1977, Honkura 1981), από τότε δηλαδή που η Σεισμολογία άρχισε να γίνεται ανεξάρτητη επιστήμη. Εδώ θα αναφέρουμε τις πιο γνωστές από τις παλαιότερες παρατηρήσεις που έγιναν κατά κύριο λόγο στην Ευρώπη βασιζόμενοι κυρίως στις πληροφορίες που δίνει ο Yamazaki (1977).

Ασυνήθιστη ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε δύο καλώδια που συνέδεαν την Αγγλία και την Αμερική κατά τη διάρκεια μερικών λεπτών πριν και μετά από ορισμένους σεισμούς που έγιναν στις 17 Μαρτίου 1871 στο κόλπο του Trinity (Newfoundland, Καναδάς) καθώς και ροή ισχυρού ηλεκτρικού ρεύματος στα καλώδια που συνέδεαν την Valentia με το Λονδίνο ακριβώς πριν από το σεισμό που έγινε στις Ινδίες στις 15 Δεκεμβρίου 1872 θεωρούνται από τις πρώτες παρατηρήσεις που αφορούν ανώμαλες μεταβολές του γεωηλεκτρικού πεδίου που σχετίζονται με σεισμούς (Yamazaki 1977).

Πληροφορίες για διατάραξη των γαλλικών καλωδίων στον Ατλαντικό ωκεανό και των καλωδίων στην Αγγλία από σεισμούς έχουν αναφερθεί αλλά δεν υπάρχουν λεπτομερείς περιγραφές των φαινομένων αυτών (Varley 1871).

Ανώμαλες μεταβολές στα ηλεκτρικά καλώδια συσχετίστηκαν επίσης με σεισμούς που έγιναν στις 12 Ιανουαρίου 1873 στην Αίγυπτο και στις 17 Μαΐου 1875 στη Μαρτίνικα. Η ανωμαλία στο γεωηλεκτρικό πεδίο που προηγήθηκε του σεισμού της Αιγύ-

που το 1873 άρχισε με ριζικές ώρες πριν από το σεισμό, ενώ η ανωμαλία που σχετίστηκε με το σεισμό της Μαρτινίκας το 1875 έγινε αισθητή από τους χειριστές τηλεγράφων και συνοδεύτηκε με εκτροπή της βελόνας ενός γαλβανόμετρου (Milne 1890).

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ

Οι πρώτες γεωηλεκτρικές μετρήσεις για την ανίχνευση πρόδρομων γεωηλεκτρικών ανωμαλιών έγιναν στην Ιαπωνία από τον Shiratori το 1923. Αυτός χρησιμοποίησε δύο χάλκινα ηλεκτρόδια διαμέτρου 2 cm τα οποία έβαλε κατακόρυφα σε βάθος 1 m και τα σύνδεσε με ένα ηλεκτόμετρο για να πραγματοποιήσει γεωηλεκτρικές μετρήσεις το 1923 κοντά στη Sendai της βορειοανατολικής Ιαπωνίας (Shiratori 1925). Έτσι, παρατήρησε μεταβολές τάσεων οι οποίες σχετιζόνταν με το γνωστό σεισμό του Kanto ($M = 7,9$) που έγινε την 1η Σεπτεμβρίου 1923 και του οποίου το επίκεντρο βρισκόταν σε απόσταση 353 Km νότια του σημείου των μετρήσεων. Παρατήρησε παρόμοιες γεωηλεκτρικές μεταβολές που σχετιζόνταν με δύο άλλους σεισμούς οι οποίοι έγιναν στις 9 και 31 Οκτωβρίου του 1923 σε αποστάσεις 120 Km NNE και 60 Km ESE, αντίστοιχα, από το σημείο των ηλεκτρικών μετρήσεων.

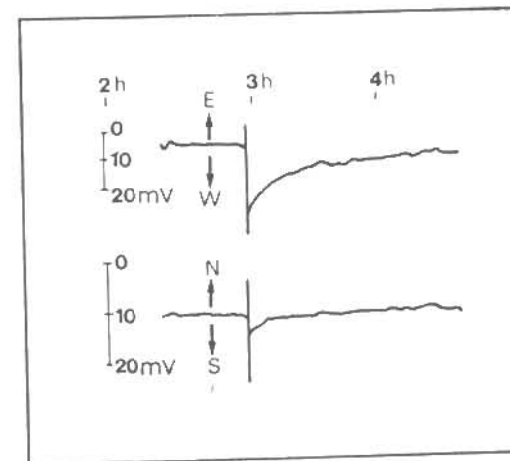
Ο Noto (1933) για να πραγματοποιήσει γεωηλεκτρικές μετρήσεις στην Κεντρική Ιαπωνία μεταξύ Ιουνίου 1930 και Μαΐου 1931 χρησιμοποίησε ως ηλεκτρόδια χάλκινες πλάκες διαστάσεων 50 cm x 50 cm τις οποίες τοποθέτησε σε βάθος 2 m και τις σύνδεσε με σύστημα γαλβανόμετρου (εσωτερικής αντίστασης 200Ω) - καταγραφικού ευαισθησίας 0,5 mV/mm. Η καταγραφή των τιμών γινόταν ανά ίσα χρονικά διαστήματα 30 s e c. Με βάση τις μετρήσεις του κατέταξε τις γεωηλεκτρικές ανωμαλίες που σχετίζονται με τους σεισμούς σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή τους.

Ο Fukutomi (1934) τοποθέτησε δύο κυλινδρικά ηλεκτρόδια μολύβδου σε απόσταση 100 m μεταξύ τους για να πραγματοποιήσει μετρήσεις πρόδρομων γεωηλεκτρικών σημάτων. Πέτυχε έτσι να ανιχνεύσει πρόδρομο ηλεκτρικό σήμα ενός σεισμού που έγινε την 21 Μαρτίου 1934 ($M = 5,5$) στο νότιο τμήμα της χερσονήσου Izu. Το σήμα αυτό γράφτηκε συγχρόνως στους δύο σταθμούς Susaki και Nabeta, που απέιχαν μικρή απόσταση από το επίκεντρο του σεισμού (~ 15 Km), ενώ το σήμα αυτό δεν γράφτηκε στο σταθμό Kakiooka που απέιχε μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα από το επίκεντρο. Η τάση ελαττώθηκε κατά 4 mV, ενώ η ελάττωση άρχισε 16 ώρες περίπου πριν το σεισμό.

Ο Yoshimatsu (1937a, b, 1938, 1943, 1957) χρησιμοποίησε δύο ζεύγη ηλεκτροδίων από χάλκινες πλάκες (εμβαδού 70 cm x 70 cm και πάχους 5 mm) που είχε τοποθετήσει σε βάθος 4 m για να ανιχνεύσει πρόδρομα γεωηλεκτρικά σήματα που σχετιζό-

νται με σεισμούς στην Ιαπωνία και τις γύρω περιοχές. Για να ελαττώσει το θόρυβο, που οφείλεται σε αίτια έξω από τη Γη (γεωμαγνητικές μεταβολές, κλπ), τοποθέτησε τα δύο ζεύγη ηλεκτροδίων κατά την ίδια διεύθυνση (E-W) αλλά οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων του ενός ζεύγους ήταν 100 m ενώ του άλλου 1500 m. Με τη μέθοδο του αυτή, την οποία ονόμασε μέθοδο διαφορικής γεωτάσης, παρατήρησε γεωηλεκτρικές μεταβολές που σχετιζόνταν με διάφορους σεισμούς (στη Nigima 1936, στη Nojimaraki 1936, στην Kii-Straits 1938, στην Tottori 1943) που είχαν μεγέθη μεγαλύτερα του 6 και επικεντρικές αποστάσεις μεγαλύτερες των 200 Km.

Ο Nagata (1944) πραγματοποίησε συνεχείς γεωηλεκτρικές μετρήσεις στην περιοχή του ρήγματος Sikanu επί δύο εβδομάδες, αμέσως μετά το σεισμό του Tottori ($M = 7,4$), τοποθετώντας ένα ζεύγος ηλεκτροδίων παράλληλα προς τη διεύθυνση του ρήγματος (E-W) και ένα άλλο ζεύγος ηλεκτροδίων κάθετα προς τη διεύθυνση του ρήγματος (N-S). Οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων του πρώτου ζεύγους (EW) ήταν 98 m και του δεύτερου (NS) 112 m. Παρατήρησε ότι σμήνη μετασεισμών γίνονταν με ριζικές ώρες μετά από ανώμαλες μεταβολές της τάσης του γεωηλεκτρικού πεδίου οι οποίες μεταβολές διαρκούσαν από μερικά λεπτά μέχρι λίγες ώρες.



Σχ.1. Γεωηλεκτρικό σήμα βραχείας περιόδου (1/2 της ώρας) που σχετίστηκε με σεισμό ο οποίος έγινε στο Matsushiro της Ιαπωνίας στις 23 Νοεμβρίου 1956 (Rikitake et al 1966).

Οι Yanagihara και Yokouchi (1967) πραγματοποίησαν συνεχείς γεωηλεκτρικές μετρήσεις στο γεωμαγνητικό σταθμό Kakioka 1962-1966 οπότε παρατήρησαν διάφορες γεωηλεκτρικές ανωμαλίες οι οποίες αποκτούσαν γρήγορα τη μέγιστη τιμή και επανερχόνταν βαθμιαία στην αρχική κανονική τιμή. Από τις 21 περιπτώσεις, κατά τις οποίες η τάση απόκτησε τιμή μεγαλύτερη των 5 mV, οι 6 ανωμαλίες σχετιζόνταν με βροχόπτωση και οι υπόλοιπες 15 πιθανώς σχετιζόνταν με σεισμούς.

Κατά την περίοδο 1965-1967 της σημοσειεράς του Matsushiro έγιναν συστηματικές γεωηλεκτρικές μετρήσεις με δύο κάθετα ζεύγη (N-S, E-W) ηλεκτροδίων μολύβδου τα οποία έβαζαν σε βάθος 1 m και σε αποστάσεις 64 m και 72 m, αντίστοιχα, ενώ γινόταν συνεχής αναγραφή με καταγραφικό ταχύτητας περιστροφής 60 rpm/h (Rikitake et al 1966). Αν και έγιναν πάρα πολλοί σεισμοί με μέγεθος 5,0 ή μεγαλύτερο μόνο σε μία περίπτωση παρατηρήθηκε μία ανωμαλία και κατά τις δύο διευθύνσεις (NS, EW) η οποία σχετίστηκε με ένα σεισμό μεγέθους 5,0 (σχ. 1.). Είναι ενδιαφέρον ότι και το σήμα αυτό έχει την κλασική μορφή (απότομη μεταβολή στην αρχή και βαθμιαία επάνοδο) ενώ η διάρκεια του σήματος είναι της τάξης των 30 min.

4. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΙΝΑ

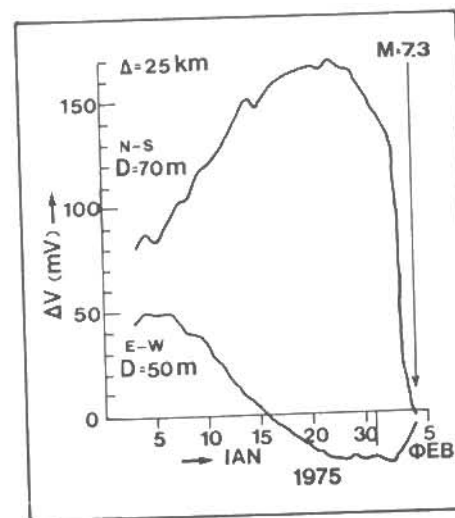
Μετρήσεις γεωηλεκτρικών ανωμαλιών οι οποίες σχετίζονται με σεισμούς πραγματοποιούνται στην Κίνα όχι μόνο από ειδικούς επιστήμονες αλλά και από ερασιτέχνες (εργάτες, αγρότες, υπαλλήλους κλπ) κατά την τελευταία εικοσαετία. Οι πληροφορίες που έχουμε στη διάθεσή μας για τις παρατηρήσεις αυτές οφείλονται κυρίως σε δημοσιεύσεις δυτικών επιστημόνων οι οποίοι επισκέφθηκαν την Κίνα ως μέλη αποστολών.

Μετά τη γένεση δύο σεισμών μεγέθους 6,8 και 7,2 στη Hsingtai της επαρχίας Horei (340 Km SW του Πεκίνου) το 1966 εγκαταστάθηκε κοντά στην πόλη αυτή ο σταθμός Hongshan όπου γίνονταν μετρήσεις διαφόρων γεωηλεκτρικών στοιχείων μεταξύ των οποίων ήταν και μεταβολές γεωηλεκτρικών ρευμάτων. Παρατηρήθηκαν μικρές μεταβολές στο γεωηλεκτρικό ρεύμα πριν και μετά από κάθε σεισμό με μέγεθος 3,0 ή μεγαλύτερο (Coe 1971).

Πριν από το σεισμό της 11 Μαΐου 1974 (M = 7,1) στην Chaoting της επαρχίας Yunnan ένα αμπερόμετρο που χειριζόταν ένας ερασιτέχνης και έκανε παρατηρήσεις σε απόσταση 90 Km από το επίκεντρο έδειξε ελάττωση της τιμής της έντασης κατά 90 μ A από την κανονική τιμή, ενώ για την πρόγνωση ενός σεισμού μεγέθους 4,8, που έγινε στις 17 Ιουλίου 1972 στην ίδια Κινεζική επαρχία, χρησιμοποιήθηκαν και παρατηρήσεις ανώμαλων μεταβολών γεωηλεκτρικών μαζί με άλλα στοιχεία (Allen et al 1975).

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα πρόδρομα γεωηλεκτρικά σήματα του σει-

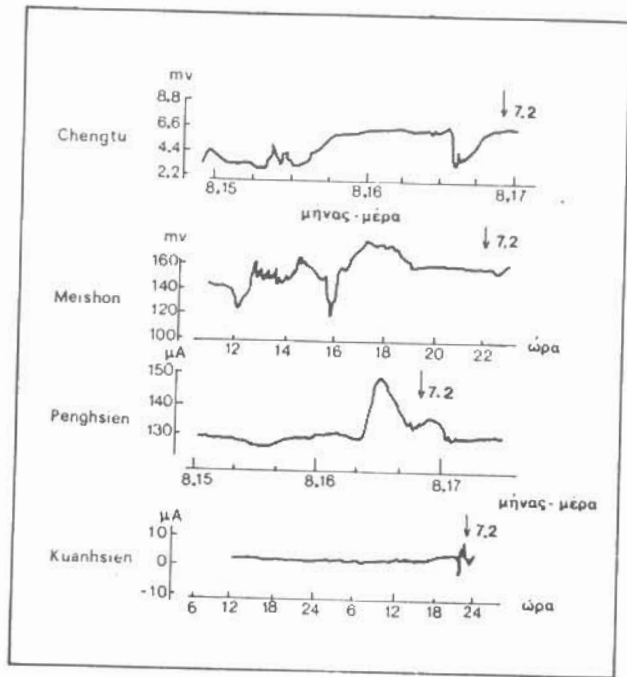
σμού της Haicheng της 4ης Φεβρουαρίου 1975 (M = 7,3), ο οποίος φαίνεται ότι προβλέφθηκε με σημαντική ακρίβεια. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν παρατηρήσεις διαφόρων φαινομένων μεταξύ των οποίων και παρατηρήσεις γεωηλεκτρικών ανωμαλιών (Raleigh et al 1977). Συστηματικές γεωηλεκτρικές μετρήσεις γίνονταν από ερασιτέχνες σε διάφορους σταθμούς με χάλκινα ραβδόμορφα ηλεκτρόδια ή με ηλεκτρόδια από πλάκες μολύβδου που απείχαν 60 m και συνδεόνταν με μικροαμπερόμετρο και με ηλεκτρική αντίσταση (μερικών K Ω) σε σειρά. Το σχήμα (2) δείχνει τη μετα-



Σχ. 2.- Γεωηλεκτρικό σήμα μακράς διάρκειας πριν από το σεισμό της Haicheng της 4ης Φεβρουαρίου 1975 (Raleigh et al 1977).

βολή της τάσης σε συνάρτηση με το χρόνο σε ένα από τους ερασιτεχνικούς σταθμούς. Βαθμιαία μεταβολή της τάσης παρατηρείται τόσο στα ηλεκτρόδια που είχαν διεύθυνση N-S (αύξηση) όσο και στα ηλεκτρόδια που είχαν διεύθυνση E-W (ελάττωση) σχεδόν μέχρι το τέλος Ιανουαρίου, οπότε η μεταβολή της τάσης άλλαξε φορά. Στις 16 h 00 m της 3ης Φεβρουαρίου μία πολύ ισχυρή μεταβολή της τάσης παρατηρήθηκε και στα δύο ζεύγη ηλεκτροδίων η οποία κράτησε μέχρι τη γένεση του σεισμού. Ανώμαλες μεταβολές παρατήρησαν και άλλες ερασιτεχνικές ομάδες, όπως η ομάδα 2, η οποία ανέφερε σε τοπική σύσκεψη το πρωί της 4ης Φεβρουαρίου ότι αναμένει ένα άμεσα επερχόμενο καταστροφικό σεισμό στο νοτιοανατολικό μέρος της χώρας. Ο σεισμός της Haicheng έγινε το απόγευμα της ίδιας μέρας σε απόσταση 90 Km νοτιοανατολικά του σημείου παρατήρησης.

Στις 16, 22, και 23 Αυγούστου 1976 έγιναν τρεις διαδοχικοί σεισμοί ($M = 7,2 - 6,8 - 7,2$) στην περιοχή Sungpan-Pingwu της επαρχίας Szechuan. Οι σεισμοί αυτοί προβλέφθηκαν με σφάλμα μικρότερο από 0,5 στο μέγεθος, 150kmx150km στο επίκεντρο και με ακρίβεια μιας μέρας στο χρόνο (Wallace and Ta-Liang Teng 1980). Μεταξύ των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόγνωση αυτή ήταν και γεωηλεκτρικά στοιχεία. Το σχήμα (3) δείχνει τις μεταβολές της γεωηλεκτρικής τάσης σε mV σε δύο



Σχ. 3.- Γεωηλεκτρικά σήματα πριν από σεισμό στην περιοχή Sungpan-Pingwu της Κίνας στις 16 Αυγούστου 1976 (Wallace and Ta-Liang Teng 1980).

ο σταθμούς και της έντασης του ρεύματος σε μA σε άλλους δύο σταθμούς καθώς και το χρόνο γένεσης του πρώτου σεισμού. Παρατηρούμε ότι οι ανώμαλες μεταβολές του γεωηλεκτρικού πεδίου προηγήθηκαν του σεισμού με ριζικές ώρες και ο σεισμός έγινε μετά την επάνοδο της τάσης στην αρχική της τιμή.

5. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΣΟΒΙΕΤΙΚΗ ΕΝΩΣΗ

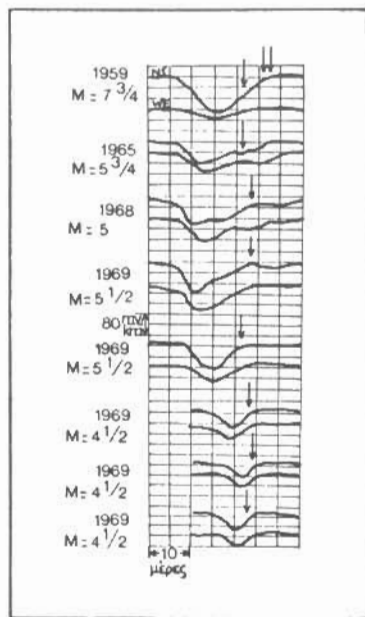
Εντατική προσπάθεια έχει γίνει από Σοβιετικούς επιστήμονες για την παρατήρηση ανώμαλων μεταβολών του γεωηλεκτρικού πεδίου πριν από σεισμούς κατά μήκος των ακτών της ανατολικής Καμτσιάτκας (στο βόρειο Ειρηνικό) από το 1966. Οι μετρήσεις γίνονταν σε δίκτυο σταθμών οι οποίοι απείχαν αποστάσεις που κυμαίνονταν μεταξύ 100 Km και 200 Km. Χρησιμοποιούσαν σε κάθε σταθμό δύο ζεύγη ηλεκτροδίων (NS, EW) μόλυβδου ή αποπολωτικά ηλεκτρόδια (με ειδικό φίλμ) που τοποθετούσαν σε βάθος 2 m και σε αποστάσεις μεταξύ τους 200 m (Sobolev 1975). Για να διακρίνουν ανωμαλίες του γεωηλεκτρικού πεδίου που προηγούνται σεισμών από το θόρυβο ο οποίος δημιουργείται από διάφορα αίτια (πόλωση ηλεκτροδίων κατά την επαφή τους με το έδαφος, διαταραχές που παράγονται από επαγόμενα ρεύματα, κλπ) χρησιμοποίησαν ορισμένους σταθμούς πρόσθετα ζεύγη ηλεκτροδίων (μέχρι δέκα), τα οποία τοποθέτησαν κατά διάφορες διευθύνσεις και με διάφορες αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων κάθε ζεύγους. Έτσι με συσχέτιση των δεδομένων πολλών σταθμών και πολλών γραμμών μέτρησης (με κατάλληλο πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή) και σύγκριση με γεωμαγνητικές μεταβολές κατόρθωσαν να απομονώσουν ασυνήθιστες ανωμαλίες του γεωηλεκτρικού πεδίου που πιθανώς σχετίζονταν με σεισμούς. Με τη μεθοδολογία αυτή, κατόρθωσαν να διακρίνουν πρόδρομες ανωμαλίες διαφόρων ειδών. Το ένα είδος ανωμαλιών είναι πολύ μικρής διάρκειας, δηλαδή παλμός (Sobolev and Morozov 1972) και δε φαίνεται να παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον. Δύο άλλα είδη ανωμαλιών, το ένα διάρκειας της τάξης μισής ώρας (βραχείας διάρκειας) και το άλλο μερικών ημερών (μακράς διάρκειας) παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την πρόγνωση των σεισμών και θα τις περιγράψουμε.

Οι βραχείας διάρκειας μεταβολές του ηλεκτροτελεωρικού πεδίου που μέτρησαν οι σοβιετικοί επιστήμονες στην Καμτσιάτκα κατά την περίοδο 1966-1968 (Fedotov et al 1971), Sobolev and Morozov 1972) και θεωρήθηκαν πρόδρομες σεισμών παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Έχουν διάρκεια από μερικά λεπτά μέχρι μερικές δεκάδες λεπτών.
- Προηγούνται των σεισμών μερικές ώρες (με συνηθέστερη εμφάνιση από 0 μέχρι 8 ώρες) αλλά εμφανίζονται και μετά τους σεισμούς.
- Το πλάτος τους είναι της τάξης των 5 mV ανά 100 m (50 mV/Km).
- Το σήμα έχει τη μορφή ασύμμετρου παλμού του οποίου το πλάτος αποκτά τη μέγιστη τιμή σε μικρότερο χρόνο από το χρόνο που χρειάζεται να επανέλθει στη κανονική τιμή.

Η εμπειρία των σοβιετικών σεισμολόγων πάνω στις μετρήσεις αυτών των βραχείας διάρκειας πρόδρομων γεωηλεκτρικών ανωμαλιών είναι ότι αυτές δε μπορούν να θεωρηθούν από τα πιο αξιόπιστα πρόδρομα φαινόμενα (Duvolska 1977).

Από μετρήσεις που έκαναν οι σοβιετικοί επιστήμονες στην ανατολική Καμτσάτκα κατά την περίοδο 1972-1975 πέτυχαν να ανιχνεύσουν μακράς διάρκειας (μεταξύ 5 και 20 ημερών) πρόδρομες γεωηλεκτρικές ανωμαλίες πριν από σεισμούς μεγέθους $M \geq 4,5$ (Myachkin et al 1972, Sobolev 1975, Fedotov et al 1977). Μιά τέτοια ανωμαλία χαρακτηριζόταν ως πρόδρομο σήμα αν γραφόταν από ορισμένο αριθμό σταθμών και πάνω. Η ανωμαλία αυτή της έντασης του γεωηλεκτρικού πεδίου έχει τη μορφή του σχήματος (4). Δηλαδή, η ένταση του πεδίου ελαττώνεται απότομα κατά τις



Σχ. 4.- Γεωηλεκτρικά σήματα μακράς διάρκειας πριν από σεισμούς στη Σοβιετική Ένωση (Myachkin et al 1972).

3-4 πρώτες μέρες από την αρχή της μεταβολής μέχρις ότου αποκτήσει τη μέγιστη (αρνητική) τιμή και επανέρχεται με αργότερο ρυθμό στην κανονική της τιμή λίγο πριν, κατά την διάρκεια ή λίγο μετά τη γένεση του σεισμού. Τα πλάτη των σημάτων αυτών μεταβάλλονται σε πρώτη προσέγγιση αντιστρόφως ανάλογα ($\frac{1}{r}$) της επικεντρικής απόστασης και αυξάνουν με το μέγεθος του σεισμού (Sobolev 1974). Οι σοβιετικοί επιστήμονες χρησιμοποίησαν τα σήματα αυτά και σε συνδυασμό με άλλα πρόδρομα φαινόμενα πέτυχαν να προβλέψουν το χρόνο γένεσης ορισμένων σεισμών με ακρίβεια της τά-

εις λίγων ημερών και με κάποια προσέγγιση τα επίκεντρα. Έτσι κατά την περίοδο 1972-1975 πέτυχαν με τη μέθοδο αυτή, σε συνδυασμό με τη μέθοδο του λόγου των ταχυτήτων των επιμήκων κυμάτων προς τα εγκάρσια, να προβλέψουν, με τη έννοια που αναφέρθηκε παραπάνω, τους 8 από τους 12 σεισμούς μεγέθους $M \geq 5,5$ (Sobolev 1975).

6. ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ ΤΩΝ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Για τη λύση του προβλήματος της πρόγνωσης των σεισμών δεν αρκούν οι μετρήσεις και παρατηρήσεις υπαίθρου, που αποτελούν βέβαια την εντελώς απαραίτητη υπόθεση, αλλά χρειάζεται και φυσική ερμηνεία αυτών. Η φυσική αυτή ερμηνεία μπορεί να γίνει με προσπάθεια κατανόησης των φυσικών διαδικασιών που συμβαίνουν στους σεισμογόνους χώρους κατά το προπαρασκευαστικό στάδιο των σεισμών. Η προσπάθεια αυτή πρέπει να βασισθεί στην πραγματοποίηση σχετικής εργαστηριακής και θεωρητικής έρευνας σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις υπαίθρου.

Πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι υπάρχει πράγματι προπαρασκευαστικό στάδιο, δηλαδή, στο σεισμογόνο χώρο ενός σεισμού πραγματοποιούνται φυσικές διαδικασίες πριν από τη γένεση του σεισμού, στις οποίες διαδικασίες σφειλονται τα διάφορα πρόδρομα φαινόμενα. Το μοντέλο το οποίο είναι σήμερα παραδεκτό από τη μεγάλη πλειονότητα των ειδικών επιστημόνων και ερμηνεύει ικανοποιητικά σημαντικό αριθμό πρόδρομων φαινομένων είναι το μοντέλο της διαστολής των πετρωμάτων πριν από τη γένεση του σεισμού με συνέπεια την πραγματοποίηση στο χώρο αυτό κατά το προπαρασκευαστικό στάδιο του σεισμού διαφόρων φυσικών μεταβολών (δημιουργία ρωγμών, μεταβολή της τάσης κλπ) στις οποίες σφειλονται τα πρόδρομα φαινόμενα. Υπάρχουν δύο απόψεις για το μοντέλο αυτό. Σύμφωνα με την πρώτη άποψη (Scholz et al 1973), κατά το χρόνο διαστολής του σεισμογόνου χώρου νερό μπαίνει στο χώρο αυτό και η εισροή αυτή αποτελεί τη βασική αιτία αλλαγής των φυσικών συνθηκών και εμφάνισης των πρόδρομων φαινομένων ("υγρό μοντέλο"). Σύμφωνα με τη δεύτερη άποψη, (Mogi 1974, Stuart 1974, Brady 1974) την οποία υποστηρίζουν και Σοβιετικοί επιστήμονες, δεν είναι απαραίτητη η παραδοχή ότι νερό μπαίνει στο σεισμογόνο χώρο κατά τη διαστολή των πετρωμάτων του για να ερμηνευτούν τα πρόδρομα φαινόμενα ("ξηρό μοντέλο").

Όσον αφορά την ερμηνεία των ηλεκτρομηχανικών φαινομένων που προηγούνται των σεισμών αναπτύχθηκαν δύο απόψεις. Η μία αποδίδει τα φαινόμενα αυτά σε ηλεκτρικές μεταβολές που πραγματοποιούνται κατά το προπαρασκευαστικό στάδιο στο σεισμογόνο χώρο και μπορεί να συνδυαστεί με το "ξηρό μοντέλο" της διασταλτικότητας, ενώ η άλλη αποδίδει τα φαινόμενα αυτά σε ηλεκτροκλυτική μεταβολές στο σεισμογόνο χώρο και μπορεί να συνδυαστεί με το "υγρό μοντέλο" της

διασταλτικότητας.

Ελαστικοηλεκτρικές μεταβολές είναι το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο κατά το οποίο δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο όταν ασκείται πίεση σε ανισότροπο διηλεκτρικό μέσο καθορισμένης κρυσταλλογραφικής δομής (κρυστάλλους με άξονες άλλ'όχι με κέντρα συμμετρίας) και η ηλεκτροσυστολή, φαινόμενο κατά το οποίο δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο όταν ασκείται πίεση και σε μέσα δι-
αφόρων άλλων δομών όπως σε κρυστάλλους με κέντρα συμμετρίας και άμορφα υλικά (Dziowska 1977). Ο Sobolev και οι συνεργάτες του (1975) έδειξαν με εργαστηριακά πειράματα ότι η πιεζοηλεκτρική δράση, $\kappa = \Delta V / \Delta \sigma$, δηλαδή ο λόγος της ηλεκτρικής τάσης, ΔV , προς τη μεταβολή της μηχανικής τάσης που την προκαλεί, $\Delta \sigma$, είναι της τάξης των $10^{-8} \text{Vm}^2 \text{N}^{-1}$. Επειδή η πίεση της μηχανικής τάσης, $\Delta \sigma$, κατά τη γένεση ενός σεισμού είναι της τάξης μερικών bars ($1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dyn/cm}^2$) η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που μπορεί να παραχθεί στα γρανιτικά πετρώματα των σεισμογόνων χώρων μπορεί να είναι της τάξης των 10 mV/m , τιμή που είναι της ίδιας τάξης με τις πρόδρομες γεωηλεκτρικές ανωμαλίες. Συνεπώς, τα πρόδρομα γεωηλεκτρικά φαινόμενα μπορεί να οφείλονται σε πιεζοηλεκτρισμό που παράγεται στο σεισμογόνο χώρο κατά το Sobolev και τους συνεργάτες του.

Το ηλεκτροκινητικό φαινόμενο είναι εκείνο κατά το οποίο δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο όταν υγρό ρέει (κινείται) μέσα σε πορώδη υλικά. Το ηλεκτρικό δυναμικό που δημιουργείται κατά το φαινόμενο αυτό είναι ανάλογο της πίεσης του υγρού στην οποία οφείλεται η κίνηση του. Η ένταση του παράγωμου ηλεκτρικού πεδίου εξαρτάται και από το πορώδες του στερεού μέσου. Ο Sobolev και οι συνεργάτες του (1975) υπολόγισαν ότι το ηλεκτρικό πεδίο που μπορεί να δημιουργηθεί στο σεισμογόνο χώρο από ηλεκτροκινητικά αίτια μπορεί να είναι της τάξης των $10^{-5} - 10^{-6} \text{ V/m}$, ενώ ο Mizoutani και οι συνεργάτες του (1976) έδωσαν τιμές της τάξης $10^{-1} - 10^{-4} \text{ V/m}$, δηλαδή μεγαλύτερες. Συνεπώς, είναι δυνατόν να δημιουργούνται ηλεκτροκινητικά φαινόμενα στους σεισμογόνους χώρους ορισμένων επιφανειακών σεισμών κατά τα οποία να παράγονται μετρήσιμες τιμές έντασης ηλεκτρικού πεδίου. Τέτοια φυσική διαδικασία είναι σε συμφωνία με το "υγρό μοντέλο" της διασταλτικότητας.

Θα πρέπει όμως να τονίσουμε ότι υπάρχουν επιστήμονες οι οποίοι δεν συμφωνούν ότι ελαστικοηλεκτρικές μεταβολές στους σεισμογόνους χώρους (Tuck et al 1977) ή ηλεκτροκινητικές μεταβολές στους χώρους αυτούς (Honkura 1981) μπορούν να δώσουν μετρήσιμες γεωηλεκτρικές ανωμαλίες.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ

Παρά το ότι ανώμαλες μεταβολές του γεωηλεκτρικού πεδίου, οι οποίες προηγού-

νται των σεισμών, έχουν παρατηρηθεί και μετρηθεί πριν από πολλές δεκαετίες και από τότε έχει πραγματοποιηθεί σημαντική έρευνα πάνω στο θέμα (με προχωρημένες μεθόδους μέτρησης και επεξεργασίας των δεδομένων και προσπάθειες φυσικής ερμηνείας), η αποτελεσματικότητα της γεωηλεκτρικής μεθόδου πρόγνωσης των σεισμών δε θεωρείται, γενικά, πολύ ικανοποιητική. Θα αναφέρουμε εδώ τις απόψεις ορισμένων ειδικών, πάνω στο αντικείμενο, επιστημόνων.

Ο σοβιετικός σεισμολόγος Sobolev, ο οποίος θεωρείται από τους πιά ειδικούς πάνω στο αντικείμενο όχι μόνο λόγω της συμμετοχής του στο σχετικό πρόγραμμα στην Ανατολική Καμπιλιάνκα αλλά και λόγω της συμβολής του στη λύση του προβλήματος με σειρά εργαστηριακών και θεωρητικών εργασιών, καταλήγει (Sobolev 1975), μετά από σχετική εμπειρία αρκετών ετών, στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα του προγράμματος των συνεχών μετρήσεων στην Καμπιλιάνκα παρουσιάζουν μόνο επιστημονικό ενδιαφέρον και ότι η αποτελεσματικότητα του προγράμματος για πρόγνωση, η οποία να έχει πρακτική σημασία, είναι πολύ μικρή.

Ο Ιάπωνας Yamazaki (1977), ο οποίος πραγματοποίησε λεπτομερή ανασκόπηση της έρευνας πάνω στα γεωηλεκτρικά και άλλα ηλεκτρομηχανικά πρόδρομα φαινόμενα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι δεν είναι δυνατόν να βασιστούμε σε έρευνα πάνω στα γεωηλεκτρικά πρόδρομα φαινόμενα για πρόγνωση των σεισμών, τουλάχιστον στην Ιαπωνία.

Στην Κίνα φαίνεται να επικρατεί μεγαλύτερη αισιοδοξία για την αποτελεσματικότητα της γεωηλεκτρικής μεθόδου και γενικά για την πρόγνωση των σεισμών. Αντίθετα στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου έχουν επίσης πραγματοποιηθεί ορισμένες σχετικές γεωηλεκτρικές μετρήσεις (Cowin and Morrison 1977) επικρατεί λιγότερη αισιοδοξία για την πρόγνωση των σεισμών γενικά και για την αποτελεσματικότητα της γεωηλεκτρικής μεθόδου.

Οι λόγοι για τους οποίους υπάρχει διστακτικότητα για την αποτελεσματικότητα της γεωηλεκτρικής μεθόδου είναι ότι: δεν είναι βέβαιο ότι στους σεισμογόνους χώρους όλων των σεισμών δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο κατά το προπαρασκευαστικό στάδιο, δεν είναι εύκολη η διάκριση των γεωηλεκτρικών πρόδρομων ανωμαλιών από άλλες ανωμαλίες που παρουσιάζουν ομοιότητες μ'αυτές και οφείλονται σ'άλλα αίτια (γεωμαγνητικές μεταβολές, βροχή, κλπ) και δεν είναι καθόλου βέβαιο ότι οι ιδιότητες των σμμάτων αυτών επιτρέπουν την πρόγνωση και των τριών στοιχείων (χρόνου, επικέντρου, μεγέθους) που συνθέτουν το πρόβλημα της πρόγνωσης.

Παρά τις αδυναμίες της γεωηλεκτρικής μεθόδου, το πλήθος των ανεξάρτητων παρατηρήσεων δείχνουν ότι πρόδρομα ηλεκτρικά σήματα πρέπει να υπάρχουν και ότι τα σήματα αυτά σε συνδυασμό με άλλα πρόδρομα φαινόμενα μπορούν να συμβάλουν στη λύση του προβλήματος της πρόγνωσης των σεισμών.

Οι πρώτες παρατηρήσεις πάνω στις ανώμαλες μεταβολές των γεωηλεκτρικών ρευμάτων που σχετίζονται με σεισμούς έγιναν στην Ευρώπη κατά τις τελευταίες δεκαετίες του δεκάτου εννάτου αιώνα, ενώ οι πρώτες σχετικές μετρήσεις άρχισαν στην Ιαπωνία το 1923. Όμως, η πιο αξιόλογη ερευνητική προσπάθεια για την ανίχνευση πρόδρομων γεωηλεκτρικών σημάτων και την αξιοποίησή τους στην πρόγνωση των σεισμών έγινε κατά κύριο λόγο στην Σοβιετική Ένωση και τη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας κατά την τελευταία εικοσαετία.

Για την πραγματοποίηση των σχετικών γεωηλεκτρικών μετρήσεων έχουν χρησιμοποιηθεί ηλεκτρόδια διαφόρων υλικών (μολύβδου, χαλκού, κλπ) και σχημάτων (ραβδόμορφα διατομής π.χ. 2cm, πλάκες διαφόρων διαστάσεων, π.χ. 50 cm x 50 cm), τα οποία εισάγονται μέσα στο έδαφος σε βάθη από 1m μέχρι 4m. Συνήθως, χρησιμοποιούνται σε κάθε σταθμό δύο ζεύγη ηλεκτροδίων που είναι προσανατολισμένα κατά δύο κάθετες διευθύνσεις (π.χ. N-S και E-W). Οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων κάθε ζεύγους ποικίλλουν μεταξύ λίγων δεκάδων μέτρων (30m) και αρκετών εκατοντάδων μέτρων (1500 m) αλλά συνήθεστερα οι αποστάσεις αυτές είναι της τάξης των 100 m. Σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο σύνθετες ηλεκτρικές γραμμές μετρήσεων (σημαντικός αριθμός ζευγών ηλεκτροδίων ποικίλων προσανατολισμών και αποστάσεων) ώστε με συσχέτιση των παρατηρήσεων να είναι δυνατή η σημαντική ελάττωση του γεωηλεκτρικού θορύβου που οφείλεται σε διάφορα αίτια (γεωμαγνητικά, κλπ) και η ανάδειξη του γεωηλεκτρικού σήματος που σχετίζεται με τους σεισμούς.

Με κατάλληλα συστήματα ενίσχυσης του σήματος και κατάλληλα καταγραφικά (διαφόρων ταχυτήτων περιστροφής των κυλίνδρων, διαφόρων συχνοτήτων καταγραφής, διαφόρων ευαισθησιών κλπ) έγινε δυνατή η καταγραφή γεωηλεκτρικών σημάτων διαφόρων συχνοτήτων (από δευτερόλεπτα μέχρι πολλές μέρες) και πλατών (από λίγα mV μέχρι 1V).

Οι τιμές της περιόδου (διάρκειας) των γεωηλεκτρικών ανωμαλιών που έχουν ανιχνευθεί και θεωρηθεί ως πρόδρομα σήματα σεισμών ποικίλλουν από μικρότερες του λεπτού (παλμοί) μέχρι της τάξης αρκετών ημερών ή και μηνών. Όμως, τα γεωηλεκτρικά σήματα που έχουν μελετηθεί περισσότερο μπορούν, με βάση την περίοδο τους, να καταταχθούν σε δύο κατηγορίες. Σ' αυτά που έχουν περίοδο (διάρκεια) της τάξης μερικών δεκάδων λεπτών (π.χ. μισής ώρας) και ονομάζουμε εδώ σήματα βραχείας περιόδου και σ' αυτά που έχουν περίοδο (διάρκεια) της τάξης αρκετών ημερών και ονομάζουμε εδώ σήματα μακράς περιόδου.

Οι χρόνοι εμφάνισης των πρόδρομων γεωηλεκτρικών σημάτων ποικίλλουν αλλά τα βραχείας διάρκειας σήματα εμφανίζονται συνήθεστερα μερικές ώρες πριν από το σεισμό, ενώ τα μακράς διάρκειας εμφανίζονται αρκετές μέρες πριν από το σεισμό.

Τα πλάτη των γεωηλεκτρικών σημάτων κυμαίνονται μεταξύ λίγων mV και αρκετών εκατοντάδων mV (για αποστάσεις ηλεκτροδίων της τάξης των 100 m). Φαίνεται ότι τα πλάτη αυτά αυξάνουν με το μέγεθος του σεισμού και μεταβάλλονται σε πρώτη προσέγγιση αντιστρόφως ανάλογα με την επικεντρική απόσταση.

Η μορφή των σημάτων παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία. Μιά από τις πιο συνηθισμένες μορφές είναι εκείνη κατά την οποία η τιμή της έντασης του γεωηλεκτρικού πεδίου είναι υποβαθμισμένη κατά τη διάρκεια του σήματος (μορφή κόλπου). Ορισμένα σήματα που έχουν τη μορφή κόλπου αποκτούν τη μέγιστη (αρνητική) τιμή πολύ γρήγορα, ενώ επανέρχονται στην κανονική τους μορφή με βραδύτερο ρυθμό.

Γεωηλεκτρικά πρόδρομα σήματα έχουν χρησιμοποιηθεί στην πρόγνωση του επικέντρου, του μεγέθους και του χρόνου γένεσης ορισμένων σεισμών στη Σοβιετική Ένωση και την Κίνα, σε συνδυασμό όμως πάντοτε με άλλα πρόδρομα φαινόμενα. Όπως συμβαίνει και με άλλα πρόδρομα φαινόμενα (σεισμικά, γεωχημικά, γεωδακτυλικά κλπ) τα πρόδρομα γεωηλεκτρικά σήματα δεν εμφανίζονται πάντοτε και με συστηματικό τρόπο πριν από όλους τους σεισμούς και εξακολουθούν να υπάρχουν σοβαρές δυσκολίες στη διάκριση των σημάτων αυτών από άλλες γεωηλεκτρικές ανωμαλίες που οφείλονται σε άλλα αίτια (γεωμαγνητικά, βροχή κλπ).

Τα πρόδρομα γεωηλεκτρικά σήματα μπορεί να οφείλονται σε ελαστικοηλεκτρικές μεταβολές (π.χ. πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο) ή και σε ηλεκτροκινητικά φαινόμενα (ηλεκτρικό πεδίο που παράγεται κατά τη διήθηση του νερού στο σεισμικό χώρο) που συμβαίνουν στους σεισμογόνους χώρους κατά το προπαρασκευαστικό στάδιο γένεσης των σεισμών.

9. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Ανώμαλες μεταβολές του γεωηλεκτρικού πεδίου οι οποίες θεωρήθηκαν ως πρόδρομα φαινόμενα σεισμών του ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών παρατηρήθηκαν κατά την τελευταία τριετία από τους φυσικούς Βαρώτσο, Αλεξόπουλο και Νομικό (BAN) και τους συνεργάτες τους. Οι πρώτες σχετικές παρατηρήσεις που έγιναν από την ερευνητική αυτή ομάδα αφορούσαν γεωηλεκτρικά σήματα τα οποία, όπως αναφέρεται στις δημοσιεύσεις τους, προηγούνταν μετασεισμών του κυρίου σεισμού της 24 Φεβρουαρίου 1981 (M = 6,7) οι οποίοι είχαν τις εστίες τους στην περιοχή του κόλπου των Αλκυονίδων, ενώ αργότερα επέκτειναν τις παρατηρήσεις τους και σε άλλες περιοχές του ελληνικού χώρου.

Τόν Μάιο του 1981 (Varotsos et al 1981a) ανακοίνωσαν ότι με μετρήσεις που πραγματοποίησαν με συσκευή, η οποία αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια τα οποία έβαζαν μέσα στο έδαφος και απείχαν μεταξύ τους 50-100 m και ένα ηλεκτρόμετρο, κατόρθωσαν να παρατηρήσουν ένα πρόδρομο ηλεκτρικό παλμό διάρκειας 5 msec ο οποίος προηγούνταν

κάθε μετασεισμού της περιοχής του κόλπου των Αλκιοονίδων τον οποίο εξέτασαν κατά 30 sec έως μερικά πρώτα λεπτά (30-240 sec). Το φαινόμενο αποδίδεται στην παραγωγή ρευμάτων αποπόλωσης στην περιοχή της εστίας λόγω μεταβολής της πίεσης. Τα ρεύματα αυτά εμφανίζονται πριν η πίεση αποκτήσει την τελική της τιμή. Παρ' ότι στην πρώτη αυτή ανακοίνωση αναφέρεται ότι υπάρχει πλήρης αντιστοιχία (ένα προς ένα) μεταξύ αυτών των ηλεκτρικών σημάτων και σεισμών, στις επόμενες ανακοινώσεις δε γίνεται σοβαρός λόγος για τα σήματα αυτά.

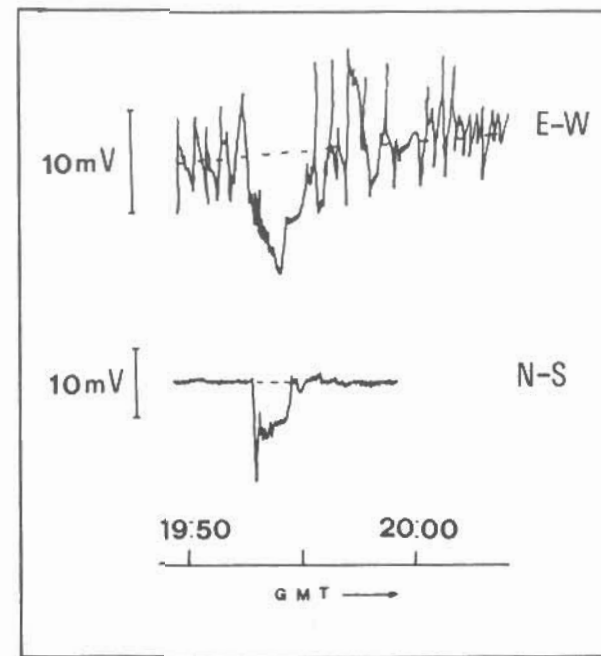
Τον Νοέμβριο του 1981 ανακοίνωσαν (Varotsos et al 1981b) ότι κατέγραψαν με την συσκευή τους ηλεκτροτελλουρικό σήμα το οποίο προηγείται του σεισμού περίπου επτά (7) ώρες , έχει διάρκεια από 2 μέχρι 50 λεπτά και έχει πλάτος της τάξης μερικών mVolt (για απόσταση ηλεκτροδίων 50m μπορεί να φθάσει τα 50 mV). Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων εφάρμοσαν την συνηθισμένη τεχνική πραγματοποίησης ηλεκτροτελλουρικών μετρήσεων με την χρησιμοποίηση δύο ζευγών ηλεκτροδίων τα οποία τοποθετούνται σε κάθετες μεταξύ τους γραμμές (N-S, E-W) σε κάθε σταθμό. Με τα σήματα αυτά ασχολούνται και σε επόμενες εργασίες (Varotsos et al 1981c, 1982a, b, 1983a, Giniş et al 1982) όπου τονίζουν ότι υπάρχει αντιστοιχία (ένα προς ένα) μεταξύ των σημάτων αυτών που προηγούνται των σεισμών 7 ώρες περίπου (από 6 μέχρι 11 ώρες) και των αντίστοιχων σεισμών.

Σε νέα τους ανακοίνωση (Varotsos et al 1983b) αναφέρουν ότι το γεωηλεκτρικό σήμα προηγείται των σεισμών των Ιονίων νησιών από 6 ώρες μέχρι $4\frac{1}{2}$ μέρες. Σε νεώτερες προφορικές ανακοινώσεις αναφέρουν ότι τα σήματα που παρατηρούν και σχετίζουν με σεισμούς οι οποίοι έχουν τις εστίες τους σε διάφορα μέρη του ελληνικού χώρου προηγούνται των σεισμών από μερικές ώρες μέχρι μερικές μέρες.

Τα σήματα που έχουν δημοσιεύσει έχουν διάφορες μορφές αλλά στην πλειονότητα των περιπτώσεων παρατηρείται ελάττωση της τάσης (Varotsos et al 1981b). Το σήμα (5) δείχνει ένα από τα σήματα όπως γράφηκε στις δύο γραμμές (N-S, E-W) και το οποίο σχετίστηκε με ένα σεισμό που έγινε σε απόσταση 50 Km από το σταθμό αναγραφής στις 28 Ιουνίου 1981.

Οι Βαρώτσος και οι συνεργάτες του (1981b, c, 1982a, b, 1983 b) και ο Γκίνις και οι συνεργάτες του (Giniş et al 1982) απαντούν ότι με το δίκτυο των τηλεμετρικών σταθμών που εγκατέστησαν σε διάφορα μέρη του ελληνικού χώρου (14 σταθμούς) πέτυχαν σύγχρονη αναγραφή του σήματος σε διάφορους σταθμούς και ότι το πλάτος του σήματος, ΔV , μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την επικεντρική απόσταση, r , ενώ ο λογάριθμος της ποσότητας $I_T = \frac{\Delta V}{r}$, όπου R σταθερά του σταθμού, είναι γραμμική συνάρτηση του μεγέθους, M , του σεισμού.

Έτσι, σύμφωνα με τις ανακοινώσεις τους, οι αποστάσεις r_1, r_2 του επικέντρου ενός σεισμού από δύο σταθμούς είναι αντιστρόφως ανάλογες των ποσοτήτων, I_1, I_2



Σχ.5.- Γεωηλεκτρικό σήμα που γράφηκε στο σταθμό της Βάρης (κοντά στην Αθήνα) στις 27 Ιουνίου 1981 και σχετίστηκε με σεισμό ο οποίος έγινε στις 28 Ιουνίου σε απόσταση 50 Km από το σταθμό (Varotsos et al 1981b).

οι οποίες είναι γνωστές. Συνεπώς, ο λόγος r_1/r_2 υπολογίζεται και, αν το σήμα έχει γραφεί και από άλλους σταθμούς, το επίκεντρο μπορεί να καθορισθεί ως τομή των Απολλώνιων κύκλων. Γνωρίζοντας το επίκεντρο μπορείς, όπως υποστηρίζουν, να υπολογίσεις το μέγεθος του σεισμού από τη γραμμική σχέση μεταξύ του $\log I_T$ και του μεγέθους M επειδή έχουν υπολογίσει τις παραμέτρους της σχέσης αυτής με δεδομένα γνωστών σεισμών (γνωστών I, r, M).

Τη μέθοδο αυτή έχουν εφαρμόσει για να προβλέψουν, όπως υποστηρίζουν, με ακρίβεια 100 Km το επίκεντρο και 0,5 το μέγεθος στις 143 από 150 περιπτώσεις σεισμών με μεγέθη από 5 μέχρι 6,5 Ρίχτερ (Varotsos et al 1983a).

Για να αποδείξουν την αξιοπιστία της μεθόδου, κατέγραψαν την αρχή ένα μέλος

της ερευνητικής ομάδας να στέλνει σε άλλο μέλος της ομάδας τηλεγράφημα στο οποίο συνήθως γράφεται ο χρόνος του σήματος καθώς και το μέγεθος και το επίκεντρο (απόσταση και αζιμούθιο από ορισμένο σταθμό) του αναμενόμενου σεισμού. Σημαντικό αριθμό τέτοιων τηλεγραφημάτων και σχετική κατάσταση όπου οι ίδιοι τα συσχετίζουν με αντίστοιχους σεισμούς υπέβαλαν στο Υπουργείο Δημοσίων Έργων μετά τη γένεση των σεισμών. Έστειλαν επίσης ένα αριθμό δέκα περίπου τέτοιων τηλεγραφημάτων στο Υπουργείο Δημοσίων Έργων και στον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας πριν από τη γένεση σεισμών με τους οποίους οι ίδιοι τα συσχέτισαν μετά τη γένεση των σεισμών.

10. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ BAN

Από τα παραπάνω και από τις δημοσιεύσεις της ομάδας BAN και των συνεργατών τους προκύπτει ότι οι επιστήμονες αυτοί υποστηρίζουν ότι με μόνο τα ηλεκτρικά σήματα είναι δυνατός ο προκαθορισμός του χρόνου, του επικέντρου και του μεγέθους ενός επικείμενου σεισμού με ικανοποιητική ακρίβεια. Αναφέρουν συγκεκριμένα (Gipis et al 1982) ότι αν αυξηθεί ο αριθμός των σταθμών θα επιτευχθεί ακριβέστερος καθορισμός του επικέντρου, αν και τα ακρίβια τώρα, δηλαδή με το δίκτυο σταθμών που υπάρχει φαίνεται να είναι παραδεκτά για τον καθορισμό μιας επικίνδυνης περιοχής για επερχόμενο σεισμό με μέγεθος μεγαλύτερο του 6. Δηλαδή, η ομάδα BAN και οι συνεργάτες της, ισχυρίζονται, ότι ουσιαστικά έλυσαν επιστημονικά το πρόβλημα της πρόγνωσης των σεισμών με βάση τα γεωηλεκτρικά σήματα μόνο, θέση που βρίσκεται σε αντίθεση με τις απόψεις που επικρατούν διεθνώς πάνω στο θέμα αυτό.

Επειδή η αποδοχή του ισχυρισμού ότι το πρόβλημα της πρόγνωσης είναι επιστημονικά λυμένο μπορεί να έχει τεράστιες επιπτώσεις για τη χώρα μας, θετικές αν ο ισχυρισμός είναι βάσιμος, αρνητικές αν δεν είναι βάσιμος, θα παραθέσουμε εδώ στοιχεία από τα οποία μπορούν να προκύψουν συμπεράσματα για την αξιοπιστία της μεθόδου και θα τοποθετηθούμε πάνω στο πρόβλημα.

Θα συγκρίνουμε πρώτα τη μεθοδολογία των μετρήσεων και τις ιδιότητες των σημάτων που χρησιμοποιεί η ελληνική ομάδα με τη μεθοδολογία και τις ιδιότητες των σημάτων που έχουν από πολλά χρόνια χρησιμοποιήσει άλλοι επιστήμονες για να δούμε αν αυτές δίνουν κάποιο πλεονέκτημα στην ελληνική προσπάθεια και δικαιολογούν εντυπωσιακά αποτελέσματα. Θα εξετάσουμε κατόπιν την αξιοπιστία της μεθόδου όσο αφορά τον καθορισμό του μεγέθους, του επικέντρου και του χρόνου γένεσης του σεισμού.

10.1 Σύγκριση με Προηγούμενες Έρευνες

Από όσα έχουν ήδη αναφερθεί προκύπτει ότι ο τρόπος πραγματοποίησης των γεωηλεκτρικών μετρήσεων από την ομάδα BAN είναι όμοιος με αυτόν που έχει εφαρμοστεί για τον ίδιο σκοπό πριν από πολλές δεκαετίες και εφαρμόζεται και σήμερα ακόμα και από ερασιτέχνες. Το πιθανό επιχείρημα ότι πρώτη η ομάδα BAN μπόρεσε να καταγράψει σήματα της περιόδου (λεπτών μέχρι μιάς ώρας), επειδή οι προηγούμενοι ερευνητές πραγματοποιούσαν μετρήσεις κατά αραιότερα χρονικά διαστήματα (μικρή ταχύτητα κυλίνδρου αναγραφής), δεν ευσταθεί, γιατί τέτοιες μετρήσεις ανά μικρά χρονικά διαστήματα (π.χ. ανά 30 sec) έχουν πραγματοποιηθεί από το 1923, όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Επίσης η μεθοδολογία επεξεργασίας των δεδομένων που εφαρμόζει η ομάδα είναι απλή. Συνεπώς, τα εντυπωσιακά αποτελέσματα της μεθόδου, όπως υποστηρίζουν τα μέλη της ομάδας, δεν μπορεί να είναι συνέπεια μιας προχωρημένης τεχνικής μετρήσεων ή προχωρημένης μεθοδολογίας. Είναι ίσως ενδιαφέρον να αναφερθεί το γεγονός ότι άλλοι επιστήμονες, όπως οι σοβιετικοί, οι οποίοι παρ' ότι εφαρμόσαν σύνθετη τεχνική μετρήσεων (μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών γραμμών ποικίλων διευθύνσεων και μηκών) και προχωρημένη στατιστική μεθοδολογία επεξεργασίας των στοιχείων (για να περιορίσουν το θόρυβο και να διακρίνουν το σήμα), δεν κατέληξαν σε εντυπωσιακά αποτελέσματα.

Το πιθανό επιχείρημα ότι γεωηλεκτρικά σήματα με τις συγκεκριμένες βασικές ιδιότητες (διάρκεια της τάξης μερικών δεκάδων λεπτών, εμφάνιση της τάξης ωρών πριν από το σεισμό, πλάτος της τάξης μερικών mV για απόσταση ηλεκτροδίων της τάξης των 100 m) δεν είχαν προηγούμενα ανιχνευθεί και χαρακτηριστεί ως πρόδρομα φαινόμενα δεν ευσταθεί γιατί σήματα με αυτές τις βασικές ιδιότητες έχουν παρατηρηθεί προηγούμενα από διάφορους άλλους επιστήμονες πριν από σεισμούς και έχουν χρησιμοποιηθεί στην πρόγνωση σε συνδυασμό βέβαια με άλλα πρόδρομα φαινόμενα, όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Είναι αυτά που ονομάσαμε σήματα βραχείας περιόδου. Ο Βαρύτσος και οι συνεργάτες του (1982α) συγκρίνουν τα δικά τους σήματα, που είναι βραχείας περιόδου (μισής ώρας), με το μακράς περιόδου σήμα (μερικές μέρες) που αναφέρει ο Sobolev (1975) για να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι οι σοβιετικοί δε μπορούσαν να παρατηρήσουν σήματα της περιόδου που η ομάδα BAN παρατηρεί. Αυτό βέβαια είναι σωστό γιατί στην συγκεκριμένη εργασία οι σοβιετικοί ενδιαφέρονται για τα μακράς διάρκειας σήματα. Όμως, θα κατέληγαν στο αντίθετο συμπέρασμα αν συνέκριναν το δικό τους σήμα με το σήμα βραχείας περιόδου (μερικά λεπτά μέχρι μισή ώρα) που περιγράφουν οι σοβιετικοί σε προηγούμενη εργασία τους (Fedotov et al 1970) η οποία δημοσιεύθηκε στο ίδιο περιοδικό.

Επίσης το επιχείρημα ότι δεν πέτυχαν άλλοι επιστήμονες σύγχρονη αναγραφή πρόδρομων ηλεκτρικών σημάτων σε πολλούς σταθμούς δεν ευσταθεί, γιατί η σύγχρονη κα-

ταγραφη σήματος σε διαφορετικούς σταθμούς αποτελεί κλασικό τρόπο διάκρισης των σημάτων από το θόρυβο. Οι σοβιετικοί π.χ. θεωρούσαν μία γεωηλεκτρική ανωμαλία σήμα αν εμφανιζόταν συγχρόνως σε διάφορους σταθμούς (Sobolev 1975).

Το γεγονός ότι τέτοια σήματα έχουν και προηγούμενα ανιχνευθεί ως πρόδρομα φαινόμενα και μελετηθεί από άλλους ερευνητές ενισχύει την άποψη ότι τα σήματα που καταγράφει η ομάδα BAN είναι πρόδρομα φαινόμενα και μπορεί σε συνδυασμό με άλλα πρόδρομα φαινόμενα να συμβάλουν στη λύση του προβλήματος της πρόγνωσης των σεισμών στον ελληνικό χώρο. Το ίδιο, όμως, αυτό γεγονός εξασθενίζει την άποψη, που υποστηρίζει η ομάδα, ότι με μόνο τα σήματα αυτά έχει λυθεί επιστημονικά το πρόβλημα της πρόγνωσης των σεισμών, γιατί οι προηγούμενοι μελετητές των σημάτων αυτών κατέληξαν στο αντίθετο συμπέρασμα.

Δεν ευσταθεί το πιθανό επιχείρημα ότι τα γεωηλεκτρικά σήματα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί προηγούμενα για την πρόγνωση σεισμών. Το σωστό είναι ότι τέτοια σήματα έχουν χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό, από άλλους ερευνητές (ιδιαίτερα στην Κίνα και τη Σοβιετική Ένωση) αλλά πάντα σε συνδυασμό με άλλα πρόδρομα φαινόμενα.

Αποτελεί, όμως, γεγονός ότι για πρώτη φορά υποστηρίζεται ότι με βάση τις ιδιότητες γεωηλεκτρικών σημάτων και μόνο με αυτές είναι δυνατή η πρόγνωση του επικέντρου, του μεγέθους και του χρόνου γένεσης των σεισμών με παραδεκτή ακρίβεια. Έλεγχος της επιστημονικής βασιμότητας του ισχυρισμού αυτού γίνεται στη συνέχεια.

10.2 Αποτελεσματικότητα Πρόγνωσης του Επικέντρου και του Μεγέθους

Οι σχέσεις που προτάθηκαν από την ομάδα BAN και τους συνεργάτες τους, για τον καθορισμό του επικέντρου και του μεγέθους και αναπέρθηκαν παραπάνω μπορούν να συνοψιστούν σε μία μόνο σχέση που έχει τη μορφή

$$\Delta V = \rho \frac{1}{r} 10^{\alpha + \beta \lambda} \quad (1)$$

Θα εξετάσουμε χωριστά τη σημασία των τριών ποσοτήτων ρ , r και M από τις οποίες εξαρτάται το πλάτος, ΔV , του σήματος, γιατί έτσι θα καταλήξουμε σε συμπεράσματα για τη δυνατότητα αξιόπιστου καθορισμού του επικέντρου και του μεγέθους. Θα εξετάσουμε επίσης αν το πλάτος του σήματος εξαρτάται μόνο από τις ποσότητες ρ , r , M ή αν υπάρχουν στοιχεία που δείχνουν ότι το πλάτος του σήματος εξαρτάται έντονα και από άλλους παράγοντες, όπως είναι το αζιμούθιο, οι οποίοι θα έπρεπε να εμφανίζονται στο δεύτερο μέλος της (1).

Αν εφαρμόσουμε την (1) για ένα συγκεκριμένο σεισμό (σταθερό M) αλλά για δύο διαφορετικούς σταθμούς βρίσκουμε ότι

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{r_1}{r_2} \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} \quad (2)$$

Η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των σχετικών τιμών (ως προς ένα σταθμό) των σταθερών των σταθμών ρ . Φαίνεται ότι η ομάδα BAN με τέτοια μέθοδο καθορίζει τώρα τις σταθερές των σταθμών (προφορική επικοινωνία) ή με μαθηματοελλουρική μέθοδο (Varotsos et al 1982a). Επειδή τα αναγραφόμενα σήματα παράγονται, σύμφωνα με τις απόψεις της ομάδας (Varotsos et al 1981b, 1982c), λόγω ρευμάτων αποπόλωσης που οφείλονται στη μεταβολή της πίεσης στις εστίες των σεισμών, που συνήθως βρίσκονται σε βάθη αρκετών χιλιομέτρων (~ 10 Km), η σταθερά ρ εξαρτάται από την ειδική αντίσταση των πετρωμάτων που βρίσκονται σε σφαιρικό βάθος κάτω από κάθε σταθμό. Όμως, η ομάδα χρησιμοποίησε ως τιμή της ρ την αντίσταση R που μετρούσε μεταξύ των ηλεκτροδίων (Varotsos et al 1981b, 1982a) που στην καλύτερη περίπτωση καθορίζεται από την ειδική αντίσταση των επιφανειακών πετρωμάτων (π.χ. μέχρι βάθος λίγων δεκάδων μέτρων), δηλαδή χρησιμοποιούσαν απλώς λαθεμένη τιμή για τη σταθερά ρ .

Με βάση τη σχέση (2) μπορεί να υπολογιστούν οι λόγοι των επικεντρικών αποστάσεων ενός σεισμού σε ζεύγη σταθμών και να καθορισθεί το επίκεντρο με χάραξη των Απολλώνιων κύκλων. Το επίκεντρο του σεισμού υπολογίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια όταν βρίσκεται μέσα στο δίκτυο των σταθμών. Αλλά και αν ακόμα το επίκεντρο βρίσκεται εκτός του δικτύου αλλά όχι πολύ μακριά μπορεί να καθορισθεί με ικανοποιητική ακρίβεια αρκεί βέβαια να ισχύει η (1), να ισχύει, δηλαδή, με ικανοποιητική προσέγγιση η αρχή ότι τα πλάτη μεταβάλλονται αντιστρόφως αναλόγα με την επικεντρική απόσταση. Μία τέτοια παραδοχή σημαίνει ουσιαστικά ότι τα πλάτη των σημάτων ελαττώνονται μόνο λόγω γεωμετρικής διασποράς. Τέτοια εξάρτηση του πλάτους των πρόδρομων γεωηλεκτρικών σημάτων από την απόσταση βρέθηκε και από άλλους ερευνητές (Sobolev 1974) αλλά μόνο ως πολύ χονδροειδής προσέγγιση της πραγματικότητας μπορεί να θεωρηθεί, γιατί είναι αδύνατο το ηλεκτρικό πεδίο να μη μεταβάλλεται λόγω μεταβολής των ιδιοτήτων του μέσου διάδοσης, ιδιαίτερα όταν το μέσο αυτό είναι το πάνω μέρος του φλοιού το οποίο είναι εξαιρετικά ανομοιογενές. Συνεπώς, είναι αδύνατος ο ακριβής καθορισμός του επικέντρου με τη μέθοδο αυτή και για το λόγο ότι η σχέση που δέχεται η ομάδα για την μεταβολή του πλάτους με την απόσταση αποτελεί χονδροειδή προσέγγιση της πραγματικότητας.

Από την (1) προκύπτει η ακόλουθη σχέση, στην οποία η ομάδα BAN βασίζει τον υ-

πολογισμό του μεγέθους:

$$\log \frac{\Delta V}{\rho} r = a + bM \quad (3)$$

Η τιμή που δίνουν για την παράμετρο b είναι περίπου 0,6 (Varotsos et al 1981b, 1982a). Συνεπώς αναμένεται έντονη εξάρτηση του πλάτους του σήματος από το μέγεθος του σεισμού. Έτσι, όταν ένας σεισμός είναι κατά 3R μεγαλύτερος από έναν άλλο που έχει το ίδιο επίκεντρο θα δίνει ηλεκτρικό σήμα σε ένα σταθμό 60 φορές περίπου μεγαλύτερο από το σήμα του μικρότερου σεισμού. Συνεπώς, πρέπει, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ομάδας, να είναι πολύ εύκολο να διακρίνει η μέθοδος ένα σεισμό μεγέθους 7 από ένα σεισμό μεγέθους 4. Εντούτοις, και για τους δύο μεγάλους σεισμούς που έγιναν στον ελληνικό χώρο το 1983, ο ένας, στις 17 Ιανουαρίου στα Ιόνια νησιά και ο άλλος στις 6 Αυγούστου 1983 στο βόρειο Αιγαίο, και είχαν μέγεθος 7,0 και 6,8, η ομάδα έδωσε τιμές για τα μεγέθη τους, στα σχετικά τηλεγραφήματα, ίσες με 4.

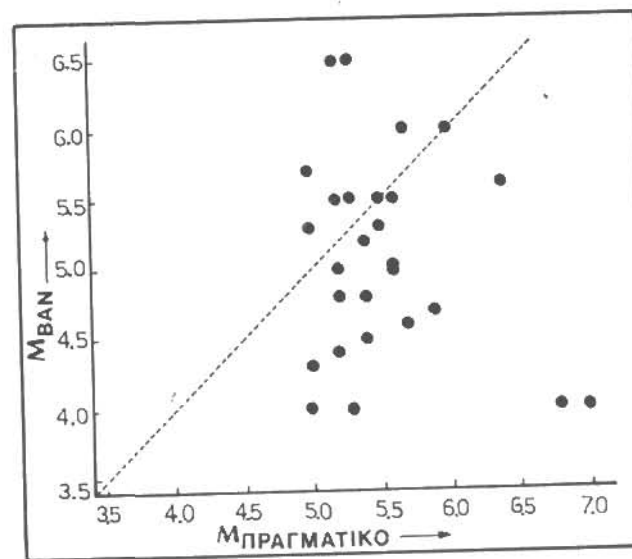
Ο Βαρότσος και οι συνεργάτες του (Varotsos et al 1983b) προσπαθώντας να εφαρμόσουν σχέση της μορφής (1) για σεισμούς των Ιονίων νησιών διαπιστώνουν ότι αυτό είναι δυνατό μόνο αν γίνει η υπόθεση ότι σήματα ορισμένων μετασεισμών καταγράφηκαν πριν από τα σήματα του κυρίου σεισμού. Αν δεχθούμε την υπόθεση αυτή, η οποία βέβαια είναι επιστημονικά αβίσιμη, προκύπτει (από το διάγραμμα που δημοσιεύουν) τιμή της παραμέτρου b ίση με 0,3 περίπου. Ο Ξανθάκης (1983), ο οποίος επίσης διστάζει να δεχθεί την υπόθεση, έδειξε ότι, αν δεχθούμε την υπόθεση αυτή, το μέγεθος, για αυτούς τους σεισμούς των Ιονίων νησιών, σχετίζεται καλύτερα γραμμικά με το πλάτος του σήματος παρά λογαριθμικά. Με άλλα λόγια, όχι μόνο δεν είναι γνωστές οι παράμετροι a, b της σχέσης (1) αλλά και η μορφή της σχέσης αυτής είναι αμφίβολη.

Πέρα από τα προβλήματα που σχετίζονται με τον τρόπο εξάρτησης του σήματος από την επικεντρική απόσταση, r , και το μέγεθος, M , υπάρχει το ακόμα δυσκολότερο πρόβλημα ότι το πλάτος του σήματος εξαρτάται όχι μόνο από τις ποσότητες ρ, r και M , που εμφανίζονται στο δεύτερο μέλος της (1), αλλά και από το αζιμούθιο, θ , της εστίας ως προς το σταθμό, που δεν εμφανίζεται στο δεύτερο μέλος της (1) και συνεπώς δεν λαβαίνει υπ' όψη η ομάδα κατά τον υπολογισμό του επικέντρου και του μεγέθους. Η εξάρτηση του πλάτους του σήματος από το αζιμούθιο μπορεί να οφείλεται στον ασύμμετρο τρόπο απελευθέρωσης της ενέργειας στην εστία του σεισμού κατά το προπαρασκευαστικό στάδιο γένεσης του ή και σε μεταβολή των ιδιοτήτων του μέσου διάδοσης του σήματος με το αζιμούθιο. Το ότι υπάρχει τέτοια εξάρτηση του σήματος από το αζιμούθιο και είναι εξαιρετικά έντονη αποδειχεται από το γεγονός ότι από τους δεκατέσσερις σταθμούς ένας μικρός σχετικά αριθμός σταθμών καταγράφει το

ηλεκτρικό σήμα ακόμα και σε περιπτώσεις μεγάλων σεισμών που αναμένονται, σύμφωνα με την (1), ισχυρά σήματα ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι δεν αναμένεται με τη μέθοδο που προτείνει η ομάδα BAN και η οποία βασίζεται στη σχέση (1) να είναι δυνατός ο αξιόπιστος προσδιορισμός του επικέντρου και του μεγέθους ενός επερχόμενου σεισμού.

Το συμπέρασμα αυτό στο οποίο καταλήξαμε με έμμεσο τρόπο μπορεί να ελεγχθεί και με άμεσο τρόπο αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου BAN, όπως αυτά εμφανίζονται στα τηλεγραφήματά τους που οι ίδιοι συσχέτισαν με συγκεκριμένους σεισμούς, με τις πραγματικές παραμέτρους των σεισμών, όπως αυτές προκύπτουν από τα σεισμολογικά στοιχεία. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήσαμε ως δείγματα τα τηλεγραφήματα που η ίδια η ομάδα αντιστόιχισε με τους σεισμούς που είχαν μέγεθος $M \geq 5,0$ και έγιναν στον ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές κατά την περίοδο 1 Ιανουαρίου 1983- 23 Οκτωβρίου 1983. Θα συγκρίνουμε τα μεγέθη που αναφέρονται στα τηλεγραφήματα με τα αντίστοιχα μεγέθη των σεισμών. Επειδή σε πολλές περιπτώσεις δίνονται στα τηλεγραφήματα περισσότερα από ένα επίκεντρα και αντίστοιχα μεγέθη δεχθήκαμε ως τιμή που προβλέφθηκε για το μέγεθος αυτή που αντιστοιχεί στο ακριβέστερο (πλησιέστερα προς το πραγματικό) επίκεντρο. Το σχήμα (6) δείχνει



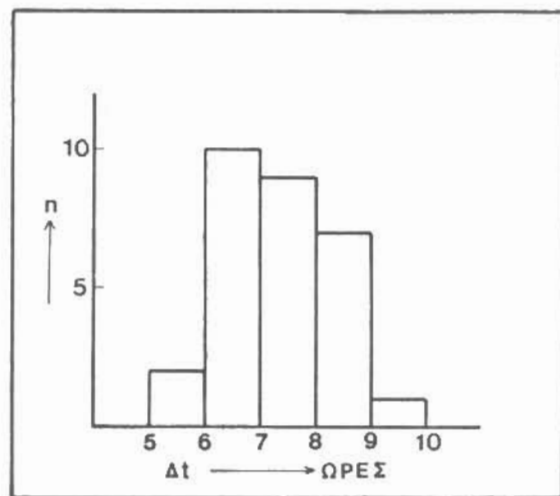
Σχ.6.-Γραφική παράσταση του μεγέθους M_{BAN} που προβλέφθηκε από την ομάδα BAN και του πραγματικού μεγέθους, M , για τους σεισμούς με $M \geq 5,0$ που έγιναν στον ελληνικό χώρο μεταξύ 1 Ιανουαρίου 1983 και 23 Οκτωβρίου 1983.

τη γραφική παράσταση των μεγεθών που προβλέθηκαν, M_{BAN} , σε συνάρτηση με τα πραγματικά μεγέθη, M . Είναι σαφές ότι οι δύο ποσότητες είναι ασυσχέτιστες και συνεπώς αποδειχεται και άμεσα ότι δεν είναι δυνατή με τη μέθοδο αυτή και με τα μέχρι σήμερα στοιχεία η πρόγνωση του μεγέθους των σεισμών.

Τα επίκεντρα που αναφέρονται στα τηλεγραφήματα διαφέρουν από τα πραγματικά από μερικά χιλιόμετρα μέχρι εκατοντάδες χιλιόμετρα. Άμεσος έλεγχος της αξιοπιστίας της μεθόδου με στατιστική συσχέτιση των συντεταγμένων των επικέντρων που αναφέρονται στα τηλεγραφήματα και των συντεταγμένων των πραγματικών επικέντρων δε μπορεί να γίνει, γιατί το σύνολο σχεδόν των σεισμών αυτών ή είναι μετασεισμικοί ή έγιναν σε περιοχές που βρισκόταν σε σεισμική έξαρση και συνεπώς ο χώρος γένεσης των σεισμών αυτών ήταν γνωστός.

10.3 Παρατηρήσεις για την Πρόβλεψη του Χρόνου

Από τις δημοσιεύσεις της ομάδας BAN προκύπτει σαφώς ότι όλα τα γεωηλεκτρικά



Σχ. 7.-Διάγραμμα συχνότητας των χρόνων Δt που προ-
πορεύονταν σήματα σεισμών οι οποίοι έγιναν
το χρονικό διάστημα 3-18 Νοεμβρίου 1981 (Va-
rotsos et al 1983a).

σήματα που μελέτησαν κατά την περίοδο 1981-1982 προηγήθηκαν κατά επτά ώρες περί-

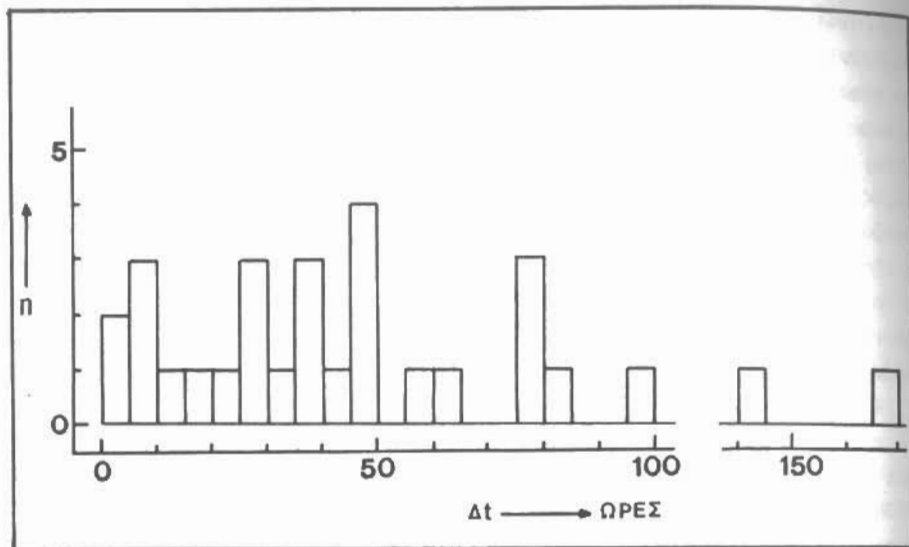
που (6 μέχρι 11) σεισμών οι οποίοι έγιναν σε διάφορα μέρη του ελληνικού χώρου και πρόκειται για εκατοντάδες (~400) περιπτώσεων όπως οι ίδιοι αναφέρουν (Varotsos et al 1982a,c). Το σχήμα (7) δείχνει το διάγραμμα συχνότητας των χρόνων Δt κατά τους οποίους τα σήματα προπορεύονταν σεισμών της περιόδου 3-18 Νοεμ-
βρίου 1981, αλλά η ίδια κατανομή των Δt ισχύει για μεγαλύτερα χρονικά διαστήμα-
τα (Varotsos et al 1982a). Η εντυπωσιακή αυτή σταθερότητα στο χρόνο εμφάνισης
του σήματος, ιδιότητα την οποία επί δύο χρόνια η ομάδα BAN διαβεβαίωνε (σταθε-
ρή εμφάνιση περίπου εφτά ώρες πριν το σεισμό) σε συνδυασμό με την άλλη του ιδι-
ότητα, ότι το σήμα εμφανίζεται πριν από όλους σχεδόν τους σεισμούς, την οποία
επίσης η ομάδα διαβεβαίωνει, όχι μόνο θα απόδειχνε πλήρως ότι το σήμα αυτό είναι
πρόδρομο φαινόμενο αλλά θα εξασφάλιζε πρόγνωση του χρόνου γένεσης των σεισμών
με εξαιρετική ακρίβεια. Το σύνολο σχεδόν των σεισμολόγων της χώρας μας διατάξα-
με να δεχθούμε τις δύο αυτές ιδιότητες του σήματος, βασιζόμενοι στο γεγονός ότι
άλλοι επιστήμονες που μελέτησαν λεπτομερώς τα πρόδρομα ηλεκτρικά σήματα δε δια-
πίστωσαν τέτοια σταθερότητα στην εμφάνισή τους.

Κατά τους σεισμούς του Ιανουαρίου-Μαρτίου 1983 οι οποίοι έγιναν στα Ιόνια νη-
σιά παρατήρησαν ότι οι χρόνοι Δt κατά τους οποίους τα ηλεκτρικά σήματα προηγού-
νται των σεισμών αυτών μπορεί να φθάσουν την τιμή των 56 ωρών (Varotsos et al
1983b). Συγκεκριμένα αναφέρουν ότι: "Ενώ όλα τα μέχρι τούδε μελετηθέντα γεωη-
λεκτρικά σήματα προβλέψιας σεισμών πρόετρεχαν κατά 6 έως 11 ώρες, εις σεισμούς ω-
ρισμένης περιοχής της δυτικής ακτής της Ελλάδος παρατηρήθηκαν χρόνοι μέχρι 56
ωρών". Σε σημείωση που πρόσθεσαν στην ίδια δημοσίευσή τους αναφέρουν ότι από
τη μελέτη πολλών περιπτώσεων σεισμών οι οποίοι έγιναν στα Ιόνια νησιά μέχρι το
τέλος Οκτωβρίου 1983 προκύπτει ότι η διαφορά χρόνου, Δt , μεταξύ σήματος και χρό-
νου κυμαίνονται μεταξύ 6 ώρες και $4\frac{1}{2}$ μέρες (108 ώρες). Βλέπουμε, δηλαδή, μία
περίεργη αύξηση του πάνω ορίου της Δt με την πάροδο του χρόνου (11 ώρες την πε-
ρίοδο 1981-1982, 56 ώρες τον Ιανουάριο-Μάρτιο του 1983 και 108 ώρες μέχρι το τέ-
λος Οκτωβρίου του 1983) και ότι ο χρόνος εμφάνισης του σήματος πριν το σεισμό
παύει να έχει τη σταθερότητα που σαινόταν ότι είχε.

Παρ'ότι η περιοχή των Ιονίων νησιών έχει παρόμοιες σεισμοτεκτονικές ιδιότητες
με άλλες περιοχές οι οποίες έδωσαν σεισμούς την περίοδο 1981-1982 και είναι πολύ
λίγο πιθανό να παρουσιάζει η περιοχή αυτή εντελώς ειδικές ιδιότητες, θα μπορούσα-
με ίσως να δεχθούμε την άποψη ότι κατ'εξαιρέση για τους σεισμούς των Ιονίων νησι-
ών η διαφορά χρόνου Δt δεν είναι της τάξης των 7 ωρών αλλά της τάξης των 56 ωρών
όπως φαίνεται να πιστεύει η ομάδα (Varotsos et al 1983b).

Για να ελέγξουμε την παραδοχή αυτή υπολογίσαμε τις χρονικές διαφορές των ση-
μάτων που γράφονται στα τηλεγραφήματα από τους σεισμούς με τους οποίους οι ίδιοι
τα συσχέτισαν και οι οποίοι έγιναν στα διάφορα μέρη του ελληνικού χώρου κατά την
περίοδο Ιανουάριος 1983-Οκτώβριος 1983 με εξαίρεση αυτούς που έγιναν κατά την πε-

ρίοδο αυτή στα Ιόνια νησιά. Πρόκειται για είκοσι εννέα τέτοιες περιπτώσεις σεισμών που είχαν μεγέθη μεταξύ 2,1 και 6,8 επειδή γι' αυτές τις περιπτώσεις είχαμε τα αντίστοιχα τηλεγραφήματα που επίσημα μας παραχώρησε ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας. Το σχήμα (8) δείχνει το διάγραμμα συχνότητας αυ-



Σχ.8.- Διάγραμμα συχνότητας των χρόνων Δt που προκορεύονταν σήματα σεισμών οι οποίοι έγιναν στον Ελληνικό χώρο, πλην της περιοχής των Ιονίων νησιών, στο χρονικό διάστημα Ιανουάριος 1983-Οκτώβριος 1983.

αυτών των διαφορών. Παρατηρούμε ότι οι διαφορές κυμαίνονται από μερικές ώρες (5 ώρες) μέχρι αρκετές μέρες (7 ημέρες) χωρίς να παρατηρείται καμιά ιδιαίτερη συγκέντρωση γύρω στις 7 ή στις 56 ώρες. Αυτό βέβαια βρίσκεται σε σαφή αντίθεση με τις παρατηρήσεις που έκανε η ομάδα κατά την περίοδο 1981-1982 και κατά την γνώμη μας αποδεικνύει ότι όχι μόνο δεν παρουσιάζει σταθερότητα το σήμα όσον αφορά το χρόνο εμφάνισης, αλλά και θέτει σε σοβαρή αμφιβολία τη συστηματική εμφάνιση του σήματος πριν από τους σεισμούς και τη δυνατότητα της εύκολης διάκρισης του από γεωηλεκτρικά σήματα που οφείλονται σε άλλα αίτια. Με άλλα λόγια, από τα στοιχεία που έχουμε στη διάθεσή μας δεν προκύπτει ότι το σήμα αυτό έχει κάποιο σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με άλλα πρόδρομα φαινόμενα ώστε να δικαιολογεί ιδιαίτερη αισιοδοξία έστω για την πρόβλεψη του χρόνου γένεσης των σεισμών.

11. ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Αν και οι γνώμες των ειδικών επιστημόνων για τη σημασία των ανώμαλων γεωηλεκτρικών μεταβολών που σχετίζονται με σεισμούς είναι ακόμα αντιφατικές, το πλήθος των σχετικών παρατηρήσεων και μετρήσεων δείχνει ότι τέτοιες πρόδρομες σεισμών μεταβολές πρέπει να συμβαίνουν και ότι αυτές σε συνδυασμό με άλλα πρόδρομα φαινόμενα μπορεί να συμβάλουν στη λύση του προβλήματος της βραχείας διάρκειας πρόγνωσης των σεισμών. Σχετικές γεωηλεκτρικές μετρήσεις από την ερευνητική ομάδα ΒΑΝ κατά τα τελευταία τρία χρόνια στη χώρα μας φαίνεται ότι ενισχύουν αυτή την άποψη. Όμως, τα στοιχεία που έχουμε μέχρι στιγμής στη διάθεσή μας δείχνουν ότι είναι επιστημονικά αβέβαιη η άποψη ότι το πρόβλημα της βραχείας διάρκειας πρόγνωσης των σεισμών στη χώρα μας μπορεί να λυθεί με μόνο αυτά τα γεωηλεκτρικά σήματα και μάλιστα με τέτοια ακρίβεια ώστε να έχει άμεση πρακτική εφαρμογή.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τον καθηγητή κ. Ν.Οικονόμου για το διάβασμα του κειμένου και τις παρατηρήσεις του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, C.R., Bonilla, M.G., Brace, W.F., Bullock, M., Clough, R.W., Hamilton, R.M., Hofsheinz, Jr.R., Kisslinger, C., Knopoff, L., Park, M., Press, F., Raleigh, C.B. and Sykes, L.R., 1975. Earthquake Research in China. "Trans. Am. Geophys. Union", 56, 858-881.
- Brady, B.T., 1974. Theory of earthquakes, 1. A scale independent theory of rock failure. "Pure Appl. Geophys.", 112, 701-725.
- Coe, R.S., 1971. Earthquake prediction program in the People's Republic of China. "Trans. Am. Geophys. Union", 52, 940-943.
- Corwin, R.F. and Morrison, H.G., 1977. Self-potential variations preceding earthquakes in central California. "Geophys. Res. Lett.", 4, 171-174.
- Derr, J.S., 1973. Earthquake lights: A review of observations and present theories. "Bull. Seism. Soc. Am.", 63, 2177-2187.
- Dmowska, R., 1977. Electromechanical phenomena associated with earthquakes. "Geophys. Surveys", 3, 157-174.

Fedotov, S.A., Dolbilkina, N.A., Morozov, V.N., Myachkin, V.I., Preobrazensky, V. B. and Sobolev, G.A., 1970. Investigation on earthquake prediction in Kamchatka. "Tectonophysics", 9, 249-258.

Fedotov, S.A., Sobolev, G.A., Boldyrev, S.A., Gusev, A.A., Kondratenko, A.M., Potapova, O.V., Slavina, L.B., Theophylaktov, V.D., Khranov, A.A. and Shirokov, V.A., 1977. Long and short-term earthquake prediction in Kamchatka "Tectonophysics", 37, 305-321.

Fukutomi, T., 1934. Report of strong Izu earthquake of March 21, 1934. "Bull. Earthq. Res. Inst.", Univ. Tokyo, 12, 527-538 (in Japanese).

Ginis, S., Augoustis, G., Zisos, A., Lazaridou-Varotsou, M., Dologlou-Revelioti, E., Economopoulos, P., Karapanos, P., Giakoumakis, G., 1982. Efficiency of the prediction of earthquakes from electrotelluric signals collected at distant stations. "Praktika of the Athens Academy", 57, 372-379.

Honkura, Y., 1981. Electric and magnetic approach to earthquake prediction. "Current research in earthquake prediction I", edited by Tsuneji Pikitake, CAPJ, Reide, 301-383.

Milne, J., 1890. Earthquakes in connection with electric and magnetic phenomena. "Trans. Seismol. Soc. Japan", 15, 135-162.

Mizutani, H., Ishido, T., Yokokura, Y. and Ohnishi, S., 1976. Electrokinetic phenomena associated with earthquakes. "Geophys. Res. Lett.", 3, 365-368.

Mogi, K., 1974. Rock failure and earthquake prediction. "J.Soc. Materials.Sci. Japan", 23, 320-331 (in Japanese).

Myachkin, V.I., Sobolev, G.A., Dolbilkina, N.A., Morozov, V.N. and Preobrazensky, V.B., 1972. The study of variations in geophysical fields near focal zones of Kamchatka. "Tectonophysics", 14, 287-293.

Nagata, T., 1944. Variation in earth-current in the vicinity of the Sikano-fault. "Bull. Earthq. Res. Inst.", Univ. Tokyo, 22, 72-82 (in Japanese).

Noto, H., 1953. Some experiments on Earth current II. "Jap. J. Astron. Geophys.", 10, 263-303.

Raleigh, B., Bennett, C., Craig, H., Hanks, T., Molnar, P., Nur, A., Savage, J., Scholz, Ch., Turner, P. and Wu, F., 1977. Prediction of the Haicheng earthquake. "Trans. Am. Geophys. Union", 58, 236-272.

Rikitake, T., Yamazaki, Y., Hagiwara, Y., Kawada, K., Sawada, M., Sasai, Y., Watanabe, T., Momose, K., Yoshino, T., Otani, K., Ozawa, K. and Sanzai, Y., 1966. Geomagnetic and piezoelectric studies of the Matushiro earthquake swarm (I). "Bull. Earthq. Res. Inst.", Univ. Tokyo, 44, 363-408.

Scholz, C.H., Sykes, L.R. and Aggarwal, Y.P., 1973. Earthquake prediction, a physical basis. "Science", 181, 803-810.

Shiratori, K., 1925. Notes on the-destructive earthquake in Sagami bay on the first of September, 1923. "Jap. J. Astron. Geophys.", 2, 173-192.

Sobolev, G.A. 1974. Prospects of routine prediction of earthquakes on the basis of electrotelluric observations. "Earthquake Precursors", edited by M. A. Sadovsky, I.L. Nersesov and L.A. Latynina, Acad. Sci. U.S.S.R. (English edition, U.S. Geological Survey).

Sobolev, G.A., 1975. Application of Electric method to the tentative short-term forecast of Kamchatka earthquakes. "Pageoph.", 113, 229-235.

Sobolev, G.A. and Morozov, V.N., 1972. Local disturbances of the electrical field on Kamchatka and their relation to earthquakes. "Physical Bases of Seismic Methods of Predicting Earthquakes", edited by M.A. Sadovsky, Acad. Sci. U.S.S.R. (English edition, U.S. Geological Survey).

Sobolev, G.A., Bogaeskiy, V.N., Lementueva, R.A., Migunov, N.J. and Khromov, A. A., 1975. Izuchenie mekhanoelektricheskikh yavleniy w seismoaktivnom rayone. "Fizika ochaga zemletryaseniya", (in Russian) Moskow.

Stuart, W.D., 1974. Diffusionless dilatancy model for earthquake precursors. "Geophys. Res. Lett.", 1, 261-264.

Tuck, G.J., Stacey, F.D. and Starkey, J., 1977. A search for the piezoelectric effect in quartz-bearing rocks. "Tectonophysics", 39, T7-T11.

Varley, C.F. 1871. Subterranean electrical disturbances. "Nature", 3, 492.

Varotsos, P., Alexopoulos, K., Nomicos, K., 1981a. Seismic electric currents. "Praktika of the Athens Academy", 56, 277-286.

Varotsos, P., Alexopoulos, K., Nomicos, K., 1981b. Seven-hour precursors to earthquakes determined from telluric currents. "Praktika of the Athens Academy", 56, 417-433.

Varotsos, P., Alexopoulos, K., Nomicos, K., Papaioannou, G., Varotsou, M., Revelioti-Dologlou, E., 1981c. Determination of the epicenter of impending earthquakes from precursor changes of the telluric current. "Praktika of the Athens Academy", 56, 434-446.

Varotsos, P., Alexopoulos, K., Nomicos, K., 1982a. Electrotelluric precursors to earthquakes. "Praktika of the Athens Academy", 57, 341-363.

Varotsos, P., Alexopoulos, K., Nomicos, K., Papaioannou, G., Lazaridou-Varotsou, M., Dologlou-Revelioti, E., 1982b. Determination of the epicenter of an earthquake. "Praktika of the Athens Academy", 57, 364-371.

Varotsos, P., Alexopoulos, K. and Nomicos, K., 1982c. Comments on the pressure variation of the Gibbs energy for bound and unbound defects. "Phys. stat. sol.", (b) 111, 581-590.

Varotsos, P., Alexopoulos, K. and Nomicos, K., 1983a. Prediction of earthquakes from pressure-induced electric signals (abstract). XVIII Gen. Ass. IUGG,

Hamburg 1983. 144.

- Varotsos, P., Alexopoulos, K., Nomicos, K., Dologlou-Revelioti, E., Lazaridou-Varotsou, M., 1983b. Parameters of the electrotelluric precursors to earthquakes of Kefallinia. "Praktika of the Athens Academy", 58, 250-255.
- Wallace, R.E. and Teng, T.L., 1980. Prediction of the Sungpan-Pingwu earthquakes, August 1976. "Bull. Seism. Soc. Am.", 70, 1199-1223.
- Xanthakis, J., 1983. "Praktika of the Athens Academy", 58, 255-257.
- Yamazaki, Y., 1977. Tectonoelectricity "Geophys. Surveys", 3, 123-142.
- Yanagihara, K. and Yokouchi, T., 1967. Anomalies of earth-currents in association with earthquakes. "Kakioka Magn. Obs. Tech. Rep.", 27, 53-58 (in Japanese).
- Yoshimatsu, T., 1937a. On the earth-currents variations accompanied with the remarkable earthquakes "Nijma", Dec. 27, 1936 and "Nojimazaki", Oct. 26, 1936. "J. Meteorol. Soc. Japan", 15, 158-160 (in Japanese).
- Yoshimatsu, T., 1937b. On the regional and local factors of earth-currents at the Kakioka magnetic observatory. "J. Meteorol. Soc. Japan", 15, 145-158 (in Japanese).
- Yoshimatsu, T., 1938. Abnormal variation of earth-current potentials accompanied with an earthquake, occurred in the Kii-Straits on Jan. 12th 1938. "J. Meteorol. Soc. Japan", 16, 295-297 (in Japanese).
- Yoshimatsu, T., 1943. Variation of earth-current potentials related to the Tottori Conspicuous earthquake, September 10, 2603 (1943). "Mem. Kakioka Magn. Obs.", 5, 66-67 (in Japanese).
- Yoshimatsu, T., 1957. Universal earth-currents and their local characteristics. "Mem. Kakioka Magn. Obs. Suppl.", 1, 1-76.