

**ΔΙΚΑΙΟΛΟΓΗΤΙΚΑ**  
Τού έτους 1985 της οικονομικής  
χρήσης 1986 χρηματικού έτηλάματος του  
Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού &  
Προστασίας (ΟΑΣΠ).

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**

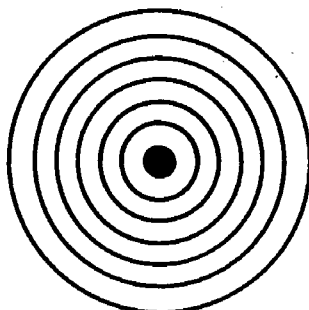
## **ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ**

**ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**

**ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ (ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ)**

**ΛΟΖΙΟΣ ΣΤΕΛΙΟΣ (ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ)**

**ΧΑΤΖΗΪΩΑΝΝΟΥ ΔΑΝΑΗ (ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ)**



ΔΙΔΑΚΤΙΚΑ

Το βιβλίο 185 της ομόθυμης  
πρότασης 6 του Γενικού Συλλόγου του  
Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου &  
Επιστημονικού Συλλόγου (ΕΑΣΠ).

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

I. Η ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1

1. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ 3

1.1. ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ ΣΤΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ (ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΕΝΑ) 3

1.2. ΜΙΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ - ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ b 8

2. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ 11

2.1. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΟΒΙΕΤΙΚΗ ΕΝΩΣΗ 13

2.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ Η.Π.Α. 14

2.3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ 15

2.4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΑ 15

3. ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ 15

4. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΓΕΝΕΣΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΕΙΣΜΩΝ 17

5. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ 18

6. ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΣΤΙΑΚΟΥ ΒΑΘΟΥΣ 19

7. ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ 20

8. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ 24

9. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ 31

9.1. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΑ 31

9.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΟΒΙΕΤΙΚΗ ΕΝΩΣΗ 31

9.3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ 32

9.4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ Η.Π.Α. 33

10. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ 33

11. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΚΙΝΑ 44

11.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ HAICHENG 46

12. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗ ΣΟΒΙΕΤΙΚΗ ΕΝΩΣΗ 50

13.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ	53
14.	ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΦΟΡΝΙΑ (Η.Π.Α.)	60
II.	<u>Η ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΕ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ</u>	
2.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	64
2.1.1.	ΓΕΝΙΚΑ	64
2.1.2.	ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΞΙΓΕΝΩΝ ΖΩΝΩΝ - ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	67
2.2.	ΠΡΟΔΡΟΜΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ	71
2.2.1.	ΣΥΝΕΧΕΙΣ ΠΑΡΑΡΗΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ	71
2.2.1.α.	Γενικά	71
2.2.1.β.	Μέθοδοι παρατήρησης	73
2.2.1.γ.	Αποτελέσματα των παρατηρήσεων	74
2.2.1.δ.	Προβλήματα στις παρατηρήσεις τύπου οριζόντιας στοάς- Μελλοντικές εξελίξεις	75
2.2.1.ε.	The embedded volume strainmeter system	76
2.2.1.στ.	Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων από τα δίκτυα των περιοχών Tokai και Southern Kanto.	76
2.2.2.	Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΣΤΙΣ ΗΠΑ	78
2.2.2.α.	In situ μετρήσεις του εντατικού πεδίου	82
2.2.3.	ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΣΣΔ	85
2.2.4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
2.3.	ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΚΑΙ ΤΗ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	89
2.3.1.	ΓΕΝΙΚΑ	89
2.3.2.	ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ	89
2.3.3.	Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ	91
2.3.4.	ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΣΣΔ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΙΝΑ	93
2.3.5.	ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΙΣ Η.Π.Α.	96
2.3.5.α.	Μεταβολές των υπογείων υδάτων	96
2.3.5.β.	Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας	98
2.3.6.	Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ	100
2.3.6.α.	Τα ρήγματα και το φαινόμενο της απελευθέρωσης αερίων	100

2.3.6.β. Αναλογία $^3\text{He}/^4\text{He}$	100
2.4. Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	103
2.4.1. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	103
<u>III. Η ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ</u>	
3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	124
3.1. Μεταβολές της αντίστασης του εδάφους	124
3.2. Υψίσυχνες μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου της ατμόσφαιρας	125
3.3. Μεταβολές του ταυυστή που συσχετίζει το ηλεκτρικό με το μαγνητικό πεδίο της γης	126
3.4. Μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου της γης με μακρά διάρκεια	127
3.5. Μεταβολές του τελλουρικών ρευμάτων που έχουν διάρκεια της τάξης των μερικών εβδομάδων	127
3.6. Μεταβατικές μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου ή των τελλουρικών ρευμάτων, με διάρκεια ενός λεπτού έως μερικές ώρες	128

Π ρ ό λ ο γ ο ς

Οι σεισμοί, είναι καταστροφικά φαινόμενα που εμφανίζονται με ιδιαίτερη συχνότητα σε ορισμένες περιοχές της Γης.

Από πολύ παλιά, το ενδιαφέρον των ερευνητών, κυρίως στις χώρες με έντονο σεισμικό πρόβλημα (πχ. Κίνα, Ιαπωνία), είχε στραφεί στο να βρεθεί ένας τρόπος έγκαιρης προειδοποίησης πριν από τους σεισμούς.

Από τότε μέχρι σήμερα, έχουν γίνει τεράστια βήματα στον τομέα της πρόγνωσης των σεισμών και μπορεί να πει κανείς, ότι πολύ σύντομα, η πρόγνωσή τους θα είναι πιο επιτυχής, ακόμα και από αυτή την πρόγνωση του καιρού.

Μέσα στα πλαίσια του ότι και η χώρα μας αντιμετωπίζει οξύ το πρόβλημα των σεισμών, μας ανατέθηκε από τον Ο.Α.Σ.Π., η διερεύνηση της πορείας των ερευνών για την πρόγνωση των σεισμών σε παγκόσμια κλίμακα. Το ενδιαφέρον βέβαια στράφηκε κυρίως προς τις χώρες που έχουν αναπτύξει ικανοποιητικά τις έρευνές τους στον τομέα αυτό (Ιαπωνία, Κίνα, ΕΣΣΔ, ΗΠΑ).

Αν και το αντικείμενο αυτό, από άποψη περιεχομένου, είναι τεράστιο, πιστεύουμε ότι στο κείμενο που ακολουθεί, δώσαμε σε γενικές γραμμές τον σύγχρονο προβληματισμό και λογική, και τις σύγχρονες τάσεις και τεχνικές που ακολουθεί η έρευνα στον τομέα αυτό.

Τελειώνοντας, ευχαριστούμε θερμά τον Καθ. κ. Δρακόπουλο Ι. ,τον Αναπ. Καθ. κ. Βαρώτσο Π. , τον Επίκ. Καθ. κ. Παπανικολάου Δ. , για την βοήθειά τους που είχαμε σε όλη την πορεία αυτής της μελέτης, την κ. Γκαρδιακού Αιμ. για την βοήθειά της στην ανεύρεση της βιβλιογραφίας και την δίδα Πουλίδου Δ. και κ. Ιωαννίδου Αικ. για την δακτυλογράφηση του κειμένου.

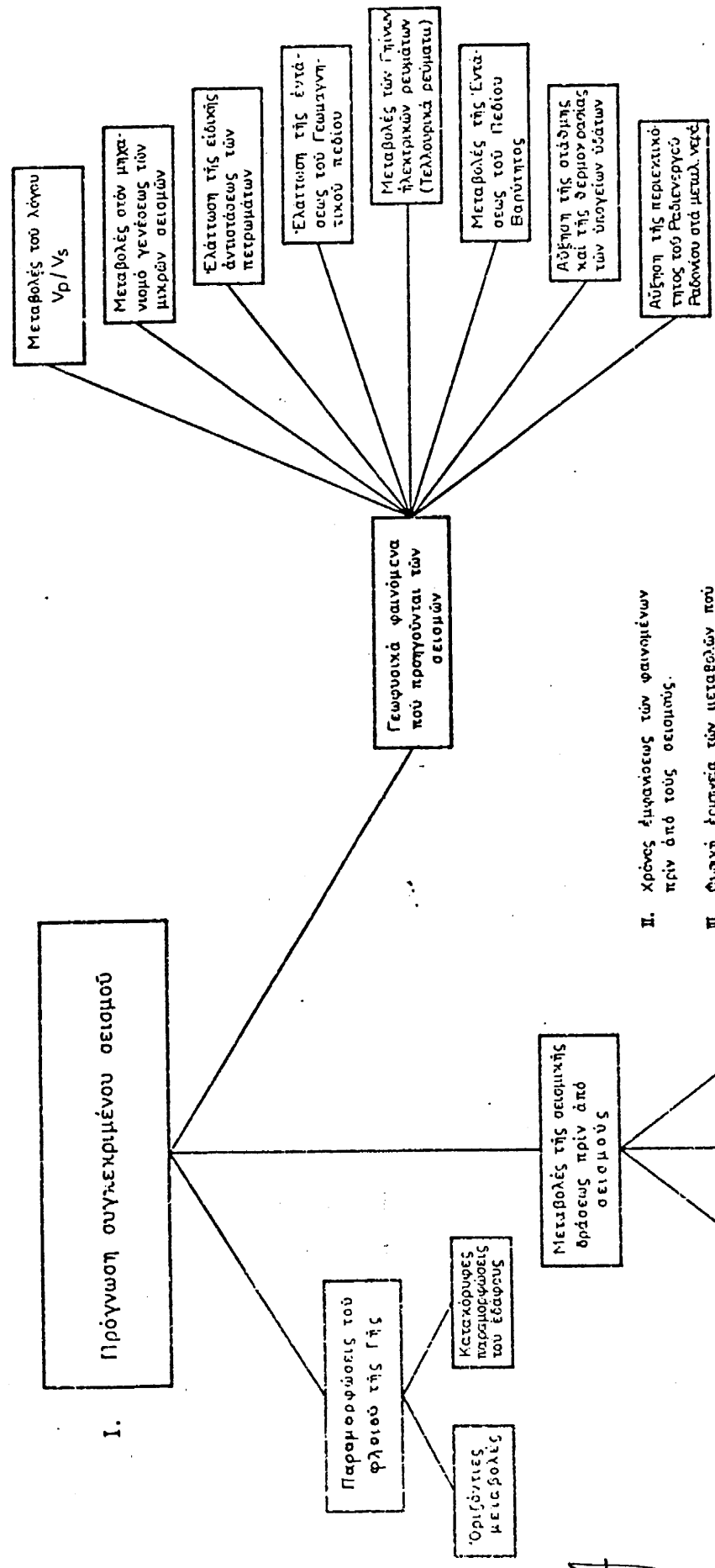
(3)





# ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Σχήμα 1



II. Χρόνος εμφάνισης των φαινομένων πριν από τους σεισμούς.

III. Έυακή έργματα των μεταβολών που προηγούνται των μεγάλων σεισμών.

IV. Άλλα κατήρια προγνώσεως σεισμών :

- 1. Προσεισμοί παράμειρος b
- 2. Στατιστική πρόγνωση μεγαλύτερου μετασεισμού
- 3. Πρόγνωση σεισμών λόγω έπαγομένης σεισμικότητας

V. Άξιολόγηση των μεθόδων προγνώσεως.

VI. Πρόγνωση μακράς διάρκειας και γνώση της σεισμικής έπιικινδυνότητας.

VII. Πρόγνωση συγκεκριμένων σεισμών και γνώση της σεισμικής έπιικινδυνότητας ;

1. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ

Οι παρατηρήσεις της σεισμικής δράσης πριν από μεγάλους σεισμούς αφορούν τις ασυνέχειες των σεισμικών ζωνών ή τα προσωρινά σεισμικά κενά, όπως συνήθως λέγονται οι ασυνέχειες αυτές, την ελάττωση της μικροσεισμικής δράσης: την ελάττωση της παραμέτρου b και τη γένεση σεισμών βάθους πριν από σεισμούς επιφάνειας σε περιοχές κατάδυσης λιθοσφαιρικών πλακών.

1.1. ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ ΣΤΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ (ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΕΝΑ)

Η σεισμική δράση δεν κατανέμεται τυχαία στη επιφάνεια της Γης, αλλά είναι έντονη μόνο στις τεκτονικά ενεργές ζώνες που ακολουθούν τις επιφάνειες επαφής των λιθοσφαιρικών πλακών. Οι σεισμικές ζώνες της Γης συμπίπτουν με τις τεκτονικά ενεργές ζώνες και καθορίζονται με χαρτογράφηση των επικέντρων των σεισμών που έγιναν κατά το τελευταίο χρονικό διάστημα, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από μερικά χρόνια μέχρι μερικές δεκαετίες. Οι σεισμικές αυτές ζώνες παρουσιάζουν ασυνέχειες, δηλαδή τμήματα όπου η σεισμική δράση ήταν σημαντικά μειωμένη κατά το τελευταίο χρονικό διάστημα που καλύπτουν τα δεδομένα παρατήρησης που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του σεισμικού χάρτη. Στο παρελθόν, όμως, έγιναν στις ασυνέχειες αυτές μεγάλοι σεισμοί. Για το λόγο αυτό οι ασυνέχειες αυτές λέγονται π ρ ο σ ω ρ ι ν ά σ ε ι σ μ ι κ ά κ ε ν ά.

Τα προσωρινά σεισμικά κενά θεωρούνται περιοχές όπου πρέπει να αναμένονται μεγάλοι σεισμοί. Η υπόθεση αυτή βασίζεται στη αρχή, ότι, αφού ολόκληρη η σεισμική ζώνη βρίσκεται στο όριο των λιθοσφαιρικών πλακών, θα παραμορφώνεται έντονα λόγω σχετικής κίνησης αυτών και θα συσσωρεύεται σ' αυτή ενέργεια ελαστικής παραμόρφωσης με συνέπεια την αύξηση των τάσεων. Τα μεγαλύτερα αποθέματα ενέργειας θα βρίσκονται στις περιοχές όπου δεν έγιναν πρόσφατοι σεισμοί για να απελευθερωθεί ενέργεια, δηλαδή, στα προσωρινά σεισμικά κενά, και συνεπώς σ' αυτά οι τάσεις είναι αρκετά υψηλές ώστε να πλησιάζουν το όριο θραύσης των πετρωμάτων.

Η υπόθεση των προσωρινών σεισμικών κενών βρίσκεται σε συμφωνία με την παρατήρηση ότι η σεισμική δράση σε μία περιοχή είναι έντονη για ορισμένο χρονικό διάστημα, κατόπιν ελαττώνεται και διατηρεί μικρή τιμή για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, οπότε αποτελεί προσωρινό σεισμικό κενό, και μετά αρχίζει πάλι να αυξάνεται.



Όταν εντοπισθεί η θέση ενός προσωρινού σεισμικού κενού, ο καθορισμός του χρόνου γένεσης του σεισμού επιδιώκεται με τρεις βασικούς τρόπους. Πρώτο, επιδιώκεται ο καθορισμός της ταχύτητας μετανάστευσης της σεισμικής δράσης, η οποία παρατηρείται συνήθως στις γειτονικές περιοχές, και αν αυτή έχει κατεύθυνση προς το σεισμικό κενό μπορεί να εκτιμηθεί ο χρόνος γένεσης του σεισμού. Δεύτερο, καθορίζεται η μέση περίοδος επανάληψης με τη μέθοδο που αναφέρθηκε παραπάνω και αν είναι γνωστός ο χρόνος γένεσης του τελευταίου μεγάλου σεισμού στο σεισμικό κενό, εκτιμάται ο χρόνος γένεσης του επόμενου μεγάλου σεισμού. Τρίτο, από την ταχύτητα κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών στη θέση του σεισμικού κενού, την αντοχή των πετρωμάτων και το χρόνο γένεσης του τελευταίου μεγάλου σεισμού είναι επίσης δυνατή η εκτίμηση του χρόνου γένεσης του αναμενόμενου σεισμού.

Η αρχή των προσωρινών σεισμικών κενών εφαρμόσθηκε αρχικά από το Ρώσο σεισμολόγο Fedotov και τους συνεργάτες του, οι οποίοι με τη μέθοδο αυτή πρόβλεψαν το σεισμό μεγέθους 7,9 που έγινε στο Tokachi-Oki το 1968 και εντόπισαν άλλα σεισμικά κενά στην Ιαπωνία και τη Χερσόνησο Kamchatka (Fedotov et al., 1972). Αλλα σεισμικά κενά εντοπισθηκαν αργότερα από Αμερικανούς και Ιάπωνες σεισμολόγους στην Ιαπωνία καθώς και στις δυτικές ακτές της κεντρικής και νότιας Αμερικής όπου παρατηρείται σύγκλιση λιθοσφαιρικών πλακών (Kelleher et al., 1973)

Οι McCann et al. (1979) προσδιόρισαν με επιτυχία τις θέσεις και προσεγγιστικά το μέγεθος 8 μεγάλων σεισμών σε διάφορες περιοχές της Γης, πριν από την εμφάνιση τους.

Παρόμοιες μελέτες έχουν γίνει από τους Mogi (1968), Utsu (1970), Sykes (1971), Kelleher et al. (1973).

Η μέθοδος των σεισμικών κενών είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην πρόγνωση των σεισμών διότι, μετά τον εντοπισμό των υποψήφιων περιοχών, στις οποίες αναμένεται ισχυρός σεισμός, μπορεί να εφαρμοσθούν προγράμματα εντατικής παρακολούθησης για την παρατήρηση τυχόν προδρόμων φαινομένων μικρής διάρκειας και για τη λήψη έκτακτων μέτρων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αναφέρονται στη βιβλιογραφία μεταξύ των οποίων ξεχωρίζουν οι περιοχές Tokai και Nagoya της Ιαπωνίας. Ιδιαίτερα, η περιοχή Tokai χαρακτηρίστηκε "υποψήφια περιοχή" μεγάλου σεισμού με βάση τη θεωρία των σεισμικών

κενών. Προσδιορίστηκε έτσι η ευρύτερη περιοχή και το αναμενόμενο σεισμικό μέγεθος ( $M_S=8.0$ ). Το δεύτερο στάδιο, ήταν η κατάρτιση επιστημονικού (πενταετές) προγράμματος για την εντατική παρακολούθηση της περιοχής με την τοποθέτηση πυκνών σεισμολογικών δικτύων και άλλων μοντέρνων οργάνων παρακολούθησης.

Η θεωρία των σεισμικών κενών συνεχώς βελτιώνεται και το αναμενόμενο σεισμικό μέγεθος προσδιορίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια, καθώς επίσης και ο χρόνος γένεσης του επικείμενου σεισμού. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε μερικές περιπτώσεις με επιτυχείς προγνώσεις μακράς διάρκειας (McNally, 1981).

Η πρώτη περίπτωση είναι ο σεισμός της OAXACA του Μεξικού (29 Νοεμβρίου, 1978,  $M_S = 7.8$ ). Ομάδα Ιαπώνων σεισμολόγων με επικεφαλής τον Ohtake (Ohtake et al., 1977a, 1977b, 1981; Singh et al., 1980, Ponce et al., 1979; Stewart et al., 1981; McNally, 1981), μελέτησαν τα σεισμικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Χωρίς να αναφερθούμε στις λεπτομέρειες της μελέτης παραθέτουμε τα χαρακτηριστικά της πρόγνωσης που δημοσίευσαν ένα χρόνο πριν τη εμφάνιση του σεισμού σε διεθνές περιοδικό.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΕΙΣΜΟΥ
Χρόνος γένεσης	~	29 Νοεμβρίου 1978
Επίκεντρο	16.5°N±0.5°N 96.5°W±0.5°W	16.010°N 96.591°W
Βάθος	Επιφανειακός	18km
$M_S$	7½ ± ¼	7.7

Τονίζεται ότι είναι ίσως η πρώτη δημοσίευση που αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία πριν από την εμφάνιση του σεισμού.

Η δεύτερη επιτυχής πρόγνωση με την ίδια μέθοδο έγινε από τον Ryal (1981) και αναφέρεται στους σεισμούς Mammoth Lake στην Καλιφόρνια στις 25 Μαΐου 1980 με μεγέθη  $M_T = 6.1, 6.2, 6.1$  και  $6.3$ . Η πρόγνωση βασίστηκε στην εξέταση των σεισμικών χαρακτηριστικών όπως εμφανίστηκαν πριν από τους σεισμούς του 1954 ( $M_S = 7.1, 6.9$ ) στην ίδια περιοχή. Συγκεκριμένα, παρατηρή-

κενών. Προσδιορίστηκε έτσι η ευρύτερη περιοχή και το αναμενόμενο σεισμικό μέγεθος ( $M_S=8.0$ ). Το δεύτερο στάδιο, ήταν η κατάρτιση επιστημονικού (πενταετές) προγράμματος για την εντατική παρακολούθηση της περιοχής με την τοποθέτηση πυκνών σεισμολογικών δικτύων και άλλων μοντέρνων οργάνων παρακολούθησης.

Η θεωρία των σεισμικών κενών συνεχώς βελτιώνεται και το αναμενόμενο σεισμικό μέγεθος προσδιορίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια, καθώς επίσης και ο χρόνος γένεσης του επικείμενου σεισμού. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε μερικές περιπτώσεις με επιτυχείς προγνώσεις μακράς διάρκειας (McNally, 1981).

Η πρώτη περίπτωση είναι ο σεισμός της OAXACA του Μεξικού (29 Νοεμβρίου, 1978,  $M_S = 7.8$ ). Ομάδα Ιαπώνων σεισμολόγων με επικεφαλής τον Ohtake (Ohtake et al., 1977a, 1977b, 1981; Singh et al., 1980, Ponce et al., 1979; Stewart et al., 1981; McNally, 1981), μελέτησαν τα σεισμικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Χωρίς να αναφερθούμε στις λεπτομέρειες της μελέτης παραθέτουμε τα χαρακτηριστικά της πρόγνωσης που δημοσίευσαν ένα χρόνο πριν τη εμφάνιση του σεισμού σε διεθνές περιοδικό.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΕΙΣΜΟΥ
Χρόνος γένεσης	~	29 Νοεμβρίου 1978
Επίκεντρο	$16.5^\circ N \pm 0.5^\circ N$ $96.5^\circ W \pm 0.5^\circ W$	$16.010^\circ N$ $96.591^\circ W$
Βάθος	Επιφανειακός	18km
$M_S$	$7\frac{1}{2} \pm \frac{1}{4}$	7.7

Τονίζεται ότι είναι ίσως η πρώτη δημοσίευση που αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία πριν από την εμφάνιση του σεισμού.

Η δεύτερη επιτυχής πρόγνωση με την ίδια μέθοδο έγινε από τον Ryll (1981) και αναφέρεται στους σεισμούς Mammoth Lake στην Καλιφόρνια στις 25 Μαΐου 1980 με μεγέθη  $M_L = 6.1, 6.2, 6.1$  και  $6.3$ . Η πρόγνωση βασίστηκε στην εξέταση των σεισμικών χαρακτηριστικών όπως εμφανίστηκαν πριν από τους σεισμούς του 1954 ( $M_S = 7.1, 6.9$ ) στην ίδια περιοχή. Συγκεκριμένα, παρατηρή-

μία αύξηση στην μικροσεισμική δραστηριότητα έξι μήνες πριν από την εμφάνιση του μεγάλου σεισμού στην περιοχή. Και στην περίπτωση της σεισμικής ακολουθίας του 1980 παρατηρήθηκαν τα ίδια χαρακτηριστικά. Επί 20 ημέρες, η μικροσεισμική δραστηριότητα συνεχώς παρουσίαζε αύξηση, ακολούθησε σεισμική ηρεμία και συνοδεύτηκε από τη σειρά των μεγάλων σεισμών.

Ο εντοπισμός επικέντρου έγινε με ακρίβεια 50km το σεισμικό μέγεθος με ακρίβεια  $\pm 1.5$  μονάδες. Τα παραπάνω στοιχεία ανακοινώθηκαν ενάμισυ χρόνο πριν από το σεισμό. Η τρίτη χαρακτηριστική περίπτωση που αναφέρεται στη βιβλιογραφία είναι ο σεισμός της Costa Rica (1982) από τους Guendel and McNally (1981). Με βάση τα σεισμικά χαρακτηριστικά της περιοχής, οι παραπάνω ερευνητές κατέληξαν στην πρόγνωση σεισμού με μέγεθος  $m_b \geq 5.2$  και ανακοινώθηκαν το Δεκέμβριο 1981. Ο σεισμός έγινε τον Αύγουστο του 1982. Η ακρίβεια της πρόγνωσης ως προς το επίκεντρο ήταν  $\pm 50$ km και ως προς το μέγεθος  $\pm 1$  μονάδα μεγέθους.

Με τη μέθοδο των σεισμικών κενών οι Wyss and Baer (1981) προσδιόρισαν τη θέση και το μέγεθος ( $7\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}$ ) του αναμενόμενου σεισμού στο δυτικό τμήμα του Ελληνικού τόξου. Σχετικές μελέτες στην ίδια περιοχή έχουν γίνει και από άλλου ερευνητές (Παπαζάχος 1980, Papazachos and Komninakis 1982, Ambraseys 1981, Papadopoulos and Paylidis 1984, Παπαδόπουλος 1985, Ferrares 1985).

Η εφαρμογή των σεισμικών κενών φαίνεται να είναι χρήσιμη στην πρόγνωση μακράς διάρκειας και σεισμών μέτριου σεισμικού μεγέθους ( $M \leq 6.5$ ). Οι Ohtake et al. 1978 ύστερα από μελέτη της σεισμικότητας στην Καλιφόρνια, παρατήρησαν ότι η σεισμική δραστηριότητα παρουσίασε χαρακτηριστική μείωση σε χρονικό διάστημα 3 χρόνων έως 3 μηνών πριν από 4 σεισμούς ενδιαμέσου βάθους τα έτη 1961, 1968, 1971 και 1973. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα 1.

Ο πρόδρομος χρόνος σε ημέρες αναφέρεται από τη στιγμή που παρατηρήθηκε η πρώτη ελάττωση της σεισμικότητας.

Στην Ιαπωνία, γίνεται προσπάθεια συνδυασμού των σεισμικών κενών με τυχόν άλλα πρόδρομα φαινόμενα βραχείας διάρκειας στην περιοχή του ρήγματος Yamasaki, που έχει χαρακτηριστεί περιοχή εντατικής παρακολούθησης.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1

## ΠΡΟΔΡΟΜΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΕΝΑ ΣΤΗΝ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ

Θ Ε Σ Η	ΗΜΕΡΟΝΗΝΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΧΡΟΝΟΣ (ημέρες)
Parkfield	28.6.1966	5.6	282
Borrego Mountains	9.4.1968	6.4	752
San Fernando	9.2.1971	6.5	597
Point Mugu	21.2.1973	5.2.	97

Από τους σεισμούς που έχουν γίνει μέχρι σήμερα ξεχωρίζει ο σεισμός που έγινε στις 30 Σεπτεμβρίου 1977 μεγέθους  $M = 4.0$ , 5km βόρεια του σεισμολογικού σταθμού Yasutomi. Ερευνητική ομάδα του Παν/μίου του Κγιοτο είχε παρατηρήσει ελάττωση στη σεισμικότητα της περιοχής και ακολούθησε έντονη μικροσεισμική δραστηριότητα στην περιοχή όπου εμφανίστηκε αργότερα το επίκεντρο του κύριου σεισμού. Στο ίδιο χρονικό διάστημα είχαν παρατηρηθεί αλλαγή της συγκέντρωσης χλωρίου στο υπόγειο νερό, δύο εβδομάδες πριν από το σεισμό, καθώς επίσης αλλαγή στη συγκέντρωση του ραδονίου καθώς και στο γήινο μαγνητικό πεδίο.

Σε πολλές ακόμη περιπτώσεις αναφέρονται χαρακτηριστικές μεταβολές της σεισμικότητας πριν από την εμφάνιση μεγάλων σεισμών ιδιαίτερα στην περιοχή της Κίνας. Σημαντική μείωση της σεισμικότητας παρατηρήθηκε πριν από το σεισμό του Tangshan (1976,  $M_S = 7.8$ ) και συγκεκριμένα από το 1970.

Από άλλους ερευνητές τονίζεται η σπουδαιότητα της μελέτης των χαρακτηριστικών σεισμικότητας σε περιοχές όπου έχουν εμφανιστεί μεγάλοι σεισμοί στο παρελθόν. Η εμφάνιση σεισμικών κενών θα βοηθήσει στην κατάρτιση ειδικών προγραμμάτων για την συνεχή παρακολούθηση και την παρατήρηση τυχόν πρόδρομων σεισμικών φαινομένων βραχείας διάρκειας στις περιοχές.

Το πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί είναι ο προσδιορισμός του χρόνου του επικείμενου σεισμού με μεγαλύτερη ακρίβεια. Στον πίνακα 2 φαίνονται οι επιτυχείς προγνώσεις μακράς διάρκειας σεισμών που έγιναν από το 1968 μέχρι το 1979.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2

ΕΠΙΤΥΧΕΙΣ ΠΡΟΓΝΩΣΕΙΣ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ  
ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΕΝΩΝ

	ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ	ΕΤΟΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	Date	M <sub>s</sub>
1.	S.A. Fedotov	1965	Japan	1968 May 16	8.2
2.	S.A. Fedotov	1965	S. Kuril Is.	1969 Aug. 11	8
3.	S.A. Fedotov	1965, 1971 *	Kamchatka	1971 Dec. 15	7.8
4.	L.R. Sykes	1971	Sitka, Alaska	1972 Jul. 30	7.6
5.	J.A. Kelleher et al.	1973	Colima, Mexico	1973 Jan. 30	7.5
6.	S.A. Fedotov	1965, 1971 *	Hokkaido, Japan	1973 Jun. 17	7.7
	K. Mogi	1968b			
	T. Utsu	1972			
	K. Narigasawa	1972			
7.	J.A. Kelleher	1972	Lima, Peru	1974 Oct. 3	7.8
8.	Liaoning Provincial Seismol. Bureau	1975	Haicheng, China	1975 Feb. 4	7.3
9.	Yunnan Prov. Seismol. Bur.	1976	Lungling, China	1976 May. 29	7.0
10.	Szechwan Prov. Seismol. Bur.	1976	Sungpan-Pingw, Szechwan, China	1976 Aug. 16-23	6.7
11.	Yunnan + Szechwan Prov. Seismol. Bur.	1976	Yen-Yuan, Yunnan-Szechwan	1976 Nov. 6; Dec. 13	6.5
12.	G. Purcaru	1974	Vrancea, Romania	1977 Mar. 4	7.1
13.	M. Ohtake et al.	1977a, b	Oaxaca, Mexico	1978 Nov. 29	7.8
14.	D.G. Tobin and L.R. Sykes	1968	SE. Alaska	1979 Feb. 28	7.2
	J.A. Kelleher	1970			
	L.R. Sykes	1971			
15.	J.A. Kelleher	1972	Colombia-Ecuador	1979 Dec. 12	7.9

## 1.2. ΜΙΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ - ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ $b$

Ο αριθμός των μικροσεισμών ( $M \leq 3.0$ ) που καταγράφεται τα τελευταία χρόνια, έχει σημαντικά αυξηθεί με τη χρήση μοντέρνων και ευαίσθητων σεισμολογικών οργάνων. Η ερμηνεία γένεσης τους είναι αρκετά πολύπλοκη και πολλά μοντέλα έχουν προταθεί μέχρι σήμερα χωρίς να έχει υιοθετηθεί κάποιο συγκεκριμένο. Πιστεύεται πάντως ότι με την συνεχόμενη αύξηση των δεδομένων, οι παρατηρήσεις των μικροσεισμών θα βοηθήσουν σημαντικά στην πρόγνωση των σεισμών.

Η αυξημένη προσεισμική δραστηριότητα που παρατηρήθηκε πριν από το μεγάλο σεισμό του Haicheng στην Κίνα ( $M=7.5$ ) σε συνδυασμό με τα άλλα πρόδρομα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν βοήθησε σημαντικά, όπως τονίζουν Κινέζοι σεισμολόγοι στην επιτυχή πρόγνωση του.

Ο Chen Tian-chang et al. (1984) μελέτησαν τα χαρακτηριστικά σεισμικότητας που παρατηρήθηκαν πριν από το σεισμό Songpan-Ringw στις 16 Αυγούστου 1976,  $M=7.2$ . Παρατηρήθηκε μία χαρακτηριστική μείωση η τιμή  $b$  της γνωστής σχέσης των Gutenberg - Richter  $\log N(M) = a - bM$ , όπου  $N(M)$  ο αριθμός των σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα από  $M$ . Οι ίδιοι ερευνητές τονίζουν ότι ο αριθμός μικροσεισμών είχε αυξηθεί πριν από το σεισμό και ο λόγος των σεισμικών ταχυτήτων διάδοσης ( $V_p/V_s$ ) είχε παρουσιάσει σημαντική μείωση.

Από εργαστηριακές μελέτες (Scholz 1968b, Weeks et al. 1978) καθώς και από μελέτες μετασεισμικών ακολουθιών (Bufe 1970; Gibowicz 1973) προκύπτει ότι αλλαγές της παραμέτρου  $b$  αντιπροσωπεύουν αντίστροφες αλλαγές στο πεδίο των τάσεων. Πρόδρομες αλλαγές στην τιμή  $b$  έχουν τελευταία δημοσιευτεί από τους Le et al. (1978), Gugnetti and Pasquale (1979), Guhu (1979), και πολλούς άλλους. Χαρακτηριστική είναι η μεταβολή που παρουσίασε η παράμετρος  $b$  πριν από το σεισμό του Tangshan το 1976 στην Κίνα. Σχεδόν 2 χρόνια η τιμή της άρχισε βαθμιαία να ελαττώνεται και ακολούθησε η εμφάνιση του μεγάλου σεισμού.

Οι Dewey et al. (1984) μελέτησαν επίσης τα χαρακτηριστικά που παρουσίασε η σεισμικότητα πριν από δύο μεγάλους σεισμούς, στο Περού στις 3.10.1974 και στην Αλάσκα στις 4.11.1977 με μεγέθη 7.8 και 6.7 αντίστοιχα.

Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρήθηκε μείωση στην τιμή  $b$  και σημαντική αύξηση της μικροσεισμικής δραστηριότητας πριν από την εμφάνιση τους.



Οι Zhang and Qiu (1984) μελέτησαν τα χαρακτηριστικά σεισμικότητας της περιοχής Tangshan, έξη χρόνια πριν από το μεγάλο σεισμό. Πριν από το 1970 η περιοχή είχε χαρακτηριστεί σεισμικά ήρεμη και από το 1970 άρχισε να εμφανίζεται αυξημένη μικροσεισμική δραστηριότητα. Ο αριθμός των μικροσεισμών άρχισε να αυξάνει με πιο γρήγορο ρυθμό από το 1972 και τα επίκεντρα τους παρουσιάζαν μετατόπιση προς την περιοχή όπου εμφανίστηκε αργότερα (το 1976) ο κύριος σεισμός. Στο ίδιο διάστημα οι Κινέζοι σεισμολόγοι είχαν εφαρμόσει ειδικό πρόγραμμα εντατικής παρακολούθησης και παρατήρησαν πολλά πρόδρομα φαινόμενα, όπως ελάττωση της ειδικής αντίστασης του εδάφους και της κάθετης συνιστώσας του γεωμαγνητικού πεδίου καθώς επίσης μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού. Η περιεκτικότητα του Ραδονίου στο νερό αυξήθηκε και σεισμικές μεταβολές παρουσίασε το βαρυτομετρικό πεδίο της περιοχής, καθώς και τα γεωρεύματα. Επίσης, μετρήσεις που έγιναν σε επιφάνεια  $140 \times 200 \text{ km}$  δυτικά του επίκεντρου απέδειξαν σημαντικές μεταβολές στο γεωμαγνητικό πεδίο. Τονίζεται πάντως, ότι παρά την παρατήρηση αρκετών πρόδρομων φαινομένων και τη συνεχή παρακολούθηση της περιοχής, δεν έγινε επιτυχή πρόγνωση του μεγάλου αυτού σεισμού.

Χαρακτηριστική είναι και η περίπτωση της μεταβολής της μικροσεισμικής δραστηριότητας που παρατηρήθηκε στο Garm της Σ.Ενωσης πριν από σεισμό μεγέθους  $M = 6.1$  που έγινε το 1969. Οι Sadovsky and Nersesov (1974) κατέγραψαν τον ετήσιο αριθμό σεισμών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο με μεγέθη 1.5 - 2.8 αρκετά χρόνια πριν από την εμφάνιση του κύριου σεισμού. Από το 1955 μέχρι το 1959, η μέση ετήσια συχνότητα παρουσίαζε μείωση. Στο επόμενο χρονικό διάστημα η συχνότητα αυτή άρχισε να παρουσιάζει αύξηση συνεχώς επί 8 χρόνια και ενάμισυ χρόνο πριν από τη γένεση του κύριου σεισμού παρατηρήθηκε σημαντική ελάττωση της συχνότητας των μικροσεισμών.

Παρόμοιες μεταβολές στη συχνότητα των μικροσεισμών πριν από τη γένεση ορισμένων μεγάλων σεισμών έχει παρατηρηθεί από Ιάπωνες και Αμερικανούς σεισμολόγους. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η παράμετρος  $b$  της σχέσης Gutenberg - Richter έχει μικρότερη τιμή για τους προσεισμούς απ'ότι για τους μετασεισμούς, ή για τη συνηθισμένη σεισμική δράση της περιοχής. Συνεπώς, συστηματικός υπολογισμός της παραμέτρου αυτής σε μία περιοχή μπορεί να οδηγήσει σε πρόγνωση μεγάλου σεισμού στην περιοχή αυτή.



Μετρήσεις της παραμέτρου  $b$  και διαπίστωση της ελάττωσης τιμής της κατά τη διάρκεια της προσεισμικής περιόδου έγιναν στη Χιλή και Ιαπωνία το 1966 στην Ελλάδα (Parazachos et al. 1967, Δρακόπουλος 1968) στην Καλιφόρνια (Bufe 1970) στην Αλάσκα (Kisslinger, 1974, Δρακόπουλος, 1971).

Στην Ελλάδα, η μελέτη των προσεισμών παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον για την πρόγνωση των μεγάλων σεισμών, γιατί μεγάλο ποσοστό των κυρίων σεισμών έχουν προσεισμούς και φαίνεται ότι η κατανομή των προσεισμών ακολουθεί, τουλάχιστον σε ορισμένες περιπτώσεις στατιστικό νόμο (Parazachos, 1975).

Στην Ιαπωνία, ένας μικρός σεισμός μεγέθους 3.5 έγινε σε απόσταση 16km από το σταθμό Natsushino. Ο σταθμός αυτός τυχαίνει να είναι εφοδιασμένος με πολύ ευαίσθητους σειсмоγράφους και έτσι καταγράφηκαν 25 προσεισμοί και 173 μετασεισμοί. Η παράμετρος  $b$  και στις δύο αυτές ομάδες σεισμών υπολογίστηκε 0.35 και 0.76 αντίστοιχα. Και σ' αυτή την περίπτωση η παράμετρος  $b$  των προσεισμών είναι μικρότερη από ότι των μετασεισμών.

Ο Suyehiro (1966) ανέλυσε 45 προσεισμούς και 250 μετασεισμούς του μεγάλου σεισμού της Χιλής (1960,  $M=8.3$ ) και προσδιόρισε την παράμετρο  $b$  ίση με 0.55 για τους προσεισμούς και 1.13 για τους μετασεισμούς.

Ο Bufe (1970) ύστερα από ανάλυση της σημνοσειράς του Danville το 1970 στην Καλιφόρνια παρατήρησε ότι υπάρχει χαρακτηριστική μείωση της παραμέτρου  $b$  πριν από σεισμούς μέτριου μεγέθους. Συγκεκριμένα, μία έως  $1\frac{1}{2}$  ημέρες πριν από δύο κύριους σεισμούς με μεγέθη 4.3 και 4.0 η παράμετρος  $b$  μειώθηκε από 1.2 σε 0.8 και από 1.05 σε 0.6 αντίστοιχα.

Όμοια αποτελέσματα προέκυψαν και από ανάλυση των σεισμών ( $M=3.6-5.0$ ) στην Καλιφόρνια (Wyss and Lee, 1973).

Ο Fielder (1974) παρατήρησε ότι υπήρξε ελάττωση της τιμής της παραμέτρου  $b$  από 1.3 σε 0.7 περίπου 900 ημέρες πριν από το σεισμό στο Caracas (1967,  $M=6.5$ ).

Μεταβολή της σεισμικότητας πριν από μεγάλους σεισμούς στην περιοχή Garm της Σ.Ενωσης παρατήρησαν οι Sadosky et al. 1972, Nersesov et al. 1974, Sadosky and Nersesov (1974).

Για παράδειγμα, ενάμισυ χρόνο πριν από το σεισμό του 1969 παρατηρήθηκε σημαντική μείωση η σεισμικότητα της περιοχής (Garm).

Ελάττωση της σεισμικότητας πριν από τους μεγάλους σεισμούς της Αλάσκας παρατήρησαν οι Gedney and Wortmer (Scholz et al. 1973, Kisslinger and Rikitake, 1974). Συγκεκριμένα επτά ημέρες πριν από τον κύριο σεισμό παρατηρήθηκε ελάττωση του αριθμού των μικροσεισμών από 80 σε 40.

Παρόμοιες αλλαγές της μικροσεισμικής δραστηριότητας παρατηρήθηκε και στη γνωστή σμηνοσειρά του Matsushiro της Ιαπωνίας το 1965-1967.

Από όλους τους ερευνητές τονίζεται ότι η συστηματική παρακολούθηση της μικροσεισμικής δραστηριότητας και ο ακριβής υπολογισμός της παραμέτρου  $b$  θα βοηθήσει σημαντικά στην πρόγνωση των σεισμών. Ειδικότερα, σε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί σεισμικά κενά είναι απαραίτητη η εγκατάσταση πυκνού δικτύου ευαίσθητων σειсмоγράφων για τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή των μικροσεισμών.

## 2. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

Πρόδρομες μεταβολές του λόγου του λόγου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων ( $V_p/V_s$ ) και της ταχύτητας των διαμήκων κυμάτων ( $V_p$ ) έχουν δημοσιευτεί σε αρκετές περιπτώσεις, κύρια όμως από Σοβιετικούς επιστήμονες που αφορούν σεισμούς στην περιοχή Garm του Tadzhik.

Οι Kondratenko and Nersesov (1962) με βάση τα δεδομένα 800 εκρήξεων διεπίστωσαν ότι η ταχύτητα των Ρ-κυμάτων πριν από τους σεισμούς στην περιοχή Garm ήταν περίπου 5.3km/sec, ενώ αμέσως μετά τους σεισμούς πλησίαζε την τιμή των 6.3km/sec. Σε όλες τις περιπτώσεις είχε παρατηρηθεί ελάττωση του λόγου  $V_p/V_s$  και η επαναφορά στα κανονικά επίπεδα γίνεται λίγο πριν την εμφάνιση του σεισμού. Ο χρόνος διάρκειας της ελάττωσης φαίνεται να έχει σχέση με το μέγεθος του επικείμενου σεισμού.

Πολλοί ερευνητές τονίζουν ότι ο προσδιορισμός της ελάττωσης του λόγου ταχυτήτων απαιτεί μετρήσεις υψηλής ακρίβειας και τα αποτελέσματα που έχουν δημοσιευτεί μέχρι σήμερα δεν μπορεί να θεωρηθούν απολύτως αξιόπιστα (Rikitake, 1979).

Αμερικανοί σεισμολόγοι τονίζουν ότι τα αποτελέσματα των πειραμάτων που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, δεν έχουν δείξει σημαντικές πρόδρομες αλλαγές που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην επιτυχή πρόγνωση.

Στην Ιαπωνία κάθε χρόνο γίνονται τεράστιες εκρήξεις με σκοπό την τυχόν παρατήρηση αλλαγής των σεισμικών ταχυτήτων. Μέχρι τώρα, τα αποτελέσματα δεν έχουν δείξει θετικά αποτελέσματα.

Στην Κίνα τελευταία αποτελέσματα, όπως συνοψίζονται από τους Feng et al. (1976, 1977, 1978) δείχνουν ότι 16 σεισμοί με μεγέθη 5.1 έως 7.9 παρουσίασαν πρόδρομες μεταβολές στο λόγο  $V_p/V_s$ . Οι ίδιοι ερευνητές τονίζουν ότι όταν η μεταβολή είναι της τάξεως του 2.0, το πρόδρομο αυτό φαινόμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην πρόγνωση βραχείας διάρκειας επειδή η τιμή του είναι ανάλογη του μεγέθους του επικείμενου σεισμού.

Θετικά αποτελέσματα έχουν επίσης παρατηρηθεί και σε άλλες χώρες όπως στο Ιράν (Hedayati et al., 1978), στη Νέα Ζηλανδία (Rynn and Scholz, 1978).

Οι Fedotov et al. (1977) παρατήρησαν ότι στην περιοχή Kamchatka παρατηρήθηκε ελάττωση 12% στην τιμή του λόγου  $V_p/V_s$  πριν από σεισμούς με μεγέθη  $m_b \geq 5.0$ . Η ελάττωση παρατηρήθηκε 10-12 ημέρες πριν και διήρκεσε λίγο χρόνο μετά το σεισμό.

Γενικά διαπιστώθηκε ότι η ελάττωση του λόγου αυτού δεν εξαρτάται από το μέγεθος του αναμενόμενου σεισμού, ενώ αντίθετα η χρονική διάρκεια κατά την οποία η τιμή του λόγου αυτού παραμένει χαμηλή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερος είναι ο σεισμός που πρόκειται να ακολουθήσει.

Βρέθηκε χαρακτηριστικά ότι ο λογάριθμος της χρονικής αυτής διάρκειας συνδέεται γραμμικά με το μέγεθος του σεισμού.

Με τη μέθοδο της πρόδρομης μεταβολής του λόγου διάδοσης των σεισμικών ταχυτήτων έχει γίνει πρόγνωση αρκετών σεισμών, κύρια στην Σ.Ενωση και Κίνα και θεωρείται αρκετά αξιόλογη. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου έγιναν μεγάλοι σεισμοί χωρίς να παρατηρηθεί ελάττωση του λόγου  $V_p/V_s$  ιδιαίτερα στην Ιαπωνία και Η.Π.Α. Οι Dung et al. (1979) συνδέουν τις πρόδρομες μεταβολές με τη θέση εμφάνισης των σεισμών. Σεισμοί που συμβαίνουν κατά μήκος των ορίων

των λιθοσφαιρικών πλακών (interplate earthquakes) όπως οι περισσότεροι της Ιαπωνίας και του San Andreas στην Καλιφόρνια δεν παρουσιάζουν αλλαγές στο λόγο  $V_p/V_s$  σε αντίθεση με αυτούς που συμβαίνουν στο εσωτερικό των λιθοσφαιρικών πλακών (intraplate earthquakes).

Εξετάζοντας τέλος την αξιοπιστία των πρόδρομων αλλαγών των σεισμικών ταχυτήτων πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις αλλαγές που παρατηρούνται στις ταχύτητες και που οφείλονται σε άλλες φυσικές αιτίες (όπως π.χ. η στάθμη του υπόγειου νερού) και δεν συνδέονται με το προπαρασκευαστικό στάδιο του σεισμού. Οι Glymer and McEvelly (1978) παρατήρησαν ότι στην Καλιφόρνια παρατηρείται 1% εποχιακή αλλαγή στο χρόνο διαδρομής των σεισμικών κυμάτων.

Η δεύτερη δυσκολία που αναφέρεται είναι η ακρίβεια μέτρησης, των  $V_p$  και  $V_s$  ταχυτήτων, ιδιαίτερα των  $V_s$  κυμάτων. Εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου σε περιοχές με γνωστές τις υπόγειες δομές συμβάλλει ουσιαστικά στην πρόγνωση των σεισμών.

## 2.1. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΟΒΙΕΤΙΚΗ ΕΝΩΣΗ

Οι Kondratenko and Nersesov (1962) μελέτησαν τους χρόνους διαδρομής μέτρων και μικρών σεισμών πριν και μετά την εμφάνιση μεγάλων σεισμών στην περιοχή Garm και Djirgital στη Σ.Ενωση στο χρονικό διάστημα 1958-1961. Χρησιμοποίησαν περισσότερους από 800 σεισμούς. Παρατηρήθηκε ότι υπήρξε μία συστηματική διαφορά στους χρόνους διαδρομής των P-κυμάτων πριν και μετά από μεγάλους σεισμούς. Η ταχύτητα των P-κυμάτων ήταν της τάξης των 5.3km/sec πριν από μεγάλους σεισμούς ενώ μετά πλησίαζε την τιμή των 6.3km/sec.

Σε όλες τις περιπτώσεις που έχουν παρατηρηθεί μεταβολές των σεισμικών ταχυτήτων διάδοσης, το μέγεθος του σεισμού που ακολούθησε ήταν ανάλογο του χρόνου διάρκειας ελάττωσης του λόγου  $V_p/V_s$ . Το πλάτος  $V_p/V_s$  δεν συσχετίζεται με το αναμενόμενο σεισμικό μέγεθος. Ο ακριβής χρόνος γένεσης του σεισμού δεν έχει υπολογισθεί με ακρίβεια. Από στατιστική ανάλυση των δεδομένων στη Σ.Ενωση προκύπτει ότι ο σεισμός εμφανίζεται συνήθως μετά από 10% παρέλευσης χρόνου από τη στιγμή που θα παρατηρηθεί η αρχική ελάττωση του λόγου  $V_p/V_s$ .

Τονίζεται ότι η παραπάνω μέθοδος είναι η πιό συνηθισμένη στη Σ.Ενωση και κάθε χρόνο διεξάγονται πειράματα για την τυχόν παρατήρηση ελάττωσης των σεισμικών ταχυτήτων διάδοσης πριν από μεγάλο επικείμενο σεισμό, ιδιαίτερα στην περιοχή Garpm.

## 2.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ Η.Π.Α.

Παρατηρήσεις σχετικά με τη μεταβολή του λόγου  $V_p/V_s$  έχουν αρχίσει στις ΗΠΑ από το 1972. Ο Aggarwal et al. (1973) δημοσίευσε ότι παρατήρησε πρόδρομες αλλαγές του λόγου  $V_p/V_s$  πριν από σεισμούς μεγέθους  $M=3.0$  και πάνω. Οι Whitcomb et al. (1973), ύστερα από μελέτη σειсмоγραφημάτων παρατήρησαν μεγάλη ελάττωση του λόγου  $V_p/V_s$  20 χρόνια περίπου πριν από το μεγάλο σεισμό του San Fernando (1971,  $M=6.4$ ).

Η ελάττωση του λόγου  $V_p/V_s$  οφειλόταν κύρια στην ελάττωση της τιμής  $V_p$ .

Οι Kisslinger and Engdahl (1974) παρατήρησαν ελάττωση της τάξης του 5% 50 ημέρες πριν από σεισμό μεγέθους 3.8 που έγινε στα Aleutian Islands του 1971. Ο Brown (1973) ύστερα από ανάλυση σειсмоγραφημάτων της περιοχής Chugoku-kinki στην Ιαπωνία διαπίστωσε ότι υπήρξε ελάττωση του λόγου  $V_p/V_s$  50 έως 52 ημέρες πριν από σεισμό μεγέθους 5.0.

Οι Bakun et al. (1973) απέδειξαν ότι δεν παρατηρείται πρόδρομη μεταβολή του λόγου  $V_p/V_s$  για σεισμούς με μεγέθη 4-5 που γίνονται στην περιοχή του Bear Valley στο Hullister κοντά στο ρήγμα του San Andreas. Ο McEvilly and Johnson (1973) παρατηρούν ότι ο λόγος  $V_p/V_s$  είναι περίπου σταθερός, ίσος με 1.75 σε διάστημα 10 χρόνων στην κεντρική Καλιφόρνια.

Οι Robinson et al. (1974) δημοσίευσαν χαρακτηριστική μεταβολή της ταχύτητας των P-κυμάτων πριν από σεισμό μεγέθους  $M=5.0$  στις 24 Φεβρουαρίου 1972 που έγινε στην περιοχή Bear Valley.

Ο Aggarwal et al. (1975) δημοσίευσαν μία επιτυχή πρόγνωση σεισμού που έγινε στην περιοχή Blue Mountain Lake. Με βάση την παρατηρούμενη μεταβολή στο λόγο  $V_p/V_s$  από 1.73 (στις 20 Ιουλίου) σε 1.50 (στις επόμενες ημέρες). Η πρόγνωση έγινε την 1η Αυγούστου με ανακοίνωση που ανέφερε ότι σεισμός μεγέθους 2.5-3.0 θα συμβεί στις επόμενες ημέρες. Πράγματι, σεισμός μεγέθους 2.6 έγινε στις 3 Αυγούστου.

### 2.3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ

Από το 1973 γίνονται σχετικές παρατηρήσεις και στην Ιαπωνία. Ο Ohtake(1973) παρατήρησε ελάττωση στο λόγο  $V_p/V_s$  360 ημέρες και 110 ημέρες πριν από τους σεισμούς North Miyagi (1962,  $M=6.5$ ) και North Nagano (1968,  $M=5.3$ ) αντίστοιχα.

Η ερευνητική ομάδα για μικροσεισμούς του Πανεπιστημίου Τοχόκου παρατήρησε επίσης πρόδρομη μεταβολή στο λόγο  $V_p/V_s$  3450 ημέρες πριν από το σεισμό Niigata (1964,  $M=7.5$ ) και 730 ημέρες πριν από το σεισμό Southeast Akita (1970,  $M=6.2$ ).

Ο Mizutani et al. (1973) παρατήρησαν ελάττωση του λόγου  $V_p/V_s$  στην ευρύτερη περιοχή του σεισμολογικού σταθμού Gifu, 2 χρόνια πριν από τον ισχυρό σεισμό Gifu (1969,  $M=6.6$ ).

### 2.4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΑ

Οι Feng et al. (1974) παρατήρησαν ελάττωση του λόγου  $V_p/V_s$  από 1.73 σε 1.63 περίπου 300 ημέρες πριν από το σεισμό Sichí που έγινε στις 3 Δεκεμβρίου 1970 μεγέθους 5.7.

### 3. ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ

Από τότε που σεισμολογικά όργανα υψηλής πιστότητας χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα, διαπιστώθηκαν αλλαγές των σεισμικών ταχυτήτων  $V_p$  και  $V_s$  χωριστά. Οι Whitcomb et al. (1973) τονίζουν ότι η πρόδρομη αλλαγή του λόγου  $V_p/V_s$  1100 ημέρες πριν από το σεισμό του San Fernando (1971) οφείλεται κύρια σε 20% ελάττωση της ταχύτητας διάδοσης των  $V_p$ .

Ο Stewart (1973) παρατήρησε ελάττωση περίπου 20%, στην ταχύτητα  $V_p$ , 380 ημέρες πριν από το σεισμό Mt. Muqu στην Καλιφόρνια (1973,  $M=6.0$ ). Ο ίδιος ερευνητής μελέτησε τα χρονικά υπόλοιπα διαφόρων σταθμών και παρατήρησε καθυστέρηση της τάξης του 1.0sec, 180 ημέρες πριν από το σεισμό.

Οι Feng et al. (1974) παρατήρησαν ελάττωση της τάξης του 18% στη  $V_p$ , 300 ημέρες πριν από το σεισμό Sichí (1970,  $M=7.5$ ) στην Κίνα.

Οι Whitcomb et al. (1974) παρατήρησαν ελάττωση της ταχύτητας  $V_p$  στην περιοχή Riverside στην Καλιφόρνια από τα μέσα του 1972. Στο συνέδριο της Γεωφυσικής Ένωσης Αμερικής (A.G.U.) το 1974 ανακοίνωσαν ότι ανέμεναν σεισμό μεγέθους 5.5. Το Φεβρουάριο 1974 έγινε σεισμός μεγέθους 4.1.

Οι Wyss and Holcomb (1973) παρατήρησαν καθυστέρηση στις καμπύλες χρόνου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων της τάξης των 0.5sec, ενάμιση χρόνο πριν από τη σηνοσειρά του 1965-1966 στην περιοχή Aleutian και Tanga. Η παρατηρούμενη χρονική καθυστέρηση αντιστοιχεί σε 20%, περίπου, ελάττωση της ταχύτητας  $V_p$ .

Οι Wyss and Johnson (1974) δημοσίευσαν παρόμοια αποτελέσματα για δύο σεισμούς της Ν.Ζηλανδίας. Συγκεκριμένα, 360 ημέρες πριν από το σεισμό Seddan (1966,  $M=6.1$ ) παρατηρήθηκε αύξηση των P-χρονικών υπολοίπων κατά 0.4sec και 550 ημέρες πριν από το σεισμό Gisborne (1966,  $M=6.2$ ).

Ο Wyss (1974) ανέλυσε τα P-χρονικά υπόλοιπα που έχουν παρατηρηθεί στην περιοχή της Καλιφόρνιας. Διαπίστωσε ότι η πιθανότητα εμφάνισης σεισμού μεγέθους 7 είναι πολύ μικρή στα επόμενα 7-8 χρόνια (από το 1974) και μεγέθους 8 στα επόμενα 20 χρόνια επειδή δεν είχε παρατηρηθεί καμμία ανωμαλία στα P-χρονικά υπόλοιπα.

Ο ίδιος ερευνητής μελέτησε τα P-χρονικά υπόλοιπα της περιοχής Garm για την οποία ήδη είχαν παρατηρηθεί αλλαγές στο λόγο  $V_p/V_s$ , στον άξονα συμπίεσης, στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση και πράγματι διαπίστωσε ότι υπήρχε αύξηση των P-χρονικών υπολοίπων της τάξης των 0-4sec, 440 ημέρες πριν από το σεισμό που έγινε το 1973 με μέγεθος 5.7.

Η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου Tohoku της Ιαπωνίας (1974) δημοσίευσσε ότι είχε παρατηρηθεί αύξηση των P-χρονικών υπολοίπων της τάξης των 10sec, 10 χρόνια πριν από το σεισμό Niigata (1964,  $M=7.5$ ) στην Ιαπωνία.

Το γεγονός ότι οι αλλαγές του λόγου  $V_p/V_s$  και των P-χρονικών υπολοίπων εμφανίζονται αρκετό χρονικό διάστημα πριν από την εμφάνιση των σεισμών, φαίνεται αν παίζει σημαντικό ρόλο στη στρατηγική για την πρόγνωση των σεισμών.

#### 4. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΓΕΝΕΣΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΕΙΣΜΩΝ

Από ορισμένες παρατηρήσεις προκύπτει ότι η διεύθυνση της τάσης συμπίεσης που προκαλεί τους σεισμούς στον εστιακό χώρο ορισμένων μεγάλων σεισμών μεταβάλλεται πριν από τη γένεση των μεγάλων σεισμών. Τέτοιες μεταβολές παρατηρήθηκαν πριν από δύο σεισμούς που έγιναν στο Garm της Σ.Ενωσης το 1966 ( $M=5.4$ ) και το 1969 ( $M=6.1$ ). Οι άξονες συμπίεσης είχαν αρχικά τυχαίο προσανατολισμό. Κατόπιν, για μερικούς μήνες πριν από τους ισχυρούς σεισμούς και μέχρι τη γένεση των ισχυρών σεισμών οι άξονες αυτοί απόκτησαν και πάλι τυχαίο προσανατολισμό (Sadovsky et al. 1972).

Ο πρόδρομος χρόνος ορίζεται από 470 μέχρι 130 ημέρες για το σεισμό του 1966 και 360 μέχρι 110 ημέρες για το σεισμό του 1969.

Ο Simbirera (1973) δημοσίευσε παρόμοιες πρόδρομες μεταβολές του άξονα συμπίεσης για 2 σεισμούς με μέγεθος 4.8 που έγιναν στην περιοχή Naryn της κεντρικής Ασίας.

Στην ίδια περιοχή οι Nersesov et al. (1973) παρατήρησαν ότι το πεδίο τάσεων σεισμών με μεγέθη 4.5-5.7 παρουσίασε πρόδρομες αλλαγές. Συγκεκριμένα οι άξονες συμπίεσης άλλαζαν διεύθυνση κατά  $100^\circ$  περίπου τρεις-πέντε μήνες πριν από τους σεισμούς. Παρόμοιες αλλαγές έχουν παρατηρήσει και οι Ishida and Kanamori (1978), Engdahl and Kisslinger (1979), Wyss et al. (1979).

Ταυτόχρονα άλλοι ερευνητές (Warren 1979) δημοσίευσαν αρνητικά αποτελέσματα ενώ η McNally διαπιστώνει ότι τέτοιες αλλαγές στο πεδίο τάσεων δεν συνοδεύονται πάντοτε από τη γένεση μεγάλων σεισμών.

Η αλλαγή αυτή του πεδίου τάσεων στον εστιακό χώρο φαίνεται να συνδέεται και με την παρατηρούμενη πρόδρομη μεταβολή του λόγου των πλατών των εγκαρσίων και διαμήκων κυμάτων.

Οι Lindh et al. (1978a) παρατήρησαν τέτοιες μεταβολές σε τρεις πρόσφατους σεισμούς της Καλιφόρνιας τις ερμήνευσαν με την παραπάνω θεώρηση. Αντίθετα, ο Feng (1974) ερμηνεύει τις πρόδρομες αλλαγές των πλατών των P- και S-κυμάτων που έχουν παρατηρηθεί στην Κίνα με βάση τα χαρακτηριστικά απόσβεσης του φλοιού της Γης.

Τονίζεται ότι η παραπάνω μέθοδος άρχισε να εφαρμόζεται σε προγράμματα πρό-

AM 51 J 5



γνωσης σεισμών ύστερα από τις συστηματικές παρατηρήσεις των Fedotov et al. (1977). Οι Σοβιετικοί σεισμολόγοι μελέτησαν τις αλλαγές του λόγου  $\log(E_S/V_P)$ , όπου  $E_S$  και  $E_P$  σεισμική ενέργεια που ακτινοβολείται από τα κύματα S και P (μικρής περιόδου) αντίστοιχα. Παρατηρήθηκε ότι περιοχές όπου η τιμή της παραπάνω παραμέτρου είναι μικρή, μπορεί να θεωρηθούν υποψήφιες περιοχές μεγάλων σεισμών.

#### 5. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν ορισμένες παρατηρήσεις που δείχνουν ότι ο λόγος της ενέργειας των σεισμικών κυμάτων μεγάλης συχνότητας προς την ενέργεια των σεισμικών κυμάτων μεγάλης συχνότητας προς την ενέργεια των σεισμικών κυμάτων μικρής συχνότητας, όπως προκύπτουν από τις αναγραφές μικρών σεισμών, μεταβάλλεται πριν από τους μεγάλους σεισμούς.

Δεν υπάρχει απόλυτη συμφωνία μεταξύ των διαφόρων σχετικών παρατηρήσεων για τον τρόπο μεταβολής του λόγου αυτού. Συνηθέστερα, όμως, παρατηρείται αύξηση της τιμής του λόγου πριν από τους μεγάλους σεισμούς. Αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι πολλές φορές ακουστικά κύματα πριν από μεγάλους σεισμούς διαρκούν αρκετά λεπτά της ώρας. Σε κύματα μεγάλης συχνότητας οφείλονται πιθανώς και οι ασυνήθιστες αντιδράσεις ορισμένων ζώων πριν από τους μεγάλους σεισμούς.

Οι μεγάλες συχνότητες των σεισμικών κυμάτων κατά την προσεισμική περίοδο αποδίδονται από ορισμένους ερευνητές στο γεγονός ότι κατά την περίοδο αυτή οι τεκτονικές τάσεις στον εστιακό χώρο έχουν μεγάλες τιμές.

Σήμερα γίνονται εκτεταμένες έρευνες για την εφαρμογή των ακουστικών εκπομπών (λευκός θόρυβος) στην πρόγνωση των σεισμών.

Η ιδέα να χρησιμοποιηθεί η ακουστική εκπομπή στη διερεύνηση της μικροσεισμικής δραστηριότητας είναι σχετικά νέα. Εφαρμογή της στην πρόβλεψη σεισμών δεν έχει ακόμη γίνει με εξαίρεση ίσως την εργασία του Mogi, ο οποίος το 1981 προσπάθησε με τη βοήθεια των ακουστικών εκπομπών να παρακολουθήσει τα προσεισμικά και μετασεισμικά φαινόμενα του σεισμού  $M=6.7$  που έγινε στις 29 Ιουνίου 1980 στην περιοχή Izu-Kanto-Okii της Ιαπωνίας.

Ανάλογες προσπάθειες έχουν γίνει και από τους Armstrong (1969) στις ΗΠΑ και Antsyferov (1969) και Nersesov (1973) στη Σ.Ενωση.

Σημειώνεται επίσης ότι έχει παρατηρηθεί πρόδρομη εμφάνιση πολύ υψηλών συχνοτήτων. Ο Antsyferov (1969) χρησιμοποίησε γεώφωνα συχνότητας από 20-30 μέχρι 400-500 Hz για την παρατήρηση σεισμών της περιοχής Garm. Στις 5 Οκτωβρίου 1960 έγινε σεισμός σε βάθος 15km. Σήματα υψηλής συχνότητας καταγράφηκαν 2 ώρες πριν από την εμφάνιση του.

Τονίζεται πάντως ότι η μέθοδος των ακουστικών εκπομπών ερευνάται περισσότερο σε εργαστηριακό επίπεδο. Η χρήση της όμως πιστεύεται ότι θα βοηθήσει στην πρόγνωση των σεισμών επειδή η εκπομπή υψηλών συχνοτήτων πρέπει να συνδέεται με τις μικροδιαρρήξεις που συμβαίνουν πριν από την κύρια διάρρηξη.

#### 6. ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΣΤΙΑΚΟΥ ΒΑΘΟΥΣ

Έχει παρατηρηθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις η σεισμική δράση βάθους ( $h \geq 60\text{km}$ ) σε ορισμένη περιοχή είναι αυξημένη πριν από τη γένεση μεγάλων επιφανειακών σεισμών ( $h < 60\text{km}$ ) στην ίδια περιοχή. Τέτοιες παρατηρήσεις έγιναν π.χ. για ορισμένους σεισμούς στο Αιγαίο (Γαλανόπουλος 1956, Karnik 1972) και για ορισμένους σεισμούς στη Ιαπωνία και τη Σοβιετική Ένωση (Mogi 1973). Η διαφορά χρόνου γένεσης των σεισμών βάθους από τους σεισμούς επιφανείας στις περιοχές αυτές ποικίλλει από μερικούς μήνες μέχρι λίγα χρόνια.

Δύο απόψεις έχουν εκφραστεί για την ερμηνεία του φαινομένου. Σύμφωνα με την πρώτη άποψη, άνοδος μάγματος πραγματοποιείται πάνω από καταδυόμενες λιθοσφαιρικές πλάκες και γιαυτό η σεισμική δράση είναι αρχικά έντονη σε μεγάλα βάθη και αργότερα μετατοπίζεται σε μικρότερα βάθη. Κατά τη δεύτερη άποψη, οι διαρρήξεις που προκαλούν οι σεισμοί που γίνονται στα βαθύτερα τμήματα μιάς καταδυόμενης λιθοσφαιρικής πλάκας επιταχύνουν την κίνηση της πλάκας και οδηγούν στη διάρρηξη του πάνω μέρους της.

Ενδιαφέρον παράδειγμα αποτελούν οι έξι ισχυρότεροι σεισμοί που έγιναν στη ζώνη διάρρηξης του Σαρωνικού-Κορινθιακού κόλπου μεταξύ 1962 και 1970. Από αυτούς οι τρεις πρώτοι ήταν σεισμοί ενδιάμεσου βάθους ( $h = 120\text{km}, 150\text{km}, 75\text{km}$ ), οι οποίοι είχαν μεγέθη 6.8 - 5.9 - 6.8 και έγιναν στις 28 Αυγούστου 1962, στις 17 Ιουλίου 1964 και στις 31 Μαρτίου 1965 με αντίστροφη διάρρηξη.

Μελέτη του μηχανισμού γένεσης των σεισμών αυτών σε συνδυασμό με τις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών έδειξε (Parazachos 1977) ότι ανάστροφες διαρρήξεις στα βαθύτερα τμήματα της καταδυόμενης λιθόσφαιρας της Μεσογείου (μπροστινό μέρος της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας) κατά το χρονικό διάστημα Αύγουστος 1962 - Μάρτιος 1965 προκάλεσε κανονικές διαρρήξεις (βαρύτητας) στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου που βρίσκεται πάνω από την καταδυόμενη λιθόσφαιρα της Μεσογείου.

Το παραπάνω συμπέρασμα μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμο για την πρόγνωση των επιφανειακών σεισμών στο ελληνικό τόξο, γιατί έχει παρατηρηθεί μία γενική τάση να προηγούνται οι σεισμοί βάθους των σεισμών επιφάνειας στο τόξο αυτό (Γαλανόπουλος 1956).

Στην Ιαπωνία, στην περιοχή Sanriku έγινε στις αρχές του αιώνα μας σεισμός 8.3 (39.1°N και 144.7°E). Τρεις μεγάλοι σεισμοί βάθους προηγήθηκαν από αυτόν. Ο πρώτος έγινε στις 20 Φεβρουαρίου 1931 με μέγεθος 7 - 7.25 και βάθος 350km, ο δεύτερος στις 23 Σεπτεμβρίου 1932 με μέγεθος 7 - 7.25 και βάθος 300km και ο τρίτος στις 13 Νοεμβρίου 1932. Τα επίκεντρα των τριών αυτών σεισμών απέχουν 900km από το επίκεντρο του σεισμού του Sanriku.

Είναι η πιο χαρακτηριστική περίπτωση που επιβεβαιώνει την παρατήρηση ότι αυξημένη σεισμική δραστηριότητα βάθους είναι πρόδρομο φαινόμενο μεγάλου επιφανειακού σεισμού.

Πριν από το μεγάλο σεισμό του 1952 στο Tokachi-oki (M=8.1) είχε παρατηρηθεί αυξημένη σεισμική δραστηριότητα βάθους. Επίσης πριν από το σεισμό του Boso-oki (1953, M=7.5) είχε παρατηρηθεί αυξημένη σεισμική δραστηριότητα βάθους. Ο Mogi (1973) περιγράφει παρόμοιες περιπτώσεις για το σεισμό της Kamchatka (1923, M=8.4), Tokachi-oki (1968, M=7.8) και east Hokkaido (1969, M=7.8).

## 7. ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ

Οι παραμορφώσεις του φλοιού της Γης, οι οποίες παρατηρήθηκαν στους εστιακούς χώρους μεγάλων σεισμών πριν από τη γένεση αυτών, είναι οριζόντιες επιμηκύνσεις (ή επιβραχύνσεις), κατακόρυφες μετατοπίσεις (ανυψώσεις ή καταβυθίσεις) και κλίσεις του εδάφους.

Οι οριζόντιες μεταβολές, δηλαδή, οι επιμηκύνσεις ή επιβραχύνσεις του εδάφους μπορούν να μετρηθούν με γεωδαιτικές μεθόδους, δηλαδή, με τριγωνωμετρήσεις και με γεωδύμετρα. Με τις μεθόδους αυτές μετριοούνται ορισμένα μήκη στις τεκτονικά ενεργές περιοχές από ορισμένα χρονικά διαστήματα και οι διαφορές των διαδοχικών μετρήσεων δίνουν τις οριζόντιες επιμηκύνσεις ή επιβραχύνσεις. Με σύγχρονα γεωδύμετρα είναι δυνατό να μετρηθεί απόσταση 40km με ακρίβεια  $10^{-6}$ .

Για συνεχή παρακολούθηση και μέτρηση της οριζόντιας απόστασης σημείων του εδάφους χρησιμοποιούνται επιμηκυνσιόμετρα, δηλαδή όργανα που μετρούν συνεχώς την ανηγμένη επιμήκυνση (ή επιβράχυνση) της απόστασης μεταξύ δύο σημείων του εδάφους. Σύγχρονα επιμηκυνσιόμετρα μπορούν να μετρήσουν μέχρι επιμηκύνσεις της τάξης των  $10^{-12}$ .

Εχει δειχτεί (Tsuboi 1964) ότι η ανηγμένη επιμήκυνση κατά την παραμόρφωση του φλοιού πριν από τη γένεση ενός σεισμού δεν μπορεί να φθάσει την τιμή  $10^{-4}$ , γιατί τιμές ίσες ή μεγαλύτερες απ' αυτή παρατηρήθηκαν μόνο σε περιοχές όπου ο φλοιός έσπασε και δημιουργήθηκαν επιφανειακά ίχνη σεισμικών ρηγμάτων.

Οριζόντιες παραμορφώσεις του φλοιού παρατηρήθηκαν σε αρκετές περιπτώσεις πριν από σεισμούς που έγιναν στην Ιαπωνία, στις Ηνωμένες Πολιτείες και στη Σοβιετική Ένωση.

Η οριζόντια ανηγμένη επιμήκυνση του εδάφους που μετρήθηκε σε απόσταση 94km μακριά από το επίκεντρο του σεισμού που έγινε στις 18 Ιουλίου 1952 στο Yoshino της Ιαπωνίας άρχισε 10 μήνες πριν από το σεισμό και έφθασε την τιμή  $2.5 \times 10^{-6}$ .

Κατακόρυφες παραμορφώσεις του εδάφους που προηγούνται των σεισμών είναι οι μεταβολές του υψομέτρου και οι μεταβολές της κλίσης του.

Μεταβολές του υψομέτρου στην ξηρά μπορούν να μετρηθούν σχετικά εύκολα με την ανάγνωση με τηλεσκόπιο κατακόρυφων κανόνων που έχουν στερεωθεί στο έδαφος. Τέτοιες μεταβολές του υψομέτρου παρατηρήθηκαν σε πολλές περιπτώσεις σεισμών που έγιναν στην Ιαπωνία, στη Σοβιετική Ένωση και στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του σεισμού στις 16 Ιουνίου 1964 στη Nii-

gata της Ιαπωνίας ( $M = 7.5$ ). Παρατηρήθηκε μεταβολή του υψόμετρου που άρχισε από τις αρχές του εικοστού αιώνα και έφθασε πριν από σεισμό την τιμή των  $+16\text{cm}$  στο πλησιέστερο προς το επίκεντρο σημείο μέτρησης και την τιμή των  $-8\text{cm}$  στο μακρύτερο από το επίκεντρο σημείο μέτρησης.

Δείχτηκε ότι ισχύει η ακόλουθη στατιστική σχέση μεταξύ του μεγέθους  $M$ , του σεισμού που πρόκειται να γίνει και της μέσης ακτίνας (σε  $\text{cm}$ ) του τμήματος του φλοιού που παραμορφώνεται πριν από το σεισμό (Dambara 1966)

$$\log r^3 = 8.18 + 1.53 M$$

Όταν γνωρίζουμε από μετρήσεις την μέση ακτίνα,  $r$ , του χώρου που παραμορφώνεται, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση αυτή για να προβλέψουμε το μέγεθος του σεισμού που πρόκειται να γίνει.

Μεταβολές του υψόμετρου είναι δυνατόν να διαπιστωθούν και με μετρήσεις των μεταβολών του ύψους της θάλασσας με παλιρροιογράφους. Τέτοιες μεταβολές της ξηράς σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας έχουν παρατηρηθεί πριν από πολλούς σεισμούς και έχουν πρόσφατα μετρηθεί με ακρίβεια. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις που αναφέρθηκε απόσυρση της θάλασσας μερικές ώρες πριν από σεισμούς.

Μεταβολές της κλίσης του εδάφους έχουν επίσης μετρηθεί πριν από ορισμένους σεισμούς με διάφορους τύπους κλισιομέτρων. Οι μεταβολές που παρατηρήθηκαν ήταν της τάξης των  $10^{-5} - 10^{-6} \text{ rad/yr}$ .

Πιστεύεται ότι οι πρόδρομες παραμορφώσεις του φλοιού της Γης είναι ένα από τα σημαντικότερα πρόδρομα σεισμικά φαινόμενα και θα συμβάλλει ουσιαστικά στην πρόγνωση των σεισμών.

Στην Ιαπωνία, το πενταετές πρόγραμμα πρόγνωσης σεισμών προβλέπει πυκνό δίκτυο παρακολούθησης των παραμορφώσεων του φλοιού της Γης (ανά  $100\text{km}$ ) με συνεχείς και επαναληπτικές μετρήσεις. Ακόμη πυκνότερο δίκτυο έχει εγκατασταθεί στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλή σεισμικότητα και θεωρούνται υποψήφιες μεγάλου σεισμού (Kanto, Tokai).

Στον πίνακα 3 συνοψίζονται όλες οι πρόδρομες γήινες παραμορφώσεις που έχουν παρατηρηθεί στην Ιαπωνία. Τα δεδομένα έχουν παρθεί από τη Μετεωρολογική Υπηρεσία της Ιαπωνίας (J.M.A.). Στις περιπτώσεις που αναφέρονται δύο χρονικές περίοδοι, η πρώτη, αναφέρεται στο διάστημα που παρατηρήθηκε η πρώ-

τη μεταβολή και η δεύτερη στο διάστημα που εμφανίστηκε ανώμαλη ένταση πριν από τη γένεση του σεισμού.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3

ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ  
ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ

A/A	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΕΙΣΜΟΥ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ
1	1694	7.0	Noshiro	~
2	1793	6.9	Tsugaru	Μερικές ώρες
3	1802	6.6	Sado	4 ώρες
4	1872	7.1	Hamada	περίπου 20 λεπτά
5	1923	7.9	Kanto	10 χρόνια
6	1927	7.5	Northern Tango	2-3 ώρες
7	1927	5.3	Sekihara	~
8	1930	7.0	Izu-peninsula	~
9	1943	7.4	Tottori	περίπου 6 ώρες
10	1944	8.0	Tonankai	10 χρόνια
11	1945	7.1	Mikawa	4-5 χρόνια
12	1946	8.1	Nankai	11 χρόνια
13	1952	8.1	Tokachi	5 χρόνια
14	1952	6.8	Daishoji	3 μήνες 8 ημέρες
15	1952	7.0	Yoshino	10 μήνες - 10 ημέρες
16	1955	5.7	Futatsui	~
17	1960	6.0	Odaigahara	μερικούς μήνες
18	1961	5.2	Nagaoka	3 χρόνια
19	1961	7.0	Hyuga	4 χρόνια
20	1961	7.0	Northern Mino	~
21	1964	7.5	Niigata	10 χρόνια, 4-5 χρόνια
22	1967	5.1	Omi	~
23	1969	6.6	Central Gifu	290-300 ημέρες 50- 60 ημέρες
24	1970	6.2	Akita	60-70 ημέρες
25	1971	6.1	Atsumi	250 ημέρες
26	1973	7.4	Nemuro	1 χρόνο - 1 μήνα

ΑΥΣΠ

27	1973	5.9	Central Wakayama	~
28	1974	6.9	Izu Peninsula	7 μήνες - 2 μήνες
29	1975	4.3	Aichi	~
30	1976	5.5	Yamashi	~

Στην Κίνα έχουν παρατηρηθεί επίσης χαρακτηριστικές πρόδρομες παραμορφώσεις (Raleigh et al. 1977; Tang 1978; Tanaka 1978). Η πιο χαρακτηριστική περίπτωση είναι η μεταβολή που παρατηρήθηκε πριν από το σεισμό Haicheng το 1975 μεγέθους 7.3. Σε απόσταση 50km από το επίκεντρο εμφανίστηκε αύξηση κατά  $4.31\text{kg/cm}^3$  της μέγιστης συμπίεσης επτά μήνες πριν από τη γένεση του σεισμού.

Στη Ν.Ζηλανδία, αναφέρει ο Gerard (1984) ότι δύο τουλάχιστον σεισμοί με μεγέθη 5.5 και 6.2 που έγιναν το 1972 θα μπορούσαν να είχαν προβλεφθεί τουλάχιστον 2 έως 3 μήνες πριν από την εμφάνισή τους, με βάση τις γήινες παραμορφώσεις που είχαν παρατηρηθεί σε σταθμό 65km μακριά από το επίκεντρο.

Όπως προκύπτει από παρατηρήσεις, σεισμοί βάθους δεν φαίνεται να παρουσιάζουν πρόδρομες παραμορφώσεις του φλοιού της Γης.

Στον πίνακα 4 συνοψίζονται όλα τα πρόδρομα φαινόμενα σε κατηγορίες, που έχουν παρατηρηθεί και έχουν δημοσιευτεί από τον Rikitake (1976). Από τον πίνακα φαίνεται ότι 103 περιπτώσεις από τις 282 συνδέονται με πρόδρομες γήινες παραμορφώσεις.

### 8. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Η συσχέτιση των σεισμών με ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές (Rikitake 1976, Sumitomo 1978, Yukutake 1977, Yamasaki 1977, Fedotov et al. 1970, Myachkin et al. 1972, Sobolev and Morosov 1970, Myachkin et al. 1971).

Μεταβολές της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου της τάξης μερικών γάμμα ( $1 \text{ γάμμα} = 1\gamma = 10^{-5} \text{ Gauss}$ ) έχουν παρατηρηθεί πριν από ορισμένους σεισμούς. Εντάσεις αυτής της τάξης μπορούν εύκολα να μετρηθούν με σύγχρονα μαγνητόμετρα (πυρηνικά μαγνητόμετρα κλπ.).

Οι σεισμομαγνητικές μεταβολές οφείλονται σύμφωνα με την πιο πειστική προς

## Π Ι Ν Α Κ Α Σ 4

## ΠΡΟΔΡΟΜΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ
Γήϊνες παραμορφώσεις	103
Αλλαγές του λόγου των σεισμικών ταχυτήτων $V_p/V_s$	27
Αλλαγές των σεισμικών ταχυτήτων $V_p$ και $V_s$	11
Προσεισμοί	73
Αλλαγές στην παράμετρο $b$ της σχέσης συχνότητας εμφάνισης σεισμών και μεγέθους	11
Μακροσεισμική δραστηριότητα	3
Αλλαγές στο μηχανισμό γένεσης	6
Ανώμαλος ερπυσμός	2
Γεωμαγνητικές αλλαγές	2
Μεταβολή των γεωρευμάτων	13
Αλλαγή της ηλεκτρικής εδαφικής αντίστασης	17
Αλλαγή στην περιεκτικότητα ραδονίου	9
Αλλαγή στη στάθμη του υπόγειου νερού	2
Αλλαγή στη σύσταση πετρελαίου	3
Σ ύ ν ο λ ο	282

το παρόν άποψη, σε πιεζοπαραμένουσα μαγνήτιση που προκαλείται από την εξάσκηση τεκτονικών δυνάμεων συμπίεσης πάνω στα πετρώματα των εστιακών χώρων των σεισμών. Αν  $k_0$  είναι η μαγνητική επιδεκτικότητα σε πίεση μηδέν, η μαγνητική επιδεκτικότητα κατά τη διεύθυνση που ασκείται η πίεση δίνεται από τη σχέση:

$$k = k_0 / (1 + bp)$$

όπου  $b$  είναι η σταθερά της τάξης των  $10^{-4}/\text{bar}$ . Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι η μαγνήτιση των πετρωμάτων ελαττώνεται κατά τη διεύθυνση της συμπίεσης. Υπολογίζεται ότι για μεταβολή της πίεσης κατά 100 bar η μεταβολή της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι 8γ περίπου, δηλαδή της τάξης μεταβολής της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου που παρατηρήθηκε πριν από ορισμένους σεισμούς.

Η δυσκολία πρόγνωσης των σεισμών με βάση τις γεωμαγνητικές μετρήσεις οφείλεται βασικά στο γεγονός, ότι υπάρχουν άλλες μεταβολές της έντασης του πεδίου



αυτού, που οφείλονται σε διάφορα αίτια και γιαυτό είναι δύσκολη η ανίχνευση των μαγνητικών μεταβολών που οφείλονται στους σεισμούς. Η σχετική όμως έρευνα συνεχίζεται για την όσο το δυνατό ελάττωση του θορύβου που εμποδίζει την ακριβή μέτρηση των σεισμομαγνητικών μεταβολών.

Αλλαγές παρατηρήθηκαν επίσης στις μεγάλης διάρκειας μεταβολές του γεωμαγνητικού πεδίου που αποδίδονται σε μεταβολές της ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων λόγω σεισμικών αιτίων.

Ο Honkura (1979) συγκέντρωσε και μελέτησε στατιστικά τις πρόδρομες μεταβολές που έχουν παρατηρηθεί στο γεωμαγνητικό πεδίο (E), στο ηλεκτρικό πεδίο (τελλουρικόν)(E), στην εδαφική αντίσταση που συνδέεται με την παραμόρφωση (R<sub>1</sub>) και στην αντίσταση του εδάφους μέσα και στη γύρω εστιακή περιοχή. Συγκεκριμένα ο Honkura αναφέρει 92 περιπτώσεις από τις οποίες 13 αντιστοιχούν σε πρόδρομες μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου, 21 σε μεταβολές της εδαφικής αντίστασης (R<sub>1</sub>) και 26 σε μεταβολές της αντίστασης (R<sub>2</sub>). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ο πρόδρομος χρόνος διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση και είναι από μερικές εκατοντάδες ημέρες μέχρι μερικές ημέρες ή ακόμη και μέχρι μερικές ώρες. Από τη μορφή του ιστογράμματος (Rikitake, 1979) προκύπτει ότι ο πρόδρομος χρόνος είναι μάλλον τυχαίος και τα δεδομένα δεν προσαρμόζονται σε σχέση της μορφής log T = f(M), όπου T ο πρόδρομος χρόνος και M το σεισμικό μέγεθος. Ο ίδιος συγγραφέας ερμηνεύει το γεγονός αυτό ότι τα παρατηρηθέντα δεδομένα μπορεί να μη αντιστοιχούν σε πραγματικές πρόδρομες μεταβολές εξ αιτίας του θορύβου που περιέχουν.

Στους πίνακες 5,6,7,8 συνοψίζονται τα παρατηρηθέντα δεδομένα σχετικά με τις μεταβολές του γεωμαγνητικού πεδίου τελλουριακού πεδίου και των αντιστάσεων R<sub>1</sub> και R<sub>2</sub>.

Σημειώνεται ότι στην Κίνα έχουν δημοσιευτεί πάνω από 150 περιπτώσεις πρόδρομης μεταβολής του γεωμαγνητικού πεδίου. Μόνο σε δύο όμως περιπτώσεις οδήγησαν σε επιτυχή πρόγνωση του σεισμού. Η πρώτη ήταν αυτή του σεισμού του Ningjiin στις 6 Ιούνη 1974 (M=4.9). Οι Oike et al. 1975 και οι Press et al., 1975 παρατήρησαν μία αλλαγή στο γεωμαγνητικό πεδίο της περιοχής και με βάση αυτή ανέμεναν σεισμό με M > 4.0 (ενδιάμεσης διάρκειας πρόγνωσης).

Η δεύτερη περίπτωση ήταν του σεισμού του Haicheng (1975, M=7.3). Όπως έχει ήδη τονιστεί, η πρόγνωση αυτού του σεισμού συνδυάστηκε με πολλά πρόδρομα φαι-

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 5

ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Σ Ε Ι Σ Μ Ο Σ			ΠΡΟΔΡΟΜΗ ΑΛΛΑΓΗ		ΕΠΙΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (km)
Θ Ε Σ Η	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	
Tanabe	1961	6.4	2nT/Yr	3.285	36
Niigata	1964	7.5	20nT	3.685	40
Izu-Oshima	1978	7.0	5nT	60	30
San Andreas	1967	3.6	2nT	3	-
Bush fault	1975	5.2	1.5nT	56	11
Sitka	1972	7.2	20nT	2.740	40
Hsingtai	1972	5.2	-	150	-
Haicheng	1975	7.3	21.5nT	270	215
Tangshan	1976	7.8	8nT	480	0
Tangshan	1976	7.8	7nT	105	160
Ninglang	1976	6.9	-	0.17	-
Ninglang	1976	6.8	-	0.38	-
San Fernando	1964	6.2	100nT	1.825	140

νόμενα. Η ελάττωση της κάθετης συνιστώσας του γεωμαγνητικού πεδίου πριν από 9 μήνες έπαιξε σημαντικό επίσης ρόλο στην πρόγνωση του σεισμού. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην περίπτωση του σεισμού Tangshan (1977, M=7.8) αν και είχε αναγνωρισθεί ελάττωση του γεωμαγνητικού πεδίου (8nT), δεν οδήγησε σε πρόγνωση. Όσον αφορά τις ηλεκτρικές μετρήσεις, στην Ιαπωνία τουλάχιστον τα αποτελέσματα δεν είναι ενθαρρυντικά (Yamazaki, 1977).

BY 3M

## Π Ι Ν Α Κ Α Σ 6

## ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ ΤΕΛΛΟΥΡΙΑΚΟ ΠΕΔΙΟ

Σ Ε Ι Σ Μ Ο Σ			ΠΡΟΔΡΟΜΗ ΑΛΛΑΓΗ		ΕΠΙΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (km)
Θ Ε Σ Η	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	
Yunnan	1972	4.8	-	2.5	20
Yunshan	1974	7.1	70A	2.5	90
Haicheng	1975	7.3	100mV/70m	2.5	25
Haicheng	1975	7.3	40μA	0.42	145
Haicheng	1975	7.3	500μA	60	150
Haicheng	1975	7.3	500μA	3	150
Sungpan	1976	7.2	-	450	<300
Sungpan	1976	7.2	-	540	<300
Sungpan	1976	7.2	-	7	<300
Sungpan	1976	7.2	-	30	<300
Sungpan	1976	7.2	-	0.13	-
Sungpan	1976	6.7	-	0.25	-
Lungling	1976	7.6	-	60	-
Lungling	1976	7.6	-	0.13	-
Kamchatka	1968	6.0	300mV/km	6	30
"	1959	7 $\frac{3}{4}$	~50mV/200m	15	<150
"	1965	5 $\frac{3}{4}$	~50mV/200m	14	<150
"	1968	5	~50mV/200m	17	<150
"	1969	5 $\frac{1}{2}$	~50mV/200m	16	<150
"	1969	5 $\frac{1}{2}$	~50mV/200m	13	<150
"	1969	4 $\frac{1}{2}$	~50mV/200m	7	<150
"	1969	4 $\frac{1}{2}$	~50mV/200m	4	<150
"	1969	4 $\frac{1}{4}$	~50mV/200m	5	<150
"	1969	4 $\frac{1}{2}$	~50mV/200m	6	<150
"	1969	7.7	~50mV/200m	45	<150
"	1971	7.7	~50mV/200m	20	<150
Izu Penisula	1971	5.5	3mV/100m	0.65	20
Izu Oshima	1978	7.0	30mV/km	65	30
San Andreas	1974	5.0	140mV/km	55	37
" "	1975	2.4	4mV/km	4.6	2.5

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 7

ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ( $R_1$ )

Σ Ε Ι Σ Μ Ο Σ			ΠΡΟΔΡΟΜΗ ΑΛΛΑΓΗ		ΕΠΙΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (km)
Θ Ε Σ Η	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	
Tokachi-Oki	1968	7.9	$0.72(\times 10^{-4})$ in $\Delta\rho/\rho$	0.09	713
Northern Honshu	1968	6.7	0.20	0.02	582
Saitama	1968	6.1	1.10	0.13	96
Hokkaido	1969	7.8	0.57	0.17	1094
Gifu	1969	6.6	0.80	0.05	206
Yamasaki	1971	5.3	0.47	0.06	76
Erimomisaki	1971	7.0	0.10	0.28	780
Chiba	1971	4.8	0.17	0.03	66
Chiba	1971	5.2	0.13	0.02	122
Fukui-Gifu	1972	6.0	0.17	0.08	267
Hachijo-jima	1972	7.2	0.43	0.08	252
Tokyo-Bay	1973	4.9	0.52	0.14	50
Choshi	1973	5.9	0.28	0.04	116
Chiba	1973	5.0	0.10	0.07	59
"	1974	6.1	0.29	0.15	119
Izu-Penisula	1974	6.9	0.48	0.17	100
Hachijo-jima	1974	6.1	0.27	0.05	150
Ibaraki	1974	5.8	0.20	0.02	99
Hachijo-jima	1974	6.4	0.26	0.10	242
Choshi	1974	6.1	0.13	0.09	163
Honshu	1974	7.6	0.15	0.04	505

## Π Ι Ν Α Κ Α Σ 8

ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ( $R_2$ )

Σ Ε Ι Σ Μ Ο Σ			ΠΡΟΔΡΟΜΗ ΑΛΛΑΓΗ		ΕΠΙΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (km)
Θ Ε Σ Η	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕΘΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	
Garm	1967	4.2	12%	66	10
"	1968	4.3	3%	57	10
"	1969	4.8	14%	141	10
"	1970	4.8	12%	180	10
"	1972	4.2	8%	102	10
San Andreas	1973	3.9	24%	60	5
" "	1973	3.5	6%	30	2
Red Mountain	1974	4.9	-	75	-
Kansu	1973	7.8	9%	390	50
Tangshan	1976	7.8	2-3%	810	0
Tangshan	1976	7.8	3%	6	70
Tangshan	1976	7.8	-	3	10
Sungpan-Pingwu	1976	7.2	-	540	-
" "	1976	7.2	-	1.260	-
" "	1976	7.2	-	45	-
Kanto	1923	7.9			100
Tashkent	1966	5.2			30
Akita	1970	6.2	5%	45	15
Izu-Oshima	1978	7.0	5%	60	30
Izu-Oshima	1978	7.0	4%	90	30

9. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΟΜΕΝΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ

9.1. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΑ

Οι Press et al., 1975 δημοσίευσαν περιπτώσεις που έχουν παρατηρηθεί πρόδρομες αλλαγές στα τελλουριακά ρεύματα πριν από σεισμούς στην Κίνα.

Μερικές μέρες πριν από το σεισμό στην περιοχή Yunnan (Ιούλιος 17, 1972, M=4.8) παρατηρήθηκε σημαντική ελάττωση των τελλουριακών ρευμάτων σε σταθμό 20km από το επίκεντρο. Η ανωμαλία αυτή ήταν η σημαντικότερη και με βάση αυτή προβλέφθηκε το σεισμικό μέγεθος και η ώρα γένεσης του σεισμού.

Μερικές μέρες πριν από το σεισμό του Yunshan-Takuan (11 Μαΐου 1974, M=7.1) είχε παρατηρηθεί ελάττωση των τελλουριακών ρευμάτων κατά 70μΑ σε απόσταση 90km από το επίκεντρο. Ένα μήνα μετά το σεισμό έγινε ο πρώτος μεγάλος μετασεισμός M=6.0 χωρίς όμως να παρατηρηθεί καμία ουσιώδης μεταβολή.

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του σεισμού του Haicheng (1975, M=7.3) όπου τα τελλουριακά ρεύματα παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές πριν από την εμφάνιση του σεισμού. Οι μεταβολές αυτές πρόσφεραν ουσιαστικά, σε συνδυασμό με τα άλλα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν, στην επιτυχή πρόγνωση του σεισμού.

Στους σεισμούς που έγιναν στις επαρχίες Sungpan και Pingwu της Κίνας στις 12, 22 και 23 Αυγούστου 1976 με μεγέθη 7.2, 6.7 και 7.2 αντίστοιχα, είχε παρατηρηθεί ανώμαλη μεταβολή των τελλουριακών ρευμάτων σε πολλούς σταθμούς 15 έως 18 μήνες πριν από την εμφάνιση τους.

Στις 19 Μαΐου 1976, δύο μεγάλοι σεισμοί έγιναν κοντά στην περιοχή Yunnan με μεγέθη αντίστοιχα 7.5 και 7.6 αντίστοιχα. Οι Κινέζοι σεισμολόγοι πρόγνωσαν επιτυχώς τους σεισμούς αυτούς (Rikitake, 1979) με βάση τα διάφορα πρόδρομα φαινόμενα που είχαν παρατηρήσει. Σ'αυτή την περίπτωση η αλλαγή των τελλουριακών ρευμάτων βοήθησε στην πρόγνωση (Chi-Yang, 1978).

9.2. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΟΒΙΕΤΙΚΗ ΕΝΩΣΗ

Στη Σ.Ενωση, ηλεκτρικές μετρήσεις γίνονται εντατικά στην περιοχή Kamchatka. Οι Fedotov et al., 1970, Sobolev et al., 1972 δημοσίευσαν περιπτώσεις όπου εμφανίστηκε αλλαγή στα τελλουριακά ρεύματα μερικές ώρες πριν ή και μετά το

σεισμό. Οι ανωμαλίες αυτές χαρακτηρίζονται από ένα πλάτος ίσο με 50mV/km και η διάρκεια τους κυμαίνεται από λίγα έως 10 λεπτά.

Συγκεκριμένα στις 19 Δεκεμβρίου 1968, έγινε σεισμός  $M = 6.0$ . Εξη ημέρες πριν από την εμφάνιση του παρατηρήθηκε μεταβολή στα τελλουριακά ρεύματα σε σταθμό 30km από το επίκεντρο.

Οι Sobolev and Morozov (1972) δημοσίευσαν ένα άλλο είδος αλλαγών του ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή Kamchatka. Οι ανωμαλίες αυτές χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή διάρκεια, μικρότερη από μία ώρα. Από στατιστική ανάλυση των δεδομένων, οι παραπάνω ερευνητές διαπίστωσαν ότι η αλλαγή εμφανίζεται 6-8 ώρες πριν από το σεισμό. Σε πολλές περιπτώσεις, όταν το σήμα έχει impulsive μορφή, εμφανίζεται μετά το σεισμό.

Το Δεκέμβριο του 1971, σεισμός με  $M = 7.7$  έγινε στη Χερσόνησο της Kamchatka. 50 ημέρες περίπου πριν από το σεισμό παρατηρήθηκε ανωμαλία στο ηλεκτρικό πεδίο.

### 9.3. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ

Ο Fukutomi (1934) δημοσίευσε ανώμαλη μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου 15-16 ώρες πριν από το σεισμό στις 21 Μαρτίου 1934 ( $M = 5.5$ ).

Ο Nagata (1944) διεξήγαγε μετρήσεις στην επικεντρική περιοχή μετά το σεισμό του Tottori (1943,  $M = 7.4$ ) και διαπίστωσε ότι μερικές ώρες πριν από το σεισμό εμφανίζεται αλλαγή, μικρής διάρκειας, στα τελλουριακά ρεύματα. Ο ίδιος ερευνητής καταλήγει ότι μόνο μερικοί σεισμοί φαίνεται να παρουσιάζουν αλλαγές στα τελλουριακά ρεύματα.

Οι Rikitake et al., 1966a αναφέρουν ότι στη σηνοσειρά του Matsushiro δεν παρατηρήθηκε καμμία πρόδρομη αλλαγή στα τελλουριακά ρεύματα, παρά το μεγάλο αριθμό των σεισμών που καταγράφηκε. Αντίθετα στο σεισμό του 1978 (Izu-Oshima,  $M = 7.0$ ) παρατηρήθηκε μία πρόδρομη αλλαγή 65 ημέρες πριν από την εμφάνιση του.

#### 9.4. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ Η.Π.Α.

Το φυσικό ηλεκτρικό δυναμικό έχει επίσης μετρηθεί και στις Η.Π.Α. κατά μήκος του ρήγματος San Andreas - Corwin and Morrison, 1977 αναφέρουν μόνο δύο περιπτώσεις στις οποίες παρατηρήθηκε πρόδρομη μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου. Στην πρώτη περίπτωση παρατηρήθηκε 55 ημέρες πριν από σεισμό μεγέθους  $M=5$  σε 35km απόσταση από το επίκεντρο. Στη δεύτερη περίπτωση παρατηρήθηκε 110 ώρες πριν από σεισμό μεγέθους 2.4, σε 2.5km από το επίκεντρο.

#### 10. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Πολλά είναι τα πρόδρομα φαινόμενα που έχουν δημοσιευτεί όσον αφορά τις μεταβολές του γεωμαγνητικού πεδίου, του ηλεκτρικού πεδίου και της ηλεκτρικής αντίστασης. Επειδή οι αναμενόμενες μεταβολές του γεωμαγνητικού πεδίου πριν από σεισμό είναι πολύ μικρές, οι μετρήσεις του δημιουργούν πολλά προβλήματα. Το πιο δύσκολο πρόβλημα είναι η αφαίρεση του μαγνητικού θορύβου, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλό βιομηχανικό θόρυβο. Οι μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου παρουσιάζουν επίσης το ίδιο πρόβλημα.

Ενα δεύτερο πρόβλημα που παρουσιάζουν οι ηλεκτρομαγνητικές αλλαγές, είναι ο μεταβλητός πρόδρομος χρόνος που εμφανίζουν, που κυμαίνεται από μερικά λεπτά μέχρι μερικά χρόνια. Τονίζεται ότι έχουν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλα πρόδρομα φαινόμενα (αλλαγή των σεισμικών ταχυτήτων, παραμορφώσεις του φλοιού, προσεισμική δραστηριότητα κλπ.) για την επιτυχή πρόγνωση μερικών μεγάλων σεισμών στην Κίνα.

Στους πίνακες 9 έως 14 φαίνεται εμφάνιση των προδρόμων φαινομένων που έχουν παρατηρηθεί και δημοσιευθεί στη διεθνή βιβλιογραφία.



ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΤΩΝ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ - ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 9

ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ (LAND DEFORMATION)

Χ Ω Ρ Α	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕ- ΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΛΛΑΓΗΣ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	ΕΠΙΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (km)
1	2	3	4	5	6
Ιαπωνία (Kanto)	1923	7.9	$1 \times 10^{-5}$ in strain	1500	70
ΗΠΑ (Hollister)	1960	5.0	$4 \times 10^{-6}$ " "	0.0125	10
" (Corralitos)	1964	5.2	$3 \times 10^{-6}$ " "	400	10
Ιαπωνία (Sekihara)	1927	5.3	$1.5 \times 10^{-5}$ " "	90	0
" (Tonkai)	1944	8.0	- "	3600	150
" (Nagaoka)	1961	5.2	$3 \times 10^{-6}$ " "	1000	4
" (North Mino)	1961	7.0	$7 \times 10^{-6}$ " "	4300	15
" (Niigata)	1964	7.5	$3 \times 10^{-6}$ " "	3600	40
Ουγγαρία (Dunaharasen)	1956	6.9	-	290	-
Σ.Ενωση (Tashkent)	1966	5.5	-	7000	-
" " (Garm)	1969	5.7	-	620	-
ΗΠΑ (San Fernando)	1971	6.4	$1.2 \times 10^{-5}$ in strain	2500	15
Ιαπωνία (Ajikazawa)	1973	6.9	1-2m	0.17	-
" (Sado)	1802	6.6	1m	0.21	-
" (Hamada)	1872	7.1	2-3m	0.008	-
" (Tango)	1927	7.5	1m	0.10	-
" (Niigata)	1964	7.5	-	360	40
" (Kanto)	1923	7.9	$1.5 \times 10^{-5}$ in tilt	0.33	80
" (Tottori)	1943	7.4	$5 \times 10^{-7}$ " "	0.25	60
" (Tonankai)	1944	8.0	$2 \times 10^{-7}$ " "	0.24	160
" (Nanki)	1950	6.7	$7.5 \times 10^{-7}$ " "	0.29	80
" (Daishoji-oki)	1952	6.8	$3 \times 10^{-4}$ " "	90	40
" (Yoshino)	1952)	7.0	-	400	80
" (Odaigahara)	1960	6.0	$3 \times 10^{-6}$	200	40
" (Hyuganada)	1961	7.0	$5 \times 10^{-7}$	12	120
" (North Mino)	1961	7.0	$2.5 \times 10^{-5}$	50	40
" (Shirahama-oki)	1962	6.4	$1 \times 10^{-6}$	20	35

1	2	3	4	5	6
Ιαπωνία(Echizenmisaki-oki)	1963	6.9	$1.8 \times 10^{-5}$	180	80
Σ.Ενωση(Ashkhabad)	1957	4.0	$5 \times 10^{-7}$	0.042	25
" (alma Ata)	1958	4.0	$3 \times 10^{-7}$	0.125	250
Afghanistan	1959	5.0	$3 \times 10^{-6}$	0.5	245
"	1959	3.5	$3 \times 10^{-6}$	0.5	300
ΗΠΑ (San Fernando)	1971	4.7	$6 \times 10^{-4}$	0.17	10
Ιαπωνία (Fukui)	1948	5.0	$1 \times 10^{-6}$	0.008	20
" (Niigata)	1964	7.5	$1.5 \times 10^{-5}$	3.000	80
" (Matsushiro)	1966	4.5	$1.5 \times 10^{-7}$	0.083	24
" "	"	4.6	$3 \times 10^{-7}$	0.042	67
" "	"	4.7	$8 \times 10^{-7}$	0.042	81
" "	"	4.6	$5 \times 10^{-7}$	0.050	49
" (Central Gifu)	"	6.6	$5 \times 10^{-7}$ /χρόνο	250	40
ΗΠΑ (Danville)	1970	4.3	$5 \times 10^{-7}$	30	30
" (Hollister)	1973	3.0	-	7	3
Ιαπωνία(Yoshino)	1952	7.0	$2.5 \times 10^{-6}$ in strain	120	72
" (central Gifu)	1969	6.6	$5 \times 10^{-7}$ /χρόνο	250	48
Σ.Ενωση(Shan)	1965	6.0	$9 \times 10^{-8}$	15	250
" (Hindu Kushu)	1965	7.5	-	4	300
" (Dushambe)	1965	4.5	-	3	100
" (Ala-Tau)	1967	5.0	$5 \times 10^{-8}$ in strain	10	320
" (Pamirs)	1969	3.0	$3 \times 10^{-8}$	2	5
Ιαπωνία(Nankai)	1946	8.1	50cm ανύψωση	1.5	230
ΗΠΑ (Long Beach)	1933	6.3	8cm "	1800	10
Κίνα (Lungling)	1976	7.5	-	35	10
" (Tangshan)	1976	7.8	-	420	180
Ιαπωνία(Izu-Oshima)	1978	7.0	$1.5 \times 10^{-6}$	4	36
Κίνα (Haicheng)	1975	7.3	4.3kg/cm <sup>2</sup> αύξηση	210	50

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 10

ΠΡΟΔΡΟΜΗ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ  
(FORESHOCKS)

Χ Ω Ρ Α	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)
Ιαπωνία (Hachinohe-oki)	1763	7.4	30
" (Tokachi-oki)	1843	8.4	15
" (Iga)	1855	6.9	2
" (Edo)	1855	6.9	2
" (Hachinohe-oki)	1856	7.8	0.42
" (Hamada)	1872	7.1	4
" (Nemuro-oki)	1894	7.9	0.21
" (Rikuu)	1896	7.5	8
" (Kamitakai)	1897	6.3	0.35
" (Ugosen)	1914	6.4	11
" (Omachi)	1918	6.1	0.42
" (Shimabara)	1922	6.5	0.46
" (Kanto)	1923	7.9	1500
" (North Gifu)	1927	4.6	40
" (North Hiroshima)	1927	6.0	70
" (Sekihara)	1927	5.3	0.029
" (Central Kumamoto)	1929	4.9	11
" (North Izu)	1930	7.0	10
" (North Hirishima)	1930	6.0	60
" (East Yamanashi)	1931	6.0	14
" (Hyuganada)	1931	6.6	8
" (Sanriku)	1933	8.3	60
" North Kamamoto)	1933	5.0	15
" West Oita)	1935	4.0	1
" (Central Kyoto)	1936	4.5	21
" (Central Kumamoto)	1937	5.0	174
" South nagasaki)	1937	5.0	76
" (Central Yamanashi)	1940	5.0	12

1	2	3	4
Γαπωνία (Nagano)	1941	6.2	56
" (Mikawa)	1945	7.1	2
" (East Kumamoto)	1946	5.1	2
" (Imaichi)	1949	6.4	1
" (Tokachi-oki)	1952	8.1	2
" (Oshima)	1953	5.4	2
" (Boso-oki)	1953	7.5	2200
" (Amami-oki)	1954	6.1	0.33
" (Niijima)	1957	6.3	12
" (Kamikochi)	1963	4.8	5
" (Matsushiro)	1964	3.3	0.17
" "	1967	5.0	180
" "	1967	5.0	210
" "	1967	5.0	120
" "	1967	5.0	120
" "	1967	5.0	120
" "	1967	5.0	150
" (Tokachi-oki)	1968	7.9	14
" (Kii)	1968	4.9	5
" (Wachi)	1968	5.6	180
" (Akita)	1970	6.2	100
" (Chizu)	1970	4.3	0.21
" (Atsumi)	1971	6.1	0.75
" (Hachijojima)	1972	7.2	2.3
" (off Itrup)	1958	8.0	120
" (off Urap)	1963	8.1	1
" (Shikotan)	1969	7.8	0.021
ΗΠΑ (Pleasant Valley)	1915	7.6	0.8
" (Elsimore)	1921	6.1	17
" (Whittier)	1929	4.7	64
" (Ellensburg)	1934	-	4
" (Montana)	1935	6.3	9
" (Belen)	1935	-	5

1	2	3	4
ΗΠΑ (kerm County)	1952	7.7	0.092
" (Hawthorne)	1956	5.3	0.0021
Ιαπωνία(Rat Islands)	1965	7.7	4
ΗΠΑ (Parkfield)	1966	5.3	0.13
" (Danville)	1970	4.3	16
" (Bear Valley)	1972	4.6	5
Χιλή	1960	8.3	1.38
Ελλάδα (Κρεμαστά)	1966	6.3	60
Νικαράγουα	1972	6.2	0.125
Κίνα (Lungling)	1976	7.5	0.017
" (Yenyan)	1976	6.9	9
Ιαπωνία(Izu-Oshima)	1978	7.0	0.18

## Π Ι Ν Α Κ Α Σ 11

ΠΡΟΔΡΟΜΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΤΙΜΗ  $b$  ( $\log N = a - bM$ )

Χ Ω Ρ Α	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΛΛΑΓΗΣ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)
ΗΠΑ (Fairbanks)	1970	3.0	1.3 → 0.8	7
" ( " )	1970	5.0	-	60
" (Danville)	1970	4.3	1.2 → 0.8	1
" "	1970	4.0	1.05 → 0.6	1
" "	1970	3.7	1.2 → 0.9	155
" (Hollister)	1971	3.9	0.8 → 0.6	40
" "	1971	3.9	0.8 → 0.4	9
" (Bear Valley)	1972	5.0	1.0 → 0.8	130
" "	1972	4.6	1.2 → 0.9	120
" "	1972	4.6	0.9 → 0.8	5
Βενεζουέλα (Caracas)	1967	6.5	1.3 → 0.7	930

## Π Ι Ν Α Κ Α Σ 12

ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΜΙΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Χ Ω Ρ Α	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΛΛΑΓΗΣ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)
ΗΠΑ (Fairbanks)	1970	3.0	80 → 40 (ημερήσια ελάτωση)	7
Σ.Ενωση (Garm)	1969	5.7	-	550
" "	1966	5.5	-	550
Ιαπωνία (Izu-Hanto Oki)	1974	6.9	Εμφάνιση σεισμικού κενού	3100
" (Izu Oshima)	1978	7.0	Απότομη ελάτωση	0.08
Κίνα (Tangshan)	1976	7.8	" "	600

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 13

## ΠΡΟΔΡΟΜΗ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΓΕΝΕΣΗΣ

Χ Ω Ρ Α	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)
Σ. Ενωση (Garm)	1966	5.4	470
" "	1969	6.2	130
" (Naryn)	1963	4.8	720
" "	1966	4.8	45

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 14

ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΛΟΓΟ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ( $V_p/V_s$ )

Χ Ω Ρ Α	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΛΛΑΓΗΣ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟ- ΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)
1	2	3	4	5
Σ. Ενωση (Garm)	1956	5.5	10% Ελλότωση	90
" "	1956	5.5	12% "	57
" "	1957	4.1	12% "	33
" "	1959	5.5	10% "	72
" "	1961	4.1	9% "	51
" "	1961	4.8	12% "	36
" "	1962	4.5	8% "	48
" "	1962	4.5	10% "	48
" "	1963	4.1	17% "	30
" "	1963	4.8	9% "	45
" "	1964	4.1	13% "	30
" "	1966	5.5	12% "	90
" "	1967	4.8	9% "	45
ΗΠΑ (BLM)	1971	1.3	12% "	0.12
" "	1971	2.7	12% "	3.4
" "	1971	3.1	12% "	6.0
" "	1971	3.3	15% "	6.1

31/10/71

1	2	3	4	5
ΗΠΑ (San Fernando)	1971	6.4	10% Ελλάτωση	1100
" (Windy Islands)	1971	3.8	5% "	50
Ιαπωνία (Miyagi)	1962	6.5	70% "	360
" (Niigata)	1964	7.5	40% "	3540
" (Chagoku-Kinki)	1967	5.0	9% "	50
" " "	1968	5.0	7% "	52
" (North Nagano)	1968	5.3	30% "	110
" (Southeast Akita)	1970	6.2	20% "	730
Κίνα (Lungling)	1976	7.5	9% "	1460
Ιράν (Tehran)	1974	2.4	14% "	2
" "	1974	2.8	14% "	3
" "	1974	2.1	14% "	1
Ιαπωνία (Shizuoka)	1965	6.1	15% "	1800

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 15

ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗ  $V_p$  Ή  $V_s$

Χ Ω Ρ Α	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕ- ΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΛΛΑΓΗΣ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	ΕΠΙΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (km)
ΗΠΑ (San Fernando)	1971	6.4	20% Ελλάτωση	1100	-
(pt.Mugu)	1973	6.0	20% -	380	-
(Riverside)	1974	4.1	-	200	-
Ιαπωνία(Izu-Hando Oki)	1974	6.9	1.5sec αύξηση στη $V_p$	3650	5
" (Izu.Hando Oki)	1974	6.9	0.5sec " " "	2750	60
ΗΠΑ (Kajapana)	1975	7.2	0.2sec " " "	1280	3.5
Σ.Ενωση(Garm)	1969	5.7	0.4sec " " "	40	25
Ιαπωνία(Niigata)	1964	7.5	10 sec " " "	3600	100
" (Matsushiro)	1965	6.3	0.5sec " " "	950	0
N.Ζηλανδία(Gisborne)	1966	6.1	0.4sec " " "	360	40
ΗΠΑ (Slate Mt.)	1971	4.0	2.3% αύξηση στη $V_{SH}$	38	-
" (Mina)	1971	3.9	2.5sec " " "	10	-



## Π Ι Ν Α Κ Α Σ 16

## ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

Χ Ω Ρ Α	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕ- ΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΛΛΑΓΗΣ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	ΕΠΙΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (km)
1	2	3	4	5	6
Ιαπωνία (Tanabe)	1962	6.1	7 gammas	3200	80
" (Niigata)	1964	7.5	10-15 gammas	3600	40
(Kamchatka)	1959	7.8	150mV/km	17	-
" "	1965	5.8	80mV/km	16	-
" "	1968	5.0	120mV/km	17	-
" "	1969	5.5	100mV/km	20	-
" "	1969	5.5	90mV/km	13	-
" "	1969	4.5	70mV/km	10	-
" "	1969	4.5	50mV/km	10	-
" "	1969	4.5	50mV/km	8	-
" "	1968	6.0	300mV/km	9	30
" "	1971	5.0	40mV/km	10	-
" "	1971	5.0	30mV/km	4	-
" "	1971	7.7	40mV/km	22	-
ΗΠΑ (Hollister)	1973	3.9	24% ελάττωση της αντί- στάσης	60	-
" "	1973	3.5	6% " "	30	-
Σ.Ενωση (Garm)	1967	4.2	12% " "	60	-
" "	1968	4.3	3% " "	57	-
" "	1969	5.7	18% " "	225	-
" "	1969	4.8	14% " "	141	-
" "	1970	4.8	12% " "	180	-
" "	1972	4.2	8% " "	102	-
Ιαπωνία (Tokachi-Oki)	1968	7.9	$-7.2 \times 10^{-7}$ ποσοστό αλλαγής	0.096	712
" (Central Saitama)	1968	6.1	$1.1 \times 10^{-7}$ "	0.14	96
" (off East Hokkaido)	1969	7.8	$1.0 \times 10^{-7}$ "	0.17	1094
" (Central Gifu)	1969	6.6	$6.0 \times 10^{-7}$ "	0.050	205

1	2	3	4	5	6	
Ιαπωνία (Erimozaki-oki)	1971	7.0	$-3 \times 10^{-5}$	ποσοστό αλλαγής	0.24	780
" (Hachijojima Is.)	1972	7.3	$1 \times 10^{-5}$	" "	0.10	252
" (Tokyo Bay)	1973	4.9	$-3 \times 10^{-5}$	" "	0.15	50
" (Choshi-oki)	1974	6.1	$-3 \times 10^{-5}$	" "	0.14	119
" (Izu-Peninsula)	1974	6.9	$-4 \times 10^{-5}$	" "	0.17	100
Κίνα (Tangshan)	1976	7.8	20%	ελλάτωση της αντι- στασης	120	80
" "	1976	7.8	19%	" "	5	80
" "	1976	7.8	16%	" "	60	10

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 17

ΠΡΟΔΡΟΜΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΡΑΔΟΝΙΟΥ

Χ Ω Ρ Α	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕ- ΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΛΛΑΓΗΣ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	ΕΠΙΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (km)
Σ.Ενωση (Tashkent)	1966	4.0	14% αύξηση	11	-
" "	1966	5.2	20% "	250	-
" "	1966	5.5	200% "	2500	-
Κίνα (Luhuo)	1973	7.9	70% "	6	200
" (Mapien)	1973	5.4	70% "	6	200
" (Tangshan)	1976	7.8	50% "	18	130
Ιαπωνία (Izu-Oshima)	1978	7.0	10% ελλάτωση	75	30
" " "	1978	7.0	12% αύξηση	8	30

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 18

Χ Ω Ρ Α	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΕ- ΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΛΛΑΓΗΣ	ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	ΕΠΙΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (km)
Σ.Ενωση (Przhevalsk)	1970	-	15°C αύξηση	72	30
Αυστραλία (Meckering)	1968	6.9	2.9cm "	0.063	110
Κίνα (Tangshan)	1976	7.8		3	-
" (Lunglin)	1976	7.5	10°C	42	10
" "	1976	7.5	3cm "	5	90
Ιαπωνία	1946	8.1		1.5	50-100

*Handwritten signature*

## 11. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΚΙΝΑ


Ομάδα Κινέζων σεισμολόγων (Ding et al. 1984) παρουσίασαν σε συνέδριο της UNESCO στο Tokyo (1984) τα κύρια σημεία του προγράμματος πρόγνωσης σεισμών στην Κίνα και τα στάδια που ακολουθούνται με βάση τα πρόδρομα φαινόμενα που παρατηρούνται.

Το κύριο πρόβλημα για την πρόγνωση των σεισμών, όπως τονίζουν οι Κινέζοι σεισμολόγοι είναι η ακριβή μέτρηση της άφιξης του πρόδρομου σήματος. Η πρώτη προσπάθεια που γίνεται είναι να αναγνωριστεί αν η παρατηρούμενη μεταβολή οφείλεται σε περιοδικές ή μακροχρόνιες μεταβολές. Σε τέτοια περίπτωση, η μεταβολή χαρακτηρίζεται κανονική. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν η μεταβολή χαρακτηριστεί ανώμαλη, εξετάζεται αν οφείλεται σε βιομηχανικό θόρυβο ή πράγματι αποτελεί πιθανό πρόδρομο σεισμικό φαινόμενο. Αν θεωρηθεί ότι είναι πρόδρομο φαινόμενο, τότε εξετάζονται δύο κυρίως περιπτώσεις. Η πρώτη είναι αν η μεταβολή προέρχεται από πρόδρομες γήινες παραμορφώσεις, ή από όλα τα υπόλοιπα αίτια που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια.

Οι δυσκολίες αναγνώρισης της πρόδρομης μεταβολής είναι μεγαλύτερες όταν το αναγραφόμενο πλάτος της είναι μικρό σε σύγκριση με το αντίστοιχο των περιοδικών μεταβολών. Ο χρόνος διάρκειας των πρόδρομων μεταβολών είναι διαφορετικός. Υστερα από ανάλυση δεδομένων 10 σεισμών στην Κίνα με μεγέθη μεγαλύτερα από 7.0 αποδείχθηκε ότι ο χρόνος διάρκειας κυμαίνεται από μερικούς μήνες μέχρι μερικές ημέρες πριν από την εμφάνιση του σεισμού.

Για τον προσδιορισμό της θέσης του αναμενόμενου σεισμού, οι Κινέζοι βασίζονται περισσότερο στη χωρική κατανομή των πρόδρομων φαινομένων. Το σεισμικό μέγεθος φαίνεται να συσχετίζεται επίσης με τη χωρική κατανομή. Από δεδομένα 40 σεισμών προκύπτει ότι όσο πλησιέστερα στο επίκεντρο είναι ο σταθμός αναγραφής του πρόδρομου φαινομένου, τόσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του και τόσο ενωρίτερα εμφανίζεται.

Τα κύρια στάδια που ακολουθούνται για την πρόγνωση των σεισμών και που εφαρμόστηκαν με σχολαστικότητα στην περίπτωση του σεισμού Haicheng (1975,  $M=7.3$ ), όπως θα περιγράψουμε παρακάτω, χωρίζονται σε τέσσερες κατηγορίες. Τα στάδια αυτά φαίνεται να συσχετίζονται άμεσα με τα προπαρασκευαστικά στάδια των μεγάλων σεισμών και αντιστοιχούν στη θεωρία γένεσης των σεισμών.



ΣΤΑΔΙΟ 1<sup>ο</sup>ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ (Long-term prediction)

Στο στάδιο αυτό μελετάται η σεισμικότητα των περιοχών, ο ρυθμός εμφάνισης των μεγάλων σεισμών και προσδιορίζεται κάποιο στατιστικό πρότυπο. Εξετάζεται ο ρυθμός έκλυσης της σεισμικής ενέργειας και ο τρόπος συσσώρευσης της ενέργειας παραμόρφωσης. Εξετάζεται η εμφάνιση τυχόν περιοδικότητας στη σεισμικότητα και η εμφάνιση ασυνέχειας της σεισμικής ζώνης.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω παρατηρήσεων οδηγούν στο διαχωρισμό των περιοχών σε διάφορες κατηγορίες με αυξανόμενη σεισμικότητα και καταρτίζονται ειδικά προγράμματα εντατικής παρακολούθησης σύμφωνα με τα τεκτονικά τους χαρακτηριστικά. Στο στάδιο αυτό γίνεται μία πρώτη εκτίμηση της θέσης και του μεγέθους του αναμενόμενου σεισμού καθώς και του χρόνου εμφάνισης του με στατιστικά μοντέλα. Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται στην Κίνα σαν "προπαρασκευαστικό στάδιο πρόγνωσης" (preparatory stage of prediction).

Στάδιο 2<sup>ο</sup>ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ (Medium-term prediction)

Στο δεύτερο στάδιο εφαρμόζονται τα ειδικά προγράμματα παρακολούθησης των περιοχών που έχουν χαρακτηριστεί ως "υποψήφιες περιοχές" με βάση τα αποτελέσματα μελέτης πρώτου σταδίου. Γίνεται προσπάθεια παρατήρησης πρόδρομων φαινομένων που θα βοηθήσουν στον υπολογισμό της θέσης, του χρόνου και του μεγέθους του αναμενόμενου σεισμού με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τα κύρια πρόδρομα φαινόμενα που εξετάζονται στη φάση αυτή, η παρατήρηση τυχόν μεταβολής της παραμέτρου  $b$ , η εμφάνιση προσεισμών ή σεισμικής ησυχίας, αλλαγή του λόγου των σεισμικών ταχυτήτων, αλλαγή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του γεωμαγνητικού πεδίου, καθώς και γεωχημικές μεταβολές.

Οι αναμενόμενες γήϊνες παραμορφώσεις που αναμένονται να εμφανιστούν στο στάδιο αυτό και μπορεί να μετρηθούν με ικανοποιητική ακρίβεια είναι της τάξης  $1 \times 10^{-6}$ . Εντός της ίδιας περιοχής εξετάζεται η ομοιογένεια εμφάνισης των πρόδρομων φαινομένων και ανάλογα χωρίζεται σε υπο-περιοχές. Το κύριο φαινόμενο που παρατηρείται σε κάθε υπο-περιοχή μετρείται με πυκνότερο δίκτυο οργάνων και εξετάζεται η φυσική του ερμηνεία.

ΣΤΑΔΙΟ 3°ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΒΡΑΧΕΙΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ (Short-term prediction)

Το στάδιο αυτό προϋποθέτει ότι έχουν ήδη παρατηρηθεί ικανοποιητικός αριθμός πρόδρομων φαινομένων και οι μετρήσεις γίνονται με εντατικώτερο ρυθμό. Γίνονται προσπάθειες της θέσης, χρόνου και μεγέθους, με μεγαλύτερη ακρίβεια του αναμενόμενου σεισμού. Στο στάδιο αυτό αναμένεται ότι θα συγκεντρωθούν δεδομένα που θα βοηθήσουν περισσότερο στον εντοπισμό της θέσης του επίκεντρου. Για το σκοπό αυτό οι Κινέζοι σεισμολόγοι έχουν δώσει μεγαλύτερη βαρύτητα στη μετανάστευση της μικροσεισμικής δραστηριότητας. Έχουν παρατηρήσει ότι το επίκεντρο του κύριου σεισμού εμφανίζεται στο σημείο όπου παρατηρήθηκε μετανάστευση των μικροσεισμών.

Στο στάδιο αυτό επίσης, το Σεισμολογικό Γραφείο του Κράτους στο Πεκίνο, εισηγείται τη λήψη έκτακτων μέτρων και την ενημέρωση των Περιφερειακών Υπηρεσιών.

ΣΤΑΔΙΟ 4°ΑΜΕΣΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ (Imminent prediction)

Το στάδιο αυτό είναι το κρισιμότερο στάδιο της πρόγνωσης. Όλες οι πληροφορίες συγκεντρώνονται στο Σεισμολογικό Γραφείο του Κράτους και γίνεται ανάλυση από την Ανώτατη Σεισμολογική Επιτροπή. Τα πορίσματα της γίνονται γνωστά στην Κυβέρνηση και αυτή αποφασίζει αν θα γίνει προειδοποίηση ή όχι.

Η προσοχή των ειδικών εστιάζεται στην παρατήρηση κάποιου πρόδρομου φαινομένου με αυξημένη ένταση που θα βοηθήσει με ακρίβεια τον προσδιορισμό των τριών παραμέτρων πρόγνωσης (χρόνος, μέγεθος, θέση).

Τέτοια πρόδρομα φαινόμενα είναι ήχοι υψηλών συχνοτήτων, μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού, απότομη αλλαγή της περιεκτικότητας του ραδονίου, απότομη αλλαγή των γεωρευμάτων και ανώμαλη συμπεριφορά των ζώων. Σε πολλές περιπτώσεις, τέτοιες μεταβολές έχουν εμφανιστεί στην Κίνα μερικές ώρες μέχρι ημέρες πριν από την εμφάνιση του κύριου σεισμού.

11.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ HAICHENG

(4 Φεβρουαρίου, 1975, M = 7.3)

Η επιτυχής πρόγνωση του σεισμού Haicheng (4.2.1975, M = 7.3) είναι η μοναδική

που έγινε στην ιστορία της Σεισμολογίας και βασίστηκε σε πλήθος παρατηρήσεων πρόδρομων σεισμικών φαινομένων στην Κίνα. Η αρχική ιδέα ξεκίνησε όταν το 1970, σε τοπικό σεισμολογικό συνέδριο στην επαρχία Liaoning, ανακοινώθηκε ότι η περιοχή αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο σεισμολογικό και γεωφυσικό ενδιαφέρον.

Παρακάτω περιγράφουμε το χρονικό της πρόγνωσης και την εφαρμογή των σταδίων που τονίστηκαν παραπάνω. Περισσότερες επιστημονικές λεπτομέρειες περιγράφονται στην τεχνική έκθεση ειδικών επιστημόνων που επισυνάπτουμε.

#### Πρόγνωση Βραχείας Διάρκειας

Από το 1970 η περιοχή Liaoning είχε χαρακτηριστεί περιοχή ιδιαίτερου σεισμολογικού ενδιαφέροντος. Η κύρια αιτία του χαρακτηρισμού αυτού ήταν η χωρική και χρονική κατανομή των μεγάλων σεισμών που εμφανίζονται στις περιοχές Hsingtai, Hochien και Pohai. Σύμφωνα με την κατανομή που παρουσίαζαν οι σεισμοί προέκυπε ότι η περιοχή Liaoning πρέπει να θεωρείται "υποψήφια" περιοχή μεγάλου σεισμού. Από στατιστική ανάλυση των ιστορικών δεδομένων της περιοχής, προέκυψε ότι μεγάλος σεισμός αναμένεται μεταξύ 1975 και 1977. Από την ίδια ανάλυση προέκυψε ότι βορειότερα της περιοχής Haicheng αναμένεται επίσης δεύτερος μεγάλος σεισμός (Tangshan).

Αρχισε η λεπτομερής χαρτογράφηση της περιοχής και εξετάστηκε η υπόγεια δομή με διάφορες μεθόδους (μαγνητικές, βαρυτομετρικές και σεισμικές). 17 σταθμοί τοποθετήθηκαν για την παρακολούθηση της μικροσεισμικής δραστηριότητας ( $M \geq 3.0$ ), καθώς και γεωδαιτικά όργανα για την παρακολούθηση των γήινων παραμορφώσεων. Πάνω από 300 γεωφυσικοί προσλήφθηκαν από το 1970.

#### Πρόγνωση Ενδιάμεσης Διάρκειας

Από το 1970, μέχρι το 1974 με εντατική έρευνα προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα. Τα ρήγματα Tanlu και Tinzhou χαρακτηρίστηκαν ενεργά με βάση γεωλογικά κριτήρια. Η χερσόνησος Liaotung είχε παρουσιάσει ανύψωση και ο αριθμός των μικροσεισμών είχε σημαντικά αυξηθεί. Από τον Οκτώβριο 1973, μέχρι το Μάιο 1974 η διαφορά της κάθετης συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου είχε παρουσιάσει αλλαγή περίπου 20γ. Το πρώτο πεντάμηνο του 1974 ο αριθμός των μικροσεισμών παρουσίαζε συνεχή αύξηση.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα το Σεισμολογικό Γραφείο του Κράτους (State Seismological Bureau) σε συνέδριο που οργάνωσε τον Ιούνιο του 1974 κατέληξε

ότι σεισμός μεγέθους 5-6 μπορεί να εμφανιστεί στη βόρεια περιοχή Pohai στα επόμενα 1-2 χρόνια. Μετά από τη θέση αυτή, η περιφερειακή Κυβέρνηση της επαρχίας Liaoning δραστηριοποιήθηκε και κατέστρωσε σχέδια έκτακτης ανάγκης καθώς και προγράμματα ενημέρωσης του πληθυσμού.

Στο στάδιο αυτό προσλήφθηκαν πάνω από 300 ερασιτέχνες για τη συνεχή παρακολούθηση της στάθμης του υπόγειου νερού, της περιεκτικότητας του ραδονίου, της έγκλισης του μαγνητικού πεδίου και της μέτρησης του τελλουριακών ρευμάτων.

#### Πρόγνωση Βραχείας Διάρκειας

Από τον Ιούνιο μέχρι το Δεκέμβριο του 1974, η χερσόνησος Liaotung παρουσίαζε συνεχή ανύψωση. Οι γεωμαγνητικές ανωμαλίες εξακολουθούσαν να εμφανίζονται αλλά με μικρότερο πλάτος. Ανύψωση της στάθμης του νερού είναι παρατηρηθεί σε πολλά σημεία καθώς και ανώμαλη συμπεριφορά των ζώων. Το Δεκέμβριο του 1974 παρατηρήθηκε σημνοσειρά με μεγαλύτερο μέγεθος 4.8, 70km βορειοδυτικά του Haicheng.

Στις 13 Ιανουαρίου, 1971 το Σεισμολογικό Γραφείο του Κράτους ύστερα από αναλύσεις όλων των παρατηρηθέντων πρόδρομων φαινομένων, καταλήγει ότι επίκειται σεισμός μεγέθους 5.5-6.0 στην ευρύτερη περιοχή Yingkou - Dairen - Tantung τους πρώτους έξη μήνες του 1975.

#### Αμεση Πρόγνωση

Δεν υπάρχει καμμία αμφιβολία (όπως αναφέρουν οι Κινέζοι στην επισυναπτόμενη Τεχνική Εκθεση), ότι η εμφάνιση προσεισμών ήταν το σπουδαιότερο πρόδρομο φαινόμενο που τους βοήθησε στην πρόγνωση του χώρου και χρόνου. Η προσεισμική δραστηριότητα άρχισε την 1η Φεβρουαρίου με ένα προσεισμό μεγέθους 0.5. Μέχρι στις 18:39 της 3ης Φεβρουαρίου, σχεδόν 24 ώρες πριν από τον κύριο σεισμό, είχε συμβεί ένας προσεισμός μεγέθους 2.4 που έγινε αισθητός από το προσωπικό του σεισμολογικού σταθμού του Shihpangyu. Ο προσεισμός αυτός ακολουθήθηκε από δραματική αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας (8 σεισμοί με μεγαλύτερο μέγεθος 4.8 που έγινε ακριβώς στις 08:00, στις 4 Φεβρουαρίου. Έξη ώρες πριν από το μεγάλο σεισμό, η προσεισμική δραστηριότητα μειώθηκε και αυτή η μείωση χαρακτηρίστηκε σαν το τελευταίο πρόδρομο φαινόμενο. Ακολούθησε ο ισχυρός σεισμός μεγέθους 7.3

Η άμεση προειδοποίηση δόθηκε στις 4 Φεβρουαρίου από το Σεισμολογικό Γραφείο του Κράτους στις περιφερειακές Κυβερνήσεις και η επίσημη ανακοίνωση δόθηκε στον πληθυσμό την ίδια μέρα.

Πολλές εγγραφές των τελλουριακών ρευμάτων που πάρθηκαν από ομάδες ερασιτεχνών έδειξαν ανώμαλες μεταβολές 2 εβδομάδες μέχρι μερικά λεπτά πριν από τον κύριο σεισμό. Η πιο χαρακτηριστική μεταβολή παρουσιάστηκε 1-2 ημέρες πριν το σεισμό. Την ημέρα του σεισμού καταγράφηκε σήμα με χαρακτηριστική μικρή περίοδο.

Σε πολλά σημεία παρατηρήθηκε ανύψωση της στάθμης του υπόγειου νερού, ιδιαίτερα δύο ημέρες πριν από το σεισμό. Η ανώμαλη συμπεριφορά που παρατηρήθηκε ιδιαίτερα έντονα την τελευταία ημέρα, χαρακτηρίστηκε σαν πρόδρομο φαινόμενο.

Όλα τα σχέδια έκτακτης ανάγκης εφαρμόστηκαν κανονικά με αποτέλεσμα τη διάσωση του πληθυσμού.

Μια δεύτερη χαρακτηριστική περίπτωση περιγράφεται από τους Chen Tian-Chang et al. (1984) σχετικά με τη σεισμική δραστηριότητα των ισχυρών σεισμών που έγιναν στην περιοχή Songpan-Ringwu στις 16, 21 και 23 Αυγούστου 1976 με μεγέθη 7.2, 6.7 και 7.2 αντίστοιχα.

Στην περίπτωση αυτή δεν παρατηρήθηκε προσεισμική δραστηριότητα, καταγράφηκαν όμως ορισμένα άλλα πρόδρομα σεισμικά φαινόμενα που οδήγησαν του σεισμολόγους του σταθμού Sichuan να προειδοποιήσουν τις κρατικές υπηρεσίες από τον Ιανουάριο του 1976. Έντονες μεταβολές είχαν παρατηρηθεί στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους, στην περιεκτικότητα του ραδονίου, και στη σεισμικότητα της περιοχής. Επίσης, είχαν παρατηρηθεί έντονες παραμορφώσεις του φλοιού της Γης πριν από τους σεισμούς.

Ανάλυση όλων των παραπάνω δεδομένων οδήγησε τους ειδικούς στην πρόγνωση των σεισμών και στις 12 Αυγούστου προειδοποίησαν όλες τις υπηρεσίες που εμπλέκονται με σχέδια έκτακτης ανάγκης ότι πρέπει να είναι σε ετοιμότητα.

Όπως αναφέρουν οι ίδιοι ερευνητές (Chen-Tian-chang et al. 1984) η πρόγνωση βασίστηκε στο συνδυασμό των ανώμαλων χαρακτηριστικών που παρουσίασε η σεισμικότητα της περιοχής με άλλα παρατηρηθέντα πρόδρομα φαινόμενα. Τα κύρια χαρακτηριστικά της περιοχής ήταν (α) ο λόγος των σεισμικών ταχυτήτων  $V_p/V_s$  παρουσίασε ασυνήθιστη αρνητική τιμή, (β) η τιμή της παραμέτρου  $b$  παρουσίασε μείωση, (γ) η συχνότητα εμφάνισης των μικροσεισμών αυξήθηκε, και (δ) η σει-



σμική δραστηριότητα στον επικεντρικό χώρο παρουσίασε μείωση (σεισμικό κενό) λίγο πριν από τον κύριο σεισμό.

Οι Wallace and Ta-Liang Teng (1980) παρουσίασαν επίσης αναλυτικά τα πρόδρομα φαινόμενα των σεισμών Sungpan - Pingwu.

Η διαδικασία πρόγνωσης και οι εντατικές μετρήσεις άρχισαν έξη χρόνια πριν από τους σεισμούς. Τις τελευταίες εβδομάδες είχαν παρατηρηθεί 1300 περίπου ανώμαλα φαινόμενα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η εμφάνιση φωτεινών κηλίδων, η διαφυγή αερίων, η ανώμαλη συμπεριφορά ζώων και οι απότομες αλλαγές των τελλουριακών ρευμάτων.

Η πρόγνωση έγινε με ακρίβεια 0.5 μονάδες μεγέθους, ο χρόνος με παράθυρο μιας ημέρας και το επίκεντρο προσδιορίστηκε σε επιφάνεια 150km x 150km περίπου.

## 12. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗ ΣΟΒΙΕΤΙΚΗ ΕΝΩΣΗ

Συστηματικές μετρήσεις και ολοκληρωμένα προγράμματα πρόγνωσης σεισμών εφαρμόζονται σε περιοχές με μεγάλη σεισμικότητα στη Σ.Ενωση (Tadzhikistan, Uzbekistan, Kambhatka και Sakhalin). Σε κάθε περιοχή έχει καταρτισθεί ξεχωριστό πρόγραμμα σύμφωνα με τα σειμοτεκτονικά χαρακτηριστικά της. Στην περιοχή Tadzhikistan έχει δοθεί έμφαση στις σεισμολογικές μετρήσεις στις γήινες παραμορφώσεις, στις ηλεκτρομαγνητικές και γεωχημικές μετρήσεις. Στην περιοχή Uzbekistan έχει δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στις γεωδαιτικές, σεισμολογικές και ηλεκτροτελλουριακές μετρήσεις.

Το πρόγραμμα πρόγνωσης σεισμών στην Σ.Ενωση, αρχίζει με τις μικροζωνικές μελέτες, εντοπίζοντας έτσι περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο γεωφυσικό ενδιαφέρον και τα ιστορικά δεδομένα οδηγούν σε αξιόλογα στατιστικά συμπεράσματα. Με βάση τα ιστορικά δεδομένα και με λεπτομερή ανάλυση της σεισμικότητας εκτιμάται το πλέον αναμενόμενο μέγεθος σεισμού και η πιθανή θέση του. Στη συνέχεια διεξάγονται εκτεταμένες βαρυτομετρικές, μαγνητικές και σεισμικές μετρήσεις με σκοπό την παρατήρηση τυχόν ανωμαλιών αλλά και για την ερμηνεία των υπόγειων δομών.

Σε πολλά σημεία γίνονται επαναληπτικές γεωδαιτικές μετρήσεις για την παρακολούθηση των οριζόντων και κατακόρυφων γήινων παραμορφώσεων. Με βάση τα

αποτελέσματα των γεωδαιτικών μετρήσεων και σε συνδυασμό με άλλα πρόδρομα φαινόμενα (κύρια τη μεταβολή της στάθμης του υπόγειου νερού), οι Σοβιετικοί σεισμολόγοι κατέληξαν σε επιτυχή πρόγνωση μεγάλου σεισμού που έγινε το Μάρτιο 1978 ( $M=7.8$ ) δύο ημέρες πριν από την εμφάνιση του (Sidorenko et al. 1984). Από συνεχείς παρατηρήσεις στην περιοχή Garm οι Σοβιετικοί έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι σχεδόν όλοι οι σεισμοί της περιοχής, με μέγεθος μεγαλύτερο του 5.0 παρουσιάζουν έντονες πρόδρομες γήινες παραμορφώσεις.

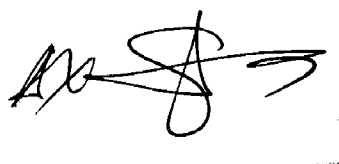
Μαγνητικές μετρήσεις διεξάγονται επίσης σε πολλά σημεία και σε πολλές περιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί πρόδρομες μεταβολές. Τονίζεται πάντως, η δυσκολία εκτίμησης τέτοιων πρόδρομων μεταβολών λόγω του μικρού πλάτους αναγραφής τους.

Όλες οι πρόδρομες γεωφυσικές μεταβολές που παρατηρούνται συνδυάζονται με τις μεταβολές της σεισμικότητας της περιοχής. Σε 30% των περιπτώσεων οι πρόδρομες μεταβολές συνοδεύταν με ανώμαλες μεταβολές στη σεισμικότητα. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι Σοβιετικοί επιστήμονες πιστεύουν ότι με συνθετικές παρατηρήσεις (composed observations) θα επιλύσουν το πρόβλημα πρόγνωσης των σεισμών. Τέτοιες παρατηρήσεις οδήγησαν στην επιτυχή πρόγνωση του σεισμού που έγινε την 1η Νοεμβρίου 1978 ( $M=7.0$ ) στην περιοχή Parmirs.

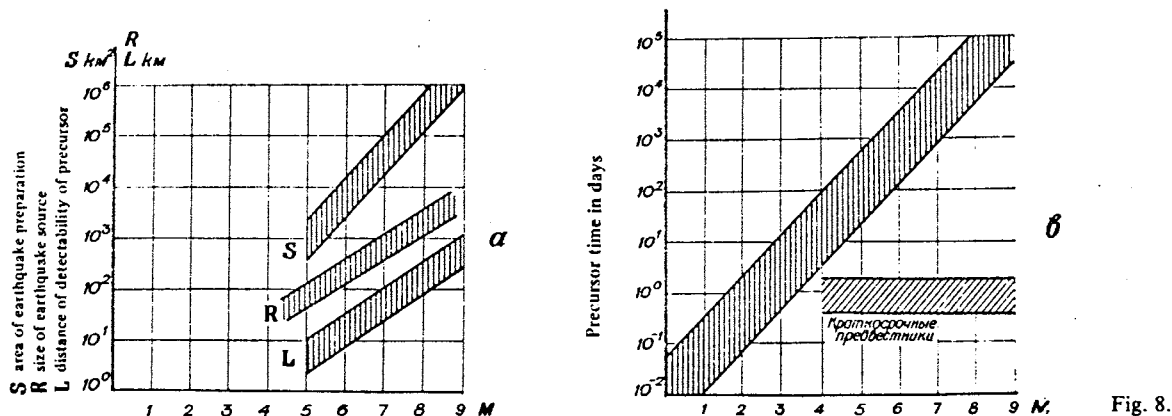
Πριν από το σεισμό, είχε παρατηρηθεί χαρακτηριστική σεισμική ηρεμία (διάρκειας ενός μηνός περίπου) σε ακτίνα 70km από την περιοχή Andizhan. Στα τέλη Οκτωβρίου παρατηρήθηκαν επίσης ανώμαλες μεταβολές του μαγνητικού πεδίου της τάξης των 10 gamma. Γεωδαιτικές μετρήσεις, στο ίδιο χρονικό διάστημα, έδειξαν ότι υπήρξε μία επιβράδυνση στο ρυθμό παραμόρφωσης σχετικά με αυτόν που είχε παρατηρηθεί προηγούμενα χρόνια. Υδρολογικές μετρήσεις έδειξαν σημαντική μεταβολή στη στάθμη του υπόγειου νερού και γεωχημικές μετρήσεις έδειξαν ελάττωση της περιεκτικότητας του  $CO_2$  κατά 2% στο σταθμό Tashkent και 12% στο Khodzaabad.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, οι σεισμολόγοι του αστεροσκοπείου Uzbek προειδοποίησαν τη νύχτα στις 30 Οκτωβρίου, 6 ώρες πριν από την εμφάνιση του σεισμού. Από τους ίδιους ερευνητές τονίζεται ότι δεν ήταν δυνατό η ακριβής πρόγνωση της θέσης του επίκεντρου λόγω έλλειψης δεδομένων.

Από ανάλυση και σύγκριση των δεδομένων πρόγνωσης στη Σ.Ενωση και σε άλλες χώρες (Rikitake, 1978; Sultankhodzhaev et al., 1977; Press, 1965; Asimov et

31 

al., 1979), προκύπτουν μερικά χρήσιμα συμπεράσματα (σχήμα 2)



Σχήμα 2

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η σχέση μεταξύ της χρονικής διάρκειας των πρόδρομων φαινομένων, της προπαρασκευαστικής σεισμικής επιφάνειας και της απόστασης που παρατηρήθηκε το πρόδρομο σεισμικό φαινόμενο. Από τα δεδομένα προκύπτουν ότι, όσο μεγαλύτερο ήταν το μέγεθος του σεισμού τόσο εντονότερα ήταν τα παρατηρηθέντα πρόδρομα φαινόμενα. Η γενική εικόνα ασχέτισης φαίνεται να είναι αρκετά πολύπλοκη όσον αφορά τον ακριβή προσδιορισμό του επίκεντρου, επειδή η εμφάνιση του πρόδρομου φαινομένου φαίνεται να εξαρτάται από το σχετικό προσανατολισμό του σημείου παρατήρησης και του επίκεντρου.

Η εμφάνιση κάποιας απότομης μεταβολής βελτιώνει τις πιθανότητες υπολογισμού του χρόνου γένεσης του σεισμού, όχι όμως στον ακριβή υπολογισμό της θέσης του επίκεντρου. Αυτό φαίνεται από τις προγνώσεις των σεισμών που έγιναν στην περιοχή Gazli (1976) και Pamir (1978). Και στις δύο περιπτώσεις προβλέφθηκε επιτυχώς ο χρόνος γένεσης των σεισμών αλλά όχι η θέση των επίκεντρων.

Για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων οι Σοβιετικοί επιστήμονες προτείνουν 2 εναλλακτικές λύσεις.

Η πρώτη περιλαμβάνει αύξηση των σημείων παρατήρησης και συνεχή παρακολούθηση της μεταβολής των γεωφυσικών παραμέτρων.

Σ1 Δο

Η δεύτερη πρόταση περιλαμβάνει αύξηση του επιστημονικού προσωπικού για τη διεξαγωγή μετρήσεων στην ύπαιθρο (field seismologists), με σκοπό την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας των παρατηρήσεων.

Ενα ξεχωριστό σημείο που τονίζουν οι Σοβιετικοί επιστήμονες είναι η ανάπτυξη σύγχρονου ηλεκτρονικού κέντρου αυτόματης και γρήγορης ανάλυσης των δεδομένων.

### 13. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ

#### Περιγραφή του συστήματος

Το σύστημα οργάνωσης της Ιαπωνίας για την πρόγνωση των σεισμών, φαίνεται στο σχήμα. Οι κύριες αρμοδιότητες σχεδιασμός, συντονισμός, εκτίμηση περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

- (α) Βασικός Συντονισμός και Σχεδιασμός. Οι αρμοδιότητες αυτές περιέχονται στους επικεφαλείς των Οργανισμών αρμοδιότητας πρόγνωσης των σεισμών με κύριο συντονιστή τον Υπουργό Ερευνας και Τεχνολογίας.
- (β) Επιμέρους Σχεδιασμός. Η κατάρτιση πενταετών προγραμμάτων πρόγνωσης καταρτίζονται από το Εθνικό Συμβούλιο Γεωδαισίας σε συνεργασία με το Υπουργείο Παιδείας.
- (γ) Εκτίμηση Δεδομένων. Η συντονιστική επιτροπή πρόγνωσης σε συνεργασία με όλα τα Ινστιτούτα και Παν/μια ανταλλάσει πληροφορίες και τεχνικές σχετικά με τα παρατηρηθέντα δεδομένα.

#### Αρμοδιότητες της Συντονιστικής Επιτροπής Πρόγνωσης

Η Επιτροπή αυτή συγκροτήθηκε το 1979 ειδικά για την ανάλυση των δεδομένων της ευρύτερης περιοχής του Tokai όπου αναμένεται ισχυρός σεισμός ( $M \approx 8.0$ ) Αποτελείται από 6 ειδικούς στην πρόγνωση σεισμολόγους και συνεδριάζει κανονικά κάθε τρίμηνο. Μόλις όμως έχουν ενδείξεις για κάποια ασυνήθιστη μεταβολή στα δίκτυα συνεχούς παρακολούθησης, η Επιτροπή συγκαλείται έκτακτα και ζητιέται η γνωμοδότηση της. Οι κύριες αρμοδιότητες της Επιτροπής είναι:

- (α) Ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την πρόγνωση και ανάλυση των δεδομένων που έχουν καταγραφεί.

Σημειώσεις

- (β) Επιστημονικές συζητήσεις για την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης μεγάλου σεισμού και για το χαρακτηρισμό κάποιας ασυνήθιστης μεταβολής στον πρόδρομο σεισμικό φαινόμενο.
- (γ) Χαρακτηρισμός περιοχών σαν περιοχές "υποψήφιας" εμφάνισης μεγάλου σεισμού και εντατικής παρακολούθησης.
- (δ) Προτάσεις για σχεδιασμό και βελτίωση των συστημάτων εγγραφής.

#### Πενταετές Πρόγραμμα Πρόγνωσης Σεισμών στην Ιαπωνία (1984-1988)

Το δεύτερο πενταετές πρόγραμμα πρόγνωσης σεισμών στην Ιαπωνία, περιλαμβάνει τέσσερα υπο-προγράμματα:

- Πρόγραμμα για παρατηρήσεις και μετρήσεις σχετικά με την έρευνα φαινομένων για την πρόγνωση μακράς διάρκειας.
- Πρόγραμμα για παρατηρήσεις σχετικά με την έρευνα φαινομένων για την πρόγνωση βραχείας.
- Έρευνα για την πλήρη κατανόηση και ερμηνεία του μηχανισμού γένεσης των σεισμών σε διάφορες περιοχές.
- Έρευνα για τη βελτίωση των συστημάτων εγγραφής και κύρια του ηλεκτρονικού συστήματος επεξεργασίας των δεδομένων.

Αναλυτικότερα, το υπο-πρόγραμμα σχετικά με την πρόγνωση μακράς διάρκειας περιλαμβάνει:

- Μετρήσεις και παρατηρήσεις μακράς διάρκειας παραμόρφωσης του γήινου φλοιού σε όλη τη Χώρα.
- Επαναληπτικές γεωδαιτικές μετρήσεις.
- Ανάλυση της ιστορικής και της σημερινής σεισμικότητας και την αποτύπωση στατιστικών μοντέλων.
- Ειδικές μετρήσεις κατά μήκος των ενεργών ρηγμάτων.
- Επαλήθευση των ιστορικών ντοκουμέντων που περιγράφουν μεγάλους καταστρεπτικούς σεισμούς.

Το υπο-πρόγραμμα βραχείας πρόγνωσης περιλαμβάνει εντατικές μετρήσεις σχεδόν όλων των γεωφυσικών παραμέτρων:

- Συνεχή παρακολούθηση των γήινων παραμορφώσεων.
- Μετρήσεις παραμόρφωσης με ειδικά όργανα εντός ερευνητικών γεωτρήσεων.
- Μετρήσεις του βαρυτομετρικού πεδίου της Γης.
- Συνεχή παρακολούθηση της μικροσεισμικής δραστηριότητας.

- Γεωηλεκτρικές μετρήσεις
- Γεωμαγνητικές μετρήσεις
- Μετρήσεις γεωρευμάτων και γεωηλεκτρικού δυναμικού
- Μετρήσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων
- Μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου νερού
- Μετρήσεις της περιεκτικότητας των αερίων
- Μοντέλα επεξεργασίας και ερμηνείας γένεσης των μικροσεισμών.

Το υπο-πρόγραμμα έρευνας σχετικά με το μηχανισμό γένεσης περιλαμβάνει:

- Εργαστηριακά πειράματα για τη φυσική ερμηνεία και κατανόηση των πρόδρομων φαινομένων.
- Εργαστηριακά πειράματα σχετικά με το μηχανισμό και τον τρόπο διάρρηξης των πετρωμάτων.
- Σύνθετα πειράματα (pilot studies) σε περιοχές εντατικής παρακολούθησης.
- Επί τόπου (in situ) μετρήσεις των τάσεων.
- Έρευνα σχετικά με τον τρόπο μεταβολής του λόγου  $V_p/V_s$  των σεισμικών ταχυτήτων πριν από μεγάλο σεισμό.

Τέλος, το πρόγραμμα βελτίωσης των συστημάτων εγγραφής και επεξεργασίας των παρατηρηθέντων δεδομένων περιλαμβάνει:

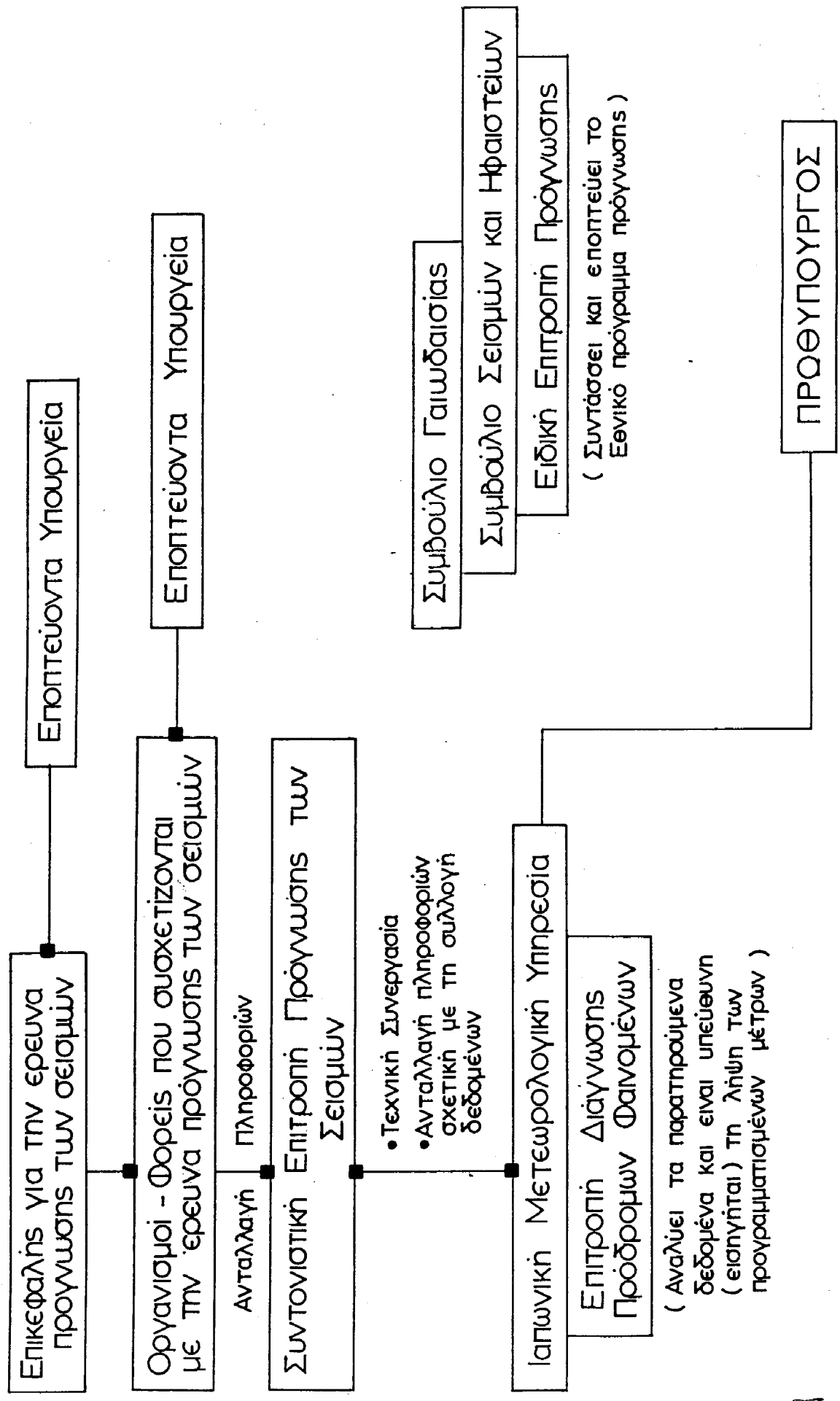
- Βελτίωση του τρόπου συγκέντρωσης των δεδομένων
- Χρήση μοντέρνων ηλεκτρονικών υπολογιστών για την αυτόματη και γρήγορη ανάλυση των δεδομένων.

Τέλος το πενταετές πρόγραμμα περιλαμβάνει υπο-προγράμματα για τη βελτίωση του συστήματος και αρμοδιοτήτων όλων των φορέων που ασχολούνται με την έρευνα για την πρόγνωση των σεισμών. Τέλος περιλαμβάνει ειδικό πρόγραμμα διεθνούς συνεργασίας, διακρατικών προγραμμάτων και οργάνωση συμποσίων για την ανταλλαγή απόψεων και εμπειριών σχετικά με την πρόγνωση των σεισμών.

Στο σχήμα 3 φαίνεται συνοπτικά το σύστημα πρόγνωσης σεισμών στην Ιαπωνία. Τέλος, στο σχήμα 4 φαίνεται ο τρόπος παροχής πληροφοριών στη Συντονιστική Επιτροπή Πρόγνωσης των Σεισμών.

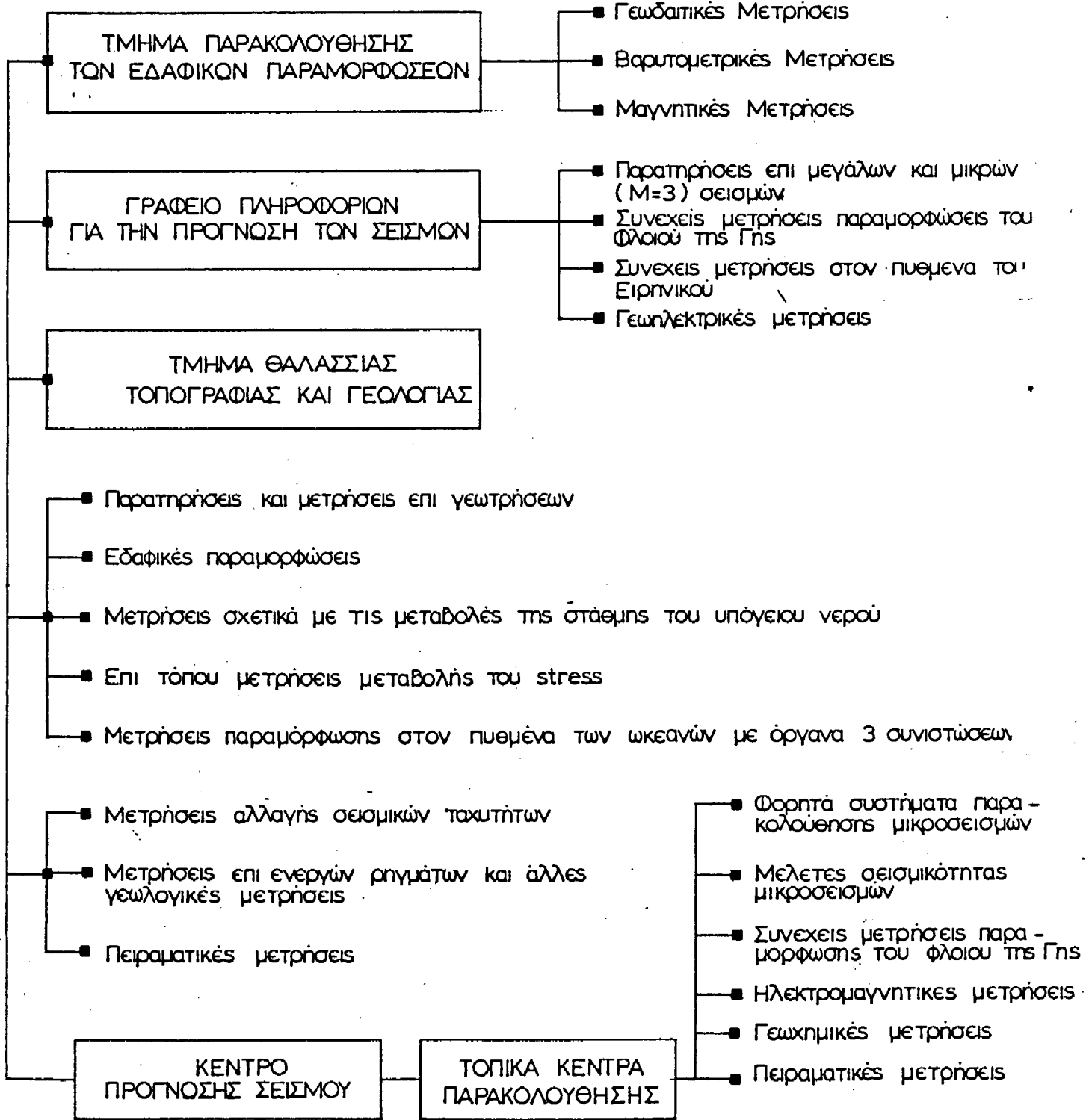
Σημειώσεις

ΣΧΗΜΑ... 3... ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ



Handwritten signature or initials at the bottom right of the page.

ΣΧΗΜΑ 4 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ



ΣΜΚΟ



Στον πίνακα 18 φαίνεται ο αριθμός φαινομένων που έχουν παρατηρηθεί στην Ιαπωνία πριν από το 1973 και από το 1974-1984 (HAMADA, προσωπική επικοινωνία)

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 18

A.	ΠΡΟΔΡΟΜΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	1974-1984	πριν από 1974
1	Προσεισμοί	81	53
2	Σεισμικά κενά-Σεισμική ηρεμία	15	1
3	Αλλαγές στην τιμή b της συχνότητας εμφάνισης αριθμού εμφάνισης σεισμών $\log N(M) = a - bM$	26	2
4	Μετανάστευση σεισμικών επικέντρων	10	0
5	Αύξηση της μικροσεισμικής δραστηριότητας	8	3
6	Ανώμαλη σεισμικότητα	5	7
7	Αλλαγή των φασματικών χαρακτηριστικών	4	0
8	Αλλαγή στον τρόπο απόσβεσης	1	0
	Σύνολο	154	90
B.	ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ		
1	Ανώμαλη ανύψωση του εδάφους (levelling)	1	12
2	Μεταβολή συγκεκριμένων αποστάσεων (triangular)	0	10
3	Μεταβολή της βαρύτητας	1	0
	Σύνολο	2	22
Γ.	ΣΥΝΕΧΕΙΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ		
1	Ανώμαλη μεταβολή στην κλίση (tilt)	1	24
2	Μεταβολές παραμόρφωση	26	4
	Σύνολο	27	28
Δ.	ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ		
1	Αλλαγές των γεωρευμάτων	6	3
2	Γεωμαγνητικές αλλαγές	3	2
3	Αλλαγές στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση	18	12
4	Ράδιο-θόρυβος	7	0
5	Μεταβολή στην περιεκτικότητα ραδονίου στο νερό	14	0
6	Μεταβολή στη στάθμη του υπόγειου νερού	8	0
	Σύνολο	56	17

ΣΥΝΟΛΟ

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, η μέχρι τώρα εμφάνιση πρόδρομων φαινομένων που έχουν παρατηρηθεί στην Ιαπωνία φαίνεται να ακολουθεί τη στατιστική, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ
Προσεισμοί	33%
Ανώμαλες μεταβολές στη σεισμικότητα	27%
Γεωδαιτικές μετρήσεις	6%
Εδαφικές μετατοπίσεις	14%
Γεω-ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα	15%
Γεω-χημικές αλλαγές	5%
	100%

3/1/80

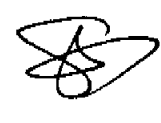
#### 14. ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ (Η.Π.Α.)

Το πρόγραμμα πρόγνωσης σεισμών στην Καλιφόρνια συντάχθηκε το 1977 από την Εθνική Επιτροπή Δράσης για τη μείωση του σεισμικού κινδύνου (National Earthquake Hazards Reduction Act)(NEHRA). Το πρόγραμμα προβλέπει συνεχείς μετρήσεις και άμεση παρακολούθηση του ρήγματος San Andreas.

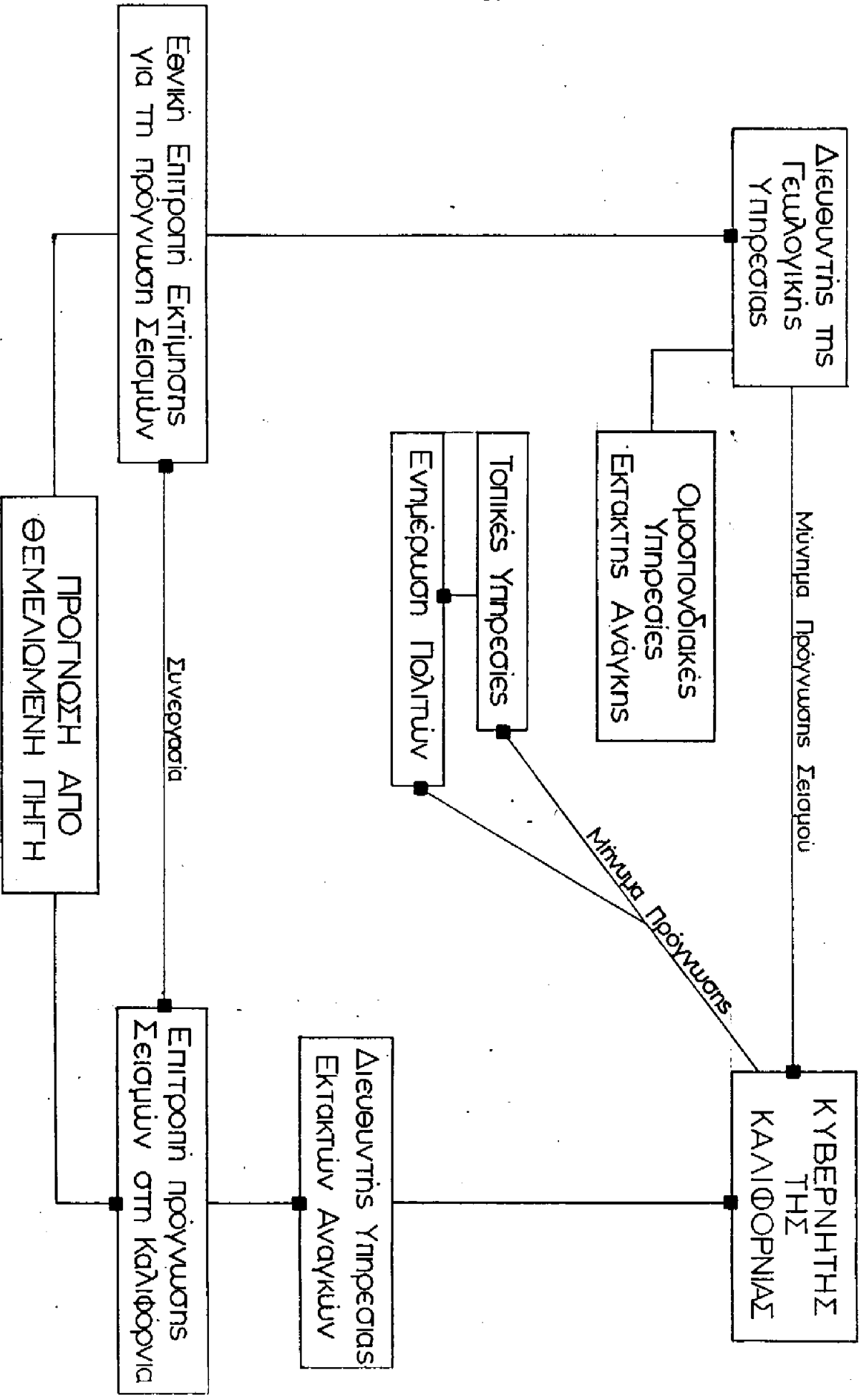
Σήμερα έχουν εγκατασταθεί περίπου 500 σεισμολογικοί σταθμοί τηλεμετρικά συνδεδεμένος με τον κεντρικό σταθμό της Υπηρεσίας Γεωλογικών Ερευνών (U.S.G.S.) Κατά το μήκος του ρήγματος έχουν εγκατασταθεί επίσης πρόσθετα ευαίσθητα όργανα, παραμορφωσιόμετρα, κλισιόμετρα, ερπυστιόμετρα, βαρυτόμετρα, μαγνητόμετρα καθώς και όργανα παρακολούθησης της στάθμης του υπόγειου νερού και της περιεκτικότητας του Ραδονίου.

Υπεύθυνος φορέας για την πρόγνωση των σεισμών είναι η Υπηρεσία Γεωλογικών Ερευνών (U.S.G.S.), η οποία συγκεντρώνει όλα τα παρατηρηθέντα δεδομένα. Η ανάλυση τους γίνεται από ειδικούς επιστήμονες σε μηνιαίες συσκέψεις.

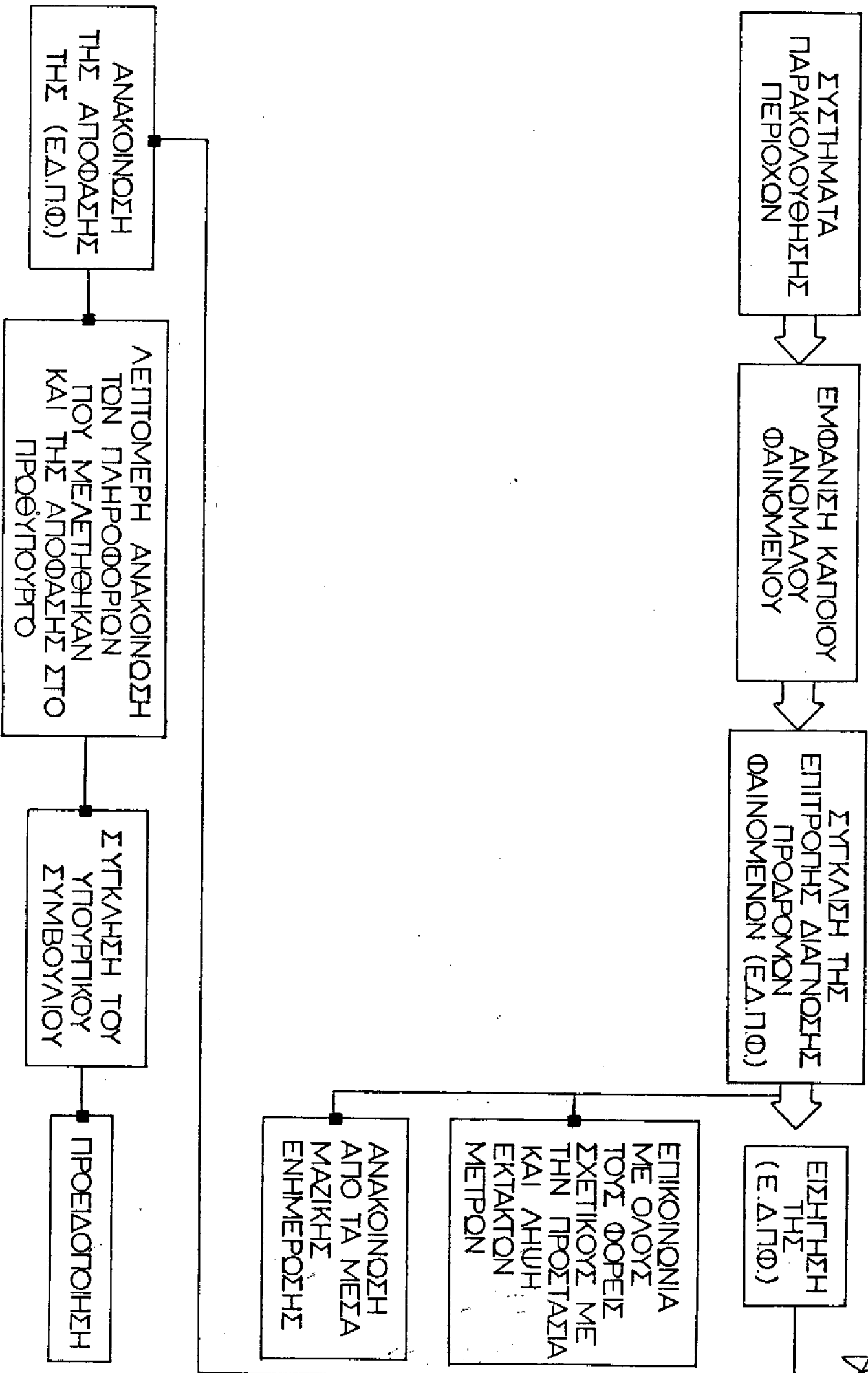
Η διαδικασία εκτίμησης των πληροφοριών σχετικά με την πρόγνωση, φαίνεται στα σχήματα 5 και 6.

Αρ 21 

ΣΧΗΜΑ 5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΣΕΙΣΜΟΝ ΣΤΗ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ (ΗΠΑ)



*[Handwritten signature]*



# 2. Η ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΕ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Στέλιος Γ. Λόζιος

## 2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 2.1.1: ΓΕΝΙΚΑ

Οι σεισμοί είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο στην Ελλάδα και τα προβλήματα που δημιουργούν, ειδικότερα τις τελευταίες δεκαετίες με την αύξηση της ανοικοδόμησης κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα και την δημιουργία μεγάλων τεχνικών έργων, είναι τεράστια. Άρα η πρόγνωση των σεισμών είναι ένα αντικείμενο που έχει πολύ μεγάλη σημασία για την χώρα μας, αφ' ενός μεν γιατί έτσι θα γίνει δυνατό να σωθούν ανθρώπινες ζωές και αφ' ετέρου θα αποφευχθούν, όσο το δυνατόν βέβαια, οικονομικά προβλήματα από την αναστάτωση και τις καταστροφές.

Θα δώσουμε με λίγα λόγια στη συνέχεια την κατάσταση που βρίσκεται το θέμα "πρόγνωση των σεισμών" σε παγκόσμια κλίμακα. Κυρίως βέβαια θα αναφερθούμε σε χώρες, που αντιμετωπίζοντας οξύ το πρόβλημα των σεισμών έχουν προοδεύσει αρκετά στον τομέα "πρόγνωση", όπως είναι η Ιαπωνία, η Κίνα, η ΕΣΣΔ και οι ΗΠΑ.

Η πιο δημοφιλής και γνωστή πρόγνωση σεισμού (αν και δεν είναι η πρώτη), είναι του σεισμού του Χαϊτσίνγκ στη Κίνα, που είναι και ο μεγαλύτερος σεισμός που προγνώστηκε μέχρι σήμερα. Από τους 5 μεγάλους σει-

σμούς που συνέβησαν στην Κίνα το 1975 και 1976 προγνώστηκαν με απόλυτη επιτυχία οι 4. Σίγουρα όμως έγιναν και σεισμοί που δεν προγνώστηκαν, όπως πχ. ο σεισμός του Tangshan, 27 Ιουλίου 1976, που στοίχισε τη ζωή σε περισσότερα από 700.000 άτομα. Σημειώνεται ότι στη Κίνα για τη συλλογή των στοιχείων των πρόδρομων φαινομένων εργάζονται 10.000 άτομα και 300.000 εθελοντές.

Επιτυχής πρόγνωση σεισμού αναφέρεται επίσης από την ΕΣΣΔ (σεισμός του Garm, M=7, 1 Νοεμ. 1978) και από τις ΗΠΑ, που έχουν προγνώσει όμως μόνο μικρούς σεισμούς. Πχ. το 1975 προγνώστηκε 2 ημέρες πριν ο μικρός σεισμός στο Blue Mountain Lake, το 1974 ο μεγέθους 5,5 σεισμός στην Yucaíra, το 1976, 2 ημέρες πριν ο σεισμός του Lake Jocasee, το 1975 μία ημέρα πριν ο μεγέθους 5,2 σεισμός του Hollister, και ο σεισμός του San Jose πριν 3 μήνες.

Είναι φανερό, ότι η επιτυχής πρόγνωση των σεισμών, εξαρτάται άμεσα από την συλλογή και αξιολόγηση των πρόδρομων φαινομένων. Περισσότερα από 200 παραδείγματα τέτοιων φαινομένων έχουν αναφερθεί κυρίως από ΕΣΣΔ, Ιαπωνία, Κίνα, ΗΠΑ,... Τα πρόδρομα φαινόμενα μπορούν γενικά να ταξινομηθούν σε: (Ward P. , 1977).

- α) Μεταβολές των τάσεων
- β) Μεταβολές στη παραμόρφωση
- γ) Αποτελέσματα μεταβολών παραμόρφωσης
- δ) Αλλαγές στην σεισμική δραστηριότητα
- ε) Διάφορες μεταβολές

Για την πρώτη κατηγορία οι μετρήσεις της μεταβολής των τάσεων μπορεί να είναι ένα από τα πιο επιτυχή πρόδρομα φαινόμενα. Αν και πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί, δεν έχει βρεθεί ακόμα τελείως επιτυχής μέθοδος.

Οι μετρήσεις των μεταβολών της παραμόρφωσης είναι πολύ διαδεδομένες, γιατί η συμβολή τους στην επιτυχή πρόγνωση είναι πολύ μεγάλη. Ανυψώσεις αρκετών χιλιοστών, που εκτείνονται σε εκατοντάδες χιλιόμετρα μπορούν να ανακαλυφθούν χρησιμοποιώντας τεχνικές leveling. Κατακόρυφες κινήσεις προσδιορίζονται από βαρυτομετρικές μετρήσεις. Τεχνικές triilateration και triangulation μας επιτρέπουν να προσδιορίσουμε την οριζόντια συνιστώσα της παραμόρφωσης. Μεταβολές παραμόρφωσης μπορούν να μετρηθούν με strainmeters και tiltmeters. Παραμόρφωση στις ρηξιγενείς ζώνες με σεισμική ολίσθηση (ερπυσμός), μετρούνται με creepmeters.

Παραμόρφωση που συνδέεται με παλιρροιακές έλξεις διαφόρων πλανητών, μετρείται με βαρυτομετρικές μεθόδους και strainmeters. Προγνώσεις σεισμών που οφείλονται στην ευθυγράμμιση των πλανητών έχουν γίνει μέχρι σήμερα, αν και γίνεται κατανοητό ότι τέτοιες μικρές δυνάμεις υπάρχει περίπτωση να δίνουν το έναυσμα για σεισμούς, δεν υπάρχει όμως καθαρή συσχέτιση μεταξύ αυτών των δυνάμεων και καταστροφικών σεισμών.

Διάφορα πρόδρομα φαινόμενα έχουν αναφερθεί σαν αποτέλεσμα των μεταβολών της παραμόρφωσης στις περιοχές που επίκειται ένας σεισμός. Τέτοια φαινόμενα είναι οι μεταβολές της ηλεκτρικής αντίστασης και γενικά του ηλεκτρικού δυναμικού των πετρωμάτων, μεταβολές στο μαγνητικό και ηλεκτρικό πεδίο της ατμόσφαιρας, μεταβολές στη στάθμη και τη χημική σύσταση των υπογείων υδάτων, εκπομπή διαφόρων αερίων στα πηγάδια και τα εδάφη .... κλπ.

Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει τα πρόδρομα φαινόμενα που ανήκουν στις παρατηρήσεις των μεταβολών της σεισμικότητας και ασχολούνται οι σεισμολόγοι.

Η πέμπτη κατηγορία περιλαμβάνει την ασυνήθιστη συμπεριφορά των ζώων πριν από σεισμούς. Δεν είναι ακόμα ξεκάθαρο τι είναι αυτό που ανακαλύπτουν και τους δημιουργεί την ανησυχία.

Η ακριβής πρόγνωση ενός σεισμού (πόσο; πού; πότε;), εξαρτάται άμεσα από την ερμηνεία των δεδομένων και τα πιθανά σφάλματα των παραμέτρων που έχουμε χρησιμοποιήσει. Το κλειδί αυτής της υπόθεσης είναι να γίνουν κατανοητές οι φυσικές διαδικασίες που συμβαίνουν πριν, αλλά και κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Μοντέλα κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες στο εργαστήριο και η τεχνολογία των computers θα μας βοηθήσει να διερευνήσουμε και να κατανοήσουμε τις διαδικασίες που συμβαίνουν στη γη.

Από όλα τα προ πάνω γίνεται φανερό ότι η επιτυχία στην πρόγνωση των σεισμών έγκειται στην ύπαρξη, παρατήρηση και κυρίως στην ερμηνεία πρόδρομων φαινομένων. Πολλά πρόδρομα φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί και χρησιμοποιηθεί για να προγνωσθούν διάφορα γεγονότα. Αρκετά από αυτά όμως έχουν παρατηρηθεί σε ένα μόνο όργανο για ένα συγκεκριμένο σεισμό. Πολλά επίσης σήματα δεν καταγράφονται εξ αιτίας της ευαισθησίας των οργάνων, όπως και κανένα πρόδρομο φαινόμενο δεν είναι γνωστό μέχρι σήμερα που να συμβαίνει πριν από κάθε σεισμό. Άρα απαιτούνται παρατηρήσεις διαφόρων πρόδρομων στοιχείων για μια υπεύθυνη πρόγνωση ενός σεισμού. Επίσης χρει-



άζονται παρατηρήσεις ενός δεδομένου πρόδρομου φαινομένου από πολλά όργανα ίδιου τύπου για να διαπιστώσουμε το μέγεθος της περιοχής που συμβαίνει η ανωμαλία. Είναι επίσης γνωστό ότι ο χρόνος μεταξύ της εμφάνισης της πρόδρομης ανωμαλίας και του επακόλουθου σεισμού έχει άμεση σχέση με το μέγεθός του.

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι μια πιστευτή πρόγνωση σεισμού δεν πρέπει να προκαλέσει κοινωνική και οικονομική αναταραχή μεγαλύτερη απ'ότι ο επακόλουθος σεισμός. Η πρόγνωση των σεισμών βέβαια θα σώσει πολλές ζωές και θα περιορίσει τις οικονομικές ζημιές και μέχρι να τελειοποιηθούν οι μέθοδοι πρόγνωσης, αρκετή έρευνα και δοκιμαστικές προγνώσεις χρειάζεται να γίνουν.

#### 2.1.2. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΞΙΓΕΝΩΝ ΖΩΝΩΝ - ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Τρεις είναι οι βασικές εργασίες που πρέπει να γίνουν κατά τη διάρκεια ενός προγράμματος πρόγνωσης σεισμών (Ward P. , 1977).

1. Εντοπισμός περιοχών όπου είναι πιθανότερο να συμβούν καταστροφικοί σεισμοί.
2. Παρατήρηση και καταγραφή πρόδρομων φαινομένων που συμβαίνουν σ' αυτές τις περιοχές και προσδιορισμός της τοποθεσίας, του χρόνου και του μεγέθους του επακόλουθου σεισμού.
3. Ανάπτυξη μοντέλων που θα αναλύουν τα πρόδρομα φαινόμενα.

Θα σταθούμε για λίγο στην πρώτη από αυτές που αφορά τον εντοπισμό των ενεργών ρηξιγενών ζωνών που είναι υπεύθυνες για τους σεισμούς που παρατηρούνται. Αυτή είναι η βασική εργασία από την οποία πρέπει να ξεκινήσουμε, γιατί αφ'ενός θα μας υποδείξει τις περιοχές στις οποίες πρέπει να προσανατολισθούν οι έρευνες για την πρόγνωση, αφ'ετέρου θα γίνει δυνατή η λήψη πρόσθετων μέτρων αντισεισμικής προστασίας και σχεδιασμού, αποφεύγοντας τη δημιουργία μεγάλων τεχνικών έργων στις περιοχές αυτές (φράγματα, πυρηνικά εργοστάσια ....) και ενισχύοντας τις αντισεισμικές κατασκευές.

Τις περιοχές που έχουν δώσει στο παρελθόν μεγάλους σεισμούς και τις περιοχές που ακόμα και σήμερα δίνουν, λίγο πολύ τις ξέρουμε και μπορούμε να λάβουμε τα κατάλληλα μέτρα. Η πείρα όμως έχει δείξει ότι μεγάλοι σεισμοί μπορούν να συμβούν και εκεί όπου επί αιώνες, ή δεν συμβαίνουν καθόλου, ή συμβαίνουν μόνο μικροί σεισμοί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η Κίνα, όπου σχετικά λεπτομερείς πληροφορίες για τη σεισμική δραστηριότητα έχουν εδώ

και 3.000 χρόνια, οπότε μπορούν να γνωρίζουν τις ενεργές περιοχές, που για εκατοντάδες χρόνια μπορεί να είναι ανενεργές.

Στο πρόβλημα αυτό του εντοπισμού αυτών των περιοχών, για τις οποίες είτε δεν έχουμε ιστορικές καταγραφές που να δείχνουν ότι είναι σεισμικά ενεργές (ενώ είναι), είτε παραμένουν ανενεργές για μεγάλο διάστημα και μετά δραστηριοποιούνται, έρχεται να δώσει απάντηση η Νεοτεκτονική και η Γεωλογία κυρίως του Τεταρτογενούς. Στην ΕΣΣΔ και στις ΗΠΑ κυρίως, αλλά και στην Ιαπωνία και σε άλλες χώρες, δίνεται πολύ μεγάλη σημασία και μεγάλα προγράμματα έχουν μπει σε εφαρμογή, με αντικείμενο αυτού του είδους τις έρευνες.

Η Νεοτεκτονική αποτελεί έναν καινούριο σχετικά κλάδο των γεωεπιστημών, που μελετά τις πρόσφατες τεκτονικές δομές και διεργασίες. Εξετάζει όλα τα φαινόμενα και γεγονότα που έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια του Νεογενούς και Τεταρτογενούς.

Πέρα από τη συμβολή της Νεοτεκτονικής στη βασική έρευνα για τον τεκτονισμό των πιο πρόσφατων γεωλογικών χρόνων, από πρακτική άποψη σημαντική είναι η συμβολή της για την συμπλήρωση της σεισμικότητας μιας περιοχής, για τη διερεύνηση της ενεργού τεκτονικής όπου τα παρεχόμενα σεισμολογικά στοιχεία δεν επαρκούν, για τη σωστή ερμηνεία των τομών σεισμικής ανάκλασης .... κλπ. (Παυλίδης Σ. , 1985).

Το βασικότερο αντικείμενο είναι ο προσδιορισμός των ενεργών και πιθανά ενεργών ρηγμάτων, η χρονολόγησή τους και η κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας τους. Για να επιτευχθεί αυτό εξειδικευμένοι κλάδοι των γεωεπιστημών, όπως η τεκτονική ανάλυση, η στρωματογραφία, η γεωμορφολογία, η γεωλογική χαρτογράφηση, η σεισμοτεκτονική, διασταυρώνονται και καινούριες μέθοδοι έρευνας, οι οποίες βρίσκονται ακόμα σε εξέλιξη εφαρμόζονται με στόχο να εμπλουτισθεί η επιστημονική γνώση και να βγούν χρήσιμα συμπεράσματα, τόσο για τη βασική έρευνα, όσο και για τις πρακτικές εφαρμογές της (Παυλίδης Σ. , 1985).

Γίνεται κατανοητό, ότι το πιο κρίσιμο σημείο στη Νεοτεκτονική έρευνα είναι η χρονολόγηση των ρηγμάτων, δηλαδή ο χρόνος, ή οι χρόνοι κατά τους οποίους δραστηριοποιήθηκαν, γεγονός που αποτελεί το καθοριστικό στοιχείο για το κατά πόσο ένα ρήγμα είναι ενεργό ή όχι.

Άρα λοιπόν λεπτομερείς στρωματογραφικές μελέτες και χρονολογικοί προσδιορισμοί των στρωμάτων του Πλειστοκαίνου και του Ολοκαίνου κυρίως, είναι απόλυτα απαραίτητα για την χρονολόγηση των ρηγμάτων.

Αυτό βέβαια δεν είναι δυνατό πάντα να γίνει (είτε λόγω έλλειψης στοιχείων, είτε λόγω έλλειψης ειδικευμένου προσωπικού), γι' αυτό, είτε χρησιμοποιούνται άλλοι κλάδοι των γεωεπιστημών για τον προσδιορισμό της σεισμικής ενεργότητας μιας ρηξιγενούς περιοχής (π.χ. Γεωμορφολογία), είτε χρησιμοποιούνται καινούριες μέθοδοι χρονολόγησης (π.χ. ραδιοχρονολογήσεις).

Επίσης οι καμπύλες επανεμφάνισης σεισμών σε μια περιοχή, είναι ένα βασικό και απαραίτητο στοιχείο για την πρόγνωση. Επειδή όμως οι ιστορικές καταγραφές είναι πολύ λίγες και χρειαζόμαστε πληροφορίες και από πιο παλιά χρόνια, έχουν αναπτυχθεί άλλοι τρόποι για να το επιτύχουμε. Ένας από τους τρόπους αυτούς είναι η αναγνώριση δομών που έχουν "απολιθωθεί" μέσα στα στρώματα (κυρίως λιμναίων) και οφείλονται στους σεισμούς (σεισμίτες). Ακόμα και σ' αυτή την περίπτωση, η χρονολόγηση των στρωμάτων με τις δομές αυτές είναι απαραίτητη. Η στρωματογραφία δεν βοηθά πάντα μιάς και συνήθως πρόκειται για πολύ πρόσφατα ιζήματα του Ολοκαίνου. Άρα λοιπόν και εδώ άλλες μέθοδοι χρονολόγησης είναι απαραίτητες. Θα αναφέρουμε εν συντομία τις πιο διαδεδομένες από αυτές: (Sims J. ,1979 )

- 1) Χρονολόγηση με <sup>14</sup>C. Η μέθοδος αυτή υπολογίζει την ηλικία της οργανικής ύλης που έχει σχηματισθεί εντός της περιόδου των τελευταίων 70.000 ετών.
- 2) Χρονολόγηση με <sup>40</sup>K - <sup>40</sup>Ar. Χρησιμοποιεί το ραδιενεργό ισότοπο <sup>40</sup>K που μετασχηματίζεται σε <sup>40</sup>Ca και <sup>40</sup>Ar.
- 3) Χρονολόγηση υλικού πλήρωσης κενών.
- 4) Χρονολόγηση στρωμάτων ηφαιστειακής σποδοού.
- 5) Παλαεομαγνητισμός.
- 6) Χρονολόγηση με αμινοξέα.
- 7) Χρονολόγηση με αρχαιολογικά ευρήματα.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής αυτών των μεθόδων αποτελεί η ερευνητική δουλιά του Kerry Sieh (1978,1979,...), στη ρηξιγενή ζώνη του San Andreas, όπου αναφέρονται ποσοτικές αποδείξεις για μεγάλους σεισμούς που έδωσε το ρήγμα αυτό πριν από το 1857, αποκαλύπτοντας ότι τουλάχιστον 9 μεγάλοι σεισμοί συνέβηκαν κατά μήκος του νότιου και κεντρικού τμήματος του ρήγματος από τον 6<sup>ο</sup> μ.χ. αιώνα και ότι ο μέσος όρος ολίσθησης σ' αυτό το τμήμα, είναι περίπου 3,5 cm/χρόνο για τα τελευταία 3.500 χρόνια.

Οι σεισμοί βέβαια σχετίζονται με ορισμένες χαρακτηριστικές δομές, όπως ρήγματα, πτυχές, δημιουργία σχισμών, παραμόρφωση χαλαρών ιζημάτων, δημιουργία "σεισμιτών", αλλαγή ροής ρευμάτων, ...κλπ., που κάτω από κατάλληλες

συνθήκες μπορούν να διατηρηθούν και να αποτελούν την γεωλογική καταγραφή των σεισμών.

Οι κατάλληλες συνθήκες δημιουργούνται όταν τα ιζήματα συσσωρεύονται αρκετά γρήγορα για να ενταφιάσουν και να διατηρήσουν τις αποδείξεις από ένα σεισμό, πριν να συμβεί κάποιος άλλος (π.χ. το ελώδες περιβάλλον στο Pallett Greek). Επιπρόσθετα η αφθονία οργανικών υλών στα ιζήματα επιτρέπει την καταγραφή των γεγονότων (χαρακτηριστικών δομών), που μπορούν να χρονολογηθούν χρησιμοποιώντας μεθόδους χρονολόγησης με ραδιοάνθρακα.

Η καταγραφή σεισμών με αυτόν τον τρόπο, στο Pallett & Wallace Greek στη ρηξηγενή ζώνη του San Andreas, (Sieh K. 1978, Sims J. 1979), βοήθησε αφ' ενός στην σωστή αξιολόγηση του Ολοκαίνου, αφ' ετέρου στον προσδιορισμό της μελλοντικής συμπεριφοράς του ρήγματος του San Andreas, όπου η ανακάλυψη των σχετικά μικρών "διαλειμμάτων" μεταξύ των μεγάλων σεισμών, δίνει έμφαση στην αναγκαιότητα της συνέχισης της προσπάθειας για την πρόγνωση των σεισμών.

#### Βιβλιογραφία

- ANGELIER, J. 1979. Recent Quaternary tectonics in the Hellenic Arc; examples of geological observations on land : *Tectonoph.* 52, 1-4, 267-275.
- MARIOLAKOS, I. - PAPANIKOLAOU, D. 1981. The neogene basins of the Aegean Arc from the paleogeographic and the geodynamic point of view : *Int. Symp., H.E.A.T. Vol.1*, 383-399.
- MARIOLAKOS, I. - PAPANIKOLAOU, D. - LAGIOS, E. 1985. A Neotectonic geodynamic model of Peloponnesus based on Morphotectonics, repeated gravity measurements and Seismicity : *Geol. Jb. B* 50, 3-17.
- PAPAZACHOS, B. C. - KIRATZI, A. A. - HATZIDIMITRIOU, P. M. - ROCCA, A. C. 1984. Seismic faults in the Aegean area : *Tectonoph.* 100, 1-2, 71-85.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ. 1985. Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Αλώρινας - Βεγορίτιδας - Πτολεμαΐδας : Διδακτορική διατριβή. Πανεπ. Θεσ/νίκης 265 σελ.
- SIEH, K. E. 1978. Prehistoric large earthquakes produced by slip on the San Andreas fault at Pallett Greek, California : *Jour. Geoph. Res.* Vol. 83, 3907-3939.
- SIMS, J. 1979. Records of prehistoric earthquakes in sedimentary deposits in lakes : *Earth. Inf. Bull.* Vol. 11, N.6.
- WARD, L. D. 1977. Earthquake prediction : A perspective for a national program : *Earth. Inf. Bull.* Vol. 9, N.6.

31/10/85

## 2.2. ΠΡΟΔΡΟΜΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ

Οι προσεισμικές διαδικασίες σχετίζονται με μεταβολές στο εντατικό πεδίο και με επακόλουθες μεταβολές στην κίνηση και την παραμόρφωση του φλοιού. Από πολύ παλιά είχε γίνει φανερό ότι ανιχνεύοντας "ύποπτες" κινήσεις του φλοιού, μπορούσαμε να έχουμε πληροφορίες για επικείμενο σεισμό. Στην Κίνα και στην Ιαπωνία αναφέρονται τέτοιες παρατηρήσεις από το 1700 μ.Χ., καθώς επίσης περιγράφονται και τα όργανα που χρησιμοποιούσαν για τις παρατηρήσεις αυτές.

Τα τελευταία χρόνια και με την βοήθεια της ηλεκτρονικής, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι οργάνων που μετρούν και καταγράφουν τις μεταβολές των τάσεων, της παραμόρφωσης, της ολίσθησης και της περίστρεψης στις ρηξιγενείς ζώνες, που μας βοηθούν αφ'ενός μεν να κατανοήσουμε τις προσεισμικές διαδικασίες, αφ'ετέρου να προγνώσουμε με επιτυχία σεισμούς.

Η συμβολή των παρατηρήσεων αυτών στην πρόγνωση των σεισμών είναι τεράστια και για τον λόγο αυτό στις χώρες που ασχολούνται με έρευνες στο αντικείμενο αυτό (Ιαπωνία, ΗΠΑ, ΕΣΣΔ), έχουν ήδη τοποθετηθεί δίκτυα τέτοιων οργάνων, στα οποία χρόνο με το χρόνο αυξάνει ο αριθμός των οργάνων παρατήρησης και η ακρίβεια στην πρόγνωση ενός σεισμού.

Στη συνέχεια θα δώσουμε τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που έχουν γίνει στις χώρες όπου έχουν εγκατασταθεί τέτοια δίκτυα, όπως επίσης και το πού προσανατολίζονται οι σύγχρονες τεχνικές πρόγνωσης σεισμών στο θέμα αυτό.

### 2.2.1. ΣΥΝΕΧΕΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ (Shigeji Suyehiro , 1984-1985)

#### 2.2.1.α. Γενικά

Μακροχρόνιες παρατηρήσεις στην Ιαπωνία έχουν δείξει ότι για μια επιτυχή προσέγγιση στο πρόβλημα πρόγνωση, τα φαινόμενα που σχετίζονται με σεισμούς πρέπει να εδωθούν στο σύνολό τους, σαν διαδικασίες στις οποίες συγκεντρώνεται σεισμική ενέργεια με την ροπή προοδευτικής παραμόρφωσης, που τελικά φθάνει στο στάδιο της διάρρηξης. Από την σκοπιά της πρόγνωσης των σεισμών, το στάδιο πριν το σημείο της διάρρηξης είναι πάρα πολύ σημαντικό, σε σχέση

με τα φαινόμενα που συμβαίνουν μετά την διάρρηξη.

Τι είδους διαδικασίες λοιπόν λαβαίνουν χώρα κατά τη διάρκεια του προ της διάρρηξης σταδίου; Η μέχρι τώρα γνώση και εμπειρία τις ταξινομεί ως ακολούθως:

- (α) Προοδευτική παραμόρφωση που είναι σχεδόν διαρκής (σταθερή).
- (β) Άφιξη στο κρίσιμο σημείο.
- (γ) Έναρξη της κύριας διάρρηξης.
- (δ) Συμβάν της κύριας διάρρηξης.

Το στάδιο (α) είναι το στάδιο που έχουμε συγκέντρωση της ενέργειας και εξελίσσεται μάλλον αργά. Για μεγάλους σεισμούς μεγέθους 7 και 8 χρειάζονται 100 - 200 ή και περισσότερα χρόνια για να φθάσουμε στο στάδιο (β). Οι συνθήκες του σταδίου (β) σε σχέση με την πρόοδο της παραμόρφωσης, δεν είναι για μεγάλο διάστημα σταθερές όσο πλησιάζει το κρίσιμο σημείο. Το μέγεθος της περιόδου πριν από την κύρια διάρρηξη, (σύμφωνα με το Dilatancy model), φαίνεται να εξαρτάται από την κλίμακα της κύριας διάρρηξης, με άλλα λόγια δηλαδή από το μέγεθος του σεισμού.

Το στάδιο (γ) είναι η ενδιάμεση πρόδρομη περίοδος πριν από την κύρια διάρρηξη, η οποία δεν συμβαίνει ξαφνικά και φαίνεται να προηγείται για μερικές μέρες ή και για μερικές ώρες με πρόδρομα φαινόμενα. Σ' αυτό το στάδιο πλέον η κύρια διάρρηξη είναι πια γεγονός και δεν υπάρχει "δρόμος επιστροφής".

Στον πίνακα 1, δίνονται χαρακτηριστικά παραδείγματα πρόδρομων φαινομένων σεισμών. Δυστυχώς οι μηχανισμοί των σταδίων (β) και (γ) που είναι οι πιο κρίσιμοι στην πρόγνωση δεν είναι ακόμα ξεκάθαροι.

Τα στάδια (α), (β) και (γ) δεν περικλείουν το φαινόμενο της δόνησης. Αν και συνοδεύονται από μικροσεισμούς, τα φαινόμενα που λαβαίνουν χώρα σ' αυτά στάδια είναι κύρια μεταβολές στην παραμόρφωση του φλοιού.

Από την στιγμή που το στάδιο (α) βρίσκεται σε μια σταθερή πρόοδο για μια μεγάλη περίοδο, επαναλαμβανόμενες γεωδαιτικές κατοπτεύσεις είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να το παρατηρήσουμε. Όταν όμως η διαδικασία φθάσει στα στάδια (β) και (γ), τα φαινόμενα, σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες έρευνες, σταματούν να προοδεύουν σταθερά σε σχέση με το χρόνο. Σ' αυτή τη περίπτωση η μέθοδος των επαναλαμβανόμενων παρατηρήσεων μπορεί να μας στερήσει πολύτιμες πληροφορίες. Τώρα πλέον χρειάζονται -και είναι σημαντικό αυτό- συνεχείς παρατηρήσεις στις μεταβολές της παραμόρφωσης και τις μεταβολές των κινήσεων του φλοιού.

Όπως η διαδικασία προχωρεί από το στάδιο (α) στο (β) και (γ), η ταχύτητα

της παραμόρφωσης αλλάζει επιταχυνόμενη και η ομοιομορφία στον χρόνο έχει χαθεί. Ιδιαίτερα όταν η διαδικασία φθάσει στο στάδιο (γ), μπορεί να συμβεί τελείως απότομη κίνηση, όπως η κίνηση που προηγήθηκε του σεισμού της Hamada (1872) και του σεισμού του Tonankai (1944). Άρα λοιπόν οι συνεχείς παρατηρήσεις για την μέσης και μικρής διάρκειας πρόγνωση (στάδια (β) και (γ)) είναι το "κλειδί" της επιτυχίας, όπως είχε ήδη επισημανθεί από το 1962 όταν κυκλοφόρησε το "Prediction of Earthquakes : Progress to Date and Plans for the Future".

Μια γενιά πριν θεωρούσαν ότι οι σεισμοί είναι ξαφνικά γεγονότα. Στην πραγματικότητα όμως, αρκετές ώρες ή ημέρες πριν την κύρια διάρρηξη προηγούνται πρόδρομα φαινόμενα.

#### 2.2.1.β. Μέθοδοι παρατήρησης

Οι συνεχόμενες παρατηρήσεις των κινήσεων του φλοιού έχουν μακρά ιστορία. Από πολύ παλιά το ενδιαφέρον στράφηκε στην διόγκωση (expansion) και στην περιστροφή (tilting) του εδάφους. Το μέγεθος της κίνησης και στις δύο περιπτώσεις ήταν υπερβολικά μικρό. Η ταχύτητα της κίνησης είναι τόσο αργή ώστε ημέρες ή μήνες χρησιμοποιούνται σαν μονάδα χρόνου.

Αρκετές προσπάθειες και υπομονή χρειάστηκαν για την ανάπτυξη των σταθερών των οργάνων και της ευαισθησίας τους, ώστε να μετρούν τέτοιες κινήσεις αποτελεσματικά.

Μετά από 50 χρόνια έρευνας, η μέθοδος πλέον αναγνωρίζεται σαν standard και χρησιμοποιεί διάφορους τύπους οργάνων, όπως το quartz tube extensometer και το water tube tiltmeter σε σύνδεση με παρατηρήσεις που γίνονται σε οριζόντιες στοές (horizontal vault observations). Το πρώτο μετρά την διόγκωση (expansion) του εδάφους, άμεσα χρησιμοποιώντας μια χαλαζιακή ράβδο (quartz bar) σαν μετρητή. Το δεύτερο αποκαλύπτει τις μεταβολές στην περιστροφή του εδάφους, συγκρίνοντας τις στάθμες νερού σε ένα μακρύ σωλήνα σχήματος "διπλής πέπας" και βασίζεται στην αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων. Όσο μεγαλύτερη είναι η χαλαζιακή ράβδος και ο σωλήνας του νερού, τόσο πιο ευαίσθητα είναι τα όργανα. Ένα πλίνθιμιο 20 - 30 m είναι απαραίτητο. Επειδή τα όργανα επηρεάζονται από τις συνθήκες θερμοκρασίας, η οριζόντια στοά του σταθμού παρατήρησης πρέπει να είναι σκαμμένη αρκετά βαθειά και να υπάρχουν ενδιάμεσοι τοίχοι για να αποκλείουν τον εξωτερικό αέρα και να διατηρείται σταθερή θερμοκρασία. Η επιλογή της θέσης για ένα σταθμό παρατήρησης τύπου οριζόντιας στοάς δεν είναι εύκολη υπόθεση και χρειάζεται προσοχή. Στην Ιαπωνία κατά προσέγγιση υπάρχουν 30 τέτοιοι σταθμοί.

### 2.2.1.γ. Αποτελέσματα των παρατηρήσεων

Στον πίνακα 1, παρατίθενται παραδείγματα από πρόδρομα φαινόμενα σεισμών που αποκαλύπτονται από κινήσεις του φλοιού και άλλες παρατηρήσεις που λαμβάνουν χώρα από μερικές ώρες πριν, έως αμέσως πριν τον ίδιο τον σεισμό, (από Shigeji Suyehiro, 1984-1985).

Κάνοντας μια ανασκόπηση των αποτελεσμάτων των παρατηρήσεων τα πέντε τελευταία χρόνια, όπου υπήρχε ένας μεγάλος αριθμός από σταθμούς παρατηρήσεων, είναι ξεκάθαρο πλέον ότι ορισμένα είδη πρόδρομων φαινομένων παρατηρούνται σχεδόν πάντα, έστω μόνο από ένα σταθμό παρατήρησης, πριν από σεισμούς πάνω από μία τάξη μεγέθους.

α) *S t r a i n s t e p*. Αν και αυτό το φαινόμενο δεν λειτουργεί σαν προγνωστικό μικρής διάρκειας σεισμών, συνοδεύει την κύρια διάρρηξη και χρησιμοποιείται για την μελέτη του μηχανισμού των σεισμών. Π.χ. κατά την ώρα του σεισμού του Central Gifu το 1969, παρατηρήθηκαν σε μερικούς από τους 10 σταθμούς *strain steps*, προσφέροντας ελπίδα ότι ο μηχανισμός της εστίας μπορεί να γίνει κατανοητός μέσα από τέτοια φαινόμενα.

β) *M i g r a t o r y c r a s t a l m o v e m e n t* (μετανάστευση της κίνησης του φλοιού). Οι συνεχείς παρατηρήσεις βοήθησαν πολύ στην ανακάλυψη της μετανάστευσης της κίνησης του φλοιού. Το φαινόμενο πρώτα ανακαλύφθηκε το 1960, από παρατηρήσεις με *water tube tiltmeters* στο Aburatsubo και Nokojiyama. Αργότερα αναφορές αυτού του φαινομένου ήρθαν από μία ομάδα σταθμών παρατήρησης στο Tohoku, όπως επίσης και από το Peru. Η μετανάστευση είναι αργή, περίπου 20 - 40 χλμ. το χρόνο και είναι εξαιρετικά δύσκολο να εξηγηθεί αυτή την ώρα με γεωφυσικά δεδομένα. Πιστεύεται ότι έχει να κάνει με το ότι τα φαινόμενα των σεισμών δεν είναι επί μακρού σταθερά, άπαξ και φθάσει το στάδιο (β).

γ) *A n o m a l i o u s m o v e m e n t s* (ανώμαλες κινήσεις). Βροχή και επιφανειακά νερά είναι οι κύριες πηγές ανωμαλίας στις παρατηρήσεις οριζόντιας στοάς. Η επιρροή τους εξαρτάται άμεσα από την τοποθεσία. Η μεταβολή της παραμόρφωσης μπορεί να καθυστερήσει μερικές ημέρες πριν γίνει ορατή. Μερικοί θεωρούν ότι αυτό είναι ένα είδος πρόδρομου σήματος στις περιοχές που κύρια εμφανίζονται μικροί σεισμοί.



### 2.2.1.δ. Προβλήματα στις παρατηρήσεις τύπου οριζόντιας στοάς - Μελλοντικές εξελίξεις

Μία σοβαρή πρόγνωση σεισμού απαιτεί οι πληροφορίες να αποκτώνται από αρκετούς σταθμούς παρατήρησης για να αποδειχθεί η αξιοπιστία των παρατηρούμενων ανωμαλιών. Αυξάνοντας την πυκνότητα της διανομής των θέσεων παρατήρησης, φαίνεται να είναι ο μόνος τρόπος να ελέγξουμε την κατάσταση, μιάς και καταστροφικοί σεισμοί δεν συμβαίνουν απαραίτητα συχνά σε μια τοποθεσία.

Κάθε θέση παρατήρησης καλύπτει και αντιπροσωπεύει μια μικρή σχετικά περιοχή, ιδίως όταν η δομή του φλοιού είναι περίπλοκη και οι περιοχές με ομοιογενείς κινήσεις έχουν μικρές σχετικά διαστάσεις.

Άλλο ένα πρόβλημα είναι η μηχανική ταχύτητα του χαρτιού καταγραφής που χρησιμοποιείται για τις συνεχείς παρατηρήσεις. Παλιά θεωρούσαν ότι οι κινήσεις του φλοιού είναι πάντα πολύ αργές. Όταν όμως αρχίζει η διαδικασία που οδηγεί σε μια διάρρηξη, η κίνηση του φλοιού αρχίζει να προσδεύει με μεγάλη ταχύτητα και η συνεχής καταγραφή τέτοιων μεταβολών απαιτεί χρόνους καταγραφής ακόμα και της τάξης των λεπτών. Αν και η τεχνική των παρατηρήσεων έχει εκμοντερνισθεί με τη χρησιμοποίηση ψηφιακών συστημάτων, χρειάζονται ακόμα βελτιώσεις.

Μία άλλη αντικειμενική δυσκολία είναι το ότι επειδή μεγάλοι σεισμοί συμβαίνουν σχετικά σπάνια, αναγκαστικά η έρευνα ασχολείται περισσότερο με τους μικρότερους σεισμούς. Όσο όμως μειώνεται το μέγεθος ενός σεισμού, το μέγεθος των ανωμάτων πρόδρομων φαινομένων μειώνεται λογαριθμικά. Άρα πιο ευαίσθητα όργανα είναι απαραίτητα. Βέβαια και εδώ η τεχνολογία έχει κάνει μεγάλα βήματα (π.χ. το well-type strain gauge), χρειάζονται όμως ακόμα προσπάθειες.

Για την μικρής διάρκειας κυρίως πρόγνωση είναι απαραίτητο να ανακαλύψουμε τα αμέσως πριν του σεισμού φαινόμενα, αυτά δηλαδή που συμβαίνουν λίγες ώρες πριν. Άρα χρειαζόμαστε μία μέθοδο καταγραφής, διαρκή και σταθερή. Τα τηλεμετρικά δίκτυα κρένονται αναγκαία, όπως αυτά των περιοχών Tokai και Southern Kanto, όπως επίσης και περισσότερος αυτοματισμός είναι απαραίτητος.

### 2.2.1.ε. The embedded volume strainmeter system

Για να αποκτηθούν νέες πληροφορίες πάνω στις κινήσεις του φλοιού, που είναι δύσκολο να αποκτηθούν χρησιμοποιώντας την παλιά μέθοδο τύπου οριζόντιας στοάς (με extensometers και tiltmeters), τελευταία έχει αναπτυχθεί ένα νέο όργανο, το embedded volume strainmeter, βασισμένο πάνω σε μια διαφορετική αρχή.

Το όργανο αυτό καταλαμβάνει μικρότερο χώρο απ' ότι τα προηγούμενα όργανα και είναι πολύ πιο απλό στη διάταξη. Είναι οικονομικότερο και προσφέρεται για εγκατάσταση ενός πυκνού δίκτυου παρατηρήσεων. Η σύνδεση των οργάνων είναι τηλεμετρική και κεντρικός υπολογιστής ελέγχει όλες τις λειτουργίες.

Η σταθερότητα του οργάνου είναι καλή και ανθίσταται καλά στις μεγάλες επιταχύνσεις, χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργία του από δυνατούς σεισμούς. Είναι πολύ ευαίσθητο και μπορεί να ανακαλύψει πολύ μικρές κινήσεις του φλοιού.

Το όργανο αυτό θα βοηθήσει όχι μόνο στην μικρής διάρκειας πρόγνωση, αλλά και στο να κατανοήσουμε το strain-step φαινόμενο που λαμβάνει χώρα την ώρα ενός σεισμού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και στην έρευνα των μακράς περιόδου σεισμικών κυμάτων, λειτουργώντας σαν ένας μακράς περιόδου σεισμογράφος.

Τέλος πολλά από τα μειονεκτήματα στις καταγραφές με quartz tube extensometers & water tube tiltmeters έχουν παρακαμφθεί με την χρησιμοποίηση του embedded volume strainmeter.

### 2.2.1.στ. Τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων από τα δίκτυα των περιοχών Tokai και Southern Kanto (Πίνακας 2.)

Στην παράγραφο αυτή θα αναφέρουμε τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων που έχουν γίνει από δύο ανεξάρτητα δίκτυα που έχουν εγκατασταθεί στις πιο πάνω περιοχές, μιάς και πλέον είναι ξεκάθαρη η συμβολή των δικτύων αυτών για την πρόγνωση των σεισμών.

Οι καταγραφές από όλες τις θέσεις δείχνουν τις ωκεάνειες και τις γήινες παλίρροιες, όπως επίσης και τις μεταβολές της παραμόρφωσης. Το πόσο έντονα καταγράφεται μια ανωμαλία της παραμόρφωσης εξαρτάται εκτός από τις προδιαγραφές του οργάνου και από το βάθος που είναι τοποθετημένο και από το είδος του πετρώματος, δηλαδή αν είναι υδροπερατό ή όχι οπότε η καταγραφή επηρεάζεται από το νερό του πηγαδιού. Για να ελαχιστοποιηθούν τα

αποτελέσματα αυτά, η full-hole cementing method εφαρμόζεται από το 1979, κατά την οποία τα πετρώματα που περιβάλλουν το όργανο απομονώνονται από τα νερά του πηγαδιού.

Οι βροχοπτώσεις δεν επηρεάζουν το όργανο αυτό (ακόμα και η συνεχής βροχή), σε αντίθεση με τα όργανα τύπου οριζόντιας στοάς, εκτός αν είναι τοποθετημένα σε ρηχά πηγάδια. Η ατμοσφαιρική πίεση δεν επηρεάζει τα όργανα τύπου οριζόντιας στοάς, επηρεάζει όμως τα embedded strainmeters που είναι πολύ ευαίσθητα, και η διάκριση ανάμεσα σε πρόδρομα σεισμού και σε βαρομετρικά χαμηλά πρέπει να γίνεται ξεκάθαρη.

Στην περίπτωση των σεισμικών κυμάτων μπορούμε να πάρουμε σημαντικές πληροφορίες ακόμα και από ένα σταθμό παρατήρησης. Οι κινήσεις του φλοιού όμως δεν μεταδίδονται όπως τα σεισμικά κύματα, οπότε το πόσο αντιπροσωπευτική είναι η μεταβολή της παραμόρφωσης όταν αυτή μετρείται σε ένα μόνο σημείο είναι ένα σημαντικό πρόβλημα, μιάς και είναι αυτό ακριβώς που καθορίζει την πυκνότητα του δικτύου.

Από παρατηρήσεις ευαίσθητων embedded strainmeters, βρέθηκε ότι η παραμόρφωση του φλοιού αλλάζει σε μερικές περτοχές μέσα σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Αυτές οι αλλαγές περιλαμβάνουν και τις step-type μεταβολές που συμπληρώνονται σε μερικά λεπτά και τις drift-type μεταβολές που παίρνουν από μερικές ώρες μέχρι δύο ημέρες. Υπάρχουν και οι small step-type μεταβολές που καταγράφονται με τα υψηλής ευαισθησίας όργανα.

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα όπου σεισμοί έλαβαν χώρα από μερικές ώρες έως μερικές ημέρες μετά από ξαφνική σεισμική μεταβολή της παραμόρφωσης που συνέβη στην ίδια περτοχή. Τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι: (από Shigeji Suyehiro , 1984-1985).

- α) Ο σεισμός του Eastern Yamanashi, M=5,5 , 16 Ιαν.1976, συνέβη μετά από συχνές step-type μεταβολές παραμόρφωσης.
- β) Ο σεισμός του Ice Bay, M=4,1 , 26 Ιουλ.1976, επίσης συνέβη μετά από step-type μεταβολές παραμόρφωσης.
- γ) Ο σεισμός του Nebukawa, M=3,9 , 6 Νοεμ.1977, που συνέβη μετά από step-type και ακόλουθες γρήγορες drift-type μεταβολές παραμόρφωσης.
- δ) Η ακολουθία σεισμών της Izu Oshima, 14 Ιαν.1978, που συνέβη ένα μήνα μετά από προηγούμενες άγνωστες συρρικνωτικές μεταβολές (contractual changes) και πέντε ημέρες μετά από μία ταχέως εκτεινόμενη μεταβολή (rapid stretch change).

Από την άλλη μεριά όμως υπάρχουν και παραδείγματα από υπολογίσιμες

μεταβολές παραμόρφωσης που δεν ακολουθήθηκαν από σεισμούς, όπως για παράδειγμα αυτές που σημειώθηκαν στο Omaezaki στις 11 Νοεμ.1976 και στο Ajiro στις 22 Ιουλ.1977.

Ο φυσικός μηχανισμός της αρχικής κίνησης που τελικά φθάνει στη διάρρηξη, δεν είναι ακόμα καθαρά κατανοητός. Μία υπόθεση είναι η "pre-slip" θεωρία. Μια άλλη υποστηρίζει ότι ανακατανομή των τάσεων συμβαίνει γρήγορα πριν από σεισμούς. Αυτή είναι βασισμένη στην ιδέα ότι η ενέργεια παραμόρφωσης που προκαλείται από τεκτονικές δυνάμεις, δεν συσσωρεύεται ομοιογενώς, αλλά μάλλον σε τοπικά αθροίσματα και "ανασυντάσσεται" κοντά στο κρίσιμο σημείο της διάρρηξης δια μέσου ανακατανομής αμέσως πριν τον σεισμό. Σε κάθε περίπτωση είναι γνωστό, ότι η κατανομή της παραμόρφωσης υφίσταται μια τυπική και ξαφνική μεταβολή, σύμφωνα με τα συλλεχθέντα δεδομένα από τα δίκτυα παρατηρήσεων των embedded strainmeters.

Οι συνεχείς παρατηρήσεις, βασισμένες στα αποτελέσματα των μακρού χρόνου παρατηρήσεων, εισάγουν μια νέα διάσταση. Ο σκοπός των παρατηρήσεων είναι η πρόγνωση ενός σεισμού. Όταν ένας σεισμός επίκειται, η πείρα του παρελθόντος δείχνει ότι θα υπάρχει κάποιος βαθμός ανώμαλης δραστηριότητας. Ως εκ τούτου, ακόμα και αν οι νόμοι που διέπουν αυτά τα φαινόμενα δεν έχουν πλήρως εξακριβωθεί, μπορούν να βγούν κάποια σημαντικά συμπεράσματα.

Αυτό από μόνο του βέβαια δεν είναι αρκετό. Η αξία όμως των παρατηρήσεων με τέτοια δίκτυα και η συμβολή της στην πρόγνωση των σεισμών θα γίνει τεράστια όσο αυξάνονται οι πληροφορίες μας.

## 2.2.2. Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΣΤΙΣ ΗΠΑ

Και στις ΗΠΑ οι έρευνες στον τομέα της μελέτης των προσεισμικών κινήσεων του φλοιού με σκοπό την πρόγνωση των σεισμών έχει κάνει σημαντικά βήματα. Πολλές παρατηρήσεις φαινομένων προσεισμικής διαδικασίας που σχετίζεται με παραμόρφωση, έχουν γίνει κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης του San Andreas, όπου και έχουν εγκατασταθεί τα σχετικά δίκτυα παρατηρήσεων που αποτελούνται από διάφορους τύπους οργάνων.

Προγνώσεις σεισμών έχουν γίνει με επιτυχία, αφορούν όμως μικρούς σεισμούς. Επειδή από τότε που εγκαταστάθηκαν τα πρώτα δίκτυα δεν έχουν γίνει μεγάλοι σεισμοί, το κύριο ενδιαφέρον εντοπίζεται στα φαινόμενα ερπυσμού (= σεισμική ολίσθηση), που παρατηρούνται συχνά σ' αυτή τη ρηξιγενή ζώνη, καθώς και στη σχέση που μπορεί να έχουν με πιθανούς σεισμούς. Συγκριτικές παρατηρήσεις του φαινομένου αυτού με φαινόμενα περίστροφης, παραμόρφωσης και

Σ/Α/Σ

γενικά μετατόπισης, (ακόμα και με μεταβολές στάθμης πηγαδιών), δίνουν πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

Υποστηρίζεται από πολλούς ότι αυτά τα φαινόμενα ερπυσμού μπορεί να είναι η βασική διαδικασία που είναι υπεύθυνη για παρατηρήσεις πρόδρομων φαινομένων στους σεισμούς (Dieterich, J. , 1978). Ο ισχυρισμός αυτός ότι ο ερπυσμός των ρηγμάτων, προηγείται από σεισμούς επιβεβαιώνεται από ορισμένες περιπτώσεις σεισμών όπου πράγματι συνέβη αυτό, όπως επίσης και από εργαστηριακές παρατηρήσεις που αποδεικνύουν ότι υπάρχουν δύο τουλάχιστον στάδια προσεισμικής ολίσθησης, που αποτελούν μέρος της διαδικασίας που θα οδηγήσει τελικά σε σεισμική ολίσθηση σε προϋπάρχοντα ρήγματα, όταν έχουμε ανομοιογενείς τάσεις ή δυνάμεις (Dieterich J. , 1978).

Κατά τη διάρκεια του αργά μεταδιδόμενου πρώτου σταδίου του ερπυσμού, υποτίθεται ότι το μέγεθος του τμήματος του ρήγματος που θα παρατηρηθεί ερπυσμός είναι ανάλογο με το μέγεθος της εστίας του επακόλουθου σεισμού. Τα δεδομένα αποδεικνύουν μάλιστα και μία σχέση ανάμεσα στον πρόδρομο χρόνο και το μέγεθος (Dieterich, J. , 1978).

Μακράς διάρκειας πρόδρομα φαινόμενα, μπορεί να είναι συνέπεια της διαφοροποίησης των τάσεων και της παραμόρφωσης κατά την διάρκεια του πρώτου σταδίου του ερπυσμού. Παρατηρήσεις μικρής διάρκειας πρόδρομων φαινομένων αμέσως πριν τους σεισμούς, μπορεί να σχετίζονται με το δεύτερο μικρής διάρκειας στάδιο του προσεισμικού ερπυσμού όπως φάνεται από τα σχετικά περάματα (Dieterich, J. , 1978).

Όπως προηγούμενα αναφέραμε, ο ερπυσμός είναι μια διαδικασία ασεισμικής διάρρηξης, διότι η σχετιζόμενη επιτάχυνση είναι τόσο αργή που δεν παράγονται αποκαλυπτόμενα σεισμικά κύματα. Ερπυσμός παρατηρείται και σε κανονικά και σε ανάστροφα ρήγματα, αλλά κυρίως παρατηρείται σε "steeply dipping strike-slip faults". Αν και συνήθως άμεσα παρατηρείται στην επιφάνεια, ή κοντά στην επιφάνεια, τα διαθέσιμα δεδομένα υποστηρίζουν ότι ερπυσμός μπορεί να συμβεί σε κάθε βάθος του ρήγματος (Burford R. et al. 1978).

Τα όργανα που μετρείται ο ερπυσμός είναι γνωστά σαν creepmeters και λειτουργούν μετρώντας τις μεταβολές στην απόσταση μεταξύ δύο ράβδων τοποθετημένων διαγώνια και εγκάρσια του ίχνους του ρήγματος. Μια τυπική εγκατάσταση creepmeter συνίσταται από δύο στοιχεία, που από τις μεταβολές του μήκους μετρούν ταυτόχρονα την εφελκυστική και συμπιεστική συνιστώσα.

Στις περιπτώσεις που έχουμε φαινόμενα ερπυσμού, η μετατόπιση είναι συνήθως λίγα χιλιοστά (αν και έχει αναφερθεί από 0,05 έως και 23 χιλιοστά),

31 10 80

και η διάρκειά της από λίγα λεπτά μέχρι αρκετές ημέρες. Η ταχύτητα διάδοσης του φαινομένου σε μερικές περιπτώσεις έχει αναφερθεί ότι είναι της τάξης των 400 m/h. Αντίθετα η ολίσθηση κατά την διάρκεια ενός σεισμού μπορεί να φθάσει βαθμούς μετατόπισης της τάξης των μέτρων μέσα σε λίγα sec και η ταχύτητα διάδοσης της διάρρηξης μετρείται σε km/sec. (Burford, R. et al. 1978).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα έντονης δραστηριότητας ερπυσμού είναι αυτό που συνέβη στην περιοχή του Melendy Ranch από το 1972-1976. Παρατηρήθηκε ότι τα 2/3 των μικρών γεγονότων ερπυσμού συνέβησαν κατά την διάρκεια 25 ημερών πριν από το μεγάλο γεγονός ερπυσμού. Η πιθανή εξήγηση φανερώνει ότι υπάρχει μια σχέση ανάμεσα στα μεγάλα και μικρά γεγονότα όμοια με αυτή που υπάρχει ανάμεσα στους προσεισμούς και στον κύριο σεισμό. (Burford R. et al. 1978).

Τα creepmeters στην ρηξιγενή ζώνη του San Andreas, συχνά καταγράφουν μικρά "βήματα" μετατόπισης την ώρα μικρών τοπικών σεισμών (π.χ. σεισμός του Melendy Ranch, 1-5, 24 Φεβρ. 1972). Μετατοπίσεις που συνδέονται με μέτρους σεισμούς είναι φανερά πολύ ασήμαντες σε σύγκριση με το συνολικό ετήσιο βαθμό μετατοπίσεων. Μελέτη των καταγραφών κατέληξε στο συμπέρασμα ότι επιταχυνόμενοι βαθμοί ερπυσμού που παρατηρούνται σε μεγάλες περιόδους μετά από τοπικούς σεισμούς, ουσιαστικά οφείλονται σε ένα μεταολισθητικό φαινόμενο, σαν μια αργοπορημένη απάντηση στην μεγάλη μετατόπιση της πρωτογενούς σεισμικής διάρρηξης. Υπάρχουν δηλαδή διάφορες περιπτώσεις όπου τέτοια γεγονότα ερπυσμού, οφείλονται σε μεταολισθητικά αποτελέσματα (π.χ. Cienega Winery, Harris Ranch, Bitterwater Valley). Όμως ο σεισμός του Stone Canyon προηγήθηκε με ένα φαινόμενο ερπυσμού που καταγράφηκε από διάφορα creepmeters, περίπου 20 ώρες πριν από την κύρια δόνηση. Επίσης ασυνήθης δραστηριότητα ερπυσμού ήταν συνδεδεμένη με τον γειτονικό μεγαλύτερο σεισμό του Melendy Ranch (Burford, R. et al. 1978).

Αν και ακόμα αυτά τα φαινόμενα είναι αιτιγματικά, αυτά τα γεγονότα αυξάνουν τις πιθανότητες ότι συνεχείς παρατηρήσεις ερπυσμού στα ρήγματα μπορούν να προσφέρουν μια καθοριστική βοήθεια στη λίστα των πρόδρομων φαινομένων.

Αναφέρεται επίσης ότι σε σύγκριση με γεωδαιτικές παρατηρήσεις (Slater, L., 1976), έδειξε ότι επεισόδια παραμόρφωσης μεγάλης κλίμακας προηγούνται και συνοδεύουν δραστηριότητα ερπυσμού στην επιφάνεια.

Σε ότι αφορά λοιπόν τα προβλήματα της τεκτονικής των ρηξιγενών ζω-

ΣΙ ΑΟ ΣΣ

νών σε σχέση με την πρόγνωση των σεισμών, πρέπει να αυξηθούν οι προσπάθειες για να προσδιορισθεί καλύτερα η σχέση μεταξύ σεισμικής και σεισμικής διάρρηξης και η σχέση μεταξύ πρόδρομων φαινομένων ερπυσμού, long baseline strain, near field strain and tilt, μεταβολών στάθμης νερού και συνδεδεμένων σεισμικών γεγονότων (Burford, R. et al. 1978).


Επίσης ένα δίκτυο από strainmeters είναι εγκαταστημένο στην ρηξιγενή ζώνη του San Andreas, του οποίου τα δεδομένα και οι πληροφορίες στέλνονται τηλεμετρικά για επεξεργασία. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι οργάνων που μετρούν παραμόρφωση (quartz tube, invar wire, laser beam...), αν και όλοι έχουν βασικά την ίδια αρχή (Johnston M. , 1978).

Το όργανο πακτώνεται στο έδαφος και η κίνηση του εδάφους αποκαλύπτεται και καταγράφεται. Για να προσδιορισθεί όλο το εντατικό πεδίο, απαιτούνται τρία strainmeters τοποθετημένα σε τρεις διαφορετικές θέσεις. Συνήθως υπάρχουν αυτοματισμοί που κάνουν τις σχετικές διορθώσεις από τους παράγοντες που συνήθως επηρεάζουν αυτά τα όργανα (θερμοκρασία, βροχοπτώσεις, γήινες παλέρροες, μακρινά σεισμικά κύματα, ...) αν και δεν είναι πάντα εύκολο να ξεχωρίσει κανείς τα σήματα που οφείλονται αποκλειστικά σε προσεισμική διαδικασία.

Το πρόβλημα είναι, τι είδους σήματα περιμένουμε να δούμε στις θέσεις παρατήρησης που βρίσκονται κοντά σε περιοχές ενεργών ρηγμάτων; Δυστυχώς τα δεδομένα και οι υπολογισμοί μέχρι σήμερα αποτελούν μια μεγάλη "οικογένεια πιθανοτήτων", εξ αιτίας της έλλειψης ακριβούς γνώσης των διαφόρων παραμέτρων των ρηγμάτων (Johnston M. , 1978).

Επειδή όπως και προηγουμένα αναφέρθηκε, από τον καιρό που έχουν εγκατασταθεί τα πρώτα όργανα δεν έχουν γίνει μεγάλοι σεισμοί, οι μετρήσεις της παραμόρφωσης γίνονται κατά την διάρκεια των φαινομένων ερπυσμού. Παρατηρήσεις που έγιναν στο San Juan Bautista και στο Melendy Ranch από το 1974 έως το 1976 (Johnston M. , 1978] έδειξαν ότι τα strainmeters δεν έδειχναν καμμία παραμόρφωση όταν βρίσκονταν σε απόσταση 1 χλμ. μακριά από τις τοποθεσίες όπου συνέβαιναν γεγονότα ερπυσμού. Όταν τοποθετήθηκαν σε απόσταση 0,5 χλμ. από το ρήγμα, παρατηρήθηκαν κάποιες καταγραφές παραμόρφωσης που σχετιζόνταν με φαινόμενα ερπυσμού, όχι όμως πάντα. Ούτε επίσης μακράς περιόδου μεταβολές της παραμόρφωσης σχετίζονται πάντα με γεγονότα ερπυσμού.

Στην περιοχή του Almaden - Cienega Winery (Hollister), αρκετές ταυτόχρονες παρατηρήσεις ερπυσμού, περιάτρεψης, διακύμανσης στάθμης υδάτων και παραμόρφωσης έχουν καταγραφεί σε μια απόσταση 500 μ. από το ρήγμα. Το ίδιο και στην περιοχή του Harris Ranch (Johnston M. , 1978).

31 120 

Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι δεν έδωσαν όλα τα φαινόμενα ερπυσμού αξιοπαρατήρητες μεταβολές παραμόρφωσης ή περιστροφής, ακόμα και όταν βρισκόμαστε σε απόσταση μερικών εκατοντάδων μέτρων από το σημείο του συμβάντος. Σε αντίθεση πολλά ταυτόχρονα σήματα παραμόρφωσης και περιστροφής παρατηρήθηκαν σε διάφορες τοποθεσίες, χωρίς όμως να συνοδεύονται από φαινόμενα ερπυσμού.


Είναι λοιπόν δύσκολο να συζητά κανείς σ' αυτήν την περίπτωση για την αφθονία και τον τύπο των μεταβολών παραμόρφωσης που μπορεί να προηγούνται από μεγάλους σεισμούς, μιάς και μεγάλοι σεισμοί δεν έχουν συμβεί ούτε σε απόσταση μικρότερη από 10 χλμ. από τα όργανα. Από την άλλη μεριά όμως με αυτές τις παρατηρήσεις μπορούν να προσδιορισθούν τα προβλήματα των οργάνων και να γίνουν κατανοητές οι λεπτομέρειες που σχετίζονται με την παραμόρφωση του φλοιού κοντά σε ενεργά ρήγματα.

#### 2.2.2.α. In situ μετρήσεις του εντατικού πεδίου

Επίσης έχουν αναπτυχθεί τεχνικές μετρήσεως του γήινου εντατικού πεδίου. Οι μεταβολές των τάσεων είναι αυτές που είναι υπεύθυνες για την δημιουργία των σεισμών. Οπότε γνωρίζοντας το πρότυπο της τάσης για μια περιοχή και το πώς μεταβάλλεται με το χρόνο, μπορούμε να προβλέψουμε πότε θα γίνει σεισμός; Βεβαίως, αν τα αποτελέσματα από τις in situ μετρήσεις τα συνδυάσουμε με γεωδαιτικές μετρήσεις, με τους μηχανισμούς δημιουργίας των σεισμών και με νεοτεκτονικές παρατηρήσεις, ιδίως σε ότι αφορά την παραμόρφωση του Ολοκαίνου (Zoback M. et al. , 1978).

Τα αποτελέσματα από τα εργαστηριακά δεδομένα μας διευκολύνουν πολύ στον τομέα αυτό, επειδή έχοντας ήδη πολλές πληροφορίες για τις ιδιότητες αντοχής και τριβής των πετρωμάτων, σε συνδυασμό με τις in situ μετρήσεις των τάσεων μπορούν να μας δώσουν στοιχεία για τον υπολογισμό της πιθανότητας ενεργοποίησης γνωστών ρηγμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το πείραμα ελέγχου του σεισμού του Rangley, Colorado (Raleigh B. et al. 1976, Raleigh B. , 1977), όπου αποδείχθηκε μια πολύ καλή αντιστοιχία μεταξύ της πίεσης των πόρων που άρχισαν οι σεισμοί και της πίεσης των πόρων που προγνώστηκε από υπολογισμούς του in situ εντατικού πεδίου και των ιδιοτήτων τριβής (Zoback M. et al. , 1978).

Οι in situ μετρήσεις των τάσεων, που γίνονται σε γεωτρήσεις, μπορούν να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς στις ρηξιγενείς ζώνες και έτσι να επιταχύνουμε την ανάπτυξη ενός αξιόπιστου συστήματος πρόγνωσης

31 by 



των σεισμών.

Προσπάθειες για την κατανόηση της διαδικασίας ανώμαλων μεταβολών περιστροφής που παρατηρούνται πριν από σεισμούς έχουν γίνει επίσης με την τοποθέτηση ενός δικτύου από tiltmeters κατά μήκος 85 χλμ. στο πιο ενεργό τμήμα του ρήγματος του San Andreas.

Έρευνες του C. Mortensen και του M. Johnston (1974) έδειξαν ότι υφίσταται μια συστηματική περιστροφή σε μια ορισμένη διεύθυνση κατά τη διάρκεια των περιόδων με χαμηλή σεισμική δραστηριότητα.

Λίγο πριν το συμβάν ενός σεισμού, η διεύθυνση της περιστροφής αρχίζει να αλλάζει δραματικά. Μετά τον σεισμό η αργή συστηματική περιστροφή επαναλαμβάνεται πάλι.

Διάφορα φυσικά μοντέλα έχουν προταθεί για να ερμηνεύσουν αυτό το φαινόμενο. Ένα τέτοιο μοντέλο, όπως έχουμε αναφέρει ξανά, είναι το rock dilatancy model, το οποίο υποστηρίζει ότι το πέτρωμα υφίσταται μια ανελαστική αύξηση του όγκου στην εντατική περιοχή. Προτείνει ότι η επιφάνεια της γης γύρω από την διογκωμένη περιοχή θα περιστρέφεται ομοιόμορφα μακριά από το επακόλουθο επίκεντρο του σεισμού. Ένα αντιπαράθετο μοντέλο έχει προταθεί για τα ανάστροφα ή οριζόντιας μετάπτωσης ρήγματα όπως αυτά της ρηξιγενούς ζώνης του San Andreas. Αυτό είναι το slip model το οποίο συνεπάγεται ότι μη συμμετρική περιστροφή θα συμβεί γύρω από την περιοχή της εστίας του σεισμού σαν αποτέλεσμα ενός ανομοιομόρφου πεδίου τάσεων.

Για τις μετρήσεις των μεταβολών της περιστροφής χρησιμοποιούνται και εδώ διάφοροι τύποι tiltmeters. Επίσης χρησιμοποιούνται και οι τύποι των water tube tiltmeter (που βασίζεται στην αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων) και bubble tiltmeter (που λειτουργεί με όμοια αρχή όπως το αλφάδι με την φουσαλίδα). Επίσης όργανα με εφαρμογές της ηλεκτρονικής χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο.

Επισημαίνεται και εδώ ότι πρέπει να υπάρχει μεγάλη προσοχή στην αξιολόγηση των δεδομένων ώστε να μπορούμε να διακρίνουμε σωστά, ποιές μεταβολές σχετίζονται πιθανά με προσεισμική διαδικασία και ποιές οφείλονται σε άλλους παράγοντες όπως μετεωρολογικά φαινόμενα, μηχανικές αστάθειες του οργάνου, ετερογενής φύση των πετρώματων, επιφανειακά πεδία παραμόρφωσης, γήινες παλίρροιας, μακράς περιόδου σεισμικά κύματα, ....κλπ.

Η παράταξη των tiltmeters που χρησιμοποιήθηκε κατά μήκος του ρήγματος του San Andreas, αποτελείται από 14 διαξονικού τύπου, ρηχής γεωτρήσεως

tiltmeters, αραιωμένα κατά προσέγγιση κάθε 6 χλμ. κατά μήκος του ρήγματος. Τα όργανα τοποθετούνται εντός του εδάφους σε βάθος 2 μ. και απέχουν 1 - 4 χλμ. από το ρήγμα. Οι θέσεις εναλλάσσονται στις πλευρές του ρήγματος, αν και μερικές φορές είναι χρησιμότερο να είναι το ένα ακριβώς απέναντι από το άλλο. Οι πιο ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις, που σχετίζονται με τους μικρούς σχετικά σεισμούς που έγιναν στην περιοχή μιάς και μεγάλοι σεισμοί δεν παρατηρήθηκαν, είναι οι εξής: (Johnston M. , 1978).

- 1) Δεν παρατηρήθηκε ένδειξη από πολύ γρήγορη μεταβολή στην περιστροφή στο διάστημα από δευτερόλεπτα μέχρι ώρες πριν τον σεισμό.
- 2) Υπάρχουν λίγες φανερές περιπτώσεις για μια διαρκή αλλαγή της περιστροφής που σχετίζονται με σεισμούς που απέχουν περισσότερο από 10 χλμ. από το όργανο ή έχουν μέγεθος μικρότερο από 3,3.
- 3) Κατά την διάρκεια περιόδων με χαμηλή σεισμική δραστηριότητα, υπάρχει μια πολύ αργή συστηματική περιστροφή (περισσότερο από 1 micro-radian), που γενικά συμβαίνει σε μια ορισμένη διεύθυνση. Μόλις πριν από τοπικούς σεισμούς αυτή η διεύθυνση μπορεί να αλλάξει υπολογίσιμα και μετά το σεισμό ακολουθεί μια αργή περιστροφή πάλι, κατά μήκος μιας νέας διεύθυνσης.
- 4) Οι περισσότεροι σεισμοί συμβαίνουν μετά από περιόδους αλλαγής της διεύθυνσης της περιστροφής. Οι καταγραφές όμως του εύρους της περιστροφής δεν δείχνουν μια ξεκάθαρη σχέση μεταξύ συμβάντων των σεισμών.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα προσεισμικών μεταβολών της περιστροφής αποτελεί ο σεισμός του Hollister,  $M=5,2$  , 28 Νοεμ. 1974 (Johnston M. , 1978). Η πρόδρομη περιστροφή παρατηρήθηκε στα κοντινότερα τέσσερα όργανα (τύπου ρηχής γεώτρησης double tiltmeters). Πιο χαρακτηριστική είναι η καταγραφή των οργάνων στο San Juan Bautista όπου για την σεισμική περίοδο Ιούλιος - μέσα Φεβρουαρίου 1974 παρατηρήθηκαν λιγώτερα από 2  $\mu\text{rad}$  περιστροφής. Στις 22 Οκτωβρ. το όργανο άρχισε ξαφνικά να περιστρέφεται με μέσο όρο 0,5  $\mu\text{rad}/\text{εβδομάδα}$ , δίνοντας συνολική περιστροφή 7  $\mu\text{rad}$ . Δεν παρατηρήθηκαν άλλα μη τεκτονικά αίτια (βροχή, διαφορές θερμοκρασίας, ....), που θα μπορούσαν να ερμηνεύσουν αυτήν την μεταβολή.

Επίσης τέτοια πρόδρομα φαινόμενα παρατηρήθηκαν και στον σεισμό του Briones Hill,  $M=4,3$  , 8 Ιαν. 1977. Για τρία χρόνια δεν είχε παρατηρηθεί μεταβολή περιστροφής της τάξης των 2  $\mu\text{rad}$  που παρατηρήθηκε πριν από τον σεισμό (Johnston M. , 1978).

Πολλά προβλήματα παραμένουν ακόμα ακατανόητα, είναι δύσκολο να ερμηνευτούν

και να βελτιώσουν τα δεδομένα των παρατηρήσεων από τις διατάξεις των tiltmeters. Μερικά από τα σήματα που παρατηρούνται επιβεβαιώνουν τις παρούσες ιδέες μας σε σχέση με την κλίμακα, τον χρόνο και το είδος της παραμόρφωσης κατά μήκος των ενεργών ρηξιγενών ζωνών, άλλα όμως όχι. Αυτό ίσως είναι ένα αποτέλεσμα της δυσκολίας που έχουμε να κατανοήσουμε την διαδικασία που λαμβάνει χώρα κοντά στις τεκτονικά ενεργές περιοχές, ή είναι αποτέλεσμα της τεχνικής των μετρήσεων. Εγκαταστάσεις οργάνων σε μεγαλύτερα βάθη και πιο συστηματικές παρατηρήσεις είναι σίγουρο ότι θα συμβάλλουν στην επιτυχή πρόγνωση των σεισμών (Johnston M. , 1978).

2.2.3. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΣΣΔ

Και στην ΕΣΣΔ οι κάθε είδους παραμορφώσεις του φλοιού που παρατηρούνται πριν από σεισμούς, διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην πρόγνωση των σεισμών. Παρατηρήσεις προσεισμικών μεταβολών της διεύθυνσης του έντατικού πεδίου, της περιστροφής και της παραμόρφωσης, έχουν γίνει σε πολλές περιπτώσεις. Ιδιαίτερη προσοχή μάλιστα δίνεται στην ευαισθησία και ακρίβεια των οργάνων που τοποθετούνται σε στοές ή γεωτρήσεις, για τον καλύτερο προσδιορισμό των πρόδρομων φαινομένων, σε αντίθεση με την πρακτική που ακολουθείται στις ΗΠΑ και είναι η αύξηση της πυκνότητας των δικτύων παρατήρησης (Spall H., Earthquake Prediction in the Soviet Union - An interview with I. L. Nersesov , 1980)].

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σεισμός που έγινε την 1η Νοεμ. 1978, M=7, βόρεια των βουνών του Pamir , κοντά στο Tadzhikistan - Kirghizia, 150 Km ανατολικά του Garm, στην Σοβιετική Κεντρική Ασία. Ο σεισμός προγνώστηκε με ακρίβεια χρόνου λίγων ωρών, ακρίβεια μεγέθους +1,5 μονάδες και ακρίβεια συντεταγμένων επικέντρου εντός μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων, λόγω της έλλειψης σταθμών παρατήρησης κοντά στο επίκεντρο (Simpson D. ,1979). Στο Ινστιτούτο Σεισμολογίας της Ακαδημίας Επιστημών του Uzbek, είχε γίνει για τον σεισμό, μακράς, μέσης και μικρής διάρκειας πρόγνωση. Οι υπεύθυνοι για τουλάχιστο ένα χρόνο, περίμεναν ένα μεγάλο σεισμό στην περιοχή αυτή. Μεταβολές στην παραμόρφωση και περιστροφή επέτρεψαν μακράς διάρκειας πρόγνωση. Γρήγορες μεταβολές στην περιστροφή που παρατηρήθηκαν λίγες εβδομάδες πριν τον σεισμό, επέτρεψαν μέσης και μικρής διάρκειας πρόγνωση. (Προφανώς τα διάφορα στάδια πρόγνωσης ελήφθησαν υπ' όψη και άλλες παρατηρήσεις, σεισμικές, γεωδαιτικές, γεωχημικές, υδρογεωλογικές, ....).

## 2.2.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό πρέπει να επισημάνουμε ορισμένα πράγματα. Η ύπαρξη προσεισμικής διαδικασίας κινήσεων του φλοιού είναι πλέον γεγονός αναμφισβήτητο αλλά και πολύτιμο για την πρόγνωση των σεισμών. Οι μετρήσεις των κινήσεων αυτών με διάφορους τρόπους και όργανα (tiltmeters, extensometers, strainmeters, creepmeters, ....), μας δίνουν σημαντικές πληροφορίες για να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στις ρηξιγενείς ζώνες πριν από τους σεισμούς. Ας μην ξεχνάμε ότι πολλά πρόδρομα φαινόμενα (τελλουριακά ρεύματα, μεταβολές στάθμης υπογείων υδάτων, ανώμαλες συγκεντρώσεις Ραδονίου, ....), είναι αποτέλεσμα, αυτών ακριβώς των πριν τον σεισμό κινήσεων του φλοιού. Άρα η συμβολή των μετρήσεων και παρατηρήσεων αυτών είναι τεράστια για την επίλυση του προβλήματος "επιτυχής πρόγνωση σεισμών".

Σε διάφορες χώρες, δίκτυα από τέτοια όργανα μετρήσεων, βρίσκονται ήδη εδώ και μια δεκαετία σε λειτουργία και έχουν αποδώσει τα πρώτα αποτελέσματα. Τα προγράμματα πρόγνωσης σεισμών στην Ιαπωνία και στις ΗΠΑ στηρίζουν πολλές ελπίδες για την πρόγνωση μελλοντικών καταστροφικών σεισμών στα δίκτυα αυτά, πάντα βέβαια σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες παρατηρήσεις και πρόδρομα φαινόμενα.

Λαμβάνοντας υπ' όψη το γεγονός ότι η επιτυχία ενός τέτοιου δικτύου απαιτεί, αφ' ενός μεν συνεχείς παρατηρήσεις, αφ' ετέρου δε μακροχρόνιες παρατηρήσεις για να εξακριβωθεί ακριβώς ποιό είναι αυτό που αποτελεί ανωμαλία και ποιό όχι, δεν πρέπει να καθυστερεί η σκέψη για εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου και στην χώρα μας, όπου είναι γνωστές πολλές και σημαντικές ρηξιγενείς ζώνες.

Βιβλιογραφία

- ANONYMOUS. 1974. Systematic changes in surface tilt observed before earthquakes near the San Andreas fault, California : Earth. Inf. Bull. Vol. 6, N.5.
- BURFORD, R. - NASON, R. - HARSH, P. 1978. Studies of fault creep in Central California : Earth. Inf. Bull. Vol. 10, N.5.

BURFORD, R. O. 1977. Bimodal Distribution of Creep Event Amplitudes on the San Andreas fault at Melendy Ranch, California : Nature, Vol. 268, 424-426.

CROUGH, S. T. - BURFORD, R. O. 1977. Empirical Law for fault-creep events : Tectonoph. Vol. 42, T53-T59.

DIETERICH, J. H. 1978. Preseismic Fault Slip and earthquake prediction : Jour. of Geoph. Res. Vol. 83, 3940-3948.

DIETERICH, J. 1979. Laboratory experiments and preseismic slip : Earth. Inf. Bull., Vol. 11, N.6.

DUDA, S. J.(reviewer) - WYSS, M.(editor). 1976. Earthquake prediction and rock mechanics (book review) : Tectonoph. 34, 3-4, 270-272.

JOHNSON, A. G. - KOVACH, R. L. - NUR - AMOS . 1974. Fluid-Pressure variations and Fault Creep in Central California : Tectonoph., Vol. 23, 257-266.

JOHNSTON, M. J. S. - JONES, A. C. - DAUL, W. 1977. Continuous strain measurements during and preceding episodic creep on the San Andreas fault : Jour. of Geoph. Res., Vol. 82, 5683-5691.

JOHNSTON, M. 1978. Continuous strain measurements near the San Andreas fault : Earth. Inf. Bull., Vol. 10, N.5.

JOHNSTON, M. 1978. Tiltmeter studies in earthquake prediction : Earth. Inf. Bull., Vol. 10, N.5.

LOUDERBACK, G. D. 1942. Faults and Earthquakes : Bull. of the Seismol. Soc. of America, Vol. 32, 305-330.

MORTENSEN, E. C. - LEE, R. C. - BURFORD, R. O. 1977. Observations of creep-related tilt, strain and water-level changes on the Central San Andreas fault : Bull. of the Seism. Soc. of America, Vol. 67, 641-649.

NASON, R. D. 1973. Fault creep and earthquakes on the San Andreas fault : Proceedings of the Conference on the Tectonic Problems of the San Andreas Fault System, Stanford University Publication, Geologic Science, Vol. 13, 275-285.

NASON, R. D. - WEERTMAN, J. 1973. A Dislocation Theory Analysis of Fault Creep Events : Jour. of Geoph. Res. Vol. 78, 7745-7751.

Handwritten signature or initials at the bottom right of the page.

- RALEIGH, C. B. - HEALY, J. H. - BREDEHOEFT, J. D. 1976. An experiment in earthquake control at Rangley, Colorado : Science, Vol. 191, N. 4233, 1230-1237.
- RALEIGH, B. 1977. Can we control earthquakes? : Earth. Inf. Bull, Vol. 9, N.1.
- SACKS, I. S. - SUYEHIRO, S. - EVERTSON, D. W. - YAMAGUCHI, Y. 1971. Sacks-Evertson strainmeter, its installation in Japan and some preliminary results concerning strain steps : Pap. Meteor. Geophys, XXII, 3-4.
- SACKS, I. S. - SUYEHIRO, S. - LINDE, A. T. - SNOKE, J. A. 1978. Slow earthquakes and stress redistribution : Nature, 275, 599-602.
- SAKATA, S. - SHIMADA, S. - NOGUCHI, S. 1982. Development of new-type three-component borehole strainmeters : Proceedings of the third joint meeting of the UJNR panel on earthquake prediction technology. Tsukuba, Japan, September 20-22, 1982.
- SBAR, M. L. - ENGELDER, T. - TULLIS, T. 1978. Near-surface in situ stress measurements along the 1857 break of the San Andreas fault : Proceedings of Conference VII, Stress and strain measurements related to earthquake prediction, Carmel, Calif., U.S.A., Sept. 7-9, 1978.
- SIMPSON, W. D. 1979. Soviet prediction of a major earthquake : Earth. Inf. Bull., Vol. 11, N.6.
- SLATER, L. E. - HUGGET, G. R. - LANGBEIN, J. O. 1976. Episodic Fault slip in Central California : EOS Trans. Agu 57, 1012.
- SPALL, H. 1980. Earthquake prediction in the Soviet Union - An interview with I.L. Nersesov : Earth. Inf. Bull., Vol. 12, N.2.
- SUYEHIRO, S. 1984-1985. Continuous Observation of crustal movement : Earth. predic. techn. and their appl. in Japan, Tokyo press, 133-173.
- ZOBACK, M. - ROLLER, J. - HEALY, J. 1978. In situ measurement of the Earth's stress field : Earth. Inf. Bull., Vol. 10, N.6.
- ZOBACK, M. D. - HEALY, J. H. - ROLLER, J. C. - GOHN, G. S. - HIGGINS, B. B. 1978. Normal faulting and in situ stress in the South Carolina coastal plain near Charleston : Geology, Vol. 6, 147-152.

## 2.3. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΣΤΑΘΜΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

### 2.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Από πάρα πολύ παλιά, είχαν παρατηρηθεί διάφορες μεταβολές, τόσο στην στάθμη των υπογείων υδάτων, όσο και στην χημική τους σύσταση, που σχετίζονταν με σεισμούς. Τέτοιες παρατηρήσεις αναφέρονται, τόσο στην χρονική διάρκεια πριν από ένα σεισμό, όσο και στην χρονική διάρκεια μετά από τον σεισμό. Εντυπωσιακές παρατηρήσεις βέβαια γίνονται και κατά την διάρκεια του σεισμού. Είναι φανερό ότι άμεσο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα φυσικά φαινόμενα που προηγούνται από ένα σεισμό.

Τα πρόδρομα φαινόμενα που θα μας απασχολήσουν σ' αυτό το κεφάλαιο, σχετίζονται με τις πιο πάνω μεταβολές που αναφέραμε και είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ πετρωμάτων και υπόγειου νερού. Η αλληλεπίδραση αυτή οφείλεται στη συσσώρευση των τάσεων μέσα στο πέτρωμα, καθώς το κρίσιμο σημείο της διάρρηξης πλησιάζει.

Αν και οι έρευνες που σχετίζονται με τέτοιου είδους μεταβολές είναι σχετικά καινούριες και όχι συστηματικές, αποτελούν ένα από τα πιο ενδιαφέροντα πεδία έρευνας σχετικά με την πρόγνωση των σεισμών. Ας μην ξεχνάμε ότι επιτυχείς προγνώσεις σεισμών που έχουν γίνει μέχρι σήμερα (π.χ. σεισμός του Haicheng, 1975,  $M=7,3$ ), οφείλουν ένα μέρος της επιτυχίας τους σε τέτοιου είδους πρόδρομα φαινόμενα.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε το τι αφορούν οι παρατηρήσεις, πού και πώς γίνονται, τότε εμφανίζονται τα πρόδρομα φαινόμενα (αν εμφανίζονται) και θα δώσουμε παραδείγματα πρόγνωσης σεισμών καθώς επίσης και το ποσοστό επιτυχίας για τις μέχρι σήμερα περιπτώσεις πρόγνωσης.

Οι χώρες βέβαια που έχουν ασχοληθεί κυρίως με τέτοιες έρευνες είναι η Ιαπωνία, η Κίνα, η ΕΣΣΔ και οι ΗΠΑ. Τα στοιχεία που θα παραθέσουμε προέρχονται από αυτές τις χώρες και μέσα από αυτά γίνεται φανερός και ο προσανατολισμός των ερευνών προς τις σύγχρονες απόψεις και δεδομένα.

### 2.3.2. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ (Hiroshi Wakita, 1984-1985)

Στην Ιαπωνία είναι πολύ καλά γνωστή η σημαντική σχέση ανάμεσα στους σεισμούς και σε φαινόμενα όπως η κίνηση και η μετανάστευση του νερού. Έτσι με σκοπό την πρόγνωση των σεισμών, είναι ουσιώδες να γνωρίζει κανείς τις μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στα υπόγεια νερά, κυρίως κοντά στην

επιφάνεια της γης κατά την ώρα των σεισμών. Οι πιο σημαντικές αλλαγές που παρατηρούνται τόσο σε πηγάδια όσο και σε πηγές ή θερμές πηγές, π ρ ι ν και μετά τον σεισμό είναι:

- 1) Αύξηση ή μείωση της ποσότητας ροής του νερού στις πηγές και άνοδος ή πτώση της στάθμης των υπόγειων υδάτων.
- 2) Μεταβολές θερμοκρασίας.
- 3) Μεταβολές στην χημική σύσταση (χρώμα, γεύση, οσμή, διαύγεια).
- 4) Διαροή και εκτίναξη πετρελαίου, αερίων, νερού ... κλπ.
- 5) Εκτίναξη νερού ή άμμου.
- 6) Σχηματισμός στροβίλων και φυσαλίδων στα νερά.
- 7) Αλλαγές στην συγκέντρωση των ιόντων των στοιχείων.

Η εκτίναξη νερού και άμμου που συχνά ακολουθεί ένα σεισμό (π.χ. ο σεισμός του Matsushiro, 1965), είναι ένα εντυπωσιακό φαινόμενο που πρέπει να ερευνηθεί σε σχέση με τον μηχανισμό δημιουργίας των σεισμών και έτσι δεν μπορεί να παραληφθεί σαν ασυσχέτιστο με την πρόγνωση των σεισμών.

Οι στάθμες νερού των πηγαδιών, λιμνών και ποταμών, φανερώνουν αλλαγές κατά την διάρκεια του σεισμού, που ακολουθούνται από πιο αργές μεταβολές. Αλλαγές στη στάθμη του νερού σε πηγάδια αναφέρθηκαν στον σεισμό της Αλάσκας 1964,  $M=8,4$  και είναι πολύ τυπικές.

Υπάρχει σχέση ανάμεσα στον μηχανισμό δημιουργίας του σεισμού και τις μεταβολές (άνοδος ή πτώση) της στάθμης των υδάτων. Παράδειγμα ο σεισμός της χερσονήσου Izu, 1974  $M=6,9$ , όπου στο τμήμα της περιοχής που είχαμε συμπίεση, εξ αιτίας του σεισμού παρατηρήθηκε άνοδος της στάθμης, ενώ στο τμήμα της περιοχής που είχαμε εφελκυσμό, η στάθμη του νερού έπεσε.

Οι αλλαγές αυτές που παρατηρούνται μπορεί να οφείλονται σε:

- α) Παραμόρφωση του "συστήματος" των υπογείων υδάτων, που προκαλείται από κινήσεις του φλοιού, που καταλήγουν σε περιστροφή, διαστολή, ή συστολή του εδάφους.
- β) Αλλαγές στην πίεση των πόρων των πετρωμάτων.
- γ) Πλαστική παραμόρφωση του υδροφορέα.

Υπάρχει επίσης θετικός συσχετισμός μεταξύ της μεταβολής της στάθμης και της θερμοκρασίας των υδάτων. Γενικά η θερμοκρασία του νερού ανεβαίνει όταν η ποσότητα ροής αυξάνεται και πέφτει όταν αυτή μειώνεται.

Διακοπή της ροής θερμών πηγών παρατηρείται επίσης συχνά (π.χ. ο σεισμός του Nankai, 1964). Πιστεύεται ότι το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στην αλλαγή της πορείας του νερού εντός των επιφανειακών στρωμάτων, χωρίς να υπάρξει ουσιαστική αλλαγή στην ίδια την εστία της θερμής πηγής. Σ' αυτές τις

ΣΙ ΑΣ Σ



περιπτώσεις παρατηρείται επίσης και μεταβολή στη θερμοκρασία του νερού, εξ αιτίας της ανάμειξης του νερού της θερμής πηγής με το εδαφικό νερό.

Οι περιπτώσεις αλλαγής χρώματος, γεύσης, οσμής και διαύγειας των υδάτων είναι πιο σπάνιες. Απελευθέρωση CO<sub>2</sub> έχει σαν αποτέλεσμα το νερό να γίνεται άσπρο και λασπώδες. Απελευθέρωση H<sub>2</sub>S & SO<sub>2</sub> προκαλεί ένα χρωματισμό του νερού και μία δυσάρεστη οσμή.

Εκτίναξη άμμου και νερού παρατηρείται σχεδόν πάντα, κύρια σε περιοχές αλλουβιακών πεδίων. Σπάνια παρατηρήθηκε και σε ορεινές περιοχές. Η εκτίναξη άμμου συχνά είναι ένα εντυπωσιακό φαινόμενο με μεγάλη ποικιλία χρωμάτων. Πολλές φορές άμμος και νερό αναβλύζουν κατά μήκος μιας ζώνης σχισμών και διαρρήξεων που δημιουργείται, ενώ άλλες φορές όχι.

Ο σχηματισμός στροβέλων και φουσαλέδων στα νερά των πηγαδιών είναι σχετικά σπάνιος, αποτελεί όμως και αυτό ένα πρόδρομο φαινόμενο που πρέπει να έχουμε υπ' όψη μας.

Η μεταβολή της ισοτοπικής σύστασης επίσης είναι ένα πολύ αξιοπρόσεκτο φαινόμενο με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον σεισμό του Matsushiro, όπου η ισοτοπική σύσταση του βίατα εξερχόμενου νερού άλλαζε συνέχεια με έναν πολύ ανώμαλο τρόπο.

Κατά καιρούς έχουν δοθεί στην Ιαπωνία διάφορες λίστες με τους σεισμούς που έχουν συμβεί και με όλα τα φαινόμενα που σχετίζονται με αυτούς (Usami 1975, Imamura 1977, Miyabie 1933). Ο Hiroshi Wakita, 1984-1985 δίνει ένα πίνακα που περιλαμβάνει 113 σεισμούς από το 684 έως το 1978 που καλύπτει ικανοποιητικά (όχι βέβαια όλους) τους κυριώτερους σεισμούς που έγιναν στην Ιαπωνία. Μόνο σε 26 από αυτούς παρατηρήθηκαν πρόδρομα φαινόμενα. (ποσοστό 23%). Στον πίνακα 3 αναφέρεται ποιοί είναι αυτοί οι σεισμοί και τι είδους πρόδρομα φαινόμενα παρατηρήθηκαν.

2.3.3. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Τα πρόσφατα χρόνια έχει αναγνωριστεί η αξία της μεταβολής της συγκέντρωσης ορισμένων ιχνοστοιχείων στα εδαφικά νερά, σαν πρόδρομο φαινόμενο καταστρεπτικών σεισμών, έτσι ώστε ένας υπολογίσιμος αριθμός από τέτοιους σεισμούς μπορεί με επιτυχία να προβλεφθεί (Κίνα - ΕΣΣΔ), (Hiroshi Wakita, 1984-1985).

Το ιχνοστοιχείο το οποίο κυρίως χρησιμοποιούμε για τέτοιου είδους έρευνες είναι το Rn που είναι το μόνο σπάνιο ραδιενεργό αέριο που υπάρχει στη φύση.

Έχει τρία ισότοπα, το  $^{222}\text{Rn}$  με χρόνο ημιζωής  $T_{1/2}=3.825$  ημέρες, το  $^{220}\text{Rn}$  με  $T_{1/2}=54,5$  sec και το  $^{219}\text{Rn}$  με  $T_{1/2}=3,92$  sec.

Το  $^{222}\text{Rn}$  είναι ένα νουκλεόνιο που ανήκει στις φθίνουσες σειρές του Ουρανίου ( $^{238}\text{U}$ ) και παράγεται από την μετασμάτωση του "άμεσα πατρικού του" νουκλεόνιου του ραδίου ( $^{226}\text{Ra}$ ) και είναι ένα αδρανές αέριο στοιχείο που εκπέμπει σωματίδια α.

Τα πετρώματα στο φλοιό περιέχουν σχετικά μεγάλες ποσότητες από Ουράνιο και κατά προσέγγιση και το ίδιο ποσοστό ραδονίου παρουσιάζεται στα πετρώματα και στα εδάφη. Το ραδόνιο που παράγεται στα πετρώματα ή φθάνει αμέσως στην επιφάνεια του εδάφους σαν αέριο, ή διαλύεται στα εδαφικά νερά για να διαφύγει έπειτα στην ατμόσφαιρα. Τα υπόγεια και επιφανειακά νερά και η ατμόσφαιρα περιέχουν μία συγκέντρωση σε ραδόνιο που είναι ανάλογη της δυναμικότητας και της απόστασης της πηγής από την οποία προέρχεται, της διαλυτότητας του ραδονίου στο νερό, του βαθμού εξαέρωσης και του χρόνου παραμονής.

Όπως το ράδιο, το πατρικό νουκλεόνιο του ραδονίου είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στα πετρώματα, έτσι συμβαίνει και με το ραδόνιο. Αν λάβουμε υπ' όψη μας το χρόνο ημιζωής του ραδονίου και τον συντελεστή της μοριακής του διάχυσης, το ποσοστό του  $^{222}\text{Rn}$  μέσα στα πετρώματα είναι εξαιρετικά χαμηλό και αυτό, αφ' ενός γιατί το ραδόνιο φθείρεται από μόνο του, αφ' ετέρου γιατί το ραδόνιο που είναι κοντά στην επιφάνεια διαφεύγει στην ατμόσφαιρα.

Ο βαθμός απελευθέρωσης του ραδονίου εξαρτάται περισσότερο από την δομή των ορυκτών και το κρυσταλλικό πλέγμα, παρά από την περιεκτικότητα σε ουράνιο των πετρωμάτων. Με άλλα λόγια η προέλευση του ραδονίου εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό κατακερματισμού των πετρωμάτων.

Το ραδόνιο στα εδαφικά νερά προηθεύεται από τα πετρώματα. Όπως ο βαθμός απελευθέρωσης ραδονίου από ένα πέτρωμα με καθορισμένες διαστάσεις επιφάνειας είναι σταθερός, έτσι και το εδαφικό νερό που έρχεται σε επαφή με αυτό το πέτρωμα θα έχει μια συγκεκριμένη συγκέντρωση σε ραδόνιο, εκτός αν υπάρχουν ανώμαλες καταστάσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ελεύθερης επιφάνειας των πετρωμάτων, όπως είναι οι προσεισμικές διαδικασίες.

(Σημειώνεται ότι το ραδόνιο που σχηματίζεται σε μια περιοχή μπορεί στην πραγματικότητα να κινηθεί σε άλλες περιοχές με υπολογίσιμη ταχύτητα. Τα σπασίματα και οι σχεσμές στις ρηξιγενείς ζώνες ενεργούν σαν περάσματα - δίοδοι προς την επιφάνεια μιας αέριας μάζας που περιέχει και ραδόνιο).

Όπως είπαμε λοιπόν, η συγκέντρωση του ραδονίου στα εδαφικά νερά δεν αλλάζει κάτω από κανονικές συνθήκες, εκτός από σταθερές ημερήσιες και

Α. Σ. Β.

ετήσιες αλλαγές. Άρα λοιπόν ανώμαλες μεταβολές στη συγκέντρωση του ραδονίου σημαίνουν ότι επίκειται σεισμός;; Δυστυχώς μέχρι σήμερα δεν υπάρχει ακριβής απάντηση γι' αυτό. Σύμφωνα με το Dilatancy model, μικροσκοπικές ρωγμές και πόροι σχηματίζονται στα πετρώματα της υποκεντρικής περιοχής πριν από ένα σεισμό και έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της επιφάνειας των πετρωμάτων. Για διαδοχική, μεγάλης κλίμακας μετανάστευση του νερού πιστεύεται ότι είναι αρκετά αποτελεσματική στο να εξάγει το ραδόνιο από τα πετρώματα. Εκτός από τα ανωτέρω βέβαια, μια διακύμανση στη συγκέντρωση του ραδονίου κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, θα αναμένεται στη βάση της υπόθεσης της προσεισμικής μεταβολής, που μπορεί να λάβει χώρα στο σύστημα του υπόγειου νερού και που οφείλεται στις κινήσεις του φλοιού (που μπορεί να είναι συμπύεση, εφελκυσμός, περιστροφή, παραμόρφωση του υδροφόρου) και στην μεταβολή της διαπερατότητας εξ αιτίας της διαφοροποίησης των τάσεων στο φλοιό.

Επιπρόσθετα σ' αυτούς τους παράγοντες μια άλλη ερμηνεία προτείνει ότι μεταγωγή θερμότητας των υγρών, εξ αιτίας τοπικών γεωθερμικών αποκλίσεων, μπορεί να προκαλέσει διαφοροποιήσεις στη συγκέντρωση ραδονίου στα αέρια του εδάφους.

Βασική έρευνα για τον μηχανισμό προέλευσης του ραδονίου διεξάγεται σε πολλές χώρες, όπου στο πετρωματικό πεδίο, χρησιμοποιούνται τόσο explosion seismology, όσο και μελέτη της παραμόρφωσης των πετρωμάτων στο εργαστήριο. Τέλος αναφέρεται ότι η τεχνική της μετρήσεως του ραδονίου έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και διάφοροι τύποι οργάνων έχουν εμφανισθεί (κυρίως από Ιαπωνία, ΗΠΑ και Κίνα), τόσο για κατά διαστήματα μετρήσεις όσο και για συνεχή καταγραφή μετρήσεων.

#### 2.3.4. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΣΣΔ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΙΝΑ

Οι μεταβολές στη συγκέντρωση του ραδονίου σαν πρόδρομο φαινόμενο των σεισμών έγιναν διάσημες με τον σεισμό της Τασκένδης, 1966,  $M=5,5$  (Hiroschi Wakita, 1984-1985).

Αρκετά χρόνια πριν από τον σεισμό είχε παρατηρηθεί αύξηση της συγκέντρωσης του ραδονίου σε δείγματα νερού από βαθειά πηγάδια. Αμέσως πριν τον σεισμό, η συγκέντρωση έφθασε ένα μέγιστο τρεις φορές περισσότερο από το κανονικό. Μετά τον σεισμό η συγκέντρωση επέστρεψε στα κανονικά της επίπεδα (Utiyoun, Manashev, 1971). Παρόμοιες μεταβολές παρατηρήθηκαν και στη θερμοκρασία και στην πίεση.

ΣΥΛΛΟΓΗ

Σήμερα στο Σεισμολογικό Ινστιτούτο της Τασκένδης γίνονται μελέτες στην συγκέντρωση αερίων στα νερά (Rn, He, Ar, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>...), στη χημική τους σύσταση (F, Cl, Hg, U, Mg, Ca, Fe,...), στην συγκέντρωση και αναλογία των ισοτόπων (<sup>2</sup>H/<sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C, <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O, <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar, <sup>234</sup>U/<sup>238</sup>U,...), στις μεταβολές της στάθμης, θερμοκρασίας και πίεσης των υδάτων, στο ΡΗ, Εh,... κλπ.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα πρόγνωσης σεισμού στην ΕΣΣΔ, είναι ο σεισμός της 1 Νοεμ. 1978, M=7 στην περιοχή του Garm, που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Simpson D., 1979). Μαζί με τα υπόλοιπα γεγονότα πρόδρομων φαινομένων (σεισμικότητα, παραμόρφωση φλοιού, .... κλπ.) που διαδραμάτισαν σοβαρό ρόλο στην πρόγνωση αυτή, πρέπει να αναφερθεί ότι δύο ομάδες παρατηρήσεων εμφανίζονται να έχουν επισπεύσει την άμεση πρόγνωση. Η πιο σπουδαία ήταν οι μετρήσεις της στάθμης των υδάτων. Για παράδειγμα το πιο βαθύ πηγάδι σε μια σειρά από 11 πηγάδια που καταγράφονταν οι στάθμες τους στην κοιλάδα της Fergana, σταμάτησε να ρέει την 1η Νοεμβρίου και η ροή στα άλλα βράδυσε.

Πολύ σημαντικά βήματα για την πρόγνωση των σεισμών έχουν γίνει στην Κίνα, ιδίως μετά τον σεισμό του Yingtaī, M=7,2, 22 Απρ. 1966, όπου τέθηκε σε ενέργεια το σύστημα πρόγνωσης των σεισμών στην επαρχία του Hebei. Μελετώντας τα πρόδρομα φαινόμενα μακράς διάρκειας, μέσης διάρκειας και μικρής διάρκειας, προγνώσεις ανακοινώθηκαν και 4 από τους 5 σεισμούς που έλαβαν χώρα το 1975 και 1976 προγνώστηκαν με επιτυχία (Hiroshi Wakita, 1984-1985, Raleigh B., et al., 1977]. Εξαιρέση ο σεισμός του Tangshan, M=7,8, 28 Ιουλ. 1976, όπου οι επιστήμονες δεν έκδοσαν προειδοποίηση αμέσως πριν τον σεισμό και αυτό εν μέρει οφείλεται στο γεγονός ότι δεν παρατηρήθηκαν φανερά πρόδρομα φαινόμενα (όπως προσεισμοί) και εν μέρει στην πολιτική αναστάτωση εκείνων των χρόνων. Εκτός από την εμφάνιση της αποτυχίας, η πρόγνωση του σεισμού του Tangshan μπορεί να θεωρηθεί σαν 100% επιτυχής από την άποψη των πρόδρομων φαινομένων που καταγράφηκαν.

Η επιτυχής πρόγνωση αυτών των σεισμών ήταν το αποτέλεσμα ενός συστήματος που συγκέντρωνε πρόδρομες πληροφορίες σε ένα μέρος και τις μελετούσε για να γίνουν κατανοητές. Μπορεί να πει κανείς ότι υπήρχε μια πολύ καλή συνεργασία ανάμεσα σε επαγγελματίες και ερασιτέχνες. Γεωχημικές έρευνες και συγκεντρωμένες παρατηρήσεις στα εδαφικά νερά, έπαιξαν έναν κρίσιμο ρόλο. Στις παρατηρήσεις αυτές περιλαμβάνονται η συγκέντρωση ραδονίου, οι στάθμες των εδαφικών νερών, η ποσότητα ροής και θερμοκρασία των υδάτων .... (Hiroshi Wakita, 1984-1985).

Σ/Α08

Σε όλους τους σεισμούς που προγνώστηκαν επιτυχώς στην Κίνα, παρατηρήθηκαν ταυτόχρονες και εκτεταμένες αλλαγές στην συγκέντρωση του ραδονίου. Οι μεταβολές αυτές άρχισαν 2 έως 3 χρόνια πριν από τον σεισμό και συνεχίζονταν μέχρι ακριβώς πριν να συμβεί ο σεισμός. Η καμπύλη μεταβολής της συγκέντρωσης του ραδονίου ποικίλει από περίπτωση σε περίπτωση. Υπήρχαν και θετικές και αρνητικές αλλαγές και απότομες κατακόρυφες και οξύλικτες αλλαγές στα σχήματα των καμπυλών μεταβολής της συγκέντρωσης του ραδονίου. Γενικά αυτές οι καμπύλες είναι πολυσύνθετες. Ξανερές ανωμαλίες βέβαια είναι υπερβολικά σπάνιες και διαφέρουν από πηγάδι σε πηγάδι. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι περίοδοι στις οποίες συμβαίνουν ανωμαλίες και έπειτα επιστρέφουν στην κανονική κατάσταση, φαίνεται χονδρικά να είναι οι ίδιες.

Επίσης σε πολλές περιπτώσεις οι ανωμαλίες στην συγκέντρωση του ραδονίου σχετίζονται με τις γεωμαγνητικές ανωμαλίες, την αντίσταση του εδάφους, τις κινήσεις του φλοιού και τους μικρούς και ενδιάμεσους σεισμούς.

Το σχέδιο των ανωράλων συγκεντρώσεων του ραδονίου πιστεύεται ότι αντανακλά την διαδικασία συγκέντρωσης, απελευθέρωσης και επαναφοράς των τάσεων του φλοιού.

Οι ανώμαλες συγκεντρώσεις ραδονίου εκτείνονται συνήθως 200 - 300 χλμ. μακριά από το επίκεντρο και σε μερικές περιπτώσεις φτάνουν τα 600 χλμ. Το εύρος της μεταβολής της συγκέντρωσης κυμαίνεται από 20 - 100%.

Στην περίπτωση του σεισμού του Longlin, παρατηρήθηκε ένας συσχετισμός ανάμεσα στην επικεντρική απόσταση, το μέγεθος της μεταβολής και το χρόνο που παρατηρήθηκε η ανωμαλία. Με άλλα λόγια, στο κοντινότερο στο επίκεντρο πηγάδι, η ανωμαλία εμφανίστηκε νωρίτερα απ'ότι στα άλλα και είχε το μεγαλύτερο εύρος.

Ορισμένα είδη πηγαδιών είναι αξιοπεριέργα ευαίσθητα στην παραμόρφωση του φλοιού που προηγείται των σεισμών. Και στις πέντε περιπτώσεις των σεισμών που προβλέφθηκαν στην Κίνα, είχαμε όμοιες παρατηρήσεις σε μεταβολές που σχετίζονται με το νερό των πηγαδιών. Μεταβολές στάθμης, εκτίναξη νερού συνοδευόμενη από βροντώδη ήχο, διαφυγή αερίων και πετρελαίου και μεταβολές στο χρώμα, την γεύση και την θερμοκρασία των υδάτων πριν τον σεισμό, είναι παραδείγματα τέτοιων φαινομένων. Οι ανωμαλίες αυτές εμφανίζονται κυρίως στην γεωτονική του επίκεντρου περιοχή, μία ή δύο ημέρες πριν τον σεισμό.

Δυστυχώς τέτοιου είδους ανωμαλίες δεν εμφανίζονται σε όλα τα πηγάδια. Πηγάδια που σημειώθηκαν ανωμαλίες διασκορπίζονται μεταξύ άλλων που δεν σημειώθηκε καμία μεταβολή. Δεν φαίνεται να υπάρχει και είναι πολύ δύσκολο να φθάσουμε σε ένα κανόνα που να μπορεί να υποδείξει ποιά πηγάδια

έχουν την τάση να παρουσιάζουν πρόδρομα φαινόμενα και ποιά όχι. Γενικά όμως μπορεί να πει κανείς ότι τέτοια φαινόμενα παρατηρούνται κυρίως σε πηγάδια που βρίσκονται στο μητρικό πέτρωμα, στο τέλος ρηγμάτων, ή στη διαστάυρωση δύο ρηγμάτων.

Στον πίνακα 4 (Hiroshi Wakita, 1984-1985) παρατίθενται οι κυριώτεροι σεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο από 6,8 που συνέβησαν στην Κίνα στο διάστημα 1966 έως και 1976, όπως επίσης και τα πρόδρομα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν.

### 2.3.5. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΙΣ Η.Π.Α.

#### 2.3.5.α. Μεταβολές των υπογείων υδάτων

Έχει διαπιστωθεί ότι οι στάθμες νερού των πηγαδιών ανταποκρίνονται σε μεταβολές που παράγονται από γήινες παλίρροες. Οι παλιρροιακές αυτές διακυμάνσεις στα πηγάδια παρέχουν μια απλή μέθοδο για καταγραφή των τάσεων στον γήινο φλοιό (Spall H. 1978)

Τα σεισμικά κύματα επίσης έχει αποδειχθεί ότι επιφέρουν μεγάλες διακυμάνσεις στις στάθμες ύδατος των πηγαδιών κατά το πέρασμά τους. Οι E.E. Rexin, J. Oliver & D. Prentiss, 1962, περιέγραψαν μεγάλες ταλαντώσεις σε ένα πηγάδι στο Milwaukee, κατά την διάρκεια πέρασματος σεισμικών κυμάτων από απομακρυσμένους σεισμούς.

Δεν αντιδρούν όμως όλα τα πηγάδια με ίδιες διακυμάνσεις στάθμης ύδατος. Ένα αρτεσιανό πηγάδι στην Φλόριδα, διακυμάνθηκε περισσότερο από 4,6 μ. μετά τον σεισμό του 1964 στην Αλάσκα, ενώ άλλα διακυμάνθηκαν μόνο λίγα κλάσματα του μέτρου. (Spall H. , 1978]

Η αντίδραση του πηγαδιού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι οι φυσικές ιδιότητες του πηγαδιού (ποσότητα νερού και πίεση) και η ευκολία ροής του νερού στο σύστημα.

Σε μερικές περιπτώσεις (J. Eaton, K. Takasaki , 1959] έχει βρεθεί και εμπειρική σχέση ανάμεσα στο μέγιστο εύρος και στο είδος του σεισμικού κύματος που προκαλεί αυτές τις ταλαντεύσεις. Ο καταστροφικός σεισμός του Meckering (Αυτ. Αυστραλία], M=6,9 , Οκτώβριος 1968, (Spall H., 1978), καταγράφηκε και σαν ταλάντευση της στάθμης του ύδατος σε τρεις γεωτρήσεις, 110 χλμ. μακριά από το επίκεντρο. Σε πολλά άλλα μέρη, στο Βέλγιο (A. Sterling & E. Smets, 1971], στο Περού, στην Ιαπωνία (Hiroshi Wakita, 1975), έχουμε τέτοιες καταγραφές.

Αν και οι σεισμοί γενικά είναι μια αξιοσημείωτη απόδειξη της απελευθέρωσης των τάσεων στον φλοιό, άλλοι μηχανισμοί απελευθέρωσης, όπως π.χ.

31 Δο 8

ένα φαινόμενο ερπυσμού, είναι πιο περίπλοκοι. Τέτοια γεγονότα μπορούν να καταγραφούν από πηγάδια; Η ρηξιγενής ζώνη του San Andreas προσφέρεται για τέτοιες παρατηρήσεις. Επειδή από τη στιγμή που στήθηκαν τα πρώτα δίκτυα καταγραφής δεν έχουν γίνει μεγάλοι σεισμοί, οι παρατηρήσεις κυρίως σχετίζονται με γεγονότα ερπυσμού που παρατηρούνται συχνά στο ρήγμα αυτό.

Καταγραφές στάθμης νερού έγιναν σε ένα πηγάδι (150 μ. βάθος) κοντά στο Hollister, Kalifornia (Almaden - Cienega Winery), όπου επεισόδια ερπυσμού παρατηρούνται συνεχώς στο ρήγμα. Τα δεδομένα από τις στάθμες του νερού πρέπει να υφίστανται κάποιες διορθώσεις που έχουν σχέση με διαφορές βαρυτομετρικής πίεσης. Οι αλλαγές στάθμης που παρατηρήθηκαν δεν οφείλονται σε βροχοπτώσεις ή σε αλλαγή θερμοκρασίας, αλλά συμπίπτουν στην ίδια χρονική περίοδο με τα επεισόδια ερπυσμού της 28ης Δεκ. 1971. Αναφέρεται μάλιστα ότι το γεγονός της μεταβολής της στάθμης συνέβη 2,5 ώρες πριν από το επεισόδιο (H. Spall, 1978). Η πτώση ή η άνοδος της στάθμης, όπως προτείνεται από μερικούς, εξαρτάται άμεσα από την διεύθυνση που θα διαδοθεί το φαινόμενο του ερπυσμού (Johnson et al., 1973).

Πιο εκτεταμένες έρευνες στην περιοχή Cienega Winery, 1975 (Mortensen C., 1977), έδειξαν ταυτόχρονες διακυμάνσεις της επιφάνειας ερπυσμού, της περιστροφής, της παραμόρφωσης και της στάθμης νερού. Σε μία περίπτωση το νερό χρειάστηκε 72 ώρες για να επιστρέψει στην κανονική του στάθμη, ενώ σε άλλη αρκετές μέρες.

Στην ίδια περιοχή από τους Kovach R. et al., 1975, ερευνήθηκε η σχέση σεισμών - μεταβολής στάθμης και παρατηρήθηκαν μικρές μεταβολές που ακολουθήθηκαν από σεισμούς, π.χ. Bear Valley,  $M=5$ , 24 Φεβρ. 1972 - Stone Canyon,  $M=4,7$ , 4 Σεπτ. 1972 - Lewis Ranch,  $M=4$ , 15 Ιαν. 1973.

Από τους ίδιους ερευνητές, στην ίδια περιοχή που παρουσιάζει ενεργό τεκτονικό ερπυσμό και σεισμικότητα, έγιναν επίσης επί τόπου μελέτες για την μεταβολή της πίεσης των πόρων σε συνδυασμό με μεταβολές στάθμης που προηγούνται σεισμών με μέτρο μέγεθος και αποδείχθηκε ότι η αρμονία αυτών των παρατηρήσεων μπορεί να ερμηνεύσει την προσεισμική διαδικασία, ή με μια συμπεριφορά τύπου dilatancy, ή με μια συμπεριφορά τύπου dislocation. Αποδείχθηκε επίσης πολύ στενή σχέση μεταξύ της πίεσης των πόρων και των φαινομένων ερπυσμού, που αποδεικνύει ότι οι παρατηρήσεις της στάθμης στα πηγάδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της μεταβολής των τάσεων κατά μήκος των ενεργών ρηξιγενών ζωνών.

31 40 87

Οι D.L. Lamar & P.M. Merifield, 1978, επισημαίνουν την σχέση των σεισμών με τις διακυμάνσεις της στάθμης σημειώνοντας ότι η μεγαλύτερη δυσκολία είναι στο να "φιλτραρισθούν" οι μεταβολές που προέρχονται από άλλες αιτίες (βροχόπτωση, ατμοσφαιρική πίεση, αποστράγγιση,...) και όχι από προσεισμική διαδικασία. Διαπιστώνουν επίσης ότι μικρής διάρκειας διακυμάνσεις αρχικά προκαλούνται από ατμοσφαιρική πίεση και ότι ένα πηγάδι ευαίσθητο στην ατμοσφαιρική πίεση είναι ένα καλό strainmeter. Η βροχόπτωση και οι εποχιακές μεταβολές στην ποσότητα νερού του υδροφόρου είναι οι μακράς διάρκειας αλλαγές που μπορούν να μπερδευτούν με αυτές που οφείλονται στην παραμόρφωση του φλοιού.

Οι T. Holzer, R. Gahrtsch, E. Verbeek, 1983, παρατηρούν σχέση μεταξύ βαθμού ενεργοποίησης ρηγμάτων και πτώσης στάθμης υδροφόρου ορίζοντα. Ιδίως τους καλοκαίριους μήνες, που λόγω αυξημένων αντλήσεων, πέφτει η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα παρατηρείται αύξηση της ενεργοποίησης των ενεργών ρηγμάτων τα οποία, σταματούν να κινούνται πολλές φορές εντελώς κατά την διάρκεια του χειμώνα που η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα ανέρχεται.

Συνοψίζοντας τις παρατηρήσεις από τις ΗΠΑ καταλήγουμε πάλι στο συμπέρασμα ότι το νερό των πηγαδιών είναι ευαίσθητο σε διάφορες διαδικασίες της γης (π.χ. γήινες παλέρροες, σεισμοί, φαινόμενα ερπυσμού, φαινόμενα περίστροφης του φλοιού,...), ό χ ε όμως πάντα. (π.χ. δεν υπήρχε ανώμαλη μεταβολή της στάθμης του νερού που να προηγήθηκε του σεισμού του Lewis Ranch, 28 Δεκ.1971 και του σεισμού βόρεια του Hollister, 28 Δεκ.1974) ένα πυκνό δίκτυο παρατηρήσεων στις ρηξιγενείς ζώνες σε συνδυασμό με δεδομένα από tiltmeters, creepmeters και μεταβολές στάθμης θα δώσουν θετικά αποτελέσματα.

#### 2.3.5.β. Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας

Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας χρησιμοποιούνται επίσης σαν μέτρο τοπικών ανυψώσεων και καταβυθίσεων που έχουν σχέση με σεισμούς.

Οι σεισμοί της Χιλής (1960) και της Αλάσκας (1964) προκάλεσαν αρκετά μέτρα κάθετης μετατόπισης των γραμμών ακτής (G. Plafker, J.C. Savage, από , M. Wyss 1978).

Στον σεισμό του Ακαπούλκο με  $M=6,4$  , 11 Ιαίου 1962, ένα παλιρροϊόμετρο κατέγραψε μεταβολές στην στάθμη της θάλασσας 4 ώρες πριν έως 11 ώρες μετά τον σεισμό (M. Wyss 1978).

Σ/Α 87



Επισημαίνεται ότι στις καταγραφές πρέπει να ξεχωρίζουμε τις διακυμάνσεις της στάθμης που προκαλούνται από ωκεανογραφικά και μετεωρολογικά δεδομένα όπως πχ. άνεμοι, ρεύματα, βροχή, θερμοκρασία, βαρομετρικές πιέσεις... κλπ.

Μεταβολές της στάθμης της θάλασσας την ώρα του σεισμού παρατηρήθηκαν και στον μεγάλο σεισμό με μέγεθος 8,2 πού έγινε στα Αλεούτια νησιά, όταν έσπασε το περιθώριο των πλακών Ειρηνικού - Β.Αμερικής. Μετά από καταβύθιση του εδάφους κατά 15 εκατ. χρειάστηκαν 5 χρόνια ανύψωσης για να φτάσει τα πριν τον σεισμό επίπεδα (Wyss M. 1978).

Παραμορφώσεις του φλοιού κατά την διάρκεια και μετά τον σεισμό, μας βοηθούν να προσδιορίσουμε τις τεκτονικές διαδικασίες κατά μήκος των περιθωρίων των πλακών. Εάν αποδειχθεί καθαρά ότι μπορεί να συμβαίνουν και προσεισμικές παραμορφώσεις του φλοιού, αυτό θα ήταν σημαντικό για την κατανόηση της προπαρασκευαστικής διαδικασίας του σεισμού, άρα και για την πρόγνωση. Η θεωρία της Dilatancy (διαστολής), είναι μια υπόθεση που εξηγεί τις αλλαγές στις φυσικές παραμέτρους της Γης που ίσως συμβαίνουν πριν από ρηχούς σεισμούς (dilatancy είναι η αύξηση σε όγκο του πετρώματος καθώς πλησιάζει το όριο θραύσης και θεωρείται ότι οφείλεται στην αύξηση του εύρους των μικροδιαρρήξεων).

Αν μιά τέτοια διαδικασία συμβεί στον φλοιό, απόδειξη θα είναι η ανύψωση του φλοιού και αυτό αντανακλάται σε τοπική καταγραφή καθόδου της στάθμης της θάλασσας κατά μήκος των γραμμών ακτών, στις τεκτονικά ενεργές περιοχές.

Στον σεισμό του Περού  $M=7,6$  1966 και  $M=7,8$  1970, φάνηκε ότι ορισμένες γρήγορες κατακόρυφες κινήσεις μπορεί να ήταν κάπως συνδεδεμένες με την προπαρασκευαστική διαδικασία των σεισμών που ακολούθησαν (Wyss M.1978).

Σε δύο σεισμούς που συνέβηκαν στο Hyuganada της Ιαπωνίας (1961  $M=7,0$  και 1968  $M=7,5$ ) παρατηρήθηκαν πριν τον σεισμό διακυμάνσεις στην στάθμη της θάλασσας που αντιστοιχούσαν σε 8 cm ανύψωσης της επικεντρικής περιοχής. Σημειώνεται ότι το 80% της ανύψωσης συνέβη σε μία περίοδο 8 μηνών το 1957 (Wyss M., 1978).

Γε τέτοια φαινόμενα, δεν συνδέονται όμως όλοι οι σεισμοί. Παραδείγματα, ο σεισμός του San Fransisco, 1906, του Puget Sound, 1942, του Long Beach, 1933, .... κλπ. (Wyss M., 1978). Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι αυτές οι μελέτες έδειξαν ότι οι μηνιαίες μεταβολές στάθμης της θάλασσας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δείξουν τοπική σεισμική άνοδο που μπορεί να συμβαίνει σε

31 47 8

μια περίοδο. Αν φάσεις πολύ γρήγορης ανύψωσης συμβούν εντός λίγων μηνών, μπορεί να είναι πρόδρομα φαινόμενα ενός μεγάλου σεισμού.

Αυτό που δεν έδειξαν οι μελέτες αυτές είναι ότι μεγάλοι σεισμοί προηγούνται πάντοτε από ανύψωση και τοπικές μεταβολές στάθμης της θάλασσας και ότι ανύψωση δεν ακολουθείται πάντα από σεισμούς. Είναι όμως φανερό ότι οι παλιροτογράφοι είναι ένας ανέξοδος τρόπος για να καταγράψουμε μεταβολές της ανύψωσης που υπερβαίνουν λίγα cm. Ένα δίκτυο τοποθετημένο κατά μήκος παραθαλάσσιων περιοχών, κοντά σε ενεργά ρήγματα, είναι ένας τρόπος για να πάρουμε πληροφορίες για ανησυχιτική ανύψωση (uplift) άρα και πιθανά ενδεχόμενο σεισμό (Wyss M., 1978).

### 2.3.6. Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

#### 2.3.6.α. Τα ρήγματα και το φαινόμενο της απελευθέρωσης αερίων

Είναι βέβαια γνωστή η σχέση ρηγμάτων σεισμών. Ένα από τα κύρια προβλήματα που παρουσιάζονται είναι ο εντοπισμός των ενεργών ρηγμάτων. Νεοτεκτονικές μελέτες βέβαια δίνουν απάντηση σ' αυτό το πρόβλημα. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου ρήγματα θαμμένα κάτω από λεπτό πάχος ιζημάτων δεν είναι εύκολο να εντοπισθούν. Το γεγονός ότι πολλές μεγάλες πόλεις είναι χτισμένες πάνω σε τέτοια ρήγματα είναι κρίσιμο να μπορέσουμε να βρούμε ένα τρόπο για τον εντοπισμό αυτών των ρηγμάτων.

Από τον καιρό που δημιουργήθηκε η Γη διάφορα αέρια οδηγούνται συνέχεια από το εσωτερικό προς την ατμόσφαιρα σε διάφορους βαθμούς. Αυτή η απελευθέρωση αερίων είναι πιο έντονη στις περιοχές ηφαιστείων και στις μεσοωκέανες ράχες, αλλά γενικά είναι ένα κοινό φαινόμενο. Περιοχές με μεγαλύτερο ποσοστό κατακερματισμού, συμπεριλαμβανομένου και των ρηγμάτων, πιθανά παρουσιάζουν ένα μεγαλύτερο βαθμό απελευθέρωσης αερίων. Συγκεντρώσεις σε στοιχεία που δεν είναι ιδιαίτερα άφθονα στην ατμόσφαιρα, όπως το He, H<sub>2</sub> και Rn, φαίνεται να είναι ένα αποτελεσματικό μέσο να αποκτήσουμε κάποια στοιχεία για να απαντήσουμε στο ανωτέρω πρόβλημα (π.χ. πρόσφατα κατά μήκος του σεισμογόνου ρήματος του Matsushiro αναφέρθηκε η ύπαρξη μιας περιοχής με υψηλότερη ροή He ( $3 \times 10^4$  φορές), απ' ό,τι το κανονικό).

#### 2.3.6.β. Αναλογία $^3\text{He}/^4\text{He}$

Σε διάφορες περιπτώσεις είναι χρήσιμη και η προσεκτική μελέτη αυτής της αναλογίας που σχετίζεται με τις μετακινήσεις των πλακών. Από την μελέτη

αυτή κερδίζουμε πολλές πληροφορίες, διαφορετικές από αυτές που κερδίζουμε με τα γεωφυσικά και διευκολύνουν την διασάφηση των συνθηκών κάτω από τις οποίες συμβαίνουν οι σεισμοί.

Τέλος πρέπει να πούμε ότι η μελέτη των ισοτοπικών αναλογιών διαφορών στοιχείων ή η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων στα εδαφικά νερά είναι πράγματι καθοριστική για το μέλλον της επιτυχούς πρόγνωσης των σεισμών και πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψη.

Επιπλέον είναι απαραίτητο να αναπτύξουμε στενοούς δεσμούς μεταξύ της εμπειρίας από τα πετρωματικά δεδομένα και των παρατηρήσεων. Για παράδειγμα η συγκριτική ανάλυση των δεδομένων από ακτουαλιστικές παρατηρήσεις και από εργαστηριακά πειράματα που εξομοιώνουν τις συνθήκες στον γήινο φλοιό, υποβάλλοντας πετρώματα και νερό σε ελεγχόμενη πίεση κάτω από ελεγχόμενη θερμοκρασία, αποδεικνύεται πολύ χρήσιμη (Hiroshi Wakita, 1984-1985).

#### Βιβλιογραφία

- EATON, J. P. - TAKASAKI, K. J. 1959. Seismological Interpretation of earthquake-induced water-level fluctuations in wells : Bull. of the Seismol. Soc. of America, Vol. 49, 227-245.
- HOLZER, T. - GABRYSCH, K. - VERBEEK, E. 1983. Faulting arrested by control of ground-water withdrawal in Houston, Texas : Earth. Inf. Bull., Vol. 15, N.6.
- JIANG FONG-LIANG - LI GUI-RU, 1981. The application of geochemical methods in earthquake prediction in China ; Geoph. Res. Letters 8, 5, 469-472.
- KING, C. 1978. Radon emanation on the San Andreas fault : Earth. Inf. Bull. Vol. 10, N.4.
- KOVACH, R. L. - NUR - AMOS - WESSON, R. L. - ROBINSON - RUSSELL. 1975. Water-level fluctuations and Earthquakes on the San Andreas fault zone : Geology, Vol. 3, 437-440.
- LAMAR, D. - MERIFIELD, P. 1978. Water level monitoring in the area of the Palmdale uplift, Southern California : Earth. Inf. Bull. Vol. 10, N.4.
- MOGRO-CAMPERO, A. - FLEISCHER, R. L. 1977. Subterrestrial fluid convection - A hypothesis for long-distance migration of radon within the earth : Earth Planet. Sci. Lett., 34, 321-325.
- MORTENSEN, E. C. - LEE, R. C. - BURFORD, R. O. 1977. Observations of creep-related tilt, strain and water-level changes on the Central San Andreas fault : Bull. Seis. Soc. of America, Vol. 67, 641-649.

AP 31 87

- NOGUCHI, M. - WAKITA, H. 1977. A method for continuous measurement of radon in groundwater for earthquake prediction : J. Geophys. Res., 83, 1353-1357.
- RALEIGH, B.... et al. 1977. Prediction of the Haicheng earthquake : EOS, 58 (5).
- REXIN, E. R. - OLIVER, Jack - PRENTISS, David. 1962. Seismically-induced fluctuations of the water level in the Nunn-Bush well in Milwaukee : Bull. of the Seism. Soc. of America, Vol. 52, 17-25.
- SIMPSON, W. D. 1979. Soviet prediction of a major earthquake : Earth. Inf. Bull., Vol. 11, N.6.
- SPALL, H. 1978. Water level changes and earthquake prediction : Earth. Inf. Bull., Vol. 10, N.2.
- STERLING, A. - SMETS, E. 1971. Study of Earth Tides, Earthquakes and Terrestrial Spectroscopy by analysis of the level fluctuations in a Borehole of Heibaart (Belgium) : Geoph. Jour. Roy. Astr. Soc., Vol. 23, 225-242.
- ULOMOV, V. I. - MAVASHEV, B. Z. 1971. The Tashkent earthquake of 26 April: Akad. Nauk UzbeK SSR FAN, 188.
- USAMI, T. 1975. Descriptive Table of Disastrous Earthquakes in Japan : Univ. of Tokyo Press, 327 p.
- VORHIS, R. C. 1968. In the Great Alaska Earthquake of 1964 : National Academy of Sciences, Washington D.C., 140-236.
- WAKITA, H. 1975. Water wells as possible indicators of tectonic strain : Science, 189, 535-555.
- WAKITA, H. 1978. Earthquake prediction and geochemical studies in China : Chin. Geophys. 1, 443-457.
- WAKITA, H. - NAKAMURA, Y. - NOTSU, K. - NOGUCHI, M. - ASADA, T. 1980. Radon anomaly - A possible precursor of the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake : Science, 207, 882-883.
- WAKITA, H. - FUJI, N. - MATSUO, S. - NOTSU, K. - NAGAO, K. - TAKAOKA, N. 1978. Helium spots-Caused by a diapiric magma from the upper mantle : Science, 200, 430-432.
- WAKITA, H. 1984-1985. Changes in Groundwater Level and Chemical Composition: Earth. predic. techn. and their appl. in Japan, Tokyo Press, 175-216.
- WYSS, M. 1978. Sea level changes before large Earthquakes : Earth. Inf. Bull., Vol. 10, N.5.

10218

2.4. Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

2.4.1. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΠΡΟΔΡΟΜΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στον τομέα της μελέτης των πρόδρομων φαινομένων που σχετίζονται με τις προσεισμικές κινήσεις και παραμορφώσεις του φλοιού, δεν έχει γίνει απολύτως τίποτα μέχρι στιγμής στη χώρα μας.

Σε σχέση με τις παρατηρήσεις μεταβολής της στάθμης των υπογείων υδάτων, μια μόνο περιστασιακή περίπτωση αναφέρεται (Δ.Κωνσταντινίδης, 1986), όπου παρατηρήθηκε μια μη κανονική -ανώμαλη- μεταβολή της στάθμης στους υπόγειους υδροφορείς της περιοχής της Εσσαλίας, που είναι πιθανό αποτέλεσμα της προσεισμικής αλλαγής της δομής και υφής των ιζημάτων των υδροφορέων, με αποτέλεσμα την μικρή αλλαγή στις υδροδυναμικές ιδιότητες των υπόγειων υδροφορέων.

Οι ανώμαλες αυτές μεταβολές της στάθμης δεν μπορούσαν να αποδωθούν σε κανένα από τα γνωστά ή συνηθισμένα φαινόμενα και ήρθε 30 ημέρες μετά ο σεισμός των 6,4 με επίκεντρο τον Αλμυρό (Ν. Μαγνησίας) και εκ των υστέρων έδωσε αυτός την ερμηνεία της ανώμαλης μεταβολής - ανύψωσης της στάθμης.

Ορισμένες ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις από την περίπτωση του Αλμυρού είναι:

- 1) Όσο πιο κοντά στο επίκεντρο βρίσκεται το σημείο παρατήρησης, τόσο μεγαλύτερη ανύψωση και επηρεασμό έχουμε της στάθμης του νερού.
- 2) Όσο το πιεζόμετρο είναι σε μεγαλύτερο βάθος -δηλαδή επηρεάζεται από τα βαθειά υδροφόρα στρώματα- τόσο περισσότερο ανυψώνεται η στάθμη σ' αυτό.
- 3) Οι κλειστοί υδροφορείς επηρεάζονται περισσότερο από τα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα.
- 4) Στους υδροφορείς που το πάχος είναι σχετικά μεγάλο, ο επηρεασμός τους είναι αντίστροφα ανάλογος.
- 5) Όσο προς το κέντρο της πεδιάδας βρίσκεται το πιεζόμετρο, τόσο περισσότερο έχει ανυψωθεί.
- 6) Τα διάφορα πιεζόμετρα δεν είχαν τον ίδιο χρόνο προσεισμικού επηρεασμού, τα βαθύτερα (περίπου 200 μ.) κυρίως είχαν ένα μήνα πριν τον σεισμό, ενώ τα αβαθή λιγότερες ημέρες ανάλογα.

Επίσης διάφορες μη συστηματικές παρατηρήσεις αναφέρονται από πολύ παλιά στην βιβλιογραφία για τους σεισμούς στην Ελλάδα, που κύρια έχουν σχέση με πρόδρομα υδρογεωλογικά φαινόμενα.

31 Απρ 81

Π.χ. αναφέρεται (Μαραβελάκης Μ. 1933, 1936), ότι επτά ώρες πριν από τον σεισμό της 29<sup>ης</sup> Σεπτ. 1932 που έγινε στην Χαλκιδική, παρατηρήθηκε αύξηση της παροχής, του ύδατος και των αερίων, και της θερμοκρασίας (κατά 3<sup>ο</sup>), των θερμών πηγών της Νέας Απολλωνίας. Μετά τον σεισμό, είχαμε πτώση στάθμης κατά ένα μέτρο.

Επίσης αναφέρεται (Μαραβελάκης Μ. 1941), ότι πριν από τον σεισμό του Φεβρ. 1940 στην Κατερίνη και από 29 Ιαν. - 5 Φεβρ. παρατηρήθηκε έκτακτη παλλιστική κίνηση, που καταγράφηκε στον λιμένα της Θεσσαλονίκης.

Τέλος αναφέρονται και διάφορα φαινόμενα (Μαραβελάκης Μ. 1933, 1936, 1941), που παρατηρούνται κατά την διάρκεια και μετά τους σεισμούς όπως, άνοδος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, διακοπή της ροής των πηγών, εκτίναξη ύδατος και άμμου, αύξηση της θερμοκρασίας του ύδατος, δημιουργία θερμών πηγών, μείωση της καθαρότητας των υδάτων σε φρέατα, πηγές και λίμνες, σχηματισμός ρωγμών και ανέξοδος αερίων, μεταμορφώσεις των ακτών, κατολισθήσεις..... κλπ.

#### ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Το πρόβλημα των σεισμών στην Ελλάδα είναι οξύ και όλες οι απαραίτητες ενέργειες για την λύση του πρέπει να είναι άμεσες και καθοριστικές. Από την σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση που έγινε σχετικά με την πρόγνωση των σεισμών με γεωλογικές μεθόδους, έγινε φανερό ότι:

- 1) Η εξέλιξη στο θέμα πρόγνωση των σεισμών είναι τεράστια.
- 2) Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι που εξετάζουν διάφορα πρόδρομα φαινόμενα.
- 3) Καμία μέθοδος πρόγνωσης δεν μπορεί από μόνη της να δώσει οριστική απάντηση στο πρόβλημα. Μόνο συνεργασία όλων των μεθόδων θα αποδώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα.
- 4) Όσο πιο μακροχρόνιες είναι οι παρατηρήσεις και τα δεδομένα που έχουμε από μια περιοχή, τόσο η ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι πιο σωστή (μιάς και μπορούμε να διακρίνουμε τι αποτελεί ανωμαλία και τι όχι) και η προσέγγιση στο θέμα πρόγνωση πιο ακριβής.
- 5) Συνεχείς (και όχι μόνο κατά διαστήματα) παρατηρήσεις απαιτούνται για μια σοβαρή προσπάθεια ακριβούς πρόγνωσης. Η αξία των συνεχόμενων παρατηρήσεων έχει αποδειχθεί, γι' αυτό πολλές χώρες (Ιαπωνία, Η.Π.Α., Ε.Σ.Σ.Δ., ...), έχουν ήδη από αρκετά χρόνια εγκαταστήσει δίκτυα διάφορων οργάνων, με τηλεμετρική καταγραφή και συλλογή στοιχείων, με πολύτιμα μέχρι τώρα αποτελέσματα.

Σημειώσεις

Η πρόγνωση των σεισμών στην Ελλάδα, έχει ήδη προχωρήσει αρκετά από την σκοπιά των προσεισμηικών ηλεκτρικών μεταβολών των πετρωμάτων και ήδη έχει γίνει μια σοβαρή προσπάθεια με το Β.Α.Ν.

Οι σεισμολόγοι επίσης, όσο αφορά την πρόγνωση των σεισμών με τις δικές τους μεθόδους, έχουν ήδη κάνει κάποια σημαντικά βήματα.

Αντίθετα στον τομέα της μελέτης των πρόδρομων φαινομένων που σχετίζονται με τις προσεισμικές κινήσεις του φλοιού, δεν έχει γίνει καμία ερευνητική προσπάθεια.

Όπως όμως και προηγουμένως αναφέραμε, η συμβολή της μελέτης των φαινομένων αυτών στην πρόγνωση των σεισμών είναι πολύ μεγάλη και τα αντισεισμικά προγράμματα και στην Ιαπωνία και στις ΗΠΑ αλλά και σε άλλες χώρες, στηρίζονται κατά ένα μεγάλο μέρος στην συλλογή αυτού του είδους στοιχείων, που η προσφορά τους στην ακριβή πρόγνωση ενός σεισμού έχει αποδειχθεί τεράστια.

Στα πλαίσια λοιπόν της συνεργασίας των διαφόρων μεθόδων πρόγνωσης των σεισμών και επειδή στην Ελλάδα είναι άμεσο και επείγον το πρόβλημα, πρέπει να αντιμετωπιστεί σοβαρά η εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου παρατηρήσεων, όσο το δυνατόν πιο σύντομα, μιάς και οι μακροχρόνιες παρατηρήσεις είναι το "κλειδί" μιας επιτυχούς προσπάθειας.-

### Β ι β λ ι ο γ ρ α φ ί α

- ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ, Δ. 1986. Προσεισμική μεταβολή της στάθμης στους υπόγειους υδροφορείς. Παρατηρήσεις για πρόβλεψη σεισμού από την μεταβολή της στάθμης στους υδροφορείς Ξεσσαλίας: Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., Τ.18
- ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ, Μ. 1933. Οι Γεωλογικοί και μακροσεισμικοί χαρακτήρες, των σεισμών της Χαλκιδικής: Πανεπ. Ξεσσαλον. 1933
- ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ, Μ. 1936. Σπουδή επι των σεισμών της Χαλκιδικής. Ο κρυσταλλοπαγής όγκος του Βερτίσκου και αι περίξ αυτού θέρμαι. Προ και μετασεισμική σύσταση αυτών: Πανεπ. Ξεσσαλον. 1936
- ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ, Μ. 1941. Μακροσεισμική σπουδή των σεισμών της Κατερίνης: Δημοσιεύματα εταιρίας Μακεδονικών σπουδών, 2, Ξεσσαλον. 1941

31 ΑΒ

Π Ι Ν Α Κ Ε Σ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. (Suyehiro, S. 1984-1985). Παραδείγματα από παρατηρήσεις ανωμαλών κινήσεων του φλοιού που προηγούνται από σεισμούς στην Ιαπωνία (βασισμένο σε μελέτες του Y. Suzuki of J.M.A.).

No	Ετος	Σεισμός	Μέγεθος	Μέθοδος παρατήρησης	Θέση παρατήρησης	Χρόνος εμφάνισης πρόδρομου φαινομένου πριν τον σεισμό	No	Ετος	Σεισμός	Μέγεθος	Μέθοδος παρατήρησης	Θέση παρατήρησης	Χρόνος εμφάνισης πρόδρομου φαινομένου πριν τον σεισμό
1	1694	Noshiro earthquake	7.0	Observation	Oinorishimohama (Noshiro City)		3	1802	Sado earthquake	6.6	Observation	Ogi Harbor	App 4 hours
2	1793	Western Tsugaru earthquake	6.9	Observation	Ajigasawa	A few hours	4	1872	Hamada earthquake	7.1	Observation	Hama-daura	Approx. 20 min.

3/10/81



No.	Ετος	Σεισμός	Μέγεθος	Μέθοδος παρατήρησης	Θέση παρατήρησης	Χρόνος εμφάνισης πόρρωτου φαινομένου πριν τον σεισμό
5	1923	Great Kanto earthquake	7.9	Tide level	Aburatsubo	10 years
				Tilt change	Mitaka	Approx. 4 years
				Tilting	Tokyo	1 month Approx. 8 hours
6	1927	Northern Tango earthquake	7.5	Observation	Sanzu	Approx. 2-3 hours
7	1927	Sekihara earthquake	5.3	Leveling	Leveling Point 3755-3760	
8	1930	Northern Izu earthquake	7.0	Leveling	Leveling Point 9333-9332	

No.	Ετος	Σεισμός	Μέγεθος	Μέθοδος παρατήρησης	Θέση παρατήρησης	Χρόνος εμφάνισης πόρρωτου φαινομένου πριν τον σεισμό
9	1943	Tottori earthquake	7.4	Tilting	Ikuno Mine	Approx. 6 hours
10	1944	Tonankai earthquake	8.0	Leveling	Kakegawa	Approx. 10 years
				Leveling	Kakegawa	Several hours
11	1945	Mikawa earthquake	7.1	Tide level	Senma, Nishiura, Maeshiba	Approx. 4-5 years
12	1946	Nankai earthquake	8.1	Leveling	Kii Peninsula and Shikoku	
				Leveling	Muroto Cape	11 years
				Tide level	Uwajima	5-6 years

5/ 87

No	Ετος	Σεισμός	Μέγεθος	Μεθοδος παρατηρησης	Θεση παρατηρησης	Χρονος επιμονης μετρησεων που γινεται πριν τον σεισμό
				Tide level	Tosashimizu	4-5 years
13	1952	Tokachi offshore earthquake	8.1	Tide level	Hachinohe	Approx. 5 years
14	1952	Daishoji offshore earthquake	6.8	Tilting	Ogoya	3 months 8 days
15	1952	Yoshino earthquake	7.0	Strain	Mt. Osaka	Approx. 10 months
				Tilting	Yura	About 10 days
16	1955	Futatsui earthquake	5.7	Leveling		Leveling Point 5856-5857

No	Ετος	Σεισμός	Μέγεθος	Μεθοδος παρατηρησης	Θεση παρατηρησης	Χρονος επιμονης μετρησεων που γινεται πριν τον σεισμό
17	1960	Odaigahara earthquake	6.0	Strain, tilt	Various observation sites in Kii Peninsula	Several months
						Several days
18	1961	Nagaoka earthquake	5.2	Leveling	Leveling Point 3759	Approx 3 years
19	1961	Hyuga Sea earthquake	7.0	Tide level	Hososhima	Approx. 4 years
				Tilting	Makino-mine	Approx. 12 days
20	1961	Northern Mino earthquake	7.0	Leveling	Katsuyama-Ono	

31 40 87

No.	Ετος	Σεισμός	Μέγεθος	Μέθοδος παρατήρησης	Θέση παρατήρησης	Χρόνος εμφάνισης παρόμοιου φαινομένου πριν τον σεισμό	No.	Ετος	Σεισμός	Μέγεθος	Μέθοδος παρατήρησης	Θέση παρατήρησης	Χρόνος εμφάνισης παρόμοιου φαινομένου πριν τον σεισμό
21	1964	Niigata earthquake	7.5	Leveling	Niigata	Approx. 10 years; 4-5 years	24	1969	Central Gifu earthquake	6.6	Strain, tilting	Inuyama	Approx. 290-300 days; 50-60 days; several hours
				Tilting	Mase	6-7 years; approx. 4 years					Strain, tilting	Kamidakara	Approx. 8-9 months
				Tide level	Nezugasaki	6-7 years; approx. 4 years					Optical wave	Fuchi	
22	1965	Matsushiro swarm earthquakes		Tilting	Matsushiro		25	1970	South-eastern Akita earthquake	6.2	Leveling	Leveling Point 5540-5556	
											Tilting	Nibetsu	Approx. 60-70 days
23	1967	Omi earthquake	5.1	Leveling	Leveling Point 5090-5128		26	1971	Atsumi Peninsula offshore earthquake	6.1	Strain, tilting	Inuyama	Approx. 250 days

31 100 83

No	Ετος	Σεισμός	Μέγεθος	Μέθοδος παρατήρησης	Θέση παρατήρησης	Χρόνος εμφάνισης παρόμοιου φαινομένου πριν τον σεισμό
27	1973	Nemuro Peninsula offshore earthquake	7.4	Strain, tilting	Erimo	Approx. 1 year; approx. 1 month
28	1973	Central Waka-yama earthquake	5.9	Strain	Kishu	
29	1974	Izu Peninsula offshore earthquake	6.9	Strain	Fujikawa	Approx. 7 months; approx. 2 months
30	1975	Aichi Southern Coast earthquake	4.3	Strain	Toyo-hashii	
31	1975	Micro-earthquakes (Yamasaki Fault)		Strain	Yasutomi	

No	Ετος	Σεισμός	Μέγεθος	Μέθοδος παρατήρησης	Θέση παρατήρησης	Χρόνος εμφάνισης παρόμοιου φαινομένου πριν τον σεισμό
32	1976	Eastern Yamashashi earthquake.	5.5	Strain	Shizuoka	
				Strain, tilting	Fujikawa	
33	1976	Hama-matsu vicinity earthquake	3.5	Strain	Toyohashi	

31/408

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. (Suyehiro, S. 1984-1985). Τα δίκτυα παρατηρήσεων (strainmeters) από τις περιοχές Tokai & Southern Kanto.

Τοποθεσία	Βάθος	Ημερομηνία εγκατάστασης	Ημερομηνία αρχής παρατηρήσεων	Μέθοδος καταγραφής (τοπική)	Μέθοδος καταγραφής (κεντρική)	Απόσταση από τον γεωτμητικό στύβλο	Τύπος πετρώματος
Irako	141 m	9/ 5/75	4/1/76	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip & digital tape		Black schist (Palaeozoic)
Mikkabi	51	10/11/75	4/1/76	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip & digital tape	54 km	Clayslate (Palaeozoic)
Hamaoka	250	2/21/77	4/1/77	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip	10	Mudstone (Tertiary)
Omaezaki	208	11/ 1/75	4/1/76	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip & digital tape	15	Mudstone (Tertiary)
Haibara	250	2/23/77	4/1/77	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip	30	Mudstone (Tertiary)
Shizuoka	60	11/19/75	4/1/76	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip & digital tape	56	(Palaeogene)
Irozaki	133	2/ 2/76	4/1/76	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip & digital tape	56	(Andesite)
Ajiro	120	9/ 2/76	4/1/77	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip & digital tape	55	(Brecchia)
Yokosuka	146	9/ 8/76	4/1/77	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip & digital tape	60	Basalt (Lava)
Tateyama	190	8/ 4/76	4/1/77	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip & digital tape	60	Mudstone (Neogene)
Katsuura	180	9/21/76	4/1/77	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip & digital tape	30	Mudstone (Neogene)
Choshi	100	12/24/76	4/1/77	Continuous analog 2cm/hr	Visible dot strip & digital tape	45	Mudstone (Neogene)
						78	Sandstone (Palaeozoic)

31 40 89

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. (Wakita H. 1984-1985). Αναφέρονται οι μεγαλύτεροι σεισμοί που συνέβησαν στην Ιαπωνία μέχρι το 1978, καθώς και τα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν πριν, κατά την διάρκεια και μετά από αυτούς. Τα πρόδρομα φαινόμενα σημειώνονται με ©

	Ημερομηνία	Σεισμοί		Παρατηρήσεις φαινομένων												
		Θέση επικέντρου	Μέγεθος	Υπόγεα ύδατα												
				Στάθμη		Θερμοκρασία		Καθαρότητα	Θορότητα	Αεραυλή αερίων	Εκτίναξη άμμου & νερού	Αύρα				
				Ανοδος	Πτώση	Αύξηση	Ελάττωση									
1	Nov. 29, 684	Kyushu, Shikoku, Tokai districts	8.4		○											
2	Jul. 10, 863	Toyama and Niigata Prefs.	7.0	○												
3	Oct. 9, 1257	Southern Kanto district	7.0	○												○
4	Aug. 3, 1361	Kinki district, Shikoku	8.4		○											
5	Jan. 21, 1408	Kii Peninsula, Wakayama Pref.	7.0		○											
6	Sep. 20, 1498	Throughout Tokaido	8.6		○											
7	Sep. 4, 1596	Oita Pref.	6.9		○											
8	Sep. 5, 1596	Kyoto and its vicinity	7.0	○		○										
9	Nov. 26, 1614	Takada, Niigata Pref.	7.7		○											
10	Oct. 18, 1644	Honjo, Akita Pref.	6.9	○												
11	Dec. 29, 1685	Ehime Pref.	5.9		○											
12	Jan. 4, 1686	Hiresshima and Ehime Prefs.	7.0					○	○							
13	Jun. 19, 1694	Noshiro, Akita Pref.	7.0												○	○
14	Dec. 12, 1694	Western Kyoto Pref.	6.1												○	
15	Oct. 28, 1707	Throughout Honshu, Shikoku, Kyushu (Hoei earthquake)	8.4		○							○	○	○		
16	May 13, 1717	Hanamaki, Iwate Pref.	7.6												○	
17	Dec. 18, 1723	Western Fukuoka Pref.	6.2												○	
18	Oct. 7, 1731	Iwashiro, Western Fukushima Pref.	6.6		○											
19	May 20, 1751	Toyama and Niigata Prefs.	6.6									©			○	

31 40 89



	Ημερομηνία	Σεσμοί		Παρατηρήσεις φαινομένων											
		Θέση επικέντρου	Μέγεθος	Υπόγεια ύδατα						Αιφηνική αερίων	Εκτίναξη αέριου & νερού	Απόσφαση			
				Στάθμη		Θερμοκρ.		Καθαρότητα	Βοδότητα						
				Ανοδος	Ψέωση	Αύξηση	Ελάττωση								
38	Jan. 7 1890	Saikawa Basin, Nagano Pref.	6.3	○		○									
39	Oct. 28 1891	Aichi and Gifu Prefs. (No'ri earthquake)	8.4	○	⊙				○	⊙	○	⊙			
40	Sep. 7, 1893	Near Chiran Village, Kagoshima Pref.	6.4	○	⊙	○	⊙	○							
41	Jun. 20, 1894	Tokyo Bay Area	7.5		○	○			○				○		
42	Oct. 22, 1894	Shonai Plain, Yamagata Pref. (Shonai earthquake)	7.3			⊙							○	⊙	
43	Aug. 31, 1896	Border of Akita and Iwate Prefs. (Rikuu earth- quake)	7.5	○	○	○	○	○					○		
44	Jan. 17, 1897	Northern Nagano Pref.	6.3										○		
45	Feb. 20, 1897	Sendai offshore, Miyagi Pref.	7.8										○		
46	Apr. 3, 1898	Mishima, Is., Yamaguchi Pref.	6.8						○						
47	Apr. 23, 1898	Iwate offshore	7.8										○		
48	May 26, 1898	Near Muika- machi, Niigata Pref.	6.7										○		
49	Aug. 10, 1898	Near Fukuoka City, Fukuoka Pref.	6.5			⊙	○						○	⊙	

3/10 SK



	Ημερομηνία	Σεισμοί		Παρατηρήσεις φαινομένων											
		Θέση επικέντρου	Μέγεθος	Υπόγεια ύδατα						Αεραγωγή αερίων	Εκτίναξη δάμμου & νερού	Αύρα			
				Στάθμη		Θερμοκρ		Καθαρότητα	Θολότητα						
				Ανοδος	Ρίθση	Αύξηση	Ελάττωση								
50	Nov. 13, 1898	Kiso River Basin, Aichi Pref.	6.5						○	○					
51	May 28, 1902	Kushiro offshore, Hokkaido	7.4							○					
52	Aug. 10, 1903	Western part of Mt. Norikura, Gifu Pref.	5.7		○										
53	May, 8, 1904	Near Muikamachi, Niigata Pref.	6.9										○		
54	Aug. 14, 1909	Near Anegawa, Shiga Pref. (Gono earthquake)	6.9	○	○								○	○	
55	Jul. 24, 1910	Mt. Usu, Hokkaido	6.5	○		○									
56	Sep. 8, 1910	Onishika, Hokkaido	5.6										○		
57	Jan. 12, 1914	Sakurajima, Kagoshima Pref.	6.1	⊙		⊙							⊙		
58	Mar. 15, 1914	Senpoku-gun, Akita Pref. (Akita Senpoku earthquake)	6.4			○							○		
59	May 23, 1914	Izumo, Shimane Pref.	6.3	○		○									
60	Jul. 14, 1915	Kurino-Yoshimatsu, Kagoshima Pref. (West of Mt. Kirishima)							○				○		
61	Nov. 26, 1916	Kobe, Hyogo Pref.	6.3						○						
62	Nov. 11, 1918	Omachi and its vicinity, Nagano Pref.	6.1	○	○	○									○

Σ/Δ 8

	Ημερομηνία	Σεσημό	Μέγεθος	Παρατηρήσεις φαινομένων										
				Υπόγεα ύδατα										
				Στάθμη		Θερμοκρασία		Καθαρότητα	Θορότητα	Ατμοσφ. αερίων	Εκτίναξη άμμου & νερού	Αιθέρα		
				Ανοδος	Πτώση	Αύξηση	Ελάττωση							
63	Nov. 1, 1919	Miyoshi and its vicinity, Hiroshima Pref.		○	○									
64	Dec. 8 1922	Chijiwa Bay, Nagasaki Pref.		○	○			○		○				○
65	Sep. 1, 1923	Southern Kanto district	7.9	⊙	⊙			⊙	⊙	⊙				⊙
66	May 23, 1925	Northern Hyogo Pref. (Northern Tajima earthquake)	7.0	○	⊙					○			○	
67	Jul. 4, 1925	Miho Bay, Shimane Pref.	6.3										○	
68	Aug. 10, 1925	Hita, Northern Oita Pref.											○	
69	Mar. 7, 1927	Northwestern Kyoto Pref. (Northern Tango earthquake)		○	○	○				⊙			○	○
70	Aug. 6 1927	Miyagi Pref. offshore	6.9	○		⊙		⊙	○					
71	Oct. 27, 1927	Central Niigata Pref. (Sekihara earthquake)	5.3										○	⊙
72	Nov. 26, 1930	Northern Izu Peninsula (Northern Izu earthquake)	7.0 0-5										○	
73	Dec. 20 1930	Miyoshi and its vicinity, Hiroshima Pref.	6.0 20	○						○				
74	Feb. 17, 1931	Urakawa and its vicinity, Hokkaido	6.8 40											○
75	Mar. 9, 1931	Southeastern coast of Aomori Pref.	7.6 0	○						○				
76	Sep. 21, 1931	Central Saitama Pref. (Western Saitama earthquake)	7.0 10-20	○						○			○	

ΣΙΑΚΟΣ

	Ημερομηνία	Σεισμοί		Παρατηρήσεις φαινομένων									
		Θέση επικέντρου	Μέγεθος	Υπόγεια ύδατα						Αναφυγή αερίων	Εκτίναξη δάμνου & νερού	Αύρα	
				Στάθμη		Θερμοκρ		Καθαρότητα	Θαλάσσια				
				Ανοδος	Ήλυση	Αύξηση	Ελάττωση						
77	Mar. 3, 1933	Off the coast of Eastern Tohoku dis- trict (Sanriku offshore earthquake)	8.3		⊙					⊙			⊙
78	Sep. 21, 1933	Noto Peninsula, Ishikawa Pref.	6.0 15										○
79	Mar. 21, 1934	Amagi Moun- tain, Izu Peninsula	5.5 0-10	○	○	○	○			○			
80	Jul. 11, 1935	Shizuoka City and its vicinity (Shizuoka earthquake)	6.3 10		⊙								
81	Feb. 21, 1936	Nara Pref. and Osaka (Kawachi Yamato earthquake)	6.4 20		⊙								⊙ ⊙
82	mid-Nov. 1936	Osarizawa- Hanawa swarm earthquakes, Akita Pref.				○	○						
83	Nov. 11, 1936	Wakamatsu City				○							
84	Jan. 12, 1938	Tanabe Bay offshore, Wakayama Pref.	6.7 20		○	○							
85	May. 23, 1938	Shioyazaki offshore, Fukushima Pref.	7.1 10										
86	May. 29, 1938	Lake Kussharo and its vicinity, Hokkaido	6.0 20		○			○				○	
87	May. 1, 1939	Oga Peninsula, Akita Pref.	7.0 0		○				⊙			⊙	

39 10 87

Ημερομηνία	Σεισμοί		Παρατηρήσεις φαινομένων																	
	Θέση επικέντρου	Μέγεθος	Υπόγεια ύδατα						Αποφυγή αερίων	Εκτίναξη δύμου & νερού	Αιθέρα									
			Στάθμη		Θερμοκρ.		Καθαρότητα	Βολύτητα												
			Ανοδος	Πτώση	Αύξηση	Ελάττωση														
88	Jul. 15, 1941	Nagano City and its vicinity, Nagano Pref.	6.2	5-20	⊙															
89	Mar. 4 1943 Mar. 5 1943	Tottori offshore	6.1	20	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙										
90	Sep. 10, 1943	Tottori City and its vicinity (Tottori earthquake)	7.4	10						⊙	⊙									
91	Dec. 7, 1944	Off the coast of Tokaido (Tonankai earthquake)	8.0	0-30																
92	Jan. 13, 1945	Southern Aichi Pref. (Mikawa earthquake)	7.1	0		⊙	⊙	⊙				⊙								⊙
93	Dec. 21, 1946	Off the coast of Shikoku and Southern Kii Peninsula (Nankai earthquake)	8.1	30			⊙					⊙								
94	Jun. 28, 1948	Fukui Plains (Fukui earthquake)	7.3	20		⊙	⊙					⊙								⊙
95	Dec. 26, 1949	Imaichi, Tochigi Pref.  (Imaichi, earthquake)	6.4	Very shal- low 6.7	Very shal- low		⊙	⊙				⊙								⊙
96	Aug. 22, 1950	Vicinity of Mt. Sambe, Shimane Pref.	5.3	30								⊙								
97	Mar. 4, 1952	Off the coast of Tokachi, Hokkaido (Tokachi offshore earthquake)	8.1	45		⊙	⊙	⊙	⊙			⊙								⊙
98	Mar. 7, 1952	Daishoji offshore, Fukui Pref.	6.8	20		⊙	⊙													⊙

3/10 8

	Ημερομηνία	Σεισμοί θέση επικέντρου	Μέγεθος	Παρατηρήσεις φαινομένων									
				Υπόγεια ύδατα					Αναφυγή αερίων	Εκτίναξη άμμου & νερού	Αύρα		
				Στάθμη		Θερμοκ		Καθάρτητα					
				Ανοδος	Πτώση	Αύξηση	Ελάττωση						
99	Oct. 19, 1955	Downstream R. Yoneshiro, Akita Pref. (Futatsui earthquake)	5.7 0-10	○						○			
100	Sep. 30, 1956	Southern Miyagi Pref.	6.1 20		○								
101	Jan. 31, 1959	Teshikaga and its vicinity, Hokkaido	6.2 20 6.1	○	○	○				○			
102	Feb. 2, 1961	Nagaoka and its vicinity, Niigata Pref.	5.2 20	○		○				○	○		
103	Apr. 30, 1962	(Northern Miyagi earthquake)	6.5 0	○						○			
104	May. 7, 1964	Oga Peninsula offshore, Akita Pref.	6.9 0	○						○		○	
105	Jun. 16, 1964	Near Awashima Island, Niigata Pref. offshore (Niigata earthquake)	7.5									○	
106	Aug. 3, 1965-1967	Vicinity of Matsushiro, Nagano Pref. (Matsushiro swarm earthquakes)								○	○	○	○
107	Feb. 21, 1968	Ebino-cho, Miyazaki Pref. (Ebino earthquake)	5.7 0										
108	May. 16, 1968	Tokachi offshore, Hokkaido (Tokachi offshore earthquake)	7.9	○									

31/10/8

	Ημερομηνία	Σεισμός		Παρατηρήσεις φαινομένων										
		Θέση επικέντρου	Μέγεθος	Υπόγεια ύδατα										
				Στάθμη		Θερμοκρ		Καθαρότητα	Βολταίτα	Αεραυγί αερίων	Εκτίναξη διημέρου & νερού	Αίθρα		
				Ανοδος	Πτώση	Αύξηση	Ελάττωση							
109	Sep. 9, 1969	Central Gifu Pref.	6.6	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>				
110	Jun. 17, 1973	Nemuro Peninsula offshore	7.4											
111	May. 9, 1974	Izu Peninsula, Shizuoka Pref. (Izu Peninsula offshore earthquake)	6.9	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>						
112	Apr. 21, 1975	Near Mt. Kuju, Western Oita Pref.	6.4											
113	Jan. 14, 1978	(Izu Oshima offshore earthquake)	7.0 4.3			<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		

30 4/85

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. (Wakita, H. 1984-1985). Γεωχημικά πρόδρομα φαινόμενα και η πρόγνωση των σεισμών στην Κίνα από το 1966 - 1976.

ΣΕΙΣΜΟΣ (ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ)	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	M	ΠΡΟΓΝΩΣΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΔΡΟΜΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ
Yingtai (Hebei)	1966 1966	6,8 7,2		Τέθηκε σε ενέργεια το πρόγραμμα πρόγνωσης των σεισμών στην επαρχία Hebei
Luhuo (Sichuan)	1967	6,8		
Bohai (Bohai Bay)	1969	7,4		Παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης ραδονίου σε πολλά πηγάδια
Donghai (Yunnan)	1970	7,7		Τέθηκε σε ενέργεια το πρόγραμμα πρόγνωσης των σεισμών στην Δ. Κίνα.
Luhuo (Sichuan)	1973	7,9		Μια έντονη μεταβολή στη συγκέντρωση του ραδονίου παρατηρήθηκε 200 χλμ. από το επίκεντρο και 7 ημέρες πριν τον σεισμό.
Yongshan-Daguan (Yunnan)	1974	7,1		Η συγκέντρωση του ραδονίου μειώθηκε κατά προσέγγιση 30%, 140 χλμ. μακριά από το επίκεντρο.
Hai Cheng (Liaoning)	1975	7,3	ΝΑΙ	Η πιο δημοφιλής πρόγνωση σεισμού. Πολλά πηγάδια κατά μήκος της τεκτονικής γραμμής έδειξαν ανωμαλίες. Ειδικές ανωμαλίες στη συγκέντρωση του ραδονίου (20-40%) σημειώθηκαν σε πηγάδια εντός 200 χλμ. από το επίκεντρο. Η κατανομή των πηγαδιών που έδειξαν μεταβολές στη στάθμη και τη διαύγεια πριν τον σεισμό έχουν μια περιφερειακή κανονικότητα.

3/1 40 8

ΣΕΙΣΜΟΣ (ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ)	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	M	ΠΡΟΓΝΩΣΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΔΡΟΜΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ
Longling	1976	7,5 7,6	ΝΑΙ	Αλλαγές στη συγκέντρωση του ραδονίου παρατηρήθηκαν σε πολλά πηγάδια, πηγές και θερμές πηγές που σε μερικές περιπτώσεις απείχαν και 640 χλμ. από το επίκεντρο. Η ποσότητα ροής του νερού των πηγών μειώθηκε σε απόσταση 60 χλμ. από το επίκεντρο. Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού κατά 10 <sup>ο</sup> παρατηρήθηκε στις θερμές πηγές.
Tangshan (Hebei)	1976	7,8 7,1	(ΝΑΙ)	Προγνώστηκε επιτυχώς μόνο από την άποψη της παρουσίας πρόδρομων φαινομένων. Παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης του ραδονίου κατά 20% σε 20 πηγάδια εντός περιοχής 200 χλμ. από το επίκεντρο. Η μεταβολή ήταν ταυτόχρονη. Εκτίναξη εδαφικού νερού, αερίων και πετρελαίου. Το 77% από αυτά τα συμβάντα συνέβη 3-5 ημέρες πριν τον σεισμό.
Songpan-Pingwu (Sichuan)	1976 1976	7,2 7,2	ΝΑΙ	Σε 10 από 24 πηγάδια παρατηρήθηκαν ανωμαλίες στην συγκέντρωση του ραδονίου. Το πιο απομακρυσμένο από το επίκεντρο ήταν 550 χλμ. Διάφορα άλλα πρόδρομα φαινόμενα παρατηρήθηκαν στα εδαφικά νερά.
Yanyuan-Ninglang (Sichuan-Yunnan)	1976 1976	6,9 6,8	ΝΑΙ	Ανωμαλίες στη συγκέντρωση ραδονίου σε πηγάδια που απείχαν 160 και 270 χλμ. από το επίκεντρο. Μεταβολές στάθμης ύδατος πηγαδιών και άλλες παρατηρήσεις.

31 ΔΥ 8



### 3. Η ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Δανάη Χατζηιωάννου

3/40

### 3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ

Σε διάφορες χώρες έχουν παρατηρηθεί ηλεκτρικά και μαγνητικά φαινόμενα τα οποία συνοδεύουν τις σεισμικές δονήσεις ή προηγούνται αυτών.

Τα ηλεκτρικά φαινόμενα τα οποία παρατηρούνται πριν από τους σεισμούς μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- 1) μεταβολές της αντιστάσεως του εδάφους
- 2) υψίσυχνες μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου της ατμόσφαιρας
- 3) μεταβολές του τανυστού που συσχετίζει το ηλεκτρικό με το μαγνητικό πεδίο της γης
- 4) μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου της γης με μακρά διάρκεια
- 5) μεταβολές των τελλουρικών ρευμάτων που έχουν διάρκεια της τάξης των μερικών εβδομάδων
- 6) μεταβατικές μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου ή των τελλουρικών ρευμάτων, με διάρκεια ενός λεπτού έως μερικές ώρες.

Αναλυτικά τα φαινόμενα αυτά έχουν ως εξής:

#### 3.1. Μεταβολές της αντίστασης του εδάφους

Η γνωστή σεισμολογική θεωρία της διασταλτικότητας (dilatancy), προβλέπει ότι ώρες ή και μέρες πριν από ένα σεισμό, λόγω μετατόπισης του νερού στην εστιακή ζώνη, η αντίσταση του εδάφους σε σχετικά κοντινές αποστάσεις από το μελλοντικό επίκεντρο μεταβάλλεται. Η θεωρητική αυτή πρόβλεψη επαληθεύεται σε ένα μικρό αριθμό περιπτώσεων, συνήθως 20%.

Έχουν παρατηρηθεί όμως μεταβολές της αντιστάσεως και σε πολύ μεγάλες ηλεκτρικές αποστάσεις, μέχρι 900km περίπου.

Η μέτρηση της αντίστασης γίνεται συνήθως με ηλεκτρόδια που τοποθετούνται σε απόσταση μερικών μέτρων μεταξύ τους. Δια μέσου των ηλεκτροδίων αυτών διαβιβάζεται εναλλασσόμενο ρεύμα στη γη και η ηλεκτρική αντίσταση μετράται με μία γέφυρα.

Είναι προφανές ότι η συχνότητα του ρεύματος που διαβιβάζεται δεν πρέπει να συνπίπτει με τη συχνότητα του βιομηχανικού ηλεκτρικού ρεύματος για λόγους αποφυγής του ηλεκτρικού θορύβου.

Σ/ ΔΧ 8

Η μέτρηση γίνεται με εναλλασσόμενο ρεύμα γιατί η αγωγιμότητα του εδάφους δεν είναι καθαρά ηλεκτρονική, αλλά είναι εν μέρει και ηλεκτρολυτική, δηλαδή ιοντική.

Με τον παραπάνω τρόπο μέτρησης, μετράται η αντίσταση του επιφανειακού στρώματος της γης. Όμως δεν έχει γίνει ακόμη κατανοητό για ποιό λόγο μεταβάλλεται η αντίσταση του επιφανειακού στρώματος σε εκατοντάδες χιλιόμετρα από το μελλοντικό επίκεντρο του σεισμού.

Τελευταίες μετρήσεις (1984) δείχνουν ότι οι μεταβολές της αντίστασης του εδάφους σε διαφορετικές επικεντρικές αποστάσεις  $\delta$   $\epsilon$   $\nu$  είναι ταυτόχρονες. Το μειονέκτημα αυτό δεν επιτρέπει τον προσδιορισμό του μελλοντικού επικέντρου από την ανίχνευση των μεταβολών της αντίστασης με ένα δίκτυο σταθμών. Δηλαδή, δεν έχει βρεθεί φυσικός νόμος που να συνοδεύει την επικεντρική απόσταση με τον χρόνο εμφάνισης της μεταβολής της αντίστασης.

Πρόσφατες μετρήσεις με δίκτυο σταθμών στην Κίνα (1984) δείχνουν μάλλον ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ του λογάριθμου της μεταβολής  $\Delta\rho$  της αντίστασης και του μεγέθους του επερχόμενου σεισμού.

Επανελλημένες μετρήσεις αυτού του είδους στις Η.Π.Α. έχουν οδηγήσει σε αντιφατικά συμπεράσματα που συγκλίνουν στην άποψη ότι η αντίσταση του εδάφους δεν είναι η κρίσιμη φυσική παράμετρος που οι μεταβολές της οδηγούν σε πρόγνωση σεισμών (προσδιορισμός χρόνου, επίκεντρο και μεγέθους).

### 3.2. Υψίσυχνες μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου της ατμόσφαιρας

Πρόσφατες εργασίες (μετά το 1982 στη Σοβιετική Ένωση και το 1985 από Γάλλους επιστήμονες), δείχνουν ότι υπάρχουν πρόδρομες υψίσυχνες μεταβολές με διάρκεια μερικών λεπτών έως μιάς ώρας στο ηλεκτρικό πεδίο της ατμόσφαιρας. Ο χρόνος που εμφανίζονται οι μεταβολές αυτές πριν τους σεισμούς κυμαίνεται από μερικά λεπτά έως μερικές ώρες. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται είτε σε απόσταση της τάξεως των 10m από το έδαφος, είτε σε μη γεωστατικούς δορυφόρους. Η μέθοδος αυτή επεκτάθηκε εντελώς πρόσφατα και στην Ιαπωνία.

Μέχρι σήμερα έχει ελεγχθεί με ακρίβεια ότι οι μεγάλοι σεισμοί δεν συνοδεύονται πάντοτε από τέτοιες υψίσυχνες μεταβολές. Στις περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν δεν έχει βρεθεί αλγόριθμος που να συνδέει κάποια παράμετρο της υψίσυχνης αυτής μεταβολής με την επικεντρική απόσταση, με το χρόνο και

Σ1 Α0 8

με το μέγεθος του επικείμενου σεισμού.

Αν και στα τελευταία συνέδρια η μέθοδος αυτή εμφανίζεται ελπιδοφόρος, από τα παραπάνω είναι προφανές ότι δεν μπορεί προς το παρόν να χρησιμοποιηθεί για πρόγνωση σεισμών.

Τέτοιες μεταβολές στα τελλουρικά ρεύματα με διάρκεια μερικών msec και με πλάτος μερικά V/km παρατηρήθηκαν από τους Βαρώτσο-Αλεξόπουλο-Νομικό στους μετασεισμούς των Αλκυονίδων (πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, Μάιος 1981).

Οι υψίσυχνες αυτές μεταβολές εμφανίζονται 1-4min πριν από τους αντίστοιχους σεισμούς. Επειδή ο πρόδρομος αυτός χρόνος είναι αρκετά μικρός για προειδοποίηση του πληθυσμού, η μελέτη των πρόδρομων αυτών σημάτων εγκαταλήφθηκε μετά την ανεύρεση άλλου είδους σημάτων (βλέπε παρακάτω) με μεγαλύτερο πρόδρομο χρόνο.

Αν και τα σήματα αυτά με το μικρό πρόδρομο χρόνο όπως προαναφέρθηκε, δεν είναι κατάλληλα για προειδοποίηση του πληθυσμού, φαίνεται ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διακοπή της ηλεκτρικής παροχής λίγο πριν από το σεισμό (για να αποφευχθούν οι πυρκαγιές που οφείλονται σε βραχυκυκλώματα των ηλεκτροφόρων καλωδίων κλπ.).

Τέτοιες προσπάθειες για την κατασκευή αυτόματων διακοπών για τη διακοπή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι σε εξέλιξη εδώ και δύο χρόνια στην Ιαπωνία.

### 3.3. Μεταβολές του τανυστή που συσχετίζει το ηλεκτρικό με το μαγνητικό πεδίο της γης

Όπως είναι γνωστό, από τη μελέτη των μαγνητοτελλουρικών μεταβολών μπορεί να προσδιοριστεί ο τανυστής (tensor) που συνδέει τις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου της γης με τις επαγόμενες μεταβολές των τελλουρικών ρευμάτων. Τα στοιχεία του τανυστή αυτού εξαρτώνται από τη συχνότητα.

Από πολλών ετών είχε διατυπωθεί η υποψία ότι ο τανυστής αυτός που για συγκεκριμένο φάσμα συχνοτήτων είναι χαρακτηριστικός του υπεδάφους σε δεδομένη περιοχή, μπορεί να μεταβάλλεται πριν τους σεισμούς. Τέτοιες μετρήσεις έχουν γίνει κυρίως στις Η.Π.Α., στη Σοβιετική Ένωση, στην Ιαπωνία και από Πολωνούς επιστήμονες.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στις πιο πολλές περιπτώσεις ήταν αρνητικά

31 40 8

έτσι ώστε προς το παρόν να μην διαφαίνεται χρησιμοποίηση της μεθόδου αυτής για πρόγνωση σεισμών.

3.4. Μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου της γης με μακρά διάρκεια

Από 100 και πλέον ετών, κυρίως στην Κίνα, ήταν γνωστό ότι σε μερικές περιπτώσεις πολλούς μήνες έως και χρόνια πριν από μεγάλους σεισμούς παρατηρούνται μόνιμες μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου της γης.

Τέτοιες μεταβολές έχουν παρατηρηθεί και σε πρόσφατες εργασίες (1982) στην Ιαπωνία. Το γεγονός ότι ο πρόδρομος χρόνος των μεταβολών αυτών είναι πολύ μεγάλος δεν επιτρέπει αξιόπιστη συσχέτιση τους με επερχόμενους σεισμούς. Επί πλέον στις περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν δεν έχει βρεθεί φυσικός νόμος που να συνδέει κάποια παράμετρο των μεταβολών αυτών με το επίκεντρο και το μέγεθος του επερχόμενου σεισμού. Τέτοιες μετρήσεις γίνονται σήμερα συνεχώς στην Κίνα, στη Σοβιετική Ένωση και στην Ιαπωνία.

3.5. Μεταβολές των τελλουρικών ρευμάτων που έχουν διάρκεια της τάξης των μερικών εβδομάδων

Κυρίως στη Σοβιετική Ένωση από το 1969 και στην περιοχή της Kamchatka έχουν αρχίσει μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου της γης με ρυθμό δειγματοληψίας μία κάθε ώρα.

Οι μετρήσεις αυτές έγιναν από το Sobolev και τους συνεργάτες του με δίκτυο σταθμών.

Σε εργασίες που δημοσιεύτηκαν μετά το 1972 έως και το 1975 παρουσιάστηκαν αποτελέσματα που έδειχναν μεταβατικές μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου που είχαν διάρκεια από μία έως δύο εβδομάδες. Δηλαδή, μία έως δύο εβδομάδες πριν από σεισμό με μέγεθος μεγαλύτερο του 5,5R εμφανιζόταν μεταβολή της μετρούμενης διαφοράς δυναμικού σε δύο σημεία της γης, η οποία σταδιακά αυξανόταν και το μέγιστά της παρατηρήτω συνήθως κατά την ώρα του σεισμού ή μετά το σεισμό.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που δημοσιεύτηκαν από το Sobolev μόνο στις 20% των περιπτώσεων παρατηρήθηκαν μεταβολές αυτού του είδους.

Σημειώνεται ότι οι μεταβολές στο παραπάνω δίκτυο σταθμών δεν ήταν ταυτόχρονες, πράγμα που οδηγεί σε αδυναμία για τον προσδιορισμό του επίκεντρου του επικείμενου σεισμού.

Σ1 AX 8

Επιπλέον δεν διαπιστώθηκε συσχέτιση του μεγέθους του επερχόμενου σεισμού με κάποια παράμετρο της ηλεκτρικής μεταβολής που προαναφέρθηκε.

Το φαινόμενο αυτό του Sobolev και των συνεργατών του διαπιστώθηκε σε μερικές περιπτώσεις (περίπου 10%) και σε μετρήσεις της ομάδας Βαρώτσος-Αλεξόπουλος-Νομικός στην Ελλάδα από το 1982 ως το 1985.

Είναι αυτονόητο ότι με τη μέθοδο αυτή δεν έχει επιτευχθεί πρόγνωση (χρόνος, επίκεντρο και μέγεθος) ούτε ενός συγκεκριμένου σεισμού.

### 3.6. Μεταβατικές μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου ή των τελλουρικών ρευμάτων, με διάρκεια ενός λεπτού έως μερικές ώρες

Τέτοιες πρόδρομες μεταβολές ανιχνεύονται στην Ελλάδα από το 1981 μέχρι σήμερα. Τον Αύγουστο του 1981 ανακοινώθηκε στο συνέδριο του Οσλο η ανίχνευση μεταβατικής μεταβολής του ηλεκτρικού πεδίου μερικές ώρες (περίπου 7 ώρες) πριν από ένα σεισμό. Οι παρατηρήσεις αυτές προήρχοντο κυρίως από τους μετασεισμούς της περιοχής των Αλκυονίδων (σεισμός 24.2.1981). Από μετρήσεις ενός δικτύου 5 σταθμών τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο του 1981 οι Βαρώτσος-Αλεξόπουλος-Νομικός κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το επίκεντρο και το μέγεθος ενός επικείμενου σεισμού μπορεί να προσδιοριστεί. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάστηκαν το Νοέμβριο του 1981 στην Ακαδημία Αθηνών.

Από τις αρχές του 1982 άρχισε η μόνιμη εγκατάσταση καταγραφικών σταθμών επί τόπου σε διάφορα σημεία της χώρας. Με τη βοήθεια του Υπουργείου Δημοσίων Έργων και Εθνικής Αμύνης, οι Βαρώτσος-Αλεξόπουλος-Νομικός άρχισαν να μετατρέπουν το δίκτυο σε τηλεμετρικό. Η μετατροπή αυτή συμπληρώθηκε στις 19 Ιανουαρίου του 1983. Το δίκτυο αυτό είναι σε λειτουργία έως και σήμερα με τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Στις 80% τις περιπτώσεων οι παράμετροι του επερχόμενου σεισμού προσδιορίζονται με την ακόλουθη ακρίβεια:




- (α) Το παράθυρο χρόνου από τη στιγμή της καταγραφής του σήματος έως το σεισμό είναι μεταξύ 6 ωρών και μιάς εβδομάδας.
- (β) Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του επίκεντρου γίνεται με ακρίβεια ίση με τη μέση απόσταση των σταθμών.
- (γ) Η απόκλιση στον προσδιορισμό του μεγέθους είναι περίπου 0,6R

31 48 8

(τα αποτελέσματα αυτά έχουν δημοσιευτεί στο περιοδικό Tectonophysics, 2 δημοσιεύματα το 1984 και ένα δημοσίευμα το 1985).

- Η βιβλιογραφία από την οποία διατυπώθηκε η παραπάνω έκθεση επισυνάπτεται.

### Οι Συντάξαντες

Γεώργιος Σταυρακάκης Δ<sup>ο</sup> Σεισολόγος   
 Στέργιος Ροίγος, Γεωγός   
 Δανάη Χατζημιωάννου, Μαθηματικός 

ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗΣ

## DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/Feb (Copr. American Geological Institute)

1357780 86-10729

## The nature of resistivity precursor

Rikitake, T.; Yamazaki, Y.  
Nihon Univ., Dep. Earth Sci., Tokyo, JPN; Niron Univ., JPN;  
Univ. Tokyo, Earthquake Res. Inst., JPN  
Practical approaches to earthquake prediction and warning  
Kisslinger, C.(EDITOR); Rikitake, T.(EDITOR)  
Univ. Colo., Boulder, CO, USA  
Practical approaches to earthquake prediction and warning,  
Tokyo, Japan, Nov. 7-11, 1985  
Earthquake Prediction Research 3: 3-4, 559-570p., 1985  
Country of Publ.: Netherlands  
ISSN: 0286-0619  
11 REFS.

Subfile: B

Doc Type: SERIAL; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic

Level: ANALYTIC

Languages: English  
illus., 1 table, sketch map  
Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; \*geophysical methods  
; prediction; electrical methods; precursors; instrument;  
resistivity; observatories; deformation; focus; variometer;  
magnitude; amplitude  
Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1357769 86-10662

## Some results from measurements of the geomagnetic field and the electrical resistivity in the Izu-Tokai region, Japan

Honkura, Y.  
Tokyo Inst. Technol., Dep. Appl. Phys., Tokyo, JPN; Niron Univ., JPN  
Practical approaches to earthquake prediction and warning  
Kisslinger, C.(EDITOR); Rikitake, T.(EDITOR)  
Univ. Colo., Boulder, CO, USA  
Practical approaches to earthquake prediction and warning,  
Tokyo, Japan, Nov. 7-11, 1985  
Earthquake Prediction Research 3: 3-4, 365-378p., 1985  
Country of Publ.: Netherlands  
ISSN: 0286-0619  
21 REFS.

Subfile: B

Doc Type: SERIAL; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic

Level: ANALYTIC

Languages: English  
illus., 1 table, sketch maps  
Descriptors: \*Japan; \*seismology; \*Earth ; engineering  
geology; earthquakes; magnetic field ; prediction; secular  
variations; Izu-Tokai region; seismic intensity; Izu  
Peninsula; spatial distribution; crust; resistivity; Omaezaki;  
amplitude; Fujiada; seismicity; observations  
Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1357768 86-10554

## A review of studies on the electrical resistivity structure of the crust in Japan

Yukitake, T.  
Univ. Tokyo, Earthquake Res. Inst., Tokyo, JPN; Niron Univ., JPN  
Practical approaches to earthquake prediction and warning  
Kisslinger, C.(EDITOR); Rikitake, T.(EDITOR)  
Univ. Colo., Boulder, CO, USA  
Practical approaches to earthquake prediction and warning,  
Tokyo, Japan, Nov. 7-11, 1985  
Earthquake Prediction Research 3: 3-4, 345-364p., 1985  
Country of Publ.: Netherlands  
ISSN: 0286-0619  
38 REFS.

Subfile: B

Doc Type: SERIAL; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic

Level: ANALYTIC

Languages: English  
illus., sketch maps  
Descriptors: \*Japan; \*seismology ; geophysical surveys;  
engineering geology; earthquakes ; electromagnetic surveys;  
prediction; crust; resistivity; active faults; Yamasaki  
Fault; epicenters; arrays; magnetic anomalies; focus;  
magnetotelluric methods  
Section Headings: 18 .(GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

1352472 86-05133

## Efficiency test of earthquake prediction around Thessaloniki from electrotelluric precursors

Meyer, K.; Varotsos, P.; Alexopoulos, K.; Nomikos, K.  
Univ. Uppsala, Dep. Seismol., Uppsala, SWE; Univ. Athens, GRC  
Tectonophysics 120: 1-2, 153-161p., 1985  
Country of Publ.: Netherlands  
ISSN: 0040-1951  
CODEN: TCTOAM

Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: English

illus.

Since the completion of the network in January 1983, the electric field of the Earth has been continuously monitored at four sites near Thessaloniki. Transient changes of the electrotelluric field occur prior to earthquakes. The analysis of these electric forerunners leads in many cases to a successful prediction of the epicentral area, the magnitude and the time of the impending event. Predictions prior to regional earthquakes are issued and documented with telegrams. From November 1983 until the end of May 1984 twelve earthquakes (M L >3.5) occurred in the vicinity of Thessaloniki. Ten of these were predicted and warnings given by telegram, whereas two smaller seismic events were missed.



DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/R (Copr. American Geological Institute)

their magnitudes, predicted events took place within a time window of 6 hrs to 6 days after the observations of the electrotelluric anomalies. The accuracy of the predicted epicenters in eight cases is better than 100 km, which corresponds roughly to the mean distance between the electric stations. Magnitude estimates deviate by less than 0.5 magnitude units from the seismically observed ones. Considering the two largest earthquakes, it is shown that the probability of making each of these predictions by chance is of the order of 10<sup>-2</sup>.--Modified journal abstract.

Latitude: N402000; N403500 Longitude: E0231500; E0221500

Descriptors: \*Greece; \*seismology; engineering geology; earthquakes; geologic hazards; precursors; Salonika; northern Greece; Greek Macedonia; prediction; epicenters; magnitude; probability; electrical field; electrical anomalies

Section Headings: 22 (ENGINEERING & ENVIRONMENTAL GEOLOGY)

1351920 86-03646  
**Study of electric fields in seismoactive regions in comparison with seismicity**  
 Ponomarev, A. V.; Sobolev, G. A.  
 Inst. Phys. Earth, Moscow, SUN

**Proceedings of the Seventeenth assembly of the European Seismological Commission**  
 Bisztricsany, E.(EDITOR); Szeldovitz, G.  
 Hung. Acad. Sci., Seism. Obs. GRI, Budapest, HUN; European Seismological Commission  
 17th Assembly of the European Seismological Commission, Budapest, Hungary, Aug. 24-29, 1980  
 Publ: Elsevier Sci. Publ. Co.  
 15, 45-49p., 1983  
 Country of Publ.: Netherlands  
 2 REFS.  
 Subfile: B

Doc Type: BOOK; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Descriptors: \*USSR; earthquakes; seismicity; electrical field; Caucasus; prediction; electrical anomalies; induced earthquakes; engineering geology  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1346118 86-03735  
**Geoelectric anomalies of the Heze (M = 5.9) earthquake, Shandong**  
 Wang Bangben; Sun Chengde; Liu Yonglan  
 Linyi Prefect. Seismol. Off., CHN  
 Journal of Seismological Research 8: 1, 53-57p., 1985  
 Country of Publ.: China  
 3 REFS.  
 Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: Chinese Summary Languages: English

111us.  
 Descriptors: \*China; \*seismology; earthquakes; geophysical surveys; electrical anomalies; electrical surveys; Heze earthquake; magnitude; resistivity; Cangshan County; Shandong; Linyi; time distribution; temporal distribution; prediction  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1341614 85-77714  
**Electromagnetic radiations from rocks**  
 Dgawa, T.; Oike, K.; Miura, T.  
 Kyoto Univ., Geophys. Inst., Kyoto, JPN; Nirayama High Sch., JPN

JGR, Journal of Geophysical Research. D. Atmospheres 90: 4, 6245-6249p., 1985  
 Country of Publ.: United States  
 9 REFS.  
 Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English

Experiments to measure the electric field using granite samples. Four kinds of signals observed: 30 kHz, 5 kHz, 10 Hz, and intermittent pulses. Average electric dipole moment estimated to be 10<sup>-14</sup> C m.--Modified journal abstract.

Descriptors: \*earthquakes; \*seismology; \*rock mechanics; \*geologic hazards; prediction; experimental studies; precursors; electromagnetic waves; electromagnetic radiation; electrical field; granites

Section Headings: 22 (ENGINEERING & ENVIRONMENTAL GEOLOGY)

1301251 85-32558  
**Self-potential anomalies associated with an active fault**  
 Murakami, H.; Mizutani, H.; Nabetani, S.  
 Nagoya Univ., Dep. Earth Sci., Nagoya, JPN; Hiroasaki Univ., JPN

Journal of Geomagnetism and Geoelectricity 36: 9, 351-376p., 1984  
 Country of Publ.: Japan  
 ISSN: 0022-1392  
 CODEN: JGEGAB 22 REFS.  
 Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 111us., sketch maps

Descriptors: \*Japan; \*faults; \*seismology; geophysical surveys; structural geology; displacements; earthquakes; electrical surveys; neotectonics; active faults; prediction; Asia; northern Japan; Honshu; self-potential methods; Rikuu earthquake, 1896; Tohoku; reverse faults; effects; detection anomalies; fluid pressure; Mahiru Mountains; Ota Fault; Senga Fault; Shiraiwa Fault; Quaternary; Cenozoic; focal mechanism

Section Headings: 16 (STRUCTURAL GEOLOGY); 19 (GEOPHYSICS, (cont. next page)



*[Handwritten signatures and initials]*

DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/F. (Copr. American Geological Institute)

SEISMOLOGY)  
 1291931 85-25325  
 The application of fuzzy mathematics in multi-approach methods of earthquake prediction  
 Feng, D.; Lou Shibo; Gu Jinping; Zhong Tingjiao; Lin Mingzhou; Chen Huacheng  
 State Seismol. Bur., Seismol. Inst. of Lan-chou, Lan-chou, CHN; Shanghai Inst. Railw. Technol., CHN  
 Dizhen Xuebao = Acta Seismologica Sinica 6: 2, 146-158p., 1984  
 Country of Publ.: China  
 ISSN: 0253-3782  
 10 REFS.  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 illus., sketch map  
 Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; \*ground water; \*geophysical methods; prediction; geochemistry; electrical methods; theoretical studies; radon; resistivity; precursor; elastic waves; velocity structure; epicenters; magnitude; temporal distribution; spatial distribution; composition; cluster analysis; statistical methods; western China; fuzzy mathematics  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1264413 85-02262  
 Physical properties of the variations of the electric field of the Earth preceding earthquakes; II, Determination of epicenter and magnitude  
 Varotsos, P.; Alexopoulos, K.  
 Univ. Athens, Dep. Phys., Athens, GRC  
 Tectonophysics 110: 1-2, 99-125p., 1984  
 Country of Publ.: Netherlands  
 ISSN: 0040-1951  
 CODEN: TCTOAM  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 A transient change of the electric field of the earth (seismic electric signal), called SES, appears many hours before an earthquake (EQ). By measuring this change in a given direction and dividing it with a suitable relative effective resistivity one obtains a quantity that reflects the current density in this direction. Measurements in two directions (E-W and N-S) give the relative signal intensity  $J_{rel}$  at the station under consideration. By measuring  $J_{rel}$  at a number of stations and considering that it attenuates according to a 1/r-law, the epicenter can be determined with an accuracy usually around 100 km. Once the epicenter has been determined, the product  $J_{rel} \cdot r$  can be evaluated so that the magnitude  $M$  can be estimated by resorting to an empirical  $\log(J_{rel} \cdot r)$  versus  $M$  plot. The uncertainty of  $M$  is around 0.5 units.--Modified journal abstract.  
 Descriptors: \*earthquakes; \*seismology; \*Greece; prediction; precursors; electrical field; seismic electrical signals;

electrical phenomena; physical properties; changes; Europe; magnitude; epicenters; statistical analysis  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)  
 1264412 85-02261  
 Physical properties of the variations of the electric field of the Earth preceding earthquakes; I  
 Varotsos, P.; Alexopoulos, K.  
 Univ. Athens, Dep. Phys., Athens, GRC  
 Tectonophysics 110: 1-2, 73-98p., 1984  
 Country of Publ.: Netherlands  
 ISSN: 0040-1951  
 CODEN: TCTOAM  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 illus.  
 The electric field variations of the Earth that occur before earthquakes have been studied in a network of eighteen stations in Greece. The precursor seismic electric signals (SES) occur 6-115 h before the earthquake (EQ) and have a duration of 1 min to 1 1/2 h. The duration and the lead-time in contrast to other precursors, do not depend on EQ-magnitude (M). These signals appear as a transient change of the potential difference measured between two electrodes (up to a few millivolts for electrodes at a distance of about  $L = 50$  m) depending on  $M$ , the epicentral distance  $r$  and the local inhomogeneities. The components of electrical field are measured in two perpendicular directions (E-W and N-S). The totality of experiments showed that the interesting quantity of each SES is the maximum value  $\Delta V$  of the potential change. The SES of an impending EQ appears simultaneously at a number of stations without being accompanied by any significant change in the magnetic field.--Modified journal abstract.  
 Descriptors: \*earthquakes; \*seismology; \*Greece; prediction; precursors; electrical field; seismic electrical signals; electrical phenomena; physical properties; changes; Europe  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1248505 84-39083  
 Effects of soil, structure interaction on the response of buildings during the strong earthquake ground motions  
 Moslem, K.  
 Univ. of Southern California, Los Angeles, CA, USA  
 unknownp., 1983  
 Degree Level: Doctoral  
 Country of Publ.: United States  
 Subfile: B  
 Doc Type: THESES Bibliographic Level: MONOGRAPHIC  
 Languages: English  
 Availability: Univ. Microfilms  
 The records obtained during the San Fernando and the Lytle (cont. next page)

DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/F (Copr. American Geological Institute)

Creek earthquakes are utilized to estimate the rocking of the foundation of Millikan Library, as well as the translation of the building at the roof relative to a moving frame of reference attached to the foundation. Through these estimates and using the appropriate transfer functions, the modal frequencies of the structure and those of the complete soil-structure system are identified. An experimental approach for estimating the impedance functions of the foundation is explored and the horizontal and rocking compliances are estimated for the foundation of Millikan Library. The possible contribution of the hysteretic damping to the response of a simple mathematical model of a soil-structure system is examined. The response of Millikan Library to the force-vibration tests is used to test the model through an attempt to reproduce the experimental observations.--Modified author abstract.

Descriptors: \*California; \*soil mechanics; engineering geology; case studies; earthquakes; ground motion; foundations; United States; Southern California; University of Southern California; soil structure; effects; Millikan Library; San Fernando earthquake; Lytle Creek earthquake; geometry; mathematical models; models; prediction

Section Headings: 22.(ENGINEERING & ENVIRONMENTAL GEOLOGY)

1244495 84-38399

**On the dependence of onset times and the radius of the zone of manifestation of electrotelluric precursors on the earthquake's energy**

Zubkov, S. I.

U.S.S.R. Acad. Sci., Shmidt Inst. Earth Phys., Moscow, SUN  
Physics of the Solid Earth 19: 4, 322-327p., 1983

Country of Publ.: United States

ISSN: 0001-4354

CODEN: IPSEBQ 27 REFS.

Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: English  
illus., 1 table

Descriptors: \*USSR; \*seismology; \*China; \*Japan; earthquakes; precursors; energy; elastic waves; epicenter; mathematical models; models; Asia; Earth-current surveys; geophysical surveys

Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1244493 84-37915

**Electrical resistivity of low porosity rock and crack formation**

Barsukov, O. M.

U.S.S.R. Acad. Sci., Shmidt Inst. Earth Phys., Moscow, SUN  
Physics of the Solid Earth 19: 4, 313-317p., 1983

Country of Publ.: United States

ISSN: 0001-4354

CODEN: IPSEBQ 5 REFS.

Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: English  
3 tables

A hypothesis is suggested that the specific electrical resistivity of rock during crack formation is reduced due to the increased role of surface conductivity of pore water. Quantitative estimates are cited.--Journal abstract.

Descriptors: \*rock mechanics; \*geophysical methods; failures; electrical methods; cracks; resistivity; porosity; pore water; quantitative analysis; mathematical models; models; conductivity; earthquakes; electrical conductivity; ions; temperature; granites

Section Headings: 17.(GEOPHYSICS, GENERAL)

1237378 84-28462

**The method of observations for earthquake prediction research in the Tokai region**

Oike, K.; Mino, K.; Matsuo, S.; Kishimoto, Y.

Kyoto Daigaku Bosai Kenkyujo Nenpo = Disaster Prevention Research Institute Annuals 24B-1, 41-49p., 1981

Country of Publ.: Japan

ISSN: 0386-412X

CODEN: KDBKAW 5 REFS.

Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: Japanese Summary Languages: English  
illus.

Descriptors: \*Japan; \*seismology; \*geophysical methods; earthquakes; electrical methods; hydrogeology; prediction; applications; thermal waters; springs; monitoring; tiltmeters; precursors; hot springs; Honshu; Asia; Tokai

Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1226916 84-18822

**Anomalies of electromagnetic field before earthquakes in China**

Zhang Yiqin; Qian Shuqing

Guoji Dizhen Dongtai 1982: 4, 3p., 1982

Country of Publ.: China

ISSN: 0253-4975

Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: Chinese

Descriptors: \*China; \*seismology; geophysical surveys; earthquakes; magnetic surveys; electrical anomalies; magnetic anomalies; precursors; electromagnetic field; Asia

Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1224859 84-19988

**Geoelectrical and geohydrological precursors of earthquakes in northeastern India**

Nayak, P. N.; Saha, S. N.; Dutta, S.; Rama Rao, M. S. V.; Sarker, N. C.

(cont. next page)



Handwritten marks and signatures at the bottom of the page.

DIALOG File 89: Georef - 1785-1988/Feb opr. American Geological Institute)

Geol. Surv. India, Nagpur 440001, IND  
Geoexploration 21: 2, 137-157p., 1983  
Country of Publ.: Netherlands  
ISSN: 0016-7142  
CODEN: GEOXAV 20 REFS.  
Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English  
Latitude: N233545 Longitude: E0915420; E0915420  
Descriptors: \*India; \*ground water; \*seismology  
geophysical surveys; hydrogeology; surveys; earthquakes  
electrical surveys; springs; prediction; Northeastern India;  
resistivity; Earth-current surveys; self-potential methods;  
discharge; potentiometric surface; precursors; seasonal  
variations; monitoring; Asia; Shillong  
Section Headings: 22 (ENGINEERING & ENVIRONMENTAL GEOLOGY)

1198737 83-53122  
A change in the apparent electrical resistivity of Mt.  
Mihara of Oshima Volcano observed in association with the  
Izu-Hanto-OkI earthquake, 1980  
Yukutake, T.; Yoshino, T.; Utada, H.; Shimomura, T.; Kimoto,  
E.

Univ. Tokyo, Earthquake Res. Inst., Tokyo, JPN  
Bulletin of the Earthquake Research Institute = Tokyo  
Daigaku Jishin Kenkyusho Iho 56: 3, 623-627p., 1981  
Country of Publ.: Japan  
ISSN: 0040-8972  
CODEN: TDJKAZ 2 REFS.  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: Japanese Summary Languages: English  
illus.

Descriptors: \*Japan; \*seismology; \*volcanology; geophysical  
surveys; volcanoes; electrical surveys; volcanic earthquake;  
Oshima; earthquakes; resistivity; time variations; eruption;  
Izu Peninsula; Honshu; Asia; Oshima Volcano; dipode-dipol;  
Izu-Hanto-Toho-OkI earthquake, 1980  
Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1193795 83-47898  
Ob odnom vazhnom svoystve kratkosrochnykh predvestnikov  
zemletryaseniy  
Earthquake prediction based on electrical conductivity of  
rocks  
Monakhov, F. I.  
Vulkanologiya i Seismologiya 1983: 2, 68-73p., 1983  
Country of Publ.: Union of Soviet Socialist Republics  
ISSN: 0203-0306  
9 REFS.  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: Russian  
illus., sketch map  
Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; \*geophysical methods

; prediction; electrical methods; applications; electrical  
conductivity  
Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1188840 83-43217  
Electric and magnetic approach to earthquake prediction  
Honkura, Y.  
Current research in earthquake prediction; I  
Rikitake, T. (EDITOR)  
Tokyo Inst. Technol., Tokyo, JPN  
Publ: D. Reidel Publ. Co. Cent. Acad. Publ.  
301-371p., 1981  
Country of Publ.: Japan  
ISBN: 90-277-1133-X  
Subfile: B  
Doc Type: BOOK Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English

Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; \*geophysical methods  
; prediction; methods; interpretation; magnetic methods;  
electrical methods; seismic methods; resistivity  
Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1167801 83-22575  
Prognoz zemletryaseniy po izmeneniyu elektroprovodnosti  
gornykh porod  
Earthquake prediction based on changes in the electrical  
conductivity of rocks  
Monakhov, F. I.; Khantayev, A. M.; Bozhkova, L. I.  
Akad. Nauk SSSR, Dal'nevost. Nauchn. Tsentr, Moscow, SUN  
Vulkanologiya i Seismologiya 1982: 4, 96-99p., 1982  
Country of Publ.: Union of Soviet Socialist Republics  
ISSN: 0203-0306  
9 REFS.  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: Russian  
illus.

Descriptors: \*earthquakes; \*geophysical methods; \*seismology  
; prediction; electrical methods; methods; interpretation;  
precursors; electrical conductivity  
Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1164584 83-22566  
On the strategy of earthquake prediction  
Ku, K.  
Inst. Geophys., State Seismol. Bur., Peking, CHN  
Source mechanism and earthquake prediction--Mecanismes et  
previsioin des seismes  
Allegre, C. J. (EDITOR)  
Publ: Cent. Nat. Rech. Sci.  
99-107p., 1980  
Country of Publ.: France  
(cont. next page)



Handwritten signatures and marks at the bottom of the page.

**DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/Feb (Copr. American Geological Institute)**

Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 illus.  
 Latitude: N410000; N450000 Longitude: E0470000; E0460000  
 Descriptors: \*USSR; \*seismology ; engineering geology;  
 seismicity; geophysical surveys ; earthquakes; reservoirs;  
 electromagnetic surveys; Greater Caucasus; Dagestan; Chirkey  
 Reservoir; dams; impoundment; induced seismicity; predictio;  
 electrical properties; resistivity  
 Section Headings: 22 .(ENGINEERING & ENVIRONMENTAL GEOLOGY)

1065916 81-49043  
**Experimental and theoretical basis of electrokinetic phenomena in rock-water systems and its applications to geophysics**  
 Ishido, T.; Mizutani, H.  
 Geol. Surv. Jap., Ibaraki, JPN; Nagoya Univ., JPN  
 JGR. Journal of Geophysical Research. B 86: 3, 1763-1775p., 1981  
 Country of Publ.: United States  
 ISSN: 0196-6936  
 50 REFS.  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 illus., tables  
 Descriptors: \*geophysics; \*seismology; \*earthquakes; \*geochemistry; \*geothermal energy ; experimental studies; prediction; properties; exploration ; electrokinetic phenomena; physicochemical properties; precursors; electrical methods; theoretical studies; silicates; igneous rocks; ground water; electrofiltration potential; streaming potential; electrical field; dilatancy; porous materials; electrical properties; geothermal systems; electrical conductivity; self-potential methods; geophysical methods  
 Section Headings: 17 .(GEOPHYSICS, GENERAL)

1064085 81-49444  
**A possible cause of the electrical precursors of earthquakes**  
 Barsukov, O. M.  
 USSR Acad. Sci., O. Yu. Shmidt Inst. Phys. Earth, SUN  
 Physics of the Solid Earth 15: 8, 588-591p., 1979  
 Country of Publ.: United States  
 ISSN: 0001-4354  
 CODEN: IPSEBQ 14 REFS.  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Descriptors: \*rock mechanics; \*seismology; \*earthquakes ; materials; properties; prediction ; electrical properties; precursors; porosity; electrical phenomena; electrical field; electrical conductivity; fractures; resistivity; theoretical studies; mathematical models; dilatancy; materials; properties

Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)  
 1063925 81-49457  
**Unusual animal behavior before earthquakes: a review of possible sensory mechanisms**  
 Buskirk, R. E.; Frohlich, C.; Latham, G. V.  
 Univ. Tex. Austin, Marine Sci. Inst., Galveston, TX, USA  
 Reviews of Geophysics and Space Physics 19: 2, 247-270p., 1981  
 Country of Publ.: United States  
 ISSN: 0034-6853  
 CODEN: RGPSBL  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 illus., 6 tables  
 Descriptors: \*seismology; \*earthquakes ; prediction ; precursors; animal behavior; elastic waves; electrical field; gases; odors; experimental studies  
 Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1063526 81-49398  
**Study of temporal variations of electrical resistivity and electric fields on the San Andreas Fault**  
 Morrison, H. F.; Fernandez, R.  
 Lawrence Berkeley Lab., Eng. Geosci. Group, Berkeley, CA, USA  
 Open-File Report (United States Geological Survey, 1978)  
 81-0379, 5p., 1981  
 Country of Publ.: United States  
 ISSN: 0196-1497  
 CODEN: XGROAG  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL; REPORT Bibliographic Level: MONOGRAPHIC  
 Languages: English  
 Availability: U. S. Geol. Surv., Open-File Serv. Sect., West. Distrib. Branch, Denver, CO, United States  
 illus.  
 Latitude: N323000; N420000 Longitude: W1141500; W1243000  
 Descriptors: \*California; \*seismology ; earthquakes; geophysical surveys ; precursors; electrical surveys; USGS; United States; San Andreas Fault; time variations; resistivity; electrical field; active faults; faults; geothermal energy; electromagnetic field; automatic data processing; prediction  
 Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1037412 81-26329  
**Electrical resistivity changes in rocks during frictional sliding and fracture**  
 Wang, C. Y.; Sundaram, P. N.; Goodman, R. E.  
 Univ. Calif., Dep. Geol. and Geophys., Berkeley, CA, USA  
 Rock friction and earthquake prediction  
 Byerlee, J. D. (EDITOR); Wyss, M. (EDITOR)  
 (cont. next page)



## DIALOG File 89: Georef - 1785-1988/Feb (Copr. American Geological Institute)

- ISBN: 2-222-02606-7  
2 REFS.  
Subfile: B  
Doc Type: BOOK Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English Summary Languages: French  
illus., sketch maps  
Descriptors: \*seismology; \*China; earthquakes; predictio;  
research; monitoring; precursors; philosophy; Asia; gravity  
anomalies; Liaoning; electrical anomalies; resistivity;  
Haicheng earthquake, 1975; Tangshan earthquake, 1976  
Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)
- 1146269 83-02775  
Earthquake prediction by the method of deep electric probing  
of the Earth's crust using the MGD Pamir-1 generator  
Nersesov, I. L.; Sidorin, A. Y.; Zhuravlev, V. I.; Velikhov,  
Y. P.; Volkov, Y. M.; Kuksa, Y. I.; Vengerskiy, V. V.;  
Babakov, Y. P.; Pisakin, A. V.; Isayev, Y. I.; Nazarovskiy, V.  
M.  
U.S.S.R. Acad. Sci., Schmidt Inst. Phys. Earth, Moscow, SUN  
Doklady of the Academy of Sciences of the USSR, Earth  
Science Sections 245: 1-6, 1-4p., 1979  
Country of Publ.: United States  
ISSN: 0012-494X  
CODEN: DKESA9 7 REFS.  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English  
illus.  
Descriptors: \*USSR; \*seismology; \*geophysical methods;  
earthquakes; electrical methods; precursors; resistivity;  
crust; prediction; electrical surveys; geophysical surveys;  
focus; Earth; variations; subaerial environment; influenc;  
dilatation; Garm; Tadzhikistan; Peter the First Range  
Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)
- 1125573 82-45043  
Preliminary study on normal variations of terrestrial  
electrical resistivity  
Jin An-dong  
Seismol. Bur., Shandong Prov., CHN  
Acta Geophys. Sin. 24: 1, 92-106p., 1981  
Country of Publ.: China  
ISSN: 0001-5733  
CODEN: TCWHAG 2 REFS.  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: Chinese Summary Languages: English  
illus., 4 tables  
Descriptors: \*geophysical methods; \*earthquakes; \*seismology  
; electrical methods; prediction; applications;  
resistivity; resistivity method; soils; annual variations\*  
Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)
- 1107820 82-30499  
Temporal variations of the electrical resistivity of the  
Earth's crust  
Fernandez, R.  
Univ. of California, Berkeley, CA, USA  
109p., 1981  
Degree Level: Doctoral  
Country of Publ.: United States  
Subfile: B  
Doc Type: THESIS Bibliographic Level: MONOGRAPHIC  
Languages: English  
Availability: Univ. Microfilms  
Latitude: N361500; N365500 Longitude: W1211000; W1213000  
Descriptors: \*California; \*geologic hazards; \*earthquakes;  
geophysical surveys; prediction; electrical surveys;  
precursors; San Benito County; San Andreas Fault; United  
States; Central California; resistivity; active faults;  
faults; fault zones; electrical conductivity; noise; time  
variations; crust; electrical properties  
Section Headings: 22.(ENGINEERING & ENVIRONMENTAL GEOLOGY)
- 1102918 82-24945  
Electrical resistivity changes in tuffs due to stress  
Morrow, C.; Brace, W. F.  
Mass. Inst. Technol., Dep. Earth and Planet. Sci.,  
Cambridge, MA, USA  
JGR, Journal of Geophysical Research. B 86: 4, 2929-2934p.,  
1981  
Country of Publ.: United States  
ISSN: 0196-6936  
14 REFS.  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English  
illus., 1 table  
Descriptors: \*California; \*rock mechanics; \*igneous rocks;  
engineering geology; pyroclastics; materials; properties; tuff  
; resistivity; earthquakes; pyroclastics and glasses; active  
faults; faults; Northern California; United States; samplin;  
clastic rocks; stress; strain; failures; materials,  
properties; prediction; methods  
Section Headings: 22.(ENGINEERING & ENVIRONMENTAL GEOLOGY)
- 1077126 82-03845  
Dam-induced earthquakes and variation in electrical  
resistivity rock masses near the Chirkey Reservoir  
Idarmachev, S. G.; Barsukov, O. M.  
USSR Acad. Sci. Inst. Geol., Makhachkala, SUN  
Doklady of the Academy of Sciences of the USSR, Earth  
Science Sections 240: 1-6, 9-11p., 1978  
Country of Publ.: United States  
ISSN: 0012-494X  
CODEN: DKESA9 15 REFS.  
(cont. next page)

**DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/Fel. (Copr. American Geological Institute)**

Experimental studies of rock friction with application to earthquake prediction, Stanford, CA, United States, April 28-30, 1977  
 Pure Appl. Geophys. 116: 4-5. 717-731p., 1978  
 Country of Publ.: Switzerland  
 ISSN: 0033-4553  
 CODEN: PAGYAV 21 REFS.  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English

Descriptors: \*geophysics; \*deformation; \*experimental studies; resistivity; fractures; Westernly Granite; friction; sliding; diabase; basalt family; quartzite; metamorphic rocks; granite; granite-granodiorite family; shear stress; electrical properties; granodiorite; Franciscan Sandstone; Gabilan Granodiorite  
 Section Headings: 17 (GEOPHYSICS, GENERAL)

1022927 81-13094  
 Alcune considerazioni sulla previsione dei terremoti  
 Some considerations on earthquake prediction  
 Mulargia, F.; Boschi, E.  
 Atti del 69 o Congresso della Societa Geologica Italiana sul tema recenti sviluppi della ricerca geologica finalizzata 69 o Congresso della Societa Geologica Italiana; Recenti sviluppi della ricerca geologica finalizzata, Perugia, Italy, Oct. 2-4, 1978  
 Soc. Geol. Ital., Mem. 19, 665-672p., 1978  
 Country of Publ.: Italy  
 ISSN: 0375-9857  
 CODEN: MSGLAH 55 REFS.  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: Italian

Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; \*geologic hazards; effects; seismicity; earthquake prediction; prediction; seismic risk; precursors; electrical anomalies; geodesy; radon; models  
 Section Headings: 22 (ENGINEERING & ENVIRONMENTAL GEOLOGY)

1011396 80-50190  
 Study of temporal variations of electrical resistivity and electric fields on the San Andreas Fault  
 Morrison, H. F.; Fernandez, R.  
 Univ. Calif., Berkeley, Calif., USA  
 variously paginatedp., 1979  
 3 REFS.  
 Subfile: B  
 Doc Type: REPORT Bibliographic Level: MONOGRAPHIC  
 Languages: English  
 Availability: U. S. Geol. Surv., Menlo, Park, Calif., United

States  
 Note: Technical report, Illinois.  
 Latitude: N365000; Longitude: W1212000; W1213000  
 Descriptors: \*California; \*seismology; \*automatic data processing; earthquakes; geophysical surveys; precursors; electrical surveys; San Benito County; United States; San Andreas Fault; resistivity; variations; prediction; instruments; accuracy; arrays; Hollister  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1002610 80-44940  
 Air ions as a mediator in animal behavior prior to earthquakes  
 Yost, M. G.  
 Univ. Calif., Air Ion Res. Lab., Berkeley, Calif., USA  
 Proceedings of Conference XI; Abnormal animal behavior prior to earthquakes, II  
 Buskirk, R. E. (organizer); Evernden, J. F. (convener); Andriese, P. D. (COMPILER)  
 Second conference on Abnormal animal behavior prior to earthquakes, Galveston, Tex., United States, Oct. 18-19, 1979  
 U. S. Geol. Surv., Open-File Rep. 80-453, 148-155p., 1980  
 Country of Publ.: United States  
 CODEN: XGROAG 18 REFS.  
 Subfile: B

Doc Type: SERIAL; REPORT; CONFERENCE PUBLICATION  
 Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Availability: U. S. Geol. Surv., Open-File Serv. Sect., Branch Distrib., Denver, Colo., United States  
 illus., tables  
 Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; prediction; premonitory phenomena; animal behavior; atmosphere; air; ion; electrical field  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1002608 80-44873  
 Methods of assaying behavioral changes during exposure to weak electric fields  
 Medici, R. G.  
 Proceedings of Conference XI; Abnormal animal behavior prior to earthquakes, II  
 Buskirk, R. E. (organizer); Evernden, J. F. (convener); Andriese, P. D. (COMPILER)  
 Second conference on Abnormal animal behavior prior to earthquakes, Galveston, Tex., United States, Oct. 18-19, 1979  
 U. S. Geol. Surv., Open-File Rep. 80-453, 114-140p., 1980  
 Country of Publ.: United States  
 CODEN: XGROAG 60 REFS.  
 Subfile: B

Doc Type: SERIAL; REPORT; CONFERENCE PUBLICATION  
 Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English (cont. next page)

**DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/Fc (Copr. American Geological Institute)**

Availability: U. S. Geol. Surv., Open-File Serv. Sect.,  
 Branch Distrib., Denver, Colo., United States  
 Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; prediction;  
 premonitory phenomena; animal behavior; electrical field;  
 biophysics  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

1002607 80-44854  
**Research on electric and magnetic field detection**  
 Kalmijn, A. J.  
 Woods Hole Oceanogr. Inst., Woods Hole, Mass., USA  
 Proceedings of Conference XI; Abnormal animal behavior prior  
 to earthquakes, II  
 Buskirk, R. E. (organizer); Evernden, J. F. (convener);  
 Andriese, P. D. (COMPILER)  
 Second conference on Abnormal animal behavior prior to  
 earthquakes, Galveston, Tex., United States, Oct. 18-19, 1979  
 U. S. Geol. Surv., Open-File Rep. 80-453, 110-113p., 1980  
 Country of Publ.: United States  
 CODEN: XGROAG 15 REFS.  
 Subfile: B

Doc Type: SERIAL; REPORT; CONFERENCE PUBLICATION  
 Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Availability: U. S. Geol. Surv., Open-File Serv. Sect.,  
 Branch Distrib., Denver, Colo., United States  
 Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; \*Pisces; predictio  
 faunal studies; premonitory phenomena; behavior; animal  
 behavior; fish; morphology; functional morphology; electrical  
 field; magnetic field; detection; biophysics; biology;  
 sensory system  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

992996 80-34727  
**Progress along the road of investigation; The National  
 geomagnetism, geoelectricity and water chemistry congress**  
 Di Zhen  
 China Rep.: Sci. Technol. 3, 241p., 1979  
 Country of Publ.: United States  
 Subfile: B

Doc Type: SERIAL; REPORT Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Report No.: JPRS 73925  
 Availability: NTIS, Springfield, Va., United States  
 Note: From the Chinese; Dizhen Zhanxian, No. 5, p. 35-36,  
 1978.  
 Descriptors: \*symposia; \*earthquakes; seismology;  
 prediction; geochemistry; magnetic field; magnetic  
 anomalies; electrical anomalies; premonitory phenomena  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

992981 80-34790  
**Electrical resistivity in deep wells**  
 Su Luansheng  
 China Rep.: Sci. Technol. 3, 231p., 1979  
 Country of Publ.: United States  
 Subfile: B

Doc Type: SERIAL; REPORT Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Report No.: JPRS 73925  
 Availability: NTIS, Springfield, Va., United States  
 Note: From the Chinese; Dizhen Zhanxian, No. 2, p. 39-41,  
 1979.  
 Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; \*geophysical methods  
 ; prediction; electrical methods; methods; techniques;  
 observations; resistivity; theoretical studies  
 Section Headings: 19 (GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

982820 80-26058  
**Electrical resistivity changes in tuffs**  
 Morrow, C.; Brace, W. F.  
 Mass. Inst. Technol., Dep. Earth and Planet. Sci.,  
 Cambridge, Mass., USA  
 American Geophysical Union; 1979 fall annual meeting, San  
 Francisco, Calif., United States, Dec. 3-7, 1979  
 Eos (Am. Geophys. Union, Trans.) 60: 46, 943p., 1979  
 Country of Publ.: United States  
 ISSN: 0096-3941  
 CODEN: EOSTAU

Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic  
 Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Latitude: N380000; N420000 Longitude: W1200000; W1243000  
 Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; \*deformation; \*rock  
 mechanics; prediction; experimental studies; materials;  
 properties; precursors; stress; tuff; California; United  
 States; Northern California; strain; saturated materials;  
 materials, properties; pyroclastics and glasses; electrical  
 properties; resistivity  
 Section Headings: 22 (ENGINEERING & ENVIRONMENTAL GEOLOGY)

975282 80-16460  
**High-accuracy magnetic field difference measurements and  
 improved noise reduction techniques for use in tectonomagnetic  
 studies**

Ware, R. H.  
 Univ. Colo./Natl. Bur. Stand., Joint Inst. Lab. Astrophys.,  
 Boulder, Colo., USA  
 J. Geophys. Res. 84: B11, 6291-6295p., 1979  
 Country of Publ.: United States  
 ISSN: 0148-0227  
 CODEN: JUGRDA 9 REFS.  
 Subfile: B

(cont. next page)



*[Handwritten signatures and scribbles at the bottom of the page]*





DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/Fe (Copr. American Geological Institute)

magnetic field ; changes; precursors; Asia; Honshu; Izu Peninsula; Izu-Oshima-kinkai; Nakaizu; magnetic anomalies; electrical anomalies; self-potential methods; intensity; dilatancy; active faults; faults; 1978  
Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

957256 79-38509  
Observations of short-period geomagnetic variations at Nakaizu; 1  
Honkura, Y.; Koyama, S.  
Tokyo, Univ., Earthquake Res. Inst., Bull. 53, Part 3, 925-930p., 1978  
Country of Publ.: Japan  
CODEN: TDJKAZ 7 REFS.  
Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: Japanese Summary Languages: English  
illus., sketch maps  
Latitude: N345000; N350000 Longitude: E1391000; E1385000  
Descriptors: \*Japan; \*seismology; \*Earth ; earthquakes; magnetic field ; changes; precursors; Asia; Honshu; Izu Peninsula; Nakaizu; prediction; short-period variations; resistivity; electrical anomalies; H component; D component; Izu-Oshima-kinkai; 1978; magnetic surveys; geophysical surveys  
Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

954328 79-38557  
Precursory and coseismic changes in ground resistivity Rikitake, T.; Yamazaki, Y.  
Earthquake precursors; proceedings of the US-Japan seminar on theoretical and experimental investigations of earthquake precursors  
Kisslinger, C.(EDITOR); Suzuki, Z.(EDITOR)  
United States-Japan seminar on theoretical and experimental investigations of earthquakes precursors, Tokyo, Japan, Jan. 17-21, 1977  
Publ: Cen. Acad. Publ. Japan  
161-173p., 1978  
Country of Publ.: Japan  
12 REFS.  
Subfile: B  
Doc Type: BOOK; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English  
illus., sketch maps  
Latitude: N350000; N353000 Longitude: E1410000; E1400000  
Descriptors: \*Japan; \*seismology ; earthquakes ; prediction; Asia; Honshu; Tokyo; precursors; resistivity; electrical field; variations; strain; magnitude; variometers; epicenters  
Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

947370 79-30681  
Earth resistivity, self potential variations, and earthquakes: a negative result for M = 4.0  
Morrison, H. F.; Fernandez, R.; Corwin, R. F.  
Univ. Calif., Eng. Geosci., Berkeley, Calif.: USA  
Geophys. Res. Lett. 6: 3, 139-142p., 1979  
Country of Publ.: United States  
ISSN: 0094-8276  
CODEN: GPRLAJ 14 REFS.  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English  
illus.

Descriptors: \*earthquakes; \*seismology ; prediction ; variations; resistivity; self-potential methods; San Andreas Fault  
Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

947278 79-30657  
Aerosol anomalies preceding earthquakes discussion Hoenig, S. A.  
Univ. Ariz., Dep. Elec. Eng., Tucson, Ariz., USA  
Nature 279: 5709, 169p., 1979  
Country of Publ.: United Kingdom  
ISSN: 0028-0836  
CODEN: NATUAS 3 REFS.  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English  
Note: For reference to article by Tributsch, H., see Nature, Vol. 276, p. 606, 1978.

Descriptors: \*seismology; \*earthquakes ; prediction ; precursors; electrical phenomena; electrostatic discharge; aerosols; animal behavior; emissions; electrical field  
Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

945374 79-22294  
Electrical measurements as stress-strain monitors Madden, T. R.  
Mass. Inst. Technol., Dep. Earth and Planet. Sci., Cambridge, Mass., USA  
Proceedings of Conference VII, Stress and strain measurements related to earthquake prediction  
Evernden, J. F.(convener); Clark, B. R.(organizer); Pfluke, J. H.(organizer)  
Proceedings of Conference VII, Stress and strain measurements related to earthquake prediction, Carmel, Calif., United States, Sept. 7-9, 1978  
U. S. Geol. Surv., Open-File Rep. 79-370, 301-347p., 1979  
Country of Publ.: United States  
CODEN: XGROAG 20 REFS.  
Subfile: B

Doc Type: SERIAL; REPORT; CONFERENCE PUBLICATION  
(cont. next page)



INFORMATION SERVICES, INC.

**DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/Fe Copr. American Geological Institute)**

Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English  
Availability: U. S. Geol. Surv., Open-File Serv. Sect.,  
Branch Distrib., Denver, Colo., United States  
illus., tables  
Descriptors: \*seismology; \*earthquakes; \*geophysical methods  
; \*rock mechanics ; prediction; electrical methods; material;  
properties ; applications; electrical properties; methods;  
precursors; stress; strain; measurement; monitoring;  
materials. properties; electrical conductivity; pore  
pressure; depth; resistivity; dilatancy; self-potential  
methods; experimental studies; field studies; data  
Section Headings: 20 .(GEOPHYSICS, APPLIED)

938077 79-22272

**Electrical resistivity sounding as a technique for studying  
crustal dilatancy prior to earthquakes**

Drury, M. J.  
Earth Phys. Branch, Div. Geomagn., Ottawa, Ont., CAN  
Can. J. Earth Sci. 16: 2, 205-214p., 1979  
Country of Publ.: Canada  
ISSN: 0008-4077  
CODEN: CJESAP 23 REFS.  
Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English Summary Languages: French  
Note: Can., Earth Phys. Branch; Contrib. No. 754, illus.  
Descriptors: \*geophysical methods; \*earthquakes; \*seismology  
; \*rock mechanics; \*deformation; electrical methods ;  
prediction; materials; properties; theoretical studies ;  
applications; precursors; electrical properties; stress;  
resistivity; techniques; crust; dilatancy; mechanical  
properties; experimental studies; electrical conductivity;  
cracks; microcracks; materials, properties  
Section Headings: 20 .(GEOPHYSICS, APPLIED)

922315 79-05701

**Tectonomagnetic event detection using empirical transfer  
functions**

Poehls, K. A.; Jackson, D. D.  
Univ. Calif., Dep. Earth and Space Sci., Los Angeles,  
Calif., USA  
J. Geophys. Res. 83: B10, 4933-4940p., 1978  
Country of Publ.: United States  
CODEN: JGREA2 8 REFS.  
Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
Languages: English  
illus., table, sketch map  
Latitude: N360000; N371500 Longitude: W1203000; W1220000  
Descriptors: \*California; \*seismology; \*geophysical methods  
; geophysical surveys; earthquakes; magnetic methods ;  
magnetic surveys; precursors; interpretation; Santa Clara  
County; San Benito County; United States; Central California;  
San Andreas Fault; ground methods; arrays; magnetometers;

noise; magnetic field; signals; mathematical methods;  
filters; tectonomagnetic events; prediction; faults;  
detection; stress; transfer functions  
Section Headings: 20 .(GEOPHYSICS, APPLIED)

917279 79-01517

**Application of precursory geoelectric and geomagnetic  
phenomena to earthquake prediction in China**  
Noritomi, K.  
Chin. Geophys. 1: 2, 377-391p., 1978  
Country of Publ.: United States  
5 REFS.  
Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: English  
Earthquake Research in China; 2, illus., sketch maps  
Latitude: N390000; N400000 Longitude: E1183000; E1180000  
Descriptors: \*China; \*seismology ; earthquakes ; predictio;  
Asia; precursors; magnetic surveys; geophysical surveys;  
electrical surveys; self-potential methods; seismicity;  
Tangshan; Hopei; 1974; premonitory phenomena; Haicheng;  
Liaoning  
Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

902762 78-34825

**Polski predvestnikov zemletryaseniy v Azerbaydzhan  
A study of earthquake precursors in Azerbaizhan**  
Agamirzoyev, R. A.; Zolotovitskaya, T. A.; Ismail-Zade, T.  
A.; Kuliye, F. T.; Mamedov, R. A.  
Polski predvestnikov zemletryaseniy  
Savarenskiy, Ye. F.(EDITOR)  
International symposium on earthquake prediction, Tashkent,  
Union of Soviet Socialist Republics, May 27-June 3, 1974  
Publ: Izd. Fan Uzb. SSR  
213-218p., 1976  
Country of Publ.: Union of Soviet Socialist Republics  
Subfile: B

Doc Type: BOOK; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic Level:  
ANALYTIC

Languages: Russian Summary Languages: English  
illus.  
Latitude: N383000; N420000 Longitude: E0500000; E0450000  
Descriptors: \*USSR; \*seismology ; earthquakes ; prediction;  
Azerbaizhan; precursors; Earth-current surveys; geophysical  
surveys; radioactivity surveys; Shemakha; gamma-gamma method;  
geophysical methods  
Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

893889 78-23500

**Final report for the period ending September 30, 1977; the  
study of temporal resistivity variations on the San Andreas  
Fault**

(cont. next page)

DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/F (Copr. American Geological Institute)

Morrison, H. F.  
 Univ. Calif., Eng. Geosci., Berkeley, Calif., USA  
 174p., 1977  
 20 REFS.  
 Subfile: B  
 Doc Type: REPORT Bibliographic Level: MONOGRAPHIC  
 Languages: English  
 Availability: Univ. Calif., Berkeley, Calif., United States  
 illus., tables, sketch map  
 Latitude: N363000; N365000 Longitude: W1210000; W1213000  
 Descriptors: \*California; \*seismology; earthquakes;  
 geophysical surveys; prediction; electrical surveys; San  
 Benito County; United States; monitoring; resistivity;  
 self-potential methods; San Andreas Fault; precursors;  
 faults; active faults; time; 1976-1977; data  
 Section Headings: 20.(GEOPHYSICS, APPLIED)

891794 78-23474  
**Electrical resistivity changes in rocks during frictional sliding and fracture**  
 Wang, C.; Sundaram, P. N.; Goodman, R. E.  
 Univ. Calif. Berkeley, Berkeley, Calif., USA  
 Proceedings of Conference II; experimental studies of rock friction with application to earthquake prediction  
 Byerlee, J.(organizer); Brace, W. F.(organizer); Evernden, J. F.(EDITOR)  
 Conference II; experimental studies of rock friction with application to earthquake prediction, Stanford, Calif., United States, April 28-30, 1977  
 Publ: U. S. Geol. Surv., Off. Earthquake Stud.  
 355-388p., 1977  
 Country of Publ.: United States  
 21 REFS.  
 Subfile: B  
 Doc Type: BOOK; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Descriptors: \*deformation; \*rock mechanics; \*seismology; experimental studies; materials; properties; seismic sources; fractures; electrical properties; materials, properties; resistivity; changes; review  
 Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

893170 78-23382  
**Self-potential variations preceding earthquakes in central California**  
 Corwin, R. F.; Morrison, H. F.  
 Univ. Calif., Eng. Geosci., Berkeley, Calif., USA  
 Geophys. Res. Lett. 4: 4, 171-174p., 1977  
 Country of Publ.: United States  
 CODEN: GPRLAJ 20 REFS.  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 illus., table, sketch map  
 Latitude: N363000; N370000 Longitude: W1210000; W1213000  
 Descriptors: \*California; \*seismology; \*geophysical methods; earthquakes; electrical methods; prediction; application; San Benito County; Monterey County; United States; precursors; electrical field; anomalies; self-potential anomalies; monitoring  
 Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

866332 77-46327  
**Monitoring earthquake-related variations of electrical resistivity and self-potential on the San Andreas Fault**  
 Corwin, R. F.; Morrison, H. F.; Chang, M. Y.  
 Univ. Calif., Eng. Geosci., Berkeley, Calif., USA  
 American Geophysical Union; 1976 spring annual meeting, Washington, D.C., United States, April 12-15, 1976  
 Eos (Am. Geophys. Union, Trans.) 57: 4, 288p., 1976  
 Country of Publ.: United States  
 CODEN: EOSTAU  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Latitude: N340000; N380000 Longitude: W1170000; W1230000  
 Descriptors: \*California; \*earthquakes; \*seismology; United States; San Andreas Fault; prediction; premonitory phenomena; electrical methods; resistivity; self-potential; creep; til; variations; arrays  
 Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

893157 78-23473  
**Electrical resistivity of granite in frictional sliding; application to earthquake prediction**  
 Wang, C.; Goodman, R. E.; Sundaram, P. N.; Morrison, H. F.  
 Univ. Calif., Dep. Geol. Geophys., Berkeley, Calif., USA  
 Geophys. Res. Lett. 2: 12, 525-528p., 1975  
 Country of Publ.: United States  
 CODEN: GPRLAJ  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Descriptors: \*earthquakes; \*seismology; \*rock mechanics; prediction; materials; properties; precursors; granite; granite-granodiorite family; stick slip; friction; sliding; electrical conductivity; resistivity; experimental studies; electrical properties; materials, properties; applications  
 Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

866331 77-46504  
**Premonitory and coseismic variations of pore-water pressure and electrical resistivity of granite during frictional sliding**  
 Wang, C.-Y.; Goodman, R. E.; Sundaram, P. N.; Morrison, H.  
 (cont. next page)

DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/Feb (Copr. American Geological Institute)

F. Univ. of Calif., Dep. Mat. Sci. Eng., Berkeley, Calif., USA  
 American Geophysical Union; 1976 spring annual meeting,  
 Washington, D.C., United States, April 12-15, 1976  
 Eos (Am. Geophys. Union, Trans.) 57: 4, 288p., 1976  
 Country of Publ.: United States  
 CODEN: EOSTAU  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic  
 Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Descriptors: \*earthquakes ; prediction ; premonitory  
 phenomena; measurement; techniques; electrical methods;  
 resistivity; pore water; pore pressure; granite; variations  
 Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

865173 77-46305  
**Atmospheric electric field observations, animal behavior,  
 and earthquakes**  
 Bufo, C. G.; Nanevich, J.  
 U. S. Geol. Surv., Menlo Park, Calif., USA; Stanford Res.  
 Inst.  
 Abnormal animal behavior prior to earthquakes, I  
 Evernden, J. F. (convener)  
 Abnormal animal behavior prior to earthquakes, I; Earthquake  
 Hazards Reduction Program Conference I, Menlo Park, Calif.,  
 United States, Oct. 23-24, 1976  
 Publ: U. S. Geol. Surv.  
 95-106p., 1976  
 Country of Publ.: United States  
 7 REFS.

Subfile: B  
 Doc Type: BOOK; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic Level:  
 ANALYTIC  
 Languages: English  
 illus., table, sketch map  
 Latitude: N363000; N370000 Longitude: W1211500; W1214000  
 Descriptors: \*California; \*seismology; \*earthquakes;  
 \*environmental geology; \*meteorology ; electrical phenomena;  
 United States; geologic hazards ; San Benito County;  
 Monterey County; central; Hollister; Salinas; San Andreas  
 Fault; Calaveras Fault; prediction; precursors; premonitory  
 phenomena; animals; behavior; atmosphere; electrical field;  
 changes; observations; 1975; 1976  
 Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

863488 77-42556  
**Observations of tilt and self potential at an epicentral  
 distance of 20 km preceding the Haicheng earthquake (M=7.3),  
 People's Republic of China**  
 Savage, J.  
 U. S. Geol. Surv., Menlo Park, Calif., USA  
 American Geophysical Union; 1976 fall annual meeting, San  
 Franc., Calif., United States, Dec. 6-10, 1976  
 Eos (Am. Geophys. Union, Trans.) 58: 5: Postdeadline

abstracts, 311p., 1977  
 Country of Publ.: United States  
 CODEN: EOSTAU  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL; CONFERENCE PUBLICATION Bibliographic  
 Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Latitude: N405300; N405300 Longitude: E1224500; E1224500  
 Descriptors: \*China; \*seismology; \*earthquakes ; Asia ;  
 Haicheng; 1976; magnitude; premonitory phenomena; tilt;  
 self-potential; fluctuations; applications; prediction  
 Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

828014 77-10219  
**Perturbation of the electric current by a resistivity  
 anomaly and its application to earthquake prediction**  
 Honkura, Y.  
 J. Geomagn. Geoelec. 28: 1, 47-57p., 1976  
 Country of Publ.: Japan  
 CODEN: JGEGAB 14 REFS.  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 illus.

Descriptors: \*Earth; \*earthquakes; \*seismology ; theoretical  
 studies; prediction ; magnetic field; variations; electrical  
 field; induction; resistivity; changes; crust; premonitory  
 phenomena; electrical resistivity; anomalies  
 Section Headings: 17 .(GEOPHYSICS, GENERAL)

825907 77-06237  
**Electrical resistivity of kaolinite during triaxial loading**  
 Fitterman, D. V.  
 U. S. Geol. Surv., Denver, Colo., USA  
 Eos (Am. Geophys. Union, Trans.) 57: 8: AGU spring annual  
 meeting, 1976; postdeadline abstracts, 596p., 1976  
 CODEN: EOSTAU  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC  
 Languages: English  
 Descriptors: \*geophysics; \*deformation ; experimental  
 studies ; kaolinite; compression; loading; triaxial; failure;  
 effects; properties; electrical properties; resistivity;  
 applications; earthquakes; variations  
 Section Headings: 17 .(GEOPHYSICS, GENERAL)

824608 77-06091  
**Theoretical resistivity variations along stressed  
 strike-slip faults**  
 Fitterman, D. V.  
 Mass. Inst. Technol., Camb., Mass., USA  
 J. Geophys. Res. 81: 26, 4909-4915p., 1976  
 (cont. next page)

## DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/Feb (Copr. American Geological Institute)

CODEN: JGREA2

Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: English

illus.

Descriptors: \*faults; \*California; \*displacements; structural geology; strike-slip; experimental studies; strain; accumulation; changes; electrical resistivity; models; applications; earthquakes; prediction; United State; San Andreas Fault; south

Section Headings: 16.(STRUCTURAL GEOLOGY)

822125 77-02619

Changes in magnetic and telluric fields in a seismically active region of eastern Canada; preliminary results of earthquake prediction studies

Honkura, Y.; Niblett, E. R.; Kurtz, R. D.

Tectonophysics 34: 3-4, 219-230p., 1976

CODEN: TCTOAM

Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: English

Canada, Earth Phys. Branch; Contrib. No. 620, illus., sketch map

Descriptors: \*Canada; \*seismology; \*earthquakes; seismic east; precursors; premonitory phenomena; crust; electrical resistivity; electrical field; magnetic field; variations; observations; monitoring; 1974; 1975; prediction

Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

809571 76-35817

Dinamika zemnoy kory Sredney Azii i prognoz zemletryaseniy Dynamics of the Earth's crust of Central Asia and prediction of earthquakes

Ulomov, V. I.

Publ: Izd. Fan Uzb. SSR

214p., 1974

Country of Publ.: Union of Soviet Socialist Republics

Subfile: B

Doc Type: BOOK Bibliographic Level: MONOGRAPHIC

Languages: Russian

illus., block diag., tables, sects., sketch maps

Descriptors: \*seismology; \*USSR; \*earthquakes; \*crust; methods; seismic anomaly method; techniques; graphic; automatic data processing; accuracy; Central Asia; Pamirs; Tien Shan; Chatkal Range; Kurama Range; Turan Plate; Tashkent; 1966; parameters; prediction; precursors; tilt; thermal waters; temperature; pressure; ground water; radio; ionosphere; atmosphere; luminous phenomena; electrical field; structure; block; deformation; lithosphere; movement; horizontal; seismicity

Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

799745 76-25991

Electrical resistivity variations associated with earthquakes on the San Andreas Fault

Mazzella, A.; Morrison, H. F.

Geophysics 40: 1: Soc. Explor. Geophys., 44th annu. mt. meet., 151p., 1975

CODEN: GPYSA7

Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: English

Descriptors: \*California; \*geophysical methods; \*earthquakes; electrical methods; United States; geophysical surveys; \*faults; \*engineering geology; displacements; electrical surveys; central; San Andreas Fault; resistivity; ground; recording; changes; precursors; automatic data processing; models; two-dimensional; dilatancy; porosity; saturation; prediction; variations; strike-slip

Section Headings: 20.(GEOPHYSICS, APPLIED)

798870 76-25116

Studies of the tectonics, seismicity and geothermics of the rift system of East Africa

Maasha, N.

Columbia

125p., 1975

Degree Level: Doctoral

Subfile: B

Doc Type: THESIS Bibliographic Level: MONOGRAPHIC

Languages: English

Note: In four parts; the first part (in collaboration with Molnar, P.) published in J. Geophys. Res., Vol. 77, p. 5731, 1972, Diss. Abstr. Int., Vol. 36, No. 3, p. 1111B-1112B, 197. Descriptors: \*Africa; \*seismology; \*springs; earthquakes; microearthquakes; east; seismicity; tectonics; Uganda; hot springs; rift valleys; anomalies; electrical resistivity; heat flow

Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

762801 75-28575

Electrical resistivity variations associated with earthquakes on the San Andreas Fault

Mazzella, Aldo; Morrison, Frank H.

Univ. Calif., Eng. Geosci., Berkeley, Calif., USA

Science (AAAS) 185: 4154, 855-857p., 1974

CODEN: SCIEAS

Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: English

illus., sketch map

Descriptors: \*California; \*faults; \*earthquakes; \*geophysical methods; \*engineering geology; \*seismology; \*geophysical surveys; displacements; electrical methods; United States; San Benito County; Monterey County; (cont. next page)



## DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/Feb (Copr. American Geological Institute)

electrical surveys; central; San Andreas Fault; strike-slip; resistivity; changes; precursors; measurement; observation; 1973; 1974; magnitude; prediction  
Section Headings: 20.(GEOPHYSICS, APPLIED)

759872 75-25643

Electrical resistivity of strained rocks (resistivity changes associated with large earthquakes as observed by a resistivity variometer)

Yamazaki, Yoshio  
Univ. Tokyo, Earthquake Res., Tokyo, JPN  
Zisin (Seismol. Soc. Jap., J) 27: 1, 81-83p., 1974  
CODEN: ZISIA5  
Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: Japanese  
illus., sketch maps

Descriptors: \*seismology ; properties ; resistivity; changes; strain; earthquakes; observations; methods  
Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

759436 75-25207

Dilatancy-related electrical resistivity changes in rocks

Brace, W. F.  
Mass. Inst. Technol., Dep. Earth Planet. Sci., Cambridge, Mass., USA

Eos (Am. Geophys. Union, Trans.) 56: 12, 1195-1196p., 1974  
CODEN: EOSTAU  
Subfile: B

Doc Type: SERIAL Bibliographic Level: ANALYTIC

Languages: English  
Descriptors: \*earthquakes ; prediction ; precursors; dilatancy; electrical resistivity; changes; pore pressure  
Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

752861 75-18632

A study of variations of the Earth's electromagnetic field

Troitskaya, V. A.; Kleymenova, N. G.; Gokhberg, M. B.; Gul'yel'mi, A. V.; Chetayev, D. N.; Barsukov, O. M.  
Phys. Solid Earth (Engl. Ed.) No. 10, p. 635-641, 1111us., 1974

CODEN: IPSEBQ

Subfile: B

Doc Type: SERIAL

Languages: English  
Descriptors: \*Magnetosphere; \*USSR; \*Earth; \*Earthquakes ; General; Magnetic field; Geophysical surveys ; Magnetic storm plasma instabilities; variations; wave propagation; measurement; Earth Physics Institute; Electromagnetic field; current research; Garm; prediction; electrical resistivity; dipole sounding; observations  
Section Headings: 17.(GEOPHYSICS, GENERAL)

752742 75-18513

Electrical Resistivity of Strained Rocks (4) (A Resistivity Change at Aburatsubo Caused by an Earthquake of Magnitude 6.9 on May 9, 1974)

Yamazaki, Yoshio.  
Zisin (Seismol. Soc. Jap., J) Vol. 27, No. 4, p. 364-367 (Jap.), 1111us. (incl. sketch maps), 1974  
CODEN: ZISIA5

Subfile: B

Doc Type: SERIAL

Languages: English

Descriptors: \*Japan; \*Earthquakes ; Seismology; Asia ; Aburatsubo; Koura; 1974; effects; electrical conductivity; resistivity; rocks  
Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

739692 75-05088

Approximate estimation of the size of the zone of earthquake buildup from measurement of the electrical resistivity of a mountain massif

Barsukov, O. M.; Krasnyuk, P. D.; Listov, N. A.; Sorokin, O. N.  
in Earthquake Precursors, 9 p., 1111us.,  
Acad. Sci. USSR, O. Yu. Shmidt Order Lenin Inst. Earth Phys. Moscow, 1974

Subfile: B

Languages: English

Descriptors: \*Earthquakes; \*Engineering geology ; Predictio  
Rock mechanics ; Geophysical methods; electrical methods;  
Resistivity; measurement; mountains; USSR; Pamirs; Petra I  
Range

Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

739691 75-05087

Variations in the electrical resistivity of rocks and earthquakes

Barsukov, O. M.  
in Earthquake Precursors, 11 p., 1111us.,  
Acad. Sci. USSR, O. Yu. Shmidt Order Lenin Inst. Earth Phys. Moscow, 1974

Subfile: B

Languages: English

Descriptors: \*Earthquakes; \*Engineering geology ; Predictio  
Rock mechanics ; Geophysical methods; electrical methods;  
resistivity; strength  
Section Headings: 19.(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

739689 75-05085

Prospects for routine prediction of earthquakes on the basis of electrotelluric observations

Sobolev, G. A.  
in Earthquake Precursors, 17 p., 1111us.,  
(cont. next page)

## DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/F... (Copr. American Geological Institute)

Acad. Sci. USSR, O. Yu. Shmidt Order Lenin Inst. Earth Phys. Moscow, 1974  
 Subfile: B  
 Languages: English  
 Descriptors: \*Geophysical methods ; Magnetotelluric methods prediction; earthquakes; elastic waves; precursors  
 Section Headings: 19 .(GEOPHYSICS, SEISMOLOGY)

719011 74-24148  
 Ob izuchenii elektroprovodnosti gornyykh porod v zonakh iskusstvenno povyshennykh plastovyykh davleniy  
 Study of electrical conductivity of rocks in zones of artificially increased formation pressure  
 Mutaliyev, N.; Barsukov, O. M.; Akbarov, T.  
 Uzbek. Geol. Zh. No. 5, p. 45-49 (incl. Uzbek. sum.), illus. (incl. sketch map), 1973  
 CODEN: UZGZAO  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL  
 Languages: Russian  
 Descriptors: \*USSR; \*Well-logging; \*Geophysics; \*Earthquakes ; Geophysical surveys; Experimental studies; Prediction; Electrical ; Uzbekistan; Poltoratsk; Reservoirs; gas storage; sedimentary rocks; porosity; saturation; effects; electrical resistivity; Rocks; changes; resistivity; factors; gas; pressure  
 Section Headings: 18 .(GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

702617 74-07721  
 Electrical Resistivity of Strained Rocks (Construction of a Resistivity Variometer)  
 Yamazaki, Yoshio.  
 Zisin (Seismol. Soc. Jap., J) Vol. 26, No. 1, p. 55-66 (Jap.; Eng. sum.), illus. (incl. sketch maps), 1973  
 CODEN: ZISIA5  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL  
 Languages: Japanese  
 Compression tests, sedimentary rocks, resistivity changes, earthquakes, prediction and magnitude; installation (1968) at Aburatsubo, Japan  
 Descriptors: \*Japan; \*Seismology; \*Deformation ; Earthquake field studies ; observations; Aburatsubo; Experimental studies; sedimentary rocks; electrical properties; resistivity; applications; prediction; magnitude; Asia; Compression; strain; instruments  
 Section Headings: 18 .(GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

667895 73-07159  
 Lokal'nyye vozmushcheniya elektricheskogo polya na Kamchatke i ikh svyaz' s zemletryaseniym  
 Local disturbances of the electrical field in Kamchatka and their relationship to earthquakes

Sobolev, G. A.; Morozov, V. N.  
 in Fizicheskiye osnovaniya polskov metodov prognoza zemletryaseniya, p. 110-121, illus. (incl. sketch map), Akad. Nauk SSSR, Inst. Fiz. Zemli Moscow, 1970  
 Subfile: B  
 Languages: Russian  
 Descriptors: \*USSR; \*Geophysical surveys; \*earthquakes ; Electrical surveys; Epicenters ; Kamchatka; prediction; Electrical fields; Interpretation  
 Section Headings: 18 .(GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

661491 73-00754  
 The electrotelluric field and a strong earthquake on Kamchatka  
 Sobolev, G. A.; Morozov, V. N.; Mignonov, N. I.  
 Phys. Solid Earth (Engl. Ed.) No. 2, p. 108-113, illus. (incl. sketch maps), 1972  
 CODEN: IPSEBQ  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL  
 Languages: English  
 Descriptors: \*USSR; \*Seismology; \*Earthquakes ; Kamchatka; Prediction; rocks; electrical properties  
 Section Headings: 18 .(GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

654276 72-35587  
 A search for electrical criteria for prediction of earthquakes [abstr.]  
 Barsukov, O. M.  
 Geosci. Bull., Ser. A Vol. 3, No. 4, p. 7, 1972  
 CODEN: GSCBB4  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL  
 Languages: English  
 Descriptors: \*Seismology; \*Earthquakes; \*Geophysical methods ; electrical methods; Methods ; Prediction; electrical fields; artificial  
 Section Headings: 18 .(GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

631425 72-12489  
 Variations of the electrical resistivity of rocks related to tectonic reasons--Variatsii elektricheskogo soprotivleniya gornyykh porod svyazannyye s tektonicheskimi prichinami [abstr.]  
 Barsukov, O. M.  
 In Symposium on forerunners of Strong Earthquakes, 8. P. 4-5, Int. Union Geod. Geophys., 15th Gen. Assem., Abstr. Moscow, 1971

CODEN: 24ZNAK  
 Subfile: B  
 Doc Type: SERIAL

(cont. next page)



DIALOG File 89: Georef - 1785-1886/Full (Copr. American Geological Institute)

592989 71-12269  
Relationship between the electrical resistivity of rocks and tectonic processes  
Barsukov, O. M.  
Phys. Solid Earth (Engl. Ed.) No. 1, p. 55-59, 111us., 1970  
CODEN: IPSEBQ  
Subfile: B  
Languages: English  
Descriptors: \*USSR; \*Seismology; \*Earthquakes; \*Geophysical methods; Electrical methods; Pamirs; predictions; variations; resistivity; rocks; Methods; prediction; Applications  
Section Headings: 18 (GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

572357 70-24791  
Investigation on earthquake prediction in Kamchatka  
Fedotov, S. A.; Dolbilkina, N. A.; Morozov, V. N.; Myachkin, V. I.; Preobrazensky, V. B.; Sobolev, G. A.  
In Earthquake mechanics,  
Tectonophysics Vol. 9, p. 2-3, p. 249-258, 111us. (incl. sketch maps), 1970  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL  
Languages: English  
Prediction based on seismic observations, anomalies in Earth's electric field, and P-wave velocities, USSR  
Descriptors: \*Earthquakes; \*USSR; \*Earth-current surveys; Prediction; Kamchatka  
Section Headings: 18 (GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

536337 71-03037-G  
INVESTIGATION OF EARTHQUAKE PREDICTION IN KAMCHATKA, IN EARTHQUAKE MECHANICS (T. RIKITAKE, EDITOR) - A SYMPOSIUM, MADRID, SPAIN, 1969  
FEDOTOV, S. A.; DOLBILKINA, N. A.; MOROZOV, V. N.; MYACHKIN, V. I.; PREOBRAZENSKY, V. B.; SOBOLEV, G. A.  
TECTONOPHYSICS, V. 9, NOS. 2-3, P. 249-258 1970  
Subfile: G  
Descriptors: \*EARTHQUAKES; \*EARTH CURRENTS; \*JAPAN; \*PREDICTION

517521 69-20817  
Small earth strains as detected by electric resistivity measurements  
Rikitake, Tsuneji; Yamazaki, Yoshio.  
Jap. Acad. Proc. Vol. 43, No. 6, p. 477-482, 111us., 1967  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL  
Languages: English  
Laboratory and field tests, resistivity changes related to mechanical strain in rocks, significance for earthquake prediction, Japan  
Descriptors: \*Japan; \*Electrical surveys; \*earthquakes; Prediction; Regional; resistivity; electrical resistivity data  
Section Headings: 18 (GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

477383 68-04477-N  
Current laboratory studies pertaining to earthquake prediction  
Brace, W. F.  
in Earthquake prediction--Proceedings of a symposium, Zurich, Switzerland, 1967  
Tectonophysics v. 6, no. 1, p. 75-87, 111us., 1968  
Subfile: N  
Laboratories studies in source mechanism, microfracturing. (cont. next page)

576272 70-28708  
Relationship between the electrical resistivity of rocks and tectonic processes  
Barsukov, O. M.  
Phys. Solid Earth (Engl. Ed.) No. 1, p. 55-59, 111us., 1970  
CODEN: IPSEBQ  
Subfile: B  
Languages: English  
Descriptors: \*Earthquakes; \*Seismology; \*Electrical methods; Prediction; Experimental studies; Earthquake prediction; resistivity; electrical; Deformation  
Section Headings: 18 (GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

575191 70-27625  
O svyazi elektricheskogo soprotivleniya gornyykh porod s tektonicheskimi protsessami  
Relationship between the electrical resistivity of rocks and tectonic processes  
Barsukov, O. M.  
Fiz. Zemli No. 1, p. 84-89, 111us., 1970  
CODEN: IAFZAK  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL  
Languages: Russian  
Descriptors: \*Electrical methods; \*Earthquakes; Experimental studies; Detection; Resistivity; rocks; genera; tectonic processes  
Section Headings: 18 (GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

517521 69-20817  
Small earth strains as detected by electric resistivity measurements  
Rikitake, Tsuneji; Yamazaki, Yoshio.  
Jap. Acad. Proc. Vol. 43, No. 6, p. 477-482, 111us., 1967  
Subfile: B  
Doc Type: SERIAL  
Languages: English  
Laboratory and field tests, resistivity changes related to mechanical strain in rocks, significance for earthquake prediction, Japan  
Descriptors: \*Japan; \*Electrical surveys; \*earthquakes; Prediction; Regional; resistivity; electrical resistivity data  
Section Headings: 18 (GEOPHYSICS, SOLID EARTH)

477383 68-04477-N  
Current laboratory studies pertaining to earthquake prediction  
Brace, W. F.  
in Earthquake prediction--Proceedings of a symposium, Zurich, Switzerland, 1967  
Tectonophysics v. 6, no. 1, p. 75-87, 111us., 1968  
Subfile: N  
Laboratories studies in source mechanism, microfracturing. (cont. next page)



DIALOG File 89: Georef - 1785-1986/1 (Copr. American Geological Institute)

and changes in rock properties under stress may be useful in earthquake prediction. Of processes which produce sudden stress drops in rocks, brittle fracture and frictional stick-slip are being currently studied. Both are accompanied by numerous small elastic shocks which are due to microfracturing; the pattern of microfracturing prior to brittle fracture differs from that before frictional sliding. Just before fracture the number and intensity of shocks increase markedly, and the locations from which larger shocks emanate cluster along the eventual fault plane; neither feature has been observed prior to frictional stick-slip. Large changes in sound velocity have been observed at certain phase changes, and electrical resistivity and magnetic susceptibility are strongly affected by stress.

Descriptors: \*Earthquakes ; Prediction ; Laboratory studie; current

469304 68-00202-N  
 Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes  
 Simpson, John F.  
 Earth and Planetary Sci. Letters v. 3, no. 5, p. 417-425.  
 illus., 1967, 1968  
 Subfile: N

Solar activity, as indicated by sunspots, radio noise, and other geomagnetic indices, plays a significant but by no means exclusive role in the triggering of earthquakes. Maximum quake frequency occurs at times of moderately high and fluctuating solar activity. Terrestrial solar-flare effects which are the actual coupling mechanisms which trigger quakes appear to be either abrupt accelerations in the Earth's angular velocity or surges of telluric currents in the Earth's crust. The graphs presented in this paper permit probabilistic forecasting of earthquakes, and when used in conjunction with local indicators, may provide a significant tool for specific earthquake prediction.

Descriptors: \*Earthquakes ; Genesis; Prediction ; Solar activity as trigger; Solar-flare activity; graphs

447734 67-04517  
 A five-year plan for earthquake prediction research in Japan  
 Rikitake, Tsuneji.  
 Tectonophysics Vol. 3, No. 1, p. 1-15, illus. (incl. sketch maps), 1966  
 Subfile: E  
 Doc Type: SERIAL

Languages: English  
 Japanese earthquake research was intensified by the Kanto (Tokyo-Yokohama) 1923 earthquake that killed 100,000 people. The 1962 prediction research program was accelerated by the 1964 Niigata earthquake that resulted in a comprehensive five-year plan as the initial step. This provides for continuous surveillance of crustal deformation in crucial regions, coastal elevation and tilt changes, changes in seismic wave velocities resulting from accumulated strain, geothermal changes, active folds and faults, changes of

breakage characteristics in rocks under strain in critical areas, and changes in geomagnetism and earth currents. Also planned are periodic resurvey of geodetic changes in established networks, a large increase in the number of second-order leveling stations in crucial areas, and intensive geologic studies. Horizontal pendulum tiltmeters are used for sudden changes, and water-tube tiltmeters for slow change in crustal deformation. Coastal tide-gauge tilt stations are planned for every 100 km of coastline. A dense network of magnetic variometers will provide surveillance over short-period geomagnetic variations that are thought to indicate anomalous conditions beneath Japan.

Descriptors: \*Japan; \*Earthquakes ; Prediction ; five-year plan

Section Headings: 23 (SURFICIAL GEOLOGY, GEOMORPHOLOGY)

TEA02 