

Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΓΕΝΕΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΩΣ
ΠΡΟΔΡΟΜΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΛΕΝΙΝΑΚΑΝ (ΑΡΜΕΝΙΑ)
ΤΗΣ 7ης ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 1988

Γιώργος Φ. Καρακαΐσης

Εργαστήριο Γεωφυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
Θεσσαλονίκη 540 06

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή καταβάλλεται προσπάθεια για τη μελέτη της σεισμικής δράσης που παρατηρήθηκε στην περιοχή του σεισμού της 7ης Δεκεμβρίου 1988 στο ΛΕΝΙΝΑΚΑΝ πριν τη γένεση του σεισμού αυτού. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που αφορούν επιφανειακούς σεισμούς με μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο του 4,0 οι οποίοι έγιναν σε περιφέρεια με ακτίνα 100 Km από το επίκεντρο του σεισμού, κατά το χρονικό διάστημα 1900-1988. Η χαρτογράφηση του αθραιστικού αριθμού των σεισμών σε συνάρτηση με το χρόνο, έδειξε κάμψη του ρυθμού σεισμικότητας στην περιοχή από το 1940 και ιδιαίτερα μετά το 1972. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται ως πρόδρομο φαινόμενο του σεισμού αυτού.

VARIATION OF THE SMALL MAGNITUDE SEISMICITY RATE AS A
PRECURSOR OF THE LENINAKAN (ARMENIA) EARTHQUAKE OF
DECEMBER 7, 1988

George F. Karakaisis

Geophysical Laboratory, University of Thessaloniki,
Thessaloniki, 540 06

ABSTRACT

An attempt is made in this paper to study the seismic activity around LENINAKAN (Armenia), before the occurrence of the destructive earthquake of December 7, 1988. For this reason, data that concern all shallow main shocks which occurred in a circle with radius equal to 100 Km around the Leninakan earthquake epicenter during 1900-1988 have been used. By plotting the cumulative number of these shocks as a function of time, a decrease of seismicity rate since 1940 and particularly since 1972 has been identified. This fact is considered to be a precursor of the Leninakan earthquake.

1. Εισαγωγή

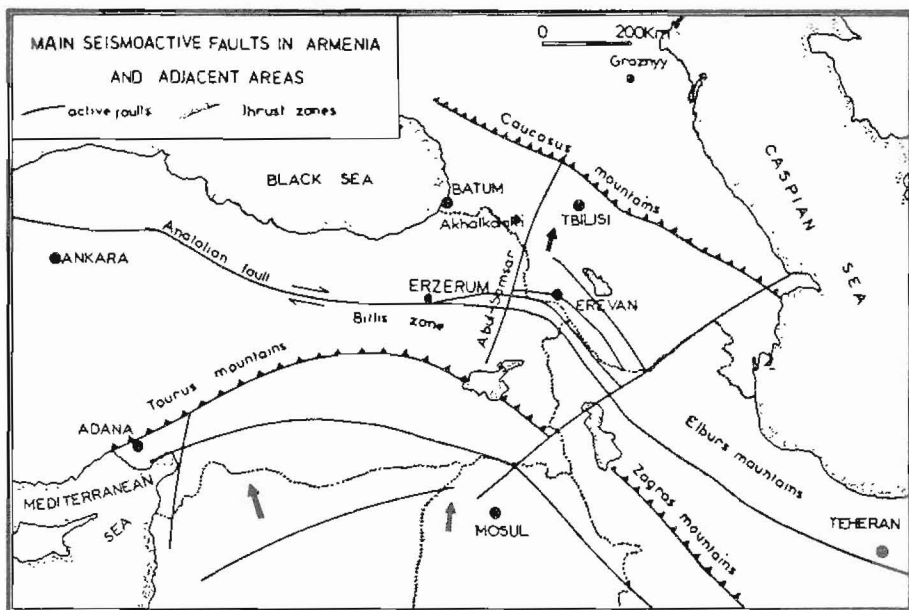
Στις 7 Δεκεμβρίου 1988 ισχυράς σεισμός συγκλόνισε το βόρειο τμήμα της Αρμενίας, προκαλώντας τεράστιες καταστροφές στις πόλεις SPITAK, LENINAKAN, και KIROVAKAN. Το επιφανειακό μέγεθος του σεισμού ήταν 7,0 (NEIS: $M = 6,9$, BRK: $M = 7,0$). Από ιστορικά δεδομένα που αφορούν τη σεισμικότητα στην περιοχή του Καυκάσου προκύπτει ότι στο βόρειο τμήμα της Αρμενίας, όπου έγινε ο σεισμός της 7ης Δεκεμβρίου 1988, δεν υπάρχουν πληροφορίες για ισχυρότερο σεισμό στην περιοχή αυτή (Gorshkov 1984). Εν τούτοις, υπάρχουν πληροφορίες που αφορούν τέσσερεις μεγάλους σεισμούς που έγιναν στην ευρύτερη περιοχή: α) το 1139 με μέγεθος $M = 7,3 \pm 0,7$, β) το 1275 με μέγεθος $M = 7,1 \pm 0,5$, γ)

το 1668 με μέγεθος $M = 8,0 \pm 0,5$ και δ) το 1742 με μέγεθος $M = 6,7 \pm 0,5$ (Νίκκοπον 1987).

Στην εργασία αυτή καταβάλλεται προσπάθεια να ανιχνευθεί η ύπαρξη πρόδρομης σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή του σεισμού του Leninakan.

2. Σεισμοτεκτονικό Περιβάλλον

Στο σχήμα (1) φαίνονται τα κύρια γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά της Αρμενίας και της ευρύτερης περιοχής (Καρακαϊσης και Κουρουζίδης 1989), όπως αυτά περιγράφονται στις εργασίες διαφόρων ερευνητών (Nowroozi 1971, McKenzie 1972, Jackson and McKenzie 1984).

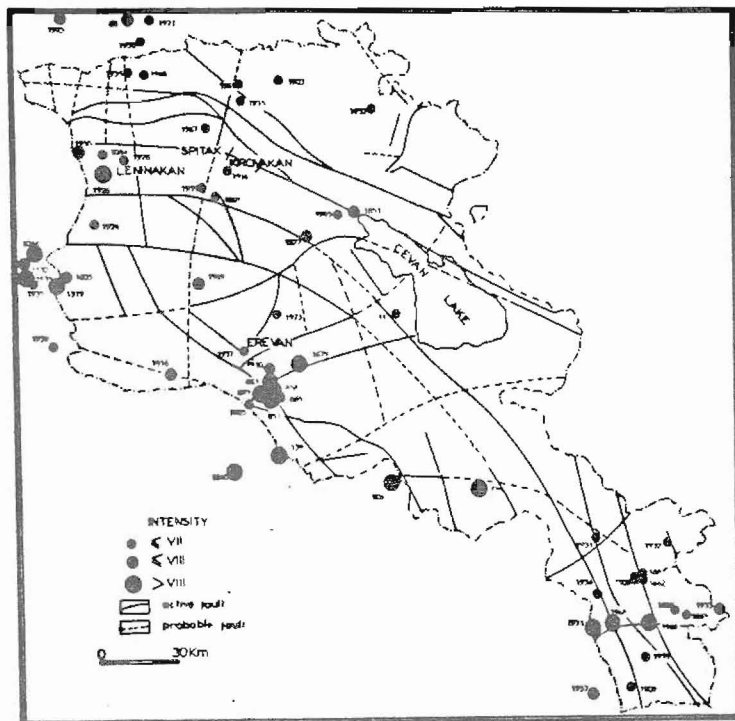


Σχ.1. Κύρια σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά της Αρμενίας και των γύρω περιοχών. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τις διευθύνσεις κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών (Καρακαϊσης και Κουρουζίδης 1989).

Η αραβική λιθοσφαιρική πλάκα, κινούμενη προς τα βόρεια λόγω διεύρυνσης του πυθμένα της Ερυθράς Θάλασσας, συγκρούεται με τη μικροπλάκα της Τουρκίας. Η σύγκρουση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ζώνης αναστροφών ρηγμάτων στις υπώρειες των οροσειρών Τάυρος και Ζάγκρος, ενώ παράλληλα προκαλεί την προς το δυτικά κίνηση της μικροπλάκας της Τουρκίας. Η κίνηση αυτή είναι η αιτία της δημιουργίας του ρήγματος της Ανατόλιας, όπου οι σεισμοί παράγονται με δεξιότροφες διαρρήξεις διεύθυνσης (παράταξης). Βορειότερα του ρήγματος της Ανατόλιας και μεταξύ της Μαύρης Θάλασσας και της Κασπίας Θάλασσας, υπάρχει μία ζώνη αναστροφών ρηγμάτων στις υπώρειες του Καυκάσου, με βορειοδυτική-νοτιοανατολική διεύθυνση. Οι βασικές γεωτεκτονικές δομές που βρίσκονται μεταξύ των δύο μεγάλων ζωνών διάρρηξης που αναφέρθηκαν, έχουν την ίδια διεύθυνση μ' αυτές. Η κατανομή των επικέντρων των σεισμών που έγιναν στην περιοχή της Αρμενίας και της Γεωργίας (βόρεια της Αρμενίας), οχηματίζει ζώνη η οποία έχει βορειοανατολική διεύθυνση. Αυτή συμπίπτει με τη ζώνη διάρρηξης ABUL-SAMSAR και, σύμφωνα με τον Καρνίκ (1971), μπορεί να θεωρηθεί ως κλάδος του ρήγματος της Ανατόλιας μεταξύ των περιο-

χών ERZERUM(τουρκία) και GROZNY(Ε.Σ.Σ.Δ.).

Στο χάρτη του αχήματος (2) φαίνονται το κυριότερα ενεργά και πιθανά ρήγματα, καθώς και τα επίκεντρα των μεγαλύτερων σεισμών που έγιναν στο χρονικό διάστημα 33-1973 στη σοβιετική Αρμενία(Gavrieliian 1980). Η ακρίβεια υπολογισμού των επίκεντρων που έγιναν στο διάστημα 33-1900 κυμαίνεται στο διάστημα 0,2-1,0 μίρες, ενώ η ακρίβεια υπολογισμού του μεγέθους κυμαίνεται στο διάστημα 0,5-1,0 μονάδες μεγέθους. Παρατηρούνται τρείς, κυρίως, χω-



Σχ. 2. Κυριότερα ενεργά και πιθανά ρήγματα στην Αρμενία και επίκεντρα των μεγαλύτερων σεισμών που έγιναν κατά το χρονικό διάστημα 33-1973 (Gavrieliian 1980).

ρικές συγκεντρώσεις επίκεντρων: α) στο βορειοδυτικό τμήμα της Αρμενίας(περιοχή του LENINAKAN), β) στο κεντρικό τμήμα(περιοχή του EREVAN) και γ) στο νότια τμήμα της. Οι περιοχές αυτές φαίνεται να αποτελούν κόμβους τομής των κυριότερων ενεργών ρηγμάτων στην Αρμενία.

3. Δεδομένα και Μεθοδολογία

Το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή, προέρχονται από τον κατάλογο σεισμών των Kondratskaya και Shebalin(1977). Ο κατάλογος αυτός είναι πλήρης, δηλαδή, περιέχει πληροφορίες που αφορούν όλους τους σεισμούς που έγιναν στην Αρμενία και την ευρύτερη περιοχή με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 4,0 κατά το χρονικό διάστημα 1900-1974. Είναι, επίσης, ομογενής τουλάχιστον όσο αφορά τον τρόπο υπολογισμού των μεγεθών, ενώ η ακρίβεια υπολογισμού των επίκεντρων των σεισμών που έγιναν στο διάστημα 1900-1949 κυμαίνεται από 0,1 ως 0,5 μίρες με επικρατέστερη τιμή ίση

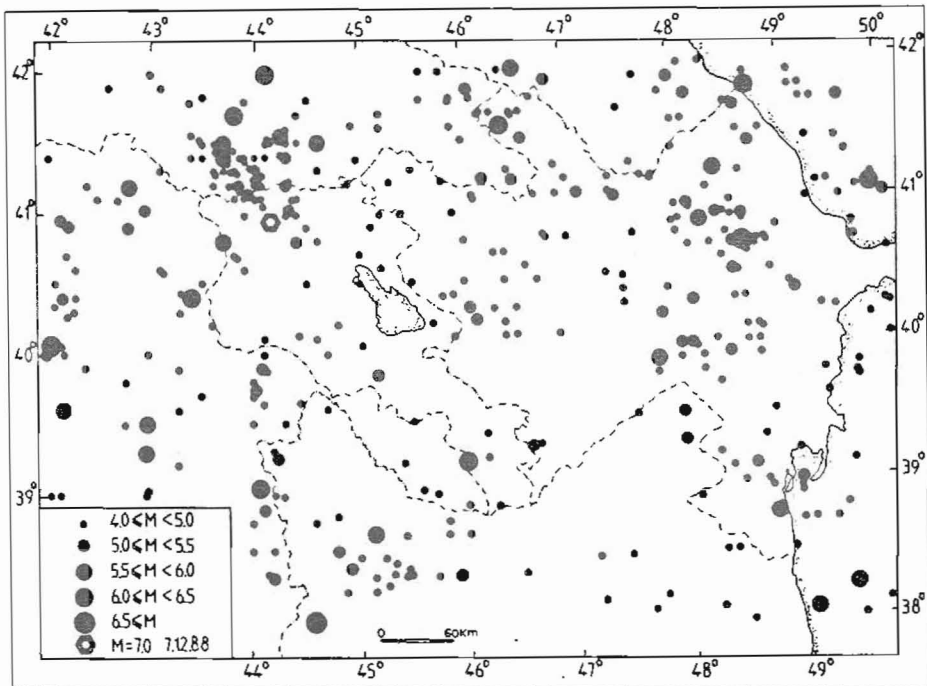
με 0,2 μίρες. Τα επίκεντρα των σεισμών που έγιναν στο διάστημα 1950-1974 έχουν υπολογιστεί με ακρίβεια που κυμαίνεται από 0,1 ως 0,2 μίρες.

Στοιχεία που αφορούν τους σεισμούς που έγιναν στα χρονικά διαστήματα 1975-1982 στην περιοχή που μελετιέται και είχαν μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 4,0, λήφθηκαν από τους Περιφερειακούς Καταλόγους Σεισμών που εκδίδονται από το Διεθνές Σεισμολογικό Κέντρο (Regional Catalogues of Earthquakes. I.S.C.), οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες για όλους τους σεισμούς που καταγράφονται από τα διάφορα εθνικά σεισμολογικά δίκτυα και οι οποίες μετοδίδονται στο Διεθνές Σεισμολογικό Κέντρο. Η ακρίβεια υπολογισμού των επικέντρων κυμαίνεται από 0,1 ως 0,3 μίρες.

Χρησιμοποιήθηκαν, επίσης, στοιχεία που αφορούν σεισμούς με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 4,0 που έγιναν στην περιοχή που εξετάζεται κατά το χρονικό διάστημα 1983-1988. Τα στοιχεία αυτά περιέχονται στα δεκαήμερα δελτία της Κεντρικής Σεισμολογικής Υπηρεσίας της Ε.Σ.Σ.Δ. και είναι αυτά που μετοδίδονται στο Διεθνές Σεισμολογικό Κέντρο.

Η ακρίβεια υπολογισμού των μεγεθών των σεισμών που έγιναν στο διάστημα 1900-1949 κυμαίνεται από 0,2 ως 0,7 μονάδες μεγέθους με μέση τιμή ίση με 0,5, ενώ τα μεγέθη των σεισμών που έγιναν στο διάστημα 1950-1988, έχουν υπολογιστεί με ακρίβεια που κυμαίνεται από 0,2 ως 0,5 μονάδες μεγέθους.

Η χροτογράφηση των επικέντρων των κύριων σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερα ή ίσα του 4,0 που έγιναν στην Αρμενία και τις γύρω περιοχές κατά το χρονικό διάστημα 1900-1988 και περιέχονται στους καταλόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένα, φαίνεται στο σχήμα (3). Παρατηρούμε ότι βορειότερα της περιοχής



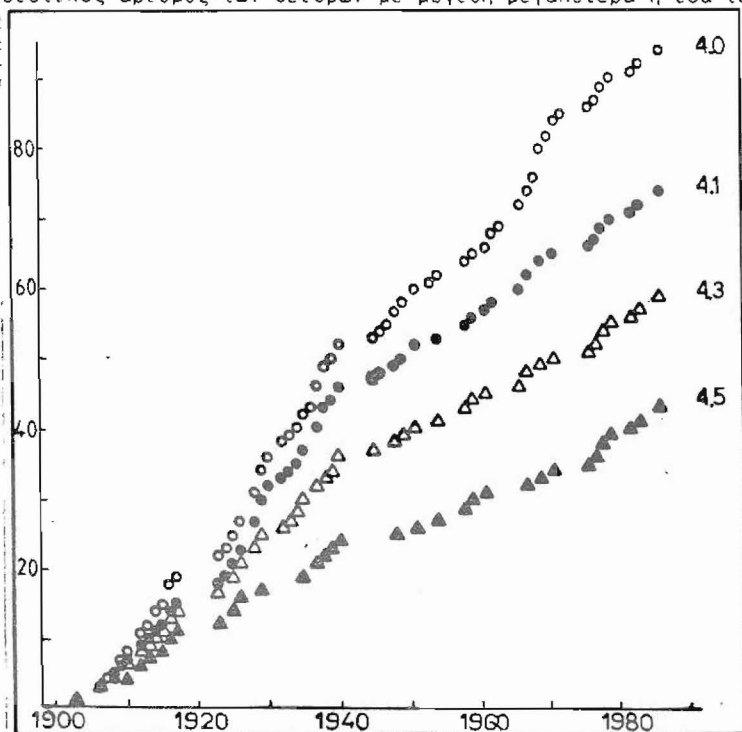
Σχ.3. Χαρτογράφηση των επικέντρων των κύριων επιφανειακών σεισμών που έγιναν στην Αρμενία και τις γύρω περιοχές κατά το χρονικό διάστημα 1900-1988 και είχαν μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 4,0.

του σεισμού του LENINAKAN η σεισμική δραστηριότητα στη διάρκεια του παρόντα αιώνα ήταν έντονη.

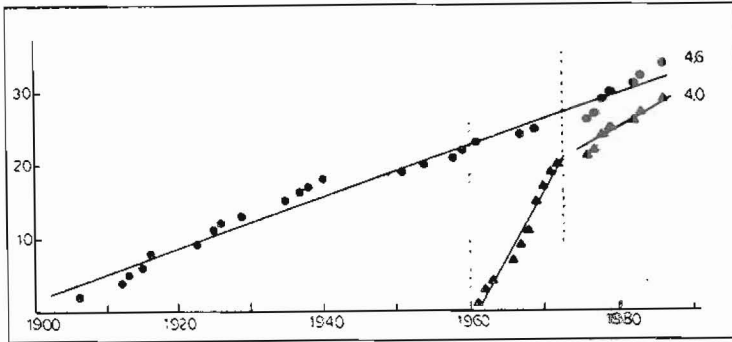
Η μέθοδος που εφαρμόστηκε, βοοίζει στη μεταβολή του ρυθμού σεισμικότητας, δηλαδή, στη μεταβολή της συχνότητας γένεσης των σεισμών σε συνάρτηση με το χρόνο και συνίσταται στη χαρτογράφηση του αθροιστικού αριθμού των σεισμών σε συνάρτηση με το χρόνο. Με τη μέθοδο αυτή είναι εύκολο να διαφανούν οι μεταβολές του ρυθμού σεισμικότητας και να ανιχνευθούν πρόδρομες ανωμαλίες αυτού (Wyss and Habermann 1979, Papazachos 1980, Παπαδημητρίου 1984). Για τους σκοπούς της εργασίας αυτής, θεωρήθηκαν όλοι οι επιφανειακοί κύριοι σεισμοί με μεγέθη ίσα ή μεγαλύτερα του 4,0, των οποίων τα επίκεντρα βρίσκονταν μέσα σε περιφέρεια με ακτίνα 100 Km από το επίκεντρο του σεισμού της 7ης Δεκεμβρίου 1988. Η επιλογή αυτού του μήκους της ακτίνας αφείλεται στους παρακάτω λόγους: α) σε εργασίες που αφορούσαν μεταβολές του ρυθμού γένεσης μικρών σεισμών πριν από μεγάλους σεισμούς που έγιναν στο Αιγαίο και στις γύρω περιοχές, παρατηρήθηκε ότι κατά το προπορασκευαστικό στάδιο σεισμού ίδιας τάξης μεγέθους με το σεισμό του LENINAKAN, επηρεάζεται μία ευρύτερη περιοχή γύρω από το σεισμογόνο χώρο του σεισμού (Papadimitriou and Papazachos 1985, Karakaisis et al 1987), β) σε δοκιμή που έγινε με τη χρησιμοποίηση περιφέρειας με ακτίνα μήκους 50 Km βρέθηκε ότι τα δεδομένα, τα οποία αφορούσαν σεισμούς που έγιναν μέσα στην περιφέρεια αυτή, δεν ήταν αρκετό.

4. Μεταβολή του Ρυθμού Σεισμικότητας

Ο αθροιστικός αριθμός των σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 4,0,



Σχ. 4. Χαρτογράφηση του αθροιστικού αριθμού των σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 4,0, 4,1, 4,3 και 4,5 σε συνάρτηση με το χρόνο. Η ακρίβεια υπολογισμού των μεγεθών ποικίλλει από 0,2 ως 0,7 μονάδες μεγέθους.



Σχ. 5. Χαρτογράφηση του αθροιστικού αριθμού των σεισμών με μεγέθη ίσα ή μεγαλύτερα του 4,6 και 4,0 σε συνάρτηση με το χρόνο. Η ακρίβεια υπολογισμού των μεγεθών κυμαίνεται από 0,2 ως 0,7 μονάδες μεγέθους.

4,1, 4,3 και 4,5, οι οποίοι έγιναν μέσα σε περιφέρεια με ακτίνα 100 km γύρω από τα επίκεντρο του σεισμού του LENINAKAN χαρτογραφήθηκε σε συνάρτηση με το χρόνο και φαίνεται στο σχήμα (4). Προκύπτει ότι από το 1943 ως το 1988 είχε μειωθεί ο ρυθμός γένεσης σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 4,0, 4,1, 4,3 και 4,5 σε σχέση με το ρυθμό γένεσης των σεισμών των ίδιων μεγεθών που έγιναν κατά το χρονικό διάστημα από το 1900 ως τα 1940. Στο σχήμα (5) χαρτογραφήθηκε ο αθροιστικός αριθμός των σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 4,6 και 4,0 σε συνάρτηση με το χρόνο. Φαίνεται ότι ο ρυθμός γένεσης των σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 4,6 ήταν ουσιαστικά σταθερός κατά το χρονικό διάστημα 1900-1988. Στο ίδιο σχήμα παρατηρούμε επίσης ότι ο ρυθμός γένεσης των σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 4,0 που έγιναν στο χρονικό διάστημα 1950-1972 είναι σημαντικά μεγαλύτερος από αυτόν των σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 4,6 που έγιναν στο ίδιο χρονικό διάστημα, ενώ στο χρονικό διάστημα 1972-1988 ο ρυθμός γένεσης των σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 4,6 και 4,0 είναι ο ίδιος.

5. Συμπεράσματα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χαρτογράφηση του αθροιστικού αριθμού των σεισμών που έγιναν σε μία περιοχή σε συνάρτηση με το χρόνο, παρέχει τη δυνατότητα ανίχνευσης μεταβολών σεισμικότητας στην περιοχή αυτή. Το γεγονός αυτό μπορεί να δώσει πληροφορίες που αφορούν μεταβολές της κατάστασης των τόσεων στην περιοχή. Όλα αυτά, φυσικά, προϋποθέτουν την ύπαρξη δεδομένων που χαρακτηρίζονται από ακρίβεια, πληρότητα και ομοιογένεια στον τρόπο υπολογισμού των σεισμολογικών παραμέτρων.

Στην περίπτωση του σεισμού της 7ης Δεκεμβρίου 1988 τα διαθέσιμα δεδομένα δείχνουν ότι δεν έχει γίνει σεισμός ίδιας τάξης μεγέθους μέσα στην περιοχή που θεωρήθηκε στην παρούσα εργασία. Υπάρχουν, όμως, ιστορικά στοιχεία που αφορούν σεισμούς ίδιας τάξης μεγέθους που έγιναν στην ευρύτερη περιοχή (Nikopon 1987), με περίοδο επανόληψης μερικούς αιώνες.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία αφορούν τη σεισμικότητα της περιοχής μόνο κατά τη διάρκεια του παρόντα αιώνα. Η κάμψη του ρυθμού σεισμικότητας μετά τα 1940, όπως αυτή φαίνεται στο σχήμα (4), είναι προφανής και κατά τη γνώμη του γράφοντος αντανακλά την πραγματικότητα γιατί, παρά την έλλειψη δεδομένων που παρατηρείται κατά τη διάρκεια του πολέμου, η πύκνωση του δικτύου σεισμολογικών σταθμών μετά τον πόλεμο θα είχε ως συνέπεια τη βελτίωση της ανιχνευτικής ικανότητας του δικτύου και τη μείωση του κατωτέρου μεγέθους των σεισμών που θα καταγράφονταν με ικα-

νοποιητική ακρίβεια από τους σεισμολογικούς σταθμούς. Από την άλλη μεριά, παρατηρήθηκε μείωση του ρυθμού γένεσης μικρών σεισμών μετά το 1972 (σχ.5), η οποία, κατά τη γνώμη του γράφοντος είναι επίσης προγματική, γιατί οι κοτάλογοι που χρησιμοποιήθηκαν περιέχουν όλους τους σεισμούς που καταγράφηκαν από τους σεισμολογικούς σταθμούς της περιοχής, ενώ αρκετοί σεισμοί των κοτολόγων αυτών έχουν μικρότερο μέγεθος από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην πορούσα εργασία.

Η πιθανή φυσική διαδικασία προπαρασκευής του σεισμού που προτείνεται, άρχισε το 1940-45 με ελάττωση της συχνότητας γένεσης των σεισμών με μεγέθη μεγαλύτερα ή ίσα του 4,5 η οποία συνεχίστηκε μέχρι τη γένεση του κύριου σεισμού ενώ παράλληλα, γύρω στο 1972, άρχισε να ελαττώνεται ο ρυθμός γένεσης των σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 4,0.

Ευχαριστίες

Ο συγγραφέας της παρούσας εργασίας ευχαριστεί θερμά τον καθηγητή Β.Κ. Παπαζάχο για την καθοδήγησή του στην πορεία επεξεργασίας των δεδομένων και την κριτική ανάγνωση του κειμένου. Ευχαριστεί, επίσης, τον ανώνυμο κριτή, του οποίου τα σχόλια συντέλεσαν σημαντικά στην εποναξιολόγηση των δεδομένων και στην πληρέστερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Gavrielian, A.A. Seismotectonic map of Armenia SSR. 1980.
- Gorshkov, G.P. Regional seismotectonics of the south part of the USSR territory, Alpine belt. "Nauka", 272 pp., 1984 (in Russian).
- Jackson, J. and McKenzie, D. Active tectonics of the Alpine-Himalyan belt between western Turkey and Pakistan. "Geophys. J.R. astr. Soc.", 77, 185-264, 1984.
- Karakaisis, G.F., Panagiotopoulos, D.G., Krimnianiotou, M.Ch. and Papazachos, B.C. Preseismic quiescence before large earthquakes in the Aegean and surrounding area. "Annales Geophysicae", 58, (2), 155-160, 1987.
- Καροκαϊσης, Γ.Φ. και Κουρουζίδης, Μ. Χαρακτηριστικά του σεισμού της Αρμενίας της 7.12.1988 και της σεισμικής ακολουθίας του. "Δημοσίευση Εργαστηρίου Γεωφυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης", σελ.6, 1988.
- Karnik, V. Seismicity of the European area, Part II. "D. Reidel Dordrecht, Netherlands", 218 pp., 1971.
- Kondorskaya, N.V. and Shebalin, N.V. New catalogue of strong earthquakes in the territory of USSR since historical times till 1975. "Nauka", 536 pp., 1977.
- Mckenzie, D. Active tectonics of the Mediterranean region. "Geophys. J.R. astr. Soc.", 30, 109-185, 1972.
- Nikonov, A.A. the strongest historic earthquakes in the Caucasus. "Boll. di Geof. Teor. ed Appl.", 24, 116, 333-339, 1987.
- Nowroozi, A.A. Seismotectonics of the Persian plateau, eastern Turkey, Caucasus and Hindu-Kush regions. "Bull. Seis. Soc. Am", 61, 2, 317-341, 1971.
- Παπαδημητρίου, Ε.Ε. Συμβολή στη μελέτη του προβλήματος της μακράς διάρκειας πρόγνωσης των σεισμών στον Ελληνικό χώρο. "Διδ. Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης", σελ. 218, 1984.
- Papadimitriou, E.E. and Papazachos, B.C. Seismicity gaps in the Aegean and surrounding area. "Boll. di Geof. Teor. ed Appl.", 27, 107, 185-195, 1985.
- Papazachos, B.C. Seismicity rates and long term earthquake prediction in the Aegean area. "Quaterniones Geodaesiae", 3, 171-190, 1980.

Wyss, M. and Habermann, R.E. Seismic quiescence precursory to a past and a future kurile island earthquake. "Pure and Applied Geophysics", 117, 1195-1211, 1979.