

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΟΝΗΣΕΙΣ ($M \geq 2.5$), ΑΠΟ ΤΟ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ 1998 ΕΩΣ ΤΟΝ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟ 1999, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ* Π. ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ¹, Κ. NOTSU², Γ. IGARASHI², Τ. MORI², Ν. ΔΕΛΗΜΠΑΣΗΣ¹, Ν. ΚΑΚΚΑΒΑΣ³

ΣΥΝΟΨΗ

Σημαντικές προσεισμικές μεταβολές της συγκέντρωσης του Ραδονίου στα υπόγεια νερά, παρατηρήθηκαν, 5-6 ημέρες πριν από όλες τις σεισμικές δονήσεις ($M \geq 2.5$) που έγιναν στην περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης από 22/9/1998-17/1/1999. Η συγκέντρωση του Ραδονίου παρουσιάζει, πριν από κάθε σεισμική δόνηση, μια σημαντική αύξηση στην αρχή και μία εξ ίσου σημαντική μείωση, στη συνέχεια. Οι μεταβολές αυτές είναι αποτέλεσμα των ελαστικών τάσεων που αναπτύσσονται πριν από την εκδήλωση ενός σεισμού και έχουν σαν αποτέλεσμα τον προσωρινό εμπλουτισμό του υδροφόρου οριζοντα σε ραδόνιο. Φαίνεται ότι η μέθοδος μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην προσπάθεια πρόγνωσης σεισμών σε τοπικό επίπεδο.

ABSTRACT

Significant precursory changes in the radon concentration of groundwater were observed, 5-6 days prior all the earthquakes ($M \geq 2.5$) occurred in the area of the Atalanti fault during the period from 22/9/1998-17/1/1999. The radon concentration measurements of ground water, were obtained at one hour intervals by the use of a ZnS(Ag) scintillation chamber. When no earthquake occurs, the radon concentration of the groundwater shows considerable stability. Prior of an earthquake radon concentration increases significantly at the beginning and then dropped to an also significant lower value. These radon concentration changes can be attributed to the temporary enrichment of the groundwater by radon from the surrounding rocks due to the action of stress release or stress accumulation prior an earthquake. It seems likely that the method can be an important tool for the earthquake prediction in local scale.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ραδόνιο, υπόγεια νερά, πρόδρομα φαινόμενα σεισμών, τοπική πρόγνωση σεισμών, ρήγμα Αταλάντης.

KEY WORDS: Radon, groundwater, precursory earthquake phenomena, local earthquake prediction, Atalanti fault.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μεταβολές στην περιεκτικότητα του Ραδονίου στα υπόγεια νερά πριν από τους σεισμούς παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά κατά τον μεγάλο σεισμό της Τασκένδης το 1966 (ULOMOF & MAVASHEV, 1971). Οι μεταβολές αυτές, όπως και οι μεταβολές του λόγου των ταχυτήτων V_p/V_s , θεωρούνται από τότε σαν ένα από τα σημαντικότερα πρόδρομα φαινόμενα των σεισμών. Χρησιμοποιήθηκαν για την επιτυχή πρόγνωση των μεγάλων σεισμών της Κίνας το 1975 και 1976 (Group of Hydrochemistry, Seismological Brigade of Hebei Province, 1976).

Σημαντικές μελέτες της μεταβολής της περιεκτικότητας του Ραδονίου στα υπόγεια νερά με στόχο την πρόγνωση σεισμών γίνονται στην Ιαπωνία από το 1973, κυρίως από το Laboratory of Earthquake Chemistry του Πανεπιστημίου του Tokyo με επικεφαλής τους Καθηγητές H. Wakita και K. Notsu. Το 1977, ανέπτυξαν μέθοδο αυτόματης, συνεχούς μέτρησης των μεταβολών της περιεκτικότητας του Ραδονίου σε υπόγεια νερά (NOGUCHI & WAKITA 1977) με ταυτόχρονη αυτόματη μέτρηση και άλλων παραμέτρων (θερμοκρασία, ύψος νερού κλπ).

Από το 1977 μέχρι σήμερα η μέθοδος αυτή αναπτύσσεται συνεχώς και έχουν προκύψει σημαντικά αποτελέ-

* RADON CONCENTRATION CHANGES IN GROUND WATER PRIOR ALL THE EARTHQUAKES ($M \geq 2.5$) OCCURRED FROM SEPTEMBER 1998 TO JANUARY 1999, IN THE AREA OF ATALANTI FAULT (GREECE)

1. Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών. Πανεπιστημιούπολη, Άνω Ιλίσια, Αθήνα 15784.

2. University of Tokyo. Laboratory of Earthquake Chemistry, Tokyo 113, Japan.

3. ΙΓΜΕ. Μεσογείων 70, Αθήνα 11527.

σματα που έχουν δημοσιευτεί σε διεθνή περιοδικά (WAKITA et al., 1980, WAKITA et al., 1989, WAKITA et al., 1991, IGARASHI & WAKITA, 1991, NOTSU et al., 1991). Ήδη μόνο στην ευρύτερη περιοχή του Tokyo λειτουργούν, υπό την ευθύνη του Laboratory of Earthquake Chemistry του Πανεπιστημίου του Tokyo, 18 σταθμοί παρακολούθησης των μεταβολών του Ραδονίου σε υπόγεια νερά. Η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται η πλέον κατάλληλη για την ευρύτερη περιοχή του Tokyo επειδή σε αντίθεση με άλλες μεθόδους (ηλεκτρικές, μαγνητικές κλπ) δεν επηρεάζεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Απο τον Σεπτέμβριο του 1998, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος που χρηματοδοτείται από την Ιαπωνική Κυβέρνηση και αφορά την μελέτη των μεταβολών της περιεκτικότητας του Ραδονίου (Rn) στα υπόγεια νερά πριν από σεισμούς, έχει τοποθετηθεί συσκευή συνεχούς μέτρησης του Rn, σε μία από τις γεωτρήσεις από τις οποίες υδρεύεται η πόλη της Αταλάντης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα πρώτα αποτελέσματα των μετρήσεων.

2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΡΑΔΟΝΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΡΗΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, από τον Σεπτέμβριο του 1998, έχει τοποθετηθεί συσκευή συνεχούς μέτρησης του Rn, σε μία από τις γεωτρήσεις από τις οποίες υδρεύεται η πόλη της Αταλάντης.

Η γεώτρηση ΑΓ2 ανατολικά της Αταλάντης έγινε από το ΓΓΜΕ, τον Αύγουστο του 1991. Διέτρησε Ιουρασιτικούς ασβεστολίθους και τερματίστηκε σε βάθος 110 m. Απέδωσε ικανοποιητική υδροφορία, 200 m³/h με πτώση στάθμης 4,90 m και γρήγορη επαναφορά. Η υδροστατική στάθμη είναι 38,20 m ενώ η στάθμη άντλησης είναι 43,10 m.

Από το νερό που αντλείται από τη γεώτρηση, διαχωρίζεται με ειδικό σύστημα η αέρια φάση, η οποία διαβιβάζεται στην συσκευή μέτρησης του Rn. Ο ανιχνευτής του Ραδονίου στα υπόγεια νερά περιλαμβάνει έναν απαριθμητή ZnS(Ag) και έναν θάλαμο διαχωρισμού στον οποίο το Ραδόνιο αποχωρίζεται από το νερό σε αέρια φάση. Με την χρησιμοποιούμενη συσκευή μετράται η ακτινοβολία α που οφείλεται στην ραδιενεργό διάσπαση του Ραδονίου. Ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του Ραδονίου στα θερμά νερά με βάση την ακτινοβολία α και όλες οι απαραίτητες διορθώσεις γίνονται με την βοήθεια Η/Υ. Η μέτρηση του Rn γίνεται ανά μία ώρα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συσκευή μέτρησης του Rn στα υπόγεια νερά της Αταλάντης, λειτούργησε συνεχώς από τον Σεπτέμβριο του 1998 έως τον Ιανουάριο του 1999. Όλες οι ανά ώρα μετρήσεις μεταφέρθηκαν σε Η/Υ και κατασκευάστηκαν όλα τα διαγράμματα. Επιλεγμένα διαγράμματα δίνονται στα Σχ. 1α-1η.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα του Σχ. 1α, σε περίοδο σεισμικής ηρεμίας, παρουσιάζεται στατιστικά εκπληκτική σταθερότητα του μετρούμενου Rn, παρά το πολύ υψηλό επίπεδο των τιμών (30.000 c/h). Αντίθετα, 5-6 ημέρες πριν από κάθε σεισμική δόνηση παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική και ευδιάκριτη μεταβολή του μετρούμενου Rn (Σχ. 1β-1η). Η μεταβολή συνίσταται σε αύξηση, στην αρχή, της τιμής του Rn σημαντικά πάνω από τη μέση τιμή και στη συνέχεια μείωση της τιμής του Rn σημαντικά κάτω από τη μέση τιμή.

Στον Πίνακα 1, φαίνονται οι σεισμικές δονήσεις που έγιναν στην περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης (38° 20'-39° N 22° 30'-23° 30' E) από 22/9/1998-17/1/1999 και αναφέρονται στον κατάλογο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου (www.noa.gr).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Σεισμικές δονήσεις στην περιοχή του ρήγματος της Αταλάντης (38° 20'-39° N 22° 30'-23° 30' E) από 22/9/1998-17/1/1999

TABLE 1. Earthquakes in the area of Atalanti fault (38° 20'-39° N 22° 30'-23° 30' E) from 22/9/1998-17/1/1999

Date	Time	North	East	Depth	M	No
1998 NOV 19	11 48 47.6	38.86	22.94	5	3.2	A
1998 DEC 16	19 44 53.3	38.54	22.80	10	2.8	B
1998 DEC 22	01 11 46.5	38.80	22.86	10	3.0	Γ
1998 DEC 26	15 49 44.1	38.96	22.87	5	3.4	Δ
1999 JAN 5	09 35 11.1	39.04	22.66	5	3.2	E
1999 JAN 8	08 10 12.7	38.73	23.38	5	3.5	Z
1999 JAN 8	20 02 56.2	38.80	23.47	5	3.2	H
1999 JAN 15	00 52 35.2	38.95	23.47	4	3.2	Θ
1999 JAN 17	23 35 25.4	38.99	23.27	41	3.0	I

Από την παρατήρηση των διαγραμμάτων των μετρήσεων (Σχ. 1β-1ζ), είναι φανερό ότι υπάρχουν οι χαρακτηριστικές μεταβολές στις τιμές του Rn πριν από όλες τις σεισμικές δονήσεις του Πίνακα 1 και μόνο πριν από αυτές. Χαρακτηριστικότερη είναι αυτή της 10/12/1998 (Σχ. 1γ). Η σεισμική δόνηση έγινε στις 16/12/1998. Επειδή μάλιστα η σεισμική δόνηση έγινε σε ώρα που δεν λειτουργούσε η αντλία της γεώτρησης καταγράφηκε και η ίδια η σεισμική δόνηση, λόγω του γνωστού φαινομένου της ανόδου της στάθμης των πηγαδιών λίγες ώρες πριν από το σεισμό.

Η προσωρινή αύξηση της συγκέντρωσης του ραδονίου στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, οφείλεται στην απελευθέρωση του από τα περιβάλλοντα πετρώματα, στα οποία είναι εγκλωβισμένο χωρίς να σχηματίζει ενώσεις, λόγω των ελαστικών τάσεων που αναπτύσσονται πριν από την εκδήλωση ενός σεισμού.

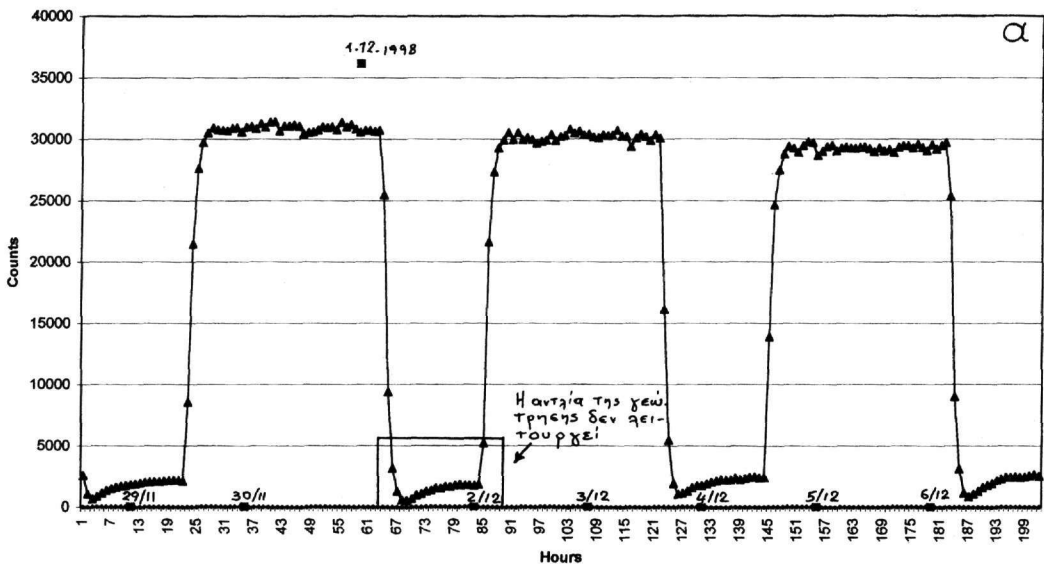
Επειδή τα αποτελέσματα των μετρήσεων κρίνονται ιδιαίτερα σημαντικά, από τον Οκτώβριο του 1999, τοποθετήθηκε μια ακόμη συσκευή στην δεύτερη γεώτρηση του Δήμου της Αταλάντης (σε απόσταση 7 Km από την πρώτη) και από τον Δεκέμβριο του 1999 τοποθετήθηκε και τρίτη συσκευή στον Δήμο των Καμμένων Βούρλων. Με την τοποθέτηση των συσκευών αυτών σε τρία σημεία, γίνεται προσπάθεια συσχέτισης της μεταβολής του μετρούμενου Rn με το μέγεθος του σεισμού και τη ακριβή θέση του επικέντρου.

Φαίνεται ότι η μέθοδος μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην προσπάθεια πρόγνωσης σεισμών σε τοπικό επίπεδο.

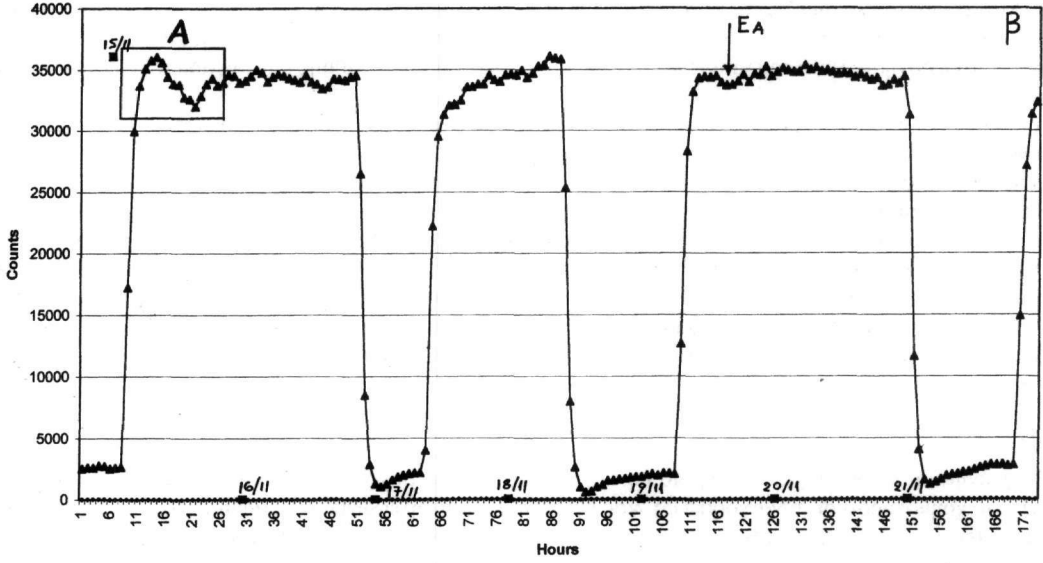
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ερευνητική ομάδα ευχαριστεί την Ιαπωνική Κυβέρνηση για τη χρηματοδότηση του προγράμματος, τον ΟΑΣΠ που χρηματοδότησε την αγορά Η/Υ και την τοποθέτηση τηλεφωνικών γραμμών για την τηλεμετρική λήψη των μετρήσεων, τον κ. Ε. Μιχαηλίδη, ηλεκτρονικό του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, τον Δήμο Αταλάντης, το ΙΓΜΕ και τον ΟΤΕ, για την παροχή σημαντικής τεχνικής βοήθειας.

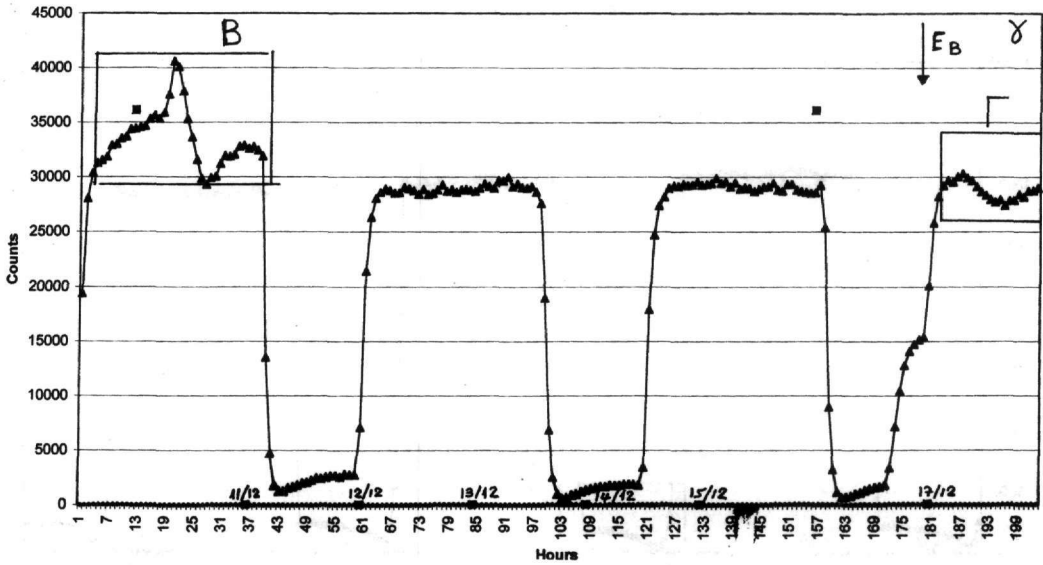
28/11/1998-7/12/1998



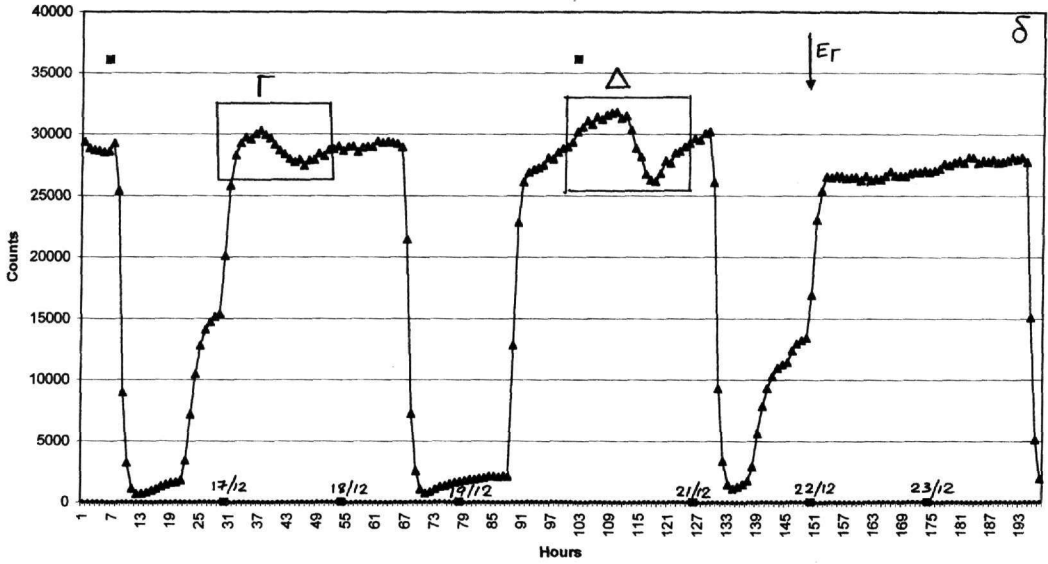
14/11/1998-22/11/1998



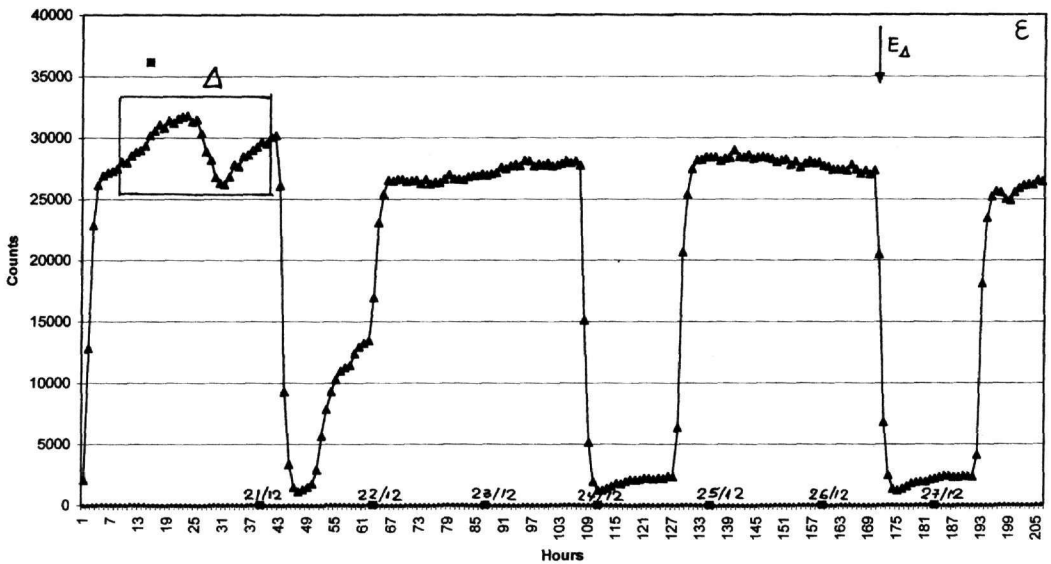
9/12/1998-18/12/1998



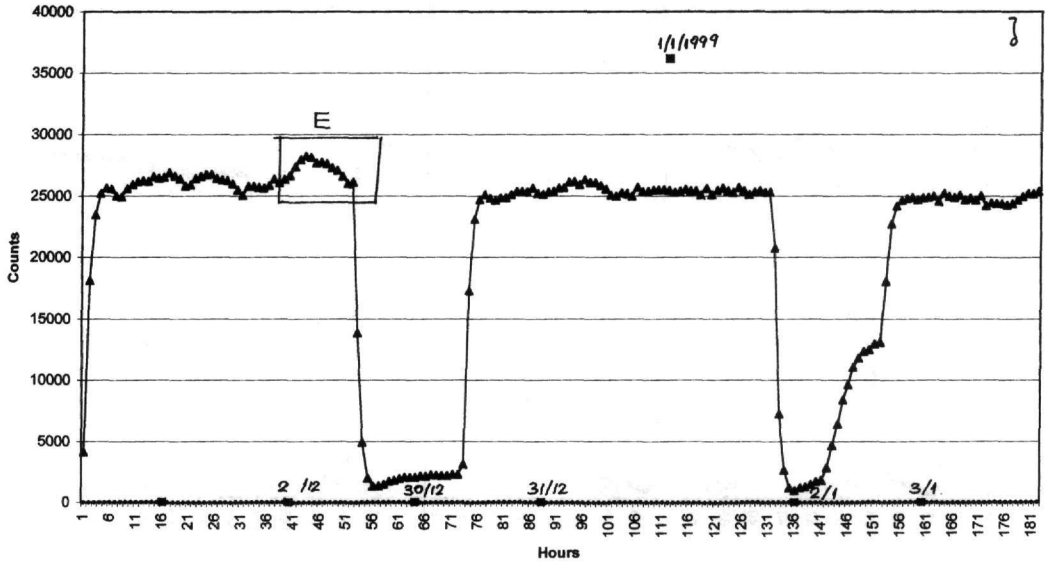
15/12/1998-24/12/1998



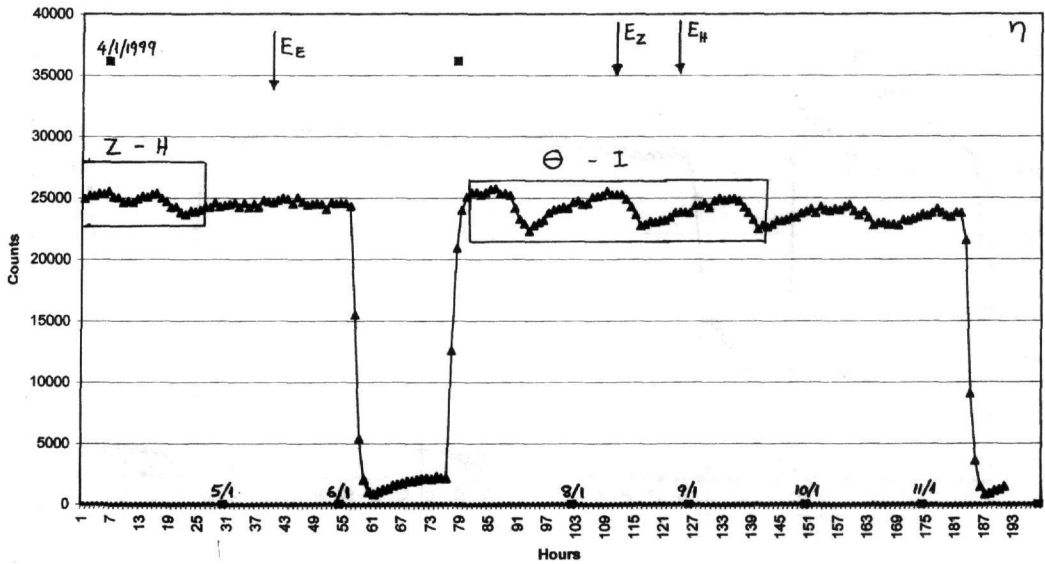
19/12/1998-28/12/1998



27/12/1998-4/1/1999



3/1/1999-12/1/1999



ΣΧΗΜΑ 1. Επιλεγμένα διαγράμματα (α-η) μετρήσεων ραδονίου στα υπόγεια νερά της περιοχής του ρήγματος της Αταλάντης.

FIG. 1. Selected diagrams (a-η) of radon measurements of ground water in the area of Atalanti fault.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Group of Hydrochemistry, Seismological Brigade of Hebei Province (1976). Studies of forecasting earthquakes in the light of the abnormal variations of Rn concentration in ground water. *Acta Geophys. Sinica*, 18, 279-283.
- IGARASHI G. & WAKITA H. (1991). Tidal responses and earthquake-related changes in the water level of deep wells. *J. Geophys. Res.*, 96, 4269-4278.
- NOGUCHI M. & WAKITA H. (1977). A method for continuous Measurement of Radon in groundwater for earthquake prediction. *J. Geophys. Res.*, 82, 1353-1357.
- NOTSU K., WAKITA H., IGARASHI G. & SATO T. (1991). Hydrological and geochemical changes related to the 1989 seismic and volcanic activities off the Izu peninsula. *J. Phys. Earth*, 39, 245-254.
- ULOMOF V.I. & MAVASHEV B.Z. (1971). The Tashkent earthquake of 26 April 1966. *Akad. Nauk. Uzbek. SSR FAN*, 188.
- 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., IGARASHI G., NAKAMURA Y., SANO Y. & NOTSU K., (1989). Coseismic Radon changes in groundwater. *Geophys. Res. Lett.*, 16, 417-420.
- WAKITA H., IGARASHI G. & NOTSU K. (1991) An anomalous Radon decrease in groundwater prior to an M6.0 earthquake: A possible precursor? *Geophys. Res. Lett.*, 18, 629-632.