

| | | | |
|-------------------------|-------------|-----------------|---------------|
| Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. | Τομ. XIX | σελ. 339-345 | Αθήνα 1987 |
| Bull. Geol. Soc. Greece | Vol. | pag. | Athens |

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ* & ΠΑΝ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ**

A B S T R A C T

The actual geodynamic particularities of the Hellenic arc are stressed, resulting from the fact that it is the last Tethyan segment where collision between Eurasia and Gondwanian fragments has not yet occurred. Thus, problems related to this unique geodynamic situation need special research projects to be undertaken and not use of results from other active areas of the world. Neotectonic mapping, marine geodynamic studies and microzonation studies are some of the main themes for research projects which will contribute a lot to our knowledge. The development of techniques involving stress-strain measurements, ground-water changes and geochemical changes will contribute significantly to earthquake prediction in Greece.

1. Η ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Είναι γνωστό από την αρχαιότητα ότι η Ελλάδα είναι μία από τις περιοχές του πλανήτη μας που δοκιμάζεται συχνά από σεισμούς, πολλοί από τους οποίους είναι καταστροφικοί. Οι σχετικές έρευνες των τελευταίων δεκαετιών έδειξαν ότι είναι περιοχή με τη μεγαλύτερη σεισμικότητα στην Ευρώπη και μία από τις μεγαλύτερες στον κόσμο. Το αίτιο της έντονης σεισμικότητας είναι η γεωτεκτονική θέση της Ελλάδας πάνω στην ενεργό ορογενετική αλυσίδα του αλπικού συστήματος που εκτείνεται από το Γιβραλτάρ έως τα Ιμαλάια. Η ορογενετική αυτή αλυσίδα είναι το αποτέλεσμα της σύγκλισης και σύγκρουσης πλακών με ηπειρωτικό φλοιό που συνέθλιψαν και εξαφάνισαν τον ενδιάμεσο ωκεανό της Τηθύος. Οι δύο μεγάλες πλάκες είναι η Ευρασιατική στο βορρά και οι πλάκες-μικροπλάκες της Αφρικής, Αραβίας και Ινδίας στο νότο, οι οποίες απο-

* ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. and ΒΑΣΙΛΙΟΥ Π. The role of geology on the seismic problem of Greece.

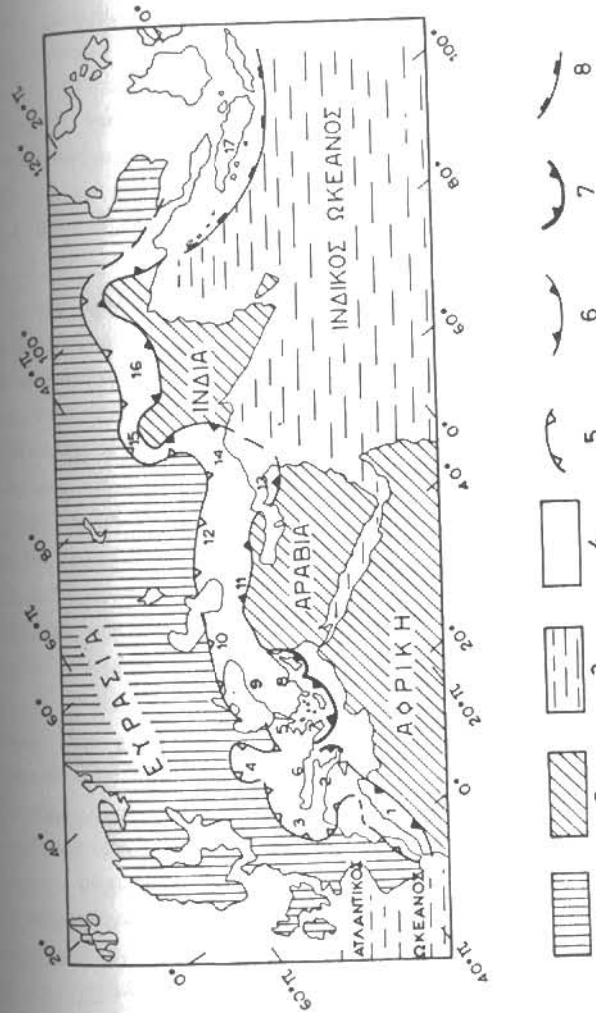
1 Τομέας Δυναμικής-Τεκτονικής-Εφαρμοσμένης Γεωλογίας Παν/μιου Αθηνών

2 Ι.Γ.Μ.Ε.

τελούν τμήματα της άλλοτε ενιαίας πλάκας του νότου, της Γκοντβάνας. Από το σύνολο της ορογενετικής αυτής αλυσίδας μόνο η περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και ιδιαίτερα το Ελληνικό τόξο αποτελούν υπολειμματικό τμήμα του συστήματος της Τηθύος, όπου συνεχίζονται ακόμη σήμερα οι ίδιες γεωδυναμικές διαδικασίες που έως πριν μερικά εκατομμύρια χρόνια εκτείνονταν σε όλο το μήκος της Τηθύος. Έτσι, το Ελληνικό τόξο αποτελεί ιδιόμορφη γεωτεκτονική περίπτωση που δεν μπορεί να συγκριθεί άμεσα με κανένα άλλο ενεργό τμήμα της Γης. Τούτο φαίνεται στην Εικ. 1, που δείχνει σχηματικά τα διάφορα τμήματα του αλπικού συστήματος της Τηθύος, τα περισσότερα των οποίων αντιστοιχούν σε περιοχές όπου έχει επέλθει η σύγκρουση ανάμεσα στις ηπειρωτικές πλάκες (Δυτική Μεσόγειος - Ανατολική Μικρασία - Περσία - Ιμαλάια). Ας σημειωθεί ότι τα υπόλοιπα ενεργά ορογενετικά τόξα της Γης απαντούν γύρω από τον Ειρηνικό Ωκεανό και πιο συγκεκριμένα κατά μήκος των δυτικών ακτών της Νότιας Αμερικής - ορογενετική αλυσίδα Ανδεων - κατά μήκος των δυτικών ακτών της Βόρειας Αμερικής - ορογενετική αλυσίδα Βραχιδών Ορέων - κατά μήκος των Αλεούτιων νήσων στο Βόρειο Ειρηνικό και στη συνέχεια κατά μήκος του ανατολικού περιθώριου της Ασίας στα ορογενετικά τόξα της Ιαπωνίας και Πολυνησίας με τελική κατάληξη στα βόρεια της Ωκεανίας. Όλα αυτά τα ενεργά τόξα του Ειρηνικού διαφέρουν ουσιαστικά από το τόξο της Τηθύος δεδομένου ότι εδώ και 200 τουλάχιστον εκατομμύρια χρόνια βυθίζεται ο ωκεάνειος πυθμένας του Ειρηνικού κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό των πλακών Βόρειας Αμερικής, Νότιας Αμερικής, Ευρασίας και Ωκεανίας.

Έτσι, το σημερινό γεωτεκτονικό καθεστώς του Ελλαδικού χώρου δεν μπορεί να συγκριθεί άμεσα με καμία άλλη ενεργή γεωτεκτονική μονάδα ούτε του συστήματος της Τηθύος ούτε των υπολοίπων ορογενετικών συστημάτων του περιειρηνικού χώρου. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα οποιαδήποτε πορίσματα πάνω στην παραμόρφωση και τη σεισμικότητα των άλλων ενεργών γεωδυναμικών περιοχών της Γης δεν μπορούν να μεταφερθούν αυτούσια για εφαρμογή στη χώρα μας. Το γεγονός τούτο απαιτεί την παραγωγή νέας γνώσης μέσα από πρωτότυπη έρευνα στον Ελλαδικό χώρο η οποία, βέβαια, θα λάβει υπόψη της τα δεδομένα των άλλων περιοχών αλλά θα βασισθεί κυρίως στην ανάλυση του ιδιαίτερου και μοναδικού καθεστώτος του Ελληνικού τόξου.

Η συνειδητοποίηση του γεγονότος αυτού στη χώρα μας αποτελεί τον κύριο μοχλό για προγραμματισμό ερευνητικών προγραμμάτων τόσο βασικής όσο και ιδιαίτερα εφαρμοσμένης έρευνας πάνω σε συγκεκριμένα προβλήματα. Η διεξαγωγή υψηλού επιπέδου έρευνας σε θέματα ενεργού γεωδυναμικής και ιδιαίτερα σεισμών απαιτεί συνεργασία ανάμεσα σε διάφορες ειδικότητες γεωεπιστημόνων με συμμετοχή στα ερευνητικά προγράμματα επι-



Εικόνα 1

Η λεπτομέρεια του Ελληνικού τόξου συνίσταται στο ότι αποτελεί το μοναδικό τμήμα του περιθώριου της Γκοντβάνας που δεν έχει συθλιθεί ακόμα ανάμεσα στις δύο πλάκες. Σ' όλο το υπόλοιπο τμήμα του ορογενετικού τόξου της Τηθύος έχει επέλθει η σύγκρουση των ηπειρωτικών πλακών ή έχουμε υποβύθιση τμημάτων του Ινδικού ωκεανικού φλοιού. (1) Ευρασιατική ηπειρωτική πλάκα, (2) Πλάκες με ηπειρωτικό φλοιό της πρώην Γκοντβάνας, (3) Ωκεάνιος φλοιός του Ατλαντικού και Ινδικού ωκεανού, (4) Πυκνωμένα πεταρώματα της Τηθύος, (5) Τεκτονικό μέτωπο βόρειου κλάδου, (6) Τεκτονικό μέτωπο νότιου κλάδου, (7) Μέτωπο υποβύθισης νότιου περιθώριου, (8) Μέτωπο υποβύθισης Ινδικού ωκεανού.

στημονικών φορέων με σημαντικό ειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό και ανάλογο εξοπλισμό.

2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Η πρόσφατη δημιουργία με νόμο του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) με επιτελικές - συντονιστικές αρμοδιότητες στο χώρο των προβλημάτων που συνδέονται με τους σεισμούς επιτρέπει και επιβάλλει την έναρξη συντονισμένων εφαρμοσμένων ερευνητικών προγραμμάτων σε εθνική κλίμακα με εξασφάλιση και της σχετικής χρηματοδότησης. Το Ι.Γ.Μ.Ε., τα Γεωλογικά Τμήματα των Ανωτάτων Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων, το Εθνικό Αστεροσκοπείο, το Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών και οι άλλοι σχετικοί ή συγγενείς φορείς μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία της, ουσιαστικά ανύπαρκτης μέχρι σήμερα, επιστημονικής υποδομής σχετικά με το σεισμικό πρόβλημα.

Η έναρξη εκπόνησης του νεοτεκτονικού χάρτη της Ελλάδας σε κλίμακα 1:100.000 ή 1:200.000 με συμμετοχή γεωλόγων χαρτογράφων, τεκτονικών γεωλόγων, στρωματογράφων Νεογενούς-Τεταρτογενούς, γεωμορφολόγων και άλλων ειδικών σε διάφορα αντικείμενα όπως σεισμολογία (με καθορισμό επικέντρων και μηχανισμών γένεσης σεισμών), ερμηνεία Αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, ραδιοχρονολογήσεις με C_{14} , αρχαιογεωλογία, γεωδαισία (για εντοπισμό μετατοπίσεων) κλπ., μπορεί να αποτελέσει κεφαλαιώδους σημασίας ερευνητική προσφορά τόσο για τη χώρα όσο και για την επιστήμη. Ας σημειωθεί ότι τέτοιους χάρτες έχουν αρχίσει να εκπονούν ελάχιστες χώρες (Ιαπωνία, Νέα Ζηλανδία) ενώ αρκετές αρχίζουν τώρα (π.χ. Ιταλία) σε διάφορες κλίμακες και με διάφορες μεθοδολογίες.

Η θαλάσσια φύση της χώρας μας με ένα σημαντικό μέρος των γεωδυναμικών διεργασιών να λαμβάνουν χώρα υποθαλάσσια απαιτεί την έναρξη και ωκεανογραφικών ερευνών προσανατολισμένων στον εντοπισμό, χαρτογράφηση και ανάλυση υποθαλάσσιων ενεργών δομών και τον κατά το δυνατόν συσχετισμό τους με τις δομές της Ξηράς. Η ετοιμασία του πρώτου Ελληνικού ωκεανογραφικού σκάφους ερευνών θα επιτρέψει την έναρξη θαλάσσιων γεωδυναμικών προγραμμάτων από Έλληνες ερευνητές, δεδομένου ότι έως τώρα υπάρχουν μόνο μελέτες Ξένων και σχεδόν αποκλειστικά στα διεθνή ύδατα. Ορισμένα από τα βασικά ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν από τις σχετικές έρευνες είναι:

- (i) ποιά είναι τα ενεργά ρήγματα;
- (ii) ποιός ο ρυθμός δραστηριοποίησης των διαφόρων ρηξιγενών ζωνών;
- (iii) ποιά η κινηματική και δυναμική της ρηξιγενούς παραμόρφωσης

στις διάφορες περιοχές του Ελλαδικού χώρου και ποιά η σχέση της με τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών;

- (iv) ποιές οι γενετικές σχέσεις ανάμεσα στα διάφορα στοιχεία του νεοτεκτονικού ιστού και ποιά η αντιστοιχία σε προ- και μετά-σεισμούς;
- (v) ποιές οι επικίνδυνες ζώνες δόμησης λόγω ενεργών ρηγμάτων και ποιές λόγω δευτερευόντων φαινομένων, όπως κατολισθήσεις, καθιζήσεις, μεταβολές στάθμης θάλασσας κλπ.;
- (vi) ποιά τα τεχνικογεωλογικά στοιχεία σχετικά με τη διαφορετική συμπεριφορά του υπεδάφους σε σεισμική δράση σε επίπεδο οικισμού, πόλης, μεγάλου τεχνικού έργου;
- (vii) ποιά η σχέση ισοσειστών καμπυλών και γεωλογικής δομής στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας;
- (viii) ποιός ο ρόλος μεγάλων ασυνεχειών του Ελλαδικού φλοιού στη μετάδοση της ενέργειας κατά τους σεισμούς;

Εξ άλλου, η κατά περίπτωση σύνθεση όλων αυτών των ερωτημάτων και στοιχείων, επισημαίνει το άμεσης προτεραιότητας θέμα της εκπόνησης μικροζωνικών μελετών για κάθε πόλη - περιοχή της Ελλάδας, αρχίζοντας από αυτές όπου η σεισμικότητα είναι μεγαλύτερη και υπάρχει τάση επέκτασης των σχεδίων πόλεως.

Συμπερασματικά, η σύντομη ένταξη των αποτελεσμάτων της γεωλογικής αυτής δουλειάς στους αντισεισμικούς κανονισμούς, στο χωροταξικό και πολεοδομικό σχεδιασμό, στις μελέτες κατασκευής μεγάλων τεχνικών έργων κλπ. αφ' ενός μεν αποτελεί εθνική ανάγκη αφ' ετέρου δε θα αξιοποιήσει τις δυνατότητες κοινωνικής προσφοράς της γεωλογικής επιστήμης και το συνεχώς αυξανόμενο δυναμικό Ελλήνων γεωλόγων.

3. ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Είναι γνωστό ότι υπάρχουν πολλές μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί στην πρόγνωση των σεισμών. Από αυτές υπάρχουν ορισμένες γεωλογικές μέθοδοι (σε αντιδιαστολή με τις καθαρά σεισμολογικές και γεωφυσικές) που θεωρούνται περισσότερο ελπιδοφόρες και γι' αυτό έχουν αναπτυχθεί ειδικά δίκτυα παρακολούθησης στην Ιαπωνία, τις Ηνωμένες Πολιτείες, Κίνα κ.α. Τέτοιες γεωλογικές μέθοδοι είναι τριών κατηγοριών:

- (i) Οι σχετικές με δίκτυα παρακολούθησης των μεταβολών του εντατικού πεδίου (Διάρκεια μεταβολών ωρών, ημερών, μηνών έως και μερικών χρόνων) (Zoback et al., 1978, Sacks et al., 1978).
- (ii) Οι σχετικές με μεταβολές στη στάθμη ή στα χαρακτηριστικά του υπεδάφινου νερού (Eaton & Takasaki, 1959, Wakita, 1975, Kovach

et al., 1975) και

(iii) Οι γεωχημικές με βάση ανίχνευση μεταβολών σπανίων αερίων ή ειδικών διαλυμάτων στο υπέδαφος (Ραδόνιο, Ηλίο κλπ.) (Noguchi & Wakita, 1977, King, 1978, Wakita, 1978).

Είναι χαρακτηριστικό ότι στην Ιαπωνία έχουν περιγραφεί πρόδρομα "υδρογεωλογικά" φαινόμενα σε 17 μεγάλους σεισμούς από το 1900 έως το 1978 (Wakita, 1984).

Στην Ελλάδα δεν έχει μέχρι σήμερα αναπτυχθεί καμία σχετική μέθοδος ούτε υπάρχει σχετικό επιστημονικό δυναμικό και υποδομή. Είναι γνωστή μόνο η περίπτωση των αλλαγών των νερών της περιοχής Χαλκιδικής και Κατερίνης από τον Μαραβελάκη (1933, 1936, 1941). Είναι προφανές ότι εκτός από την πιθανή μεταβολή στο πρόβλημα της πρόγνωσης των σεισμών, η ανάπτυξη ερευνητικών πρωτοβουλιών στην κατεύθυνση αυτή θα προσφέρει και νέα επιστημονική γνώση και οπωσδήποτε θα επιτρέψει συσχετισμούς με τα σεισμολογικά δεδομένα αλλά και με τα ηλεκτρικά δεδομένα που πρόσφατα χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση των σεισμών στη χώρα μας.

Ιδιαίτερο πρόβλημα που σχετίζεται με την πρόγνωση των σεισμών πάνω σε συγκεκριμένες ενεργές ρηξιγενείς ζώνες είναι η διερεύνηση εάν έχουμε σεισμική ή ασεισμική παραμόρφωση (με ερπυσμό) σε διάφορα τμήματα της ίδιας ζώνης ή σε διαφορετικές ζώνες, όπως τούτο είναι γνωστό ότι συμβαίνει στη ρηξιγενή ζώνη του Αγίου Ανδρέα (Nason & Weertman, 1973, Burford, 1977, Dieterich, 1978, Johnson et al., 1974, 1977).

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι οι γεωλόγοι μπορούν να προσφέρουν πολλά στην κατεύθυνση της πρόγνωσης των σεισμών σε συνεργασία βέβαια με τις άλλες ειδικότητες όπως τους γεωφυσικούς-σεισμολόγους, τους φυσικούς στερεάς κατάστασης και τους μηχανικούς-τοπογράφους.

Η ιδιαίτερη συμβολή των γεωλόγων είναι η ικανότητά τους να παρέχουν και πληροφορίες από το γεωλογικό παρελθόν σε αντίθεση με τις άλλες ειδικότητες που αναλύουν κυρίως το παρόν. Η τέταρτη αυτή διάσταση του χρόνου αλλά και η εποπτική εικόνα όλων των φαινομένων που συνυπάρχουν κάτω από κάθε συγκεκριμένο γεωδυναμικό πεδίο μπορούν να βοηθήσουν αποτελεσματικά στην πλουραλιστική προσέγγιση και στην τελική λύση του τόσο σημαντικού για τον άνθρωπο προβλήματος των σεισμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BURFORD, R.O., 1977. Bimodal Distribution of Creep Event Amplitudes on the San

Andreas Fault at Melendy Ranch, California. *Nature*, 268, 424-426.

DIETERICH, J.H., 1978. Preseismic Fault Slip and earthquake prediction. *J. Geophys. Res.*, 83, 3940-3948.

EVANSON, J.P. & TAKASAKI, K.J., 1959. Seismological Interpretation of earthquake-induced water-level fluctuations in wells. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 49, 227-245.

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

JOHNSON, M.J.S., JONES, A.C. & DAUL, W., 1977. Continuous strain measurements during and preceding episodic creep on the San Andreas fault. *J. Geophys. Res.*, 82, 5683-5691.

KING, C., 1978. Radon emanation on the San Andreas fault. *Earth Inf. Bull.*, 10, 4.

KOVACH, R.L., NUR-AMOS, WESSON, R.L. & ROBINSON, R., 1975. Water-level fluctuations and Earthquakes on the San Andreas fault zone. *Geology*, 3, 437-440.

ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ, Μ., 1933. Οι Γεωλογικοί και μακροσεισμικοί χαρακτήρες, των σεισμών της Χαλκιδικής. Παν/μιο Θεσ/κης.

ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ, Μ., 1936. Σκουδή επί των σεισμών της Χαλκιδικής. Ο κρυσταλλοπαγής όγκος του Βερτίσκου και οι περίεργοι αυτοί θέρμας. Προ και μετασεισμική σύσταση αυτών. Παν/μιο Θεσ/κης.

ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ, Μ., 1941. Μακροσεισμική σκουδή των σεισμών Κατερίνης. Δημοσ. Εταιρ. Μακεδ. Σκουδών, 2, Θεσσαλονίκη.

NASON, R.D. & WEERTMAN, J., 1973. A Dislocation Theory Analysis of Fault Creep Events. *J. Geophys. Res.*, 78, 7745-7751.

NOGUCHI, M. & WAKITA, H., 1977. A method for continuous measurement of radon in groundwater for earthquake prediction. *J. Geophys. Res.*, 83, 1353-1357.

BACKS, I.S., SUYEHIRO, S., LINDE, A.T. & SNOKE, J.A., 1979. Slow earthquakes and stress redistribution. *Nature*, 275, 599-602.

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., 1984. Changes in Groundwater Level and Chemical Composition. In *Earthquake Prediction Techniques Applied in Japan*, Tokyo Press, 175-216.

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*, 6, 147-152.