

Πρακτικά	βου	Συνεδρίου	Μάιος	1992
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ.	XXVIII/1	σελ. 511-531	Αθήνα 1993
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.		pag.	Athens

**ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΙΚΟ
ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟΥ ΤΟΞΟΥ Ν.ΑΙΓΑΙΟΥ :ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΑ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Κ.ΠΕΡΙΣΟΡΑΤΗΣ, Α.ΑΝΔΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ, Π.ΖΑΧΑΡΑΚΗΣ, Ε.ΖΗΜΙΑΝΙΤΗΣ

ΣΥΝΟΨΗ

Το κεντρικό τμήμα του ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου εμφανίζει σιγμοειδή μορφή και περιλαμβάνει τα νησιά Ανάφη, Σαντορίνη, Ιο, Σίκινο και Φολέγανδρο που συνδέονται μεταξύ τους με υποθαλάσσιες ράχες ποικίλου βάθους και γενικής διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ.

Η υφαλοκρηπίδα, που είναι περισσότερο ανεπτυγμένη γύρω από τα νησιά Ανάφη και Ιο με το υφαλόοριο να εμφανίζεται σε βάθος από 110 έως 150μ., καλύπτεται από άμμους, πηλούχους άμμους και τοπικά από χάλικες. Η κατωφέρεια είναι ομαλή και καλύπτεται κυρίως από την ενότητα άμμος/πηλός/άργιλος. Ο πυθμένας των λεκανών αποτελείται από αργιλούχους πηλούς προς τα ανατολικά και πηλούχους αργίλους προς τα δυτικά με εξαίρεση την λεκάνη της Φολεγάνδρου όπου το ιζήμα είναι αδρομερέστερο.

Η κατανομή των διαφόρων τύπων ιζημάτων που καλύπτουν τον πυθμένα εξαρτάται τόσο από την παρουσία των νησιών και των ράχων όσο και από τις έντονες διαδικασίες μαζικών μετακινήσεών τους.

Κάτω από το λεπτό ολοκαινικό κάλυμμα αναγνωρίστηκαν τρεις στρωματογραφικές ενότητες Α, Β και C. Εξ' αυτών η βαθύτερη ενότητα C εμφανίζεται έντονα πτυχωμένη και ρηγματωμένη και πιστεύεται ότι αντιστοιχεί στην Αττικοκυκλαδική μάζα. Για την ενότητα Β που επικάθεται στην C προτείνεται η άνω-Μεσοκαινική ηλικία ενώ η ενότητα Α αντιπροσωπεύει τα Πλειο-τεταρτογενή ιζήματα.

Οι δύο κύριες τεκτονικές διευθύνσεις που αναγνωρίστηκαν έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ, εκ των οποίων η τελευταία φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ενεργός.

ABSTRACT

The central sector of the Southern Aegean Volcanic Arc has a sigmoidal shape and consists of the islands of Anafi, Santorini, Ios, Sikinon and Folegandros which are connected with submarine ridges having variable depth and a general NW-SE orientation.

The shelf, more developed around Anafi and Ios where the shelf break was distinguished between 110 and 150m, is covered by sands, silty sands and locally gravel. The slopes are smooth and are partly covered by the sand/silt/clay unit. The seafloor sediments in the basins consist of clayey silts to the east and silty clays to the west except at the Folegandros Basin where there are coarser sediments.

This distribution of sediment types in the area reflects proximity to islands and ridges combined with action of sediment mass moving processes.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

ΥΠΕΡΣΟΦΙΑ ΥΠΟΒΕΛΤΟΣΟΙΣ ΓΕΩΛΟΓΙΕΣ,
1.Γ.Μ.Ε., Μεσοτείλων 70, Αθήνα

Below the thin holocene layer, three stratigraphic units A, B and C were recognized. Unit C, the lowest, is intensively folded and faulted and is believed to represent the Atticocycladic massif. For unit B which lies on C, an Upper Miocene age is suggested while unit A represents the Plio-Quaternary sediments.

Two main structural trends were recognized, having NW-SE and NE-SW orientation, from which the latter seems to be particularly active.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

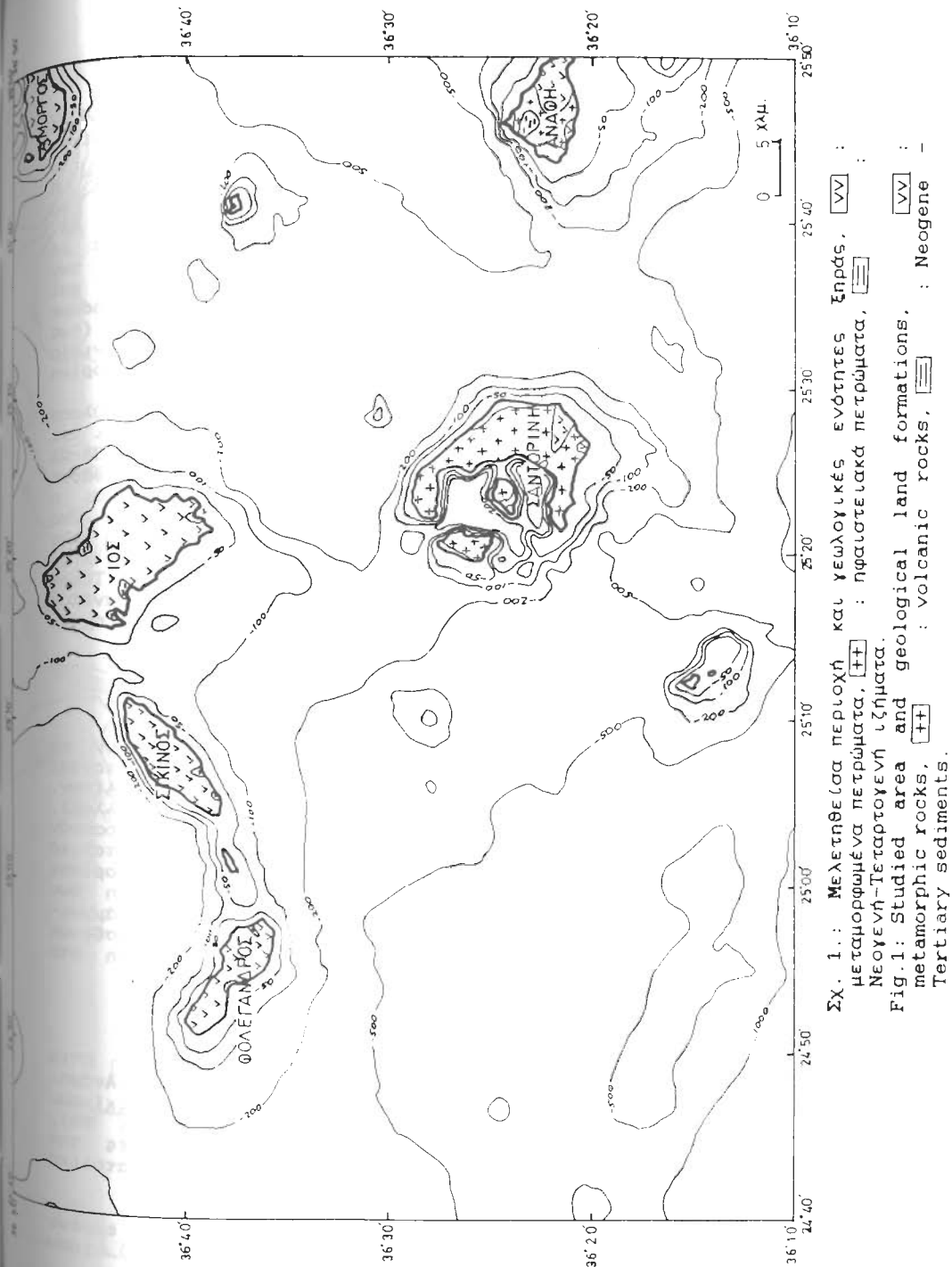
Το ηφαιστειακό τόξο του Ν. Αιγαίου εκτείνεται από την Μικρά Ασία (Bodrum) μέχρι την Πελοπόννησο (Κρομμυωνία) και βρίσκεται μεταξύ του σεισμικού πλατώ των Κυκλάδων προς Βορρά και της Κρητικής τάφρου προς νότο. Το πιο δραστήριο ηφαιστειακό κέντρο είναι αυτό της Σαντορίνης και, κατά δεύτερο λόγο, της Μήλου. Η ηφαιστειότητα του τόξου θεωρείται ότι είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας καταβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Αιγαιακή, λόγω της έκχυσης του μέσω των ηφαιστείων του τόξου (Ninkovich and Hays, 1972-Angelier and Lyberis, 1982). Η παλαιότερη ηφαιστειακή δράση έχει σημειωθεί στο ηφαίστειο της Κρομμυωνίας (2.7 εκ. έτη, Fytikas et al. 1972), και η πιο πρόσφατη στην Σαντορίνη. Τα ηφαιστειακά πετρώματα του τόξου είναι της τυπικής ασβεσταλκαλικής σειράς (βασάλτες μέχρι ανδεσίτες και ρυόλιθοι).

Τα νησιά που αποτελούν το τόξο βρίσκονται τα περισσότερα στο κεντρικό τμήμα, μεταξύ της Ανάφης και της Μήλου. Στο τμήμα αυτό εκτελείται από το 1980 μία συστηματική γεωλογική-γεωχημική έρευνα που χρηματοδοτείται από την Ε.Ο.Κ. (πρόγραμμα MAST-00IS-C(TT) και έχει στόχο την συσχέτιση των γεωλογικών και ιζηματολογικών στοιχείων με την υδροθερμική δραστηριότητα. Στο πρόγραμμα συμμετέχουν, εκτός του Ι.Γ.Μ.Ε. το Πανεπιστήμιο Πατρών, το Ε.Κ.Θ.Ε. και το Imperial College. Στην παρούσα μελέτη παρατίθενται τα προκαταρκτικά γεωλογικά και ιζηματολογικά αποτελέσματα από την Ανάφη έως την Φολέγανδρο, που προέκυψαν από μελέτη 300 περίπου δειγμάτων, 8 πυρήνων και 2.000 χλμ. περίπου σεισμικών και βαθυμετρικών καταγραφών. Δεν αναφέρονται τα στοιχεία και τα συμπεράσματα από την καλδέρα της Σαντορίνης, που αποτελούν αντικείμενο άλλης εργασίας.

Τα νησιά καλύπτονται από μεταμορφωμένα νεογενή-τεταρτογενή και ηφαιστειακά πετρώματα (Μπορνόβας και Ροντογιάννη, 1984). Τα μεταμορφωμένα αποτελούνται από γνεύσιους, σχιστόλιθους, μάρμαρα και ασβεστολίθους και καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των νησιών Αμοργού, Ιου, Σίκινου και Φολέγανδρου, τμήμα της Ανάφης και πολύ μικρό τμήμα της Σαντορίνης (Σχ.1). Η ηλικία τους θεωρείται από Πέρμια έως Κρητιδική. Τα Νεογενή-Τεταρτογενή είναι από μάργες μέχρι παράκτιοι άμμοι. Τα παλαιότερα (Μειοκαινικής ηλικίας) εμφανίζονται στην Φολέγανδρο (Sowa, 1980) και στην Ανάφη (Μελιδώνης, 1964). Τέλος τα ηφαιστειακά πετρώματα απαντούν μόνο στην Ανάφη (δυτικό τμήμα) και στην Σαντορίνη, όπου καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της νήσου (Σχ.1).

2. ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ - ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ (Σχ. 2.3)

Η υφαλοκρηπίδα, που καταλαμβάνει συνήθως μικρή έκταση γύρω από τα νησιά, είναι κάπως πιο εκτεταμένη νότια της Ανάφης και της Σίκινου καθώς και γύρω από την Ιο και την Φολέγανδρο. Στις περιοχές αυτές το υφαλόδριο αναγνωρίστηκε σε βάθος 110 έως 150μ. Μετά το υφαλόδριο τα



Σχ. 1.: Μελετηθείσα περιοχή και γεωλογικές ενότητες. [VV] : μεταμορφωμένα πετρώματα, [++]: ηφαιστειακά πετρώματα, Neογενή-Τεταρτογενή ιζήματα.
Fig.1: Studied area and geological land formations, [VV] : metamorphic rocks, [++]: volcanic rocks, Neogene Tertiary sediments.

νησιά συνδέονται με ράχες που περιβάλλονται από βαθύτερες λεκάνες και αύλακες (Σχ. 2,3). Διακρίνονται έτσι οι ράχες Ανάφης-Σαντορίνης (μεγ. βάθος, 350μ.), Σαντορίνης-Ιου (μεγ. βάθος 150μ.) και το σύμπλεγμα Ιου-Σικίνου-Φολέγανδρου (μέγ. βάθος 95μ.). Επίσης η Σαντορίνη συνδέεται με μία βαθύτερη ράχη (μέγ. βάθος 450μ.) με τα Χριστιανά προς τα ΝΔ και με την Ανύδρου και την Αμοργό προς τα ΒΑ. Φαίνεται λοιπόν ότι το ηφαιστειακό τόξο έχει ένα σιγμοειδές σχήμα με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, ενώ τοπικά εμφανίζονται μετατοπίσεις των ράχων προς μία ΝΔ-ΒΑ κατεύθυνση (π.χ. μεταξύ Ανάφης-Σαντορίνης και Σαντορίνης - Ιου, Σχ.2). Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σε περιόδους χαμηλής στάθμης της θάλασσας (έως -120μ.) τα νησιά Ιος-Σίκινος και Φολέγανδρος αποτελούσαν μία ενιαία Ξηρά. Αγνωστη όμως παραμένει η σχέση της Ξηράς αυτής με την Σαντορίνη γιατί εκεί οι γεωλογικές διεργασίες ήταν έντονες μέχρι πρόσφατα.

Στις δύο πλευρές της ράχης Σαντορίνης-Αμοργού υπάρχει η αύλακα Σαντορίνης-Ανάφης ανατολικά και η λεκάνη της Ανύδρου δυτικά. Και οι δύο αυτές ταπεινώσεις του πυθμένα έχουν επίμηκες σχήμα, σε ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση, επίπεδο πυθμένα και απότομες πλευρές. Το μέγιστο βάθος τους υπερβαίνει τα 500μ. Δυτικά της Σαντορίνης σχηματίζεται η κυκλικής μορφής λεκάνη των Χριστιανών που διαμορφώνεται επίσης από την ισοβαθή των 500μ. Η λεκάνη αυτή αποτελεί τμήμα της τάφρου της Κρήτης, από την οποία χωρίζεται με ένα επίμηκες ύψωμα διεύθυνσης Α-Δ, που ανυψώνεται περίπου 100μ. πάνω από τον πυθμένα της λεκάνης. Τέλος η μικρότερης έκτασης και βάθους (400μ.) λεκάνη της Φολέγανδρου σχηματίζεται βόρεια του νησιού, στο ΒΔ τμήμα της υπό μελέτη περιοχής.

3.1 ΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

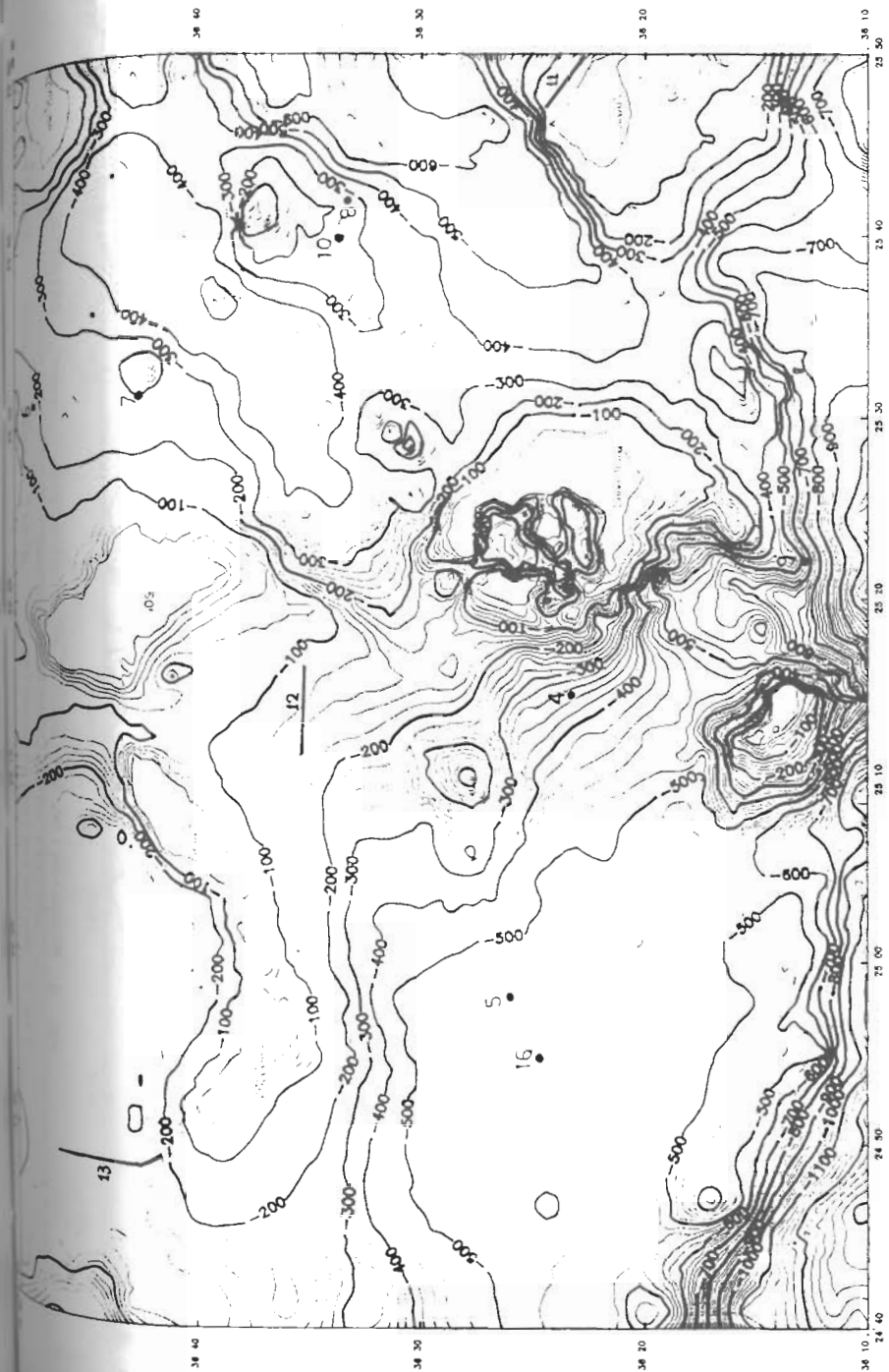
3.1. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

3.1.1. Κοκκομετρία (Σχ. 4): Οι αβαθείς περιοχές που περιβάλλουν τα νησιά, δηλαδή η υφαλοκρηπίδα και η ανώτερη κατωφέρεια, καλύπτονται από άμμους και πηλόχους άμμους, με κατά τόπους παρουσία χαλίκων. Αδρομερή ιζήματα (άμμοι, πηλόχου άμμοι και άμμος-πηλός-άργιλλος), καλύπτουν επίσης και τις ράχες. Στις βαθειές περιοχές επικρατούν φυσικά τα λεπτόκοκκα ιζήματα με υψηλότερο ποσοστό πηλού ανατολικά (αργιλόχους πηλός στην λεκάνη της Ανύδρου και στην κοιλάδα Σαντορίνης - Ανάφης) από ότι στα δυτικά (πηλόχους άργιλλος στην λεκάνη των Χριστιανών). Αξιοσημείωτη είναι η παρουσία αδρομερών ιζημάτων (άμμος-πηλός-άργιλλος) στην λεκάνη της Φολέγανδρου. Τα ιζήματα είναι ασθενώς έως πολύ ασθενώς διαβαθμισμένα, με σχετικά καλύτερη διαβάθμιση στα ιζήματα των αβαθών περιοχών.

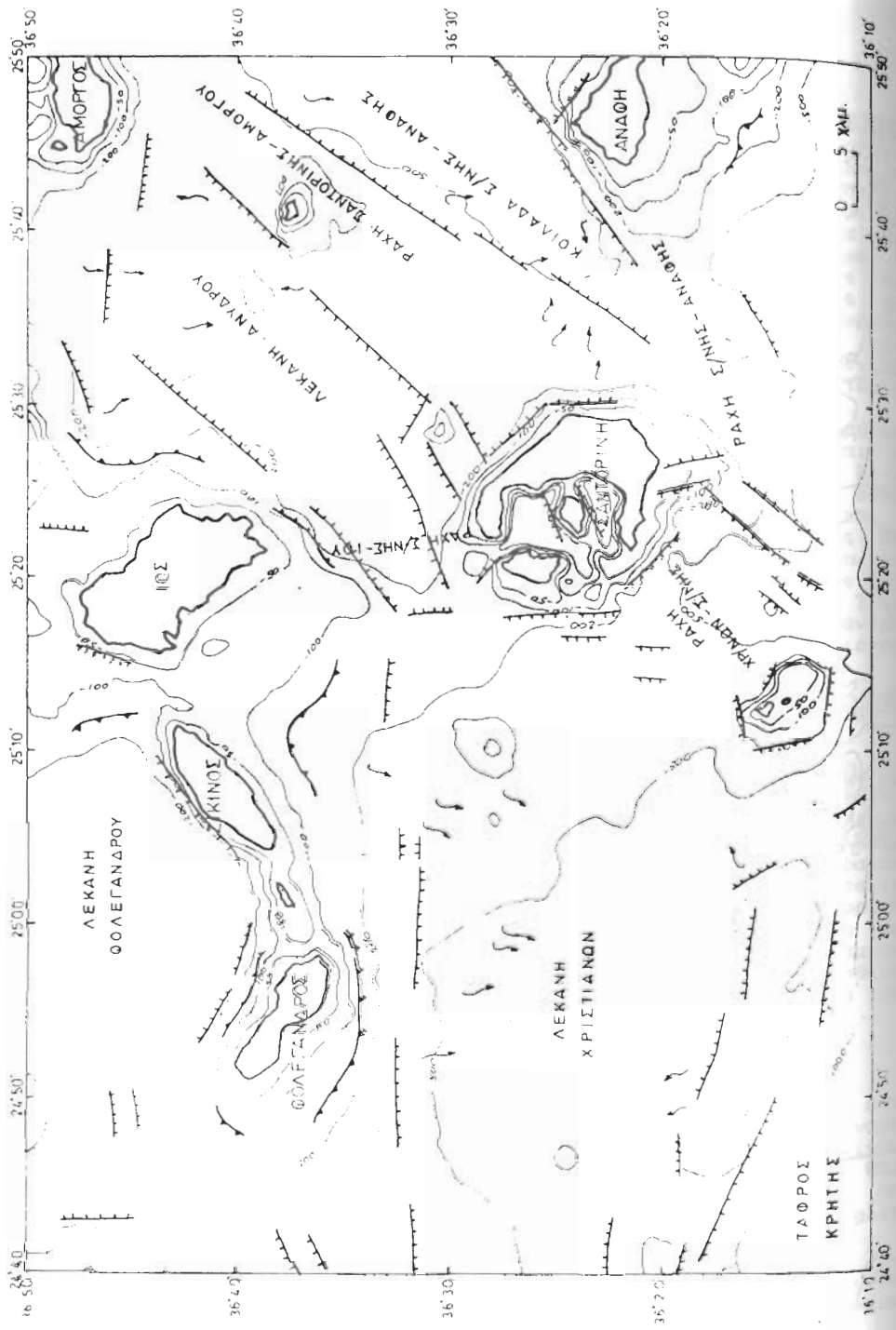
3.1.2. Ανάλυση κλάσματος άμμου:

3.1.2.1. Χαλαζιάς (Σχ.5): Βρίσκεται σε υψηλά ποσοστά στις υφαλοκρηπιδικές εκτάσεις των νήσων, ιδιαίτερα γύρω από την Ανάφη, ανατολικά και νότια της Σαντορίνης, νοτία της Ιου και της Σικίνου. Στις βαθειές περιοχές το ποσοστό του χαλαζιά είναι μικρό (< 5%), ιδιαίτερα στην λεκάνη της Φολέγανδρου, ενώ σε δύο περιοχές της κοιλάδας Σαντορίνης-Ανάφης, στο νοτιοδυτικό τμήμα της και ανατολικά της Ανύδρου, ο χαλαζιάς απαντάται σε υψηλότερα ποσοστά.

3.1.2.2. Τμήματα ηφαιστειακών πετρωμάτων (Σχ. 6) : Είναι ευρέως κατανεμημένα σε όλη σχεδόν την περιοχή, με υψηλά ποσοστά (>40%) γύρω



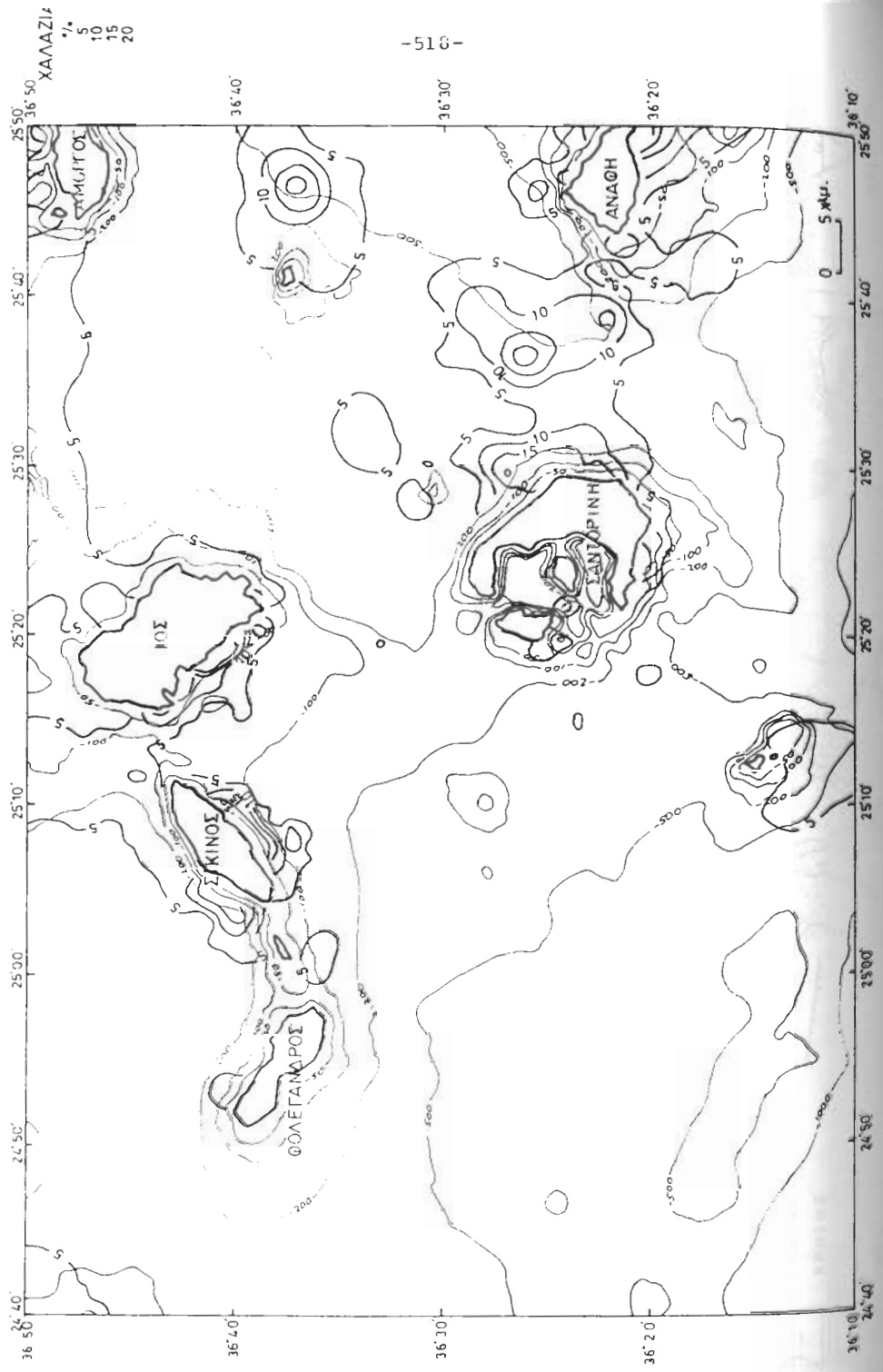
Σχ. 2: Βαθυμετρικός χάρτης (σε μ.). Οι κύκλοι παριστούν τις θέσεις των πυρήνων και οι γραμμές τις σεισμικές διαδρομές των σχημάτων 11,12, έως 13.
 Fig.2: Bathymetric map (in m.).Cycles depict core locations and heavy lines show the seismic profiles of Fig. 11 12, 13.



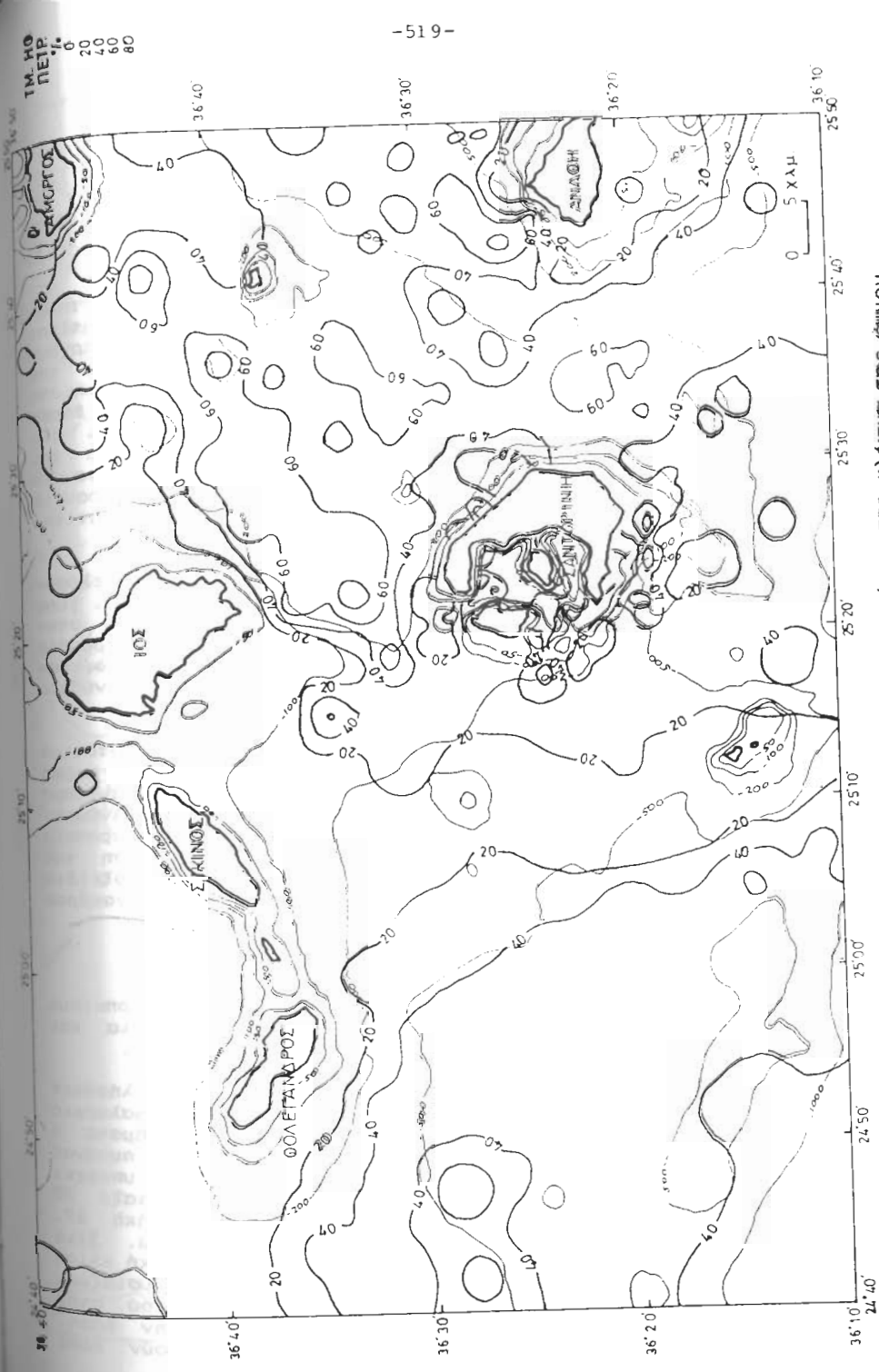
ΣΧ. 3: Μορφολογικά στοιχεία, υψαλόφριο, ρήγματα, μαζικές μετακινήσεις εζημάτων.
 FIG. 3: Morphological elements, upland, shelf break, faults.



ΣΧ. 4: Τύποι εζημάτων (κατά Sheppard).
 Fig.4: Sediment types (after Sheppard)



Σχ. 5: Ποσοστό (%) χαλαζία στο κλάσμα της άμμου.
Fig. 5: Quartz percentage in the coarse fraction.



Σχ. 6: Ποσοστό (%) ηφαιστειακών πετρωμάτων στο κλάσμα της άμμου.
Fig. 6: Volcanic rock fragment percentage in the coarse fraction.

από την Σαντορίνη και την Ανάφη, αλλά και στις βαθειές λεκάνες που τις περιβάλλουν, ενώ είναι μικρότερο στις κατωφέρειες. Αντίθετα χαρακτηριστική είναι η παντελής σχεδόν απουσία ηφαιστειακών πετρωμάτων βόρεια του συμπλέγματος Ιου-Σικίνου-Φολέγανδρου.

3.1.2.3. Βαρέα Ορυκτά (Σχ. 7) : Στο κλάσμα της άμμου αναγνωρίστηκαν αμφίβολοι, πυρόξενοι, τουρμαλίνης, γρανάτες, επίδοτο και μαγνητίτης που απαντούν κυρίως στις αβαθείς περιοχές. Νότια της Ανάφης υπάρχουν πυρόξενοι και τουρμαλίνης, ενώ ανατολικά και, κυρίως, νότια της Σαντορίνης αναγνωρίστηκαν όλα τα παραπάνω ορυκτά, σε υψηλό μάλιστα ποσοστό (>10%) νότια της Σαντορίνης. Στις βαθειές περιοχές τα βαρέα ορυκτά βρίσκονται σε μικρό ποσοστό με εξαίρεση και πάλι τις δύο περιοχές της κοιλάδας Σαντορίνης-Ανάφης, στο νοτιοδυτικό τμήμα της και ανατολικά της Ανύδρου όπου είχε σημειωθεί και η υψηλή παρουσία χαλαζία. Εκεί το ποσοστό των βαρέων υπερβαίνει το 4% με παρουσία αμφιβόλων, πυροξένων, γρανατών και τουρμαλίνη, καθώς και μαγνητίτη, στην περιοχή της Ανύδρου.

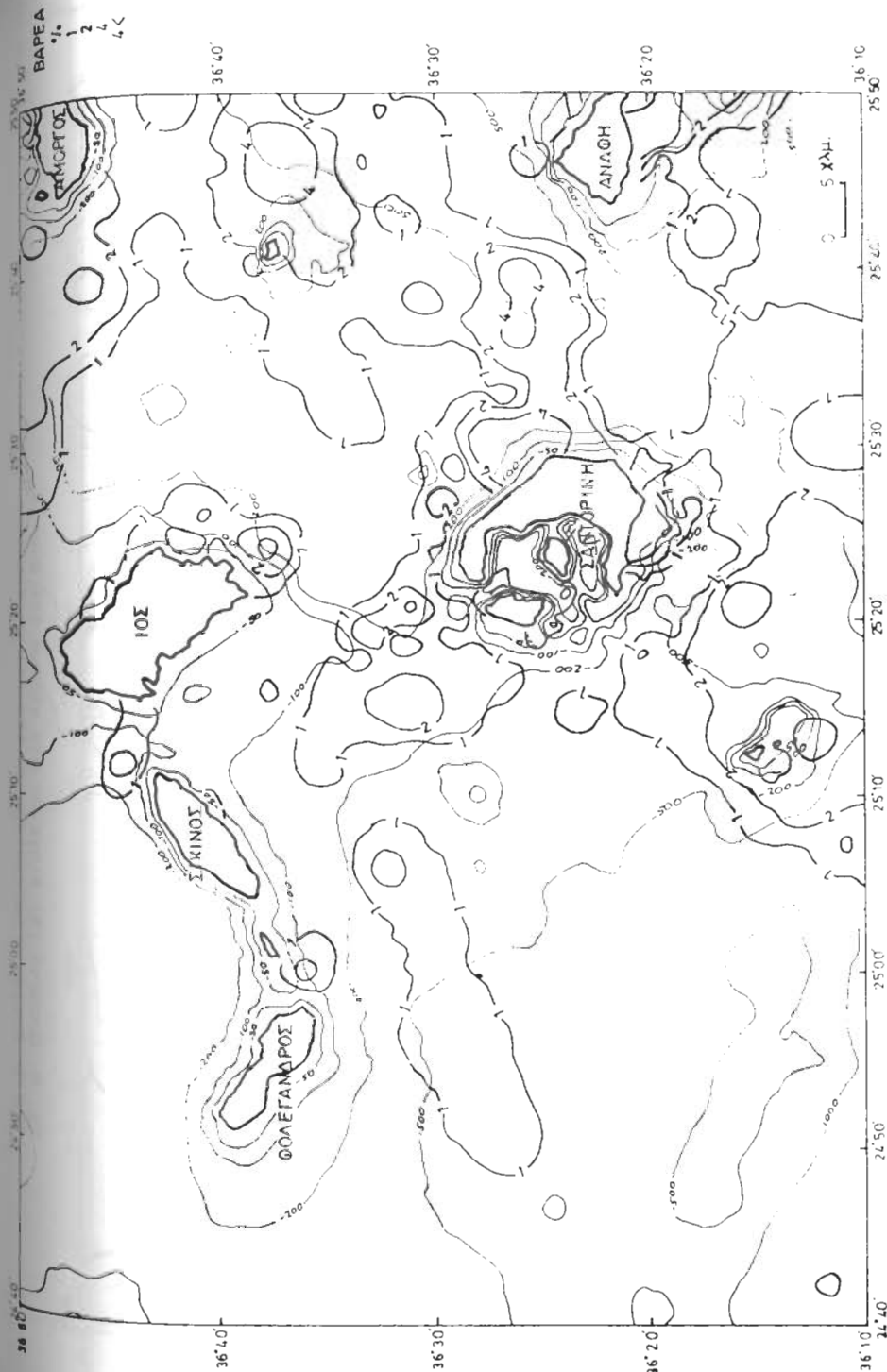
3.1.2.4. Βιογενή (Σχ. 8) : Αποτελούνται κυρίως από τμήματα κελύφων τρηματοφόρων και μαλακίων και απαντούν σε χαμηλά ποσοστά (<20%), γύρω από την Ανάφη και την Σαντορίνη, και σε υψηλά ποσοστά (>60%) στην περιοχή Σικίνου-Φολέγανδρου, σε αντίθετη δηλαδή σχέση με την παρουσία ηφαιστειακών πετρωμάτων. Στις βαθειές περιοχές η παρουσία βιογενών είναι σημαντική (40%) με χαμηλότερο ποσοστό στην λεκάνη της Ανύδρου (20%).

3.1.2.5. Οξειδία Σιδήρου (Σχ. 9) : Το αυθιγενές αυτό συστατικό μελετήθηκε ως ενδεικτικό της υδροθερμικής δράσης και έχει την μορφή διακρίτων ερυθρών κοκκων ή συσσωματωμάτων ή, σπανιότερα, ως επάνθισμα σε κελύφη τρηματοφόρων. Οξειδία σιδήρου, απαντούν στις ράχεις Ανάφης-Σαντορίνης, Σαντορίνης-Ιου και Σαντορίνης-Χριστιανών. Παρουσία οξειδίων σιδήρου διαπιστώθηκε επίσης και προς την διεύθυνση της κοιλάδας Σαντορίνης-Ανάφης, και της λεκάνης της Ανύδρου. Τα οξειδία σιδήρου απουσιάζουν εντελώς από την υφαλοκρηπίδα Σικίνου-Φολέγανδρου καθώς και από την λεκάνη της Φολέγανδρου.

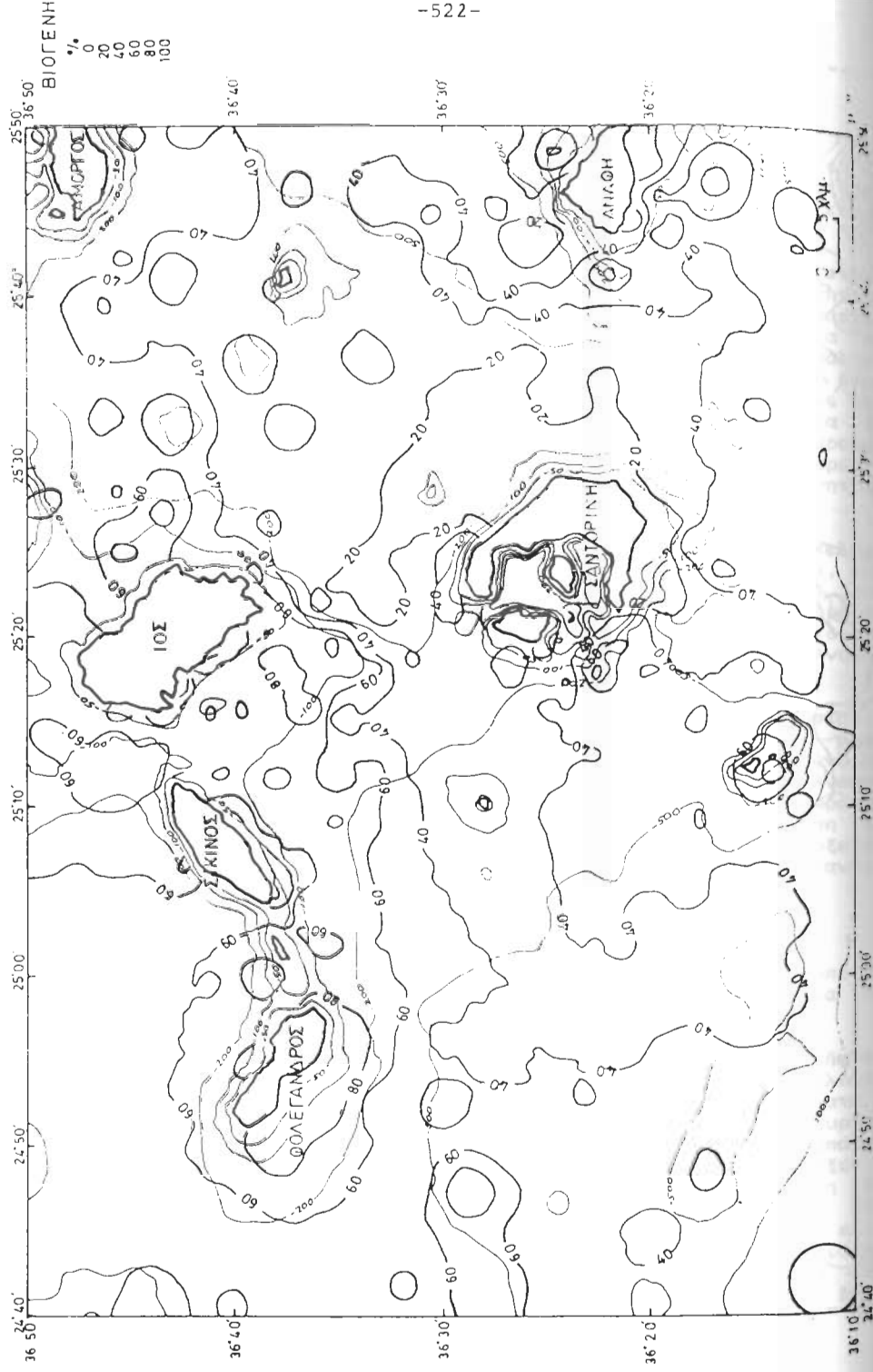
3.2. ΠΥΡΗΝΕΣ

Οκτώ συνολικά πυρήνες λήφθηκαν στην περιοχή, από τους οποίους τέσσερις λήφθηκαν στην υφαλοκρηπίδα και την ανώτερη κατώφλεια και τέσσερις στην κατώτερη κατώφλεια και στις λεκάνες (Σχ. 2, 10).

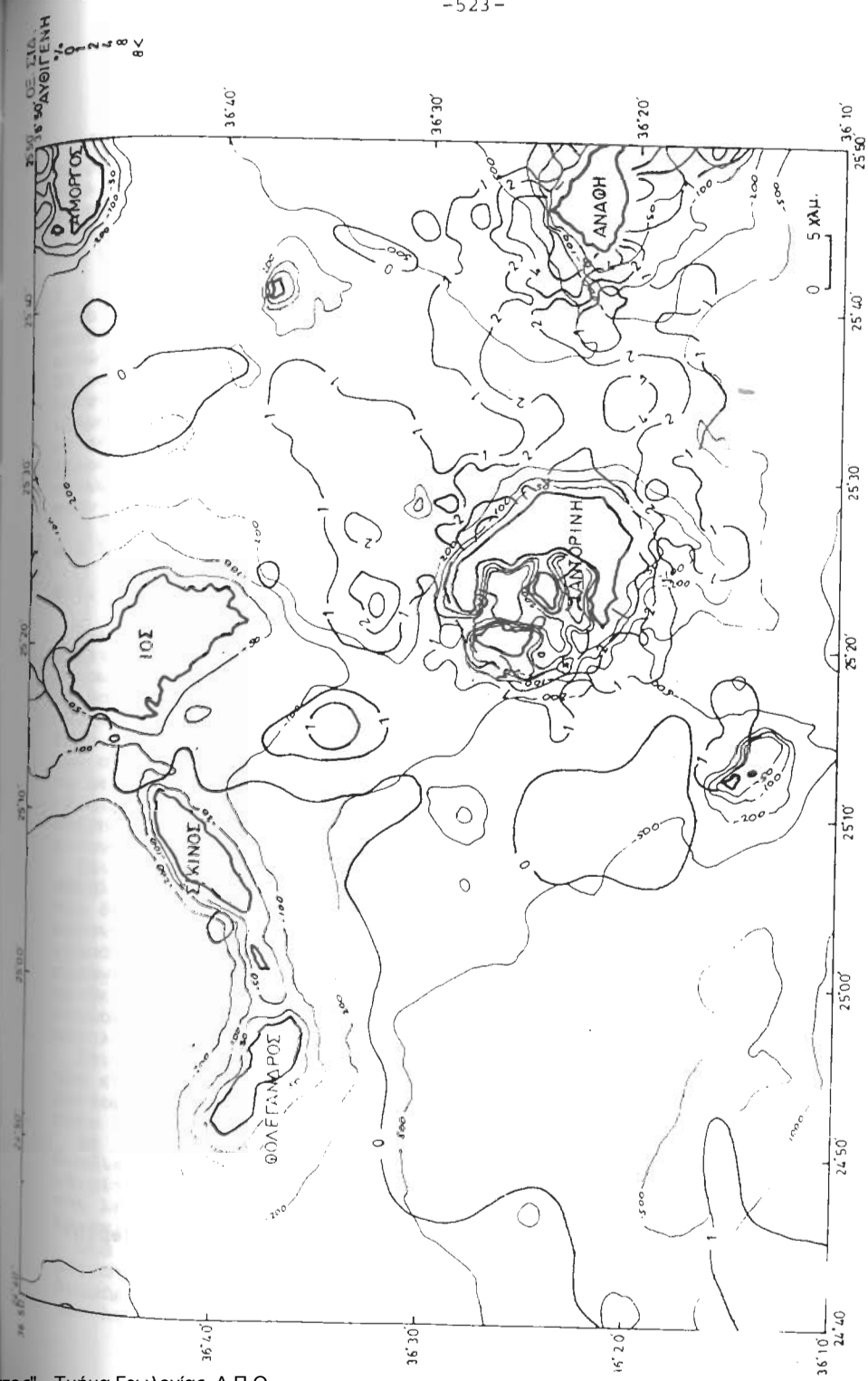
3.2.1. Υφαλοκρηπίδα-ανώτερη κατώφλεια: Στην υφαλοκρηπίδα λήφθηκε μόνο ο πυρήνας SNT-6 (βάθος 124μ., μήκος 33 cm) κοντά στο υφαλοόριο της Ιου. Εκεί ο πυρήνας είναι σχεδόν ακάλυπτος από χαλαρά ιζήματα ή καλύπτεται από ένα μικρού πάχους (1-2μ.) στρώμα. Ο πυρήνας αποτελείται από άμμο με κάλικες τοπικά. Αδρομερής άμμος υπάρχει μεταξύ 12 έως 15 εκ. με μία κροκάλη στην βάση του πυρήνα, μεταξύ 30 και 33 εκ. Οι υπόλοιποι τρεις πυρήνες SNT 7, 8 και 10 έχουν μήκη 67, 59 και 10 εκ αντίστοιχα και λήφθηκαν σε βάθος περίπου 200μ. Στις περιοχές όπου λήφθηκαν οι πυρήνες αυτοί (Σχ.2) έχουμε σημαντική κλίση πυρήνα και μικρό συνήθως πάχος χαλαρών ιζημάτων που παρουσιάζουν ελαφρά στρώση. Οι πυρήνες αποτελούνται από ένα στρώμα πηλού στην κορυφή, με βαθμιαία αύξηση του αδρομερούς υλικού προς την βάση. Επίσης διακρίθηκαν διαβρωσιγενείς επιφάνειες που αποτελούν βάση



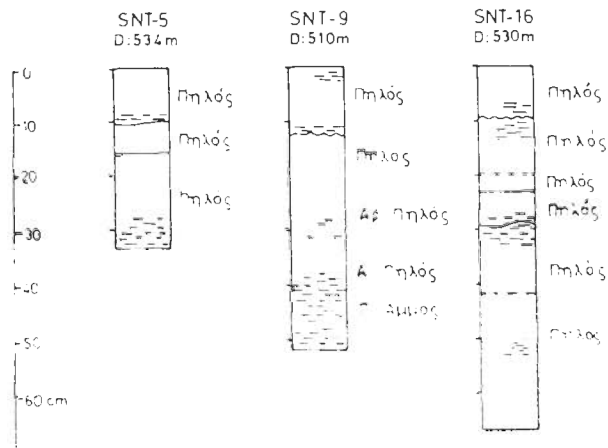
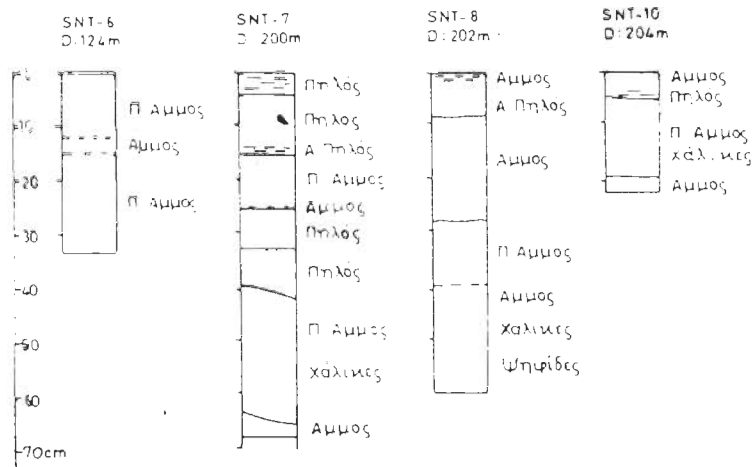
Σχ. 7: Ποσοστό (%) βαρέων ορυκτών στο κλάσμα της άμμου.
Fig. 7: Heavy mineral percentage in the coarse fraction.



Σχ. 8: Ποσοστό (%) βιογενών στο κλάσμα της άμμου.
Fig. 8: Biogenic percentage in the coarse fraction.



Σχ. 9: Ποσοστό (%) αυθιγενών οξειδίων σιδήρου στο κλάσμα της άμμου.
Fig. 9: Authigenic iron oxide percentage in the coarse fraction.



Σχ. 10: Περιγραφή πυρήνων βαθιών περιοχών. D: βάθος θαλάσσης.
 Fig.10: Description of cores taken at the deep areas. D: sea depth.

τουρβιδιτικών στρωμάτων, ενώ σε άλλες περιπτώσεις έχουμε κανονική εναλλαγή στρωμάτων πηλού και άμμου. Σε ένα πυρήνα (SNT-7) παρατηρήθηκαν και γωνιώδεις στρώσεις. Σε όλους όμως τους πυρήνες είναι σαφής η αύξηση του ποσοστού άμμου, χαλίκων και κροκαλών προς την βάση τους.

3.2.2. Κατώτερη κατωφέρεια-Λεκάνες: Στην κατώτερη κατωφέρεια λήφθηκε μόνο ένας πυρήνας (SNT-4, βάθος 340μ.). Συνίσταται από μία μικρή ποσότητα ιζήματος, όπου διακρίνεται ένα ανώτερο τμήμα πηλού και ένα κατώτερο άμμου και χαλίκων. Οι άλλοι δύο πυρήνες (SNT, 5 και 16, μήκους 33 και 67 εκ αντίστοιχα, βάθη 530 και 534μ.) λήφθηκαν στον πυθμένα των λεκανών. Τα σεισμικά στοιχεία στην περιοχή δείχνουν καλώς εστρωμένα ιζήματα σημαντικού πάχους. Οι πυρήνες αποτελούνται από ομοιογενή πηλό με τοπική παρουσία λεπτών οριζόντων άμμου, και συχνές λεπιδώσεις. Τέλος ο πυρήνας SNT-9 (μήκος 52 εκ., βάθος 510μ.) λήφθηκε στην κατωφέρεια νότια της Σαντορίνης και χαρακτηρίζεται από πηλό με άμμο στην βάση του και μία παρουσία διαβρωσιγενούς επιφάνειας στα 13 εκ.

4. ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

4.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Στις υφαλοκρηπιδικές εκτάσεις, τις κατωφέρειες αλλά και στις ράχεις υπάρχει τοπικά ένα λεπτό στρώμα ιζήματος, πάχους έως μερικών μέτρων (Σχ. 11). Κάτω από το στρώμα αυτό υπάρχει ένα ακουστικό υπόβαθρο του οποίου οι ανακλαστές αλλού μεν είναι καλώς εστρωμένοι, πτυχωμένοι και ρηγματωμένοι (Ενότητα Β) και αλλού παρουσιάζουν χαώδη δομή, είναι πολυπτυχωμένοι και δεν επιτρέπουν συνήθως την διεύθυνση των ακουστικών κυμάτων (Ενότητα C, Σχ. 12). Η ενότητα C καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της υφαλοκρηπίδας μέχρι σχεδόν την ακτογραμμή, ιδιαίτερα εκεί που στην ξηρά εμφανίζονται τα μεταμορφωμένα πετρώματα. Επίσης στην επαφή της ενότητας Β με την ενότητα C παρατηρούνται έντονοι ανακλαστές (Σχ. 12).

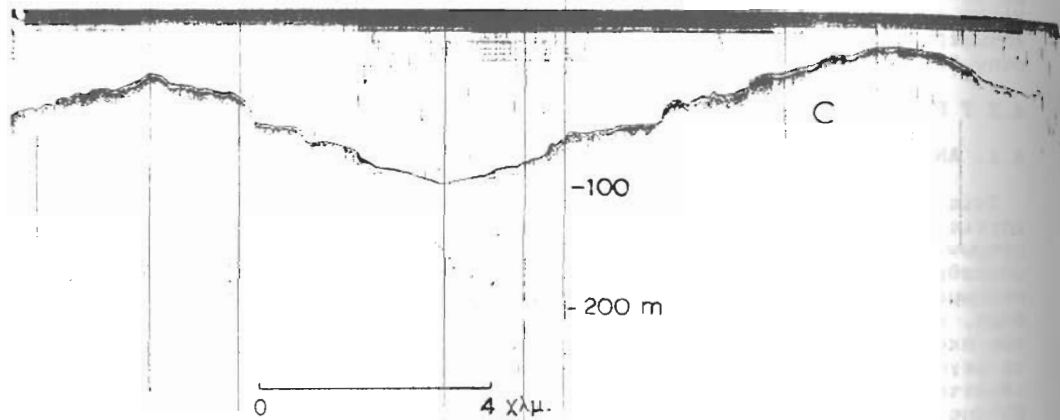
Στις βαθειές περιοχές, τα ιζήματα είναι καλώς εστρωμένα με παράλληλους εναλλασσόμενους διαφανείς και αδιαφανείς ανακλαστές, που δείχνουν απρόσκοπτη ιζηματογένεση (Ενότητα Α Σχ. 13). Διακρίνεται έντονος συνιζηματογενής τεκτονισμός, ενώ το συνολικό πάχος των ιζημάτων υπερβαίνει κατά τόπους τα 250 μέτρ. Κάτω από το πακέτο αυτό εμφανίζονται πάλι οι ενότητες Β και C που περιγράφηκαν πιο πάνω στις αβαθείς περιοχές. Αυτές έχουν συνήθως διαβρωμένο ανάγλυφο επί του οποίου επικάθονται ασύμφωνα οι καλώς εστρωμένοι παράλληλοι ανακλαστές της Ενότητας Α.

Στις περισσότερες λεκάνες παρατηρήθηκε μία μονομερής καταβύθιση της επιφάνειας του πυθμένα. Στην λεκάνη της Ανύδρου και στην κοιλάδα Σαντορίνης-Ανάφης παρατηρήθηκε μία κλίση προς τα βορειοδυτικά και στην λεκάνη της Φολέγανδρου προς νότο.

Σε όλες τις περιοχές μετά το υφαλόριο παρατηρήθηκαν έντονες διαδικασίες μαζικής μετακίνησης ιζημάτων (ερπυσμός, κατολισθήσεις) με ιδιαίτερη συχνότητα στην κοιλάδα Σαντορίνης-Ανάφης, στο νότιο τμήμα της λεκάνης της Ανύδρου και στο δυτικό τμήμα της λεκάνης των Χριστιανών (Σχ. 3).

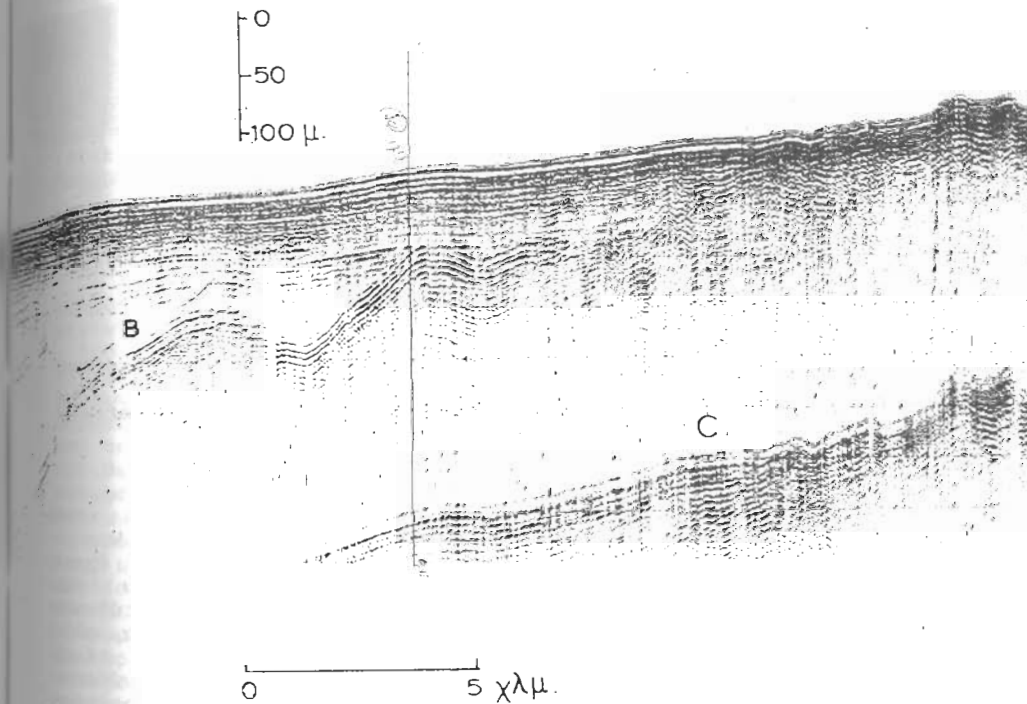
Όλα τα μορφολογικά στοιχεία της περιοχής οριοθετούνται από μεγάλα ρήγματα, αποτέλεσμα της δράσης των οποίων είναι τόσο η σημερινή διαμόρφωση των ράχειν όσο και οι παρατηρούμενες κλίσεις των δαπέδων των λεκανών. Το υφαλόριο, όπου αυτό είναι ανεπτυγμένο, συνδυάζεται

A



Σχ. 11: Υφαλοκρηπίδα Ανάφης. Το λεπτό ολοκαινικό ιζημα καλύπτει το μεταμορφωμένο υπόβαθρο (Ενότητα C)
 Fig.11: Anafi shelf. Thin holocene sediments covers the metamorphic basement (Unit C).

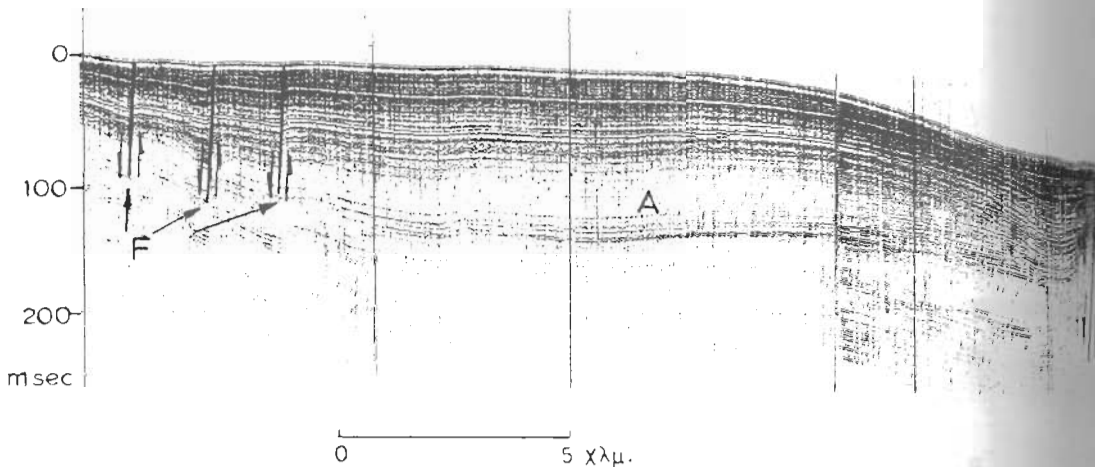
A



Σχ. 12: Λεκάνη Χριστιανών, βόρεια πλευρά. Η χαώδους δομής Ενότητα C αναδύεται κάτω από την καλά εστρωμένη και πτυχωμένη Ενότητα B. Τα ολοκαινικά ιζήματα αποτελούν ένα λεπτό στρώμα επάνω στον πυθμένα.
 Fig.12: Christiana Basin, north flank. Chaotic structured Unit C underlies the well bedded and folded Unit B. The holocene sediments are represented by a thin layer on the sea bottom.

B

N



Σχ. 13: Λεκάνη Φολεγάνδρου. Επ'αλληλῆ ὄριζόντιᾳ Πλειο-τεταρτογενῆ ιζήματα πληροῦν τὴν λεκάνη. F:συνιζηματογενῆ τεκτονισμός.
 Fig.13:Folegandros basin. Parallel horizontal Plio-Quaternary sediments fill the basin. F:Synsedimentary tectonism.

επίσης με παρουσία κανονικῶν ρηγμάτων. Ὅλες οἱ ράχεις ποὺ διαμορφώνουν τὸ ηφαιστειακὸ τόξο Ἀνάφη - Σαντορίνη - Ἴος - Σίκινοσ - Φολέγανδρος, συνοδεύονται ἐπίσης ἀπὸ ρήγματα, ποὺ τοπικὰ μὲν ἔχουν διεύθυνση Β-Ν ἕως Α-Δ, ἀνάλογα με τὸ τμήμα τοῦ τόξου ποὺ περιχαράκωνται, ἔχουν ὅμως μίαν γενικὴ ταξιοθέτηση σε ΒΔ-ΝΑ κατεύθυνση ὅπως καὶ τὸ τόξο (βλέπε ἰσοβαθεῖς τῶν 200μ., Σχ. 2, 3). Μία ἀλλὴ σειρά ρηγμάτων ποὺ δρᾷ στὴν περιοχή, ἔχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ καὶ εἶναι υπεύθυνη γιὰ τὴν δημιουργία τῆς ράχης Χριστιανῶν-Σαντορίνης-Ἀνύδρου-Ἀμοργού, καὶ ἐπίσης γιὰ τὴν δημιουργία τῆς κοιλάδας Σαντορίνης-Ἀνάφης καὶ τῆς λεκάνης τῆς Ἀνύδρου. Τα ρήγματα αὐτὰ εἶναι μεταγενέστερα τῶν προηγουμένων ρηγμάτων γενικῆς διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ διότι μετατοπίζουν τὶς ράχεις Ἀνάφης-Σαντορίνης καὶ Σαντορίνης-Ἴου πρὸς τὰ νοτιοδυτικὰ (Σχ. 2,3).

4.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Τὸ λεπτὸ ιζηματογενὲς στρώμα ποὺ καλύπτει τοπικὰ τὸν σκληρὸ πυθμένα προφανῶς θὰ ἀντιστοιχεῖ στα ὀλοκαινικὰ ιζήματα ποὺ ἀποτελέσαν στὶς υφαλοκρηπιδικὲς ἐκτάσεις κατὰ τὴν τελευταία ἐπέκλυση τοῦ τέταρτογενούς. Τὸ στρώμα αὐτὸ ὑπάρχει καὶ στὴν ἀνώτερη κατωφύρεια ὅπου εἶναι ἐπίσης μικροῦ πάχους. Ἡ ἐνότητα C ποὺ ὑπὸκειται τῶν ὀλοκαινικῶν ιζημάτων εἶναι πρὸέκταση τῶν μεταμορφωμένων πετρωμάτων τῆς Ξηράς καὶ ἐπομένως θὰ ἀποτελεῖται καὶ αὐτὴ ἀπὸ μεταμορφωμένα πετρώματα τῆς Ἀττικοκυκλαδικῆς μάζας. Ἡ ἐνότητα B τῶρα ἀποτελεῖ μίαν ιζηματογενῆ-τεκτονικὴ φάση μεταγενέστερη τῆς ἐνότητας C, ποὺ πιθανόν γὰ ἀντιστοιχεῖ στα Νεογενῆ Μεσοκαινικὰ ιζήματα ποὺ ἀπαντοῦν σε περικρισιμένη ὅμως ἐκταση, στὴν Φολέγανδρο καὶ τὴν Ἀνάφη, ὡς ὅμως καὶ νὰ ἀποτελεῖ μίαν ἐξαιρετικὰ ἀνώτερη διάπλαση μέσα εἰς τὴν Ἀττικοκυκλαδικὴ μάζα. Ἡ ἀκριβὴς στρωματογραφικὴ-γεωλογικὴ ἐρμηνεία τῆς ἐνότητας B εἶναι ἕνα θέμα ποὺ χρειάζεται περισσότερη ἐρευνα. Τέλος ἐνότητα A ἀντιστοιχεῖ στα Πλειο-Τεταρτογενῆ ιζήματα πλήρως λεκανῶν καὶ τῶν κοιλάδων.

Ἡ μορφολογία τοῦ κεντρικοῦ τμήματος τοῦ Ηφαιστειακοῦ τόξου τοῦ Ν. Αἰγαίου, ποὺ ἐξετάζεται στὴν ἐργασία αὐτή, εἶναι σιγμοειδῆς με γενικὴ διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, ἀποτελεῖ δε μίαν υπαθαλάσσια ράχη τὰ υπερυψωμένα τμήματα τῆς ὁποίας ἀποτελοῦν τὰ νησιά Ἀνάφη, Σαντορίνη, Ἴος, Σίκινοσ καὶ Φολέγανδρος. Ἀλλὴ μίαν βαθύτερη ράχη ἐμφανίζεται σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ καὶ ἐνώνει τὰ νησιά Χριστιανῶν, Σαντορίνη, Ἀνύδρος καὶ Ἀμοργός.

Ἡ υφαλοκρηπίδα εἶναι περικρισιμένης ἐκτάσεως καὶ τὸ υφαλοδρόιο ἀναγνωρίστηκε σε βάθος 110 ἕως 150μ. Ἐκατέρωθεν τῆς ράχης Σαντορίνης-Ἀμοργού σχηματίζονται ἡ λεκάνη τῆς Ἀνύδρου καὶ ἡ κοιλάδα Σαντορίνης-Ἀνάφης ποὺ ἔχουν ἀπότομες πλευρὲς, ἐπίμκηες σχήμα καὶ βάθος πάνω ἀπὸ 500μ. Δυτικὰ τῆς Σαντορίνης ὑπάρχει ἡ κυκλικὸν σχήματος λεκάνη τῶν Χριστιανῶν (βάθος 500μ.) καὶ βόρεια τῆς Φολέγανδρου ἡ ομώνυμη ἐπίσης κυκλικὸν σχήματος λεκάνη (βάθος 400μ.)

Ἡ υφαλοκρηπίδα καὶ ἡ ἀνώτερη κατωφύρεια καθὼς καὶ οἱ ράχεις καλύπτονται ἀπὸ ἄμμους καὶ πηλοῦχοις ἄργιλλοις, ἀλλὰ καὶ στὸ κατώτερο τμήμα τοῦ ὀλοκαινικοῦ στρώματος τὰ ιζήματα γίνονται ἀδρομερέστερα (πυρήνες 6,7,8,10). Τὸ ἴδιο συμβαίνει καὶ στὴν κατώτερη κατωφύρεια, ὅπου ἡ ἐνότητα ἄμμος-πηλός-ἀργίλλος ποὺ καλύπτει σήμερον τὸν πυθμένα, ἐπέκειται ἐνὸς ὀριζόντιου ἄμμου καὶ χάλικου (Πυρήνες SNT 4,9). Προφανῶς σε πρὸ-ὀλοκαινικὲς περιόδους χαμηλῆς στάθμης, ὅταν ἀνεδύετο μεγαλύτερο τμήμα Ξηράς, ἀπετίθετο ἀδρομερέστερο υλικό. Ἀργότερα, με τὴν ἐπέκλυση τοῦ ὀλοκαίνου, ἀπετέθηκαν λεπτομερέστερα ιζήματα ἐπάνω στὶς ἄμμους καὶ τοὺς χάλικες.

Οἱ λεκάνες καλύπτονται ἀπὸ πηλοῦχο ἀργίλλο καὶ ἀργιλλοῦχο πηλό, με υψηλότερη παρουσία πηλοῦ στὶς ἀνατολικὲς περιοχὲς, γιὰ αὐτὲς γειτνιάζονται περισσότερο με τὶς ράχεις καὶ τὰ νησιά.

Ἀπὸ τὰ ορυκτολογικὰ συστατικὰ τοῦ κλάσματος τῆς ἄμμου, οἱ κατανόμεσ τοῦ χαλαζία, τῶν τιμημάτων ηφαιστειακῶν πετρωμάτων καὶ τῶν βαρέων ορυκτῶν συνδέονται ἀμεσα με τὴν γεωλογικὴ σύσταση τῆς παρακείμενης Ξηράς. Ὁ χαλαζίας καὶ τὰ βαρῆα ορυκτὰ, ποὺ προέρχονται ἀπὸ τὴν διάβρωση τῶν ηφαιστειακῶν καὶ μεταμορφωμένων πετρωμάτων, παγιδεύονται κυρίως στὶς υφαλοκρηπιδικὲς ἐκτάσεις καὶ στὴν ἀνώτερη κατωφύρεια. Ἐξαίρεση ἀποτελεῖ ἡ σχετικὰ υψηλὴ παρουσία χαλαζία καὶ βαρέων ορυκτῶν σε δύο περιοχὲς τῆς κοιλάδας Σαντορίνης-Ἀνάφης στὸ νοτιοδυτικὸ καὶ βορειοανατολικὸ τμήμα τῆς (ἀνατολικῆς τῆς Ἀνύδρου). Αὐτὰ μπερεῖ νὰ προήλθαν εἴτε ἀπὸ μετακίνηση καὶ ἀπόθεση τοὺς ἐκεῖ ἀπὸ ἀβαθεστέρες περὶνεχῆς, εἴτε ἀπὸ τὴν διάβρωση πετρωμάτων τῆς ἐνότητας C ποὺ πιθανόν νὰ ἐμφανίζονται ἐκεῖ κοντὰ. Τα τμήματα ηφαιστειακῶν πετρωμάτων ἐμφανίζονται σε υψηλὰ ποσοστὰ στὸν πυθμένα γύρω ἀπὸ τὴν Σαντορίνη καὶ τὴν Ἀνάφη, σαν ἀποτέλεσμα τόσο τῶν ἐκρήξεων ὅσο καὶ τῆς μεταφοράς τῶν ηφαιστειακῶν υλικῶν με τὸν ἀέρα. Ἐπίσης ἡ σημαντικὴ παρουσία τοῦς στὶς βαθεῖες περιοχὲς καὶ ἡ μικρότερη ποσοτικὰ ἐμφάνισή τοῦς στὴν κατωφύρεια, δείχνει τὸν σημαντικὸν ρόλο τῶν μαζικῶν μετακινήσεων τῶν ιζημάτων ποὺ ἀπὸ τὶς ἀβαθεῖς περιοχὲς μετακινοῦν τὰ ιζήματα στὶς βαθεῖες περιοχὲς, προσπερνώντας τὴν κατωφύρεια.

Ἀπὸ στρωματογραφικὴ καὶ τεκτονικὴ ἀποψη εἶναι σαφὲς ὅτι τὸ ὅλο ηφαιστειακὸ τόξο δομεῖται ἀπὸ τὴν ἐνότητα C, δηλαδὴ ἀπὸ τὸ μεταμορφωμένον τῆς Ἀττικοκυκλαδικῆς μάζας, ποὺ ἐμφανίζεται στὴν Φολέγανδρος, Ἴο, Σίκινο, σε τμήμα τῆς Ἀνάφης καὶ σε μικρὸ τμήμα τῆς Σαντορίνης. Αὐτὰ τὰ πετρώματα υπέστησαν διάβρωση καὶ ρηγμάτωση καὶ τὰ ἐκ διαβρώσεως πρὸέρχόμενα ιζήματα ἀπετέθησαν στὶς λεκάνες ποὺ διαμορφώθηκαν. Τα ιζήματα αὐτὰ στὴν συνέχεια πτυχώθηκαν ἐλαφρὰ καὶ ρηγμάτωθηκαν, πιεζανόν κατὰ τὸ Μεσοκαινο, καὶ ἀπέτελεσαν τὴν ἐνότητα B. Οἱ ἐντέθει ἀνακλαστέρες στὴν βάση τῆς ἐνότητας B ἀντιστοιχοῦν προφανῶς εἰς ἀδρομέρες υλικὸ ποὺ ἀπετέθηκε στα πρῶτα στάδια πλήρωσης τῶν λεκανῶν.

Ἡ ρηγμάτωση τῆς Αἰγιῆδας ποὺ ἀρχισε κατὰ τὸ Ἀνώτ. Μεσοκαινο-Κατώτερο Πλειόκαινο, δημιουργήσε τὴν σημερινὴ γενικὴ μορφολογία τοῦ τόξου με τὶς ράχεις καὶ τὶς λεκάνες. Τα ιζήματα ἀποτίθεντο στὶς υφαλοκρηπιδικὲς ἐκτάσεις κατὰ τὶς περιόδους υψηλῆς στάθμης τῆς

θάλασσας και διεβρώνοντο κατά τις περιόδους χαμηλής στάθμης. Στις κατωφύρες η απόθεση αδρομερών και λεπτομερών ιζημάτων εναλλασσόταν ανάλογα με τις εναλλαγές αποσύρσεων-επικλύσεων της θάλασσας στην υφαλοκρηπίδα, ενώ μαζικές μετακινήσεις μετέφεραν όλα αυτά τα υλικά στην κατώτερη κατωφύρα και τις λεκάνες. Εκεί η απρόσκοπτη ιζηματογένεση δημιούργησε το μεγάλο πακέτο των ιζημάτων της ενότητας Α, όπου εναλλασσόμενοι συνεχείς ιζηματογενείς ορίζοντες πηλούχου αργίλου και αργιλλούχου πηλού υψίστανται την επίδραση της συνιζηματογενούς τεκτονικής. Στο γεωλογικό αυτό πλαίσιο οι διαδοχικές εκρήξεις της Σαντορίνης κυρίως, αλλά και των άλλων ηφαιστείων προσέφεραν άφθονο υλικό που απετέθη στις γύρω αλλά και στις ευρύτερες περιοχές.

Ο ρηγματισμός που δημιούργησε το τόξο, είχε αρχικά διεύθυνση ΒΑ-ΝΑ, αλλά κατά το κατώτερο Πλειόκαινο άρχισε να αναπτύσσεται, και συνεχίζει έντονα σήμερα, μία ρημάτωση σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Αυτή η ρημάτωση δημιούργησε την σημερινή μορφή της λεκάνης της Ανύδρου και της κοιλάδας Σαντορίνης-Ανάφης, καθώς και την μετατόπιση προς τα ΒΑ τμημάτων των ράχων Σαντορίνης-Ανάφης και Σαντορίνης-Ιου, έχει δε αναγνωρισθεί ως η επικρατούσα σήμερα τεκτονική διεργασία στο κεντρικό και νότιο Αιγαίο (Mascle and Martin, 1989).

Στην περιοχή που μελετήθηκε, η κατανομή των αυθιγενών οξειδίων σιδήρου (Σχ. 9) είναι κατά πρώτο λόγο κατά μήκος της ράχης Χριστιανών-Σαντορίνης-Ανύδρου, και κατά δεύτερο λόγο κατά μήκος των ράχων Ανάφης-Σαντορίνης και Σαντορίνης-Ιου. Εφόσον η κατανομή των οξειδίων σιδήρου δείχνει και την παρουσία της υδροθερμικής δράσης, τότε είναι σαφές ότι σήμερα αυτή εκδηλώνεται κυρίως κατά μήκος των ρηγματώσεων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, που δημιούργησαν την ράχη Χριστιανών-Σαντορίνη-Άμοργός. Το ίδιο συμβαίνει και στην καλδέρα της Σαντορίνης όπου η υδροθερμική δράση αναπτύσσεται σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΑ όχι μόνο στις νήσους Καμμένες αλλά και στην βόρεια λεκάνη της καλδέρας (Fytikas et al., 1990, Perissoratis et al., 1990).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε θερμά τον Γ.Δ/ντή του ΙΓΜΕ Δρ. Β. Ανδρονόπουλο για την έγκριση της υποβολής της εργασίας αυτής καθώς και την Ε.Ο.Κ. για την μερική χρηματοδότηση των ερευνών από το πρόγραμμα "MAST-0015-C(TT)". Η επεξεργασία των κοκκομετρικών παραμέτρων και των αποτελεσμάτων επεξεργασίας του κλάσματος της άμμου έγιναν βάση προγράμματος του κ. Ν. Ανδρουλακάκη και των συνεργατών του από το τμήμα Μηχανογράφησης του Ινστιτούτου, τους οποίους επίσης θερμά ευχαριστούμε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ANGELIER, J., LYBERIS, N., et al., 1982: The tectonic development of the Hellenic Arc and the sea of Crete: A synthesis. *Tectonophysics*, p. 159-196.
- FYTIKAS, M., GIULIANI, D., et al. 1976: Geochronological data or Recent magmatism of the Aegean Sea. *Tectonophysics*, v. 31, p. 7.29-7.34.
- FYTIKAS, M., KOLIOS, N., and VOUGIOUKALAKIS, G., 1990: Post-Minoan Volcanic Activity of the Santorini Volcano. *Volcanic Hazard and Risk Forecasting Possibilities*, in D.A. Hardy, ed., *There and the Aegean World*, III, v. II, p. 183-198.
- MASCLE, J. and MARTIN, L., 1990: Shallow structure and recent evolution of the Aegean Sea: A synthesis based on continuous seismic reflection profiles. *Mar. Geol.*, 94, 271-299.
- MELIDONIS, N.G., 1964: The geology of Anafi island. *Inst. of Geol. and Min. Expl. of Greece*, 307p.
- ΜΠΟΡΝΟΒΑΣ, Ι. και ΠΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ, Θ., 1984: Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, κλίμακα 1: 500.000. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών.

MINIKOVICH, D., and HAYS, J.D., 1972: Mediterranean island arcs and origin of high potash volcanoes. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 22, p. 133-140.

PERISSORATIS, C., ANGELOPOULOS, I., and ZACHARAKI, P., 1990: Petrographic description of marine sediments from Santorini: Evidence for a New Submarine Hot-Spring field in the Bottom of the Caldera. In D.A.-Hardy, ed. *There and the Aegean World*, III, v. II, p. 300-304.

SOWA, A., 1985: Die geologie der Insel Folegandros (Kykladen Griechenland). *Erlanger geol. Abb.*, v. 112, p. 85-101.