

## ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ N<sub>2</sub> ΑΠΟ ΤΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΝΙΣΥΡΟΥ

Θ. ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ\*, Α. ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΥ\*\*, Γ. ΧΡΙΣΤΙΔΗ\*\*

### Α Β Σ Τ Ρ Α C T

Rocks occurring in the subsurface area of Nisyros island are studied from mineralogical and petrological point of view. From this study it is concluded that the extended hydrothermal field developed in Nisyros caused alteration zones which change with depth.

### Σ Υ Ν Ο Ψ Η

Τα πετρώματα που απαντούν στο υπόβαθρο της Νισύρου μελετώνται από ορυκτολογική και πετρολογική άποψη. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι το εκτεταμένο υδροθερμικό σύστημα που έχει αναπτυχθεί στη Νισύρο, έχει δημιουργήσει ζώνες εξαλλοίωσης που μεταβάλλονται με το βάθος και τη θερμοκρασία.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Νισύρος είναι ένα από τα νησιά του αρχιπελάγους των Δωδεκανήσων. Αποτελεί το κέντρο των ηφαιστειακών νησιών Γυαλί, Στρογγυλή, Πακειά, Περιγούσα και Κανδελιούσα. Έχει σχήμα κόλλουρου κώνου με περίμετρο βάσης περίπου 25km και επιφανειακή έκταση 41,4km<sup>2</sup>. Παρουσιάζει απότομα ανάγλυφα (Προφήτης Πλάας, Αγ. Γεώργιος, Αγ. Ιωάννης) ανάμεσα στα οποία έχει δημιουργηθεί βύθισμα με διάμετρο 4km, στο νότιο τμήμα του οποίου υπάρχουν 5 φρεατοειδείς κρατήρες.

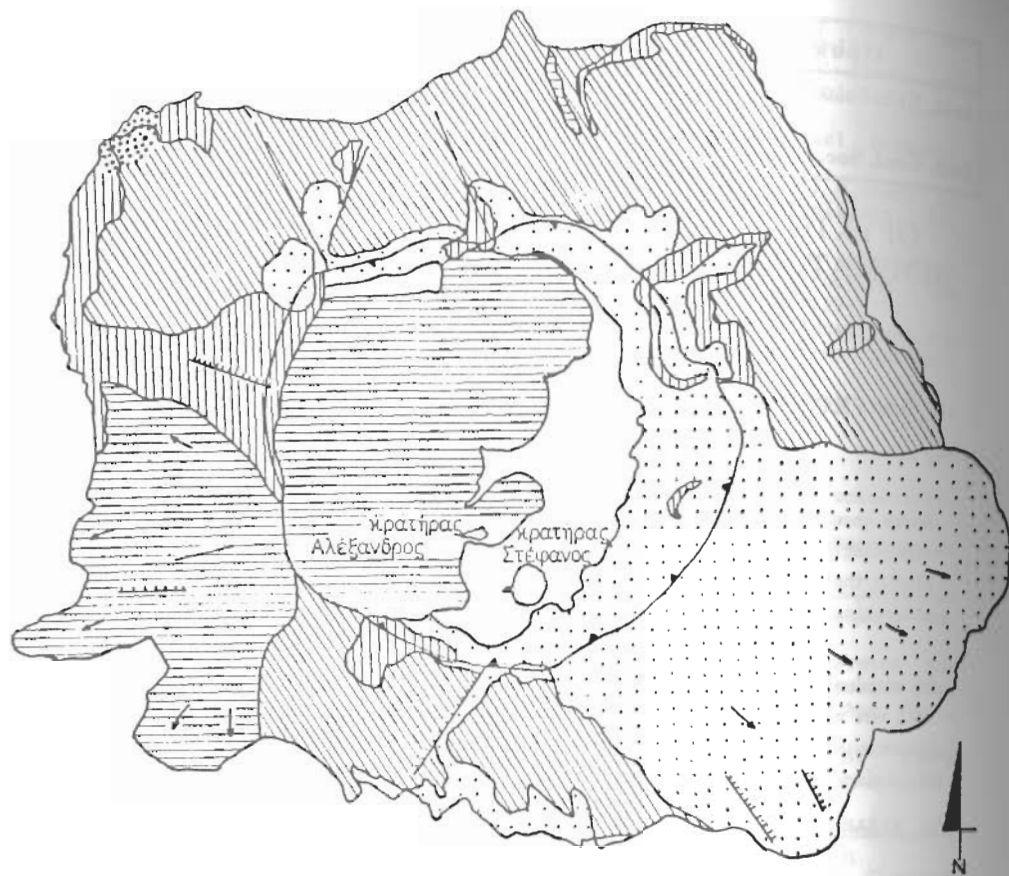
Τα πετρώματα που δομούν το ηφαιστειακό νησί της Νισύρου έχουν μελετηθεί από διάφορους ερευνητές (ΒΟΡΕΑΔΗΣ, 1950, DAVIS 1967, RECKETT 1969, DI PAOLA 1974, ΚΑΝΑΡΗΣ 1976, ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ κ. άλ. 1986, MITROPOULOS et al. 1987) (Σχ.1).






Οι ερευνητές αυτοί έδωσαν σειρά στοιχείων για την ορυκτολογία, πετρολογία και γεωχημεία των επιφανειακών λαβών, των πυροκλασ-

T. MARKOPOULOS, A. KATERINOPOULOS, G. CHRISTIDIS—Mineralogical and petrographic study of samples from the N<sub>2</sub> drill in the geothermal emanation field of Nisyros island.

\* ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ, Ελ. Βενιζέλου 127, 73133 ΧΑΝΙΑ.

\*\* ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. ΑΘΗΝΑ



-  Αλλούβια και κορρηματα
-  Λάβες (μετα την δημιουργία της καλδέρας)
-  Κίσηρις και Πυροκλαστικά υλικά (όξινα και βασικά.)
-  Ρεύματα λάβας (δακίτες - ανδεσίτες)
-  Ρεύματα και φλέβες λαβών (ανδεσίτες) - Σκωρίες - Pillow-lavae

Σχήμα 1 . Γεωλογικός χάρτης της Νισύρου  
 Figure 1. Geological map of Nisyros island

στικών υλικών και των προϊόντων εξαλλοίωσής τους, ενώ για τα πετρώματα του υπεδάφους υπάρχουν απλώς πετρογραφικές αναφορές.

Ειδικότερα στην έκθεση της εταιρίας Geothermica Italiana αναφέρονται επιγραμματικά τα πετρολογικά χαρακτηριστικά της στήλης των πετρωμάτων που διέτρησε η N2 καθώς και ορισμένα στοιχεία για τις εξαλλοιώσεις που βασίζονται μόνο σε μικροσκοπική παρατήρηση και τα οποία δεν συμφωνούν με τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας.

Με τη μελέτη αυτή προσδιορίζεται η ορυκτολογική και πετρολογική σύσταση των σχηματισμών που διέσχιζε η γεώτρηση N2 της ΔΕΗ. Τα δείγματα μας παρακαωθήθηκαν από τη διεύθυνση γεωθερμίας της ΔΕΗ.

#### ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ

Το ηφαιστειο της Νισύρου ανήκει στο ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα συνεχίζεται μέχρι σήμερα με τη μορφή ατμίδων σε διάφορες θέσεις του τόξου (Σουσακι, Σαντορίνη, Μήλος, Νίσυρος) (Σκ. 2).

Η ηφαιστειακή δράση στο τόξο του νοτίου Αιγαίου άρχισε πριν 3 εκ. χρόνια περίπου και είχε σαν αποτέλεσμα την έκχυση λαβών με σύσταση που κυμαίνεται από βασάλτες με υψηλή περιεκτικότητα σε αργίλιο έως ρυόλιθους, με ενδιάμεσα μέλη ανδεσίτες, δακίτες και ρυοδακίτες, καθώς επίσης και την εκτίναξη πυροκλαστικών υλικών, με σύσταση παρόμοια αυτής των λαβών (INNOCENTI et al 1979).

Το ηφαιστειο της Νισύρου χαρακτηρίζεται από το DI PAOLA (1974) σαν στρωματοηφαιστειο (stratovolcano). Διακρίνονται δύο περιόδοι ηφαιστειακής δράσης που άρχισαν με βασικό μαγματισμό και τελείωσαν με την εκδήλωση όξινου μαγματισμού (DAVIS 1967, DI PAOLA 1974). Το τέλος της πρώτης περιόδου, η οποία σύμφωνα με το DI PAOLA χαρακτηρίζεται από την εκδήλωση αρχικά υποθαλάσσιας και στη συνέχεια επιφανειακής ηφαιστειότητας, συνοδεύεται από τη δημιουργία ενός μεγάλου βυθίσματος, τύπου καλδέρας, στο κέντρο του νησιού.

#### ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Η πετρογραφική μελέτη των δειγμάτων μας επιτρέπει να διακρίνουμε δύο κύριες πετρολογικές ενότητες:

- i. Τη σειρά των τόφων-λαβών η οποία αναπτύσσεται από την επιφάνεια μέχρι τα 1100 μέτρα.
- ii. Τη σειρά των κερατιτών. Πρόκειται για τα πετρώματα που έχουν προέλθει από μεταφόρωση επαφής (1100-1547μ).

Όλη η στήλη των πετρωμάτων είναι έντονα εξαλλοιωμένη και χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μιας μεγάλης ποικιλίας δευτερογενών ορυκτών εξαλλοίωσης (Σκ.3).



Σχήμα 2. Γεωτεκτονική θέση της Νισύρου στο ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου.  
 Figure 2. Geotectonic setting of Nisyros island in the South Aegean volcanic arc.

ΣΕΙΡΑ ΤΟΦΩΝ - ΛΑΒΩΝ

Αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα της γεώτρησης και παρουσιάζεται έντονα εξαλλοιωμένη (μέχρι τα 1100 μ. περίπου). Οι τόφφοι παρουσιάζονται σε μεγαλύτερο ποσοστό από τις λάβες.

Η λιθολογική στήλη χαρακτηρίζεται από την εναλλαγή δακτιτικού, δακτιανδσειττικού και ανδσειττικού υλικού. Η σύσταση αυτή χαρακτηρίζει τόσο τους τόφφους όσο και τις λάβες.

Ο τρόπος δειγματοληψίας (θραύσματα πετρωμάτων από κρουστικό γεωτρήσιμο και όχι πυρηνοληψία) δεν επιτρέπει την ακριβή τοποθέτηση των οριζόντων λαβών και πυροκλαστικών υλικών σε συνάρτηση με το βάθος.

Οι τόφφοι περιέχουν κρυσταλλικό υλικό, ενώ η υελώδης μάζα έχει αφυελωθεί σε μεγάλο ποσοστό. Σε πολλές θέσεις προσδιορίστηκαν εκτός από κρυστάλλους ορυκτών και τεμάχια λάβας που περιλαμβάνονται στην κύρια μάζα. Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά FISHER (1983) χαρακτηρίζονται σαν λαπιλλικοί τόφφοι. Η κύρια μάζα είναι συνήθως αφανιτική ενώ σε λίγες περιπτώσεις διακρίθηκαν πρισματικοί κρύσταλλοι αστρίων και χαλαζία. Στα ψηλότερα τμήματα της στήλης (βάθη μικρότερα των 150μ.) προσδιορίστηκε οπάλιος C-T. Όπου το γυαλί έχει αφυελωθεί έχει δημιουργηθεί καλκηδόνη, με χαρακτηριστικές ινώδεις μορφές, αργιλικά ορυκτά, σερικίτης και άστριοι.

Οι κρύσταλλοι που προσδιορίστηκαν στους τόφφους είναι χαλαζίας και πλαγιόκλαστα. Ο χαλαζίας εμφανίζεται με ποικιλία μορφών από αλλοτριόμορφος έως σχεδόν ιδιόμορφος με επαύξηση των ορίων του. Γενικά, επικρατούν οι αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι. Τα πλαγιόκλαστα είναι συχνά ζωνώδη και η σύστασή τους κυμαίνεται από λαβραδόριο έως ολιγόκλαστο. Η υδροθερμική θράση έχει προκαλέσει εξαλλοίωση των πλαγιόκλαστων και των φεμικών συστατικών. Τα πλαγιόκλαστα έχουν αντικατασταθεί από ανυδρίτη, γύψο, ασβεστίτη, βασσανίτη, σερικίτη, επίδοτο, αργιλικά ορυκτά (ιλλίτη) και πιθανώς από αλουνίτη. Τα σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά έχουν αντικατασταθεί πλήρως από κλωρίτη, αργιλικά ορυκτά σύστασης κλωρίτη-μοντμοριλονίτη, σιδηροπυρίτη και οξειδία σιδήρου.

Η σύσταση των λαβών είναι κυρίως ανδσειτική και σε λίγες θέσεις δακτιτική.

Οι ανδσείτες εμφανίζουν κορφυρική δομή με κύρια μάζα από πρισματικούς κρυστάλλους πλαγιόκλαστων που πολύ συχνά παρουσιάζουν παράλληλο προσανατολισμό (ρευστική δομή). Σποραδικά στην κύρια μάζα εμφανίζεται ζιρκόνιο. Οι φαινοκρύσταλλοι είναι απο-

500 1000 1500

ΚΑΟΛΙΝΙΤΗΣ	-----
ΜΟΝΤΜΟΡΙΛΛΟΝΙΤΗΣ	--
ΙΛΛΙΤΗΣ	=====
ΧΛΩΡΙΤΗΣ-ΜΟΝΤΜΟΡΙΛ.	=====
ΧΛΩΡΙΤΗΣ	=====
ΣΕΡΙΚΙΤΗΣ	=====
ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ	=====
ΑΝΥΔΡΙΤΗΣ	=====
ΓΥΨΟΣ	=====
ΒΑΣΣΑΝΙΤΗΣ	=====
ΑΛΟΥΝΙΤΗΣ	=====
ΧΑΛΑΖΙΑΣ-ΧΑΛΚΗΔΟΝ.	=====
ΟΠΑΛΙΟΣ C-T	=====
ΑΛΒΙΤΗΣ	=====
ΕΠΙΔΟΤΟ	=====
ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ	-----

Σχήμα 3. Ορυκτά εξαλλοίωσης στο υδροθερμικό πεδίο της Νισύρου.  
 Figure 3. Secondary minerals in the hydrothermal field of Nisyros Island.

λειστικά ιδιόμορφα=υπιδιόμορφα πλαγιόκλαστα με ούσταση λαβραδόριου έως ολιγόκλαστου, που κατά τόπους σχηματίζουν συσσωματώματα (γλομεροπορφυρική δομή). Συχνή είναι η εμφάνιση ζώνωσης, καθώς και διδυμίων, απλών (karlsbad) και σύνθετων (νόμος αλβίτη). Επίσης απαντά και συνδιασμός του νόμου του αλβίτη και του περιβελίνη.

Οι θαιίτες, όμοια με τους ανδσειίτες εμφανίζουν πορφυρική δομή με κύρια μάζα που αποτελείται από άμορφο υλικό (ύελος) και ογκιδόμορφα (lath-like) πλαγιόκλαστα, και φαινοκρυστάλλους ιεϊόμορφων έως υπιδιόμορφων πλαγιόκλαστών και χαλαζία. Τα πλαγιόκλαστα παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά των ανδσειτών.

Τα ορυκτά εξαλλοίωσης που εμφανίζονται στις λάβες είναι παρόμοια με αυτά που παρουσιάζονται στους τόπους.

### ΣΕΙΡΑ ΥΠΟΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΚΕΡΑΤΙΤΩΝ

Η σειρά αυτή αρχίζει από το βάθος των 1100μ. και φτάνει μέχρι το τέλος της γεώτρησης (1547μ). Διακρίνονται δύο τμήματα:

1. Το ανώτερο, που χαρακτηρίζεται από εναλλαγές υποφαιστειακών πετρωμάτων διοριτιτικής-χαλαζιοδιοριτιτικής σύστασης, καθώς και πετρωμάτων που δημιουργήθηκαν από μεταμόρφωση επαφής (κερατίτες) που φτάνει μέχρι το βάθος των 1380 μ. περίπου. Κατά τόπους παρατηρήθηκαν λάβες ανδσειτιτικής σύστασης.

Οι λάβες αυτές παρουσιάζουν ιστό και ορυκτολογική σύσταση όμοια με τις βασάλτανδσειτικές λάβες που χαρακτηρίζονται από τον DI PAOLA (1974) σαν τα πρώτα υλικά φαιστειακών εκχύσεων στη Νότιο-συρο, τα οποία εμφανίζονται Ν Α του Μανδρακίου.

2. Το κατώτερο, με ομοιόμορφη σύσταση που χαρακτηρίζεται από έντονη εξαλλοίωση, έτσι ώστε να μην είναι δυνατό να αναγνωρισθούν χαρακτηριστικά του αρχικού πετρώματος με βεβαιότητα (έως τα 1530 μ. περίπου).

Η σποραδική παρουσία λιγώτερο εξαλλοιωμένων θραυσμάτων κερατίτη και υποφαιστειακών πετρωμάτων διοριτιτικής-χαλαζιοδιοριτιτικής σύστασης αποτελεί ένδειξη για την αρχική σύσταση των πετρωμάτων.

Σε βάθος 1547 μ. εμφανίζεται πάλι ο κερατίτης του ανωτέρου τμήματος:

Το ανώτερο τμήμα παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά:

α) Μεγάλη συμμετοχή ασβεστίτη, σε συσσωματώματα με πολυγωνικό συνήθως ιστό, καθώς επίσης και ασβεστοπυριτικών ορυκτών, διοψιδιος, τρεμολίτης, ασβεστούχος-γρανάτης, επίδοτο.

β) Παρουσία σε όλα τα βάθη και των τριών πετρογραφικών τύπων.

γ) Εξαλλοίωση και δημιουργία δευτερογενών ορυκτών σε όλους τους πετρογραφικούς τύπους.

Οι κερατίτες έχουν σαν κύριο ορυκτολογικό συστατικό τον κλινο-μορφένη που σε πολλές θέσεις εμφανίζεται εξαλλοιωμένος. Απαντούν επίσης: γρανάτης, πλαγιόκλαστο, αμφίβολος, επίδοτο, ασβεστίτης, χαλαζίας, τιτανίτης και αδιαφανή ορυκτά. Δευτερογενή ορυκτά από εξαλλοίωση είναι ο κλωρίτης, ο ασβεστίτης, ο αλβίτης, ο χαλαζίας και ο σιδηροκυρίτης.

Οι προσδιορισμοί των ορυκτών έγιναν με βάση τα οπτικά τους χαρακτηριστικά καθώς και τις αντίστοιχες ανακλάσεις σε ακτινογραφημένα υλικού εμπλουτισμένου σε φαιικά ή λευκαφαιτικά ουσιαστικά αντίστοιχα.

Οι πυρόξενοι έχουν σύσταση διοψιδίου. Εμφανίζονται είτε με τη μορφή μονοορυκτολογικών συσσωματωμάτων με γρανοβλαστικό ιστό, είτε σπανιότερα σε μεμονωμένους κρυστάλλους σε σύμφυση κυρίως με γρανάτη. Κατά τόπους εμφανίζουν πολυδυμίες. Αντικαθίστανται από κλωρίτη, κατά κύριο λόγο, καθώς επίσης από ασβεστίτη, τιτανίτη και χαλαζία.

Οι αμφίβολοι ανήκουν στη σειρά τριμορφή-ακτινοβλήθη. Παρουσιάζονται με τη μορφή ιδιόμορφων κρυστάλλων με ανέπτυξη παράλληλα στον άξονα C. Συχνά εμφανίζουν διδυμίες.

Οι γρανάτες είναι ασβεστούχοι με σύσταση γροσσουλάρου-ανδραδίτη. Εμφανίζονται είτε σε μονοορυκτολογικά συσσωματώματα με πολυγωνικό ιστό είτε σε μεμονωμένους κρυστάλλους συνθεθούμενοι από πυρόξενο και χαλαζία. Αντικαθίστανται κατά θέσεις από ασβεστίτη.

Το επίδοτο εμφανίζεται σε δύο γενεές. Αυτή της πρώτης γενεάς είναι πλούσιο σε πιστακίτη με όμοιο όπως φαίνεται από τα έντονα κόμματα πόλωσης. Οι κρυστάλλοι παρουσιάζουν διάφορους βαθμούς ιδιομορφίας (ιθιόμορφοι μέχρι αλλοτριόμορφοι) και εμφανίζουν έντονες διαφορές στο βαθμό κρυστάλλωσης σε σχέση με το αντίστοιχο επίδοτο της σειράς τόπων λαβών. Αντίθετα τα επίδοτα της δεύτερης γενεάς αντικαθίστανται πλαγιόκλαστα.

Τα πλαγιόκλαστα που έχουν σύσταση λαβραδόριου αντικαθίστανται από αλβίτη και επίδοτο ή από ασβεστίτη και αλβίτη. Σπάνια εμφανίζονται διδυμίες.

Ο ασβεστίτης εμφανίζεται με τη μορφή καλά σχηματισμένων ιθιόμορφων κρυστάλλων με διπλό σχισμό, (πρώτη γενεά) είτε με τη μορφή αλλοτριόμορφων κρυστάλλων χωρίς σχισμό, που αντικαθίσταται γρανάτη

πλαγιόκλαστα και σπανιότερα πυρόξενο (δεύτερη γενεά).  
Κατά τόπους σχηματίζει συσσωματώματα με γρανοβλαστικό ιστό.  
Ο χαλαζίας εμφανίζεται μαζί με πυρόξενο και γρανάτη σε κοκκώδη συσσωματώματα με πολυγωνικό ιστό, (πρώτη γενεά ή σε φλεβίδια (δεύτερη γενεά)).

Ο τιτανίτης εμφανίζεται με τη μορφή υπιδιόμορφων έως αλλοτριόμορφων κρυστάλλων.

Ο κλωρίτης είναι αλλοτριόμορφος και απαντά σαν δευτερογενές ορυκτό σε αντικατάσταση πυροξένου.

Οι ιστοί που επικρατούν στους κερατίτες είναι τριών τύπων:

- α) Πολυγωνικός ιστός, κυρίως εκεί όπου έχουμε μονοορυκτολογικές συγκεντρώσεις.
- β) Εμπλεκτικούς ιστούς, όπου στα όρια των ορυκτών σχηματίζονται εγκοιλώσεις και αλληλοδιεισδύσεις, και
- γ) Ιστούς αντικατάστασης, όπου τα πρωτογενή ορυκτά αντικαθίστανται από προϊόντα εξαλλοίωσης.

Τα υποφαιστειακά πετρώματα χαρακτηρίστηκαν σαν διορίτες ως χαλαζιανοί διορίτες, ανάλογα με την παρουσία ή όχι του χαλαζία. Κύρια ορυκτολογικά συστατικά είναι το πλαγιόκλαστο και ο αμφίβολος, δευτερεύον ο πυρόξενος, ενώ επουσιώδη είναι η σφήνα το ζιρκόνιο, και τα αδιαφανή.

Δευτερογενή ορυκτά εξαλλοίωσης των διοριτών-χαλαζιανών διοριτών είναι ο κλωρίτης, το επίδοτο, ο αλβίτης και ο ασβεστίτης. Τα πλαγιόκλαστα έχουν σύσταση λαβραδόριου έως ανδρσίτη. Εμφανίζονται ζώνωση και σύνθετη διδυμία (νόμος αλβίτη). Εμφανίζονται είτε με τη μορφή μικρών μακροπρισματικών ιδιόμορφων κρυστάλλων οι οποίοι συμμετέχουν στον οφειτικό ιστό, που εμφανίζεται κατά τόπους, είτε με τη μορφή μεγαλύτερων υπιδιόμορφων ζωνωδών κρυστάλλων, που εμφανίζουν σε πολλές θέσεις διδυμία αλβιτικού νόμου, επαναλαμβανόμενη.

Οι αμφίβολοι είναι κερροσίλλες με κρυστάλλους κυρίως μακροπρισματικούς και σπάνια βραχυπρισματικούς.  
Οι πυρόξενοι είναι κλινοπυρόξενοι με βραχυπρισματικούς κρυστάλλους που κατά τόπους εμφανίζουν πολυδυμίες.

Παρατηρήθηκαν τρεις τύποι ιστών:

- α) Οφειτικός ιστός από πλέγμα πλαγιόκλαστων που συμπληρώνεται από τα σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά.
- β) Κοκκώδης ιστός με ευμεγέθεις κρυστάλλους λαβραδόριου και

αμφίβολου.

Το σχετικό μέγεθος των διαφόρων ορυκτών δεν υπερβαίνει το 1:10 (ισοκοκκώδης).

γ) Ιστοί από αντικατάσταση

Οι λάβες έχουν σύσταση ανδρσιτική. Χαρακτηρίζονται από πορφυρικό ιστό με κύρια μάζα από δοκιδόμορφα (lath-like) πλαγιόκλαστα που εμφανίζουν ρευστικά χαρακτηριστικά. Οι φαινοκρύσταλλοι που κατά πλειοψηφία είναι πλαγιόκλαστα και σπάνια κλινοπυρόξενοι εμφανίζονται ιδιόμορφοι έως υπιδιόμορφοι. Τα πλαγιόκλαστα εμφανίζουν συχνά πολυδυμίες κατά τον αλβιτικό νόμο ή διδυμίες karlsbad. Ορυκτά εξαλλοίωσης των λαβών είναι το επίδοτο, ο κλωρίτης, ο ασβεστίτης και ο αλβίτης.

Το κατώτερο τμήμα της σειράς υποφαιστειακών πετρωμάτων και κερατιτών χαρακτηρίζεται από έντονη εξαλλοίωση. Σε λίγα σημεία παρατηρήθηκαν κόκκοι πετρωμάτων με υπολλείματα οφειτικού και πορφυρικού ιστού, που δεν επαρκούν για τον ακριβή προσδιορισμό της αρχικής πετρολογικής σύστασης. Τα δευτερογενή ορυκτά που προσδιορίστηκαν είναι χαλαζίας, κλωρίτης, σερικίτης, ανυδρίτης, ασβεστίτης και αδιαφανή, δηλαδή το τμήμα αυτό χαρακτηρίζεται από σερικιτική πυριτική-κλωριτική εξαλλοίωση.

#### Σ Υ Ζ Η Τ Η Σ Η

Οι πετρογραφικοί τύποι που διαπιστώθηκαν κατά τη μικροσκοπική μελέτη είναι: λάβες, τόφφοι, κερατίτες και υποφαιστίτες. Οι εναλλαγές τόφφων και λαβών εκτείνονται από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των 1100 μέτρων. Σε μεγαλύτερα βάθη απαντούν υποφαιστειακά πετρώματα χαλαζιανής-χαλαζιοδιοριτικής σύστασης και κερατίτες.

Μέσα σε αυτά τα πετρώματα έχει αναπτυχθεί ένα εκτεταμένο υδροθερμικό σύστημα το οποίο κυκλοφορεί, ανακυκλώνεται και τα εξαλλοιώνει. Το σύστημα τροφοδοτείται από θαλασσινό νερό, που περνά μέσα από τα ανθρακικά πετρώματα τα οποία αποτελούν το υπόβαθρο. Η διέλευση διευκολύνεται από τις διακλάσεις και τα μικρορήγματα που χαρακτηρίζουν τους ανθρακικούς σχηματισμούς. Απόδειξη της κυκλοφορίας του θαλασσινού νερού στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο, είναι η ύπαρξη ανυδρίτη και γύψου σε μικροδιακλάσεις- μικροδιαρρήξεις του ασβεστολίθου.

Η κυκλοφορία του υδροθερμικού συστήματος φθάνει μέχρι το βάθος των 1520 μέτρων τουλάχιστον, όπως αποδεικνύεται από την ύπαρξη ανυδρίτη και άλλων δευτερογενών ορυκτών σε αυτό το τμήμα της οτήλης.

Οι εξαλλοιώσεις που παρατηρήθηκαν είναι δυνατό να ταξινομηθούν σε ζώνες με βάση την παρουσία χαρακτηριστικών ορυκτών εξαλλοίωσης:

Οι ζώνες εξαλλοίωσης που παρουσιάζονται στο σχήμα 4, είναι:

α) Ζώνη με αλουμίτη + ανυδρίτη + σιδηροπυρίτη + οπάλιο C-T + γύψο και καολινίτη, που εκτείνεται από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των 150 μέτρων τουλάχιστον. Η υδροθερμική δράση έχει προκαλέσει πλήρη εξαλλοίωση του αρχικού υλικού και αντικατάσταση των πρωτογενών ορυκτολογικών συστατικών.

β) Ζώνη με μοντομοριλλονίτη, που αναπτύσσεται από τα 210 ως τα 220 μέτρα. Κύριο ορυκτό είναι ο μοντομοριλλονίτης ο οποίος συνοδεύεται από ανυδρίτη, γύψο, χαλαζία και σιδηροπυρίτη.

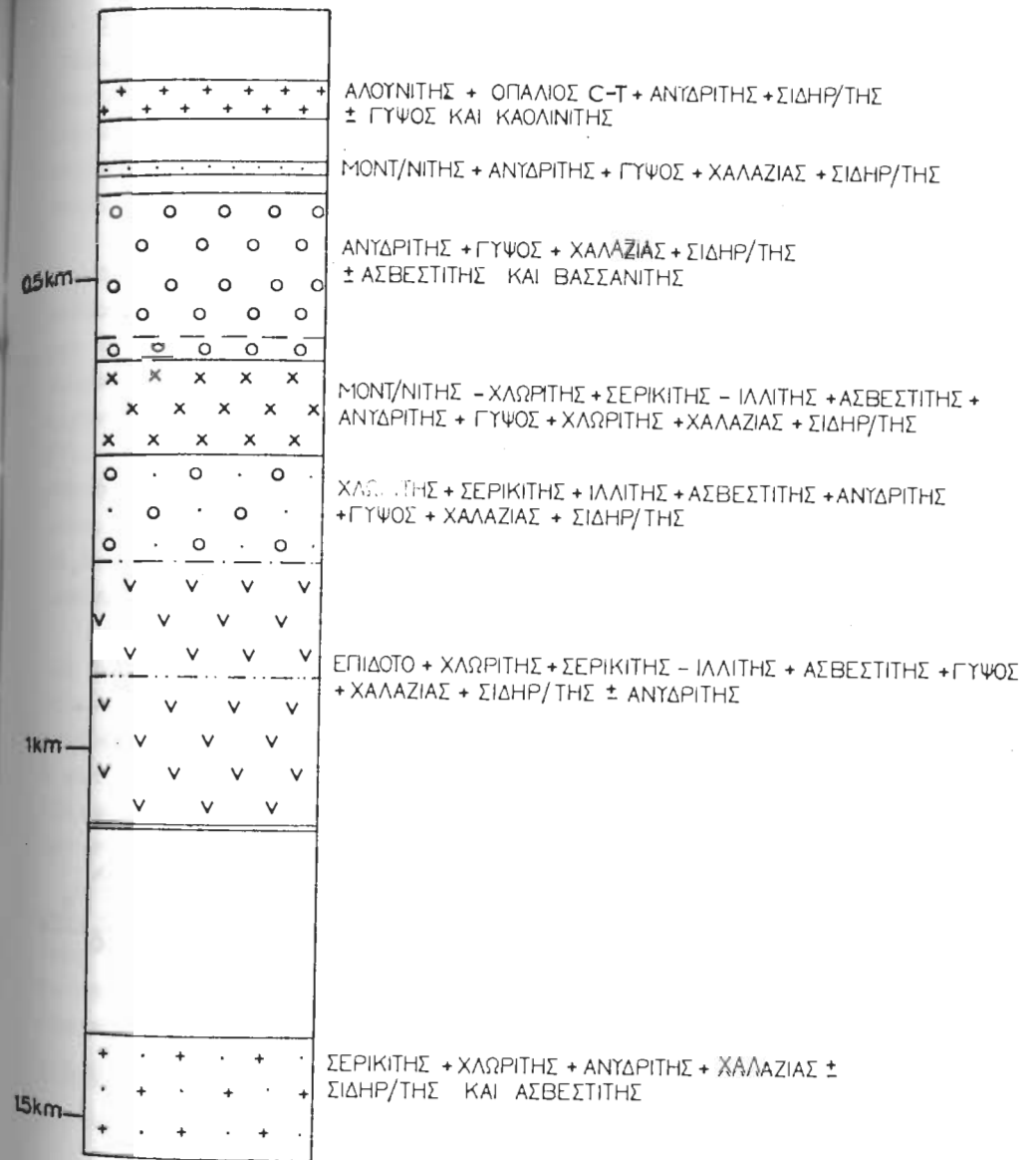
γ) Ζώνη θειϊκών ορυκτών του ασβεστίου, με ανυδρίτη, γύψο και βασανίτη που αναπτύσσεται από τα 250 μέτρα περίπου και φτάνει μέχρι τα 470-480 μέτρα. Στα 400 μέτρα εμφανίζεται μικτή άργιλος ατελώς κρυσταλλωμένη και σε μικρή ποσότητα, έτσι ώστε να μη θεωρείται χαρακτηριστικό ορυκτό της ζώνης. Στα 450 μέτρα περίπου παρουσιάζεται για πρώτη φορά ασβεστίτης.

δ) Ζώνη μεικτής άργιλου μοντομοριλλονίτη-κλωρίτη, ιλλίτη και σερικίτη, που εκτείνεται από τα 480 ως τα 600 μέτρα. Χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής είναι η βαθμιαία αύξηση της συμμετοχής του κλωρίτη στη σύσταση της μεικτής άργιλου με αντίστοιχη ελάττωση του μοντομοριλλονίτη, που εξαφανίζεται σε βάθος 600 μέτρων. Τη μεικτή άργιλο συνοδεύουν τα ορυκτά σερικίτης, ιλλίτης και σε μικρότερα ποσοστά ασβεστίτης, ανυδρίτης, γύψος, χαλαζίας και σιδηροπυρίτης.

ε) Ζώνη κλωρίτη, σερικίτη και ιλλίτη, που αναπτύσσεται από τα 600 μέτρα ως τα 740-750 μέτρα. Τα χαρακτηριστικά ορυκτά της ζώνης αυτής συνυπάρχουν με ασβεστίτη, ανυδρίτη, γύψο, χαλαζία και σιδηροπυρίτη.

στ) Προπυλιτική ζώνη. Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από την παρουσία επιδότου, που είναι και το κύριο ορυκτό εξαλλοίωσής της. Σε βάση 750 έως 1100 μέτρων επικρατούν ατελώς κρυσταλλωμένοι, αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι επιδότου, που συνοδεύονται από κλωρίτη, σερικίτη, ασβεστίτη, χαλαζία και σιδηροπυρίτη. Στο βάθος των 900 μέτρων εξαφανίζεται ο ανυδρίτης, που εμφανίζεται πάλι στα 1380 μέτρα.

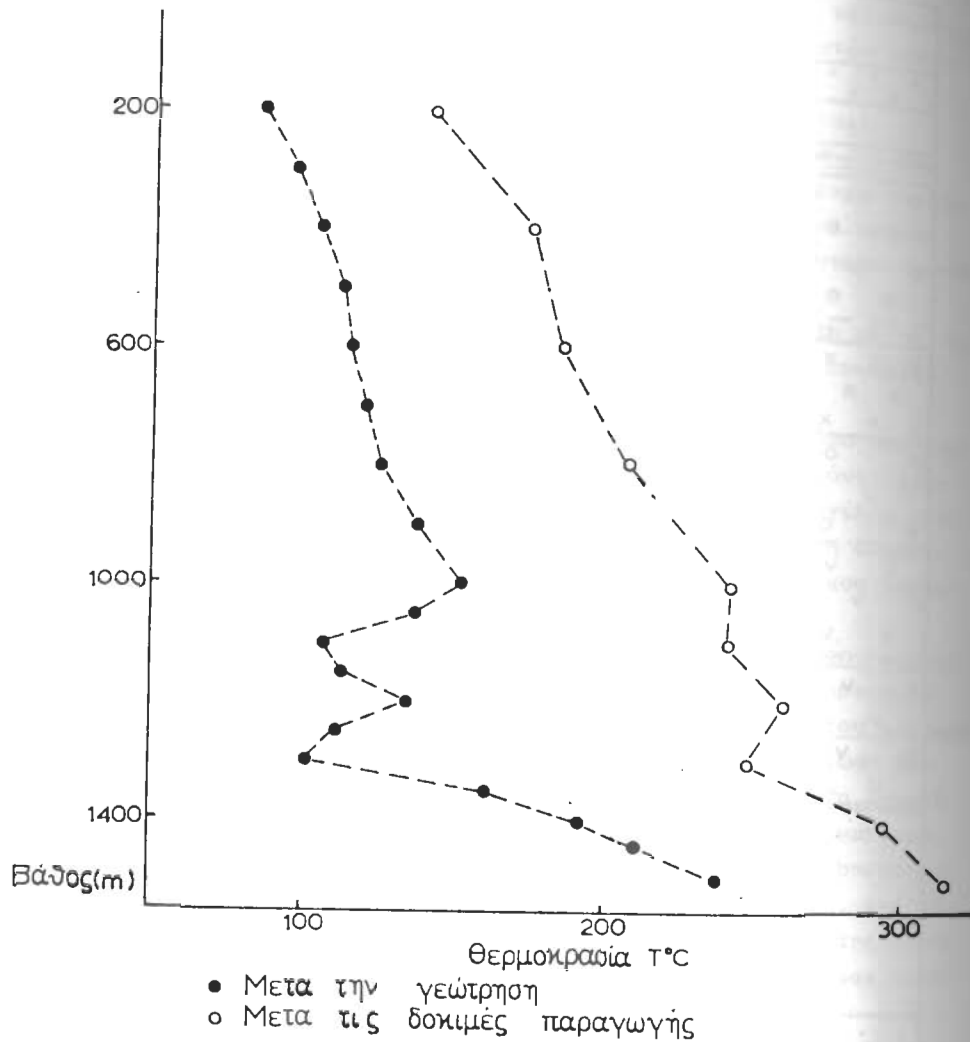
Από τα 1100 ως τα 1380 μέτρα δεν παρατηρήθηκε συγκεκριμένη ζώνωση στις εξαλλοιώσεις. Έντονη είναι η παρουσία κλωρίτη σε βάθος 1180 μέτρων, ο οποίος αντικαθιστά τον πυρόξυνο του κερατίτη.



- ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ
- ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΕΠΙΔΟΤΟΥ
- ΟΡΙΟ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΑΝΥΔΡΙΤΗΣ ΣΤΗ ΣΕΙΡΑ ΤΟΦΩΝ-ΛΑΒΩΝ
- ==== ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΟΡΙΟ ΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΤΟΦΩΝ-ΛΑΒΩΝ

Σχήμα 4. Ζώνες εξαλλοίωσης της γεώτρησης N2 της Νισύρου.  
Figure 4. Alteration zones of the N2 drilling in Nisyros Island.





Σχήμα 5. Διάγραμμα θερμοκρασίας - βάθος στην γεώτρηση N2  
 Figure 5. Temperature-depth diagram at the N2 drilling.

ς) Ζώνη με σερικίτη + χαλαζία + κλωρίτη.

Κύρια ορυκτά εξαλλοίωσης της είναι ο σερικίτης και ο χαλαζίας, δευτερεύοντα ο κλωρίτης και ο ανυδρίτης, σποραδικά εμφανίζεται ο ασβεστίτης, και έχει σαν κύρια χαρακτηριστικά την ομοιομορφία του υλικού, την έλλειψη ασβεστίου και την πλήρη εξαλλοίωση των αρχικών πετρωμάτων.

Σε βάθος 210 μέτρων παρατηρήθηκε η παρουσία μοντμοριλλονίτη συνοδευόμενου από ανυδρίτη, γύψο, χαλαζία και σιδηροπυρίτη. Η δημιουργία μοντμοριλλονίτη προϋποθέτει αλκαλικό έως ουδέτερο περιβάλλον (DEER et al 1980). Στην περίπτωση της Νισύρου το περιβάλλον σχηματισμού του μοντμοριλλονίτη θα πρέπει να ήταν όξινο, όπως υποδεικνύει η έντονη παρουσία των θειϊκών ορυκτών. Η WIRSHING (1976, 77), έδειξε με πειραματικά δεδομένα ότι κατά την επίδραση όξινων υδροθερμικών διαλυμάτων, πλούσιων σε  $H_2SO_4$  σε φαιστειακά πετρώματα, σχηματίζεται μοντμοριλλονίτης σε περίπτωση που το υδροθερμικό διάλυμα δεν ανακυκλώνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα (μη αποτελεσματική έκπλυση).

Σημαντική είναι η σχέση μεταξύ θειϊκών και ανθρακικών ορυκτών του ασβεστίου. Μέχρι τα 450 μέτρα επικρατούν τα θειϊκά ορυκτά ανυδρίτης, γύψος. Στο βάθος αυτό εμφανίζεται ο ασβεστίτης, η παρουσία του οποίου γίνεται εντονότερη, όσο αυξάνεται το βάθος. Η ανταγωνιστική αυτή σχέση οφείλεται στη διαφορετική συμμετοχή ιόντων  $-SO_4^-$  και  $-CO_3^-$  στο διάλυμα, σε διάφορα βάθη, γεγονός που επηρεάζει το pH του διαλύματος.

Στοιχεία για τις θερμοκρασίες των ρευστών (BROWN, 1978) αναφέρουν ότι οι μέγιστες τιμές σε υδροθερμικά πεδία φθάνουν συνήθως τους  $280^\circ C$  στον ταμειυτήρα και σπανιότερα υπερβαίνουν τους  $300^\circ C$ . Τα αποτελέσματα των θερμομετρήσεων κατά τη διάρκεια της γεώτρησης έδωσαν θερμοκρασίες της τάξης των  $250^\circ C$  σε βάθος 1100-1200 μέτρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΟΡΕΑΔΗΣ, Γ. (1950): Τα θειούχα κοιτάσματα της Νισύρου. Α δημοσίευση έκθεση Ι.Γ.Ε.Υ. Αθήνα

DAVIS E.N. (1967) : Zur Geologie und Petrologie der Inseln Nisyros und Jali. Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών. Τ.42 ρ. 235-252.

DI PAOLA G. (1974) : Volcanology and petrology of Nisyros island (Dodecanese Greece). Bull Volc. 38-3 p. 944-987.

- DEER W.A, HOWIE R.A., ZUSSMAN J. (1980): *Rock Forming Minerals*, Longman p. 538.
- FISHER, R.Y., SHMINCKEL, H.Y. (1983) : *Pyroclastic Rocks*, Spr. Verlag, p.472.
- GEOTHERMICA ITALIANA (1983): N2 Final Report,
- INNOCENTI. F., MANETTI.P, PECCERILLO. A., POLI.G. (1979): *Inner Arc volcanism in NW Aegean Arc: geochemical and geochronological data N.Jb.Min.Mh4 p. 145-158.*
- IZAWA.E, VOSHIDA.T., SAITO.R, (1978): *Geochemical characteristics of hydrothermal alteration around the Fukazawa Kuroko deposit, Akita, Japan. Mining Geology 28, p. 325-335.*
- KANAPHE.I. (1976) : *Επί της αναζητήσεως βιομηχανικών ορυκτών στις νήσους Νίσυρον και Γυαλί. Αθήνα Ι.Γ.Μ.Ε. p.14.*
- ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ.Θ, ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ.Μ., ΜΑΡΑΝΤΟΣ .Ι., (1986): *Νεοσχηματισμός ορυκτών στο ατμίδειο πεδίο της Νισύρου.3ο Συν. Ελλ. Γεωλ.Εταιρ.(υπό εκτύπωση).*
- MITROPOULOS.P, TARNEY .J., SAUNDERS A.D., MARSH.N.G., (1987): *Petrogenesis of Cenozoic volcanic rocks from the Aegean island arc. Journ.of Volc.and Geoth. Res. 32*
- PECKET AN.(1969) : *Volcanic rocks of the Dodecanese (Greece) Ph.D. th. Cambridge. p.298.*
- WIRSCHING,U. (1976) : *Experiments on hydrothermal alteration processes of rhyolitic glass in closed and open system N.Jb.Min.Mh. 5 p. 203-213.*
- WIRSCHING, U. (1977): *Experimental studies on hydrothermal alteration of feldspars to montmorillonite and kaolinite minerals N.Jb.Min Mh.7. p.333-343.*

---

Ευχαριστίες : Ευχαριστούμε τον κ. Γεώργιο Βήχο, γεωλόγο της ΔΣΗ για την παραχώρηση λεπτών τομών από τις γεωτρήσεις της Νισύρου.