

Πρακτικά		3ου Συνεδρίου		Μάιος 1986	
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ. XX/2	σελ. 393-404	Αθήνα 1988		
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.	pag.	Athens		

## ΝΕΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΟΡΥΚΤΩΝ ΣΤΟ ΑΤΜΙΔΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΝΙΣΥΡΟΥ

Θ. ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ\*, Μ. ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ\*\*, Ι. ΜΑΡΑΝΤΟΣ\*\*\*

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Νίσυρος αποτελεί το ανατολικό άκρο του ηφαιστειακού τόξου του νότιου Αιγαίου. Η ηφαιστειότητα στο νησί άρχισε στο τέλος του Τριτογενούς με την έκχυση λαβών ανδεσιτικής έως ρυολιθικής σύστασης. Μιά σειρά μεταηφαιστειακών φαινομένων συνεχίζονται μέχρι σήμερα με την μορφή ατμίδων στην περιοχή Ραμμός και θερμομεταλλικών πηγών στο Αυλάκι, στους Πάλλους και το Μανδράκι. Η ατμιδική δράση οδήγησε στην μετατροπή των αρχικών υλικών και στον σχηματισμό θειικών και πυριτικών ορυκτών που συνοδεύονται από αυτοφυές θείο. Δείγματα από την περιφέρεια και το κέντρο του κρατήρα "Μεγάλος Στέφανος", όπου παρουσιάζεται η εντονότερη ατμιδική δράση, εξετάστηκαν με την μέθοδο της περιθλασιμετρίας των ακτίνων Χ. Τα ορυκτά που προσδιορίστηκαν είναι: αλοτριχίτης, αλουνογενής, ανυδρίτης, βολταϊτης, γύψος, θείο, καολινίτης, οπάλιος-CT, ταμαρουγκίτης, χαλαζίας και χριστοβαλίτης. Ο σχηματισμός των παραπάνω ορυκτών οφείλεται στην επίδραση ρευστών πλούσιων σε  $H_2SO_4$  στα ηφαιστειακά πετρώματα.

### ABSTRACT

Nisyros island is the eastern limit of the south Aegean volcanic arc. The volcanic activity in the island started in late Tertiary with extrusion lavas of andesitic to rhyolitic composition. Postvolcanic thermal activity is manifested by emanations in the Rammos area and thermal springs in Avlaki, Palloi and Mandraki areas.

\* Ορυκτολόγος, Αναπληρωτής Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης  
Mineralogist, Associate Professor, Technical University of Crete

\*\* Γεωλόγος, Επιστημονικός Συνεργάτης Πανεπιστημίου Αθηνών  
Geologist, Research Assistant Athens University

\*\*\* Γεωλόγος  
Geologist

Samples derived from the Megalos Stefanos ,crater,where an intense emanation field occurs,have been studied by XRD analysis.Sulfate and silicate minerals associated with native sulfur have been formed at the expense of primary materials.The following minerals were identified. Alunite,alunogen,anhydrite,gypsum,halotrichite,kaolinite,opal-CT,sulfur,tamarungite,quartz,cristobalite.The formation of sulfates and silicates is attributed to the interaction of fluids rich in  $H_2SO_4$  with the volcanic materials.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Νίσυρος έχει προκαλέσει επανειλημμένα το ενδ λαφέρον πολλών ερευνητών λόγω της υπάρξης πρόσφατης ηφαιστειότητας,γεωθερμικού πεδίου,ατμιδικής δράσης,θερμομεταλλικών πηγών,θειοχωμάτων,κίσηρις και περλίτη (ΒΟΡΕΑ ΔΗΣ, 1950),(DAVIS,1967),(DI PAOLA,1974),(ΚΑΝΑΡΗΣ,1976).

Τα θειοχώματα έτυχαν εκμετάλλευσης τουλάχιστον από την περίοδο της Τουρκοκρατίας,(ΑΜ ΝΥΜΟΣ,1947),ενώ η τελευταία σημαντική απόληψη,3.000 τόνοι,έγινε κατά την διάρκεια του τελευταίου πολέμου.

Στις μέχρι τώρα μελέτες δεν περιγράφεται η ακριβής ορυκτολογική σύσταση των θειοχωμάτων.Τα ορυκτά που έχουν αναφερθεί είναι : θείο,καολινίτης,αλουνίτης,βρουσίτης,ανυδρίτης και ινσταλίτης (ΚΑΝΑΡΗΣ,1976).

Στη μελέτη αυτή προσδιορίζεται η ορυκτολογική σύσταση των θειοχωμάτων του κρατήρα "Μεγάλος Στέφανος",όπου παρουσιάζεται η εντονότερη ατμιδική δράση.

## ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Το νησί έχει έκταση 41,4 τετραγωνικά χιλιόμετρα και ανάγλυφο που μοιάζει με κόλouro κώνο,στο κέντρο του οποίου υπάρχει μια ελλειψοειδής κοιλότητα διαστάσεων 2,5 X 1 χιλιόμετρων.

Η ατμιδική δράση περιορίζεται σήμερα στο νοτιδυτικό τμήμα της κοιλότητας που ονομάζεται Ραμμός και εκδηλώνεται κυρίως στους κρατήρες "Μεγάλος Στέφανος" και "Αλέξανδρος".

## ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Στο χώρο του Αιγαίου διακρίνονται δύο κύριες ηφαιστειακές περιοχές, η ηφαιστειακή ζώνη του βορειοανατολικού Αιγαίου και το ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου.Στην πρώτη περιοχή η ηφαιστειότητα άρχισε κατά

το ανώτερο Ηώκαινο, (INNOCENTI et al., 1984), ενώ στη δεύτερη κατά το ανώτερο Ηώκαινο, (NICOLIS, 1971), (PE, 1972, 9173), (ΦΥΤΙΚΑΣ, 1977). Μεταφαιστειακά φαινόμενα όπως ατμίδες και θερμές πηγές συνεχίζονται μέχρι σήμερα σε αρκετές περιοχές του τόξου του νοτίου Αιγαίου.

Στη Νίσυρο έχουμε δύο κύριες περιόδους ηφαιστειακών εκχύσεων. Και οι δύο περίοδοι άρχισαν με βασικό μαγματισμό και έκλεισαν με όξινες εκχύσεις, (DAVIS, 1967), (DI PAOLA, 1974). Η μεταφαιστειακή δράση στο νησί συνεχίζεται σήμερα με εκδήλωση ατμίδων στην περιοχή Ραμμός και θερμομεταλλικών πηγών στο Αυλάκι, στους Πάλλους και το Μανδράκι.

Τα εντονότερα φαινόμενα εξαλλοίωσης των προυπαρχόντων ηφαιστειακών υλικών, με αποτέλεσμα την δημιουργία "θειοχωμάτων", παρατηρούνται στον φρεατοειδή κρατήρα "Μεγάλος Στέφανος".

#### 4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ-ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ

Τα δείγματα που εξετάζονται στη συνέχεια πάρθηκαν από την περιφέρεια και το κέντρο του μεγαλύτερου φρεατοειδή κρατήρα, του "Μεγάλου Στέφανου" και σε υψος 0-4 μέτρων από τον πυθμένα του (σχ . 1).

Το υλικό που συλλέχθηκε είναι χαλαρό, λεπτόκοκο και έχει χρώμα λευκό, κίτρινο και πρασινοκίτρινο. Σε μερικές θέσεις συναντώνται θραύσματα από εξαλλοιωμένους περλίτες και δακίτες, πετρώματα που εμφανίζονται στην περιφέρεια της κοιλάδας του Ραμμού.

Οι ορυκτολογικοί προσδιορισμοί έγιναν με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ. Χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου PHILLIPS PW 1010 του Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Η ορυκτολογική ανάλυση έγινε με ακτινοβολία CuKα, φίλτρο Ni και συνθήκες: 36 kV, 20mA και ταχύτητα γωνιομέτρου 1<sup>0</sup>/min . Η αναλυτική ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων δίνεται στον πίνακα 1 με σειρά ελαττούμενης ποσοστιαίας αναλογίας. Στον πίνακα 2 δίνονται οι χημικοί τύποι και τα ορυκτά που προσδιορίστηκαν.

#### 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα περισσότερα από τα ορυκτά που προσδιορίστηκαν είναι δευτερογενή και προήλθαν από μεταφαιστειακές διεργασίες στα αρχικά υλικά. Τα αέρια των ατμίδων SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> (ΒΟΡΕΑΔΗΣ, 1950) εξέρχονται σε ορισμένες θέσεις των φρεατοειδών κρατήρων μαζί με υδρατμούς και δημιουργούν όξινα διαλύματα, κυρίως θειϊκού οξέος, ενώ το υδρόθειο όταν έλθει στην επιφάνεια οξειδώνεται και δίνει αυτοφυές θείο:



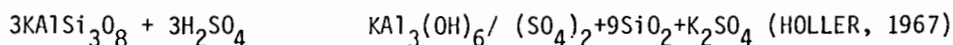
Οι θερμοκρασίες των ατμίδων φθάνουν τους 100<sup>0</sup> (ΒΟΡΕΑΔΗΣ, 1950).

Τα όξινα και θερμά διαλύματα είναι οι βασικοί παράγοντες της μετατροπής των αρχικών υλικών σε αβθιγενή ορυκτά. Έτσι, τα διαλύματα του θειϊκού οξέος επι-

δρουν κυρίως στους αστρίους και την ύελο των ηφαιστειακών πετρωμάτων, με αποτέλεσμα την κινητοποίηση ιόντων όπως  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  και την δημιουργία θειϊκών και πυριτικών ορυκτών (πιν. 1 και 2, σχ. 2 και 3).

Γενικά ο σχηματισμός θειϊκών ορυκτών ευνοείται από διαλύματα με υψηλή ενεργή συγκέντρωση ιόντων  $H^+$  και  $SO_4^{2-}$ .

Εκτός από τα πολύ διαδεδομένα θειϊκά ορυκτά γύψο και ανυδρίτη, ένα από τα πιο συνηθισμένα ορυκτά που σχηματίζονται σε περιοχές αμιδικής δράσης και σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης ιόντων  $H^+$  και  $SO_4^{2-}$  είναι ο αλουνίτης (HEMLEY et al., 1969). Το ορυκτό αυτό σχηματίζεται από την επίδραση διαλυμάτων σε υλικά σύστασης αστρίου και μπορεί να περιγραφεί με την παρακάτω αντίδραση:



Το διοξειδίο του πυριτίου που ελευθερώνεται κατά την μετατροπή του καολινίτη σε αλουνίτη, συνοδεύει τα νεοσχηματιζόμενα ορυκτά με την μορφή του χριστοβαλίτη, του σπάλιου-CT (τριδυμίτης-χριστοβαλίτης), η του χαλαζία (MARCOPOULOS and KATERINOPOULOS, 1986).

Ανάλογα με την συγκέντρωση των διαλυμάτων σε  $H_2SO_4$  δημιουργείται είτε αλουνίτης είτε καολινίτης (σχ. 4). Η μικρή συμμετοχή του καολινίτη στα δείγματα που εξετάσθηκαν πιθανόν να οφείλεται στο ότι το pH διαλυμάτων δεν ευνόησε την δημιουργία του. Μετρήσεις του pH στα υπέρθερμα ύδατα που εξέρχονται από ρωγμές στο νότιο τμήμα του κρατήρα "Μεγάλος Στέφανος", έδωσαν τιμές μικρότερες της μονάδος.

Ο αλουγενής είναι το γνωστό ένυδρο ορυκτό του θειϊκού αργιλίου και ο σχηματισμός του είναι αποτέλεσμα της ισχυρής τάσης των ιόντων του αργιλίου να σχηματίζουν κατιόντα  $Al(H_2O)_6^{3+}$  σε υδατικά διαλύματα (FANG and ROBINSON 1976) τα οποία ενώνονται με θειϊκές ρίζες και σχηματίζουν αλουνογενή. Το ορυκτό αυτό αναφέρεται μαζί με άλλα θειϊκά ορυκτά (GESBRON and SADRZADEH, 1973) σαν επάνθημα, σε μεταλλεία θείου (MENCHETTI and SABEILI, 1974), (DAGENHART, 1980) και σε ζώνες οξειδώσεως εξαλλοιωμένων ηφαιστειακών πετρωμάτων (VELINOV et al, 1970).

Το ορυκτό ταμαρουγγίτης έχει περιγραφεί σε ελάχιστες μόνο θέσεις, στις περισσότερες από τις οποίες φαίνεται να έχει σχηματισθεί σε ξηρά ή ερημικά περιβάλλοντα (SEGNI, 1976). Ταμαρουγγίτης αναφέρεται ακόμα σε εξαλλοιωμένους μαύρους σχιστολίθους που περιέχουν σουλφίδια του σιδήρου (SEGNI, 1976).

Ο βολταίτης και ο αλοτριχίτης έχουν αναφερθεί μαζί με άλλα θειϊκά ορυκτά στη ζώνη οξειδώσεως σουλφιδίων (VELINOV et al. 1970), (BLSHAKOV et al, 1973), (ZODROW et al., 1979), (HUBER and HUBER, 1981).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

α/α δείγματος	ορυκτολογική σύσταση
ΝΚΣ1	θείο, χαλαζίας, οπάλιος-CT, αλουνίτης
ΝΚΣ2	οπάλιος- CT, χαλαζίας, αλουνίτης, ανυδρίτης, βολταΐτης
ΝΚΣ3	θείο, αλουνίτης, χαλαζίας, οπάλιος-CT
ΝΚΣ4	αλοτριχίτης, βολταΐτης, αλουνογενής
ΝΚΣ5	χαλαζίας, οπάλιος-CT, αλουνίτης, ανυδρίτης, καοιλνίτης
ΝΚΣ6	χαλαζίας, χριστοβαλίτης, θείο, ανυδρίτης, αλουνίτης
ΝΚΣ7	γύψος, ανυδρίτης, οπάλιος-CT, χαλαζίας, αλουνίτης
ΝΚΣ8	θείο, οπάλιος-CT, αλουνίτης, ανυδρίτης
ΝΚΣ9	οπάλιος-CT, θείο, χαλαζίας, αλουνίτης, ανυδρίτης
ΝΚΣ10	αλουνογενής, βολταΐτης, χαλαζίας, χριστοβαλίτης
ΝΚΣ11	αλουνίτης, γύψος, χαλαζίας
ΝΚΣ12	αλουνίτης, γύψος, χαλαζίας, ανυδρίτης, οπάλιος-CT
ΝΚΣ13	χαλαζίας, οπάλιος-CT, ανυδρίτης, αλουνίτης, καοιλνίτης
ΝΚΣ14	αλουνίτης, γύψος, χαλαζίας
ΝΚΣ15	χριστοβαλίτης, χαλαζίας, ανυδρίτης, αλουνίτης
ΝΚΣ16	αλουνίτης, θείο, χαλαζίας, οπάλιος-CT, βολταΐτης
ΝΚΣ17	ανυδρίτης, χαλαζίας, οπάλιος-CT, αλουνίτης, βολταΐτης
ΝΚΣ18	ταμαρουγκίτης, αλουνογενής, αλουνίτης, αλοτριχίτης, γύψος
ΝΚΣ19	χαλαζίας, αλουνίτης, ανυδρίτης, πλαγιόκλαστο, βολταΐτης, θείο
ΝΚΣ20	χαλαζίας, οπάλιος-CT, ανυδρίτης, πλαγιόκλαστο
ΝΚΣ21	χαλαζίας, οπάλιος-CT, θείο, αλουνίτης, ανυδρίτης
ΝΚΣ22	θείο
ΝΚΣ23	οπάλιος-CT, χαλαζίας, ανυδρίτης
ΝΚΣ24	θείο, γύψος, χαλαζίας
ΝΚΣ25	οπάλιος-CT, αλουνίτης, ταμαρουγκίτης
ΝΚΣ26	γύψος, αλουνίτης, αλουνογενής, οπάλιος-CT

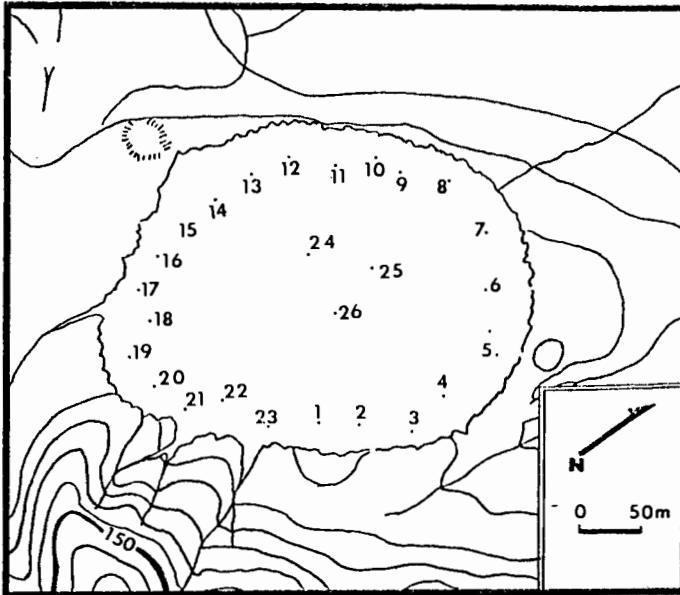
ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Χημικοί τύποι ορυκτών που προσδιορίσθηκαν

---

Αλοτριχίτης	Halotrichite	$\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$
Αλουνίτης	Alunite	$(\text{K,Na})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_6$
Αλουνογενής	Alunogen	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$
Ανυδρίτης	Anhydrite	$\text{CaSO}_4$
Βολταΐτης	Voltaite	$\text{K}_2\text{Fe}_5^{2+}\text{Fe}_4^{3+}(\text{SO}_4)_{12} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
Γύψος	Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Θείο	Sulfur	S
Καολινίτης	Kaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Οπάλιος-CT	Opal-CT	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Ταμαρουγγίτης	Tamarungite	$\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Χαλαζίας	Quartz	$\text{SiO}_2$
Χριστοβαλίτης	Cristobalite	$\text{SiO}_2$

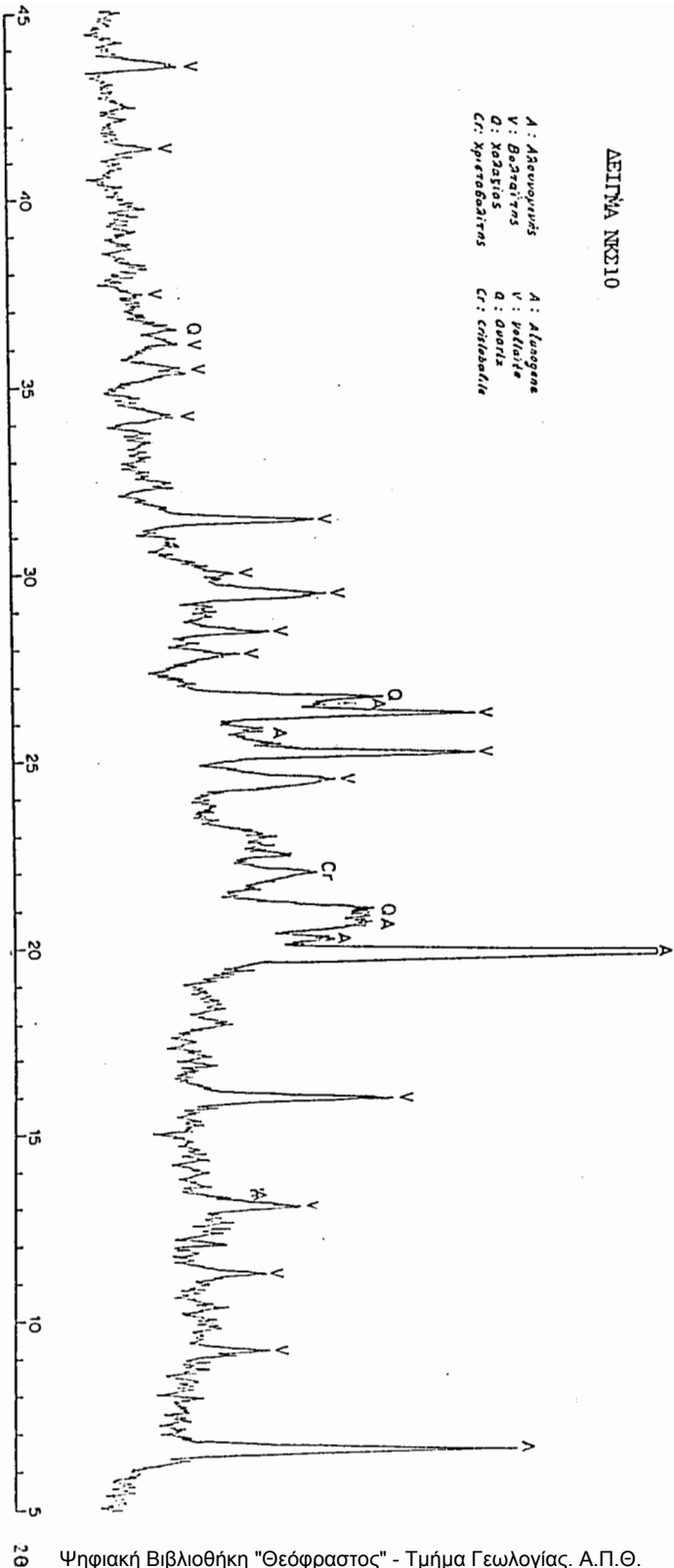
---



Σχήμα 1 : Κρατήρας Μεγάλος Στέφανος, Θέσεις δειγματοληψίας

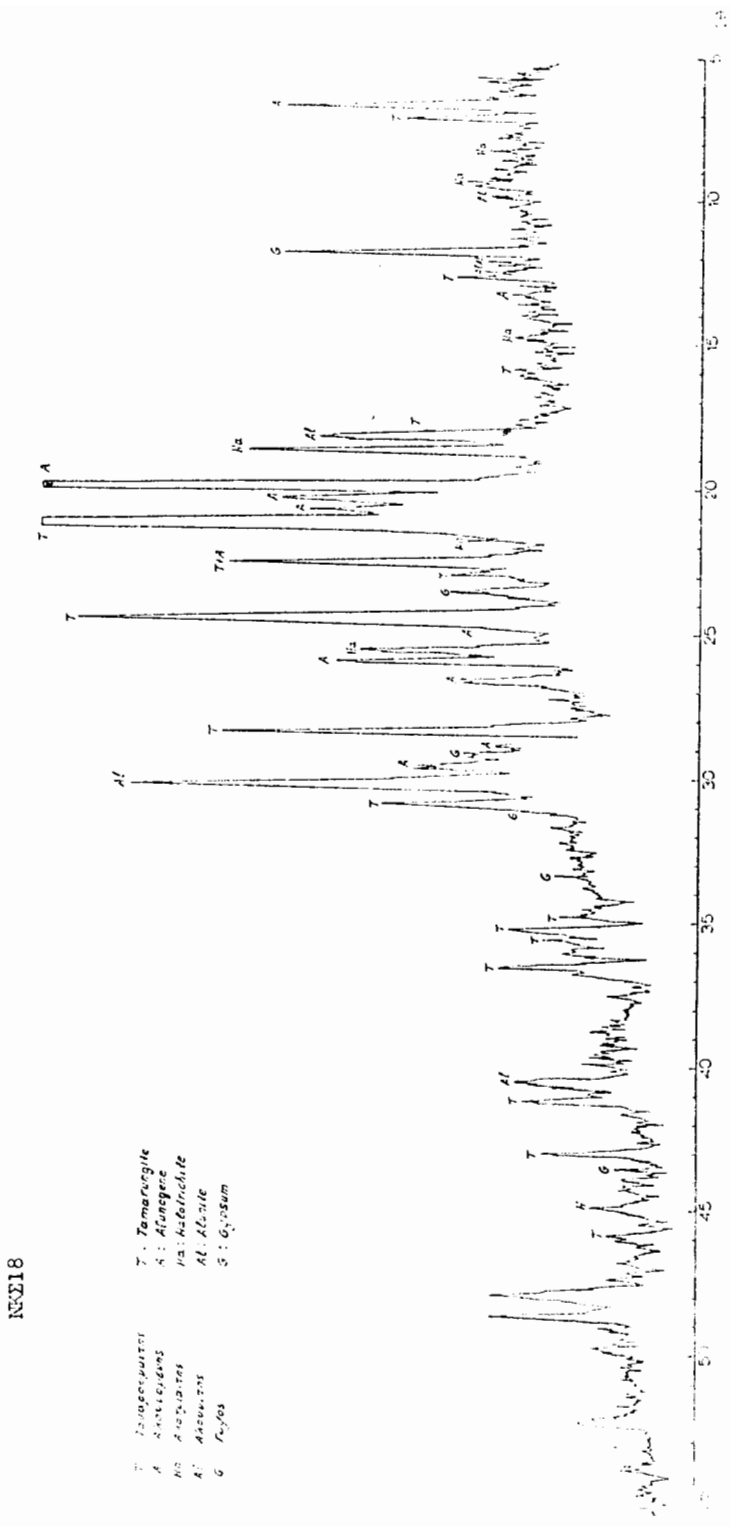
Σχήμα 2: Ακτινογράφημα του δείγματος ΝΚΣ10, κύμα ακτινοβολία, φίλτρο Ni, συνθήκες 36kV, 20mA, ταχύτητα γωνιομέτρου 1°/min.

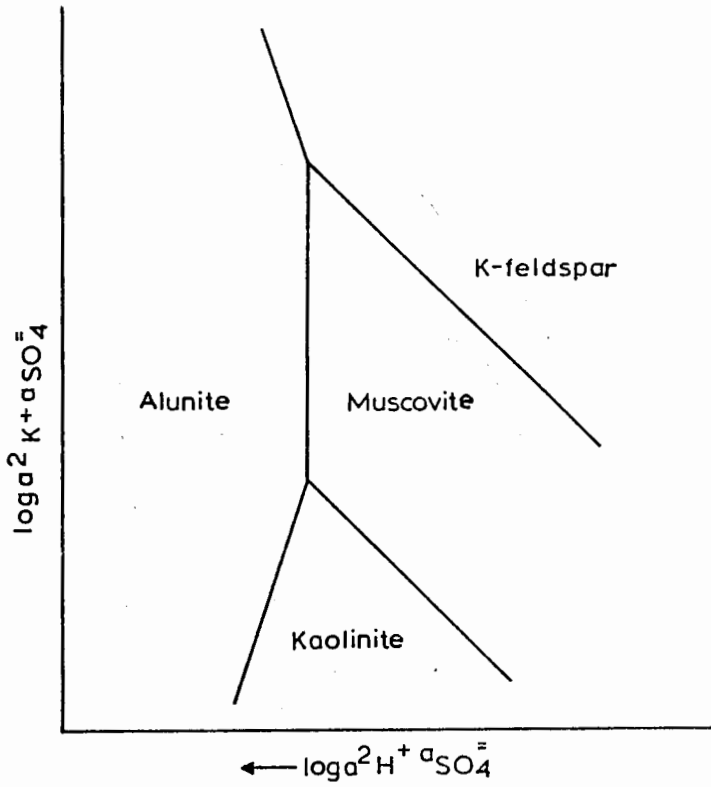
ΔΕΙΓΜΑ ΝΚΣ10





Σχήμα 3: Ακτινογράφημα του δείγματος ΝΚΣ18, Συκα ακτινοβολία, φίλτρο Ni, συνθήκες 36kV, 20mA, ταχύτητα γωνιομέτρου 1°/min





Σχήμα 4 : Πεδία σταθερότητας καολινίτη-αλουνίτη-μοσχοβίτη-καλιούχου άστριου (Hemley et al,1969)

Fig.4 , Kaolinite-Alunite-Muscovite-K-feldspar stability field, (Hemley et al,1969).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΝΩΝΥΜΟΣ .1947. Ο ορυκτός πλούτος της Δωδεκανήσου.Υπ.Ανοικοδομήσεως,  
Δελτίο Α<sub>2</sub>,21,σελ.1-17.
- ΒΟΡΕΑΔΗΣ,Γ.1950. Τα θειούχα κοιτάσματα της Νισύρου.Αθήν. έκθεση Ι.Γ.Ε.Υ,  
Αθήνα.
- BOLSHAKOV,A.P.,CIRICILIZA,S.I.,PIVOVAROV,S.V.,PTUSKO,L.I.1973. On the  
mineralogy of the Dikitsky mercury deposits.Min.Sborn Lvov,  
V 27,p 333-338.
- DAVIS,E.N. 1967. Zur Geologie und Petrologie der Inseln Nisyros und Jali.  
Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, 42, σελ. 235-251.
- DI PAOLA,G.M. 1974. Volcanology and Petrology of Nisyros Island (Dodecanese,  
Greece).Bull.Volc. 38-3, p 944-987 .
- FANG,J.H and ROBONSON,P.D. 1976. Alunogene (  $Al_2(H_2O)_{12}(SO_4)_3 \cdot 5H_2O$  ).Its ato-  
mic arrangement and water content .Amer.Mineral. Vol 61, p 311-317.
- GESBRON,F. and SADRZADEH,M. 1973. Nouvelles donnees sur l'alunogene  $Al_2(SO_4)_3 \cdot$   
 $18H_2O$ . Boull.Soc.Franc.Min.Crist. 96, p 385-397.
- HEMLEY,J.J.,HOSTETLER,B.P.,CUDE,H.J. and MOUNTJOY,W.T. 1969. Some stability  
relation of alunite. Econ.Geol. 64, 6, p 599-612 .
- HULLER,H. 1967. Experimentelle Bildung von Alunit-Jarosit durch Einwirkung  
von Schwefelsaure auf Mineralien und Gestein. Contrib.Mineral.Petrol.  
15, p 309-329.
- HUBER,S. and HUBER,P. 1981. Schemurtz. Lapis 62, p 15-22.
- HUTTON,C.O. 1970. Coquimbite from Navis,West Indies.Min.Mag. 37, p 939-941.
- INNOCENTI,F.,KOLIOS,N.,MANETTI,P.,MAZZUOLI,R.,PECCERILLO,G.,RITA,F.,VILLARI,L.,  
1984. Evolution and Geodynamic significance of the Tertiary Orogenic  
Volcanism in Northeastern Greece.Bull.Volcanol.Vol 47-1 ,p 25-37.
- KANAPHS,I.1976.Επί της αναζητήσεως βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων εις  
τας νήσους Γιάλι και Νίσυρο .Αθήν. έκθεση ΙΓΜΕ,Αθήνα.
- MENCHEITI,S and SABELLI,C. 1974. Alunogene its structure and twinning.Tsermarks.  
Min.Petr.Mitt. 21, p 164-178.
- MULLER,G. 1960. Hydrothermale veränderungen an Sandstein am Basalt.Kontakt.  
Beitr.Miner.Petrogr. 7 , p 207-231.
- NICHOLLS,I.A. 1971. Petrology of Santorini volcano,Cyclades,Greece. J.Petrol.  
12, p 67-119.
- PE,G.G. 1972. Geochemistry and chemical mineralogy of the lavas of Crete,Myonia.  
Ann.Geol des Pays Helleniques. 24, p 257-275.
- PE,G.G. 1973. Petrology and Geochemistry of volcanic rocks of Aegina,Greece.  
Bull.Volcanologique T XXXVII-4, p 491-514.

- SEGNIT, E.R. 1976. Taranungite from Anglona, Victoria, Australia. *Min. Mag.* 40, p 642-644.
- ΟΥΤΙΚΑΣ, Ι. 1977. Γεωλογική και Γεωθερμική μελέτη της νήσου Μήλου. ΙΓΜΕ, Τόμος XVIII.
- VELINOV, I., ALSANYAN, S., PLNEV, L. and VELINOVA, M. 1970. Ferrosulfates halotrichite and alunogene from the oxidized zone of the hydrothermally altered volcanic rocks near the village of Krusha district of Sofia. *Bull. Geol. Inst. Bulgar. Acad. Sci. ser. Geochem., Min., Petrol.* V 19, p 243-264.
- ZUBROW, E.L., WILTSHIRE, J. and Mc CANDLISH. 1979. Hydrated sulfates in the Sydney coalfield of Cape alteration product. *Can. Min.* V 17, p 63-70.