

Πρακτικά	βου	Συνεδρίου	Μάιος	1992
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ.	XXVIII/2	σελ.	239-258
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.		pag.	
			Αθήνα	1993
			Athens	

ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΝΙΣΥΡΟΥ

Γ.ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΛΑΚΗ*

ΣΥΝΟΨΗ

Περιγράφεται το σύνολο των ηφαιστειακών σχηματισμών της Νισύρου σε ότι αφορά τη χημική σύσταση, ορυκτολογική παραγένεση, ακριβή στρωματογραφική θέση και εξάπλωση, ηλικία και μηχανισμούς απόθεσης.

Προτείνεται ένα μοντέλο ηφαιστειολογικής εξέλιξης που διακρίνει δύο κύκλους ηφαιστειακής δραστηριότητας: Ο πρώτος αφορά στην κατασκευή του ηφαιστειακού οικοδομήματος και χωρίζεται σε τρεις διαφορετικές με κοινά επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά φάσεις που αρχίζουν με βασικά ανδεσιτικά-ανδεσιτικά και καταλήγουν σε δακιτικά-ρυσδακιτικά προϊόντα. Ο δεύτερος κύκλος χαρακτηρίζεται από έντονα εκρηκτική δραστηριότητα με σχηματισμό καλδερικών βυθισμάτων και χωρίζεται σε δύο διαφορετικές, με κοινά επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά, φάσεις. Αυτές συνίστανται σε μία φρεατομαγματική έκρηξη που αποθέτει ρυολιθική κίσηρη και ακολουθείται από εξωθητική - εκχυτική δραστηριότητα που τροφοδοτείται από ρυολιθικά - δακιτικά μάγματα.

ABSTRACT

The chemical composition, mineralogical paragenesis, stratigraphic position, areal extension, age and depositional mechanisms of the formations of Nisyros volcano are presented.

In the light of all this data a new model on the evolution of the volcanic activity has been proposed: It consists of two eruptive cycles. The first cycle includes the cone-building eruptive activity and consists of three different phases. Each phase commenced with efusive and explosive (magmatic and hydromagmatic) activity fed by basic andesitic and andesitic magmas and terminated with the extrusion of dacitic - rhyodacitic lava domes and flows. The second eruptive cycle includes the caldera forming explosive activity and consists of two different phases. Each phase commenced with a low intensity - low magnitude phreatomagmatic explosion fed by rhyolitic magmas. This triggered a central calderic collapse which was followed by extrusion of rhyolitic - dacitic domes and lava flows.

The most reasonable cause that provoked the change in the eruptive behaviour from cycle one to cycle two was a change in the magma storage system: Cycle one eruptive activity was fed by deep magma chambers stored between 27 and 13 Km depth while cycle two was fed by shallow magma chambers situated in less than 6 Km depth.

G. VOUGIOUKALAKIS. Volcanic Stratigraphy and Evolution of Nisyros Island.

*Institute of Geology and Mineral Exploration, Dept. of Energy Resources, 70 Messolonghi St., 115 27 Athens, Greece.
Γεωλογική Επιτροπή Θεσσαλονίκης 27ης Μαρτίου 1993

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Νίσυρος είναι ένα μικρό τεταρτογενές στρωματοηφαίστειο στο ανατολικό άκρο του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου.

Η θέση της σε ένα σημείο - κλειδί για την πρόσφατη γεωλογική, τεκτονική και ηφαιστειολογική εξέλιξη του Αιγαίου, η πολύ μικρή ηλικία των ηφαιστειακών προϊόντων και το γεωθερμικό ενδιαφέρον της περιοχής ήταν οι λόγοι προσέλκυσης πλήθους ερευνητών, τα τελευταία ιδιαίτερα χρόνια, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια σχετικά πλούσια βιβλιογραφία για την περιοχή.

Οι πρώτες προσεγγίσεις στη μελέτη της γεωλογίας του νησιού έγιναν από τους Mastelli (1917), Desio (1931), Γεωργαλά (1958), Λάβη (1967) και Keller (1971). Ο Di Paola (1974) εκπόνησε ένα γεωλογικό χάρτη σε κλίμακα 1:25.000 και μία ηφαιστειολογική - πετρολογική μελέτη. Παρουσίασε επίσης ένα γενικό μοντέλο εξέλιξης του νησιού (προκαλδερική δραστηριότητα με α) υποθαλάσσια και β) χερσαία ηφαιστειακά προϊόντα, δημιουργία καλδέρας, μετακαλδερικούς θόλους και τέλος υδροθερμική δραστηριότητα και φρεατικές εκρήξεις).

Ακολουθούν μια σειρά γεωλογικές, πετρολογικές και ηφαιστειολογικές μελέτες (Bond, 1976; Keller, 1980, 1982; Vougioukalakis, 1984; Limburg, 1986; Limburg et al., 1986; Bohla & Keller, 1987; Lodice, 1987; Βουγιουκαλάκης, 1989; Seymour & Vlassopoulos, 1989; Varekamp & Baierlain 1989; Wyers & Barton, 1989; Keller et al., 1990; Limburg & Varekamp, 1990 Παπανικολάου κ.α., 1990; Gansechi, 1991).

Οι περισσότερες από τις παραπάνω εργασίες επικεντρώνουν στη μελέτη των προϊόντων των τελευταίων εκρήξεων. Ετσι δεν υπάρχει σήμερα μια ολοκληρωμένη μελέτη για το σύνολο των ηφαιστειακών σχηματισμών σε ότι αφορά τη χημική και ορυκτολογική τους σύσταση, την ακριβή στρωματογραφική τους θέση και εξάπλωση, τους μηχανισμούς απόθεσης των ηφαιστειακών προϊόντων. Ακόμα, το μοντέλο ηφαιστειολογικής εξέλιξης του νησιού δεν έχει διαφοροποιηθεί ουσιαστικά από αυτό που πρότεινε ο Di Paola (1974).

Η εργασία αυτή στοχεύει να καλύψει τα παραπάνω κενά. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε το διάστημα 1987-1988 λεπτομερής χαρτογράφηση, σε κλίμακα 1:5.000, των ηφαιστειακών σχηματισμών, δεκάδες χημικές αναλύσεις και πετρογραφικές παρατηρήσεις και μελέτη της στρωματογραφίας και των μηχανισμών απόθεσης των πυροκλαστικών προϊόντων του νησιού.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Η Νίσυρος είναι ένα μικρό ηφαιστειακό οικοδόμημα με έκταση 42Km². Το τοπογραφικό ανάγλυφο του νησιού προσεγγίζει το σχήμα ενός κώλου με διάμετρο βάσης 8Km και κεντρικό καλδερικό βύθισμα διαμέτρου 4Km. Πάνω από το χείλος της καλδέρας υψώνονται οι μετακαλδερικοί θόλοι με μέγιστο ύψος 698m. (Πρ. Ηλίας).

Το νησί αποτελείται αποκλειστικά από ηφαιστειακά προϊόντα αποθεμένα πάνω σε ένα υπόβαθρο Μεσοζωικών ασβεστολίθων και Νεογενών ιζημάτων. Η ύπαρξη αυτού του υπόβαθρου πιστοποιείται στην επιφάνεια από την παρουσία ξενόλιθων Νεογενών αργίλων και Μεσοζωικών ασβεστολίθων. Οι τελευταίοι εμφανίζονται στο νησί Κανδελέουσα (υφαλογενείς ασβεστόλιθοι του Μάλμιου, Καρράς, 1990), 20Km ΝΔ της Νίσυρου. Οι ίδιοι ασβεστόλιθοι διατρήθηκαν από τη βαθειά γεώτρηση NIS-1 (Geotermica It., 1983), η οποία συνάντησε την οροφή τους στα 600m βάθος από την επιφάνεια της θάλασσας.

Στις εικόνες 1 και 2 εμφανίζεται η εξάπλωση και η στρωματογραφική θέση των σχηματισμών της Νίσυρου. Στον πίνακα 1 δίνονται αντιπροσωπευτικές χημικές αναλύσεις για κάθε ηφαιστειακό

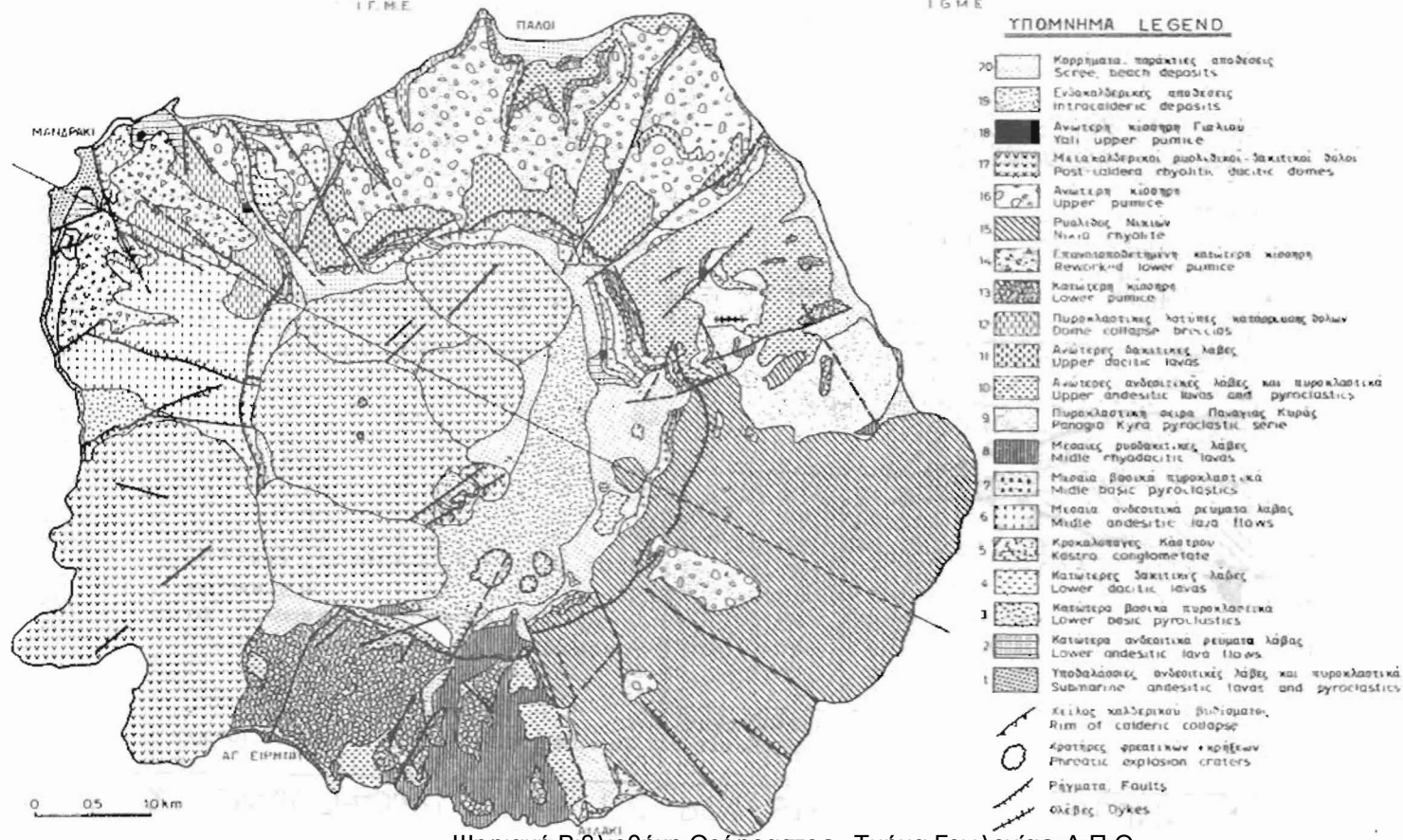
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΝΙΣΥΡΟΥ

ΑΠΟ Γ. ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΛΑΚΗ
1 Γ.Μ.Ε.

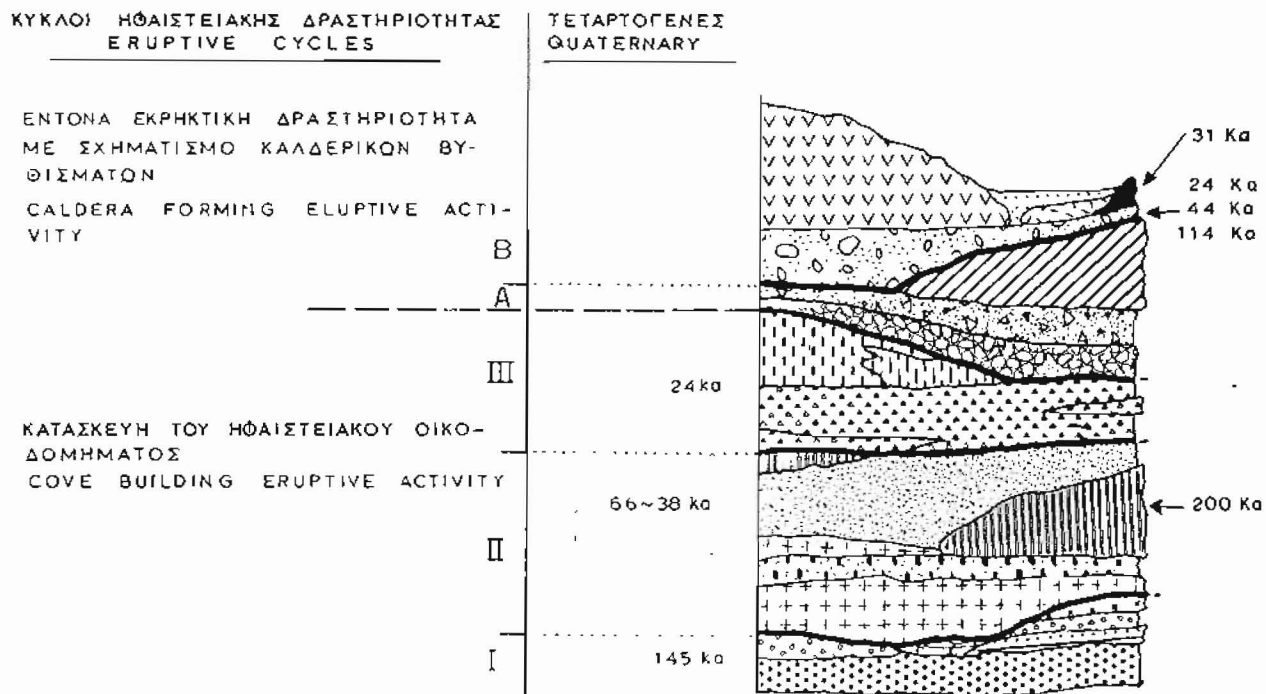
GEOLOGICAL MAP OF NISYROS

BY G. VOUGIOUKALAKIS
1 G.M.E.



Εικ. 1.
Fig. 1.

ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΗΛΗ ΝΙΣΥΡΟΥ - STRATIGRAPHIC COLUMN, NISYROS



Εικ. 2. Στρωματογραφική στήλη και κύκλοι ηφαιστειακής δραστηριότητας Νισύρου.

Fig. 2. Stratigraphic column and eruptive cycles of Nisyros.

Group	1	2	4	6a	6b	8a	8b	9c	9a	9b	10a	10b
SiO ₂	54.06	56.71	66.52	54.49	59.58	70.82	66.05	67.96	57.72	63.24	53.97	59.04
TiO ₂	0.98	0.80	0.57	0.93	1.14	0.34	0.47	0.68	0.94	0.61	0.92	1.12
Al ₂ O ₃	18.58	17.99	15.72	18.65	17.18	14.27	16.35	15.42	17.02	15.84	19.17	17.62
Fe ₂ O ₃	4.08	3.63	4.17	4.14	4.05	1.38	1.52	2.34	2.82	1.97	4.35	4.19
FeO	2.90	1.42	0.38	2.90	2.80	0.94	2.45	1.77	3.48	2.30	2.55	2.68
MnO	0.13	0.08	0.08	0.12	0.11	0.06	0.11	0.09	0.14	0.13	0.12	0.13
MgO	3.93	5.51	0.98	4.70	2.77	0.82	1.33	1.91	2.82	1.45	4.37	2.75
CaO	9.20	8.67	2.65	8.71	5.89	2.18	3.58	3.49	6.41	4.26	8.95	6.27
Na ₂ O	3.64	3.52	5.27	3.61	4.25	4.18	4.64	4.04	4.30	5.02	3.66	3.99
K ₂ O	1.13	1.20	2.66	1.17	1.61	3.11	2.34	2.65	1.79	2.31	1.02	1.65
P ₂ O ₅	0.15	0.18	0.20	0.19	0.24	0.09	0.18	0.15	0.18	0.20	0.18	0.22
LOI	1.21	0.30	0.79	0.38	0.37	1.79	0.79	1.03	2.39	2.66	0.74	0.34
Total	99.99	100.01	99.99	99.99	99.99	99.98	99.99	101.53	100.01	99.99	100.00	100.00

Group	10c	11	12	13a	13b	15	16a	16b	17a	17b	17c	18
SiO ₂	56.29	68.58	67.85	71.34	53.40	70.83	71.23	59.45	66.90	71.08	55.46	69.72
TiO ₂	0.92	0.55	0.53	0.32	0.81	0.29	0.29	0.63	0.42	0.32	0.70	0.36
Al ₂ O ₃	17.50	15.54	15.62	13.92	17.78	15.18	13.77	17.74	16.32	15.00	19.48	13.60
Fe ₂ O ₃	3.50	2.54	2.18	0.75	4.45	1.28	1.72	0.74	1.94	1.57	4.01	0.88
FeO	3.24	0.95	1.23	1.48	2.80	0.88	0.52	4.11	1.12	0.75	1.56	1.32
MnO	0.13	0.07	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.09	0.06	0.05	0.10	0.07
MgO	4.58	1.12	1.13	0.48	5.65	0.76	0.80	4.04	1.97	1.13	4.84	0.66
CaO	8.25	3.00	2.96	1.65	10.95	2.41	2.10	7.05	4.20	2.87	8.93	1.87
Na ₂ O	3.30	4.35	4.21	4.10	3.23	4.34	3.99	3.05	3.92	4.04	3.06	3.67
K ₂ O	1.21	2.91	2.99	3.40	0.27	2.82	3.31	1.60	2.32	2.83	1.22	3.54
P ₂ O ₅	0.12	0.19	0.18	0.06	0.09	0.10	0.07	0.13	0.10	0.08	0.18	0.05
LOI	0.96	0.21	1.05	2.42	0.51	1.06	2.14	1.38	0.68	0.27	0.47	4.27
Total	100.00	100.01	100.01	99.99	100.00	100.01	99.99	100.01	99.95	99.99	100.01	100.01

Πίνακας 1. Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις ολικού πετρώματος (XRF) των ηφαιστειτών Νιούρου.

Table 1. Representative whole-rock analyses of the Niouros volcanic rocks.

σχηματισμό. Στον πίνακα 2 οι αντίστοιχες ορυκτολογικές παραγενέσεις.

Ξεκινώντας την περιγραφή από τους παλαιότερους σχηματισμούς, στη Νίσυρο εμφανίζονται:

1) Υποθαλάσσιες ανδσειτικές λάβες και πυροκλαστικά: Εμφανίζονται αποκλειστικά στη δυτική ακτή. Πρόκειται κυρίως για ένα υαλοκλαστικό λατυποπαγές με μέγιστο πάχος 40m. Αποτελείται από τεμάχη βασικού ανδσείτη (Πιν.1,1) μέσου μεγέθους 10-15cm, συγκολλημένα από ένα κίτρινο παλαγονιτικό τσιμέντο, αποτέλεσμα της εξαλλοίωσης του γυαλιού που δημιουργήθηκε στην εξωτερική επιφάνεια των τεμαχών από τη γοργή ψύξη του μάγματος κατά την έξοδο και θραύση του σε ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον. Παρουσιάζει στρώση, οριζόντια στα κατώτερα μέρη και κλίση 20°-30° προς Δ-ΒΔ στα ανώτερα. Το μαξιλαροειδές σχήμα (pillows) διατηρείται σε ορισμένες περιπτώσεις όπου δεν έχει θρυμματιστεί η λάβα, κύρια στη βάση του σχηματισμού, με διάμετρο από 0,4 έως 8m. Υποθαλάσσιοι τόφοι και τοφίτες εμφανίζονται κύρια στο ακρωτήριο Κανόνι και νοτιώτερα, έντονα εξαλλοιωμένοι από ατμιδική δραστηριότητα.

2) Κατώτερα ανδσειτικά ρεύματα λάβας: Εμφανίζονται κυρίως στη ΒΔ ακτή, πάνω από τους υποθαλάσσιους ηφαιστίτες. Μικρές εμφανίσεις εντοπίζονται στη βάση του ΒΑ και Α πρανούς της καλδέρας. Πρόκειται για συμπαγή ρεύματα ανδσειτικής λάβας (Πιν.1,2) τύπου α-α, χωρίς εμφανείς δομές ροής, χρώματος τεφρού και πάχους 1,5 έως 3m το κάθε ρεύμα. Το μέγιστο πάχος του σχηματισμού στην εμφάνιση φτάνει τα 30m. Το πέραςμα από τους υποθαλάσσιους ηφαιστίτες στις χερσαίες εκχύσεις είναι βαθμιαίο: παρατηρούνται σε ορισμένα σημεία υαλοκλαστίτες να παρεμβάλλονται ανάμεσα στα δύο πρώτα ρεύματα λάβας.

3) Κατώτερα βασικά πυροκλαστικά: Εμφανίζονται στα δυτικά πρανή του ηφαιστείου (περιοχή Καρδιά) και στα ΒΑ και Α πρανή της καλδέρας. Στην περιοχή Καρδιάς, όπου αναπτύσσεται όλη η σειρά, στη βάση του σχηματισμού βρίσκονται 4 στρώματα ανδσειτικών κόκκινων σκωριών, πάχους 5m το καθένα αποτελούμενα κυρίως από λιθάρια με παρουσία λίγων τεμαχών λάβας διαμέτρου 0,3-0,5m. Το τρίτο στρώμα έχει αποθεθεί με μηχανισμούς πυροκλαστικής ροής (flow) ενώ τα υπόλοιπα με εναέρια πτώση (fall). Ακολουθεί ένας τόφος αποτελούμενος από στάχτη και λιθάρια τεφρών σκωριών, λίγα τεμάχη βασικών ανδσειτικών λαβών και μεγάλο ποσοστό ασβεστολιθικών ξενόλιθων (15-20%) διαμέτρου 0,5-2cm. Έχει εμφανή στρώση, ενώ διακρίνονται ορισμένοι οριζόντες στάχτης με δομές υγρής ροής και διασταυρούμενη στρώση.

Στα ΒΑ και Α πρανή εμφανίζονται μόνο οι τόφοι στάχτης - λιθαριών, χωρίς ασβεστολιθικούς ξενόλιθους αλλά πιο πλούσιοι σε τεμάχη ανδσειτικής λάβας. Παρατηρείται εδώ μια αλληλοδιαδοχή οριζόντων χαστικής δομής με τους οριζόντες στρωμένους στάχτης καθώς και αποτυπώματα πτώσης ηφαιστειακών βολίδων. Το πάχος φτάνει τα 60m. Η απόθεση αυτού του τόφου προκαλείται από την αλληλεπίδραση ανδσειτικού μάγματος και άφθονου επιφανειακού νερού που παράγει υγρές μεγακυματικές (wet surge) αποθέσεις. Ορισμένοι από τους οριζόντες είναι επαναποθεμένοι σαν λασποροές (debris-flow).

4) Κατώτερες δακτιτικές λάβες: Εμφανίζονται μόνο στο ΒΑ πρανές της καλδέρας, πάνω από τα κατώτερα βασικά πυροκλαστικά. Πρόκειται για 2-3 ρεύματα γκρι αφυρικής δακτιτικής λάβας (Πιν.1,4) πάχους περίπου 40m.

5) Κροκαλοπαγές Κάστρου: Εμφανίζεται μόνο στη ΒΔ ακτή, κυρίως στην περιοχή Μανδρακίου και στην κοιλάδα πίσω από το Κάστρο, σε υπόμετρο ως και 80m. Στρώματα κροκαλοπαγούς πάχους 0,5-1,5m εναλλάσσονται με ψαμμιτικά - τοφίτικα στρώματα πάχους 0,3-0,6m με χαρακτηριστική επιβλοήρη διάσπαση τεμαχών. Εολογικός Ακτιλός ποικίλουν

ΣΤΡΟΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΙΣΤΟΣ					ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΑΓΕΝΕΣΗ									
	ΠΟΡΦΥΡ	ΥΠΟΑΘ	ΔΙΑΚΟΧ	ΔΙΑΚΑΛΙΝ	ΥΑΛΩΤΙΑ	Pl	Crx	OI	OpX	Amph	Bt	Fe-Ti OXIDE	Ap	Zr	Oz
Κατώτεροι Ανδεσίτες	○		○	○		○	○	○	○			○			
Κατώτεροι Δακίτες		○			○	○	○		○	○		○	(○)		
Μέσοι Ανδεσίτες	○	○	○	○		○	○	○	○			○			(●)
Μέσοι Ρυοδακίτες	○				○	○	○		○	○		○	(○)	(○)	
Παναγιά Κυρά		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	(○)		(●)
Ανώτεροι Ανδεσίτες	○	○	○			○	○	○	(○)						(●)
Ανώτεροι Δακίτες	○				○	○	○		○	○		○	(○)		
Κατώτερη Κίσηρη		○			○	○	(○)		○			(○)	(○)	(○)	
Ρυόλιθος Νικιών	○				○	○	○		○	○		○	(○)	(○)	
Αγώτερη Κίσηρη		○			○	○	(○)		○	○		(○)	(○)	(○)	
Μετακαλδικοί Θόλοι	○				○	○	○	(●)	○	○		○	(○)	(○)	(●)

Πίνακας 2. Πετρογραφικά χαρακτηριστικά ηφαιστειτών Νισύρου. ○= φαινοκρύσταλλοι, ●= ξενοκρύσταλλοι, ()= σπάνια εμφάνιση

Table 2. Petrographic characteristics of Nisyros volcanics. ○=phenocryst, ●=xenocryst, ()=rare occurrence

σε μέγεθος από 0,5cm έως 0,7m με μέση διάμετρο 10-15cm. Στους κατώτερους ορίζοντες αφθονούν κροκάλες που προέρχονται από τις υποθαλάσσιες λάβες ενώ στους ανώτερους συναντώνται όλα τα προϊόντα που εμφανίζονται στην εγγύς περιοχή.

6) *Μεσαία ανδσειτικά ρεύματα λάβας*: Εμφανίζονται σε όλη την έκταση των πρανών της καλδέρας. Αποτελούν το χείλος της καλδέρας και τα πρανή του Δ-ΒΔ τμήματος του ηφαιστείου. Μικρές εμφανίσεις παρατηρούνται στα ανατολικά πρανή και στην περιοχή Αυλακιού. Πρόκειται για μια σειρά (περίπου 10 σε εμφάνιση) ρευμάτων τεφρής έως ανοικτής γκρι βασικής ανδσειτικής (Πιν.1,6a) έως ανδσειτικής (Πιν.1,6b) λάβας τύπου α-α, με πάχος που κυμαίνεται από 2 έως 5m. Ορισμένα ρεύματα παρουσιάζουν χαρακτηριστικές δομές ροής (πτύχωση και ελασματοειδή διαχωρισμό). Στη βάση και στην οροφή των ρευμάτων λάβας παρατηρούνται στρώματα γκρι - κόκκινων σκωριών που προέρχονται τόσο από την απελευθέρωση των αερίων στην επιφάνεια του ρεύματος όσο και από εναέρια πτώση.

7) *Μεσαία βασικά πυροκλαστικά*: Εμφανίζονται σχεδόν σε όλη την έκταση των πρανών της καλδέρας και στα ΒΔ πρανή του ηφαιστείου. Πρόκειται για τρία κυρίως επεισόδια εκρηκτικής δραστηριότητας που παρεμβάλλονται στα ρεύματα λάβας των Μεσαίων ανδσειτικών λαβών. Οι εμφανίσεις της ΒΔ πλευράς είναι στρώματα λιθαριών και μικρών τεμαχών γκρι στη βάση και κόκκινων στην οροφή σκωριών πτώσης, πάχους 15m περίπου. Ο ίδιος ορίζοντας στα ΒΑ και ΝΔ πρανή αποτελείται από γκρι στάχτη και λιθάρια μεγακυματικών (surge) αποθέσεων και πτώσης, πάχους 5-15m. Στη ΒΑ πρανές της καλδέρας εμφανίζεται στη βάση των ρευμάτων των Μεσαίων ανδσειτικών λαβών άλλος ένας πυροκλαστικός ορίζοντας μεγακυματικών αποθέσεων, πάχους περίπου 10m, εξαλλοιωμένος από υδροθερμική δραστηριότητα.

8) *Μεσαίες ροδοακτιτικές λάβες*: Εμφανίζονται στο νότιο χείλος της καλδέρας και στα Α και ΝΔ πρανή της. Αποτελούν τα νότια πρανή του ηφαιστείου ενώ μικρές εμφανίσεις παρατηρούνται στα Α και ΒΑ πρανή του. Οι λάβες των νοτίων πρανών είναι θόλοι και ρεύματα ροδοακτιτικής σύστασης (Πιν.1,8a), πάχους έως και 80m και χρώματος που ποικίλει από ανοικτό γκρι έως μαύρο σκούρο, εξαρτώμενο από την ταχύτητα ψύξης του μάγματος. Όπου εμφανίζεται η βάση των ρευμάτων παρατηρούνται έντονα φαινόμενα αυτολατυποποίησης ενώ υπάρχουν 2-3 ενόθητες πυροκλαστικών μονογενικών λατύπων που προέρχονται από μερική κατάρρευση θόλων ή μεγάλου παχους ρευμάτων του ίδιου μάγματος.

Οι λάβες που εμφανίζονται κοντά στις ανατολικές ακτές και στην περιοχή της Παναγιάς Κυράς είναι γκρι δακτικά (Πιν.1,8b) ρεύματα. Αυτές που εμφανίζονται στα Α-ΒΑ πρανή της καλδέρας και στα ΒΑ πρανή του ηφαιστείου είναι ροδοακτιτικά (Πιν.1,8c) ρεύματα με χαρακτηριστική παρουσία μεγάλου ποσοστού (10-20%) εγκλεισμάτων ανδσειτικού μάγματος, διαμέτρου 0,1-15cm.

9) *Πυροκλαστική σειρά Παναγιάς Κυράς*: Η όλη σειρά εμφανίζεται στα ανατολικά πρανή του ηφαιστείου έχοντας στη βάση τις Μεσαίες δακτικές λάβες και στην κορυφή τις Μεσαίες ροδοακτιτικές με εγκλείσματα ανδσειτή. Μια μικρή δεύτερη εμφάνιση εντοπίζεται στη ΒΔ ακτή, παρεμβαλλόμενη στο κροκαλοπαγές του Κάστρου. Ορίζοντες της σειράς (κύρια πτώσης αλλά και τοφίτες) εμφανίζονται στην Περγούσα και Παχειά, δυο μικρές νησίδες Δ της Νισύρου. Απομακρυσμένες φάσεις (distal facies) των εκρήξεων έχουν εντοπισθεί στα νησιά Τήλο και Χάλκη και στη χερσόνησο της Κνίδου (Δ. Τουρκία) (Keller et al., 1991).

Πρόκειται για πυροκλαστικά προϊόντα που αποτίθενται από έντονη εκρηκτική δραστηριότητα η οποία τροφοδοτείται από δακτικά (Πιν.1,9b) και ανδσειτικά (Πιν.1,9a) μάγματα. Πάνω από 6 μεγάλες εκρήξεις Υψηλή Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκης - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. και στάχτης,

ανδευσιτικών σκωριών και δακτιτικής κίσηρης με μηχανισμούς πτώσης, ροής και μεγακυματισμού, ξηρού και υγρού. Το μέγιστο πάχος της σειράς ανέρχεται στα 70m. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία ξενόλιθων του ασβεστολιθικού υποβάθρου και σκαρν, που ως προς το συνολικό ποσοστό συστατικών φτάνουν έως και 30% της απόθεσης.

10) **Ανώτερες ανδευσιτικές λάβες και πυροκλαστικά:** Εμφανίζονται στο χείλος του ΒΑ και ΝΔ τμήματος της καλδέρας καθώς και στα Β-ΒΑ και Ν πρηνή του ηφαιστείου. Πρόκειται για ηφαιστειακή δραστηριότητα που τροφοδοτείται από βασικά ανδευσιτικά (Πιν.1,10a) και ανδευσιτικά (Πιν.1,10b) μάγματα πλούσια σε αέρια. Τα προϊόντα των νοτίων πρηνών είναι κυρίως ρεύματα λάβας (4 ρεύματα πάχους από 0,3-3m το καθένα) και λιθάρια κόκκινων και μαύρων σκωριών πτώσης (4 οριζόντες πάχους 1-3m ο καθένας). Εμφανίζονται 2 οριζόντες ξηρών μεγακυματικών αποθέσεων, πάχους 1-3m.

Στα Β-ΒΑ πρηνή τα κατώτερα μέλη της σειράς είναι κυρίως ρεύματα λάβας. Τα ανώτερα μέλη είναι υδροκλαστικές αποθέσεις αποτελούμενες κυρίως από ένα ανοικτό γκρι τόφο με χαρακτηριστική παρουσία σκούρων οφιανικών (Σαμψών,1988) ανδευσιτικής σύστασης (Πιν.1,10c) τεμαχών απότομα ψυγμένου μάγματος, διαμέτρου 5-30cm. Το πάχος της σειράς ξεπερνά σε ορισμένα σημεία τα 40m.

Μεταξύ των Ανώτερων ανδευσιτικών λαβών και πυροκλαστικών και της υποκείμενης σειράς της Π. Κυράς υπάρχει μια εμφανής ασυμφωνία που οφείλεται στη διάβρωση των πυροκλαστικών της Π. Κυράς πριν την απόθεση του υπερκείμενου σχηματισμού.

11) **Ανώτερες δακτιτικές λάβες:** Πρόκειται για θόλους και παχειά ρεύματα ανοικτής γκρι δακτιτικής (Πιν.1,11) λάβας που εμφανίζεται στο χείλος της βόρειας πλευράς της καλδέρας καθώς και στα βόρεια πρηνή του ηφαιστείου. Παρατηρούνται εγκλείσματα ανδευσιτικής σύστασης (1-3%). Το μέγιστο πάχος τους φτάνει τα 80-90m στους θόλους του Εμπορείου και του Αγ. Ιωάννη.

12) **Λατύπες κατάρρευσης θόλων (dome collapse breccias):** Εμφανίζονται στο ΒΔ χείλος της καλδέρας καθώς και στα ΒΔ και Β πρηνή του ηφαιστείου. Πρόκειται για μονογενικές ηφαιστειακές λατύπες που αποτίθενται με μηχανισμούς ροής πυρακτωμένων στοιβάδων (hot avalanches) λόγω της κατάρρευσης μέρους των θόλων των Ανώτερων δακτιτικών λαβών.

Στη βάση του σχηματισμού παρατηρείται σε ορισμένα σημεία οριζόντες πτώσης λιθαριών και τεμαχών δακτιτικής λάβας με συνολική διαβάθμιση, πάχους από 0,3 έως 1m. Ακολουθούν πολυάριθμες (7-10) ενότητες ροής που αποτελούνται από γωνιώδη ως ελαφρά στρογγυλωμένα τεμάχια δακτιτικής λάβας (Πιν.1,12) διαμέτρου από 5cm έως 5m με επικρατούντα τα τεμάχια 15-20cm. Το ενδιάμεσο λεπτόκοκκο υλικό προέρχεται από την τριβή των τεμαχών κατά τη ροή. Στην οροφή κάθε ενότητας ροής παρατηρείται ένας οριζόντας στάχτης προερχόμενος από την απόθεση του πυροκλαστικού νέφους που τη συνοδεύει. Το πάχος κάθε ενότητας ροής κυμαίνεται από 1 έως 5m. Το μέγιστο συνολικό πάχος του σχηματισμού είναι περίπου 20m. Ελάχιστοι ξενόλιθοι παλαιότερων λαβών εμφανίζονται κυρίως στις κατώτερες ενότητες ροής ενώ σε ορισμένους οριζόντες αφανούν εγκλείσματα ανδευσιτικού μάγματος.

13) **Κατώτερη κίσηρη:** Εμφανίζεται στα νότια πρηνή και στο βόρειο ήμισυ των πρηνών του ηφαιστείου. Μια μικρή εμφάνιση εντοπίζεται στο εσωτερικό ΝΑ πρηνές της καλδέρας κάτω από τα Νικιά, ενδιαστρωμένη μεταξύ των μέσων βασικών πυροκλαστικών και των ρουλιθικών λαβών των Νικιών. Πρόκειται για ένα στρώμα λευκής ρουλιθικής (Πιν.1,13a) κίσηρης μέγιστου πάχους 15m, αποτελούμενο κυρίως από λιθάρια και τεμάχια μέσης διαμέτρου 5-10cm. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία λιθαριών και τεμαχών (διαμέτρου ως και 3m) ξενόλιθων που στη μεγάλη τους πλειοψηφία είναι σκαρν και

υδροθερμικά εξαλλοιωμένες λάβες. Τα χαρακτηριστικά των δομών εναπόθεσης συνηγορούν για μια φρεατοπλινιακή έκρηξη που αποθέτει την κίσηρη με μηχανισμούς πτώσης και ροής. Ο πόρος εξόδου θα πρέπει να βρισκόταν κοντά στο σημερινό καλδερικό χείλος της νότιας πλευράς του ηφαιστείου: εκεί παρατηρείται απόθεση τεμαχών κίσηρης πτώσης και λιθικών μεγαλύτερης διαμέτρου από ότι στον υπόλοιπο σχηματισμό, δεν παρατηρούνται δομές στρώσης, ταξινόμιση ή διαβάθμιση των θραυσμάτων ενώ παρατηρείται το υψηλότερο ποσοστό λιθικών. Τα στοιχεία αυτά είναι χαρακτηριστικά γοργής απόθεσης κοντά στον πόρο εξόδου. Αντίθετα οι απόθέσεις του βόρειου τμήματος παρουσιάζουν δομές απόθεσης απομακρυσμένων από τον πόρο εξόδου φάσεων: μικρότερες διαμέτρους τεμαχών και λιθαριών κίσηρης, στρώση και ανάστροφη διαβάθμιση, πολύ μικρότερο ποσοστό λιθικών και γενικότερα μικρότερα πάχη του σχηματισμού.

Στη βάση του σχηματισμού παρατηρείται ένας ορίζοντας ροζ στάχτης πάχους 2-4cm. Στα ανώτερα μέλη του, σε λίγες εμφανίσεις στα Α και ΒΔ πρηνή παρατηρούνται ορισμένοι ορίζοντες υγρών μεγακυματικών αποθέσεων, με χαρακτηριστικές δομές διασταυρούμενης στρώσης, υγρής ροής και παρουσία λιθαριών επικάθησης (accretionary lapilli). Το πάχος τους κυμαίνεται από 0,5 έως 2m.

Εκτός από τα θραύσματα ρουλιθικής κίσηρης εντοπίζεται ένα χαμηλό ποσοστό (1-2%) θραυσμάτων βασικού ανδεσιτικού μάγματος (Πιν.1,13b) με κοκκώδη υφή.

14) *Επαναποθεμένη κατώτερη κίσηρη*: Η κατώτερη κίσηρη αμέσως μετά την απόθεσή της υπόκειται σε έντονη διάβρωση που επαναποθέτει μεγάλο μέρος του σχηματισμού. Εντονότερο παρδουσιάζεται το φαινόμενο στα ΒΔ πρηνή όπου έχουν παραμείνει in situ ελάχιστες εμφανίσεις των αρχικών αποθέσεων. Ο σχηματισμός αποτελείται κυρίως από λεπτόκοκκο υλικό, προερχόμενο από θραύσματα κίσηρης, μέσα στο οποίο βρίσκονται λιθάκια και τεμάχια στρογγυλωμένης κίσηρης και λάβας σε ποσοστά και μεγέθη που ποικίλουν έντονα ανάλογα με το βαθμό διάβρωσης, την απόσταση μεταφοράς, την τοπογραφική θέση κ.λ.π. Γενικά παρουσιάζει άστρωτη χαστική δομή. Διακρίνονται διάφορες ενόχτες ενώ σε ορισμένες θέσεις (κύρια στην περιοχή Αυλακιού) παρουσιάζει μεγάλα πάχη (έως 40m) και εμφανή στρώση.

Στην οροφή του σχηματισμού αναπτύσσεται παλαιοέδαφος με μέγιστο πάχος 1m. Αυτό το παλαιοέδαφος αποτελεί χαρακτηριστικό διαχωριστικό ορίζοντα μεταξύ Κατώτερης και Ανώτερης κίσηρης στα βόρεια πρηνή του ηφαιστείου.

15) *Ρυδλίθος Νικιών*: Εμφανίζεται στα ΝΑ πρηνή της καλδέρας σαν χαρακτηριστικός λαιμός λάβας, στα ΝΑ χείλη της καλδέρας και αποτελεί όλο το ΝΑ πρηνές του ηφαιστείου. Πρόκειται για εκχυτική - εξωθητική δραστηριότητα που τροφοδοτείται από ρουλιθικό μάγμα (Πιν.1,15) (ίδια σύστασης με αυτό της κατώτερης κίσηρης και έπειτα της απόθεσής της. Παρατηρούνται μικροί όδοι στα χείλη της καλδέρας και μεγάλου πάχους και μήκους ρεύματα περλιτικής λάβας που φτάνουν ως την ακτή με θεαματικές δομές ροής (πτυχές, ελασματοειδή διαχωρισμό). Χαρακτηριστική είναι η κατά τόπους παρουσία εγκλεισμάτων ανδεσιτικού μάγματος διαμέτρου ως και 1,5m.

Στη βάση των λαβών, στην περιοχή Αυλακιού, παρατηρείται ένας ορίζοντας πτώσης λιθαριών και τεμαχών λίγο φυσαλιδοποιημένου (vesiculated) οφιανικού περλίτη, πάχους 1m, που αντιπροσωπεύει αρχική εκρηκτική δραστηριότητα η οποία τροφοδοτείται από τα πλουσιότερα σε αέρια ανώτερα στρώματα του ίδιου ρουλιθικού μάγματος.

16) *Ανώτερη κίσηρη*: Εμφανίζεται κυρίως στα βόρεια πρηνή του ηφαιστείου όπου αναπτύσσεται ολόκληρος ο σχηματισμός. Μικρότερες εμφανίσεις υπάρχουν στα ΝΔ πρηνή, πάνω στον ρυδλίθο των Νικιών. Μια μικρή εμφάνιση επαναποθεμένης κίσηρης εντοπίζεται στον όρμο Λευκού, κήφιακή Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκης τμήμα Ρεωλογίας, Α.Π.Θ.

Πρόκειται για θραύσματα λευκής ρυολιθικής (Πιν.1,16a) κίσηρης που αποτελείται από μια φρεατοπλινιακή έκρηξη με μηχανισμούς πτώσης, μεγακυματισμού και ροής. Η βάση του σχηματισμού αποτελείται από ένα χονδρόκοκκο στρώμα κίσηρης πτώσης, λιθαριών και τεμαχών (μέσης διαμέτρου 15-20cm) με μικρό ποσοστό στάχτης, μέγιστο πάχους 8m, ελαφρά στρωμένο έως άστρωτο. Πάχη έως 40m, μη αντιπροσωπευτικά αυτού του ορίζοντα, καταγράφονται στο λατομείο κίσηρης, ΝΔ των Πάλων και οφείλονται στην πλήρωση μιας παλαιοκοιλιάδας από κίσηρη που κατολισθαίνει σε αυτήν μετά την αρχική πτώση στα απότομα πρανή της. Τα ανώτερα μέλη του σχηματισμού αποτελούνται από έντονα θρυμματοποιημένο μάγμα που αποτελείται σαν στάχτη κίσηρης με μηχανισμούς μεγακυματισμού και ροής. Δομές διασταυρούμενης στρώσης, θινών και αντιθινών, έντονα στρογγυλωμένων κατά τη ροή λιθαριών κίσηρης, οριζόντες χαοτικής άστρωτης ροής στάχτης (massive ash flow), χαρακτηρίζουν αυτό το μέρος του σχηματισμού. Στις ανώτερες ενότητες ροής παρατηρείται η ύπαρξη οριζόντων συγκέντρωσης (έως και 95%) λιθαριών και τεμαχών ξενολίθων που προέρχονται από τον γεωθερμικό ταμειυτήρα (σακάρν και υδροθεμικά εξαλλοιωμένοι ηφαιστίτες) που διάτρησε η βαθειά γεώτρηση NIS-1 (Geotermica It., 1983). Πρόκειται για λατύπες επιβράδυνσης (lag breccias) που αποτελείται από τις ροές που τις μεταφέρουν όταν η κινητική ενέργεια των ροών ελαττωθεί πέραν ενός κρίσιμου ορίου (Wright & Walker, 1977; 1981). Οι οριζόντες ροής και μεγακυματικών αποθέσεων εμφανίζονται κυρίως στο Β-ΒΑ τμήμα των πρανών του ηφαιστείου. Ο μηχανισμός απόθεσής τους κάνει την κατανομή και το πάχος τους έντονα ελεγχόμενα από το τοπογραφικό ανάγλυφο. Το μέγιστο πάχος τους φτάνει τα 60m σε μια ΒΑ διεύθυνσης παλαιοκοιλιάδα, νότια του ακρωτηρίου Κατσούνι.

Εκτός από τα θραύσματα ρυολιθικής κίσηρης παρατηρούνται θραύσματα ανδεσιτικού μάγματος (Πιν.1,16b) κοκκώδους υφής σε ποσοστό 4-5% καθώς και θραύσματα κίσηρης με εναλλαγές στρωμάτων ρυολιθικού και ανδεσιτικού μαγματικού υλικού.

Ο πόρος εξόδου θα πρέπει να βρισκόταν κοντά στο Εμπορειό καθώς σε αυτή την περιοχή εμφανίζονται τα μέγιστα πάχη του οριζόντα πτώσης καθώς και οι μέγιστες διαμέτροι τεμαχών κίσηρης.

17) *Μετακαλδερικοί ρυολιθικοί - δακτινικοί θόλοι*: Πρόκειται για έξι μεγάλους και δύο μικρούς θόλους καθώς και προερχόμενα από αυτούς ρεύματα ανοικτής γκρι περιλιθικής λάβας. Πληρούν το δυτικό ήμισυ του καλδερικού βυθίσματος και αποτελούν το ΝΔ τμήμα του ηφαιστείου. Η παρουσία απότομων σφηνών και σκωριών στην επιφάνεια, η έλλειψη κάλυψης από εδάφη και τα λιγότερα πλευρικά κομήματα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι θόλοι και τα ρεύματα λάβας του Μποριάτικου (ΒΑ) και του Καραβιώτη (ΝΔ) είναι τα νεώτερα ηφαιστειακά προϊόντα της Νισύρου.

Χαρακτηριστική είναι η παρουσία μεγάλου ποσοστού εγκλεισμάτων ανδεσιτικού (Πιν.1,17c) μαγματικού υλικού (έως και 15%), με μέγεθος που ποικίλει από μικροσκοπικό έως και 0,5m. Το ποσοστό των εγκλεισμάτων αυξάνει αντίστροφα με την ηλικία των θόλων (Gansschi, 1991). Αυτό επηρεάζει άμεσα τη χημική σύσταση του ολικού πετρώματος και η χημική σύσταση των λαβών κυμαίνεται από ρυολιθική έως δακτινική (Πιν.1,17a,17b).

18) *Ανώτερη κίσηρη Γυαλιού*: Συναντάται σε τρεις μικρές έκτασης εμφανίσεις στα ΒΔ και ΒΑ πρανή του ηφαιστείου και μία στο βόρειο πρανή της καλδέρας. Πρόκειται για ένα στρώμα αφυρικής δακτινικής (Πιν.1,18) κίσηρης πτώσης με χαρακτηριστικά λίγο φυσαλιδοποιημένα γωνιώδη λιθάρια, μέσης διαμέτρου 2-3cm και λίγη στάχτη. Χαρακτηριστική επίσης η παρουσία δύο χρωματικών αποχρώσεων κίσηρης (ανοικτή γκρι 70% και τεφρή 30%) καθώς και θραυσμάτων οφιανού. Τα πάχη των εμφανίσεων δεν υπερβαίνουν τα δύο μέτρα. Η εμφάνιση στα

εσωτερικά πρηνή της καλδέρας παρουσιάζει έντονη στρώση και αναστροφή διαβάθμιση λόγω βαρυτικής κοκκομετρικής ταξινομησης από την ολίσθηση στα απότομα πρηνή. Οι αποθέσεις αυτές δεν προέρχονται από ηφαιστειακό κέντρο της Νισύρου. Πετρογραφικά, χημικά και ηφαιστειολογικά μπορούν να ταυτιστούν με το ανώτερο στρώμα κίσηρης που εμφανίζεται στη νησίδα Γυαλί, ΒΔ της Νισύρου.

19) *Ενδοκαλδερικές αποθέσεις:* Πρόκειται για λεπτόκοκκα, αργιλικά κυρίως υλικά που έχουν αποθεθεί στο ανατολικό ήμισι του καλδερικού βυθίσματος σχηματίζοντας μια επίπεδη επιφάνεια, το Λακκί. Τα μέγιστα πάχη φτάνουν τα 50-60m. Προέρχονται από την αποσάρθρωση των ηφαιστιτών που είναι έντονη λόγω της ατμιδικής δραστηριότητας καθώς και από λασποροές και εκτίναξη λάσπης κατά τις πολυάριθμες φρεατικές εκρήξεις. Συναντώνται επίσης ορίζοντες λιμναίων ιζημάτων με διατομίτες, άργιλων με απανθρακωμένη βλάστηση κ.λ.π.

20) *Κορήματα και παράκτιες αποθέσεις:* Οι κυριότερες εμφανίσεις κορημάτων εντοπίζονται στα ανατολικά πρηνή της καλδέρας καθώς και στα ανατολικά και νότια πρηνή του ηφαιστείου. Πρόκειται για συσσώρευση γωνιωδών τεμαχών λαβών με αρκετό λεπτομερές υλικό. Στα πρηνή της καλδέρας αλλά και κατά μήκος των κύριων τεκτονικών γραμμών παρατηρούνται τεκτονικά λατυποπαγή.

Οι παράκτιες αποθέσεις (κροκάλες, άμμος και ιλύς) έχουν περιορισμένη ανάπτυξη. Εμφανίζονται κυρίως στη βόρεια (Πάλιοι) και την ανατολική (Λιγιές) ακτή.

ΗΛΙΚΙΑ ΤΩΝ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΝΙΣΥΡΟΥ

Η συσσώρευση πολλών ραδιοχρονολογήσεων λαβών και χρονολογήσεων οριζόντων ηφαιστειακής στάχτης σε ιζήματα βαθείας θάλασσας καθιστά προβληματικό το συσχετισμό τους και δεν επιτρέπει την εξαγωγή μονοσήμαντων συμπερασμάτων για την ακριβή ηλικία των διάφορων ηφαιστειακών σχηματισμών.

Η πρώτη ραδιοχρονολόγηση K-Ar στην περιοχή (Fytikas et al., 1976) έδωσε μια ηλικία 0,2 Ma για τις μεσαίες ρυοδακτιτικές λάβες. Μια χρονολόγηση με ¹⁴C σε άνθρακα που περιείχαν οι μεγακυματικές αποθέσεις της ανώτερης κίσηρης (Limburg & Vareskamp, 1990) έδωσε ηλικία >44 Ka ενώ χρονολόγηση με ίχνη σχάσης (fission tracks) στο γυαλί της ίδιας κίσηρης έδωσε 114 Ka (Vougioukalakis, 1984). Η χρονολόγηση με ίχνη σχάσης σε οψιανούς του Γυαλιού - μικρότερης ηλικίας λάβες από την ανώτερη κίσηρη Γυαλιού - έδωσε ηλικία 24 Ka (Wagner et al., 1976). Οι χρονολογήσεις οριζόντων στάχτης σε ιζήματα βαθείας θάλασσας έχουν δώσει ηλικίες 31 Ka για την ανώτερη κίσηρη Γυαλιού (Federman & Carey, 1980) και 24 Ka για την ανώτερη κίσηρη Νισύρου (Vinci, 1985). Οι ηλικίες αυτές είναι περίπου συμβατές (εκτός από την τελευταία) και ορίζουν μια ηλικία του ηφαιστείου της Νισύρου μεταξύ 300 και 20 Ka.

Μια άλλη σειρά ραδιοχρονολογήσεων K-Ar προσδιορίζει ηλικίες μεταξύ 66-38Ka για τις μεσαίες ρυοδακτιτικές λάβες και 24 Ka για τις ανώτερες ανδραιοιτικές λάβες και πυροκλαστικά (Keller et al., 1989; 1991). Επίσης θεωρούν το σύνολο των χερσαίων ηφαιστειακών προϊόντων της Νισύρου ηλικίας <145 Ka θεωρώντας τα σαν νεώτερα της απόθεσης του μη συγκολλημένου ιγνιμβρίτη της Κω. Μια τέτοια θεώρηση ορίζει την ηλικία των χερσαίων ηφαιστιτών της Νισύρου μεταξύ 150 και 10Ka.

Όποιοδήποτε απαιτούνται περισσότερα στοιχεία για να οριστεί επακριβώς η ηλικία των ηφαιστειακών σχηματισμών της Νισύρου.

ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΛΟΓΙΚΕΣ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Τα κυριώτερα ηφαιστειολογικά δομικά στοιχεία και οι τεκτονικές γραμμές, όπως αποτυπώθηκαν από την εργασία στην ύπαιθρο και τη φωτογεωλογική παρατήρηση, έχουν μεταφερθεί στην εικόνα 3.

Το κυριώτερο ηφαιστειακό δομικό στοιχείο είναι η ύπαρξη του καλδερικού βυθίσματος. Η δημιουργία του προϋποθέτει την ύπαρξη εφελκυστικού πεδίου στην περιοχή που επιτρέπει στα ανδρειατικά μάγματα να αποθηκευτούν σε ρηχούς μαγματικούς θαλάμους (βάθος <10 Km) για χρόνο ικανό ώστε να διαφοροποιηθούν σε ρυολιθικά μάγματα (χρόνος → 10 Ka).

Η ύπαρξη δύο κύριων συστημάτων ρηγμάτων BA-NA και ΒΔ-NA διεύθυνσης είναι εμφανής και έχει επισημανθεί από πολλούς προηγούμενους ερευνητές. Τα ρήγματα αυτά με κλίσεις μεταξύ 70° - 80° δημιουργούν αρκετά υψηλά και χαμηλά τεκτονικά και προκαλούν μεταπτώσεις ιδιαίτερα εμφανείς στο καλδερικό χείλος, της τάξης των 120m (BA-NA διεύθυνση, περιοχή Κόκκινος Μύλος) ως 150m (ΒΔ-NA διεύθυνση, περιοχή Αγίος Βασίλειος).

Εκτός από τα δύο κύρια παραπάνω συστήματα, εμφανίζεται ένα σύστημα ρηγμάτων με διεύθυνση περίπου Α-Δ (Β60° έως Β110°), διεύθυνση που παρουσιάζει πολύ ενδιαφέροντα ηφαιστειολογικά χαρακτηριστικά: Κατα μήκος αυτής της διεύθυνσης βρισκονται προσανατολισμένες όλες οι φλέβες τροφοδοσίας, διατάσσονται οι λαιμοί τροφοδοσίας στα βόρεια πρηνή της καλδέρας, ευθυγραμμίζονται οι ιστορικές φρεατικές εκρήξεις και η πλειοψηφία των ατμίδων. Φαίνεται επίσης οι φλέβες τροφοδοσίας των μετακαλδερικών θόλων να ακολουθούν την ίδια διεύθυνση.

Από τις παραπάνω παρατηρήσεις μπορούμε να υποθέσουμε την ύπαρξη στην περιοχή Νισύρου ενός εκτατικού πεδίου με διεύθυνση από Β-N έως ΒΔ-NA. Ένα τέτοιο πεδίο θα μπορούσε να δημιουργήσει τα δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων και θα επέτρεπε στο μαγματικό υλικό να ανέλθει κατά μήκος φλεβών τροφοδοσίας με διεύθυνση Α-Δ έως Β60°, κάθετη δηλαδή στην ελάχιστη κύρια τάση (σ_{min}) (Nakamura, 1977). Η παραπάνω υπόθεση επιβεβαιώνεται από τη μελέτη των κινηματικών χαρακτηριστικών των ρηγμάτων (Simeakis & Vougioukalakis, 1991) και από γεωφυσικές (MT) έρευνες στην περιοχή (Τζανής, Α., προσ. επικοινωνία).

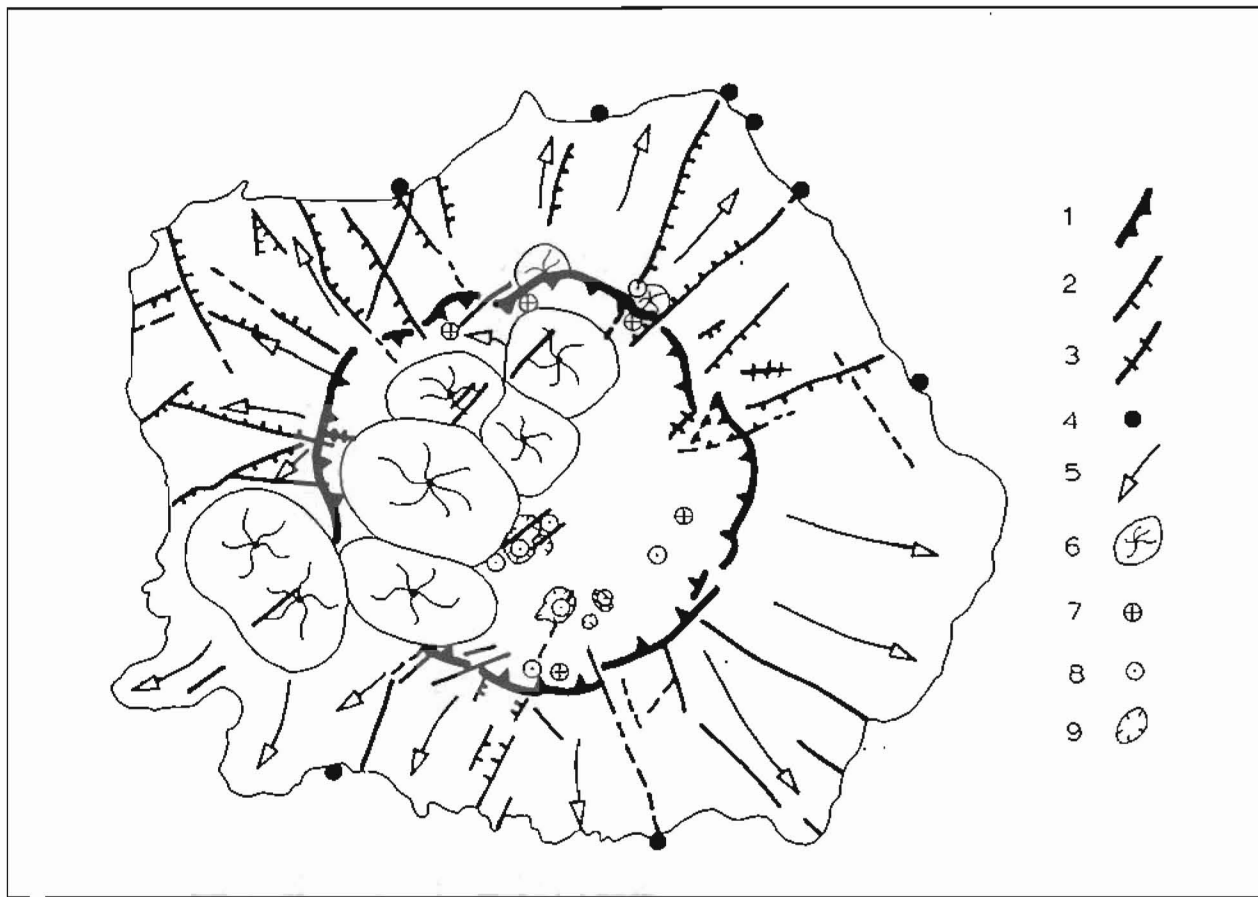
Η συνεκτίμηση των μορφοτεκτονικών και ηφαιστειολογικών στοιχείων (σημερινό ύψος εμφάνισης σχηματισμών, τεκτονική μετάπτωση, διευθύνσεις ρών λάβας, διευθύνσεις και φάσεις απόθεσης πυροκλαστικών) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν υπήρξε ποτέ ένας κεντρικός ηφαιστειακός κώνος με ένα πόρο εξόδου αλλά περισσότερα κέντρα εξόδου και ένα σχετικά περίπλοκο τοπογραφικό ανάγλυφο που έτεινε στη μορφή ενός κώνου.

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟΥ ΟΙΚΟΔΟΜΗΜΑΤΟΣ ΝΙΣΥΡΟΥ

Με βάση όλα τα παραπάνω στοιχεία, η ηφαιστειακή δραστηριότητα στη Νίσυρο μπορεί να χωριστεί σε δύο ηφαιστειακούς κύκλους (Εικ. 2 & 5):

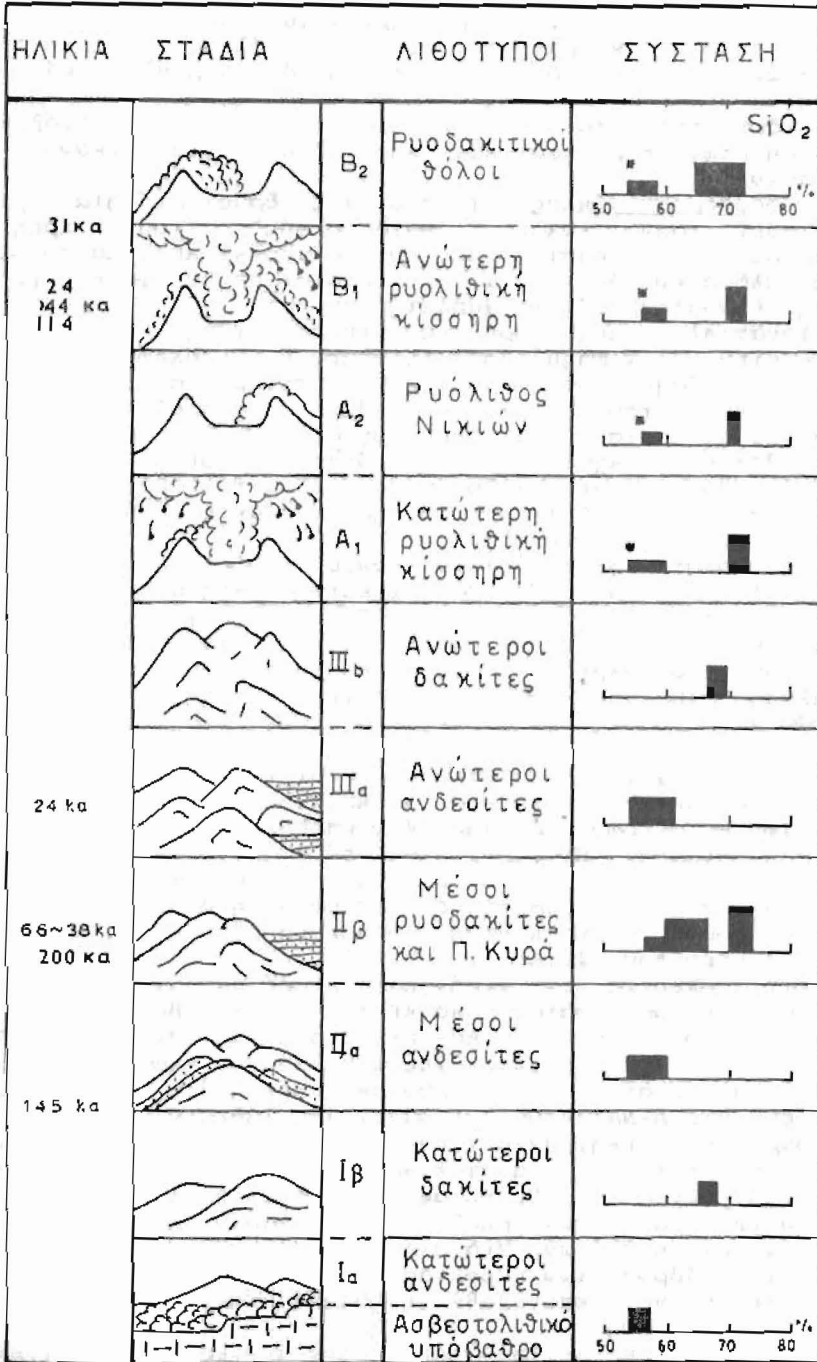
- Ο πρώτος κύκλος μπορεί να χαρακτηριστεί σαν κύκλος δημιουργίας του ηφαιστειακού οικοδομήματος. Συνίσταται σε τρεις φάσεις (I, II, και III) με τα εξής κύρια επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά:

1) Εκχυτική ή υδρομαγματική εκρηκτική δραστηριότητα που τροφοδοτείται από βασικά ανδρειατικά και ανδρειατικά μάγματα. Αποθέτει ρεύματα λάβας και στρώματα σκωριών πτώσης και μεγακυματισμού.



Εικ. 3. Κύρια ηφαιστειοτεκτονικά δομικά στοιχεία Νισύρου: 1. Όριο καλδερικού βυθίσματος, 2. Ρήγματα, 3. Φλέβες τροφοδοσίας, 4. Θερμές πηγές, 5. Διευθύνσεις ρευμάτων λάβας, 6. Θόλοι, 7. Λαιμοί τροφοδοσίας, 8. Ατμίδες, 9. Κρατήρες φρεατικών εκρήξεων.

Fig. 3. Main volcanotectonic structural elements of Nisyros: 1. Rim of caldera collapse, 2. Faults, 3. Dykes, 4. Hot springs, 5. Lava flow direction, 6. Domes, 7. Necks, 8. Fumaroles, 9. Phreatic explosion craters.



Εικ. 4. Σχηματική αναπαράσταση της ηφαιστειακής εξέλιξης της Νιούρου.
*Σύσταση βασικού μάγματος μίξης

Fig. 4. Schematic reconstruction of the volcanic evolution of Nisyros.
*Composition of mafic magmas of mixing

2) Εξωθητική - εκχυτική δραστηριότητα που τροφοδοτείται από δακτιτικά - ρυοδακτιτικά μάγματα. Οικοδομεί θόλους και παχειά ρεύματα λάβας καθώς και συνδεδεμένα με αυτά πυροκλαστικά (ζεστές στοιβάδες).

3) Στάση της ηφαιστειακής δραστηριότητας με διάβρωση και επαναπόθεση των πυροκλαστικών και δημιουργία ικανού πάχους παλαιοεδαφών.

- Ο δεύτερος κύκλος ηφαιστειακής δραστηριότητας μπορεί να χαρακτηριστεί σαν κύκλος "καταστροφής" του προηγούμενου ηφαιστειακού οικοδομήματος με έντονα εκρηκτική δραστηριότητα και πρόκληση καλδερικών βυθισμάτων. Συνίσταται σε δύο φάσεις (Α και Β) με τα εξής επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά:

1) Φρεατοπλινιανικές εκρήξεις μικρής έντασης - μικρού μεγέθους (low intensity - low magnitude) (Limburg & Varekamp, 1990) που με μηχανισμούς πτώσης, ροής και μεγακυματισμού αποθέτουν ρυολιθική κίσηρη. Η κένωση του μαγματικού θαλάμου προκαλεί κατάρρευση των υπερκείμενων σχηματισμών και δημιουργία καλδερικού βυθίσματος.

2) Εξωθητική - εκχυτική δραστηριότητα που οικοδομεί ρυολιθικούς - δακτιτικούς θόλους και μεγάλου πάχους ρεύματα λάβας.

Επιγραμματικά, η εξέλιξη του ηφαιστειακού οικοδομήματος της Νισύρου έχει ως εξής (Εικ. 5):

1. Κύκλος κατασκευής του ηφαιστειακού οικοδομήματος.

Φάση I: Στο ανώτερο Πλειστόκαινο εκδηλώνεται ηφαιστειακή δραστηριότητα στην περιοχή Νισύρου. Τα πρώτα ηφαιστειακά προϊόντα (υποθαλάσσιες λάβες και πυροκλαστικά) αποτίθενται πάνω σε ασβεστόλιθους του Μάλμιου (κάλυμμα Λυκίας;) που καλύπτονται από ρηχή θάλασσα. Η θερμική αναθόλωση της περιοχής, η συσσώρευση των ηφαιστιτών και πιθανές τεκτονικές-ευστατικές κινήσεις αναδύουν την περιοχή εκδήλωσης της ηφαιστειακής δραστηριότητας η οποία συνεχίζεται ως εκχυτική (κατώτερα ανδρσιτικά ρεύματα λάβας) και αργότερα ως εκρηκτική (κατώτερα βασικά πυροκλαστικά). Οι μηχανισμοί απόθεσης των κατώτερων πυροκλαστικών υποδηλώνουν την ύπαρξη ρηχής θάλασσας ή λίμνης. Η φάση ολοκληρώνεται με την εξώθηση των κατώτερων δακτιτικών λαβών στο ΒΑ τμήμα του ηφαιστείου. Επεται στάση της ηφαιστειακής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της οποίας η διάβρωση τροφοδοτεί την απόθεση του κύριου μέρους του κροκαλοπαγούς του Κάστρου (περίπου 145 Ka;).

Φάση II: Κυρίως εκχυτική και ελαφρά εκρηκτική δραστηριότητα αποθέτει από διάφορα ηφαιστειακά κέντρα (Αγ. Βασίλειος, Βουνάρι κ.λ.π.) τα μεσαία ανδρσιτικά ρεύματα λάβας και τα μεσαία βασικά πυροκλαστικά. Στις νότιες περιοχές εκδηλώνεται εξωθητική - εκχυτική δραστηριότητα που αποθέτει τις ρυοδακτιτικές λάβες του Αυλακιού (200 ή 66 Ka) ενώ στα Α-ΝΑ εκχύνονται δακτιτικές λάβες (38 Ka). Ακολουθεί μια έντονα εκρηκτική, μαγματική-φρεατομαγματική δραστηριότητα, με πόρο εξόδου κοντά στα ανατολικά πρηνή, που αποθέτει την πυροκλαστική σειρά της Π. Κυράς. Η φάση αυτή ολοκληρώνεται με την έκχυση στα ΒΑ πρηνή των ρυοδακτιτικών λαβών με μεγάλο ποσοστό ανδρσιτικών εγκλεισμάτων. Μια στάση στην ηφαιστειακή δραστηριότητα επιτρέπει τη διάβρωση των πυροκλαστικών της Π. Κυράς από τα πρηνή του ηφαιστείου και επαναποθέτει αυτολατυποποιημένες ρυοδακτιτικές λάβες στα νότια πρηνή.

Φάση III: Αρχίζει με την απόθεση των ανώτερων ανδρσιτικών λαβών και πυροκλαστικών: Από κέντρα που βρίσκονται στο ΝΔ και ΒΑ τμήμα του νησιού αποτίθενται, αρχικά με εκχυτική - ελαφρά εκρηκτική δραστηριότητα, ρεύματα λάβας και στρώματα πυροκλαστικών (24 Ka). Στον ΒΑ τομέα το άνοιγμα ενός πόρου εξόδου του ανδρσιτικού μάγματος μέσα σε μια μικρή λίμνη έχει σαν αποτέλεσμα την απόθεση της ανώτερης μεγάλου πάχους σειράς υδροκλαστικών τόφων. Ακολουθεί η εξώθηση των δακτιτικών λαβών στο βόρειο τμήμα (θόλοι Εμπορείου) και

η τροφοδότηση από μερική κατάρρευση τους ζεστών στοιβάδων που αποθέτουν τις λατύπες κατάρρευσης θόλων. Ένα μεγάλο διάστημα στάσης της ηφαιστειακής δραστηριότητας προκαλεί διάβρωση κυρίως των πυροκλαστικών σχηματισμών και επαναπόθεσή τους.

2. Κύκλος έντονα εκρηκτικής δραστηριότητας και καλδερικά βυθίσματα

Φάση Α: Εκδηλώνεται έντονα εκρηκτική φρεατοπλινιακή δραστηριότητα από ένα πόρο εξόδου κοντά στην περιοχή που βρίσκεται το νότιο χείλος του σημερινού καλδερικού βυθίσματος. Δημιουργεί μια πυροκλαστική στήλη ύψους 13-15 Km και εκτινάσσει 2-3 Km³ μάγματος που αποθέτει την κατώτερη ρυολιθική κίσηρη με μηχανισμούς πτώσης, ροής και μετακυματισμού (Limburg & Varekamp, 1990). Για τη δημιουργία καλδερικού βυθίσματος δεν υπάρχουν σίγουρα στοιχεία υπαίθρου. Οι μόνες ενδείξεις είναι οι κλίσεις της βάσης του ρυόλιθου των Νικιών που σε ορισμένα σημεία βυθίζεται ελαφρά προς τα ΒΔ. Υποθέτουμε όμως την ύπαρξη της καλδέρας από το μέγεθος της έκρηξης και από τον όγκο του σημερινού καλδερικού βυθίσματος: Ο όγκος αυτός υπολογίζεται σε 6-7 Km³ (Vougioukalakis, 1984; Limburg & Varekamp, 1990). Ο όγκος του μάγματος που εκτίναξε η δεύτερη έκρηξη, αυτή που απέθεσε την ανώτερη κίσηρη, υπολογίζεται ίσος με αυτόν της πρώτης (2-3 Km³) και από μόνος του δεν είναι ικανός να καλύψει το συνολικό όγκο της καλδέρας. Εάν όμως συνυπολογίσουμε στον όγκο αυτό την ύπαρξη του πρώτου καλδερικού βυθίσματος τότε δεν προκύπτει πρόβλημα. Μετά τη φρεατομαγματική έκρηξη ακολουθεί ένα μικρό διάστημα καύσης της ηφαιστειακής δραστηριότητας που επιτρέπει τη γοργή διάβρωση μέρους της κατώτερης κίσηρης και την επαναπόθεσή της. Εξωθητική και εκχυτική δραστηριότητα που εκδηλώνεται κατόπιν στα ανατολικά πρηνή του καλδερικού βυθίσματος αποθέτει τους ρυολίθους των Νικιών.

Φάση Β: Εκδηλώνεται νέα έντονα εκρηκτική φρεατοπλινιακή δραστηριότητα, αυτή τη φορά από ένα πόρο εξόδου κοντά στο βόρειο χείλος του σημερινού καλδερικού βυθίσματος. Εναποθέτει την ανώτερη κίσηρη (114 Ka; >44 Ka; 24 Ka;) με ύψος εκρηκτικής στήλης και όγκο εκτινασσόμενου μάγματος (σα με αυτά της κατώτερης κίσηρης (Limburg & Varekamp, 1990). Διαμορφώνεται το καλδερικό βύθισμα στη σημερινή του μορφή. Ακολουθεί μικρή στάση στην ηφαιστειακή δραστηριότητα που επιτρέπει επαναπόθεση της ανώτερης κίσηρης σε ορισμένα σημεία. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα στη Νίσυρο κλείνει με την εξώθηση των ρυολιθικών - δακτινικών θόλων που πληρούν το δυτικό ήμισυ του καλδερικού βυθίσματος και μέρος των ΝΔ πρηνών. Πριν από την εξώθηση των θόλων αποτίθεται η ανώτερη κίσηρη Γυαλιού (31 Ka).

Μετά την εξώθηση των θόλων δεν εκδηλώνεται ηφαιστειακή δραστηριότητα στη Νίσυρο. Όλες οι ιστορικές εκρήξεις που αναφέρονται είναι φρεατικές εκρήξεις (διακρίνονται οι κρατήρες 12 τουλάχιστον τέτοιων εκρήξεων) που προκαλούνται από την ανατίναξη των αρχιλοποιημένων ενδοκαλδερικών αποθέσεων από το υπερθερμο ($t > 360^{\circ}\text{C}$) γεωθερμικό ρευστό. Ιστορικές φρεατικές εκρήξεις έχουν καταγραφεί από το 1422 έως το 1888 (Lacroix, 1853; Gorceix, 1873; 1874; Georgalas, 1962; Principe, 1989).

Με βάση τις υπάρχουσες ραδιοχρονολογήσεις και παίρνοντας υπόψη μια σειρά μορφολογικές παρατηρήσεις (βαθμός διάβρωσης, πάχη παλαιοεδαφών κ.λ.π.) αλλά και πετρολογικές παραμέτρους (αναγκαίος χρόνος για τη διαφοροποίηση του μάγματος) υπολογίζεται ότι η απόθεση των προϊόντων κάθε φάσης διήρκεσε περίπου ίσο χρονικό διάστημα για όλες τις φάσεις, διάστημα που εκτιμάται μεταξύ 25 Ka (min) και 50 Ka (max).

Από το παραπάνω μοντέλο εξέλιξης μπορούν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα, που απαιτούν όμως συστηματικότερη πετρολογική μελέτη για την πλήρη επιβεβαίωσή τους:

α) Η αλληλοδιαδοχή ανδесиτικών - δακιτικών προϊόντων και στις τρεις φάσεις του πρώτου κύκλου, μπορεί να συσχετιστεί με το πετρολογικό μοντέλο των Weyers & Barton (1989), το οποίο υποθέτει την ύπαρξη δύο μαγματικών θαλάμων ανδесиτών και δακιτών, σε βάθη 13 και 27 Km αντίστοιχα.

β) Το πέρασμα από τον πρώτο στο δεύτερο κύκλο, οφείλεται στην αλλαγή του συστήματος αποθήκευσης του μάγματος. Ο δεύτερος κύκλος τροφοδοτείται από μαγματικούς θαλάμους βάθους μικρότερου των 6 Km (Vougioukalakis, 1984; Varekamp & Baierlain, 1989), όπου το ανδесиτικό μάγμα έχει τη δυνατότητα παραμονής και διαφοροποίησης του σε ρυολιθικό. Η ύπαρξη μεγάλου ποσοστού ανδесиτικών εγκλεισμάτων και η θεώρηση ως του πιθανότερου αιτίου πρόκλησης των ηφαιστειακών εκρήξεων τη διείδυση ανδесиτικού μάγματος στους αβαθείς μαγματικούς θαλάμους (Varekamp & Baierlain, 1989) προϋποθέτει τη συνέχιση της ύπαρξης των βαθύτερων μαγματικών θαλάμων καθώς και τη συνέχιση της τροφοδότησής τους με πρωτογενή μαγματικά ρευστά.

γ) Τα αίτια των αλλαγών στο σύστημα αποθήκευσης του μάγματος θα πρέπει να αναζητηθούν σε ένα ισχυρότερο εφελκυστικό πεδίο κατά το δεύτερο κύκλο, γεγονός που επιτρέπει τη δημιουργία αβαθών μαγματικών θαλάμων.

δ) Η χημική σύσταση και οι μηχανισμοί απόθεσης των προϊόντων της πυροκλαστικής σειράς της Π. Κυράς δεν συμπίπτουν με τις θεωρήσεις του παραπάνω μοντέλου. Πρόκειται για έντονα εκρηκτική δραστηριότητα, τροφοδοτούμενη από δακιτικά αρχικά και ανδесиτικά αργότερα μάγματα, τα οποία αποθηκεύονται σε σχετικά αβαθή(θεις) θάλαμο(μους), μέσα σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς. Αυτή η ηφαιστειακή δράση μπορεί να θεωρηθεί σαν η πρώτη προσπάθεια εγκατάστασης αβαθών μαγματικών θαλάμων στην περιοχή.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου F. Barberi για τη "μύησή" μου στη μελέτη των ηφαιστιτών μέσω της μελέτης του ηφαιστείου της Νισύρου. Τους καθηγητές F. Innocenti, P. Manetti, M. Φυτίκα για τη μεγάλη βοήθεια τόσο στην εργασία υπαίθρου όσο και στη συζήτηση των προβλημάτων που προέκυπταν. Τον συν. Κ. Σημιαίχη για τη βοήθεια στην κατανόηση των ενεργών τεκτονικών φαινομένων του χώρου. Τους καθηγητές J. Varekamp και J. Keller καθώς και την C. Ganssecki για την παροχή στοιχείων από εργασίες υπό δημοσίευση. Την Κ. Καλογριά που σχεδίασε τις εικόνες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BOHLA, M. & KELLER, J. (1987). Petrology of plinian eruptions of Nisyros volcano, Hellenic arc. *Terra cognita* 7, p.171.
- BOND, A. (1976). Multiple sources of pumice in the Aegean. *Nature* 259, 194-195.
- ΒΟΥΓΓΙΟΥΚΑΛΑΚΗΣ, Γ. (1989). Γεωλογικό φύλλο χάρτη νήσου Νισύρου 1:25.000. ΙΓΜΕ (υπό έκδοση).
- ΓΕΩΡΓΑΛΑΣ, Γ. (1958). Η νήσος Ν(ισυρος). "Νισυριακά χρονικά" 21,22,23. Αθήνα.
- DAVIS, E. (1967). Zur Geologie und Petrologie der Inseln Nisyros und Jali (Dodecanes). *Πρακτικά Ακαδ. Αθηνών* 42, 235-252.
- DESIO, A. (1931). Le isole Italiane del Egeo. *Meumr. Carta Geol. d'Italia* 24.
- DI PAOLA, G.M. (1974). Volcanology and Petrology of Nisyros island (Dodecanese, Greece). *Bull. Volc.* 38, 944-987.
- FEDERMAN, A.N. & KAREY, S.N. (1980). Electron microprobe correlation of tephra layers from Eastern Mediterranean abyssal sediments and the Island of Santorini. *Quat. Res.* 13, 160-171.
- FYTIKAS, M., GIULIANI, O., INNOCENTI, F., MARINELLI, G. & MAZZUOLI, R. (1976). Geocronological data on recent magmatism of the Aegean sea. *Tectonophysics* 31, 29-34.
- GANSECKI, C., (1991). Petrology of the domes and inclusions of Nisyros volcano, Dodecanese islands, Greece. B.A. thesis, Wesleyan Un., Middletown CT, 97pp.
- GEORGALAS, G.C., (1962). Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields. Part 12: Greece. *Intern. Ass. of Volcan.*, Rome, 29-36.
- GEOTERMICA ITALIANA (1983). Nisyros - 1 Geothermal well, final report.
- GORCEIX, M.H., (1873). Sur la recente eruption de Nisyros. *C.R.Ac.Sc.* 77, 1039.
- GORCEIX, M.H., (1874). Phenomenes volcaniques de Nisyros. *C.R.Ac.Sc.* 78 444-446.
- KΑΡΡΑΕ, Ν., (1990). Γνωμάτευση 3221 δείγματος NIS-200. Εργαστήριο Μικροπαλαιοντολογίας, ΙΓΜΕ.
- KELLER, J., (1971). The major volcanic events in recent eastern Mediterranean volcanoes and their bearing on the problem of the Santorini ash layers. In: *Acta of the first Int. Scientific Congress on the Volcano Thera*, Athens, 152-167.
- KELLER, J., (1980). Prehistoric pumice tephra on Aegean Islands. In: *Doumas, C. (ed.), Thera and the Aegean World II*, 49-56.
- KELLER, J., (1982). Mediterranean Island Arcs. In: *Thrope, R.S., Ed., Andesites*. John Wiley, New York, 307-325.
- KELLER, J., GILLOT, P.Y., REHREN, TH. & STADLBAUER, E. (1989). Chronostratigraphic data for the volcanism in the eastern Hellenic arc: Nisyros and Kos. *Abstract OS06-26, Terra abstracts*, 354.
- KELLER, J., REHREN, TH. & STADLBAUER, E. (1990). Explosive volcanism in the Hellenic Arc: a Summary and Review. In: *Thera and the Aegean World III*, vol. 2 - Earth Sciences, 13-26.
- LACROIX, L. (1853). *Iles de la Grece*, Paris.
- LIMBURG, E.M. (1986). Young pyroclastics on Nisyros, Greece: Physical studies. B.A. thesis, Wesleyan Un., Middletown, CT, 104pp.
- LIMBURG, E.M., LODICE, L. & VAREKAMP, J.C. (1986). Volcanology and Petrology of Nisyros, Greece. In: *Sigurdson, H., Ed., Environmental Impact of Volcanism*. Norman Watkins Symposium, Un. of Rhode Island, Narragansett, RI, 47-49.

- LIMBURG, E.M. & VAREKAMP, J.C. (1990). Young pumice deposits on Nisyros, Greece. Submitted to Bull. Volcan.
- LODICE, L. (1987). Petrology and Geochemistry of Nisyros Volcano (Dodecanese, Greece). Ms. thesis, Wesleyan Un., Middletown, CT, 245pp.
- MARTELLI, A. (1917). Il gruppo eruttivo di Nisyros nel mare Egeo. Mem. Soc. Geol. Ital. Sc. (detta dei XL), Serie 3a, vol. XX.
- NAKAMURA, K. (1977). Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation-Principle and Proposals. J.Volc.Geoth.Res. 2 1-16.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ.Ι., ΛΕΚΚΑΣ, Ε.Α. & ΣΑΚΕΛΑΡΙΟΥ, Δ.Θ. (1991). Γεωλογική δομή και εξέλιξη της νήσου Νισύρου. Δελτίο Ελλην.Γεωλ.Εταιρ. 25/1, 405-419.
- PRINCIPE, C. (1989). Le eruzioni freatiche di Nisyros (Dodecaneso, Grecia): Studio geologico preliminare. Boll. G.N.V. It.
- ΣΑΜΨΩΝ, Α. (1988). Η Νεολιθική κατοίκηση στο Γυαλί της Νισύρου. Ευβοϊκή Αρχαιόφιλος Εταιρεία. Αθήνα 1988, 216.
- SEYMOUR, K.St. & VLASSOPOULOS, D. (1989). The potential for future explosive volcanism associated with dome growth at Nisyros, Aegean volcanic arc, Greece. J.Volc.Geoth.Res. 37, 351-364.
- SIMEAKIS, K. & VOUGIOUKALAKIS, G. (1991). Neotectonic study of Nisyros Island (in prep.).
- VAREKAMP, J.C. & BAIERLAIN, R. (1989). Magma chamber evolution of Nisyros volcano, Greece (submitted to "Geology").
- VINCI, A. (1985). Distribution and chemical composition of tephra layers from Eastern Mediterranean abyssal sediments. Mar. Geol. 64, 143-155.
- VOUGIOUKALAKIS, G. (1984). Studio vulcanologico e chimico-petrografico dell' isola di Nisyros (Dodecaneso, Grecia). Tesi di Laurea non pubblicata, Un. Pisa, 235pp.
- WAGNER, G.A., STORZER, D. & KELLER, J. (1976). Spaltspurendatierungen quatarer Gesteinsglaser aus dem Mittelmeerraum. N.Jb.Miner. 1976, 84-94.
- WRIGHT, J.V. & WALKER, G.P.L. (1977). The ignimbrite source problem: Significance of co-ignimbrite lag-fall deposit. Geology 5, 729-732.
- WYERS, P.G. & BARTON, M. (1989). Polybaric evolution of calc-alkaline magmas from Nisyros, Southeastern Hellenic Arc, Greece. J. Petrology 30, 1-37.