

ΤΟ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ ΚΟΛΟΥΜΠΟΥ, ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ (ΕΛΛΑΔΑ)

Γ. Βουγιουκαλάκης*, Δ. Μητρόπουλος**[ⓐ], Κ. Περισσράτης**,
Α. Ανδρινόπουλος** και Μ. Φυτίκας***

ΣΥΝΟΨΗ

Παρουσιάζεται η λεπτομερής μορφολογία του υποθαλάσσιου ηφαιστειακού κέντρου του Κολούμπου και τα αποτελέσματα της μελέτης των προϊόντων της έκρηξης, τα οποία συλλέχθηκαν τόσο υποθαλάσσια όσο και στη Σαντορίνη.

Η συνεκτίμηση της μορφολογίας του υποθαλάσσιου κέντρου, των ιστορικών περιγραφών της έκρηξης και των αποτελεσμάτων της μελέτης των προϊόντων της, κάνει δυνατή την ανακατασκευή της εξέλιξης του ηφαιστειακού γεγονότος. Κατά το 1649-1650 αποτέθηκαν 2,19 km³ ρυοδακιτικού μάγματος, με εξωθητική - εκχυτική δραστηριότητα. Η παροξυσμική έκρηξη εκτίναξε 1,17 km³ ρυολιθικού μάγματος και προκάλεσε ένα κεντρικό καλδερικό βύθισμα στο υποθαλάσσιο οικοδόμημα και το γωστό παλιρροιακό κύμα του 1650.

Ο μαγματικός θάλαμος που τροφοδότησε την ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι διαφορετικός από εκείνους των ενδοκαλδερικών ιστορικών εκρήξεων, με πιο εξελιγμένο και πλουσιότερο σε πηκτικά μάγμα.

ABSTRACT

A detailed bathymetric survey on the region known as Kolumbo reef, carried out by U.R.SO and IGME, revealed a structure of a submarine volcano with a central caldera collapse. The volcanic edifice has an ellipsoid shape and its max. axis, 8 Km long, lie on the extension of the well known Kolumbos line on Santorini, striking N45°-50°.

This volcanic edifice was build up during the 1649-1650 Kolumbos volcanic activity. From 1649 and until September 26th 1650, 2, 19 km³ of rhyodacitic magma was extruded in the area and the top of the volcano emerged.

Explosive hydromagmatic activity was registered from 27th to 29th September. The paroxysmic explosive event, of plinian type, was manifested in 30/9/1650 and lasted more than 12 hours. 1,17 km³ of rhyolitic magma were ejected as pumice fragments, triggering the caldera collapse and a large tsunami. Deeping of the vent (-500m) avoid continuation of magma fragmentation and explosive activity stopped. Huge magma degassing produced a large quantity of magmatic gasses which caused serious problems on Santorini inhabitants.

Volcanic products (lava blocks and pumice lapillil) were sampled by divers at the top of the volcano. Volcanic ash, coming from the paroxysmic explosion, was sampled in an ash fallout layer near the NE coast of Thera. Evolved mesostasis (rhyolitic glass) and mineralogical paragenesis (Pl,

* IGME, Dep. of Energy Recourses, 70 Messogion Str., 115 27, Athens

** IGME, Dep of Marine Geology, 70 Messogion Str., 115 27, Athens

ⓐ Underwater Research Society (U.R.SO.), Athens

*** Aristotle University of Thessaloniki, School of Geology, 540 06, Thessaloniki

Orx, Cpx, Bi, Hbl, Mt, Ap) argue for a new magma batch, different from that which fed intracaldera historic activity.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ισχυρότερη και επικινδυνότερη ιστορική ηφαιστειακή έκρηξη στον Ελλαδικό χώρο υπήρξε αυτή του υποθαλάσσιου ηφαιστείου του Κολούμπου, το 1650 μ.χ. (Fouque 1879; Ακύλας 1925; Fytikas et al. 1990; Fytikas & Vougioukalakis 1993). Τα δημοσιευμένα στοιχεία για τα χαρακτηριστικά της έκρηξης και τα προϊόντα της είναι ελάχιστα και βασίζονται στις ιστορικές περιγραφές (Fouque 1879; Ακύλας 1925; Doumas 1980).

Η πρώτη ακριβής προσέγγιση της μορφολογίας του οικοδομήματος έγινε από την Υπηρεσία Υποθαλάσσιας Γεωλογίας του ΙΓΜΕ το 1989-1991, στα πλαίσια ενός ευρύτερου προγράμματος μελέτης του ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου (Περισσοράτης κ.α. 1992).

Τον Οκτώβριο του 1993, η Εταιρεία Υποβρυχίων Ερευνών (Ε.ΥΠ.Ε.), σε συνεργασία με το ΙΓΜΕ, πραγματοποίησε υποθαλάσσιες γεωλογικές και βιολογικές έρευνες στην περιοχή.

Στις ΒΑ ακτές της Σαντορίνης, εντοπίστηκε ορίζοντας τέφρας προερχόμενος από την έκρηξη του 1650 (Vougioukalakis & Sbrana 1994).

Η εργασία αυτή παρουσιάζει τα πρώτα αποτελέσματα των ερευνών και επιχειρεί μία συνθετική ηφαιστειολογική εκτίμηση του συνόλου των παραπάνω στοιχείων.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η Σαντορίνη είναι ένα σύνθετο πολυκεντρικό Τεταρτογενές ηφαιστειακό οικοδόμημα. Η διάταξη στο χώρο των διάφορων ηφαιστειακών κέντρων καθορίζεται από ένα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης τεκτονικό βύθισμα του υποβάθρου (Budetta et al. 1984; Heiken & McCoy 1984). Στην επιφάνεια η ηφαιστειακή δραστηριότητα εκδηλώνεται κατά μήκος δύο ηφαιστειο-τεκτονικών γραμμών ίδιας διεύθυνσης, ενεργές έως σήμερα, της γραμμής "Καμένης" και της γραμμής "Κολούμπου" (Heiken & McCoy 1984; Druitt et al. 1989; Fytikas et al. 1990; Barberi & Carapezza 1994).

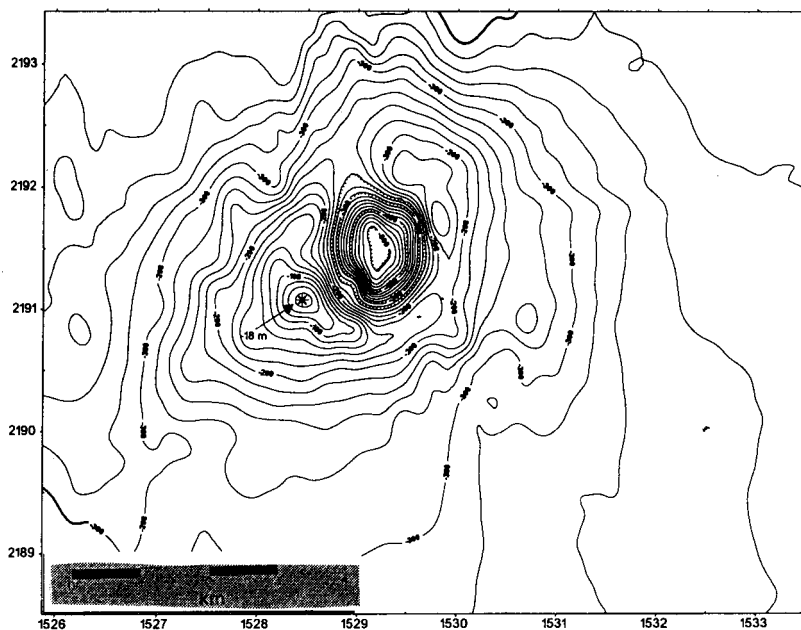
Το υποθαλάσσιο ηφαιστειακό κέντρο του Κολούμπου ορίζει το ΒΑ άκρο της ομώνυμης γραμμής. Νοτιότερα, η γραμμή ορίζεται κύρια από τρία ηφαιστειακά κέντρα: τον δακτύλιο τόφου του Κολούμπου, στο ομώνυμο ακρωτήριο, και στους κώνους σκωριών του Κόκκινου και Μαύρου Βουνού. Η ηφαιστειακή αυτή δραστηριότητα εκδηλώθηκε ταυτόχρονα, πριν από 40.000 χρόνια περίπου. Κατά μήκος της ίδιας γραμμής υπολογίστηκε και η θέση του πόρου μεγάλων εκρηκτικών γεγονότων όπως του Ιγνιμβρίτη του ακρ. Ρίβα (-21 Ka) και του Βουρβούλου (-80Ka) (Druitt et al. op. cit.).

Η τελευταία ηφαιστειακή εκδήλωση κατά μήκος της γραμμής Κολούμπου είναι η μόνη ιστορική εξωκαλδερική ηφαιστειακή δραστηριότητα στη Σαντορίνη, η οποία δημιούργησε ένα υποθαλάσσιο ηφαιστειακό οικοδόμημα γνωστό έως σήμερα ως ύφαλο Κολούμπο.

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Το υποθαλάσσιο ηφαιστειακό οικοδόμημα του Κολούμπου βρίσκεται 7,3 km ΒΑ της Σαντορίνης (Εικ. 1). Η ύπαρξή του είναι γνωστή από τη στιγμή της εκδήλωσης χερσαίας ηφαιστειακής δραστηριότητας στο χώρο, το 1650. Στους ναυτιλιακούς χάρτες αναφέρεται σαν ύβωμα Κολόμπος ή Kolombus, χωρίς να δίνεται η ακριβής μορφολογία του.

Η πρώτη ακριβής προσέγγιση της μορφολογίας έγινε από το ΙΓΜΕ (Perissoratis & Angelopoulos 1990; Περισσοράτης κ.α. 1992). Η επεξεργασία των πρώτων αυτών καταγραφών και τα ενδιαφέροντα αποτελέσματά της κίνησαν το ενδιαφέρον στην Ε.ΥΠ.Ε. για περαιτέρω λεπτομερέστερη έρευνα. Μετά από συνεννόηση και σε



Εικ. 1: Βαθυμετρικός χάρτης του υποθαλάσσιου ηφαιστειακού οικοδομήματος του Κολούμπου. Η υποδιαίρεση του γεωγραφικού μήκους είναι ανά 1800m και του πλάτους 1470, 6m. Οι ισοβαθείς είναι σε μέτρα.

Fig. 1: Bathymetric map of Kolumbos submarine volcanic edifice. Longitude division is 1800m and latitude 1470, 6m. Isodepths are in meters.

συνεργασία με το ΙΓΜΕ, πραγματοποίησε τον Οκτώβριο του 1993 υποθαλάσσιες γεωλογικές και βιολογικές έρευνες στην περιοχή. Αυτές περιλάμβαναν λεπτομερείς βαθυμετρικές διασκοπήσεις, κατάδυση ειδικευμένων αυτοδυτών για επί τόπου παρατηρήσεις, φωτογράφιση και δειγματοληψία.

Για την πραγματοποίηση των βαθυμετρικών διασκοπήσεων χρησιμοποιήθηκε βυθόμετρο τύπου FURUNO FE-814 με συχνότητα εκπομπής ήχου 28 Khz και ακρίβειας $\pm 0,5m$. Ο προσανατολισμός του σκάφους έγινε με τη βοήθεια συσκευής GPS (Global Positioning System) GARMIN, ακρίβειας $\pm 50 m$. Η περιοχή που ερευνήθηκε έχει έκταση 21 Km² περίπου και καλύφθηκε από διαδρομές συνολικού μήκους 65 km. Οι αποστάσεις μεταξύ των διαδρομών ήταν περίπου 400 m.

Η επεξεργασία των βαθυμετρικών δεδομένων έγινε εξ ολοκλήρου στον Η/Υ με το πρόγραμμα Surfer. Για την περιοχή που δεν καλύφθηκε από τις διαδρομές της Ε.ΥΠ.Ε. χρησιμοποιήθηκαν τα βαθυμετρικά στοιχεία που είχαν συλλεχθεί από το ΙΓΜΕ. Η γεωστατιστική επεξεργασία 340 σημείων τυχαίας κατανομής οδήγησε στη δημιουργία κανονικού κανάβου 8.000 σημείων. Ακολουθήθηκε η μέθοδος του βαρυμετρικού μέσου, σε συνάρτηση του αντίστροφου του τετραγώνου της απόστασης του κάθε σημείου από τα πλησιέστερα 4 αρχικά σημεία τυχαίας κατανομής.

Πρόεκυψε ένας μορφολογικός χάρτης του οικοδομήματος, σε κλίμακα 1:15.000 με ισοβαθείς ανά 2 μέτρα, ο οποίος παρατίθεται απλοποιημένος στην Εικ. 1.

Το ηφαιστειακό οικοδόμημα οριοθετείται από τις ισοβαθείς των -260 --300 μέτρων. Έχει σχήμα ελλειψοειδούς με μέγιστο άξονα περίπου 8 km και ελάχιστο περίπου 4,3 km. Η διεύθυνση του μέγιστου άξονα είναι ΒΑ-ΝΔ. Όσο μεταβαίνουμε προς την κορυφή το οικοδόμημα τείνει προ συμμετρική θολοειδή μορφή.

Τα εξωτερικά πρηνή του είναι σχετικά ομαλά με μέση κλίση 6°. Παρουσιάζει τη μέγιστη κλίση στη Ν. Πλευρά (10°) και την ελάχιστη στη ΒΔ (4,5°).

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

Το κεντρικό βύθισμα οριοθετείται από ένα σύνολο κορυφών που βρίσκονται σε διαφορετικά ύψη μεταξύ τους και ενώνονται με βαθύτερες ράχες, ορίζοντας ένα δακτύλιο διαμέτρου 1,6-3,7 km. Η υψηλότερη κορυφή βρίσκεται στο ΝΔ τμήμα του δακτυλίου και φτάνει έως τα -18m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Στην κορυφή αυτή πραγματοποιήθηκαν καταδύσεις από την Ε.Υ.Π.Ε.. Η επιφάνειά της είναι ομαλή και ελαφρώς κυρτή. Καλύπτεται από πλούσια χλωρίδα, ενώ στα ακάλυπτα σημεία παρατηρούνται λιθάρια και τεμάχια κίσηρης και λαβών διαμέτρου κυμαινόμενης μεταξύ 2-40 cm. Δεν διαπιστώθηκε παρουσία λεπτομερών υλικού.

Οι υπόλοιπες κορυφές βρίσκονται διαδοχικά βαθύτερα. Το χαμηλότερο τμήμα του δακτυλίου είναι το βόρειο, το οποίο διακόπτεται από μία αύλακα που μετατοπίζει το χείλος του στα -270 m.

Το κεντρικό βύθισμα έχει κωνοειδές - πρισματοειδές σχήμα μέχρι το βάθος των 380m περίπου. Μεταβαίνοντας προς τα βαθύτερα τμήματα το σχήμα τείνει προς κυλινδρικό. Η κλίση των πρανών του βυθίσματος είναι μεγάλη και φτάνει τις 50°. Στο βάθος μεταξύ των 300 και 400m υπάρχει μία ζώνη μείωσης της κλίσης (160) και παρατηρούνται τοπικές αναβαθμίδες μικρής έκτασης. Ο πυθμένας του βυθίσματος περιορίζεται από την ισοβαθή των 480m, είναι ομαλός και έχει διάμετρο 500 ~ 800m.

Από τις γραμμικές διευθύνσεις που μπορούν να παρατηρηθούν στο λεπτομερές τοπογραφικό ανάγλυφο, λίγες μπορούν να αποδοθούν με σιγουριά σε τεκτονικά αίτια. Η κυριότερη από αυτές είναι η διεύθυνση του μέγιστου άξονα του ελλειψοειδούς (B45°-50°) η οποία συμπίπτει με τη διεύθυνση της γραμμής Κολούμπου στη Σαντορίνη και είναι συνέχειά της. Εμφανής είναι επίσης μία Β.ΒΑ-Ν.ΝΑ διεύθυνση τόσο στο βόρειο όριο του δακτυλίου, όσο και στη ΒΑ πλευρά του πυθμένα του βυθίσματος.

Η ΕΚΡΗΞΗ ΤΟΥ 1650

Οι ιστορικές περιγραφές για την έκρηξη του 1650 είναι πολυάριθμες (Fouque 1889; Ακύλας 1925; Doumas 1980; Παπαζάχος & Παπαζάχου 1989) και παρά τις ορισμένες ασυμφωνίες που εντοπίζονται μεταξύ τους, καθιστούν δυνατή τη λεπτομερή ανακατασκευή της εξέλιξης των γεγονότων.

Το 1649 εκδηλώνεται σεισμική διέγερση στην περιοχή. Κατά τη διάρκεια όλου του έτους καταγράφονται πολυάριθμοι σεισμοί έντασης VI (MKS).

Το 1650 εκδηλώνεται μία πρώτη σεισμική κρίση το Μάρτιο. Ισχυρές σεισμικές δονήσεις (VII MKS) καταγράφονται για αρκετές ημέρες.

Μετά από μία περίοδο εξάμηνης ηρεμίας εκδηλώνεται νέα σεισμική κρίση. Από τις 14/9/1650 καταγράφονται συνεχώς ισχυρές σεισμικές δονήσεις (VII MKS) οι οποίες διαρκούν έως την εκδήλωση της παροξυσμικής εκρηκτικής φάσης (30/9) οπότε σημειώνεται και η ισχυρότερη δόνηση (VII MKS).

Στις 21/9 παρατηρείται στη θαλάσσια περιοχή που αργότερα θα εκδηλωθεί εκρηκτική δραστηριότητα, αλλαγή του χρώματος της θάλασσας.

Στις 27/9, στην περιοχή που είχε παρατηρηθεί ο χρωματισμός των θαλασσιών υδάτων, εμφανίζεται μία λευκή νησίδα ελλειψοειδούς σχήματος από μικρών διαστάσεων (λίγες δεκάδες μέτρα), και αργότερα αρχίζει η χερσαία ηφαιστειακή δράση. Στις 27/9 και 28/9 περιγράφονται πολλά εκρηκτικά επεισόδια (6-7 για κάθε ημέρα) με μικρή εκρηκτική στήλη (λίγες δεκάδες μέτρα), δυνατό και οξύ κρότο, τα οποία παράγουν κίσηρη και δύσοσμα ηφαιστειακά αέρια. Στις 28/9 αναφέρεται εκτόξευση πυρακτωμένων κλαστών.

Στις 29/9 οι εκρήξεις συνεχίζονται πιο έντονες. Η νησίδα έχει διαμορφωθεί σε κρατήρα από όπου εκτοξεύονται μεγάλα τεμάχια και ογκόλιθοι λάβας, ενώ η εκρηκτική στήλη γίνεται όλο και υψηλότερη (εκατοντάδες μέτρα).

Η παροξυσμική φάση της εκρήξης εκδηλώνεται τα ξημερώματα της 30/9/1650 και διαρκεί όλη την ημέρα. Δημιουργείται πυροκλαστική στήλη ύψους πολλών χιλιομέτρων, περιγράφονται φαινόμενα ηφαιστειακής "Γεφύρας" (Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.)

και παράγεται πολύ μύκη φτάνει έως τα παράλια κίσηρη καταγράφεται αέρια (CO₂, SO₂, H₂O, προκαλούν το θάνατο 20

Αμέσως μετά το πέρας παλιρροιακό κύμα (ισουσοβαρές καταστροφές ε Πάτμο, Κρήτη) (Latter

Μετά τις 30/9 η εκρηκτική παραγωγή μικρών ποσοτήτων Το σοβαρότερο πρόβλημα φτάνει προς τη θήρα. Μέσα θύματα, μεγάλος αριθμός ται προσωρινή τύφλωση σε ανθρώπους και ζώα. αποθέματα νερού αχρηστ

Μετά τις 10/10 τα έκλυση αερίων κατά διατα φαινόμενα παύουν. έκρηξης, λίγα μέτρα πα κύματα σε μικρό χρονικό πυροκλαστικό υλικό.

ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΚΡ

Οι μοναδικές πληρο προέρχονται από τη μικ συλλεχθεί με δράγμα απ

Οι αυτοδύτες της Ε. δύο μικρά λιθάρια κίσηρος. Η μορφολογία του Σαντορίνης επιτρέπουν Κολούμπου.

Στα δείγματα πραγμα μικροαναλυτή JEOL Super

Τα δύο τεμάχια λαβών υαλοπιλιτικό ιστό και ρυολιθικό γυαλί, φαινό. Άλλα ορυκτά παρόντα οξειδία.

Το τρίτο τεμάχιο λάβας Το καρέ ρυολιθικό γυαλί ποσότητα σε σχέση με τη αφθονίας είναι πλαγιό κλίση.

Παρατηρούνται λίγα δείγματα. Σαν δευτερογενή ρούνται ξενοκρυσταλλο

Η κίσηρη είναι έντονη μικροφαινοκρυστάλλους και υπερσθενή.

Κοντά στις ΒΑ ακτές προερχόμενος από την έ

και παράγεται πολύ μεγάλη ποσότητα κίσηρης και στάχτης. Η ηφαιστειακή στάχτη φτάνει έως τα παράλια της Μικράς Ασίας, όπου αναφέρεται κάλυψη των φυτών. Η κίσηρη καταγράφεται το ίδιο βράδυ στην Πάτμο και την Κρήτη. Τα ηφαιστειακά αέρια (CO_2 , SO_2 , H_2O , HCl) δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στη Σαντορίνη και προκαλούν το θάνατο 20 τουλάχιστον ατόμων.

Αμέσως μετά το πέρας της παροξυσμικής εκρηκτικής φάσης προκαλείται ένα παλιρροιακό κύμα (τσουνάμι) ύψους περίπου 10m στη Σαντορίνη, το οποίο προκαλεί σοβαρές καταστροφές εκεί και στα γύρω νησιά του Αιγαίου (Κέα, Ίο, Σίκινο, Πάτμο, Κρήτη) (Latter 1981; Παπαζάχος & Παπαζάχου 1989).

Μετά τις 30/9 η εκρηκτική ηφαιστειακή δράση συνεχίζεται πολύ πιο ήπια με παραγωγή μικρών ποσοτήτων στάχτης και απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων αερίων. Το σοβαρότερο πρόβλημα αναδειχνεται αυτό των αερίων, όταν ο άνεμος τα κατευθύνει προς τη Θήρα. Μέσα στις επόμενες 8 ημέρες προκαλούν ακόμη 50 ανθρώπινα θύματα, μεγάλος αριθμός ζώων θανατώνεται (> 1.000 κατοικίδια), ενώ προκαλείται προσωρινή τύφλωση ή άλλα σοβαρά οφθαλμολογικά και αναπνευστικά προβλήματα σε ανθρώπους και ζώα. Οι περισσότερες καλλιέργειες καταστρέφονται και αρκετά αποθέματα νερού αχρηστεύονται.

Μετά τις 10/10 τα εκρηκτικά επεισόδια σταματούν και παρατηρείται μόνο έκλυση αερίων κατά διαστήματα, με κυριότερη αυτή της 4/11. Στις 6/12/1650 όλα τα φαινόμενα παύουν. Η μικρή νησίδα που έχει εναπομείνει στην περιοχή της έκρηξης, λίγα μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, διαβρώνεται από τα κύματα σε μικρό χρονικό διάστημα, γεγονός που υποδεικνύει ότι αποτελείτο από πυροκλαστικό υλικό.

ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΕΚΡΗΞΗΣ

Οι μοναδικές πληροφορίες μέχρι σήμερα για τα προϊόντα του Κολούμπου, προέρχονται από τη μικροσκοπική παρατήρηση ενός δείγματος λάβας το οποίο είχε συλλεχθεί με δράγμα από τους Περισοράτη κ.α. (1992).

Οι αυτοδύτες της Ε.ΥΠ.Ε. έφεραν στην επιφάνεια τρία μεγάλα τεμάχια λαβών και δύο μικρά λιθάρια κίσηρης, τα οποία συλλέχθηκαν στην κορυφή του οικοδομήματος. Η μορφολογία του βυθού και τα χαρακτηριστικά των επόμενων εκρήξεων της Σαντορίνης επιτρέπουν να χαρακτηρισθούν όλα τα δείγματα σαν προϊόντα του Κολούμπου.

Στα δείγματα πραγματοποιήθηκαν μικροσκοπικές παρατηρήσεις και αναλύσεις σε μικροαναλυτή JEOL Superprobe JXA (15kV, 10nA).

Τα δύο τεμάχια λαβών είναι σκούρα γκρί υποαφυρική ρυοδακτιτική λάβα, με υαλοπιλιτικό ιστό και ρευστιτική υφή. Αποτελούνται κύρια από σκούρο καφέ ρυολιθικό γυαλί, φαινοκρυστάλλους και μικρόλιθους πλαγιόκλαστου (An_{34} - An_{20}). Άλλα ορυκτά παρόντα είναι αυγίτης, υπερσθενής, βιοτίτης, κεροστίλβη και οξειδία.

Το τρίτο τεμάχος λάβας είναι σκωριώδης σκούρος γκρί προφυρτικός ανδεσίτης. Το καρέ ρυολιθικό γυαλί της κύριας μάζας είναι παρόν σε πολύ μικρότερη ποσότητα σε σχέση με τα προηγούμενα δείγματα. Οι ορυκτές φάσεις, κατά σειρά αφθονίας είναι πλαγιόκλαστο (An_{55} - An_{39}), αυγίτης, υπερσθενής και καφέ κεροστίλβη.

Παρατηρούνται λίγα δευτερογενή ορυκτά (ασβεσίτης - ζεόλιθοι) και στα τρία δείγματα. Σαν δευτερεύον ορυκτό είναι σταθερά παρών ο απατίτης, ενώ παρατηρούνται ξενοκρύσταλλοι χαλαζία.

Η κίσηρη είναι έντονα φυσαλιδοποιημένο ρυολιθικό γυαλί με ελάχιστους μικροφαινοκρυστάλλους πλαγιόκλαστου (An_{79} - An_{21}), βιοτίτη, κεροστίλβης, αυγίτη και υπερσθενή.

Κοντά στις ΒΑ ακτές της Σαντορίνης εντοπίστηκε ορίζοντας στάχτης πτώσης, προερχόμενος από την έκρηξη του 1650. Πρόκειται για άστρωτη λεπτόκοκκη ανοι-

χτού γκρι χρώματος στάχτη, μέγιστου πάχους απόθεσης 30 cm και χαρακτηριστική παρουσία λιθαριών συσσωμάτωσης μέσης διαμέτρου 1 cm. Αντιπροσωπευτικά δείγματα μελετήθηκαν στο διοπτικό και πετρογραφικό μικροσκόπιο. Ένα κλάσμα διαμέτρου > 1/25 mm μελετήθηκε στο SEM (Philips 550 με μικροαναλυτή EDAX PV 9900 EDS, 100 sec, 20 Kv).

Το κύριο ποσοστό των θραυσμάτων αποτελείται από νεανικά θραύσματα. Παρατηρείται ένα μικρό ποσοστό λιθικών από παλιές λάβες, υποηφαιστειακά και μεταμορφωμένο υπόβαθρο. Τα νεανικά θραύσματα διακρίνονται σε θραύσματα έντονα φουσαλιδοποιημένης ρυολιθικής κίσησης (Εικ. 2), θραύσματα συμπαγούς γυαλιού (Εικ. 3) και θραύσματα κρυστάλλων. Οι ορυκτές φάσεις, κατά σειρά αφθονίας είναι πλαγιόκλαστο ($An_{88}-An_{34}$), υπερσθενής, αυγίτης, βιοτίτης, κερροσίλβη, οξειδία και απατίτης.

ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟΥ ΓΕΓΟΝΟΤΟΣ

Όλα τα παραπάνω στοιχεία επιτρέπουν μία λεπτομερή ανακατασκευή της ηφαιστειακής δράσης του Κολούμπου.

Η ανέξοδος του μαγματικού υλικού προκαλείται στις αρχές του 1649 από τεκτονικά σεισμικά γεγονότα. Ορισμένα από τα σεισμικά γεγονότα του 1649 μπορούν να θεωρηθούν τεκτονικά, καθώς έγιναν αισθητά στα γύρω νησιά. Η μεγάλη πλειοψηφία των σεισμών αυτού του έτους μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν ηφαιστειακοί και δηλούν την εξώθηση και έκχυση μαγματικού υλικού, το οποίο αρχίζει να οικοδομεί το υποθαλάσσιο ηφαιστειακό κέντρο του Κολούμπου σε ένα πυθμένα βάθους 300m.

Η σεισμική κρίση του Μαρτίου του 1650 μπορεί επίσης να θεωρηθεί σαν συνέχιση της οικοδόμησης του Κολούμπου. Η μη εκδήλωση εκρηκτικών γεγονότων στις δύο πρώτες φάσεις οικοδόμησης του ηφαιστείου μπορεί να αποδοθεί σε δύο αίτια. Το πρώτο είναι η έξοδος του μάγματος σε μεγάλο βάθος, με υπερκείμενη υδροστατική πίεση 30 bar, που αποτρέπει την εκδήλωση εκρηκτικών γεγονότων. Το δεύτερο είναι η ήπια απελευθέρωση των μαγματικών πιητικών στις πρώτες φάσεις εκδήλωσης της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Κάτι τέτοιο παρατηρείται σε όλες τις φάσεις εκδήλωσης της ενδοκαλδερικής ηφαιστειακής δραστηριότητας που οικοδόμησε τη Ν. Καμένη (Ακύλας 1925; Barton & Huijsmans 1986; Fytikas et al. 1990).

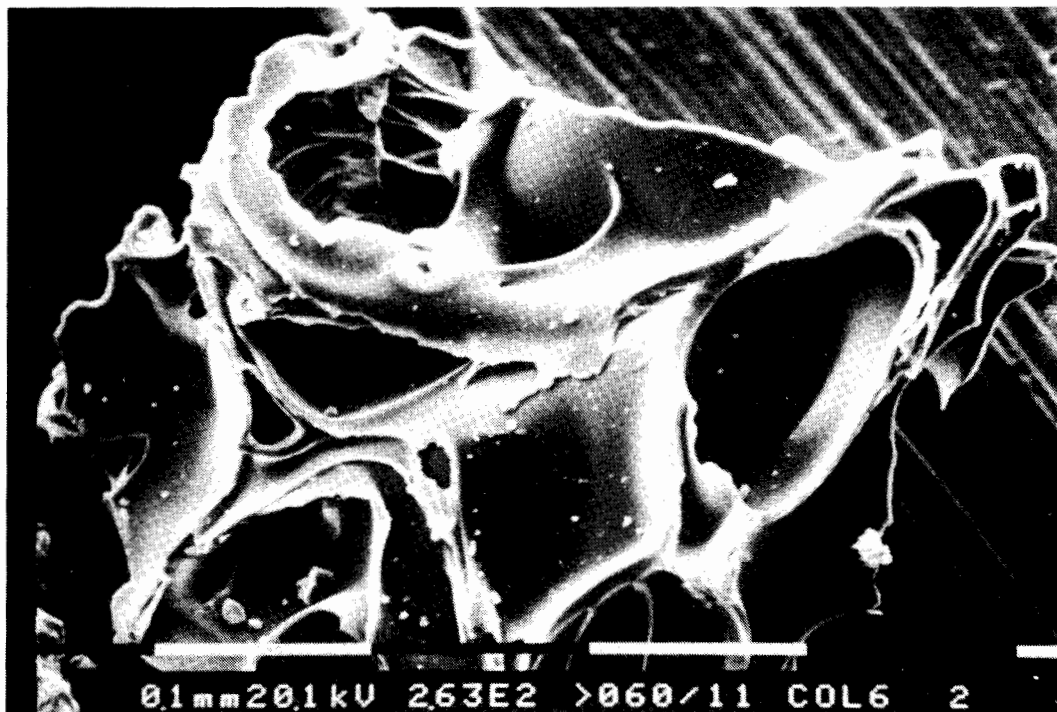
Η Τρίτη και τελευταία φάση της ηφαιστειακής δράσης αρχίζει στις 14/9/1650. Το οικοδόμημα βρίσκεται ήδη σε μικρό βάθος και αναδύεται λίγες μέρες αργότερα (26/9). Η κίσηση που αποτελούσε το νησί μάλλον είναι προγενέστερη - Μινωική πιθανά - και έχει παρασυρθεί από το εξωθούμενο μάγμα, καθώς δεν αναφέρονται εκρήξεις που να δικαιολογούν την παρουσία της σαν νεανικό προϊόν. Κάτι αντίστοιχο έχει καταγραφεί και σε ενδοκαλδερικά γεγονότα (π.χ. "Άσπρονήσι" κατά την ηφαιστειακή δράση 1866-1870, Fouque 1879; Ακύλας 1925).

Η εκρηκτική ηφαιστειακή δραστηριότητα αρχίζει στις 27/9 και οι πρώτες φάσεις της (27 και 28/9) είναι κύρια υδρομαγματικές, όπως προκύπτει από την περιγραφή των εκρηκτικών φαινομένων. Οι εκρήξεις οφείλονται στη θρυμματοποίηση του μάγματος κατά την επαφή του με το θαλασσινό νερό.

Στις 29/9 η μαγματική εκρηκτική συνισταμένη αυξάνει εμφανώς και δημιουργούνται οι πρώτες σχετικά υψηλές εκρηκτικές στήλες. Μεγάλες ποσότητες μαγματικών αερίων αρχίζουν να απελευθερώνονται.

Η παροξυσμική εκρηκτική φάση (30/9) εκδηλώνεται σε χερσαίες συνθήκες και είναι κύρια μαγματική εκρηκτική δραστηριότητα πλινιακού τύπου.

Οι μορφολογικές παρατηρήσεις και αναλύσεις στο SEM, νεανικών θραυσμάτων που αποτέθηκαν από την παροξυσμική εκρηκτική φάση σαν ορίζοντας στάχτης πτώσης στη ΒΑ Σαντορίνη, επιβεβαιώνει τα παραπάνω. Το κύριο μέρος των νεανικών θραυσμάτων είναι έντονα φουσαλιδοποιημένη κίσηση και τοιχώματα φουσαλίδων γυαλιού,



Εικ. 2: Έντονα φυσαλιδοποιημένο νεανικό θραύσμα κίσηρης, από τον οριζόντια στάχτης της παροξυσμικής έκρηξης του 1650 (φωτογραφία στο SEM).

Fig. 2: Highly vesiculated juvenile pumice fragment, from the ash fall layer of the 1650 paroxysmic explosion (SEM photo).

γεγονός που υποδεικνύει θρυμματοποίηση από μαγματικά αέρια. Ένα μέρος των νεανικών θραυσμάτων παρουσιάζει χαρακτηριστικά υδρομαγματικής έκρηξης (συμπαγές γυαλί σε χαμηλή φυσαλιδοποίηση και έντονη θρυμματοποίηση). Η παρουσία τους τον οριζόντια στάχτης μπορεί να εξηγηθεί μέσω της επανεκτόξευσης, από την παροξυσμική φάση, μέρους των υδρομαγματικών προϊόντων που είχαν ήδη αποθεθεί γύρω από τον κρατήρα, από τις πρώτες εκρηκτικές υδρομαγματικές φάσεις.

Η κένωση μέρους του μαγματικού θαλάμου από την παροξυσμική έκρηξη συνεπάγεται αμέσως μετά το πέρας της την κατάρρευση του υπερκείμενου οικοδομήματος και τη δημιουργία του καλδερικού βυθίσματος (Εικ. 4), προκαλώντας το γνωστό παλιρροιακό κύμα.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα συνεχίζει στο εξής κύρια με την απελευθέρωση των μαγματικών αερίων, καθώς η εκβάθυνση του πόρου (-500m) δεν επιτρέπει τη συνέχιση της εκδήλωσης εκρηκτικής δραστηριότητας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λόγω των τεράστιων ποσοτήτων μαγματικών αερίων που απελευθερώθηκαν και της απομακρυσμένης θέσης του ηφαιστειακού κέντρου σε σχέση με τις Καμένες, είχε ήδη διατυπωθεί η άποψη ότι πρόκειται για ένα νέο μαγματικό θάλαμο που τροφοδοτείται με μάγμα διαφορετικής σύστασης από αυτό των Καμένων (Ακύλας 1925; Fytikas et al. 1990). Αυτό επιβεβαιώθηκε πλήρως με τις αναλύσεις των δειγμάτων του Κολούμπου στο μικροαναλυτή και το SEM. Πρόκειται για πιο εξελιγμένο μάγμα σε σχέση με αυτό των Καμένων, με ορυκτές φάσεις (Hb1 - B1)



Εικ. 3: Νεανικό θραύσμα συμπαγούς γυαλιού (a) και κρύσταλλοι (b: Cpx, c: Mt, d: Pl), περιβαλλόμενα από συσσωματώματα σχιζών και τοιχωμάτων φυσαλίδων γυαλιού (e).

Fig. 3: Dense glass juvenile fragment (a) and crystals (b: Cpx, c: Mt, d: Pl) covered by glass shards and bubble walls aggregates (e). Ash fall layer of the 1650 paroxysmic explosion (SEM photo).

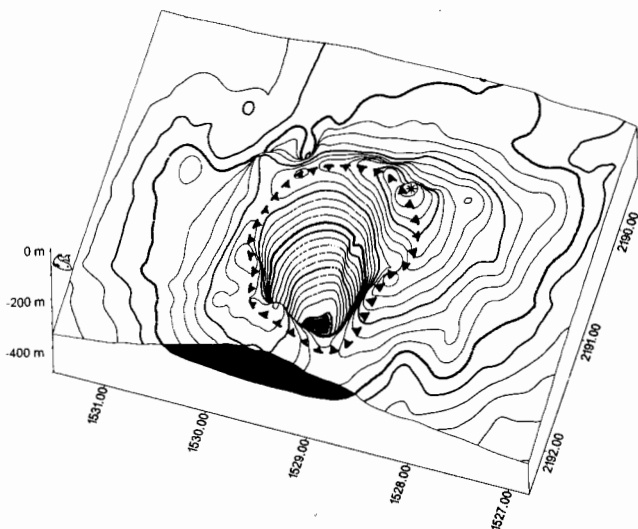
που δεν παρατηρούνται ούτε στις Καμένες (Barton & Huijsmans 1986) ούτε στη Μινωική έκρηξη (Vitaliano et al. 1990).

Η μορφή των ανδεσιτικών σκωριωδών τεμαχών που εντοπίστηκαν και η ρυολιθική σύσταση του γυαλιού της κύριας μάζας, συνηγορούν για την προέλευσή τους από ζώνες συγκέντρωσης κρυστάλλων σε ένα μεγάλων διαστάσεων μαγματικό θάλαμο. Για την τελική επιβεβαίωση όλων των παραπάνω αναμένονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων σε ολικό πέτρωμα και της ισοτοπικής τους σύστασης.

Ο όγκος του μάγματος που αποτέθηκε με εξωθητικούς - εκχυτικούς μηχανισμούς κατά το 1649-1650, υπολογίστηκε προσομοιώνοντας στον Η/Υ το οικοδόμημα πριν από την κατάρρευση με συμμετρικό ελλειψοειδές. Θεωρώντας σαν βάση των λαβών τη ισοβαθή των 280m προκύπτουν 2,19 km³ μάγματος. Η απότομη μορφολογία των πρηνών του όλου οικοδομήματος και η έλλειψη οποιασδήποτε κάλυψής του με ιζηματογενές υλικό (Περισοράτης κ.α. 1992), μας επιτρέπουν να θεωρήσουμε όλο το οικοδόμημα σαν προϊόντα του 1649-1650. Το όριο της βάσης των λαβών του Κολούμπου στα 280-300m επιβεβαιώνεται και από την αλλαγή στην κλίση των πρηνών του καλδερικού βυθίσματος που παρατηρείται μετά τα 300m, αλλαγή που υποδεικνύει αλλαγή του σχηματισμού σε αυτό το βάθος.

Ο όγκος του μάγματος που εκτινάχθηκε από την έκρηξη σαν πυροκλαστικά

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



Εικ. 4: Τρισδιάστατο πρότυπο του Κολούμπου. Σημειώνονται το πιθανό όριο των λαβών του 1649-1650 (παχιά γκρι γραμμή) και το χείλος του καλδεραικού βυθίσματος (---).

Fig. 4: Three-dimensional model of Kolumbos. The probable limit of the 1649-1650 lavas (thick gray line) and the rim of the caldera collapse (---) are reported.

πολογισμούς ότι η έκρηξη του Κολούμπου ήταν η μεγαλύτερη ιστορική ηφαιστειακή δράση που εκδηλώθηκε στον Ελλαδικό χώρο.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι παραπάνω έρευνες και μελέτη πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του έργου ΕΟΚ, DG XII, Περιβάλλον, Φυσικοί κίνδυνοι, "Μελέτη και παρακολούθηση του ηφαιστείου της Σαντορίνης", από το οποίο και χρηματοδοτήθηκαν μερικά. Οι υποβρύχιες έρευνες χρηματοδοτήθηκαν κυρίως από το Κοινωνοφελές Ίδρυμα Αλέξανδρος Ωνάσης, ενώ συνέβαλλαν επίσης το Ίδρυμα Μποδοσάκη, το Ίδρυμα Θήρας "Π. Νομικός", η ΕΤΒΑ, η Πετρογκάζ ΑΕ, η JOHNSON & JOHNSON ΕΛΛΑΣ ΑΕΒΕ και η Καθημερινή. Το φωτογραφικό υλικό προσέφερε η FUJI FILM ΕΛΛΑΣ ΑΕΒΕ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΚΥΛΑΣ, Β. (1925). Τα ηφαιστεια και η νήσος Θήρα. Αθήνα, 1925, 104 σ.
- BARBERI, F. and CARAPEZZA, M.L. (1994). Helium and CO₂ soil gas emission from Santorini (Greece). Submitted to *Bull. Volcanol.*, 19p.
- BARTON, M. and HUIJSMANS, J.P.P. (1986). Post - caldera decites from the Santorini volcanic complex, Aegean Sea, Greece: an example of the eruption of lavas of near constant composition over a 2.200 year period. *Contrib. Mineral. Petrol.* 94, 472 - 495.
- BUDETTA, G., CONDARELLI, D., FYTIKAS, M., KOLIOS N., PAQUARE, G., RAPOLLA, A., PINNA, E. (1984). Geophysical Prospecting on the Santorini Islands, *Bull. Volcanol.*, 47 - 3, 447 - 466.
- DRUITT, T.H., MELLORS, R.A., PYLE, D.M. and SPARKS, R.S.J. (1989). Explosive volcanism on Santorini, Greece. *Geological Magazine*, 126 - 2, 95 - 213.
- DOUMAS, C. (1980). Eruptions of the Santorini volcano from contemporary sources.

προϊόντα, υπολογίστηκε με βάση τον όγκο του καλδεραικού βυθίσματος και την προσομοιωμένη ανώτερη επιφάνεια του οικοδομήματος πριν την κατάρρευση. Προκύπτουν έτσι 1,17 km³ μάγματος, τα οποία αντιστοιχούν σε 4,87 km³ κίσηρης, θεωρώντας την πυκνότητα του μάγματος 2.500 kg/m³ και αυτή της κίσηρης 600 kg/m³ (από εκτίμηση του ποσοστού φυσालιδοποίησης).

Το σύνολο του όγκου του μάγματος που παράχθηκε κατά την ηφαιστειακή δράση του 1649 - 1650 υπολογίστηκε έτσι σε 3,36 km³. Όγκος μεγαλύτερος από το σύνολο του όγκου του μάγματος που υπολογίζεται ότι τροφοδότησε την ιστορική ενδοκαλδερική δραστηριότητα, η οποία οικοδόμησε τις Καμένες (2,5 km³; Heiken & McCoy 1984). Επιβεβαιώνεται έτσι και με τους παραπάνω ποσοτικούς υπολογισμούς ότι η έκρηξη του Κολούμπου ήταν η μεγαλύτερη ιστορική ηφαιστειακή δράση που εκδηλώθηκε στον Ελλαδικό χώρο.

- In Thera and the Aegean world II, 819 - 823. The Thera Foundation London.
- FOUQUE, F. (1879). Santorini et ses eruptions, Masson et cie, Paris.
- FYTIKAS, M., KOLIOS, N. and VOUGIOUKALAKIS, G. (1990). Post-Mionan volcanic activity of the Santorini volcano, Volcanic hazard and risk. Forecasting possibilities. In Thera and the Aegean World III 2, 183 - 198. The Thera Foundation London.
- FYTIKAS, M. and VOUGIOUKALAKIS, G. (1993). Volcanic hazard in the Aegean islands. International Conference on Natural Risk and Civil Protection, 26-29/10/93, Belgirate - Italy, proceedings preprint, 41-54.
- HEIKEN, G. and McCOY, F. (1984). Caldera development during the Minoan eruption, Thira, Cyclades, Greece. J. Geophys. Res. 89, B - 10, 8441 - 8462.
- LATTER, J.K. (1981). sunamis of Volcanic Origin: Sumary of Causes with Particular Reference to Krakatoa, 1883. Bull. Volcanol., 44 - 3, 468 - 490.
- ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ, Β και ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ Κ. (1989). Οι σεισμοί της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη, 356 σ.
- ΠΕΡΙΣΟΡΑΤΗΣ, Κ., ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ, Σ., ΖΑΧΑΡΑΚΗ, Π. and ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ, Ι. (1992). Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της καλδέρας της Σαντορίνης και της γύρω θαλάσσιας περιοχής. 6^ο Συνέδριο ΕΓΕ. Αθήνα 1992, 20 σ.
- PERISSORATIS, C. and ANGELOPOULOS, J. (1990). Geologic controls of the Santrorini caldera and the Columbus vulcano. XXXII C.I.E.S.M. Congr., 32-1, 101p.
- VITALIANO, C.J., TAYLOR, S.R., NORMAN, M.D., McCULLOCH, M.T. and NICHOLS, I.A. (1990). Ash layers of the Thera volcanic series: straitigraphy, petrology and geochemistry. In Thera and the Aegean World III - 2, 53-78. The Thera Foundation London.
- VOUGIOUKALAKIS, G. and SBRANA, A. (1994). Land evidences on Santorini for the 1650 Kolumbo explosive eruption (in prep.).