

ΤΑ ΑΛΟΓΟΝΟΥΧΑ ΟΡΥΚΤΑ ΑΤΑΚΑΜΙΤΗΣ, ΙΩΔΑΡΓΥΡΙΤΗΣ, ΧΛΩΡΑΡΓΥΡΙΤΗΣ, ΣΤΗΝ ΕΠΙΘΕΡΜΙΚΗ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ ΧΡΥΣΟΥ ΤΟΥ ΠΡΟΦΗΤΗ ΗΛΙΑ ΤΗΣ ΜΗΛΟΥ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥΣ*

Ε. ΔΗΜΟΥ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Σε δείγματα από πυρήνες γεωτρήσεων που είχε εκτελέσει η εταιρεία ΜΙΔΑΣ Α.Ε στον Προφήτη Ηλία της Μήλου για επιθερμικό χρυσό, ενωπίστηκαν εκτός από τον χρυσό, υψηλές περιεκτικότητες κυρίως αργύρου και δευτερευόντως χαλκού. Η μελέτη έδειξε ότι τα στοιχεία Ag, Cu δεν εμπεριέχοντο σε μεταλλικές ενώσεις, αλλά σχημάτιζαν με τα στοιχεία I και Cl αλογονούχα ορυκτά. Προσδιορίστηκαν δύο με χαλκό, Ατακαμίτης - Παρατακαμίτης $Cu_2(OH)_3Cl$ και δύο με άργυρο, Ιωδαργυρίτης (AgI) και Χλωραργυρίτης (AgCl). Τα αλογονούχα αυτά ορυκτά εντοπίζονται σε θέσεις των πετρωμάτων με έντονη υδροθερμική εξαλλοίωση, συνοδευόμενα από χρυσόκολλα, βαρύτη, αλουνίτη, ιαροσίτη, δικίτη, χαλκηδόνη, χαλαζία. Η παρουσία τους τονίζει τον ρόλο που έπαιξε το θαλάσσιο νερό στην εξαλλοίωση των πετρωμάτων και στην απόθεση των μετάλλων Ag, Au, Cu.

ABSTRACT

The present work refers to the mineralogical study of samples from borehole cores drilled in Profitis Ilias area at Milos island by the company "MIDAS" S.A., subsidiary of "Silver & Baryte Ores Mining Co" S.A., within the frames of the exploration for epithermal gold and silver.

Intensely hydrothermally altered pyroclastic rocks of rhyodacitic composition occur in the area, transformed in a group of secondary minerals as alunite, jarosite, dickite, kaolinite, chrysothalite, chalcedony, adularia, quartz. Several quartz veins rich in barite and occasionally alunite traverse these rocks. The mineralization, located mainly into the quartz veins, is poor in metallic mineral proportion and consists of a few grains of hematite, pyrite, galena, chalcopryrite, bornite, chalcocine, tetradrite, native gold, electrum, copper.

Gold and silver of the order of 20ppm and 1300ppm respectively were observed in some core samples from boreholes of small depth (from 18 up to 21 m.). Initially, the exploration has been focused on the research for silver bearing minerals, taking also into consideration that high silver grades could not be explained by the restricted presence of electrum. However, the investigation proved that the high silver proportion derives from two rare silver alogenides minerals, Iodargyrite (AgI) and Chlorargyrite (AgCl), located into the cavities of the quartz veins or into fully altered-eroded voids of host rocks. These two alogenides present similar mineralogical properties and thus their identification was based mainly on the microanalyses. Moreover, Atacamite $Cu_2(OH)_3Cl$ another alogenide mineral of emerald-green colour, has been found into the same samples. Its presence indicated increased grades in copper, since the metallic minerals of copper are almost absent.

The presence of these alogenide minerals exclusively into cavities and the significant presence of alogene element iodine, suggest deposition, where the seawater (mixed or not with hydrothermal solutions) has played an important role. After the seawater intrusion into various formations (metamorphic basement, volcanic rocks) a high temperature are acquired, as well as enrichment in valuable metals (Au, Ag, Cu) which are deposited during its ascend in higher levels, mainly in form of alogenides.

These rare alogenides display significant data on the general mineralization of the area and a different processing-recovery way of the valuable metals occurring into the epithermal mineralization.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ατακαμίτης, ιωδαργυρίτης, χλωραργυρίτης, αλογονούχα, Μήλος, Ελλάς

KEY WORDS: atacamite, iodargyrite, chlorargyrite, alogenides, Milos, Greece

* THE ALOGENIDE MINERALS ATACAMITE, IODARGYRITE, CHLORARGYRITE IN THE EPITHERMAL GOLD MINERALIZATION OF PROFITIS ILIAS MILOS ISLAND AND THEIR IMPORTANCE.

1. I.G.M.E., 70 Messoghion str., GR 115 27 Athens, Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην ορυκτολογική-πετρογραφική μελέτη δειγμάτων από πυρήνες γεωτρήσεων που έγιναν στον Προφήτη Ηλία της Μήλου από την Εταιρεία ΜΙΔΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΑΕ(*), θυγατρική της Εταιρείας «Αργυρομεταλλευμάτων και Βαρυτίνης», στα πλαίσια μιας έρευνας για επιθερμικό χρυσό και άργυρο.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στα δείγματα από γεωτρήσεις μικρού βάθους, αφ' ενός γιατί οι περιεκτικότητες σε χρυσό και άργυρο ήταν αρκετά υψηλές, αφ' ετέρου γιατί παρουσίαζαν μία ασυνήθιστη παραγένεση με σπάνια και ποικίλα αλογονούχα ορυκτά. Η έρευνα επικεντρώθηκε κυρίως στα αλογονούχα αυτά ορυκτά, αφού αποδείχθηκαν ότι ήταν και οι κύριοι φορείς ή ξενιστές των υπό αναζήτηση μετάλλων Ag,Au. Περαιτέρω έρευνα απέδειξε ότι και ο συνυπάρχων στα ίδια δείγματα χαλκός, ήταν κυρίως ως αλογονούχος ένωση.

Η Μήλος, ως γνωστό, είναι ένα από τα νησιά που ο άφθονος και ποικίλος ορυκτός της πλούτος έγινε αντικείμενο έρευνας και εκμετάλλευσης από την Αρχαιότητα. Ο περίφημος «Μήλιος Οψιδιανός» ήδη από την Μεσολιθική εποχή εξάγεται σε πολλά μέρη της Ελλάδας, ενώ από τα θειωρυχεία της Μήλου εξορύσσονται μεγάλες ποσότητες θείου, ίσως κατά τους Κλασικούς χρόνους. Οι «μυλόλιθοι» (μυλόπετρες) εξορύχθηκαν από τα λατομεία τραχείτη της Μήλου και πιθανόν να εξήχθησαν έως και στο Λαύριο για την λειοτριβήση του αργυρούχου μεταλλεύματος. Η «Μηλία γη» ή «Μηλιάς», ήταν ξακουστή στον τότε κόσμο για την πολύ καλή ποιότητα στην ζωγραφική χρήση. Η Κίσηρης (ελαφρόπετρα) εκτιμήθηκε ιδιαίτερα στην Ρωμαϊκή εποχή για το τρίψιμο των «μωσαϊκών». Ο «Στυπτηριάτης Λίθος» που δεν ήταν τίποτε άλλο παρά το θεικό άλας ο αλουνίτης, εξορύχθηκε κατά την αρχαιότητα για φαρμακευτικές κυρίως χρήσεις. Όλα τα παραπάνω ορυκτά και πετρώματα που εξορύχθηκαν κατά την αρχαιότητα από τη Μήλο, καθώς και άλλα που ανακαλύφθηκαν από τους σημερινούς Έλληνες (μπεντονίτης, καολινίτης, περλίτης, ποζολάνη, αργυρούχος βαρύτης, μαγγάνιο κ.α.) είναι προϊόντα μιας έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας. Με μία τόσο έκδηλη παραγωγική και πλούσια σε χρήσιμα ορυκτά ηφαιστειακή δράση, ήταν επόμενο να αρχίσει στη Μήλο και η αναζήτηση κοιτασμάτων επιθερμικού χρυσού και αργύρου από τις ενδιαφερόμενες εταιρείες.

Η παρούσα εργασία είχε σαν στόχο την ακριβή μελέτη της μεταλλοφορίας και ιδιαίτερα τον εντοπισμό του αργύρου. Η μελέτη των δειγμάτων βασίσθηκε κυρίως στην οπτική και ηλεκτρονική (SEM) μικροσκοπία, περιθλασιμετρία ακτίνων Χ και μικροανάλυση. Οι μικροαναλύσεις των αλογονούχων ορυκτών έγιναν στα εργαστήρια του Φονταινεμπλώ της Ecole National de Mines des Paris από τον Δρ. R. Serment, ενώ οι ημιποσοτικές αναλύσεις (SEM) έγιναν στο ΙΓΜΕ από τον Δρ. Γ. Οικονόμου.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ - ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το νησί της Μήλου ανήκει στο κεντρικό νότιο τμήμα του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου που σχετίζεται με την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την πλάκα του Αιγαίου. Αυτή η «προνομαϊκή» θέση προκάλεσε μία έντονη ηφαιστειότητα, ένα πολύ υψηλό γεωθερμικό πεδίο και μία ισχυρή υδροθερμική δράση που οδήγησε στην εξαλλοίωση του συνόλου σχεδόν των πετρωμάτων.

Η Μήλος δομείται κυρίως από ηφαιστειακά και ηφαιστειο-ιζηματογενή πετρώματα Πλειοκαινικής-Πλειστοκαινικής ηλικίας, με μικρές εμφανίσεις μεταμορφωμένου υπόβαθρου Αλπικής ηλικίας και Νεογενών θαλάσσιων ιζημάτων. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα που άρχισε στα δυτικά της Μήλου με εναέριες και υποθαλάσσιες εκρήξεις, χρονολογείται από 3.5 εκ. χρόνια και ακόμη συνεχίζεται (Φυτίκας 1977, Fytikas et al 1986, Liakopoulos 1987, 1995). Σύμφωνα με τους παραπάνω ερευνητές, διακρίνονται πέντε κύριες ηφαιστειακές φάσεις: 1) σειρά πυροκλαστικών Μέσο έως Άνω Πλειόκαινου που καλύπτει το ΝΔ τμήμα του νησιού και αποτελείται από τόφους, ιγνιμπρίτες, κίσηρη κ.α. 2) δόμοι και λάβες του Άνωτ. Πλειόκαινου χερσαίας ηφαιστειότητας στο Δυτικό τμήμα του νησιού. 3) πυροκλαστικά και δόμοι του Κατ. Πλειοστόκαινου υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας, ρουδακίτικης έως ρουλιθικής σύστασης. Πάνω από τους σχηματισμούς αυτούς διακρίνονται δύο φάσεις λαβών δακίτικης έως ρουδακίτικης σύστασης με παρεμβολές ιγνιμπριτών. 4) ρυόλιθοι του Άνωτ. Πλειοστοκαινού με εναλλαγές εκρηκτικών και έκχυτων φάσεων ηφαιστειότητας, με κώνους πυροκλαστικών από εναλλαγές τέφρας, περλιτικών θραυσμάτων καθώς και ρουλιθικές λάβες. 5) Φρεατικές εκρήξεις

Στην περιοχή του Προφήτη Ηλία, στο Ν.Δ άκρο του νησιού, που έγιναν οι γεωτρήσεις, τα περιβάλλοντα πετρώματα-ξενιστές της μεταλλοφορίας-είναι ως επί το

(*) Σημερινή ονομασία: «Γεωλογική Έρευνα και ανάπτυξη Α.Ε.»

πλείστον πυροκλαστικά πετρώματα ρουδακίτικης σύστασης ισχυρά εξαλλοιωμένα. Από τα αρχικά συστατικά των πετρωμάτων διατηρούνται μόνο κάποια υπόλοιπα κρυστάλλων χαλαζία και περιγράμματα παλαιών ασφρίων, τα οποία βρίσκονται τώρα μέσα σ' ένα σύνολο δευτερογενών ορυκτών, προϊόντων της υδροθερμικής εξαλλοίωσης, όπως αλουνίτη, ιαροσίτη, καολινίτη, δικίτη, σερικίτη, κερουσίτη, αββεσίτη, χριστοβαλίτη, χαλαζία,

ασβεσίτη. Ο αλουνίτης, ιδιαίτερα άφθονος, ενίοτε καταλαμβάνει από μόνος του ολόκληρα τμήματα του πετρώματος με την μορφή πυκνών ενίοτε σφαιρικών συναθροίσεων από μικρούς κρυστάλλους (εικ.1)

Άφθονα χαλαζιακά φλεβίδια συνοδευόμενα από βαρύτη, ιαροσίτη και αλουνίτη, διατρέχουν τα ήδη εξαλωμένα πυροκλαστικά πετρώματα. Ο βαρύτης απαντάται σε επιμήκεις-βελονοειδείς κρυστάλλους που συχνά σχηματίζουν μεταξύ τους πλέγμα, τα κενά του οποίου καταλαμβάνει ο λεπτόκοκκος αλουνίτης και ο χαλαζίας (εικ. 2). Πιο σπάνια εντοπίζονται επίσης λεπτά φλεβίδια πληρωμένα κυρίως από ιδιόμορφους μικρούς κρυστάλλους δικίτη, με μικρότερη συμμετοχή αλουνίτη και χριστοβαλίτη. Σε ορισμένες θέσεις παρατηρούνται άφθονες μικρές κοιλότητες, διάκενα και μικρογεώδη, που πληρώνονται εν μέρει από κονιώδη εύθρυπτα ορυκτά.

3. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑΣ

Χημικές αναλύσεις που είχαν πραγματοποιηθεί από την Εταιρεία ΜΙΔΑΣ και το ΙΓΜΕ σε επιλεγμένα δείγματα μικρού βάθους, 18 έως 21 μέτρα, από πυρήνες γεωτρήσεων, είχαν δείξει υψηλά ποσοστά χρυσού και ιδιαίτερα αργύρου (πιν. 1). Αρχικός στόχος της μελέτης ήταν κυρίως ο εντοπισμός των ορυκτών εκείνων που περιείχαν τις υψηλές περιεκτικότητες σε άργυρο(έως 1300ppm), δεδομένου ότι αυτές δεν μπορούσαν να δικαιολογηθούν μόνο με την παρουσία του κράματος Au-Ag (ήλεκτρον), αφού από μόνος του ο εμπεριεχόμενος ολικός χρυσός δεν ξεπερνούσε τα 20ppm. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την αναζήτηση και τον εντοπισμό των ορυκτών φορέων των πολυτίμων αυτών μετάλλων αλλά και του χαλκού, ο οποίος παρουσίαζε στα ίδια επιλεγμένα δείγματα τιμές από 1.2% έως 1.5%. Ο συνυπάρχων βαρύτης στην συγκεκριμένη περίπτωση, δεν ενδιέφερε.

Η ορυκτολογική μελέτη των δειγμάτων έδειξε ότι τα υψηλότερα ποσοστά των μετάλλων Ag, Au, Cu ήταν συγκεντρωμένα κυρίως σε χαλαζιακές φλέβες με βαρύτη και αλουνίτη, καθώς και στα κενά διάβρωσης ή μικρογεώδη των πετρωμάτων ξενιστών. Η συμμετοχή των μεταλλικών ορυκτών στα δείγματα μικρού βάθους(γεώτρηση PD006) είναι πολύ μικρή και έρχεται σε αντίθεση με την σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα στα μέταλλα που ενδιέφεραν. Στα δείγματα μεγαλύτερου βάθους άλλων γεωτρήσεων (PD003, PD009), υπήρχε μεγαλύτερη μεν συμμετοχή των μεταλλικών ορυκτών, αλλά οι περιεκτικότητες σε άργυρο, χρυσό και χαλκό, ήταν εντυπωσιακά χαμηλότερες. Αυτό ήδη μας δίνει μία πρώτη ένδειξη ότι τα υπό αναζήτηση μέταλλα στην παρούσα θέση, δεν συνδέονται άμεσα με μεταλλικές φάσεις. Γενικά τα μεταλλικά ορυκτά είναι λίγα, μικρής κοκκομετρίας και αντιπροσωπεύονται από θειούχα, οξειδία, αυτοφυή μέταλλα και κράματα. Τα θειούχα ορυκτά εντοπίζονται σχεδόν αποκλειστικά στις χαλαζιακές φλέβες με βαρύτη, ενώ τα οξειδία βρίσκονται διάσπαρτα ως επί το πλείστον κυρίως στη μάζα των πετρωμάτων. Προσδιορίστηκαν κατά σειρά αναλογίας τα εξής: Σιδηροπυρίτης, Αιματίτης, Σφαλερίτης, Χαλκοπυρίτης, Βορνίτης, Χαλκοσύνης, Γαληνίτης, Τετραεδρίτης.

Πίνακας 1: Χημικές αναλύσεις Au, Ag
Table 1: Chemical analyses Au, Ag

| Γεώτρηση | Βάθος (m) | Au (ppm) | Ag (ppm) |
|----------|-----------------|----------|----------|
| PD006 | 18.15 - 19.10 | 19.7 | 1298 |
| | 20.80 - 21.25 | 12.2 | 921 |
| PD009 | 95.05 - 97.95 | 8 | 156 |
| | 275.25 - 275.80 | 5 | 88 |
| PD003 | 137.70 - 138.20 | 8 | 139 |

Από τον κατάλογο αυτό των μεταλλικών, μόνο ο τετραεδρίτης περιέχει πολύ μικρή ποσότητα αργύρου, αλλά η αμελητέα παρουσία του, δεν δικαιολογεί σε καμία περίπτωση τις υψηλές περιεκτικότητες των δειγμάτων σε άργυρο. Τα αυτοφυή μέταλλα και κράματα που κυρίως ενδιέφεραν, είναι τα ακόλουθα κατά σειρά αναλογίας:

Αυτοφυής χρυσός: μικροσκοπικοί διάσπαρτοι κόκκοι εντοπίζονται στις κοιλότητες των χαλαζιακών φλεβιδίων, μέσα σε υδροξείδια του σιδήρου καθώς και ως εγκλείσματα στα ημιδιαφανή Ag -αλογονούχα ορυκτά, που αποτελούν και το κύριο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Το σχήμα των κόκκων του χρυσού είναι ποικίλο (αποστρογγυλωμένο, γωνιώδες, σκωληκοειδές), ενώ το μέγεθός τους κυμαίνεται από υπομικροσκοπικό έως 30μm, με σύνηθες μέγεθος 5-10 μm (εικ.8). Η μικροανάλυση έδειξε ότι πρόκειται στις περισσότερες περιπτώσεις για σχεδόν καθαρό χρυσό με πολύ μικρή συμμετοχή αργύρου, αλλά δεν λείπουν και οι κόκκοι με τις σχετικά υψηλές περιεκτικότητες που πλησιάζουν αυτές του ήλεκτρον.

Ήλεκτρον: επειδή ο διαχωρισμός του από τον χρυσό οπτικά δεν μπορεί να είναι απόλυτα ακριβής, στην συγκεκριμένη περίπτωση υπολογίστηκαν ως ήλεκτρον, μόνο με μικροανάλυση, οι κόκκοι με τις περιεκτικότητες αργύρου πάνω από 25%. Οι κόκκοι του ήλεκτρον είναι πιο σπάνιοι από αυτούς του αυτοφυούς χρυσού και ίσως ελαφρώς μεγαλύτεροι. Ένα επί πλέον ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι πολύ συχνά εντοπίζεται μέσα σε συγκεντρώσεις Ag-αλογονούχων ορυκτών. Παρ' όλο το σχετικά υψηλό ποσοστό αργύρου που περιέχεται στο πλέγμα του (26-27%), εν τούτοις το μικρό ποσοστό των κόκκων δεν δικαιολογεί και πάλι τις υψηλές τιμές αργύρου στο ολικό πέτρωμα.

Αυτοφυής χαλκός: μικροί πολύ σπάνιοι κόκκοι χαλκού παρατηρήθηκαν μόνο σ' ένα δείγμα με περιφερειακή εξαλλοίωση σε χαλκοσύνη.

Αυτοφυής άργυρος: εντοπίστηκε αποκλειστικά και μόνο υπό μορφή λεπτότατων απομιξεων μέσα στα αλογονούχα ορυκτά του αργύρου που περιγράφονται παρακάτω.

Οι παραπάνω μεταλλικές φάσεις, λόγω της μικρής συμμετοχής τους στο πέτρωμα, δεν έλυναν από μόνες τους το πρόβλημα των υψηλών τιμών του αργύρου αλλά ούτε και χαλκού. Έτσι η αναζήτηση στράφηκε και σε διαφανή-ημιδιαφανή ορυκτά, και είχε σαν αποτέλεσμα τον εντοπισμό διαφόρων αλογονούχων ορυκτών του αργύρου και χαλκού, που απεδείχθησαν ότι ήταν και οι κύριοι φορείς των υπό αναζήτηση μετάλλων.

3.1 Αλογονούχα ορυκτά του χαλκού (Ατακαμίτης, Παρατακαμίτης)

Τα αλογονούχα ορυκτά είναι γενικά σπάνια και η σχετική διεθνής βιβλιογραφία είναι πολύ περιορισμένη. Στην Μήλο εντοπίστηκαν δύο αλογονούχα του χαλκού, ο Ατακαμίτης και ο Παρατακαμίτης.

Ο Ατακαμίτης (Atacamite) με χημικό τύπο $Cu_2Cl(OH)_3$ αποτελεί το ρομβικό πολύμορφο μαζί με δύο άλλα τον Παρατακαμίτη (Paratacamite) τριγωνικό και Μποταλλακίτη (Botallackite) μονοκλινή. Η χημική τους σύσταση, όπως καταγράφεται σε βιβλιογραφικές αναφορές, είναι $Cu=59.51\%$ $Cl=16.60\%$ $O=11.24\%$ $H_2O=12.65\%$.

Στην Ελλάδα αναφέρεται η παρουσία των ατακαμίτη, παρακαμίτη, μποταλλακίτη στην Καμάριζα και στο Σούνιο, (Wendel et al. 1999, Κατερινόπουλος et al. 1994). Κυρίως όμως τα τρία αυτά ορυκτά, υπό μορφή εξαιρετικά σπάνιων κρυστάλλων, απαντώνται ως νεοσχηματισθέντα ορυκτά μέσα στις μεταλλουργικές σκωρίες του Λαυρίου, με την συμβολή του θαλάσσιου νερού (Gelaude et al. 1996, Hanke 1994).

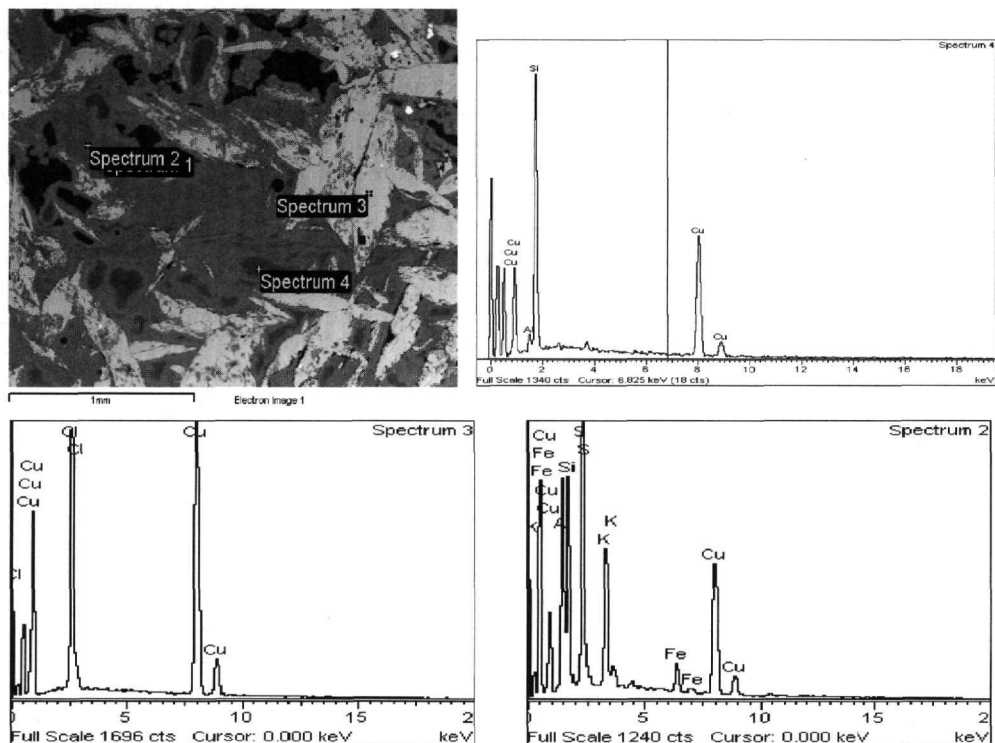
Στον Προφήτη Ηλία της Μήλου εντοπίστηκε ατακαμίτης στα δείγματα πυρήνων μικρού βάθους, χάρις στο μπλοπράσινο-σμαραγδοπράσινο χρώμα του που καλύπτει και χρωματίζει το σύνολο των άλλων παραγενετικών ορυκτών όπως βαρύτη, αλουνίτη, ιαροσίτης, χαλαζία. Ως επί το πλείστον πληροί κοιλότητες, μικρογεώδη και διακλάσεις του πετρώματος.

Στο μικροσκόπιο, όπως δείχνουν και οι εικόνες 3-4, ο ατακαμίτης εμφανίζεται αφ' ενός σε καλά ανεπτυγμένους μεμονωμένους ιδιόμορφους επιμήκεις κρυστάλλους μπλοπράσινο χρώματος, αφ' ετέρου σε μικρούς κοκκώδεις πρασινοφαιούς κρυστάλλους που σχηματίζουν μικρές συγκεντρώσεις. Παράλληλα εντοπίζονται και κάποια σφαιροειδή-ινώδη συσσωματώματα κυανοπράσινο-καστανοπράσινο χρώματος, καθώς και λεπτά φλεβίδια από το ίδιο υλικό. Οι αναλύσεις περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD), που έγιναν στους ανεπτυγμένους κρυστάλλους έδειξαν ότι πρόκειται για τυπικό ατακαμίτη, ενώ αυτές που έγιναν στα ινώδη συσσωματώματα έδειξαν κυρίως την παρουσία Παρατακαμίτη. Στον πίνακα 2 απεικονίζονται παραστατικά αφ' ενός το φάσμα αφ' ετέρου οι ημιποσοτικές αναλύσεις (SEM) του ατακαμίτη.

Οι κρύσταλλοι του ατακαμίτη περιβάλλονται σταθερά από ένα κολλοειδές - κρυπτοκρυσταλλικό υλικό κίτρινολευκού-καστανοπράσινο χρώματος (εικ.4), το οποίο πληροί επίσης μικρές κοιλότητες του πετρώματος, φλεβίδια, καθώς και τα κενά μεταξύ των διασταυρωμένων δοκίδων του βαρύτη. Πρόκειται για χρυσόκολλα ($(Cu,Al)_2H_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot n(H_2O)$ γεγονός που επιβεβαιώθηκε και με τις ημιποσοτικές αναλύσεις SEM (Πιν.2). Η χρυσόκολλα εκτός από τους κρυστάλλους ατακαμίτη περιβάλλει και ενσωματώνει και πολλά ορυκτά της υδροθερμικής εξαλλοίωσης όπως π.χ. ιαροσίτη αλουνίτη, (Πιν. 2), αποδεικνύοντας έτσι την υστερογενή απόθεσή της.

Πίνακας 2: Φάσματα και ημιποσοτικές αναλύσεις (αναγωγή στα 100%) με SEM (τύπος JEOL JSM-5600) Αναλυτής Δρ. Οικονόμου ΠΓΜΕ.

Table 2: Spectrum and semi-quantitative analyses (SEM, JEOL JSM-5600).



Spectrum 2: μίγμα χρυσόκολλας και ιαροσίτη: Al_2O_3 :22.10%, SiO_2 :25.33%, SO_3 :21.14%, K_2O :5.86%, FeO :2.54%, CuO :23.02% (χωρίς το H)

Spectrum 3: ατακαμίτης: Cl :17.21%, Cu :66.14%, O :16.65% (χωρίς το H)

Spectrum 4: χρυσόκολλα : Al_2O_3 :4.39%, SiO_2 :33.78%, CaO :0.53%, CuO :61.31%

3.2 Αλογονούχα ορυκτά του Αργύρου (Χλωραργυρίτης, Ιωδαργυρίτης)

Τα αλογονούχα ορυκτά του αργύρου έτχαν ιδιαίτερης προσοχής, όχι μόνο γιατί είναι σπάνια στη φύση, αλλά γιατί, στην περίπτωση του Προφήτη Ηλία της Μήλου, αποτελούν τους κύριους φορείς του αργύρου. Η διεθνής σχετική βιβλιογραφία είναι περιορισμένη, παρ'όλο που η παρουσία τους είναι γνωστή και ενίοτε σημαντική σε ορισμένα αργυρούχα κοιτάσματα (Gasparitini 1984). Στην περιοχή του Προφήτη Ηλία της Μήλου, που αφορά την παρούσα μελέτη, εντοπίστηκαν οπτικά και μελετήθηκαν δύο αλογονούχα ορυκτά του αργύρου, ο Χλωραργυρίτης και ο Ιωδαργυρίτης.

Χλωραργυρίτης ή Κεραργυρίτης (Chlorargyrite ή Cerargyrite): $AgCl$

Στον Ελλαδικό χώρο αναφέρεται παρουσία χλωραργυρίτη στο Λαύριο, ως δευτερογενές ορυκτό στην ζώνη οξειδωσης της αργυρούχου μεταλλοφορίας, συνοδευόμενο από γαληνίτη, κερουσίτη και οξειδία του μαγνήιου (Βουρλάκος 1992, Κατερινόπουλος et al. 1994, Wendel et al. 1999). Αλλά και στην Μήλο έγινε αναφορά πριν αρκετά χρόνια (Βορεάδης-Μουραμπάς 1935) για ύπαρξη του ορυκτού χλωραργυρίτη στους «βαρνομιμαγείς τόφφους», του οποίου όμως το όνομα αποδόθηκε τότε υπολογιστικά, βάσει του περιεχομένου στα δείγματα αργύρου και χλωρίου, χωρίς όμως το ορυκτό να είχε εντοπισθεί.

Στα δείγματα που μελετήσαμε από τον Προφήτη Ηλία, ο χλωραργυρίτης σχηματίζει πολύ μικρούς ιδιόμορφους κρυστάλλους που πληρούν μαζί με τον ιαροσίτη μικρές κοιλότητες και διακλάσεις, ενώ παράλληλα δημιουργεί και μικρά κονιώδη συσσωματώματα μέσα στις χαλαζιακές φλέβες. Το χρώμα του ποικίλει από καστανοπράσινο-κιτρινοκάστανο έως πρασινόμαυρο.

Η μικροσκοπική εξέταση έδειξε ότι το μέγεθος των συσσωματωμάτων αγγίζει το 1mm, ενώ οι μεμονωμέ-

νοι ιδιόμορφοι κρύσταλλοι μέσα στις κοιλότητες έχουν μέγεθος έως 150 μm. Συχνά κάποιιοι τέλειοι μικροσκοπικοί κύβιοι χλωραργυρίτη (κυβικό κρυσταλλικό σύστημα), φαίνονται να «πλέουν» ανεξάρτητοι μέσα σ' αυτές τις κοιλότητες (εικ.5-6). Το χρώμα τους στο διερχόμενο φως του μικροσκοπίου ποικίλει από καστανό έως πρασινοκάστανο, ενώ παρατηρείται συχνά μία ασαφής άμορφη περιφερειακή στεφάνη εξαλλοίωσης καστανέρυθρου χρώματος (Ostwaldite;). Στο ανακλώμενο φως οι κρύσταλλοι παρουσιάζουν χαμηλή ανακλαστική ικανότητα (χαμηλότερη των γνωστών μεταλλικών αργυρούχων ορυκτών) και πολύ μικρή σκληρότητα (1.5-2) που επιβεβαιώνεται από το πλήθος των γραμμώσεων που προκαλούνται στην επιφάνειά τους κατά την στίλβωση της τομής τους. Άλλο χαρακτηριστικό τους είναι η αντίδραση κατά την έκθεσή τους στο έντονο φως του μικροσκοπίου, που προκαλεί το άμεσο εμαύρισμα της επιφάνειάς τους.

Οι μικροαναλύσεις και το ποιοτικό φάσμα (SEM) του χλωραργυρίτη έδειξαν ότι μπορεί να περιέχει επιπλέον πολύ μικρά ποσοστά I και Br, χωρίς όμως να καταλήγει με βεβαιότητα στο ορυκτό εμβολίτη (Πιν. 3).

Ιωδαργυρίτης ή Ιωδουρίτης (iodargyrite or lodyrite) : AgI

Απ' ότι γνωρίζουμε παρουσία Ιωδαργυρίτη δεν αναφέρεται στον Ελλαδικό Χώρο, παρά μόνο στις μεταλλουργικές σκωρίες του Λαυρίου, ως ένα εξαιρετικό σπάνιο δευτερογενές «ορυκτό» που δημιουργήθηκε με την βοήθεια θαλάσσιου νερού (Gelaide et al.1996). Στην Μήλο είχε εντοπισθεί για πρώτη φορά πριν μερικά χρόνια (Δήμου, 1995) στα πλαίσια ανάθεσης έργου από την εταιρεία ΜΙΔΑΣ ΑΕ.

Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι ο Ιωδαργυρίτης στον Προφήτη Ηλία της Μήλου είναι ένα από τα κύρια ορυκτά του αργύρου και μάλιστα σε ορισμένα δείγματα υπερτερεί σε αναλογία του συνυπάρχοντος χλωραργυρίτη. Σχηματίζει συσσωματώματα από πολύ μικρούς (μερικών μm) κρυστάλλους που βρίσκονται σχεδόν αποκλειστικά μέσα σε κοιλότητες ή διακλάσεις του πετρώματος συνοδευόμενα συχνά από ιαρουσίτη. Οι μεγαλύτεροι μεμονωμένοι κρύσταλλοι Ιωδαργυρίτη, που φθάνουν έως και 400 μm, είναι συχνά ιδιόμορφοι και δημιουργούν πλακώδεις εξαγωνικές τομές (εξαγωνικό σύστημα κρυστάλλωσης,εικ.7-8). Το χρώμα του ποικίλει από ανοικτό κίτρινο, έως σκοτεινό καστανοπράσινο, χωρίς ουσιώδη διαφορά από αυτό του χλωραργυρίτη με τον οποίο μακροσκοπικά και συγγέεται. Η μικροσκοπική όμως εξέταση διαφορίζει σαφώς τα δύο αυτά αλογονούχα ορυκτά του αργύρου, λόγω των διαφορετικών οπτικών ιδιοτήτων τους, καθώς ο μεν χλωραργυρίτης είναι ισότροπος, ο δε Ιωδαργυρίτης είναι μονάξων θετικός. Ο Ιωδαργυρίτης, όπως και ο χλωραργυρίτης, παρουσιάζει την ίδια πολύ μικρή σκληρότητα (1.5-2) και την ίδια χαμηλή ανακλαστική ικανότητα.

Συχνά στο εσωτερικό των μεγαλύτερων κρυστάλλων (όπως άλλωστε και στον χλωραργυρίτη) παρατηρούνται μικροσκοπικοί κόκκοι χρυσού και ήλεκτρου 2 έως 10μm, ενώ σπανιότερα εντοπίζονται μικροσκοπικές ακανόνιστες απομίξεις αυτοφύσους αργύρου (εικ.7-8). Τα εγκλείσματα αυτά και οι απομίξεις αποτέλεσαν άριστο διαγνωστικό στοιχείο για τον αρχικό εντοπισμό των Ag-αλογονούχων ορυκτών. Οι μικροαναλύσεις (πιν.3) έδειξαν ότι μπορεί να περιέχει, μικρά ποσοστά Cl και Br.

Πίνακας 3: Μικροαναλύσεις Ag-Αλογονούχων ορυκτών
Table 3: Microprobe analyses of Ag-Halogenides

| | Χλωραργυρίτης AgCl% | | | Ιωδαργυρίτης AgI% | | Ag (Cl, I) Εμβολίτης; | |
|----|---------------------|--------|-------|-------------------|-------|-----------------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Ag | 74.47 | 73.45 | 75.02 | 45.09 | 46.00 | 56.18 | 45.38 |
| Au | 0.22 | 0.56 | - | 0.88 | - | 3.47 | - |
| Cu | 0.18 | - | 0.20 | - | - | 2.11 | - |
| Cl | 24.51 | 25.42 | 23.70 | 0.07 | 0.17 | 8.33 | 13.82 |
| I | - | 0.13 | 1.01 | 53.50 | 53.76 | 25.19 | 40.91 |
| Br | - | 0.45 | - | 0.42 | - | 0.84 | - |
| | 99.68 | 100.01 | 99.93 | 99.96 | 99.93 | 96.12 | 100.10 |

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

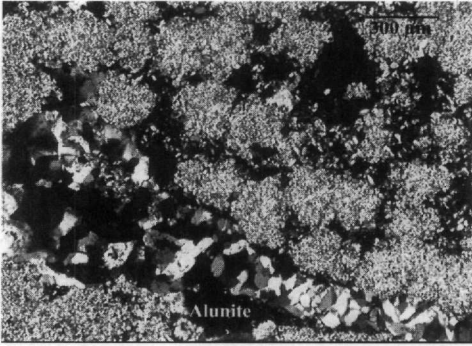
Ο εντοπισμός των αλογονούχων ορυκτών του αργύρου και του χαλκού στον Προφήτη Ηλία της Μήλου, έδωσε κατ'αρχήν μια απάντηση στον προβληματισμό «το που βρίσκεται ο άργυρος και ο χαλκός», στην συγκεκριμένη βέβαια περιοχή. Η πληροφορία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, προκειμένου, σε περίπτωση εκμετάλλευσης του Ag, να εφαρμοσθούν οι κατάλληλες μέθοδοι για την ανάκτησή του. Αυτός εξ' άλλου ήταν και ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας, δεδομένου ότι οι δοκιμές εμπλουτισμού του Ag δεν είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επi πλέον όμως η παρουσία των αλογονούχων δίνει και συμπληρωματικές πληροφορίες, σχετικά με τα υπεύθυνα διαλύματα που κυκλοφόρησαν στην περιοχή.

Τα τελευταία χρόνια διάφοροι ερευνητές, βασιζόμενοι σε ισοτοπικές αναλύσεις, υγρά εγκλείσματα, ομι-

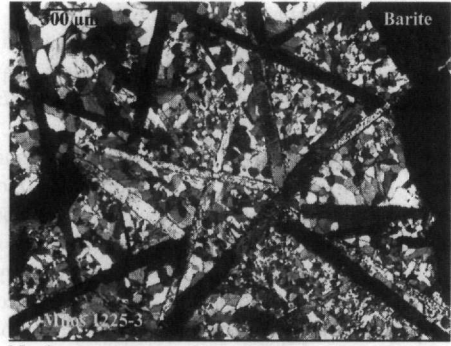
λούν ήδη για ανάμιξη θαλάσσιου νερού με τα υδροθερμικά διαλύματα στη Μήλο (Liakopoulos 1987, Kalogeropoulos et al.1983, Pflumio et al.1992, Liakopoulos 1995, Vavelidis et al.1998). Πρόσφατες έρευνες με ισοτοπικές και μικροθερμομετρικές αναλύσεις στην περιοχή του Προφήτη Ηλία, καταλήγουν ότι η απόθεση του ζωνώδους ήλεκτρου συντελείται σε θερμοκρασίες 200-250°C κάτω από συνθήκες βρασμού, εξηγώντας έτσι τις υψηλές αλατότητες που μετρήθηκαν (Kiliás, et al. 2001). Επιπλέον ο ίδιος ερευνητής, συγκρίνοντας τα δεδομένα του με αυτά του ενεργού γεωθερμικού συστήματος της Αν. πλευράς του νησιού, καταλήγει ότι η πηγή των μεταλλοφόρων διαλυμάτων και στον Προφήτη Ηλία είναι το θαλάσσιο νερό.

Τα αλογονούχα ορυκτά του αργύρου και χαλκού στον Προφήτη Ηλία, έρχονται σαν συμπληρωματικό αποδεικτικό στοιχείο για την ενεργό συμμετοχή του θαλάσσιου νερού. Η ποικιλότητα των ειδών (Ατακαμίτης-Παρατακαμίτης, Ιωδαργυρίτης, Χλωραργυρίτης), η αυξημένη αναλογία τους στην περιοχή, ο τρόπος εμφάνισής τους (μαζί με τα ορυκτά υδροθερμικής εξαλλοίωσης), αλλά κυρίως η σύστασή τους (με κύρια στοιχεία το I και Cl), φανερώνουν ότι στην περιοχή έδρασαν διαλύματα με υψηλή αλατότητα. Ιδιαίτερα μάλιστα με την παρουσία του Ιωδαργυρίτη (AgI), καθώς το Ιώδιο-χαρακτηριστικό στοιχείο του θαλάσσιου νερού - αποτελεί δομικό στοιχείο της σύστασής του. Το νερό της θάλασσας μέσα από ένα σύστημα ρηγμάτων εισχωρεί στους διάφορους σχηματισμούς (μεταμορφωμένο υπόβαθρο-ηφαιστειακά), αποκτά υψηλή θερμοκρασία και αναμεμιγμένο ή μη με υδροθερμικά διαλύματα, εμπλουτίζεται σε πολύτιμα μέταλλα τα οποία και αποθέτει κατά την άνοδό του σε υψηλότερα επίπεδα. Δεν μπορούμε βέβαια, λόγω έλλειψης αναλυτικών στοιχείων και σχετικών βιβλιογραφικών δεδομένων, να αποφανθούμε κάτω από ποιες θερμοκρασίες ή σε ποιο ύψος συντελείται η δημιουργία των αλογονούχων ορυκτών. Λαμβάνοντας όμως υπ' όψη τον τρόπο εμφάνισης (κοντά στην επιφάνεια και σε κενά), την σχέση τους με τα υδροθερμικά εξαλλοιωμένα ορυκτά, αλλά και την ταυτόχρονη συνύπαρξή τους με κάποια υπεργενετικά (χρυσόκολλα, υδροξειδία Fe), φαίνεται ότι η θερμοκρασίες ήταν χαμηλές πολύ κοντά σ' αυτές της ζώνης οξειδωσης-εμπλουτισμού.

Επομένως τα αλογονούχα ορυκτά στον Προφήτη Ηλία, αφ' ενός αποκαλύπτουν με την παρουσία τους το που βρίσκονται τα υπό αναζήτηση μέταλλα (κύρια Ag και δευτερευόντως Au και Cu), αφ' ετέρου συνηγορούν στο ότι το θαλάσσιο νερό, αναμεμιγμένο ή μη με υδροθερμικά διαλύματα, έπαιξε σημαντικό ρόλο στην δημιουργία της μεταλλοφορίας.



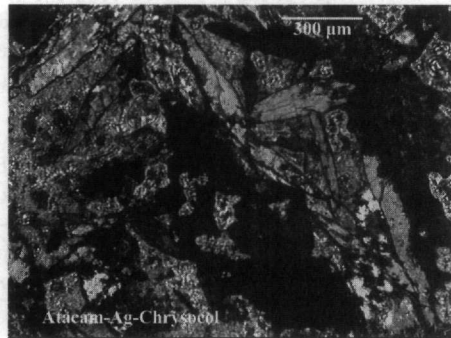
No 1



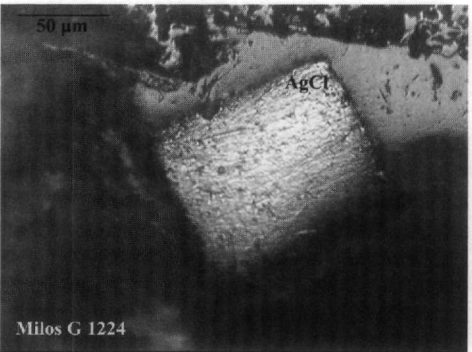
No 2



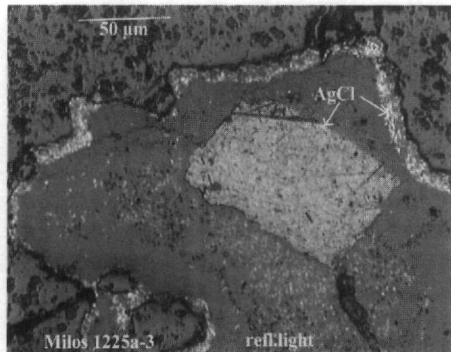
No 3



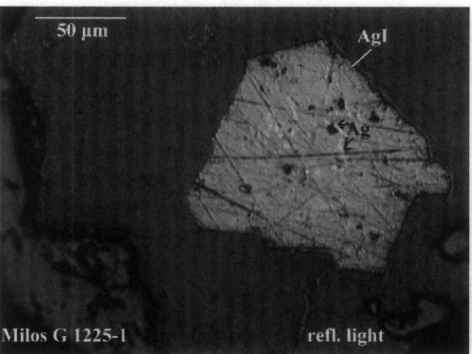
No 4



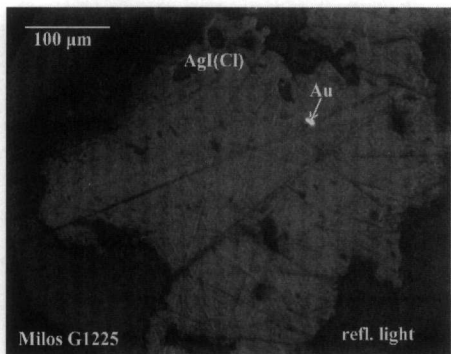
No 5



No 6



No 7



No 8

Εικ.1. Αλουνίτης σε σφαιροειδείς συγκεντρώσεις, μαζί με χαλαζία. Διερχ.φως, κάθετα πρίσματα.
Fig.1. Alunite in form of spheres, with quartz. Transm. light, crossed nicols.

Εικ.2. Χαλαζιακή φλέβα με βαρύτη (επιμήκεις κρύσταλλοι)και αλουνίτη. Διερχ. Φώς, κάθετα πρίσματα.
Fig.2. Quartz vein with barite (elongated crystals) and alunite. Transm. light, crossed nicols.

Εικ.3. Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι Ατακαμίτη. Διερχόμενο φώς, παράλλ.πρίσματα.
Fig.3. Idiomorphic crystals of Atacamite. Transm. light,parall.nicols.

Εικ.4. Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι Ατακαμίτη και συγκεντρώσεις Ag-αλογονούχων ορυκτών(σκούρες περιοχές)μέσα σε κολλοειδή μάζα χρυσό-κόλλας. Διερχ.φως, κάθετα πρίσματα.
Fig.4. Idiomorphic crystals of Atacamite and masses of Ag-Alogenides, included in colloforme chrysocolla. Transm.light,crossed nicols.

Εικ.5. Ιδιόμορφος κρύσταλλος χλωραργυρίτη. Ανακλ. Φως,παραλλ.πρίσματα.
Fig.5. Idiomorphic crystal of chlorargyrite. Reflected light,parall.nicols.

Εικ.6. Ιδιόμορφος κρύσταλλος χλωραργυρίτη μέσα σε κοίλωμα χαλαζιακής φλεβας Ανακλ. Φώς, παράλλ. πρίσματα.
Fig. 6. Idiomorphic crystal of chlorargyrite into a quartz vein cavity. Reflected light, parall. nicols.

Εικ.7. Ιδιόμορφος κρύσταλλος Ιωδαργυρίτη με μικρές απομίξεις αυτοφυσούς αργύρου Ανακλ. φως, παραλλ.πρίσματα.
Fig.7. Idiomorphic crystal of Iodargyrite showing small exsolutions of native silver. Reflected light, parall. nicols.

Εικ.8. Μικροσκοπικό έγκλεισμα χρυσού μέσα στον Ιωδαργυρίτη. Ανακλ. φώς, παράλλ. πρίσματα.
Fig. 8. Inclusion of fine-grained gold, included into Iodargyrite. Reflected light, parall. nicols.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΒΟΡΕΑΔΗΣ,Γ. και ΜΟΥΡΑΜΠΑΣ,Θ.(1935). Τα αργυρούχα μεταλλεύματα της Μήλου. Υπουργείο Εθν. Οικονομίας Γεωλ. Υπηρ. Ελλάδος αρ.22, Αθήνα
- ΒΟΥΡΛΑΚΟΣ, Ν.(1992). Τα ορυκτά της Λαυρεωτικής. Εταιρεία Μελετών Λαυρεωτικής αριθμ. 5.
- CONSTADINIDOU,Η.,ΚΙΛΙΑΣ,Σ., CHELIOTIS, I., NADEN, J., SHEPHERD, J., SIMOS, T., and CROSSING, E.(1998). Mineralogy and Chemistry of gold in the Profitis Ilias epithermal deposit Milos island, Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ. Τ. XXXII/3, σελ.157-164.
- ΔΗΜΟΥ, Ε. (1995). Τα αργυρούχα ορυκτά στην επιθερμική μεταλλοφορία του Προφήτη Ηλία Μήλου. Α-δημ.Εκθεση ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- ΔΗΜΟΥ Ε.(2000). Η παρουσία τριών μορφών του αργύρου στην επιθερμική μεταλλοφορία της Μήλου. 3^ο Συνέδριο Ορυκτού Πλούτου, Τεχ.Επιμ.Ελλάδος, Τ.Β'σελ.313-320.
- ΦΥΤΙΚΑΣ,Μ.,INNOCENTI, F.,ΚΟΛΙΟΣ, Ν.,ΜΑΝΕΤΤΙ, Ρ., ΜΑΖΖΟΥΛΙ, Ρ., ΠΟΛΙ,Γ., ΡΙΤΑ, F., and VILLARI,L. (1986). Volcanology and petrology of volcanic products from the island of Milos and neighbouring islets. Journal of Volcanology and Geothermal Research V.28 p.297-317.Elsevier Sc. Publishers, Amsterdam.
- GASPARRINI,C. (1984). The mineralogy of silver and its significance in metal extraction. CIM Bulletin June, vol. 77, No 866.
- GELAUDE,P., ΚΑΛΜΤΗΟΥΤ, Ρ., REWITZER, C. (1996). Laurion. The minerals in the ancient glags. *Janssen Print, Nother land*, pp 1-194.
- HANKE, H.(1994). Der Bergbau und die Mineralien von Lavrion, Griechenland. *EMSER HEFTE* 2/94 pp 1-80.
- ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΣ, Δ., ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ, Σ., ΚΙΛΙΑΣ, Σ. (1986). Κοιτάσματα πρωτογενούς χρυσού. Μέρος ΙΙ. Κοιτασματολογικές μελέτες, ΙΓΜΕ Αθήνα Νο 17.
- ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ, Σ., ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΣ, Δ.(1986). Κοιτάσματα πρωτογενούς χρυσού. Μέρος Ι. Γεωλογική προσέγγιση. Κοιτασματολογικές Μελέτες, Νο16,σελ.88
- ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ,Σ., ΜΙΤΡΟΠΟΥΛΟΣ, Ρ.(1983).Geochemistry of barites from Milos island.N.Jb. Miner.Mh. pp 13-21.
- ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ, Α.,ΖΗΣΙΜΟΠΟΥΛΟΥ,Ε.(1994). Τα Ορυκτά των μεταλλείων του Λαυρίου. *Εκδοση ΣΕΣΟΑ*, Αθήνα.
- ΚΕΛΕΡΠΕΡΤΖΙΣ, Α., ECONOMOU, Κ., SKOUNAKIS, S. AND PORFYRIS, S. (1980). Mineral and chemical composition of Kaolins from Milos island Greece-procedure of Kaolinite enrichment. Applied Clay Science V.5., p. 277-293.
- ΚΙΛΙΑΣ Σ.Ρ., NADEN, J. CHELIOTIS, I., SHEPHERD, T.J., CONSTANDINIDOU, Η., GROSSING, J. AND SIMOS, I. (2001). Epithermal gold mineralisation in the active Aegean Volcanic Arc: The Profitis Ilias deposits, Milos island Greece. Mineralium Deposita V. 36 p. 32-44.
- ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ,Α.(1987). Hydrothermalisme et mineralisations metalliferes de l'île de Milos (Cyclades-Grece). These, Univ.Piere et Marie Curie, Paris VI.
- ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ,Α.(1995).The past hydrothermal activity. The mineral deposits of Vani and the mineralogical association of Trias-Galena. IG.C.P Proj.356 pp60-74.
- ΜΠΙΤΖΙΟΣ, Δ., ΧΕΛΙΩΤΗΣ, Γ., ΠΑΠΑΤΡΕΧΑΣ, Χ., ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ, Σ., και ΒΟΓΙΑΤΖΑΚΗΣ, Ε.(1989). Έρευνα εντοπισμού επιθερμικού χρυσού σε σύνδεση με την Καινοζωϊκή ηφαιστειότητα στα νησιά του Αιγαίου. Εκθεση ΙΓΜΕ 5784. Αθήνα
- PFLUMIO,L.,BRIQUEU,J., BOULEQUE,J.,ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ,Α. (1992). Geochemical and isotopic characteristics of present-day and past geothermal systems of Milos island. Congress N.6 of Geol.Soc.Greece Abstracts p.95.
- ΦΥΤΙΚΑΣ, Μ.(1977). Γεωλογία και γεωθερμία της Μήλου.Διδ. Διατρ. Παν.Θεσσαλ., 228.
- VAVELIDIS, M., MELFOS, V., (1998). Fluid inclusion evidence for the origine of the barite Silver Gold-bearing Pb-Zn Minetalization of the Trias area, Milos island, Greece. Bull. Geol Soc.of Greece T.XXXII N.3 pp 137-144.
- WENDEL, W., BLAB, G., MUHLBAUER, W., MARKL, G., RIECK, B. (1999). Lavrion- News 1997-1999. *LAPIS Mineralien Magazin* pp 64-78.