

Αρχαίες μεταλλευτικές εγκαταστάσεις Σουρέζας, στην ευρύτερη περιοχή του Λαυρίου, όπως είναι σήμερα.

ΑΡΧΑΙΑ ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΗ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΩΝ ΣΤΟ ΛΑΥΡΙΟ

Σταύρος Πρωτοπαπάς

Δρ Χημικός, Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο
Επιστημονικός Συνεργάτης ΤΕΙ Αθήνας

Αριστείδης Κοντογεώργης

Επιστημονικός Συνεργάτης
Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης, ΤΕΙ Αθήνας

Dr. Michele Edge

Department of Chemistry
Manchester Metropolitan University

Τα αρχαία μεταλλεία του Λαυρίου και οι προηγμένες τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στη μεταλλουργία της ευρύτερης περιοχής έχουν προσελκύσει δικαίως τους ερευνητές επιστήμονες. Το Λαύριο και η ευρύτερη περιοχή της Λαυρεωτικής θεωρείται σήμερα ένα ανοικτό μεταλλουργικό μουσείο συνυφασμένο με την ιστορία της αρχαίας Ελλάδας και ειδικά των Αθηνών.

Από τις εκπληκτικές σε τεχνική διεργασίες της εποχής εκείνης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον φαίνεται να έχει η επίχριση που γινόταν σε δεξαμενές νερού, κανάλια παροχής, φράγματα κ.ά., που σκοπό είχε την στεγανότητα των τοιχωμάτων. Η έλλειψη νερού στην περιοχή ήταν δεδομένη, αλλά από την άλλη πλευρά η μεταλλουργία στην ευρύτερη περιοχή απαιτούσε χιλιάδες κυβικά νερό, που ήταν σχεδόν αδύνατο να βρεθούν. Το γεγονός αυτό ήταν η αφορμή για να αναπτυχθεί μια πρωτοποριακή τεχνική αδιαβροχοποίησης με επίχρισμα, που ήταν τόσο αποτελεσματική, ώστε το επίχρισμα να αντέχει μέχρι σήμερα! Προσπαθήσαμε με τις πλέον σύγχρονες τεχνικές να δώσουμε απαντήσεις σε ορισμένα ερωτήματα, όσον αφορά αυτές τις υδατοστεγανές επιχρίσεις, έτσι ώστε να καταδείξουμε την πρωτοποριακή για την εποχή τους τεχνική, την οποία εφάρμοσαν οι αρχαίοι Έλληνες στις μεταλλευτικές εγκαταστάσεις του Λαυρίου.



α, β. Η εικόνα α είναι με σπάδι έγχρωμο φιλμ. Η β (με οσπρόγραμμα υπέρυθρο) είναι απαραίτητη, προκειμένου να εντοπιστούν τα κατάλληλα σημεία για δειγματοληψία (με σπρίντσο διακρίνονται οι μαρμαίρες περιοχές όπου έγινε η δειγματοληψία).



Ιστορικό των μεταλλείων του Λαυρίου

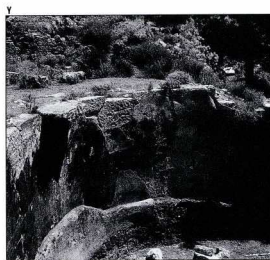
Η χρονική αιφτηρία για την έναρξη της λειτουργίας των μεταλλείων του Λαυρίου χάνεται στα βάθη των αιώνων. Ανασκαφές στην περιοχή του Θορικού έφεραν στο φως αποδείξεις για την έναρξη εκμετάλλευσης, κυρίως αργυρούχων και μολυβδόχων μεταλλευμάτων, τουλάχιστον από το 3000 π.Χ. Πρέπει να σημειωθεί ότι η περιοχή έχει δεκάδες είδη μεταλλευμάτων και ορυκτών. Ο Ξενοφώντας στο έργο του *Περί προσόδων* δεν αποσαφηνίζει τη χρονολογία εκμετάλλευσης των μεταλλείων της περιοχής αναφέροντας χαρακτηριστικά: «ότι μὲν πάνυ παλαιά έναργά ἐστί, πάσι σαφές· οὐδεις γάρ, οὐδὲ πειράται λέγειν, ἀπὸ ποίου χρόνου ἐπεχειρήθη».

Για χρόνια εθεωρείτο βέβαιο ότι οι Φοίνικες, ως κάτοχοι της τεχνονομίας, ήταν αυτοί που διδάξαν τις μεθόδους μεταλλουργίας στην περιοχή. Σήμερα όμως, όπως όλα τα ανασκαφικά δεδομένα δείχνουν, γνωρίζουμε ότι αυτό ήταν ανακριβές. Η αρχαιολογική σκαπάνη έδειξε ότι, τουλάχιστον 2000 χρόνια πριν από τους Φοίνικες, οι αρχαίοι Έλληνες ανέπτυξαν πρωτοποριακά την τεχνολογία ανόρυξης μεταλλευμάτων της περιοχής. Κατά τον Αριστοτέλη, το 483 π.Χ. ανακαλύφθηκαν τα πολύ πλούσια κατάματα αργυρούχας φλέβας στη Μαρώνεια (ευρύτερη περιοχή της Καμιάριζας). Όπως χαρακτηριστικά γράφει «ἐφάνη τὰ μέταλλα, τὰ ἐν Μαρωνείῳ» (*Αθηναίων Πολιτεία*, 22). Τότε φαίνεται πως άρχισε η μεγάλη ακμή των μεταλλείων του Λαυρίου, τα οποία ανήκαν στο κράτος των Αθηνών, για το οποίο αποτελούσαν βασικό και σημαντικότατο έσοδο. Ο Περικλής από το έσοδο αυτό μπόρεσε να χρηματοδοτήσει την κατασκευή των μνημείων που ελάμπρυναν την εποχή του. Όμως ο Θεμιστοκλής, περισσότερο διορατικός, είχε ήδη καταλάβει τον κίνδυνο από την ανατολή και είχε πείσει τους Αθηναίους να μην κατασπαταλήσουν τον πλούτο από το Λαύριο, αλλά να κατασκευάσουν στόλο και να ηγεμονεύσουν. Πράγματι, 200 αθηναϊκές τριήρεις υψηλής πολεμικής τεχνικής κατασκευάσθηκαν με το ασημι του Λαυρίου, όπως αναφέρει ο Ηρόδοτος, και χάρη σ' αυτές κατανικήθηκαν οι Πέρσες στη Σαλαμίνα.

Κατά τον Πελοποννησιακό πόλεμο οι χιλιάδες δούλοι, που εργαζόνταν στο Λαύριο, επαναστάτησαν και η λειτουργία των μεταλλείων στην περιοχή διακόπηκε. Κατά τους αλεξανδρινούς χρόνους, η ανακάλυψη χρυσού στη Β. Ελλάδα και η μετέπειτα κατάκτηση της Περιοικής αυτοκρατορίας με το τεράστιο απόθεμα χρυσού, είχε ως συνέπεια να περιορισθεί το ενδιαφέρον για τον άργυρο του Λαυρίου.

Ο Στραβών στα *Γεωγραφικά* του, τον πρώτο αιώνα μ.Χ., έγραψε για την εξάντληση των μεταλλευτικών αποθεμάτων στην περιοχή, ενώ κατά τον δεύτερο αιώνα ο Παιουσανίος αναφέρει ότι το Λαύριο ήταν η περιοχή που οι Αθηναίοι κάποτε είχαν τα περίφημα μεταλλεία αργύρου και μολύβδου. Για αιώνες, ως το 1860, τα μεταλλεία της περιοχής δεν είχαν επαναδραστηριοποιηθεί. Τότε την περιοχή επισκέφτηκε ο Α. Κορδέλλας, ένας σπουδαίος ορυκτολόγος, ο οποίος γνωμίμασε θετικά στην τότε ελληνική κυβέρνηση, ότι υπήρχε δυνατότητα εκμετάλλευσης των σκωριών, των εκβολάδων και του μη ακόμη εξορυγμένου μεταλλεύματος της περιοχής.

Κατά την ίδια περίοδο, ο Ιταλός μεταλλειολόγος Γιοναππί Σεργιέρι, με γαλλική χρηματοδότηση, αγόρασε το 1864 μια έκταση 10.791 στρεμμάτων στο Λαύριο για την εξόρυξη νέου μεταλλεύματος. Αυθάρτητα ιδιοποιήθηκε τις



σκωρίες και τις εκβολάδες στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί σάλος στην τότε Κυβέρνηση. Άρχισαν δικαστικοί αγώνες και η υπόθεση πήρε διεθνείς διαστάσεις και ταλάνισε την πολιτική ζωή του τόπου για χρόνια. Η λειτουργία όμως των μεταλλείων συνεχίστηκε, έστω και περιορισμένα, ως το 1977, οπότε σταμάτησαν όλες οι εξορυκτικές δραστηριότητες. Σήμερα θεωρείται ένα ανοικτό μεταλλουργικό μουσείο και πλήθος ερευνητών επισκέπτεται την περιοχή.

Η αρχαία μεταλλουργία στο Λαύριο

Στην ευρύτερη περιοχή της Λαυρεωτικής υπήρχαν πλούσια κοιτάσματα μεταλλευμάτων και κυρίως γαληνίτης (PbO), ψμιμπίτης (PbCO₃), αιματίτης (Fe₂O₃), ωρίτες σιδήρου και χαλκού (FeS και CuS), καλαμίνα (ZnCO₃) κ.ά. Προφανώς η ύπαρξη τόσων μεταλλευμάτων στην περιοχή ήταν η αιτία ώστε η εκμετάλλευσή τους να έχει αρχίσει εδώ και 5000 χρόνια, ως την πλήρη εξάντληση των κοιτασμάτων. Από την πληθώρα αυτών των μεταλλευμάτων ειδικό ενδιαφέρον είχε το μέταλλευμα του μολύβδου διότι μέσα σ' αυτό υπήρχε αρκετός άργυρος. Από μελέτες προέκυψε ότι οι αρχαίοι μεταλλουργοί πρέπει να εξωρίζαν μέχρι 5 κλάδα άργυρο, κατά μέγιστο, από την κατεργασία κάθε τόπου μολύβδο-αργυρούχο μεταλλεύματος.

Οι μεταλλωρυχοί, στο πρώτο στάδιο, εξόρυσσαν το μέταλλευμα με αζίνες, σφυριά κ.ά. Στην αρχή το βγαζάν από τα επιφανειακά στρώματα της γης, αλλά στη συνέχεια το αναζητούσαν ακολουθώντας τις φλέβες και το εξόρυσσαν μέσα σε υπόγειες στοές (η λέξη Λαύριο, από τη λαύρα, δηλαδή τη ζέστη στις στοές). Υπάρχουν στην περιοχή χιλιάδες χιλιόμετρα μεταλλευτικές στοές, και μάλιστα σε πολλά επίπεδα.

Προς διευκόλυνση υπήρχαν πηγάδια βάθους δεκάδων μέτρων. Τα πηγάδια αυτά, εκτός από το γεγονός ότι εξασφάλιζαν αερισμό και αποτελούσαν διόδους εξόδου, έπαιζαν σημαντικό ρόλο και στην ανακάλυψη νέων φλεβών μεταλλεύματος. Η καταμέτρηση των πηγαδιών έδωσε περί τα 1000 περίπου, πράγμα που δείχνει την έκταση των μεταλλευτικών δραστηριο-

τήτων στην περιοχή. Στις στοές και τα «εργαστήρια» της περιοχής εργάστηκαν πιθανώς 20.000 δούλοι και τεχνίτες απ' όλο τον τότε γνωστό κόσμο. Τα πλούσια σε μολύβδο κομμάτια τα μετέφεραν στην επιφάνεια, ενώ εγκατέλειπαν τα φωγά, τα οποία, μαζί με τα απορρίμματα της χειροδολογίας, που γίνονταν στη συνέχεια στην επιφάνεια, αποτελούσαν τις εκβολάδες. Εκατομμύρια τόνοι τέτοιες εκβολάδες τις ξανάλωναν έπειτα για να πάρουν πάλι μολύβδο και άργυρο. Τα κομμάτια με το επιλεγμένο μέταλλευμα στη συνέχεια το κοκκοποιούσαν, στην αρχή με σφυριά και στη συνέχεια σε τριβεία από μολόπετρες. Οι κόκκοι του μεταλλεύματος, διαμέτρου περίπου ενός χιλιοστού, μεταφέρονταν για εμπλουτισμό στα λεγόμενα πλυντήρια. Ο εμπλουτισμός στα ξύλινα στην αρχή και στη συνέχεια στα πέτρινα, επικλινή λούκια γινόταν με διοχέτευση νερού. Η τεχνική της έκπλυσης, πρωτοποριακή για την εποχή εκείνη, γινόταν σε πλυντήρια υψηλής απόδοσης, όπως τα περίφημα ελικοειδή, που βρέθηκαν στις θέσεις Δημολιάκη και Μπερτσέκο, λαξευμένα σε μάρμαρο. Για τη λειτουργία των πλυντηρίων με ελεγχόμενη ροή νερού χρειαζόταν νερό, που στο Λαύριο υπήρχε μόνο βρόχινο. Γινόταν συλλογή σε φράγματα σε ορισμένα κατάλληλα σημεία στην περιοχή και στη συνέχεια το νερό οδηγείτο σε δεξαμενές κοντά στα πλυντήρια. Με τη βοήθεια του νερού απομάκρυναν το χώμα και άλλα άχρηστα υλικά, εκτός από τα βαρύτερα, που είχαν τα μέταλλα. Η ανακύκλωση γινόταν συστηματικά, και τα κανάλια, μακράς και μεγάλης δεξαμενές κ.ά., φαίνονται καθαρά από τις ανασκαφές που έχουν γίνει. Λόγω της έλλειψης νερού, οι δεξαμενές, τα κανάλια κυκλοφορίας και γενικά όπου αυτό εύρισκε χρήση, είχαν εσωτερικά επίχριση, που ήταν υδατοστεγανή. Η υδατοστεγανή αυτή επίχριση, που ήταν απαράμλλη, είναι το κύριο θέμα αυτής της έρευνας.

Το εμπλουτισμένο μέταλλευμα στη συνέχεια οδηγείτο σε καμίνια ώστε να εκδιωχθεί σχεδόν όλο το θείο και να γίνει αναγωγή για τη λήψη του μετάλλου. Για καύσιμη ύλη χρησιμοποιούσαν ξυλάνθρακα, που υπήρχε άφθονος στην περιοχή. Στα καμίνια η θερμοκρασία έφθανε περίπου στους 1000 °C με τη βοήθεια αέρα από δερματίνα φυσερά. Σ' αυτή τη θερμοκρασία ο αργυρού-

γ. Ασπρόσυρη φωτογραφία στέγνας (υπερύθρο φιλμ).
δ. Φωτογραφία με από εγχρωμο φιλμ.
ε. Έγχρωμο υπέρυθρο φιλμ.



χος μολύβδος έλιωνε και, σαν βαρύτερος, συγκεντρωνόταν στο χαμηλότερο σημείο, ενώ πάνω από το ήγμα επέπλεε η σκωρία, δηλαδή τα άχρηστα υλικά που προέκυπταν από την κώνευση. Στη συνέχεια το ήγμα απομακρυνόταν μέσα από τρύπες στο κάτω μέρος της καμίνου σαν μολύβδος-άργυρος, και υπό μορφή «χελωνών» οδηγείτο σε άλλη θέση για την λυόμενη κυπέλλωση, όπου διαχωριζόταν ο μολύβδος από τον άργυρο.

Με την τεχνική αυτή, όπως αναφέρει ο όρος, χρησιμοποιείτο κύπελλο από πυριμάχο υλικό, με τη θέρμανση του οποίου, σε ειδικούς φούρνους σε θερμοκρασία περίπου 900 °C, το σύστημα μολύβδου-αργύρου διαχωριζόταν με την εξής διαδικασία: διοχετεύονταν αέρας με φυσικά στην επιφάνεια του συντηγματος, με τον μολύβδο να μετατρέπεται σε λιθάργυρο (PbO), ενώ ο άργυρος παρέμεινε ανοξείδωτος. Με συνεχή απομάκρυνση του λιθάργυρου από την επιφάνεια, τελικά ο άργυρος παρέμεινε μόνος στο κύπελλο και διαχωριζόταν. Στη συνέχεια ο άργυρος, μετά από καθαρισμό, συνήθως με καύση χλωρίων ξύλων, χρησιμοποιούνταν κυρίως για νομίσματα ο δε μολύβδος για οικοδομικές εργασίες και κράματα.

Τα αρχαία υδατοστεγανά επιχρίσματα

Όπως προηγούμενως αναφέρθηκε, στο Λαύριο δεν υπήρχε νερό παρά μόνο βρόχι-

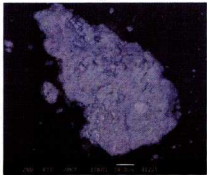
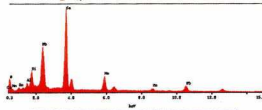
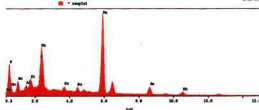
νο. Η μεταλλουργία όμως, και μάλιστα μιας τόσο μεγάλης έκτασης, χρειαζόταν αρκετό και η έλλειψη ήταν φανερή. Η τεχνική των φραγμάτων ήταν βέβαια μια λύση, και προφανώς θα εγίναν προσπάθειες να συγκεντρωθεί το νερό όπου ήταν δυνατόν. Από την άλλη όμως, λόγω του μεγάλου προβλήματος, έπρεπε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες σε νερό. Αυτός ήταν ο λόγος που αφ' ενός γινόταν συστηματική ανακύκλωση, αφ' ετέρου οι δεξαμενές, τα κανάλια, τα φράγματα και οτιδήποτε είχε σχέση με νερό, ήταν όλα επενδυμένα με στεγανό επιχρίσμα. Πρώτος ο Edooard Ardaillon περιέγραψε με ενθουσιασμό, στο τέλος του 19ου αιώνα, το ειδικό αυτό επιχρίσμα με το σχεδόν μαύρο-καφέ χρώμα, που ήταν πολύ ανθεκτικό και που σώζεται ακόμη μέχρι σήμερα. Αργότερα, ο καθηγητής Κ. Κονοφάγος, περί το 1980, ασχολήθηκε εκτενώς με το επιχρίσμα αυτό, που το θεώρησε «πατέντα» των αρχαίων Ελλήνων. Εντυπωσιάστηκε από το γεγονός ότι ήταν άριστο στεγανωτικό επιχρίσμα χωρίς «ξεφλουδίσματα», ρωγμές από συστολές-διαστολές, και γενικά χωρίς αλλοιώσεις. Η έρευνά του έδειξε υδατοπερατότητα μηδέν και ότι υπήρχε επικάλυψη τριών στρώσεων από το επιχρίσμα αυτό, που φαίνεται να εφαρμόζονταν πάνω σ' ένα, εσωτερικά σχετικά λείο, σκυροκονίαμα. Το τελευταίο είχε την κλασική σύσταση από άμμο, χαλίκι και ασβέστη. Η χημική ανάλυση, από τον καθηγητή

Κ. Κονοφάγο και τους συνεργάτες του, του ειδικού αυτού επιχρισμάτος φαίνεται στον πίνακα της σελίδας αυτής. Ο καθηγητής θεώρησε ότι γινόταν αναμειγρή σκόνης λιθαργύρου, που προέκυπτε άφρονη στην περιοχή, από την ίδια τη μεταλλουργία, με σιδηρομαγνησίτσα ορυκτά, με άμμο κ.ά. Το μείγμα στη συνέχεια υφίστατο σύντηξη σε θερμοκρασία 800-900 °C, μεχρις ότου υαλωθεί, και μετά από ψύξη σε νερό γινόταν κοκκοποίηση του υαλιού και εφαρμογή της σκόνης σαν υδατικό γαλάκτωμα σε ασβεστόνεμο με τη βοήθεια πινέλου. Σε γενικές γραμμές θεωρείται ως βασικό υλικό του μείγματος στο επιχρίσμα τον λιθάργυρο, που άφρονούσε στην περιοχή. Αφρόθεο ο J. Mishara, μετά από επιτόπια έρευνα της περιοχής, έλαβε δείγματα και προσέβη σε άλλη χημική ανάλυση, τα αποτελέσματα της οποίας εμφανίζονται επίσης στον ίδιο πίνακα. Θεωρεί ότι υπάρχουν δύο επιχρίσεις: μία ανοικτού καφέ χρώματος, που προέκυψε εκ των υστέρων από το ίδιο το νερό με τα άλατά του, και μία άλλη, χρώματος καφέ-μαύρου εσωτερικά, που αποτελεί το επιχρίσμα με τις στεγανές ιδιότητες. Παρατηρούμε ότι η ανάλυση Mishara έδωσε αποτελέσματα σχεδόν παρόμοια με την προγενέστερη ανάλυση Κονοφάγου και συμφωνεί με τον τρόπο κατασκευής του μείγματος και, στη συνέχεια, με τον τρόπο εφαρμογής.

Είμεθ θεωρούμε ότι πρόγματι η εξωτερική καφέ επιφάνεια

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ (%)

	(1) XRF1			(2) XRF2			(3) Κονοφάγος	(4) Mishara			(5) SEM
MnO ₂	40,2	38,8	38,1	40,6	39,5	37,8	18,6	22,6	16,3	2,1	40,4
PdO	22,1	20,7	17,5	20,9	19,1	17,8	19,3	23,9	17,8	18,8	21,5
SiO ₂	10,6	7,2	8,7	8,9	7,6	8,5	5,4	4,6	10,9	14,7	9,2
ZnO	8,0	7,4	5,8	8,4	6,8	6,1	5,9	9,1	1,1	3,4	4,9
CaO	4,9	6,7	5,9	4,8	5,8	6,2	6,3	7,4	2,7	5,5	7,4
Fe ₂ O ₃	5,1	3,0	3,5	5,0	2,9	3,8	5,3	1,3	2,1	8,5	-
Al ₂ O ₃	2,5	5,5	5,8	2,9	5,8	5,6	5,2	2,4	6,1	6,9	5,6
Ba	0,5	0,6	0,3	0,5	0,6	0,4	-	-	-	-	-
Cd	0,4	0,6	0,6	0,3	0,3	0,4	-	-	-	-	-
Cu	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-
Ti	0,1	0,2	0,2		ίχνη		-	-	-	-	-
Ag		ίχνη			ίχνη		-	-	-	-	-
Sb		ίχνη			ίχνη		-	-	-	-	-



α



β

α. Ηλεκτρονική μικροανάλυση SEM σκόνης δείγματος, που ελήφθη μετά από υπέρυθρη φωτογράφιση δεξαμενής στην περιοχή της Σουρέζας.

β. Ηλεκτρονική μικροανάλυση SEM δείγματος μεγάλης σχετικά επιφάνειας εξωτερικού επιχρίσματος από αργαία δεξαμενή της Σουρέζας.

νεια πρέπει να προήλθε από επιπρόσθετα άλατα του νερού αποθήκευσης, σκόνη, ανακύκλωση νερού κ.ά. Αυτό φάνηκε καθαρά στη χημική ανάλυση και στη μικροανάλυση SEM (ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης), όπου η καφέ στοιβάδα είχε χαλαρή δομή, με κυρίαρχο το ασβέστιο και σε μικρότερο βαθμό μόλυβδο, πυρίτιο και μαγγάνιο. Το ενδιαφέρον μας στράφηκε στη μαύρη φωτογράφιση των επιχρίσεων.

Χρησιμοποιήθηκαν: α) ασπρόμαυρο υπέρυθρο αρνητικό φιλμ (Kodak high speed infrared) με φίλτρα Wratten No 87 και No 87C, καθώς και β) έγχρωμο υπέρυθρο θετικό φιλμ (Kodak ektachrome infrared EIR), με φίλτρο Wratten No 12 και Wratten No 15, για την καταγραφή της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τα υπέρυθρα φιλμ επηρεάζονται από το ορατό φως καθώς και

από το αόρατο (υπέρυθρη περιοχή ακτινοβολίας). Η ιδιαιτερότητά τους οφείλεται στην ιδιότητά τους να καταγράφουν αυτό που δεν μπορεί να δει το μάτι, αφού πολλά αντικείμενα απορροφούν και αντανακλούν την υπέρυθρη ακτινοβολία με εντελώς διαφορετικό τρόπο από ό,τι την ορατή, με αποτέλεσμα οι φωτογραφίες από υπέρυθρα φιλμ να είναι εντελώς διαφορετικές από εκείνες που προέρχονται από κοινά φιλμ. Εντοπίστηκαν σημεία στα οποία οι υπέρυθρες φωτογραφίες είχαν έντονη διαφοροποίηση στους τόνους και τα χρώματα των φωτογραφιών, τα οποία δεν ήταν ορατά με το μάτι· αυτά μας οδήγησαν σε λήψη δειγμάτων «καθαρή» κύριας μαύρης επίχρισης για χημική ανάλυση. Η δειγματοληψία έγινε μετά από υπέρυθρες φωτογραφίες στις περιοχές Σουρέζα, Μεγάλα Πεύκα και Μπερτσέκο.

Για τη χημική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι δοκιμασμένες τεχνικές φθορισμού ακτίνων X (XRF), και συγκεκριμένα οι συσκευές Spectrace Quan X (EDXRF ενεργειακής διασποράς) και Phillips PW 1404, αμφότερες εφοδιασμένες με σύστημα υπολογιστή. Σε αμφότερες τις συσκευές έγινε χρήση προτύπων δειγμάτων συναφούς χημικής σύστασης. Επίσης χρησιμοποιήθηκε συσκευή μικροανάλυσης SEM, και συγκεκριμένα η συσκευή Torcon SM720FE SEM με PET αναλυτή ενεργειακής διασποράς ακτίνων X, μικροανάλυση λεπτού παράθυρου.

Για τη μέθοδο χημικής ανάλυσης φθορισμού ακτίνων X, χρησιμοποιήθηκε σκόνη δείγματος μετά από προσεκτική δειγματοληψία καθοδηγούμενη από την υπέρυθρη φωτογράφιση, όπως αναφέρθηκε, που έγινε προηγουμένως. Για τη μέθοδο της μικροανάλυσης

γ. Ασπρόμαυρο υπέρυθρο φιλμ.

δ. Έγχρωμο υπέρυθρο φιλμ.



γ



δ

SEM, ελήφθησαν δείγματα τόσο σκόνης όσο και ικανής επιφάνειας από την καφέ επίστρωση και τη μαύρη επίχριση. Με την τεχνική της μικροανάλυσης SEM η ποιοτική χημική ανάλυση έγινε σε δευτερότομο σημείο μετά από τοπογραφία της επιφάνειας. Με τη μέθοδο φθορισμού ακτίνων Χ (XRF) η χημική ανάλυση έγινε σε σκόνη που ελήφθη από ευρύτερη επιφάνεια, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Όλα τα αποτελέσματα και για τις δύο μεθόδους ανάλυσης, καθώς και εκείνα των Κονοφάνου και Mishra, εμφανίζονται στον πίνακα της σ. 74, έτσι ώστε να γίνει εύκολα η σύγκριση.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματά μας, όσον αφορά τη χημική ανάλυση του επιφανειακού καφέ περιβλήματος του μαύρου επίχρισματος, δείχνουν μεγάλη περιεκτικότητα σε ασβέστιο, με μικρότερη συμμετοχή πυριτίου, αργιλίου κ.ά. Αυτό φαίνεται καθαρά στη μικροανάλυση SEM, καθώς επίσης και η μη συμπαγής δομή, πράγμα που σημαίνει ότι πρόκειται για δευτερογενές στρώμα από άλατα νερού, ιζήματα ανακύκλωσης κ.ά., χωρίς ενδιάμεσο.

Όσον αφορά το μαύρο επίχρισμα της κύριας έρευνάς μας, τα αποτελέσματά μας δείχνουν μεγάλη διαφοροποίηση έναντι εκείνων των προηγουμένων ερευνητών και ειδικά στο MnO_2 . Η συμπαγής μαύρη υδατοστεγανή επίχριση φαίνεται να έχει σχεδόν διπλάσιο ποσό MnO_2 έναντι του PdO (λιθαργύριου), ενώ τα αποτελέσματα των άλλων ερευνητών έδειξαν μια αναλογία αυτών των οξειδίων περίπου 1 προς 1. Από τον πίνακα των αποτελεσμάτων φαίνεται καθαρά ότι και στις τρεις περιοχές η αναλογία είναι MnO_2 : PdO περίπου 2 προς 1. Η μικροανάλυση SEM εμφανίζει περίπου το ίδιο αποτέλεσμα. Είναι φανερό ότι η «ελεύθερη» υαλοποίηση που περιγράφει ο καθηγητής Κονοφάνος είχε μία βασική συντηγή, αφού τα αποτελέσματα και στις τρεις περιοχές είναι κατά βάση ίδια. Θεωρούμε ότι η προσεκτική λήψη των δειγμάτων για ανάλυση με την καθοδήγηση της διευρυθής φωτογραφίας είναι η αιτία της διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων έναντι εκείνων των προηγουμένων ερευνητών. Το ερώτημα είναι αν υπήρχε πυρλουσιτίης, δηλαδή MnO_2 , στην περιοχή, ώστε να προστεθεί ξεχωριστά και όχι ως σιδηρομαγνητούχο υλικό. Πράγματι, φαίνεται να υπήρχε, όπως δείχνει η επιτόπια έρευνά μας με χρώμα μαύρο-κόκκινο, ακριβώς όπως και το υδατοστεγανό επίχρισμα. Θεωρούμε ότι η συμμετοχή του πυρλουσιτίθ δεν ήταν καθόλου τυχαία. Ο Πλίνιος έχει γράψει, εδώ και 2000 χρόνια, ότι ο πυρλουσιτίθ είχε χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην αρχαία Αίγυπτο από την εποχή των Φαραώ στην κατασκευή γυαλιού. Επίσης αναφέρει ότι κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους χρησιμοποιούσαν πυρλουσιτίθ στην κατασκευή γυαλιού και ότι αυτή η μαύρη πέτρα (MnO_2) ήταν σαν ένα είδος ψευτικού μαγνητίτη (Fe_3O_4), αλλά χωρίς μαγνητικές ιδιότητες.

Αναφέρει επίσης ότι έβρισκε χρήση στον αποχρωματισμό και χρωματισμό της ρευστής μάζας του γυαλιού. Είναι γνωστό ότι οι αρχαίοι

Αίγυπτιοι, ως διασώτες και πρωτοπόροι της τέχνης του γυαλιού, χρησιμοποιούσαν ορισμένα οξείδια για προκαθορισμένο σκοπό. Όσον αφορά τον χρωματισμό, τις ίδιες τεχνικές με οξείδια χρησιμοποιούσαν για να δώσουν χρώση σε κρύμα, π.χ. χρυσό, κεραμικά και άλλα. Το συμπέρασμα μας από τη χημική ανάλυση ήταν ότι ο πυρλουσιτίθ, αυτή η «μαύρη πέτρα» που αναγνωρίζεται εύκολα και που είχε χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στα γυαλιά και κεραμικά προ χιλιάδων χρόνων, ήταν το βασικό υλικό του επίχρισματος. Η απαράμλλη στεγανότητα που δέχεται το επίχρισμα από μέχρι σήμερα, και η σχέση των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν με το γυαλί, αποδεικνύει ότι το μέγμα κατασκευής δεν ήταν τυχαίο. Πρόκειται δηλαδή για επίχρισμα υαλώδες, που είχε ως βάση κατασκευής των πυρλουσιτίθ, τον λιθαργύριο και την άμμο. Τα υλικά αυτά υαλοποιούνται με θέρμανση και στη συνέχεια γυνάζονται λωτρίβιοι του υαλώδους τμήματος. Με ανάμειξη σε ασβεστογαλάκταμα προέκυψε «ελεύθερο» γυαλί με άριστες στεγανοποιητικές ιδιότητες και με δυνατώτα εφαρμογής με πινέλο!

Οι αρχαίοι Έλληνες εμεγαλούργησαν όχι μόνο στη φιλοσοφία και στις καλές τέχνες αλλά και στην τεχνολογία. Τα ευρήματα στο Λαύριο έδειξαν την τεχνολογική τους τελειότητα και το δημιουργικό ρεαλισμό τους. Το συμπέρασμα των ερευνητών μας δείχνει, από μόνο του, το υψηλό επίπεδο της τεχνολογίας στην αρχαία Ελλάδα.

Σημειώσεις
(αναφέρονται στον πίνακα της σελ. 74)

1. Η ανάλυση XRF έγινε στην Ελλάδα. Η πρώτη στήλη αφορά δείγμα από τη θέση Μπερσιόκο, η δεύτερη από τη θέση Σουράρα και η τρίτη από τη θέση Μεγ. Πεύκα.
2. Η ανάλυση XRF έγινε στην Βρετανία σε δείγματα από τις ίδιες αναφερόμενες περιοχές για σύγκριση των αποτελεσμάτων.
3. Τα αποτελέσματα του καθηγητή Κ. Κονοφάνου είναι αυτά που αναφέρονται στο βιβλίο του.
4. Ο J. Mishra αναφέρει αποτελέσματα σε MnO και όχι σε MnO_2 καθώς επίσης σε FeO και όχι σε Fe_2O_3 . Επίσης λέει ότι ουσία τη χημική ανάλυση που αναφέρεται μόνο στα δείγματα σκευάζονται μαύρου χρώματος, όπως τα σπαράκι.
5. Οι τρεις στήλες αφορούν δείγματα κατά σειρά από τις περιοχές Σουράρα, Σουράρα και Δημοσιόλη.
6. Η μικροανάλυση SEM έγινε σε δείγματα από δείγματα στη Σουράρα.

Ancient Waterproof Coatings in the Mining Laboratories in Lavrio

S. Protopapas – A. Kontogeorgis – Dr. M. Ege

The ancient mines of Lavrio have a history of about five thousand years long. Wars have been won and major projects have been realized thanks to their silver production. The study of the technology applied in the mines of Lavrio shows a very advanced know-how that already existed long before the supposed Phoenician influence.

The article deals with the perfectly waterproof coating of tanks, channels and other structures pertaining to water, a rare and valuable element in the region. The ultra-red photographs of the waterproof layers showed differences in composition, while the analysis of selected samples proved that the Greeks were using a specific formula for making the waterproof coating: its basic components were pyrolusite, litharge and sand, which, if heated, were vitrified, and, after being appropriately processed, they were applied on the surfaces to be waterproofed with a brush.

Βιβλιογραφία

- Cooley, E.R., *Analysis of ancient metals*, Pergamon Press, Oxford, 1964.
- Ασωνόης, Γ. «Το Λαύριο. Ημερολόγιο της Μεγάλης Ελλάδος», 1926.
- Forbes, R.T., *Studies in ancient technology*, Leiden E.J. Brill, 1965.
- Hopper, R.J., «The Laurion mines: A Reconsideration», *BSA*, 63: 293-326, 1968.
- Κονοφάνος, Κ. *Το Αρχαίο Λαύριο*, Εκδοτική, Αθήνα 1980.
- Κονοφάνος, Κ. *Ασπίδα Υπερήδων φωτογραφία*, Εκδόσεις ΙΣΜ, Αθήν 1959.
- Koumanis, D.A., *Studies on the ancient silver mines at Laurion*, Coronado Press, Kansas, 1972.
- Kohlerberger, W., *Minerals of the Laurion mines Attica*, Min. Rec. 7, 114-129, 1916.
- Μαιτρικός, Κ.Γ. *Comparison between PIXE and XRF for application in art and archaeology*, Nuclear Inst. and methods in Physics Res. B 14, 86-87, 1986.
- Μαιτρικός, Γ. Π. και Petrascheck W. E., *Λαύριο, Ιστορικό Γεωλογίας και Εργασίας Υπερήδων*, Αθήνα 1966.
- Μαρκεζίνης, Σ. «Το Λαύριον» Παιδεία, έκδοση της Νεοελληνικής Εξέτασης, Τόμος Βα, Πάριος, Αθήνα 1968.
- Mishra, J., *The glasses of the ore washing structures at Laurion*, *Archaeometry*, Επ.δ. Γ. Μανιάτης, Elsevier, no. 191-205, 1980.
- Musche, H., *Thoukas, A. Mining town in ancient Attica*, *Excav. Basement*, 1998.
- Tylecote, R. F., *Metallurgy in Archaeology*, Edward Arnold, London, 1962.