

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 12<sup>ΗΣ</sup> ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 1987

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΜΠΟΝΗ

---

ΓΕΩΛΟΓΙΑ. — **Μερικὲς παρατηρήσεις, πού ἀφοροῦν τῇ μεταλλογένεση τοῦ Λαυρίου**, ὑπὸ Δημ. Α. Κισκύρα\*, διὰ τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. Λουκᾶ Μούσουλου.

Α. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τὰ τελευταῖα χρόνια προτάθηκε μιὰ νέα ὑπόθεση (Leleu 1966 βλ. Leleu et al 1967 καὶ 1973) γιὰ τὴ γένεση τῶν μεταλλευμάτων τοῦ Λαυρίου. Σύμφωνα μὲ τὴν ὑπόθεση αὐτὴ τὰ μεταλλεύματα τῆς περιοχῆς δὲν ἔχουν σχέση μὲ τὸ γρανοδιορίτη τῆς Πλάκας καὶ γενικότερα μὲ τὸ γρανιτικὸ βαθύλιθο τῆς Λαυρεωτικῆς, ὅπως δέχεται ἡ κλασσικὴ ὑπόθεση (Ardallion 1897, de Launay 1899, Lespineux 1923, Κτενᾶς 1923, Putzer 1948, Μαρίνος καὶ Petrascheck 1956, Ἀργυρόπουλος 1955, Κισκύρας 1961 κ.λπ.) ἀλλὰ μὲ ἠφαιστειο-ἰζηματογενῆ πετρώματα, πού ἔχουν ἀποτεθεῖ σὲ θαλάσσιο πυθμένα. Τέτοια πετρώματα θεωροῦνται οἱ βασικὲς λάβες, πού βρίσκονται σήμερα μέσα στοὺς μαρμαρυγιακοὺς σχιστόλιθους τῆς Καμάριζας-Λαυρίου. Ὑποτίθεται μάλιστα ὅτι τὰ μεταλλεύματα τῆς Λαυρεωτικῆς προέρχονται ἀπὸ διαλύματα, πού σχηματίσθηκαν κατὰ τὴν ἀπόπλυση τῶν ἠφαιστειακῶν αὐτῶν πετρωμάτων καὶ ἀκόμα ὅτι ἡ ἀπόθεσή τους ἀπὸ τὰ διαλύματα αὐτὰ ἔγινε πάνω σὲ καρστικὲς ἐπιφάνειες τῆς Λαυρεωτικῆς. Ἔτσι, ἡ διαφορὰ μεταξὺ τῶν δυὸ αὐτῶν ὑποθέσεων δὲν περιορίζεται μόνο στὴν προέλευση τῶν μεταλλευμάτων, ἀλλὰ ἐπεκτείνεται καὶ στὸ χρόνο καὶ στὴ θερμοκρασία σχηματισμοῦ τους. Σύμφωνα μὲ τὴ

---

\* DEM. KISKYRAS, *Some remarks about the mineralization of the Laurium area.*

νέα υπόθεση τὰ μεταλλεύματα τοῦ Λαυρίου σχηματίσθηκαν πρὶν τὸ γρανοδιορίτη τῆς Πλάκας, ἢ ἡλικία τοῦ ὁποίου κατὰ τοὺς Μαράκη (1968) καὶ Μαρίνο (1971) εἶναι περίπου ἄνω μειοκαινική, σὲ χαμηλές θερμοκρασίες. Πολὺ ἀργότερα, μὲ τὴν ἄνοδο τοῦ γρανοδιορίτη αὐτοῦ, υπέστησαν τὴν ἐπίδραση ὑψηλῶν θερμοκρασιῶν μὲ ἀποτέλεσμα ὁ αἰματίτης νὰ μετατραπεῖ σὲ μαγνητίτη καὶ ὁ σιδηροπυρίτης σὲ μαγνητοπυρίτη καὶ μαγνητίτη. Τῇ μεταμόρφωση αὐτὴ ἀκολούθησε, σύμφωνα μὲ τὴν νέα υπόθεση, μιὰ ὑδροθερμικὴ φάση μὲ ἀποτέλεσμα κατ' αὐτοὺς τὴ μετατροπὴ τοῦ μαγνητοπυρίτη σὲ μαγνητίτη, σιδηροπυρίτη καὶ μαρκασίτη, ὅπως καὶ τὴν ἀνακρυστάλλωση τῶν θειούχων μεταλλευμάτων.

Τῇ νέα αὐτὴν υπόθεση δέχθηκαν ἀργότερα καὶ ἄλλοι ἐρευνητὲς (Fotakis-Tsiroulas and Hawking 1982, Χιώτης 1986 κ.λπ.). Οἱ ὁπαδοὶ ὅμως τῆς νέας υπόθεσης δὲν ἔλαβαν ὑπόψη τὶς προϋπάρχουσες μελέτες, ὅπου ἀποδεικνύεται ὅτι μερικὰ μεταλλεύματα τοῦ Λαυρίου, π.χ. ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας, ἔχουν σχηματιστεῖ ἐξ αρχῆς σὲ ὑψηλές θερμοκρασίες καὶ ὅτι προέρχονται ἀπευθείας ἀπὸ τὸ γρανοδιοριτικὸ μάγμα. Ἐπίσης δὲν ἔλαβαν ὑπόψη ὅτι τὰ ἠφαιστειο-ιζηματογενῆ πετρώματα γιὰ νὰ ἀποδώσουν τὰ μεταλλικὰ συστατικὰ τους σὲ μορφή θειούχων ὀρυκτῶν π.χ. γαληνίτη, σφαλερίτη σιδηροπυρίτη καὶ μαγνητοπυρίτη, πού συναντῶνται στὸν πρῶτο καὶ τρίτο μεταλλοφόρο ὀρίζοντα τοῦ Λαυρίου, θὰ πρέπει νὰ ἔχουν ὑποστῆ τὴν ἐπίδραση ὀξινων ὑδροθερμικῶν διαλυμάτων, πού χαρακτηρίζονται ἀπὸ μικρὴ δραστικότητα τοῦ ὀξυγόνου. Ἔτσι, οἱ μεταλλικὲς ἐνώσεις, πού ἀποβάλλονται, δὲν θὰ εἶναι ὀξειδωμένες, δηλ. θειϊκὲς π.χ.  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{PbSO}_4$ , ἀλλὰ θειοῦχες, δηλ.  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{PbS}$  κ.λπ. Τέτοια ὅμως διαλύματα μόνο ἀπὸ βαθύτερους ὀρίζοντες μποροῦν νὰ προέλθουν. Ὅλα αὐτὰ καθιστοῦν ἐπιτακτικὴ τὴν ἐπανεξέταση τοῦ ὄλου θέματος τῆς μεταλλογένεσης τοῦ Λαυρίου.

## B. ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ὁ Petrascheck, πού παλιότερα μαζί μὲ τὸ Μαρίνο (Μαρίνος καὶ Petrascheck 1956) εἶχε μελετήσει διεξοδικὰ τὴν μεταλλογένεση τῆς Λαυρεωτικῆς, σὲ νεότερη μελέτη του (1976/77) ἐπισημαίνει πολλὰ ἀδύνατα σημεῖα, πού παρουσιάζει ἡ νέα υπόθεση. Ἔτσι, ἡ διανομὴ τῆς μεταλλοφορίας στὸ χῶρο τῆς Λαυρεωτικῆς δὲν ταιριάζει καλὰ μὲ τὴ γνωστὴ ἐξάπλωση τῶν σχιστόλιθων τῆς Καμάριζας, μέσζ στοὺς ὁποίους βρίσκονται τὰ ὑποτιθέμενα ὡς μεταλλοφόρα μητρικὰ πετρώματα. Ἐπίσης ἡ ἀντικατάσταση τῶν μαρμάρων καὶ ἀσβεστόλιθων ἀπὸ τὰ μεταλλεύματα τοῦ ἀνθρακικοῦ σιδήρου δὲν μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ ὡς ἀπόθεση προϊόντων ἀποσάθρωσης με-

ταλλοφόρων πετρωμάτων πάνω σε καρστική επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή θα έπρεπε να είχαν παρουσιαστεί όξειδια σιδήρου (δηλ. τρισθενής σίδηρος) και όχι άνθρακικά μεταλλεύματα σιδήρου (δηλ. δισθενής). Έκτος απ' αυτό τα μεταλλεύματα άνθρακικού σιδήρου της Λαυρεωτικής συνοδεύονται συνήθως με φουζίτη (χρωμιούχο μαρμαρυγία) που έχει σχέση με κυκλοφορία υδροθερμικών διαλυμάτων. Την άποψη αυτή ενισχύει και η παρατήρηση ότι οι φλέβες του γρανιτικού πορφύρη (του εύριτη των αρχαίων) έχουν υποστεί καολινιτίωση κοντά στο μέταλλευμα.

Στην παρατήρηση του Petrascheck (1976/77) ότι η δυνατότητα μετακίνησης μεταλλευμάτων από τα υποτιθέμενα ως μητρικά ήφαιστειακά πετρώματα του Λαυρίου είναι τουλάχιστον δύσκολα κατανοητή, θα μπορούσαμε να προσθέσουμε τα εξής: Ένα μέρος, πολύ μικρό όμως, των μεταλλευμάτων Λαυρίου δεν αποκλείεται να έχει σχέση με τα ήφαιστειακά πετρώματα των σχιστόλιθων της Καμάριζας, αλλά και στην περίπτωση αυτή έχουν συνεργήσει υδροθερμικά διαλύματα, που ξεκίνησαν από τον υποκείμενο βαθύλιθο της Λαυρεωτικής. Για να καταστεί δυνατή η απόδοση των μεταλλικών συστατικών των ήφαιστειακών πετρωμάτων σε μορφή θειούχων ενώσεων θα πρέπει να επενεργήσουν στα πετρώματα αυτά, όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, όξινα υδροθερμικά διαλύματα. Τέτοια όμως διαλύματα δεν μπορούσαν να προέλθουν από το χώρο των παλαιοζωϊκών πετρωμάτων την περίοδο του σχηματισμού της μεταλλογένεσης Λαυρίου, που συνεχίσθηκε στο Μειόκαινο, επειδή η επικοινωνία τους με το μαγματικό θάλαμο, από τον οποίο προέρχονται, είχε σταματήσει, εφόσον έχουν έγκλειστεί στους σχιστόλιθους της Καμάριζας, που βρίσκονται πάνω στο κατώτερο μάρμαρο της Άττικής marbles K3 κατά τους Leleu et al (1973). Συνεπώς, και στην περίπτωση αυτή τα μεταλλεύματα Λαυρίου θα σχηματίστηκαν μετά τη γρανιτική διεύδυση, εφόσον μόνο σε αυτή μπορεί να όφειλονται τα απαραίτητα, όπως αναφέρθηκε, υδροθερμικά διαλύματα.

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση, που ενισχύει την άποψη ότι η πρωτογενής μεταλλοφορία του Λαυρίου έχει υδροθερμική προέλευση, είναι ότι τα μεταλλεύματα της περιοχής αυτής (σφαλερίτης, γαληνίτης σιδηροπυρίτης κ.λπ.) συναντώνται στην πρώτη και τρίτη μεταλλοφόρα επαφή. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις τα μεταλλεύματα παρουσιάζονται κάτω από άδιαπέρατο πέτρωμα (φυλλίτη και αντίστοιχα μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο) και πάνω από περατό πέτρωμα (μάρμαρο) που ανταποκρίνεται ακριβώς σε μεταλλοφορία ανερχόμενων διαλυμάτων. Αντίθετα, η δευτερογενής μεταλλοφορία του Λαυρίου, που προέρχεται από την όξείδωση της πρωτογενοῦς και αποτελείται από άνθρακικό μόλυβδο (κερουσίτη) άνθρακικό ψευδάργυρο

(σμιθσωνίτη) κ.λπ. μαζί με γύψο, παρουσιάζονται κατά κύριο λόγο στη δεύτερη συνεπαφή, δηλ. κάτω από το γνωστό σαν «άνωτερο μάρμαρο της Λαυρεωτικής» και πάνω από το σχιστόλιθο της Καμάριζας. Η θέση αυτή περατοῦ πετρώματος πάνω σε άδιαπέρατο εύνοει την απόθεση μεταλλοφορίας από κατερχόμενα διαλύματα σε περιοχές ασβεστολιθικῶν πετρωμάτων.

Ὁ σχηματισμὸς ὅμως ἀνθρακικῶν ὀρυκτῶν μόλυβδου, ψευδάργυρου καὶ σιδήρου σὲ μεγάλες ποσότητες σὲ συνδυασμὸ μετὰ τὴν παρουσία ἀφθονῆς γύψου ὁδηγεῖ στὴ σκέψη ὅτι στὴν περίπτωσιν αὐτὴ πρόκειται γιὰ ὀξειδωσὴ θειούχων ὀρυκτῶν σὲ μορφή μεταλλεύματος. Θειοῦχα ὅμως ὀρυκτὰ σὲ μεγάλη ποσότητα, ὥστε νὰ ἀποτελοῦν μετάλλευμα, δὲν ὑπάρχουν μέσα στὰ ἐκρηξιγενῆ πετρώματα, ἐκτὸς ἐὰν σχηματίσθηκαν ἀργότερα σὲ ὑδροθερμικὸ στάδιο. Ἔτσι ἀπομένει νὰ ὑποθέσουμε (ἀποψη Παπαδέα 1983/86) ὅτι τὰ πετρώματα αὐτὰ μετὰ τὴν ἀνάδυσή τους ἀπὸ τὴ θάλασσα ὑπέστησαν ἔντονη διάβρωσιν μετὰ ἀποτέλεσμα τὰ μεταλλικὰ ὀρυκτὰ νὰ συγκεντρωθοῦν σὲ χώρους, ποὺ εὐνοήθηκαν ἀπὸ τὴν παλαιογεωγραφία τῆς ἐποχῆς ἐκείνης. Στὴν περίπτωσιν ὅμως αὐτὴ θὰ εἴχαμε σαφεῖς στρωματοειδεῖς ἀποθέσεις θειούχων ὀρυκτῶν σὲ κοκκώδη μορφή, ὁπότε θὰ ἔπρεπε νὰ εἴχαν παρατηρηθεῖ συγκεντρώσεις μεταλλεύματος πλούσιου καὶ φτωχοῦ σὲ κόκκους γαληνίτη καὶ σφαλερίτη, ποὺ δὲν ἀποσαθρώνονται, ὅπως τὰ ἄλλα θειοῦχα ὀρυκτὰ, π.χ. σιδηροπυρίτης, μαγνητοπυρίτης καὶ χαλκοπυρίτης, τὰ ὁποῖα ἄλλωστε παρουσιάζονται κατὰ προτίμησιν στὰ βασικὰ ἐκρηξιγενῆ πετρώματα. Ἐπειδὴ ὅμως δὲν συμβαίνει τοῦτο, δὲν μπορεῖ νὰ γίνῃ ἀποδεκτὴ ἡ ἀποψη αὐτὴ. Τὸ ὅτι μερικὲς φορὲς παρατηροῦνται συγκεντρώσεις σμιθσωνίτη κάτω ἀπὸ συγκεντρώσεις κερουσίτη ἢ καὶ γαληνίτη ἀκόμα δὲν σημαίνει ὅτι τὰ ὀρυκτὰ γαληνίτης καὶ σφαλερίτης ἔχουν σχηματιστεῖ χωριστὰ. Τοῦτο ὀφείλεται στὸ ὅτι ὁ ἀνθρακικὸς ψευδάργυρος ἔχει προκύψει ἀπὸ τὴν ὀξειδωσὴ τοῦ ZnS μετὰ ἐνδιάμεσο προῖον τὸ ZnSO<sub>4</sub>, τὸ πιὸ διαλυτὸ ἀπὸ τὶς ἀντίστοιχες ἐνώσεις τῶν ἄλλων βαρέων μετάλλων (Ginzburg 1960, p. 200) ποὺ ἀπομακρύνθηκε πιὸ πολὺ ἀπὸ τὸ PbSO<sub>4</sub>.

Ἄλλὰ καὶ ἡ εὐρύτατη διαπίστωσιν (Κτενᾶς 1923 σ. 67, Ἀργυρόπουλος 1955 σ. 17, Μαρίνος-Petrascheck 1956 σ. 114 κ.λπ.) ὅτι ἡ μεταλλοφορία στὸ Λαύριο γίνεταί πιὸ ἔντονη, ὅπου τὰ μεταλλοφόρα ρήγματα καὶ ρωγμὲς συναντοῦν ἢ πλησιάζουν γρανοδιοριτικὲς φλέβες, ἐνισχύει τὴν ἀποψη ὅτι τὰ μεταλλεύματα τοῦ Λαυρίου ἔχουν σχέση μετὰ τὸ γρανοδιοριτικὸ μάγμα. Ἄλλὰ καὶ οἱ ἀρχαῖοι μεταλλευτὲς, ποὺ ἀποκαλοῦσαν τὶς γρανοδιοριτικὲς ἀποφύσεις Εὐρίτες, δηλ. ὁδηγοὺς γιὰ νὰ βροῦν τὸ

μετάλλευμα, είχαν καταλήξει από πείρα στο ίδιο συμπέρασμα, δηλ. ότι υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ μεταλλεύματος και γρανοδιοριτικών φλεβών.

#### Γ. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ένδιαφέρουσες πληροφορίες για τη γένεση των θειούχων μεταλλευμάτων της Λαυρεωτικής μάς δίνει η παρουσία του όρυκτου μαγνητοπυρίτη της Πλάκας Λαυρίου. Από τη μικροσκοπική έρευνα του όρυκτου αυτού, που έδειξε ότι έχει παραγωγή χαλκοπυρίτη και στεῖρο ύλικό χαλαζία και επίδοτο με συνδετική ύλη από σερίκίτη, σε συνδυασμό με τη χημική του σύσταση  $Fe_{0,905}S$  συμπεραίνεται ότι ο μαγνητοπυρίτης αυτός δεν σχηματίστηκε σε χαμηλές θερμοκρασίες. Τὴν ἄποψη αὐτὴ ἐνισχύει καὶ ἡ μαγνητικὴ ἐξέτασή του, σύμφωνα με τὴν ὁποία (Kiskyras 1950 καὶ Κισκύρας 1961) πρόκειται γιὰ μαγνητοπυρίτη α-τύπου με ἀσθενεῖς μαγνητικὲς ιδιότητες (ἡ μαγνητικὴ του ἐπιδεικτικὴ σὲ ἔνταση μαγνητικοῦ πεδίου 62,5 Oersted εἶναι  $\chi = 135 \cdot 10^{-6}$ ) καὶ με σημεῖο Curie (CP)  $280^\circ C$ . Μὲ τὴ θέρμανση ὁ μαγνητοπυρίτης τοῦ Λαυρίου παρουσιάζει μαγνητικὲς μετατροπές, ἀπὸ τίς ὁποῖες ἡ σπουδαιότερη, ἡ γ, ἐμφανίζεται μεταξύ  $220$  καὶ  $240^\circ C$ , με ἀποτέλεσμα νὰ ἀποκτήσει σιδηρομαγνητικὲς ιδιότητες, ὅπως ὁ μαγνητοπυρίτης β-τύπου με τὴ διαφορά ὅτι ὁ θερμανθεὶς αὐτὸς μαγνητοπυρίτης ἔχει μεγαλύτερη παραμένουσα μαγνήτιση, χαμηλότερο CP καὶ ἀποκτᾶ τὸ μέγιστο τῆς μαγνητικῆς ἐπιδεικτικότητας σὲ πιὸ ἔντονο μαγνητικὸ πεδίο ἀπ' ὅ,τι ἰσχύει γιὰ τὸ φυσικὸ σιδηρομαγνητικὸ μαγνητοπυρίτη.

Ἀπὸ κοιτασματολογικῆ-μαγνητικῆ ἄποψη ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας Λαυρίου βρίσκεται, ὅπως δείχνει ὁ Πίν. Α, μεταξύ τοῦ μαγνητοπυρίτη Falum (Σουηδίας με  $\chi = 100 \cdot 10^{-6}$ , πού σχηματίστηκε σὲ πνευματολυτικὴ ἐπαφή καὶ τοῦ μαγνητοπυρίτη Sulitelma (Νορβηγίας) με  $\chi = 379 \cdot 10^{-6}$ , πού σχηματίστηκε σὲ ὑδροθερμικὸ στάδιο ὑψηλῆς θερμοκρασίας. Συνεπῶς, ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας Λαυρίου θὰ σχηματίστηκε σὲ ὑψηλὴ θερμοκρασία.

## ΠΙΝΑΚΑΣ Α

Παραγένεση δειγμάτων μαγνητοπυρίτη και μαγνητική τους επίδεικτικότητα  $\chi \cdot 10^{-6}$  σε ένταση μαγνητικού πεδίου 62,5 Oersted.

Προέλευση Διαπιστωθέντα μικροσκοπικῶς ὄρυκτὰ Μαγνη. Εἶδος  
δείγματος Ἐπίδ. σχηματισμοῦ

Mt Ch Il Py Ae Sp Ga Cu Sid Lim  $\times 10^{-6}$

Bühl (Kassel)											Σε βασάλτη ἀπὸ μετα-	
Γερμανίας	—								—	10	τροπή σιδηροπυρίτη.	
Radautal (Harz)											Σε γαββροπηγματίτη.	
Γερμανίας	—	—								38	(ὕψηλὴ θερμοκρασία)	
Hundholmen												
Νορβηγίας	—								—	—	60	Σε γρανιτοπηγματίτη.
Falum												
Σουηδίας	—			—	—	—					100	Σε πνευματολιτική ἐπαφή
Πλάκα												
Λαυρίου	—										135	Ἵδροθερμικὸ ὑψηλῆς θερμοκρασίας μέχρι πνευματολ. στάδιο
Sulitjelma												
Νορβηγίας	—	—	—	—							379	Ἵδροθερμικὸ ὑψηλῆς θερμοκρασίας στάδιο
Boliden		—									839	Ὅπως τὸ προηγούμενο
Thale (Harz)	—	—							—		5318	Μεσοθερμικὸς σχημα- τισμός
Kisbanya												
Οὐγγαρίας	—										24011	Ἐπιθερμικὸς σχημ.

Ἵπόμνημα. Mt= μαγνητίτης, Ch= χαλκοπυρίτης, Il= ιλιμενίτης, Py= σιδηροπυρίτης, Ae= αἰματίτης, Sp= σφαλερίτης, Ga= γαληνίτης, Cu= κουβανίτης, Sid= σιδηρίτης καὶ Lim= λειμονίτης

“Αν ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας Λαυρίου εἶχε σχηματιστεῖ σὲ χαμηλὴ θερμοκρασία, θὰ ἔπρεπε νὰ εἶχε παρουσιαστεῖ στὴ μορφή τοῦ β-μαγνητοπυρίτη μὲ σιδηρομαγνητικὲς ιδιότητες καὶ σημεῖο Curie στοὺς 320°C καὶ χωρὶς μαγνητικὲς μετατροπὲς κατὰ τὴ θέρμανση. Ἐδῶ θὰ πρέπει νὰ τονιστεῖ ἰδιαίτερα ὅτι δὲν μπορούμε νὰ ποῦμε ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας Λαυρίου σχηματίστηκε στὴν ἀρχὴ μὲ τὴ μορφή τοῦ β-τύπου, δηλ. σὲ χαμηλὴ θερμοκρασία καὶ κατόπιν, μὲ τὴν ἄνοδο τοῦ γρανοδιορίτη, θερμάνθηκε μὲ ἀποτέλεσμα νὰ χάσει μέρος ἀπὸ τὴν περιεκτικότητά του σὲ θεῖο καὶ νὰ παρουσιαστεῖ, ὅπως εἶναι σήμερα, στὸν α-τύπο. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ὁ μαγνητοπυρίτης θὰ παρουσίαζε μὲν μείωση τῆς μαγνητικῆς του ἐπιδεκτικότητας, ἀλλὰ θὰ παρέμενε σιδηρομαγνητικὸς χωρὶς νὰ παρουσιάζει τίς μαγνητικὲς μετατροπὲς τοῦ α-μαγνητοπυρίτη. Ἀπὸ πειράματα, πού ἔγιναν σὲ δείγματα β-μαγνητοπυρίτη μὲ σιδηρομαγνητικὲς ιδιότητες ἀπὸ τὸ μεταλλεῖο Mittelbridge τοῦ Ὀντάριο Καναδᾶ, διαπιστώθηκε ὅτι τὸ ὄρυκτό αὐτὸ ἔπειτα ἀπὸ πυράκτωση στοὺς 600°C, παρέμεινε σιδηρομαγνητικὸ χωρὶς μαγνητικὲς μετατροπὲς, ἀλλὰ μὲ μείωση τῆς μαγνητικῆς του ἐπιδεκτικότητας κατὰ 20% (Kiskyras 1950, σ. 314). Ὁ μαγνητοπυρίτης ὅμως τῆς Πλάκας Λαυρίου παρουσιάζει χαμηλὲς ἕως παραμαγνητικὲς ιδιότητες, πού σημαίνει ὅτι τὸ ὄρυκτό αὐτὸ δὲν θερμάνθηκε μετὰ τὸ σχηματισμὸ του τουλάχιστον μέχρι 240°C.

Ἐδῶ θὰ πρέπει νὰ σημειωθεῖ ὅτι κατὰ τὴν ἀποσάθρωση τοῦ μαγνητοπυρίτη τῆς Πλάκας Λαυρίου σχηματίστηκε ἓνα προϊόν μὲ σιδηρομαγνητικὲς ιδιότητες. Πρόκειται γιὰ ὑλικὸ μεταξὺ σιδηροπυρίτη καὶ μαγνητοπυρίτη, δηλ. πλουσιότερο σὲ θεῖο ἀπ’ ὅ,τι ὁ μαγνητοπυρίτης, γνωστὸ ὡς προϊόν ἀποσάθρωσης μαγνητοπυρίτη. Τὸ ὑλικὸ αὐτὸ δὲν παρουσίασε κατὰ τὴ θέρμανση μαγνητικὲς μετατροπὲς, μοιάζει δηλ. περισσότερο πρὸς β-μαγνητοπυρίτη μὲ CP στοὺς 325°C (Κισκύρας 1961). Τὸ ὑλικὸ ὅμως αὐτὸ δὲν ἔχει καμμιά σχέση μὲ τὸ β-μαγνητοπυρίτη, πού παρουσιάζεται σὲ ἄλλες θέσεις τῆς Λαυρεωτικῆς καὶ τοῦ ὁποῦ ὁ σχηματισμὸς ἔχει σχέση μὲ τὸ βαθύλιθο τῆς περιοχῆς αὐτῆς. Μαζὶ μὲ τὸ ὑλικὸ τῆς ἀποσάθρωσης τοῦ μαγνητοπυρίτη τῆς Πλάκας-Λαυρίου, πού ὀπτικῶς, ὅταν εἶναι ἀνισότροπο, μοιάζει μὲ μαρκασίτη, σχηματίστηκε καὶ μαγνητίτης μαζὶ μὲ σιδηροπυρίτη  $\pm$  μαρκασίτη.

Ἡ ἀποψη τῶν ἐρευνητῶν αὐτῶν ὅτι ὁ γρανοδιορίτης τῆς Πλάκας προκάλεσε μετατροπὴ σιδηροπυρίτη σὲ μαγνητοπυρίτη καὶ μαγνητίτη δὲν δικαιολογεῖται ἀπὸ τὴν ἐρευνα, πού ἔχει γίνεῖ σὲ ἄλλες περιοχές. Στὴ φύση σὲ ἐλάχιστες μόνο περιπτώσεις καὶ μάλιστα σὲ εἰδικὲς παρατηρήθηκε μιὰ ἐντελῶς περιορισμένη μετατροπὴ σιδηροπυρίτη σὲ μαγνητοπυρίτη. Στὸ Bühl-Kassel τῆς Γερμανίας π.χ. βρέθηκαν μι-

κρά κομμάτια μαγνητοπυρίτη μέσα σε πλαγιοκλαστικό βασάλτη, που σχηματίστηκαν από πυράκτωση σιδηροπυρίτη. Έξάλλου, μαγνητοπυρίτης παρασκευάστηκε συνθετικά από τους Allen et al (βλ. Kiskyras 1950, p. 315) με θέρμανση σιδηροπυρίτη μέσα σε ατμούς θείου στους 575°C. Στη Λαυρεωτική όμως ο μαγνητοπυρίτης παρουσιάζεται σε διαστρώσεις και κοίτες, που έχουν πάχος πάνω από ένα μέτρο και μάλιστα έξω από το γρανοδιορίτη, που και αυτός δεν ήταν τόσο θερμός, όσο ο βασάλτης Bühl. Ο Ramdohr (1955 σ. 461) νομίζει ότι η αντικατάσταση του σιδηροπυρίτη από μαγνητοπυρίτη δεν περιορίζεται μόνο στην ολοφάνερη φρύξη του σιδηροπυρίτη της περίπτωσης Bühl-Kassel Γερμανίας, αλλά γίνεται και σε σχηματισμούς μεγάλου βάθους. Προσθέτει όμως ότι, έφόσον δεν γνωρίζουμε τις εκάστοτε επικρατούσες συνθήκες πιέσεων, είναι αδύνατο να βγάλουμε συμπεράσματα από τις αντιδράσεις  $FeS_2 \rightleftharpoons FeS$  για τις επικρατούσες θερμοκρασίες. Στην περιοχή όμως του Λαυρίου ο σχηματισμός των όρυκτων αυτών σε μεγάλο βάθος θα σήμαινε ότι τα μεταλλεύματα της Λαυρεωτικής συνδέονται με τον υποκείμενο γρανιτικό βαθύλιθο, που δεν δέχονται οι συγγραφείς, οι όποιοι ισχυρίζονται ότι οι μαγνητοπυρίτες του Λαυρίου, αν όχι όλοι όπωσδήποτε ένα μεγάλο μέρος, προέρχονται από μετατροπή του σιδηροπυρίτη της περιοχής αυτής. Το ότι αυτό δεν ισχύει για τους μαγνητοπυρίτες του Λαυρίου φαίνεται και από τη διαφορά, που παρουσιάζουν οι τιμές στις μαγνητικές επιδεκτικότητες σε μαγνητοπυρίτες από το Λαύριο και από άλλα κοιτάσματα, που έχουν σχηματισθεί σε πιό ύψηλές θερμοκρασίες απ' ό,τι ο μαγνητοπυρίτης Πλάκας Λαυρίου, βλ. Πίν. Α. Έδω θα πρέπει να προστεθεί ότι ο μαγνητοπυρίτης Bühl, που όπως είπώθηκε προέρχεται από πυράκτωση σιδηροπυρίτη, δεν περιέχει μαγνητίτη. Το ίδιο μπορούμε να πούμε και για μερικά δείγματα από άλλους μαγνητοπυρίτες, που σχηματίστηκαν σε ύψηλές θερμοκρασίες, βλ. Πίν. Α.

Σε ό,τι αφορά την άποψη Fotakis-Tsipoulas and Hawking (1982/83) ότι μερικά κοιτάσματα του Λαυρίου δεν έχουν σχέση με το γρανοδιορίτη της Πλάκας, επειδή έχουν υποστεί τεκτονική επίδραση (ανακρυστάλλωση όρυκτων κ.λπ.), θα είχε ισχύ, αν ο γρανοδιορίτης της Πλάκας ήταν πράγματι μετατεκτονικός. Έχει όμως διατυπωθεί η άποψη (Κισκύρας 1961, σ. 147) ότι στην περίπτωση αυτή δεν πρόκειται για μετατεκτονικό, αλλά για όψιμοτεκτονικό γρανοδιορίτη. Η διείδυση του σώματος αυτού έγινε μὲν μετά την κύρια όρογενετική φάση, αλλά πριν τελειώσει η όρογένεση. Την άποψη αυτή ενισχύει η παρατήρηση ότι οι σχιστόλιθοι, που μεταμορφώθηκαν έξ έπαφής, έχουν κατακερματιστεί. Έτσι, έφόσον ο τεκτονισμός των πετρωμάτων αυτών έγινε έπειτα από τη μεταμόρφωσή τους, που όφείλεται στο



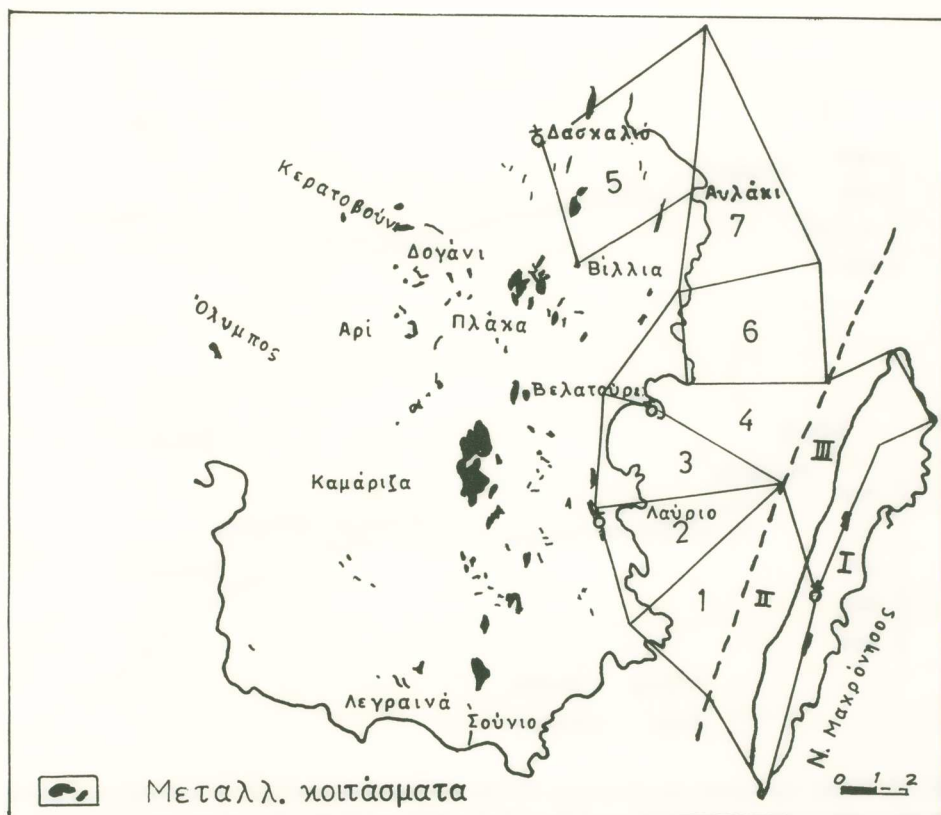
γρανοδιορίτη τῆς Πλάκας, θὰ πρέπει νὰ δεχτοῦμε ὅτι ἡ ἄνοδος τοῦ γρανοδιορίτη αὐτοῦ ἔγινε πρὶν τὸ τέλος τῆς ὀρογένεσης στὴν περιοχὴ τῆς Λαυρεωτικῆς. Ἐξάλλου, ἂν ὁ γρανοδιορίτης τῆς Πλάκας ἦταν μεταγενέστερος ἀπὸ τὴ μεταλλοφορία τῆς περιοχῆς αὐτῆς, θὰ εἶχε ἐπηρεάσει ὀπωσδήποτε τὴ μαγνητικὴ κατάσταση τοῦ μαγνητοπυρίτη τῆς ἴδιας περιοχῆς. Ὁ μαγνητοπυρίτης ὅμως τῆς Πλάκας Λαυρίου, ὅπως ἀναφέραμε, δὲν θερμάνθηκε μετὰ τὸ σχηματισμὸ του τουλάχιστο μέχρι 240°C. Ἔτσι, θὰ πρέπει νὰ δεχτοῦμε ὅτι ὁ σχηματισμὸς τοῦ μαγνητοπυρίτη τῆς Πλάκας Λαυρίου ἔχει σχέση μετὰ τὴν ἄνοδο τοῦ γρανοδιορίτη τῆς περιοχῆς αὐτῆς, ποὺ ἔγινε πρὶν τελειώσει ἡ ὀρογένεση, στὸ τελευταῖο στάδιο τῆς ὁποίας μπορεῖ νὰ ἀποδοθεῖ καὶ ἡ ἀνακρυστάλλωση τοῦ μαγνητοπυρίτη τῆς περιοχῆς τοῦ Λαυρίου.

Ἡ ἄποψη ὅτι ἡ μεταλλοφορία τῆς Λαυρεωτικῆς συνδέεται μετὰ τὸν ὑποκείμενο γρανιτικὸ βαθύλιθο ἔχει καὶ μεγάλη πρακτικὴ σημασία γιὰ τὸ λόγο ὅτι, σὲ ἀντίθεση μετὰ τὴ νέα ὑπόθεση, δίνει βásiμες ἐλπίδες ὅτι σὲ μεγαλύτερα βάθη τῆς περιοχῆς τοῦ Λαυρίου ἀναμένονται νὰ βρεθοῦν σημαντικὰ μεταλλοφόρα κοιτάσματα.

#### Δ. ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΤΗΣ ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗΣ

Ἐνδιαφέρον ἀπὸ κοιτασματολογικὴ ἄποψη θέμα παρουσιάζει ἡ ἀσθενὴς μεταλλοφορία τῆς Δυτικῆς Λαυρεωτικῆς, δηλ. τῆς περιοχῆς δυτικὰ τῆς γραμμῆς Λεγραινᾶ-Δογάνι (Εἰκ. 3), ποὺ εἶχε ὑποπέσει καὶ στὴν ἀντίληψη τῶν πρώτων μελετητῶν τῆς περιοχῆς αὐτῆς (Κορδέλλας, βλ. Lepsius σ. 198). Σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὸ δυτικὸ τμήμα τῆς Δυτικῆς Λαυρεωτικῆς, ποὺ ἀποτελεῖται σχεδὸν ἀποκλειστικὰ ἀπὸ κατώτερο μάρμαρο (Ὀλυμπος, Κερατοβούνη) τοῦτο θὰ μπορούσε νὰ ἀποδοθεῖ στὸ ὅτι ἡ μεταλλοφορία τῆς τρίτης συνεπαφῆς, δηλ. αὐτῆ, ποὺ ἀντιστοιχεῖ στὸν ὀρίζοντα πάνω ἀπὸ τὸ κατώτερο μάρμαρο, ἔχει διαβρωθεῖ. Γιὰ τὸ ἀνατολικὸ ὅμως τμήμα τῆς Δυτ. Λαυρεωτικῆς, ὅπου τὸ κατώτερο μάρμαρο καλύπτεται ἀπὸ φυλλιτικὰ πετρώματα, ἡ περιορισμένη ἐμφάνιση μεταλλοφορίας στὴ λεγόμενη τρίτη/πρώτη συνεπαφὴ ἀποτελεῖ ἰδιαιτέρο πρόβλημα. Στὴν περιοχὴ αὐτὴ οἱ μεταλλοφόρες ἐμφάνισεις, ἐκτὸς τοῦ ὅτι εἶναι μικρές, περιορίζονται καὶ σὲ λίγες θέσεις. Ἔτσι, στὸ ἀνατολικὸ Κερατοβούνη βρέθηκε μικρὸ κοίτασμα ἀπὸ ἀνθρακικὸ ψευδάργυρο ( $Zn=0,5-2, 7\%$ ), ἐνῶ στὸ Λινοκούκι διαπιστώθηκε φλέβα γαληνίτη μετὰ πάχος 0,5 μ.

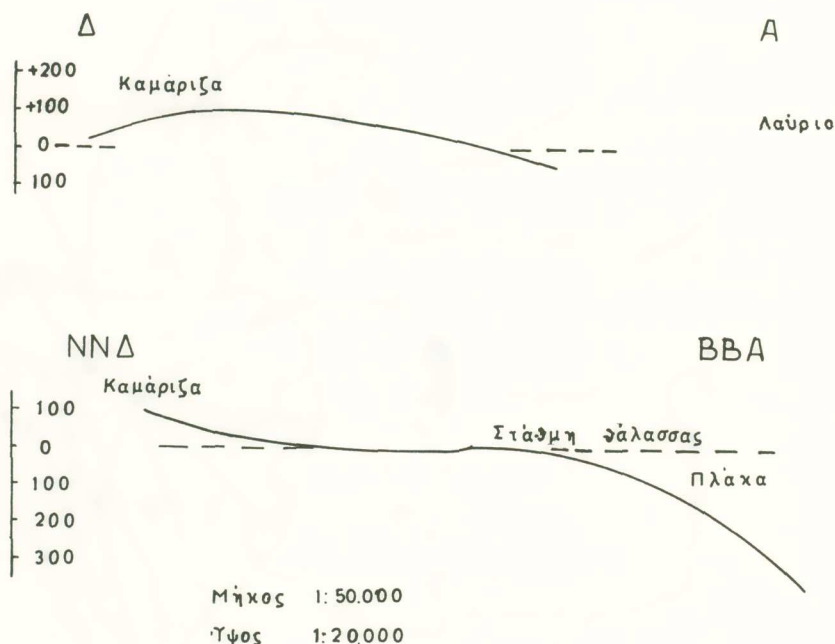
Μιὰ πιθανὴ ἐξήγηση γιὰ τὴν ἰσχνὴ αὐτὴ μεταλλοφορία εἶναι ὅτι ὁ γρανοδιοριτικὸς βαθύλιθος, μετὰ τὸν ὁποῖο συνδέεται ἡ θειούχα μεταλλοφορία τῆς Ἀνατ. Λαυρεωτικῆς, δὲν προεκτείνεται πρὸς Δ. Ἔτσι, ἡ Δυτ. Λαυρεωτικὴ βρίσκεται μακριὰ ἀπὸ τὴ μεταλλοφόρα πηγὴ μετὰ ἀποτέλεσμα νὰ φθάνουν ἐκεῖ σὲ μορφὴ διαλυμάτων



Είχ. 1. Συνοπτικός χάρτης των μεταλλοφόρων κοιτασμάτων Λαυρίου κατά τους Μαρίνο-Petrasccheck με προταθείσες από Δ. Κισκύρα περιοχές για υποθαλάσσια έρευνα πρὸς ἀναζήτηση τῆς 3ης μεταλλοφόρας ἐπαφῆς. 1, 2, 3, ... I, II, III αἰτηθέντες μεταλλοῦχοι χώροι ἀπὸ τὴ Νομαρχία Ἀττικῆς καὶ ἀντιστοίχως τῆ Ν. Κυκλάδων.

ἐκεῖνες μόνον οἱ ἐνώσεις, πού ἔχουν εὐκίνητα χημικά στοιχεῖα, ὅπως τὸ βάριο καὶ φθόριο, τὰ ὁποῖα ἔχουν μεγάλη ἰοντική ἀκτίνα. Ἦδη οἱ Μαρῖνος καὶ Petrascheck (1956 σ. 181) ἔχουν μιλήσει γιὰ μιὰ φθοριτοβαρυτούχα διάπλαση μὲ γαληνίτη καὶ καλαμίνα, πού ἐκτείνεται σὲ ὅλο τὸ μῆκος τοῦ Δυτ. Λαυρίου, τὴν ὁποία ἀποδίνουν σὲ ὑδροθερμική μεταλλογενετική φάση, νεότερη καὶ ἀπώτερη σὲ σύγκριση μὲ τὴ γνωστὴ τῆς Ἀνατολικῆς Λαυρεωτικῆς.

Ἄν λάβουμε ὑπόψη ὅτι ὁ γρανοδιορίτης τῆς Πλάκας ἀνήκει σὲ παλιότερο συνορογενετικὸ μάγμα, πού μαζί μὲ τὸ βαθύλιθο τῆς Λαυρεωτικῆς ἔχει διεισδύσει στὴν Πελαγονική ζώνη ἀπὸ ἀνατολὰς (Κισκύρας 1964, σ. 100), τότε μπορούμε νὰ ἀναμέ-



Εικ. 2. Τομές της τρίτης μεταλλοφόρας επαφής Λαυρίου, σύμφωνα με το μεταλλευτικό χάρτη Μαρίνου-Petrascheck, όπου υποκείμενο είναι το κατώτερο μάρμαρο 'Αττικής και επικείμενο ο σχιστόλιθος Καμάριζας.

νομε ότι ή μεταλλοφορία στην τρίτη συνεπαφή θα γίνεται πιό πλούσια, όσο προχωρούμε προς Α. 'Επειδή όμως στην 'Ανατ. Λαυρεωτική ή τρίτη συνεπαφή, που βυθίζεται προς Α, έχει διαπιστωθεί κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, Εικ. 2, αναμένεται ότι ανατολικότερα, δηλ. στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Λαυρίου και Μακρονήσου, θα βυθίζεται ακόμη περισσότερο. Τοῦτο θεωρήθηκε σάν πλεονέκτημα για την αναζήτηση της μεταλλοφορίας του Λαυρίου στην περιοχή αυτή. 'Ετσι, το 1967 ή 'Ελληνοαμερικανική 'Εταιρία Nicol Industrial Min. ἔλαβε την απόφαση νά διενεργήσει υποθαλάσσιες ἔρευνες μεταξύ Λαυρίου και Μακρονήσου. Για τὸ σκοπὸ αὐτὸ χορηγήθηκαν ἑπτὰ ἄδειες ἐρευνῶν ἀπὸ τὴ Νομαρχία 'Αττικής και τρεῖς ἀπὸ τὴ Νομαρχία Κυκλάδων, βλ. Εικ. 1. 'Η ἀνώμαλη ὅμως πολιτικὴ κατάσταση τὴν ἐποχὴ ἐκείνη στην 'Ελλάδα ἐμπόδισε τὴν ἔρευνα αὐτὴ και ἔτσι χάθηκε μιὰ ἀπὸ τίς

πιό σπάνιες και ανεπανάληπτες ευκαιρίες για αξιόλογη έρευνα του όρυκτου μας πλούτου.

#### Ε. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. 'Η παρουσία στην περιοχή τής Πλάκας Λαυρίου του α-μαγνητοπυρίτη, δηλ. όρυκτου με μικρή μαγνητική επίδεικτικότητα και σημείο Curie (CP) στους 280°C, τó όποιο κατά τή θέρμανση ύφίσταται μαγνητικές μετατροπές και άποκτᾶ σιδηρομαγνητικές ιδιότητες, σημαίνει, σύμφωνα με τήν ύπάρχουσα βιβλιογραφία, ότι τó θειούχο αυτό όρυκτό σχηματίστηκε από τήν άρχή σε ύψηλή θερμοκρασία (ύδροθερμικό στάδιο ύψηλής θερμοκρασίας έως πνευματολυτικό). "Αν τó όρυκτό αυτό είχε σχηματιστεί σε χαμηλή θερμοκρασία, όπως ύποστηρίζεται (Leleu et al), θά έπρεπε άντι του α-μαγνητοπυρίτη νά είχε σχηματιστεί ó β-μαγνητοπυρίτης με σιδηρομαγνητικές ιδιότητες και με CP στους 320°C (ύδροθερμικό στάδιο χαμηλής θερμοκρασίας). Ούτε μπορούμε νά δεχθούμε ότι στην άρχή σχηματίστηκε β-μαγνητοπυρίτης, πού άργότερα με τήν άνοδο του γρανοδιορίτη τής Πλάκας-Λαυρίου θερμάνθηκε άρκετά, ώστε νά μετατραπεί σε α-μαγνητοπυρίτη. Στην περίπτωση αύτή θά έπρεπε νά είχε διατηρήσει τίς σιδηρομαγνητικές του ιδιότητες με μικρή μείωση τής τιμής τής μαγνητικής επίδεικτικότητας. "Όπως έδειξε ή πειραματική έρευνα σε δείγματα β-μαγνητοπυρίτη από τήν περιοχή Mittelbridge του 'Οντάριο Καναδά, αυτά διετήρησαν τίς σιδηρομαγνητικές τους ιδιότητες με μείωση μόνο τής τιμής τής μαγνητικής επίδεικτικότητας κατά 20%, έπειτα από πυράκτωση στους 600°C.

2. "Αν ó μαγνητοπυρίτης τής Πλάκας-Λαυρίου είχε σχηματιστεί πριν τήν άνοδο του γρανοδιορίτη τής περιοχής αύτῆς, θά έπρεπε νά παρουσίαζε σιδηρομαγνητικές ιδιότητες όχι μόνο στην περίπτωση του άρχικου β-μαγνητοπυρίτη, όπως άναφέρθηκε, αλλά και στην περίπτωση του α-μαγνητοπυρίτη για τó λόγο ότι: 'Ο γρανοδιορίτης τής περιοχής αύτῆς, πού προκάλεσε μεταμόρφωση έξ έπαφῆς στα γύρω του πετρώματα, θά θέρμαινε και τόν α-μαγνητοπυρίτη με άποτέλεσμα νά ύποστεί μαγνητικές μετατροπές και νά άποκτήσει σιδηρομαγνητικές ιδιότητες, πού θά διατηρούσε και μετά τήν ψύξη του.

3. 'Εφόσον ó μαγνητοπυρίτης τής Πλάκας-Λαυρίου δέν παρουσιάζει σιδηρομαγνητικές ιδιότητες, δέν μπορούμε νά δεχθούμε ότι ή θειούχα μεταλλοφορία τής περιοχής αύτῆς, μέρος τής όποίας είναι και ó μαγνητοπυρίτης, σχηματίστηκε σε χαμηλή θερμοκρασία πριν τήν άνοδο του γρανοδιορίτη. 'Επίσης δέν μπορούμε νά δεχθούμε ότι στην περιοχή τής Λαυρεωτικής έχει σχηματιστεί μαγνητοπυρίτης από

μετατροπή σιδηροπυρίτη, που θερμάνθηκε από το γρανοδιορίτη τῆς περιοχῆς αὐτῆς. Στὴ φύση μόνο σὲ ἐλάχιστες καὶ μάλιστα εἰδικές περιπτώσεις παρατηρήθηκε μιὰ τέτοια μετατροπή, π.χ. μέσα σὲ βασάλτη, δηλ. σὲ πέτρωμα ὑψηλῆς θερμοκρασίας, βρέθηκαν κομματάκια μαγνητοπυρίτη μὲ παραμαγνητικές ιδιότητες, πού προέκυψαν ἀπὸ πυράκτωση σιδηροπυρίτη. Στὴν περιοχή ὅμως τῆς Πλάκας ὁ μαγνητοπυρίτης παρουσιάζεται σὲ διαστρώσεις μὲ πάχος, πού υπερβαίνει τὸ ἓνα μέτρο καὶ ἐκτὸς ἀπ' αὐτὸ βρῖσκεται ἔξω ἀπὸ τὸ γρανοδιορίτη. Ἐξάλλου δὲν παρουσιάζει τόσο χαμηλές τιμές τῆς μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητας, ὅπως οἱ μαγνητοπυρίτες, πού σχηματίστηκαν σὲ ὑψηλές θερμοκρασίες.

4. Τὴ θεωρία ὅτι ἡ θειούχα μεταλλοφορία τῆς Λαυρεωτικῆς ἔχει ὑδροθερμικὴ προέλευση ἐνισχύει καὶ ἡ διαπίστωση ὅτι ἡ μεταλλοφορία αὐτὴ παρουσιάζεται στὴν πρώτη καὶ τρίτη μεταλλοφόρα ἐπαφὴ τῆς Λαυρεωτικῆς, δηλ. κάτω ἀπὸ ἀδιαπέρατα πετρώματα, πού συμβιβάζεται μὲ τὴν ἄποψη ὅτι ἐδῶ πρόκειται γιὰ ἀνερχόμενα διαλύματα, ὅπως στὴν περίπτωση τῶν ὑδροθερμικῶν, τὰ ὁποῖα συνδέονται μὲ τὴν παρουσία στὸ ὑπέδαφος ἐκρηξιγενῶν πετρωμάτων, ἐδῶ τοῦ γρανιτικοῦ βαθύλιθου. Ἀντίθετα, ἡ δευτερογενῆς μεταλλοφορία τῆς Λαυρεωτικῆς (ἀνθρακικὰ μεταλλοφόρα ὀρυκτὰ) παρουσιάζεται στὴ δεύτερη ἐπαφὴ, δηλ. πάνω σὲ ἀδιαπέρατα πετρώματα, πού ἀνταποκρίνεται σὲ μεταλλοφορία ἀπὸ κατερχόμενα διαλύματα.

Τὴν ἄποψη γιὰ τὴν ὑδροθερμικὴ προέλευση τῶν κοιτασμάτων τῆς Λαυρεωτικῆς καὶ τὴ σχέση τους μὲ τὸν ὑποκείμενο γρανιτικὸ βαθύλιθο εὐνοεῖ καὶ ἡ γενικὴ διαπίστωση ὅτι ἡ μεταλλοφορία τῆς περιοχῆς αὐτῆς γίνεται πρὸ ἔντονη ἐκεῖ, ὅπου τὰ μεταλλοφόρα ρήγματα καὶ ρωγμὲς συναντοῦν ἢ πλησιάζουν γρανοδιοριτικές ἀποφύσεις, γνωστὲς στοὺς ἀρχαίους μὲ τὸ ὄνομα Εὐρίτες, δηλ. ὁδηγούς γιὰ τὸ μετάλλευμα.

5. Ἐδῶ δὲν πρόκειται γιὰ μιὰ μεταλλοφορία, ἡ ὁποία προέρχεται ἀπὸ διαλύματα, πού σχηματίστηκαν ἀπὸ τὴν ἀπόπλυση ἠφαιστειοϊζηματογενῶν πετρωμάτων, πού βρῖσκονται μέσα σὲ παλαιοζωϊκὰ πετρώματα τῆς Λαυρεωτικῆς καὶ ἡ ὁποία ἀποτέθηκε ἀργότερα σὲ καρστικές ἐπιφάνειες τῆς περιοχῆς αὐτῆς. Θὰ μπορούσε ἴσως νὰ ἐξαίρεθεῖ ἓνα μικρὸ ποσοστὸ τῆς μεταλλοφορίας αὐτῆς, πού καὶ αὐτὸ ὅμως συνδέεται μὲ δράση ὄξινων ὑδροθερμικῶν διαλυμάτων ἀπὸ τὸ γρανιτικὸ βαθύλιθο, στὰ ὁποῖα ὀφείλεται ἡ ἀπόσπαση μεταλλικῶν συστατικῶν ἀπὸ τὰ ἠφαιστειακὰ πετρώματα. Ἔτσι ἄλλωστε δικαιολογεῖται καὶ ἡ ἀπόθεση τῶν μεταλλευμάτων σὲ μορφὴ θειούχων ἐνώσεων καὶ ὄχι θειϊκῶν, ὅπως θὰ ἦταν, ἂν ὁ σχηματισμὸς τους ὀφειλόταν σὲ ἀπλὴ ἀπόπλυση τῶν μεταλλικῶν ἐνώσεων τῶν ἠφαιστειακῶν πετρω-

μάτων και μετακίνησή τους προς τὰ κάτω, π.χ. στο κατώτερο μάρμαρο τῆς Λαυρεωτικῆς.

6. Τὸ γεγονός ὅτι ὁ μαγνητοπυρίτης τῆς Πλάκας-Λαυρίου ἔχει ὑποστῆί ἀνακρυστάλλωση δὲν σημαίνει ὅτι τὸ ὄρυκτὸ αὐτὸ σχηματίστηκε πρὶν τὴν ἄνοδο τοῦ γρανοδιορίτη, ἐπειδὴ αὐτὸς θεωρεῖται μετατεκτονικός. Στὴν περίπτωση αὐτὴ δὲν πρόκειται γιὰ μετατεκτονικό, ἀλλὰ γιὰ ὀψιμοτεκτονικό γρανοδιορίτη, ἢ διείσδυση τοῦ ὁποίου ἔγινε μὲν μετὰ τὴν κύρια ὀρογενετικὴ φάση, ἀλλὰ πρὶν τελειώσει ἡ ὀρογένεση. Ἔτσι ἄλλωστε μπορεῖ νὰ ἐξηγηθεῖ καὶ ὁ κατεκερματισμὸς τῶν πετρωμάτων γύρω ἀπὸ τὸ γρανοδιορίτη, ἢ μεταμόρφωση τῶν ὁποίων ὀφείλεται στὴν ἄνοδο τοῦ ἐκρηξιγενοῦς αὐτοῦ πετρώματος.

7. Ἡ θεωρία ὅτι ἡ θειούχα μεταλλοφορία τοῦ Λαυρίου ἔχει ὑδροθερμικὴ προέλευση, πού συνδέεται μὲ τὴν παρουσία τοῦ ὑποκείμενου γρανιτικοῦ βαθύλιθου, ἔχει μεγάλη πρακτικὴ σημασία. Ἔτσι, μὲ βάση ὅτι ἡ τρίτη μεταλλοφόρα ἐπαφὴ τῆς Λαυρεωτικῆς κλίνει πρὸς ἀνατολάς, ὥστε στὴν Ἄν. Λαυρεωτικὴ νὰ βυθίζεται κάτω ἀπὸ τὴ στάθμη τῆς θάλασσας, ἀναμένεται ὅτι ἀνατολικότερα, δηλ. στὴ θάλασσα μετὰξὺ Λαυρεωτικῆς καὶ Μακρονήσου, θὰ βυθίζεται ἀκόμη περισσότερο. Τοῦτο θεωρήθηκε ἀπὸ τὴν Ἑλληνοαμερικανικὴ Ἑταιρία Nicol Industrial Minerals ὡς πλεονέκτημα γιὰ τὴν ἀναζήτηση τῆς συνέχειας τῆς τρίτης μεταλλοφόρας ἐπαφῆς τῆς Λαυρεωτικῆς κάτω ἀπὸ τὴ θάλασσα αὐτῆ. Οἱ ὑποθαλάσσιες ὁμῶς ἔρευνες, πού εἶχαν προγραμματίσει ἐκεῖ τὸ 1967, δὲν μπόρεσαν νὰ γίνουν λόγω τῆς ἀνώμαλης πολιτικῆς κατάστασης, πού ἐπικρατοῦσε τότε στὴν Ἑλλάδα.

#### SUMMARY

##### **Some remarks about the mineralization of the Laurium area**

Some years ago a new hypothesis was expressed about the genesis of the Laurium area deposits. According to this hypothesis the mineralization is connected not with the granitic batholith as classic theory accepts but with old volcano-sedimentary rocks deposited on sea bottom. Furthermore, that the genesis of the Laurium deposits took place before the intrusion of the Plaka-granodiorite and in addition have built up at low temperature by leaching of these volcano-sedimentary rocks embedded into micaschists. Finally, these ores have been deposited above karstic surfaces due to their precipitation from mineral solutions containing these materials.

This hypothesis is not favoured by the mineralogical and petrographical investigation in this area. Thus, the occurrence near the village Plaka of the paramagnetic

mineral  $\alpha$ -pyrrhotite is in opposition to the view of a low temperature formation. The question here is of a high hydrothermal to pneumatolitic mineral. The fact that this mineral has low magnetic susceptibility ( $\chi = 135 \cdot 10^{-6}$  in magnetic field strength of 62,5 Oersted) and Curie Point (CP) at 280°C leads one to suppose that this mineral, after its genesis, never has been warmed again above at least 240°C, otherwise it should show higher magnetic susceptibility. Besides, in case of a low temperature sulphureous mineralization the  $\beta$ -type of pyrrhotite should have occurred instead of the  $\alpha$ -type, i.e. a ferromagnetic mineral of low hydrothermal origin with higher S-content than the  $\alpha$ -pyrrhotite and with C.P at 320°C. It should be emphasized that we cannot say that  $\beta$ -pyrrhotite was formed at first, which has converted into  $\alpha$ -pyrrhotite after heating due to the intrusion of the Plaka's granodiorite, resulting in a reduction of its sulphur content. That is because it is known (Kiskyras 1950) that pyrrhotite of  $\beta$ -type after burning at 600°C remains ferromagnetic with a 20% reduction of the value of its susceptibility. Furthermore, the burned  $\beta$ -pyrrhotite does not show magnetic conversion at 220°C, as the  $\alpha$ -pyrrhotite of Plaka does.

It will be of interest to say here that the opinion that Laurium deposits cannot have any relation to the Plaka's granodiorite because they contain recrystallized sulphureous minerals, is based on the view that this granodiorite is metatectonic. But this view is not generally accepted. Thus, according to Kiskyras (1961) the granodiorite of the Plaka is not metatectonic but late tectonic. The fact that metamorphic rocks of Plaka-Laurium are broken, although the intrusion of the Plaka Miocene granodiorite is responsible for the metamorphism, is an evidence that tectonic forces continued in this area after the intrusion of the Plaka's granodiorite.

To adduce other arguments that the genesis of the ores in the Laurium area is connected with the hydrothermal stage of the granodiorite of Plaka and principally with that of the batholith in the Laurium area it should be added: 1) The sulphureous minerals (sphalerite, galena and pyrite) occur in the first and third metalliferous contacts of this area, i.e. the ores are concentrated under impervious rocks (phyllites and micaschists respectively) and above pervious rocks (marmor). This indicates mineralization connected with ascending solutions. On the contrary, the secondary mineralization of the Laurium area (smithsonite and cerusite derived from the oxidation of the primary ores) occurs in the second metalliferous contact, i.e. not under but above impervious rocks (schists of Kamariza). These ores correspond to mineralization connected with descending solutions.

It may be added here, the opinion (Leleu et al 1979 etc) that some pyrites of the Laurium area have been converted into pyrrhotite after heating because of the intrusion of the Plaka's granodiorite is not to be justified by currently known mineralogical data. Such a phenomenon takes place only in the case of small pieces of pyrite enclosed in igneous rocks resulting in a calcination of them (i.e. high temperature reaction) whereas pyrrhotite of Plaka occurs in bodies of great size, sometimes in thickness of one meter and more, in rocks surrounding the granodiorite which was brought to a temperature lower of that at which pyrite dissociates into pyrrhotite.

In addition to that reported by Petrascheck (1977) it may be said here that volcano-sedimentary rocks in order to release their metallic ingredients through a leaching process resulting in the precipitation of them in form of sulfides, acid hydrothermal solutions must react upon them. But such solutions can originate only from the granitic batholith, given that the paleozoic basic rocks of Laurium are inclosed in the micaschists without having contact with any compounds from the magma chamber, which the erupted material was derived from. Thereafter, we suggest that also in this case the genesis of the Laurium ores took place after the granitic intrusion in this area.

Furthermore, the view that the Laurium ores are connected with the granodioritic rocks of this area is in agreement with the old statement that the mineralization in the Laurium area is stronger in these places where the ores bearing fractures cut granodioritic veins or they are close to them.

Taking into consideration that the third metalliferous contact in the Laurium area is dipping to the east, in association with the view (Kiskyras 1964) that the granitic batholith in the Laurium area has been intruded from east, we can suppose that this contact will be richer with increasing depth. On the other hand, given that the third metalliferous contact lies under the sea-level in the eastern area of Laurium, a rich mineralization is expected to be found under the sea situated between the Laurium area and the island of Makronisos. This was the reason that the Nicol Industrial Minerals Corp. had in 1967 decided to carry out submarine investigations in this area. Unfortunately, owing to the bad political conditions of that time its program could not go on.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) 'Ορ. 'Αργυρόπουλος, "Εκθεσις ἐπὶ τῶν μεταλλοφόρων κοιτασμάτων τοῦ Λαυρίου. Γεωλογ. 'Αναγνωρίσεις Νο 24 ΙΓΕΥ, 'Αθήναι 1955.
- 2) E. Ardallion, Les mines du Laurium dans l'Antiquité, Paris 1897.
- 3) C. Fotakis-Tsipoulas and M. Hawkins, Preliminary geological and geochemical studies in the Laurion area, Greece. Δελτ. 'Ελλ. Γεωλογ. 'Εταιρίας XVI, p. 49-63, 1982/83.
- 4) I. Ginzburg, Principles of geochemical prospecting, Pergamon Press London 1960.
- 5) Dem. Kiskyras, Einige Bemerkungen über die magnetischen Eigenschaften der Mineralien des Systems FeS-FeS<sub>2</sub>. Beitr. z. angewandten Geoph. 10, p. 308-311, 1943.
- 6) » » , Untersuchungen der magnetischen Eigenschaften des Magnetkieses bei verschiedenen Temperaturen in besonderem Hinblick auf seine Entstehung. N.J.f. Mineral. 80 Abh. A p. 297-342, 1950.
- 7) Δημ. Κισκύρας, 'Ο μαγνητοπυρίτης τοῦ Λαυρίου σὲ συσχέτιση μὲ τὴ μεταλλογένεση τῆς Λαυρεωτικῆς καὶ τῆς Σερίφου. Δελτ. 'Ελλην. Γεωλογ. 'Εταιρίας 1959/60 IV/I σ. 139-155, 1961.
- 8) » » , Μερικὲς σκέψεις γιὰ τὴν ἠφαιστειότητα καὶ τεκτονικὴ τοῦ Αἰγαίου. Δελτ. 'Ελλην. Γεωλ. 'Εταιρίας VI/1 σ. 84-112, 1964.
- 9) » » , 'Επὶ τῆς ὑποηφαιστειακῆς ὑδροθερμικῆς μεταλλοφορίας εἰς τὴν 'Ελλάδα. Πρακτ. 'Ακαδημίας 'Αθηνῶν 1966, 41, σ. 295-309, 1967.
- 10) Κ. Κτενῆς, Στοιχεῖα 'Αναλυτικῆς 'Ορυκτολογίας. 'Ορυκτογνωσία τῆς 'Ελλάδος. 'Εκδ. δευτέρου. 'Εν 'Αθήναις 1923.
- 11) L. de Launay, Les mines du Laurium dans l'Antiquité. Ann. d. Mines Paris 1899, p. 5-32.
- 12) M. Leleu et A. Morikis, Sur les sulfures de basse température aux mines du Laurium (Attique). Bull. Soc. Fr. Miner. Cristall. XC p. 241-245, 1967.
- 13) M. Leleu, A. Morikis et P. Picot, Sur des minéralisations de type skarn au Laurium (Grèce). Mineral. Deposita (Berl) 8, p. 259-263, 1973.
- 14) R. Lepsius, Geologie von Attika, Berlin 1893 (Μετάφραση στὰ ἑλληνικὰ ἀπὸ Γ. Π. Βουγιούκα, 'Αθήνα 1906).
- 15) G. Lespineux, Étude géologique, métallogénique des concessions de la Société du Laurium. 'Αδημοσίευτη 'Εκθεση Liège 1923.
- 16) Γρ. Μαρᾶκης, Παρατηρήσεις ἐπὶ τῆς ἡλικίας τῆς θειούχου μεταλλογενέσεως εἰς τὴν περιοχὴν τῶν Κυκλάδων. Ann. géol. pays hellén. XIX (1968) σ. 695-700. 1970.
- 17) Γ. Μαρῖνος-W. E. Petrascheck, Λαύριον. Γεωλογ. Γεωφυσ. Μελέται ΙΓΕΥ, IV, 1956.
- 18) Γ. Μαρῖνος, 'Επὶ τῆς ραδιοχρονολογήσεως τῶν πετρωμάτων τῆς 'Ελλάδος. Ann. géol. pays hell. XXIII σ. 175-182, 1971.
- 19) Γ. Παπαδέας, 'Η στρωματογραφία καὶ ἡ ἡλικία τῶν μεταμορφωμένων πετρωμάτων τῆς ΒΑ 'Αττικῆς. Δελτ. 'Ελλην. Γεωλογ. 'Εταιρίας XVIII σ. 59-81, 1986.

- 20) W. E. Petrascheck, Die Metallogenese von Laurium-Granitisscher Herd oder Paläokarst?  
Ann. géol. pays héllen. 27 p. 17-27. 1976.
- 21) H. Putzer, Die Erzlagerstätte von Laurium. Ann. géol. pays héll. 2 p. 16-46, 1948.
- 22) P. Ramdohr, Die Erzminerale und ihre Verwachsungen, Berlin 1955.
- 23) Στ. Χιώτης, Παρατηρήσεις για την ήφαιστειοϊζηματογενή μεταλλοφορία στην Ελλάδα.  
Γεωλογ. Γεωφυσικά Μελέται. Τόμος ἐκτός σειράς ΙΓΜΕ, σ. 467-473, 1986.