

GOLD SILVER AND BASE METALS IN THE MANGANESE MINERAL ASSEMBLAGES OF THE NE CHALKIDIKI ORE DEPOSITS

V. Galanopoulos¹ and A. Theodoroudis²

ABSTRACT

The NE Chalkidiki manganese mineralisations form distal occurrences, relative to the Madem Lakkos and Olympias base metal sulfide deposits, developing along the Stratoniki - Varvara thrust fault. The zonal gradation from "primary" manganese carbonate mineral assemblages, to oxidized mineralisation, and the high base metal and SiO₂ contents are major mineralogical and geochemical features.

Gold in the various metallic deposits and occurrences of the area shows values ranging from 0,84 to 3,57 ppm, while silver has a maximum content of 72 ppm in the Zepkos - Stratoniki zone. There is a close genetic relationship between manganese and sulfide mineralisations in the area.

Unlike Cu, lead and Zinc values are increased in almost all the manganese occurrences and deposits, suggesting the close genetic relationship among manganese and sulfide parageneses in the area.

ΣΥΝΟΨΗ

Στην Β.Α. Χαλκιδική οι μαγγανιούχες μεταλλοφορίες αναπτύσσονται κυρίως στα περιθώρια των κοιτασμάτων θειούχων βασικών μετάλλων Μαντέμ Λάκκου και Ολυμπιάδας και στην τεκτονική ασυνέχεια Στρατωνίου - Βαρβάρας. Χαρακτηρίζονται από την ζωνώδη ανάπτυξη της "πρωτογενούς" ανθρακικής και οξειδωμένης μεταλλοφορίας και από υψηλές τιμές βασικών μετάλλων και SiO₂.

Ο χρυσός στα διάφορα κοιτάσματα και μεταλλοφορίες της περιοχής συμμετέχει με μέσες τιμές που κυμαίνονται μεταξύ του 0,84 και 3,57 ppm ενώ ο άργυρος παρουσιάζει την υψηλότερη περιεκτικότητα 72 ppm στη ζώνη Ζέπκο - Στρατονίκη.

Οι τιμές του Pb και Zn σε αντίθεση με αυτές του Cu παρουσιάζονται αυξημένες στο σύνολο σχεδόν των μαγγανιούχων εμφανίσεων και κοιτασμάτων, γεγονός που φανερώνει την στενή γενετική σχέση μεταξύ της μαγγανιούχου και θειούχου παραγένεσης της περιοχής.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ΒΑ Χαλκιδική οι σημαντικότερες μαγγανιούχες μεταλλοφορίες αναπτύσσονται κυρίως στα περιθώρια των κοιτασμάτων θειούχων βασικών μετάλλων Μαντέμ Λάκκου και Ολυμπιάδας, καθώς και στην περιοχή μεταξύ Στρατωνίου-Βαρβάρας και Ολυμπιάδος. Το μέγιστο της μαγγανιούχου μεταλλοφορίας αναπτύσσεται στην τεκτονική ασυνέχεια Στρατωνίου Βαρβάρας. Χαρακτηρίζονται από την "πρωτογενή" ανθρακική ή και πυριτική παραγένεση σε άμεση σύνδεση με τα κοιτάσματα θειούχων βασικών μετάλλων και την οξειδωμένη μεταλλοφορία στα ανώτερα τμήματα και στα περιθώρια των κοιτασμάτων Μαντέμ Λάκκου και Ολυμπιάδας.

¹ IGME Messogion Str. 70, 11527, ATHENS, GREECE

² IGME Fragon Str. 1, 54626 THESSALONIKI, GREECE

Στα κοιτάσματα Μαντέμ Λάκκου και Ολυμπιάδας τα πολύτιμα μέταλλα συμμετέχουν με περιεκτικότητες 1.5gr/tn Au, 110 gr/tn Ag και 5.5 gr/tn Au, 120 gr/tn Ag αντίστοιχα.

Στις μαγγανιούχες μεταλλοφορίες ενδιαφέρουσες περιεκτικότητες Au-Ag έχουν ανιχνευτεί σε όλες τις παραγενέσεις αλλά και στους ξενιστές π.χ. υδροθερμικά μετασωματωμένων μαρμάρων στις δολομιτικές και ασβεστιτικές εξαλλοιώσεις, στον υδροθερμικό χαλαζία κλπ. Υψηλές τιμές του Pb και Zn παρατηρούνται σε όλα τα μαγγανιομεταλλεύματα της περιοχής, τιμές που είναι ιδιαίτερα υψηλές στα περιθώρια των θειούχων κοιτασμάτων. Αντίθετα ο Fe είναι αρκετά υψηλός μόνο στην περιοχή του Μαντέμ Λάκκου και ο Cu παρουσιάζει αυξημένη τιμή μόνο στην περιοχή του Μπασδέκ Λάκκου.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παράθεση των αποτελεσμάτων των ερευνητικών εργασιών που διεξήγαγε το ΙΓΜΕ, κύρια στην περιοχή της Βαρβάρας, αλλά και στις υπόλοιπες περιοχές, η ανάδειξη της συμμετοχής των πολύτιμων μετάλλων στις μαγγανιούχες μεταλλοφορίες καθώς και της στενής γενετικής σχέσης των θειούχων και μαγγανιούχων κοιτασμάτων της περιοχής.

II. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ Β.Α. ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Η ΒΑ Χαλκιδική ανήκει στην ονομαζόμενη "Σερβομακεδονική μάζα",³ παλαιοζωϊκής ή και παλαιότερης ηλικίας και δομείται από τους λιθολογικούς σχηματισμούς της ενότητας των Κερδυλίων και Βερτίσκου (σχ. 1). Η ρηξιγενής ζώνη Στρατωνίου-Βαρβάρας ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης φέρει σε τεκτονική επαφή τους λιθολογικούς σχηματισμούς των παραπάνω ενοτήτων. Kockel et al (1977), Μουντράκης (1985).

Ο σχηματισμός των Κερδυλίων καταλαμβάνει το ΒΑ τμήμα της Χαλκιδικής αποτελείται από βιοτιτικό γνεύσιο, ενστρώσεις αμφιβολιτικού γνεύσιου, μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους, τρεις οριζόντες μαρμάρου, αμφιβολίτες, πλαγιοκλαστικούς γνεύσιους. Μέσα στον σχηματισμό εντοπίζονται ανατηξίτες (Σταυρού-Σταγείρων) γρανίτες (Στεφανινών) καθώς και νεώτερες διεισδύσεις (γρανοδιορίτης Στρατωνίου, λαπροφύρες). Kockel et al (1977).

Ο σχηματισμός του Βερτίσκου καταλαμβάνει το ΝΝΔ τμήμα της περιοχής έρευνας

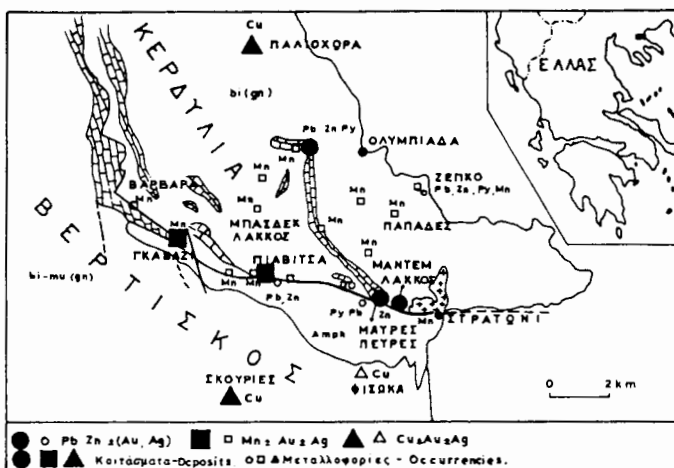


Fig. 1: Simplified geological map of NE Chalkidiki.

Σχ. 1: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της Β.Α. Χαλκιδικής

³ Οι συγγραφείς υιοθέτησαν τον περισσότερο δόκιμο όρο "Μακεδονική Κρυσταλλική Μάζα" που περιλαμβάνει τα προ-ή και παλαιοζωϊκά κρυσταλλικά πετρώματα των περιοχών Βερτίσκου, Κερδυλίων της Κεντρικής Μακεδονίας. Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

υπέρκειται στρωματογραφικά του σχηματισμού των Κερδυλίων και αποτελείται από διμαρμαρυγιακό γνεύσιο, εντρώσεις από γρανατούχο-διμαρμαρυγιακό γνεύσιο, τουρμαλινικό-διμαρμαρυγιακό γνεύσιο, σιλιμανιτικό γνεύσιο, χαλαζιοαστριούχο μαρμαρυγιακό γνεύσιο, καθώς και εντρώσεις αμφιβολιτών.

Η μεταμόρφωση είναι αμφιβολιτικής φάσης, στο σχηματισμό των Κερδυλλίων φθάνει μέχρι την ανάτηξη, παρατηρείται δε ανάδρομη μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Kockel et al (1977).

Στον σχηματισμό των Κερδυλίων απαντούν τα σημαντικά κοιτάσματα θειούχων βασικών μετάλλων Ολυμπιάδας και Μ. Λάκκου στα οποία τα πολύτιμα μέταλλα συμμετέχουν με αξιόλογες περιεκτικότητες, Nikolau (1960), Kalogeropoulos et al (1989), το χαλκούχο κοιτάσμα της Παλιόχωρας, Διακάκης Ε. (1975), ενώ στον σχηματισμό του Βερτίσκου απαντά το πορφυρικού τύπου χαλκούχο + Au κοιτάσμα των Σκουριών.

Τα θειούχα κοιτάσματα των Κερδυλλίων θεωρούνται ηφαιστειοϊζηματογενούς προέλευσης, Nebel et al (1991), ως επιγενετικά συνδεδεμένα με την τριτογενούς ηλικίας υδροθερμική δραστηριότητα, Kalogeropoulos et al (1989), ενώ οι Αρβανιτίδης κ.α (1992), Hellingwerf et al. (1993) προτείνουν την γενετική τους σύνδεση με τα πορφυρικά συστήματα (πιθανώς με τον διοριτικό πορφύρη της Φυσώκας).

III. ΜΑΓΓΑΝΙΟΥΧΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ - ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στη μεγάλη τεκτονική ασυνέχεια Στρατωνίου-Βαρβάρας, αναπτύσσεται η κύρια μαγγανιούχος μεταλλοφορία. Το μεταλλοφόρο ρήγμα έχει γενική διεύθυνση ΑΝΑ-ΔΒΔ με κλίσεις που κυμαίνονται από 45-50° στα ανατολικά (Μαντέμ Λάκκος) και 30-35° στα δυτικά (Βαρβάρα) σχ. 1,2.

Η εξέλιξη των κοιτασματολογικών τύπων κατά μήκος του ρήγματος χαρακτηρίζεται από την θειούχα φάση των βασικών μετάλλων στην περιοχή Μαντέμ Λάκκος, τη σταδιακή μετάβαση προς την ανθρακική ή και πυριτική "πρωτογενή" μαγγανιούχο μεταλλοφορία στην περιοχή Πιάβιτσα και την οξειδωμένη στην δυτική απόληξη της μεταλλοφορίας στο ΔΜ Βαρβάρας (σχ. 2). Galanopoulos et al. (1986).

Στην δυτική απόληξη του ρήγματος, περιοχή του Δ.Μ. Βαρβάρας στη θέση Γκαβάζι (σχ. 1,2), το ΙΓΜΕ εφάρμοσε συστηματική κοιτασματολογική-μεταλλευτική έρευνα και εντόπισε κοιτάσμα μαγγανιομεταλλεύματος πυρλοσυσιτικού τύπου "Batterie grade", συνολικού αποθεματικού δυναμικού 1.5x10⁶ τμ με μέση περιεκτικότητα 29.35% MnO₂ Θεοδωρούδης - Γαλανόπουλος (1991).

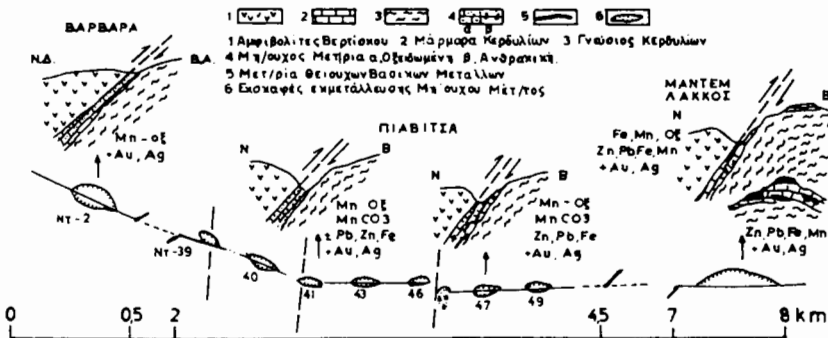


Fig. 2: The development of oredeposit types along the STRATONI - VARVARA fault.

Σχ. 2: Η εξέλιξη των κοιτασματολογικών τύπων κατά μήκος του ρήγματος ΣΤΡΑΤΩΝΙΟΥ - ΒΑΡΒΑΡΑΣ

Στην περιοχή Πιάβιτσα (σχ. 1,2) σε μήκος 2.5 χλμ. απαντούνται υπαίθριες εκσκαφές από την εκμετάλλευση των Mn/ούχων μεταλλευμάτων η οποία έχει σταματήσει την τελευταία δεκαετία. Τα πιθανά αποθέματα στην περιοχή αυτή εκτιμώνται σε 10.5×10^6 τμ με 34% Mn Rena A. (1977). Στα επιφανειακά τμήματα (20-30 m) η μεταλλοφορία είναι οξειδωμένη, ενώ στα βαθύτερα σημεία μεταβαίνει σε "πρωτογενή" ροδοχρωσίτη, ροδονίτη και διάσπαρτη μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη και γαληνίτη. Δήμου κ.ά. (1986), Θεοδωρούδης - Γαλανόπουλος (1993).

Η ζωνώδης ανάπτυξη χαρακτηρίζει την μαγγανιούχο μεταλλοφορία της Ολυμπιάδας με κύρια την παραγένεση της θειούχου φάσης των βασικών μετάλλων στο κοιτάσμα και την σταδιακή μετάβαση προς την μαγγανιούχο ανθρακική και μαγγανιούχο οξειδωμένη στα ΒΔ περιθώρια του κοιτάσματος. Η οξειδωμένη μαγγανιούχος μεταλλοφορία είναι πυρολουσιτικού τύπου σπογγώδης έως συμπαγής αναπτύσσεται στην επαφή του βιοτιτικού γνεύσιου με τα μάρμαρα (Mr-1) των Κερδυλίων. Κατά το παρελθόν έτυχε μικρής επιφανειακής εκμετάλλευσης. Θεοδωρούδης - Γαλανόπουλος (1993).

Στην περιοχή Μπασδέκ Λάκκος (σχ. 1) η μεταλλοφόρος ζώνη ελέγχεται από τεκτονική ασυνέχεια με γενική διεύθυνση Β-Ν και αναπτύσσεται σε ορατό μήκος περίπου 150μ. Κατά το παρελθόν έτυχε κάποιας εκμετάλλευσης με ανοιχτές εκσκαφές αλλά και υπόγεια μεταλλευτικά έργα. Η μεταλλοφορία συνίσταται σε μαγγανιούχα οξειδία, με εμφανή παρουσία Fe-οξειδίων, έντονη παρουσία πηγματιτικού εξαλλοιωμένου ως επί το πλείστον υλικού, είναι σπογγώδης έως συμπαγής με έντονη παρουσία ανοιχτών διακένων και ζωνώδη κατανομή κρυσταλικού SiO_2 .

Η "επιθερμική" μεταλλοφόρος ζώνη Ζέπκου-Παπάδων-Στρατονίκης (Σχ.1) χαρακτηρίζεται από "πρωτογενή" μαγγανιούχο και θειούχο μεταλλοφορία (με αρχικό στάδιο οξειδωσης) αλλά και οξειδωμένη μαγγανιούχο μεταλλοφορία με έντονη πυριτίωση. Πιθανώς να αποτελεί το ανώτερο στρωματογραφικά τμήμα "πρωτογενούς" μαγγανιούχου ή και θειούχου μεταλλοφορίας στο βάθος. Arvanitidis et al (1992), Hellingwerf et al (1993).

Από τα συγκεντρωτικά γεωχημικά δεδομένα του Πιν. 1 που αναφέρονται στις περιοχές έρευνας, παρατηρούμε τα εξής:

1. Τη μέγιστη συμμετοχή του Mn στην περιοχή Πιάβιτσα κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου Βαρβάρας και τις αυξημένες τιμές του Mn στις περιοχές Μπασδέκ Λάκκος και Ολυμπιάδα.

2. Την "απουσία" του Fe από τις μαγγανιούχες μεταλλοφορίες, με εξαίρεση την περιοχή Μαντέμ Λάκκου Fe - 17.2%, Mn/Mn+Fe - 0.33.

3. Την αυξημένη τιμή του SiO_2 στο σύνολο σχεδόν των μεταλλοφοριών και κύρια στην περιοχή Βαρβάρας και Ζέπκου, αλλά παράλληλα και την αρνητική σχέση του SiO_2 προς το Mn+Fe (σχ.3).

4. Την σχεδόν παντελή απουσία CaO από τις οξειδωμένες μαγγανιούχες μεταλλοφορίες και την χαμηλή του συμμετοχή στις περιοχές Πιάβιτσα Ζέπκου και Βαρβάρας.

5. Οι τιμές του MgO και Al_2O_3 είναι πολύ χαμηλές και μπορεί να θεωρηθεί ότι τα Μαγγανιούχα μεταλλεύματα της Χαλκιδικής είναι ελεύθερα μαγνησίου και αργιλίου.

6. Ο Pb και Zn παρουσιάζουν αυξημένες τιμές σε αντίθεση με τον Cu ο οποίος έχει σχετικά υψηλή συμμετοχή (504 ppm) μόνο στην περιοχή του Μαντέμ Λάκκου. Οι τιμές του Pb και Zn φθάνουν τις μέγιστες μέσες τιμές 1.160 ppm του Pb στην περιοχή της Βαρβάρας και 17.300 ppm του Zn στην περιοχή του Μ. Λάκκου. Στη ζώνη Ζέπκου - Παπαδών - Στρατονίκης οι τιμές του Pb, Zn είναι αυξημένες. Ο Pb κυμαίνεται από 0 έως 3.20%, ο Zn από 0.04 έως 8.10% με μέσες τιμές 0.57% και 0.68% αντίστοιχα. Η συμπεριφορά αυτή των βασικών μετάλλων είναι αναμενόμενη και συνηγορεί υπέρ της στενής γενετικής σχέσης ανάμεσα στα διαλύματα που είναι πλούσια σε σύμπλοκα των βασικών μετάλλων και των μαγγανιούχων διαλυμάτων στην

περιοχή του ρήγματος Στρατώνι-Βαρβάρας στην περιοχή Ολυμπιάδας, αλλά και στο σύνολο των μαγγανιούχων εμφανίσεων στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής.

1. Χημικές αναλύσεις έγιναν στα διάφορα στάδια της έρευνας και με διαφορετικές μεθόδους : α) στα Χημεία του ΙΓΜΕ Εάνθης και Αθηνών (μέθοδος AAS) β) στο Εργαστήριο Caleb Brett M. Βρετανία (μέθοδος FIRE ASSAYING)

IV. Η ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΚΑΙ ΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΙΣ Mn/ΟΥΧΕΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΕΣ

Στη γνωστή χωρική και γενετική σχέση της Mn/ούχου μεταλλοφορίας προς τα χρυσοφόρα κοιτάσματα των θειούχων συμπυκνωμάτων των βασικών μετάλλων και πυριτών του Μαντέμ Λάκκου και Ολυμπιάδας, και στον ουσιαστικό έλεγχο των Mn/ούχων εμφανίσεων από το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας, στηρίχτηκε η διερεύνηση και αξιολόγηση του περιεχόμενου χρυσού και αργύρου (Au, Ag) στις Mn/ούχες παραγενέσεις. Γαλανόπουλος - Θεοδωρούδης (1989). Ελέγχθηκε χημικά ικανός αριθ-

Tab. 1: Bulk geochemical data from the areas of Varvara - Pivitsa - Madem Lakkos - Basdek Lakkos - Olybiada - Zepkos.

Πίν. 1: Συγκεντρωτικά γεωχημικά μεγέθη των περιοχών: Βαρβάρας-Πιάβιτσας-Μαντέμ Λάκκου-Μπασδέκ Λάκκου - Ολυμπιάδας-Ζέπκου.

	Βαρβάρα	Πιάβιτσα	Μαντέμ Λάκκος	Μπασδέκ Λάκκος	Ολυμπιάδα	Ζέπκο Παπάδες
n	451	23	9	2	3	21
Mn%	16,40	24,03	9,88	26,8	35,75	6,86
Fe%	0,81	1,96	17,2	1,48	1,17	2,24
Mn+Fe%	17,21	25,99	27,08	28,28	36,92	9,08
Mn/Mn+Fe	0,95	0,91	0,33	0,95	0,97	0,76
SiO ₂ %	52,00	40,91	34,39	43,25	28,52	59,46
CaO%	(n:333) 4,52	2,08	0,88	0,56	1,24	3,20
MgO%	(n:13) 0,23	0,39	0,12	0,15	0,07	1,67
Al ₂ O ₃ %	(n:323) 1,51	1,28	1,26	1,18	0,25	4,48
Cu ppm	85	52	504	13	13	171
Pb ppm	1160	1122	987	160	134	5,700
Zn ppm	960	3487	17300	405	2296	6,800
Au ppm	(n:100) 1,41	(n:23) 1,55	(n:7) 1,16	(n:10) 0,84	(n:2) 2,2	3,57
Ag ppm	(n:100) 7,28	(n:23) 20,7	(n=9) 31	(n=2) 1,5		72,2

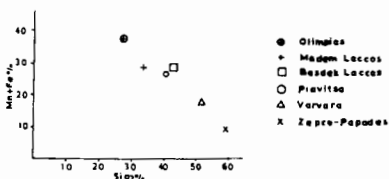


Fig. 3: SiO₂/Mn+Fe corellation in the manganese mineralizations of the N.E. Chalkidiki area.

Σχ. 3: Συσχετισμός SiO₂/Mn+Fe στις Mn/ούχες μεταλλοφορίες της Β.Α. Χαλκιδικής.

μός δειγμάτων κύρια από την περιοχή του ΔΜ Βαρβάρας αλλά και αντιπροσωπευτικός αριθμός των υπόλοιπων περιοχών.

1. Δημόσιο Μεταλλείο Βαρβάρας

Α. Δείγματα μέσου βάρους 5 Kgr από την επιφανειακή εκσκαφή Ντ-2 της ΟΠ-13 αναλύθηκαν στο εργαστήριο Caleb Brett. Τα δείγματα επιλέχθηκαν με κοιτασματολογικά κριτήρια (βαθμός οξειδωσης, πυριτίωσης, μετασμάτωσης, περιεκτικότητα σε MnO₂, κλπ) ώστε να καλύπτουν όλες τις παραγενέσεις όπως αυτές είναι παρούσες στη περιοχή του ΔΜ Βαρβάρας. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πιν. 2.

Ο χρυσός κυμαίνεται από -10 έως 5.690 ppb με μέση τιμή 1.607 ppb.

Φηφιάκη Βιβλιοθήκη "Θεοφράστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Β. Στη συνέχεια ελέχθησαν 100 δείγματα διάκριτων μέτρων 13 συνολικά γεωτρήσεων του κοιτάσματος της Βαρβάρας. Οι χημικές αναλύσεις Au, Ag έγιναν στο εργαστήριο Caleb Brett, και των υπολοίπων στοιχείων στο χημείο Ξάνθης του ΙΓΜΕ. Πίν. 3.

Παρατηρούμε ότι οι τιμές του Au κυμαίνονται από 0.11 έως 12.30 ppm με μέση τιμή 1.41 ppm, του Ag από 1.0 έως 62.0 ppm με μέση τιμή 7.28 ppm. Η μαγγανιούχος μεταλλοφορία στην οποία αναφέρονται τα 100 δείγματα αντιπροσωπεύει το κοίτασμα με μέση περιεκτικότητα 25.22% MnO₂, σχετικά υψηλή συμμετοχή του SiO₂-53.66%, χαμηλή συμμετοχή σε Fe₂O₃-1.41%, CaO-4.33%, Cu-15ppm ενώ υψηλή είναι η συμμετοχή του Pb και Zn 1.755 και 549 ppm αντίστοιχα.

Γ. Πλήρως ταυτοποιημένα δείγματα τρημάτων γεωτρήσεων απολύτως αντιπροσωπευτικά του κοιτάσματος αναλύθηκαν στο εργαστήριο Caleb Brett προς διασταύρωση των δεδομένων. Πίν. 4.

Η μέση τιμή 1.55 gr/tn Au (Πιν.4) ταυτίζεται με τις προαναφερθείσες ως μέσες τιμές του 1.61 και 1.41 ppm (πίν.2,3) και με βεβαιότητα μπορεί να θεωρηθεί ως

Tab.2: The content of gold in representative samples from the Varvara ore deposit.

Πιν. 2: Οι περιεκτικότητες του Au σε αντιπροσωπευτικά δείγματα του ΔΜ Βαρβάρας

Δείγμα	Au ppb	Δείγμα	Au ppb	Δείγμα	Au ppb
Q2-1	2.510	Q2-5	1.540	Q2- 9	5.690
Q2-2	1.010	Q2-6	510	Q2-10	1.125
Q2-3	150	Q2-7	<10	Q2-11	687
Q2-4	1.450	Q2-8	500	Q2-12	4.000

n=12 x=1.607 ppb Au 1σ=1.697
εύρος (range) <10 έως 5.690 ppb

η μέση τιμή του Au στο μαγγανιούχο κοίτασμα του ΔΜ Βαρβάρας.

2. Περιοχή Πιάβιτσα - Μαντέμ Λάκκου

Τα δείγματα που αναλύθηκαν προέρχονται από τις ανοιχτές εκσκαφές κατά μήκος του ρήγματος σχ. 1,2 και καλύπτουν όλες τις μεταλλογενετικές φάσεις που χαρακτηρίζουν την περιοχή (οξειδωμένη μεταλλοφορία, "πρωτογενής" ανθρακική με

Tab. 3: Bulk geochemical data of 100 samples from drillcores of the Varvara ore deposit.

Πιν. 3: Συγκεντρωτικά γεωχημικά μεγέθη 100 δειγμάτων γεωτρήσεων του ΔΜ Βαρβάρας

Samble No	Au ppm	Ag ppm	MnO2%	SiO2%	Fe2O3%	CaO%	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm
n	100	100	100	100	100	67	100	100	100
min	0,11	1,00	1,30	4,00	0,00	0,22	4	10	58
max	12,30	62,00	57,05	92,84	8,57	51,63	58	15000	8000
Mean	1,41	7,28	25,22	53,66	1,41	4,33	15	1755	549
S,D,	1,87	8,81	12,90	18,61	1,67	8,52	10	3952	945

συμμετοχή ή όχι της θειούχου μεταλλοφορίας των βασικών μετάλλων, πλευρικές εξαλλοιώσεις σε ανθρακικά ή και πυριτικά πετρώματα κ.α.).

Στον πίνακα 1 αναφέρονται τα συγκεντρωτικά γεωχημικά μεγέθη, ο πιν. 5 δείχνει τη συμμετοχή του Au αναλυτικά κατά εκσκαφή, και στο σχ.4 δίνεται η μεταβολή της κατανομής του Au στις μαγγανιούχες μεταλλοφορίες κατά μήκος

Tab. 4: The gold content of 10 common samples representative of the Varvara manganese ore deposit.

Πιν. 4: Περιεκτικότητα σε Au 10 ταυτοποιημένων δειγμάτων αντιπροσωπευτικών του μαγγανιούχου κοιτάσματος.

1,58	1,52	1,51	1,61	1,61
1,53	1,51	1,55	1,53	1,51

n=10 \bar{x} = 1,55 ppm 1σ = 0,040

της τεκτονικής ασυνέχειας Στρατωνίου-Βαρβάρας και κατά εκσκαφή.

Από την ανάλυση των στοιχείων αυτών προκύπτει ότι σε όλο το μήκος της ρηξιγενούς αυτής περιοχής τα πολύτιμα μέταλλα συμμετέχουν με αξιόλογες τιμές. Η πλούσια σε μαγγάνιο (24% Mn) περιοχή της Πιάβιτσας χαρακτηρίζεται από τις αυξημένες τιμές των βασικών μετάλλων 1.122 ppm Pb, 3.487 ppm Zn και παρουσιάζει μέση τιμή συμμετοχής του Au 1.55 ppm και του Ag 20.7 ppm Πιν. 5,6.

Οι μέγιστες μέσες τιμές του Au 4.1 ppm (n=2) και 2.3 ppm (n=3), παρατηρούνται στη μαγγανιούχο "πρωτογενή", ανθρακική μεταλλοφορία με έντονη συμμετοχή

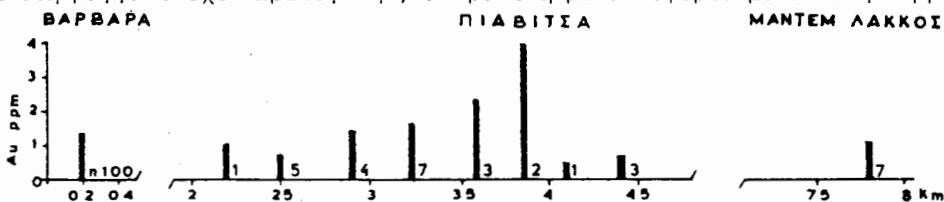


Fig. 4: Distribution of gold in the manganese mineralizations along the STRATONI - VARBARA fault.

Σχ. 4: Κατανομή του Au στις Mn/ούχες μετ/ρίες κατά μήκος του ρήγματος ΣΤΡΑΤΩΝΙ - ΒΑΡΒΑΡΑ.

γαληνίτη, σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη.

3. Περιοχή Μπασδέκ Λάκκου, Ολυμπιάδας, Ζέπκου.

Από την μεταλλοφόρο περιοχή του Μπασδέκ Λάκκου αναλύθηκαν 10 δείγματα και από την περιοχή Ολυμπιάδας μόνο δύο. Πιν. 6. Στην οξειδωμένη μεταλλοφορία της περιοχής Μπασδέκ Λάκκου οι τιμές του Au κυμαίνονται από 0.26 έως 1.85 ppm, με μέση τιμή 1.16 ppm, ενώ του Ag είναι πολύ χαμηλές (σε δύο αναλυθέντα δείγματα 1.5 ppm). Η μέγιστη τιμή του Au 1.85 ppm δίνεται από πυριτιωμένη μεταλλοφορία οξειδίων Mn με παρουσία φαιού-σταχτόγκριζου άμορφου χαλαζιακού υλικού (Χαλκηδόνιος).

Τα δύο δείγματα της περιοχής Ολυμπιάδος αναφέρονται σε ελαφρώς πυριτιω-

Tab. 5: Gold concentration in trenches from Piavitsa and Madem Lakkos

Πιν. 5: Η συμμετοχή του Au στις εκσκαφές της Πιάβιτσας και στο Μαντέμ Λάκκο

ΕΚΣΚΑΦΗ	39	40	41	43	46	Μπάζα Στοάς	47	49	Μαντέμ Λάκκος
Αρ.δειγμ.	1	5	4	7	3	2	1	3	7
Au ppb	1.150	764	1.420	1.707	2.307	4.055	540	720	1.160

μένη μεταλλοφορία Mn/οξειδίων με συμμετοχή εξαλλοιωμένου - καολινιτιωμένου πηγματιτικού υλικού και έδωσαν τιμές 2.70 και 1.69 ppm Au με μέση τιμή 2.2 ppm Au.

Στη μεταλλοφόρο ζώνη Ζέπκου-Παπάδων-Στραμπενίκου οι μέσες τιμές του Au και Ag σε 21 αναλυθέντα δείγματα είναι αρκετά υψηλές 3.57 και 72.2 ppm αντίστοιχα. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι υψηλότερες τιμές max 28.8 ppm Au παρατηρούνται στο ΒΑ τμήμα και αναφέρονται σε πολυμεταλλική θειούχο και "πρωτογενή" μαγγανιούχο μεταλλοφορία, που χαρακτηρίζεται από έντονη πυριτίωση. Η "επιθερμική" ζώνη Ζέπκου - Παπάδων - Στρατονίκης κρίνεται αρκετά ελπιδοφόρος και πρόκειται να εκτελεσθεί συστηματική κοιτασματολογική έρευνα από το ΙΓΜΕ, στοχεύοντας στον εντοπισμό πολυμεταλλικών συγκεντρώσεων στο βάθος π.χ. (Ολυμπιάδα - Μαντέμ Λάκκος).

Από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του πίν. 6 γίνεται εμφανής η συμμετοχή του χρυσού στο σύνολο των Μαγγανιούχων μεταλλευμάτων της Β.Α. Χαλκιδικής σε ικανοποιητικές περιεκτικότητες, γεγονός που μπορεί να θεωρηθεί αξιόλογος οικονομικός δείκτης.

V. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ

Τρείς είναι οι ορυκτολογικοί τύποι της μαγγανιούχου μεταλλοφορίας στην περιοχή έρευνας. α) Μαγγανιούχος ανθρακική ± πυριτική ± θειούχος. β) Ροδοχρωσίτης - μαγγανιούχος ασβεστίτης - οξειδία. γ) Μαγγανιούχα οξειδία.

Ο πρώτος τύπος αποτελεί τα σύνδρομα ορυκτά των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων Μ. Λάκκου - Ολυμπιάδας, απαντά δε στις περιοχές Πιάβιτσα και Ζέπκου. Αποτελείται από ροδοχρωσίτη, ροδονίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη, σιδηροπυρίτη.

Ο δεύτερος τύπος εκφράζει την ενδιάμεση οξειδωτική κατάσταση των πλούσιων ζωνών σε μαγγάνιο και απαντά στο μέσον και στην δυτική απόληξη του ρήγματος Στρατωνίου - Βαρβάρας καθώς και στην περιοχή Ζέπκου. Αποτελείται από εύεδρα ροδοχρωσίτη ή μαγγανιούχου ασβεστίτη και εμφανίζει ζώνωση φωτ. 1,2. Ο χαλαζίας εμφανίζεται σε εύεδρα η υπο-κρυσταλλικά εγκλείσματα στην

Tab. 6: Bulk content of precious metals in the manganese ores and mineralisations in NE Chalkidiki

Πιν. 6: Συγκεντρωτικός πίνακας συμμετοχής των πολύτιμων μετάλλων στα μαγγανιούχα κοιτάσματα και μαγγανιούχες μεταλλοφορίες της ΒΑ Χαλκιδικής.

	Βαρβάρα	Πιάβιτσα	Μαντέμ Λάκκος	Μπασδέκ Λάκκος	Ολυμπιάδα	Ζέπκο Παπάδες
n	100	26	7	10	2	21
Au ppm	1,41	1,55	1,16	0,84	2,2	3,57
Ag ppm	7,28	(n=23) 20,7	(9) 31	(2) 1,5	n.d	72,2

ροδοχρωσιτική μάζα ή συσσωματώματα ή πληρώσεις μικρών φλεβιδίων. Επί πλέον γαληνίτης εντοπίζεται μέσα στο ροδοχρωσίτη. Τα οξειδία του μαγγανίου συνυπάρχουν με χαλαζία και ασβεστίτη και πληρούν δευτερογενείς είτε μετα-παραμορφωτικές bands του μαρμάρου είτε στυλολίθους που τέμνουν το foliation του μαρμάρου φωτ. 2.

Ο τρίτος τύπος της οξειδωμένης μαγγανιούχου μεταλλοφορίας αναπτύσσεται στην δυτική προέκταση του ρήγματος Στρατωνίου - Βαρβάρας στα περιθώρια του κοιτάσματος της Ολυμπιάδας, στην περιοχή Μπασδέκ Λάκκος. Συνίσταται σε οξειδία και υπεροξειδία του Μαγγανίου (πυρολουσίτης, τοντοροκίτης, νσουτίτης, κρυπτομέλανας με σύνδρομα ορυκτά χαλαζία, ασβεστίτη και δολομίτη. (Χ.Ρ.Δ. ανάλυση). Τα Mn/ούχα οξειδία απαντούν υπό μορφή εμποτισμού, ψευδοστρώσεων, στυλολίθων,

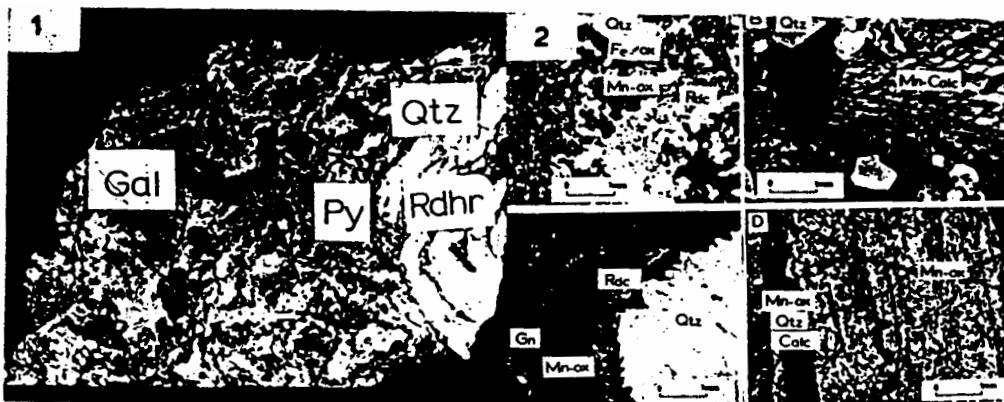


Photo 1: Macroscopic picture of manganese and sulfide mineralisation (Piabtsa deposit).

Photo 2: Microscopic picture of manganese ore showing a characteristic assemblage of rhodochrosite, manganian calcite, quartz and manganese hydroxides.

Φωτ. 1: Μακροσκοπική εικόνα (δείγμα χειρός) της Μαγγανιούχου ± θειούχου μεταλλοφορίας (Πιάβιτσα).

Φωτ. 2: Η μικροσκοπική εικόνα του μεταλλεύματος που αντιστοιχεί στο άθροισμα: ροδοχρωσίτης - Mn/ούχος ασβεστίτης - χαλαζίας - υπεροξειδία του Mn.

πλέγματος φλεβιδίων ή πληρώσεις ανοιχτών διακένων δίνοντας ως τελικό προϊόν ένα πλήρως μετασσωματωμένο μάρμαρο.

Στο πίν.7 δίδονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα ημιποσοτικής (X.R.D.) ανάλυσης για τα κυριώτερα ορυκτά της Μαγγανιούχου μεταλλοφορίας. Εμφανής είναι η αυξημένη περιεκτικότητα του SiO₂ στις δυτικές απολήξεις της μαγγανιούχου μεταλλοφορίας της περιοχής Βαρβάρας, κυρίως στα δείγματα επιφάνειας, η αυξημένη συμμετοχή του τοντοροκίτη στις περιοχές της Βαρβάρας και της Πιάβιτσας. Ο υσούτιτης συμμετέχει σε όλες τις περιοχές. Αυξημένη είναι η τιμή του, (46.8%) στην περιοχή του Μπασδέκ Λάκκου, ενώ είναι η μόνη σχεδόν φάση οξειδίων του Mn στην περιοχή της Ολυμπιάδας (73.43%). Αξιοσημείωτη είναι επίσης η παρουσία του ροδοχρωσίτη στην περιοχή της Πιάβιτσας και η αυξημένη συμμετοχή του κρυπτομέλανα στην περιοχή του Μαντέμ Λάκκου.

Μικροαναλύσεις μαγγανιούχων υπεροξειδίων της περιοχής Βαρβάρας στα ορυκτά τοντοροκίτης και πυρολουσίτης σε 31 και 11 μετρήσεις έδωσαν υψηλές τιμές του MnO₂ 83,08 και 98,08% αντίστοιχα. Συμμετέχουν επίσης K₂O, CaO, FeO και Na₂O με σχετικά αυξημένες τιμές 1,52, 1,42, 0,72, 0,34% στον τοντοροκίτη και χαμηλές τιμές 0,13, 0,31, 0,24 και 0,03% στον πυρολουσίτη.

Ο τρόπος σύνδεσης των πολύτιμων μετάλλων προς τις διάφορες λιθοφάσεις, έχει μελετηθεί σε λίγα δείγματα σε συνεργασία με το Open University της Αγγλίας με τη μέθοδο της β-αυτοραδιογραφίας. P.J. Potts et al (1992). Πέντε (5) δείγματα χειρός με περιεκτικότητα 0.5-2.5 ppm Au υποβλήθηκαν σε εξέταση με την παραπάνω μέθοδο. Η μέθοδος έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα που περιγράφονται παρακάτω.

1. Σε 2 δείγματα που εξετάστηκαν (με διάσπαση σε 14 ημέρες και 3 μήνες αντιστοίχως), ο χρυσός εντοπίζεται σε ξεχωριστούς κόκκους (discrete gold grains) μικρομετρικής κλίμακας (1- 4μm) (φωτ. 3,4,5,6).

2. Για να ελεγχθούν δομές που εντοπίστηκαν από την β-αυτοραδιογραφία σε ένα (1) δείγμα έγινε επακόλουθη μικροσκοπική εξέταση (με οπτικό μικροσκόπιο και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο). Ο χρυσός (κόκκοι) εμφανίζονται συνδεδεμένοι με λεπτοκρυσταλλικό χαλαζία συνήθως μαύρο. Το δείγμα περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό ανεξάρτητων κόκκων χρυσού (1- 4μm). Πρόκειται για καθαρό χρυσό (ποιοτική

Tab. 7: Semiquantitative (X.R.D.) analysis of manganese ore.

Πιν. 7: Ημιποσοτική (X.R.D) ανάλυση μαγγανιούχου μεταλλοφορίας.

Περιοχή	n	Τοντορο- κίτης	Πυρολου- σίτης	Νσουτί- της	Κρυπτο- μέλανας	Ροδο- χρω- σίτης	Χαλα- ζίας	Ασβε- σίτης	Δολο- μίτης
Βαρβάρα γεωτρ.	30	33,49	3,64	12,64	4,95	0,02	39,52	2,76	0,52
Βαρβάρα επιφαν.	13	22,38	6,8	6,19	2,11	0,01	63,66	0	0
Πιάβιτσα	23	21,97	0,77	15,50	4,50	16,39	36,05	0,33	0,16
Μαντέμ Λάκκος	9	5,22	12,43	14,68	27,12	2,47	50,39	0,14	0
Μπασδέκ Λάκκος	2	7,7	0,5	46,8	8,3	0	36,5	0	0
Ολυμπιάδα	30	1,77	0	73,43	2,77	0	22,37	0	0

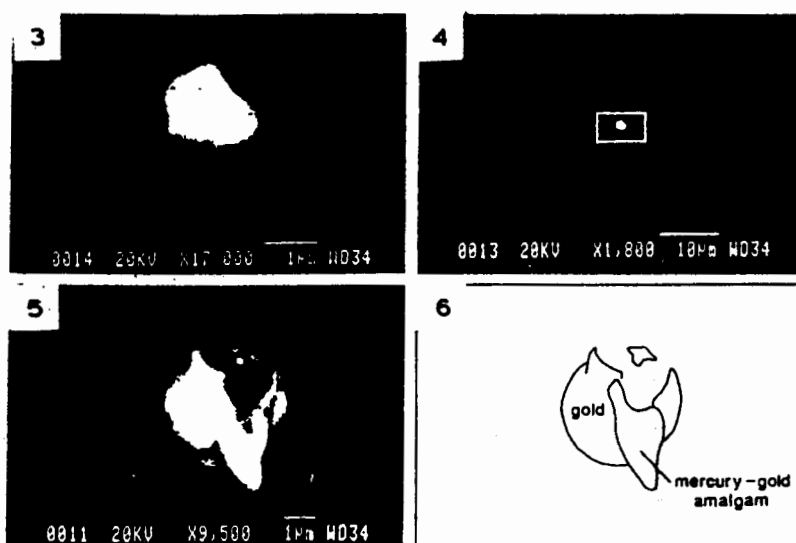


Photo 3,4: SEM photomicrograph showing the mineralogical setting of the gold.

Photo 5: SEM photomicrograph of a composit grain. The circular grain comprises gold with minor silver: the cross - cutting grain is a mercury - gold amalgam.

Photo 6: Sketch showing the distribution of phases in Phot. -5. Alter Potts et al 1992.

Φωτ. 3,4: Μικροφωτογραφίες σαρωτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (Σ.Η.Μ.) που δείχνουν την ορυκτολογική τοποθέτηση του χρυσού.

Φωτ. 5: Μικροφωτογραφία Σ.Η.Μ. από σύνθετο κόκκο. Ο αποστρωγγυλωμένος κόκκος αποτελείται από χρυσό και άργυρο. Ο διατέμνων κόκκος είναι αμάλαμα υδραργύρου - χρυσού.

Φωτ. 6: Σκαρίφημα που δείχνει την κατανομή των φάσεων της Φωτ. 5. Από Alter Potts et al 1992.

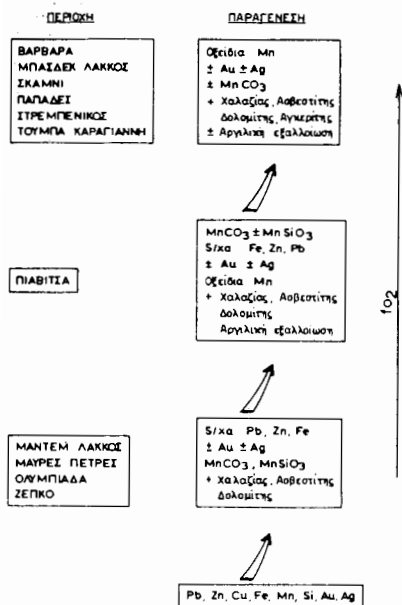


Fig. 5: Evolution of the paragenetic assemblages of the manganese ores and mineralizations in N.E. Chalkidiki.

Σχ. 5: Η εξέλιξη των παραγενετικών φάσεων των Μαγγανιούχων κοιτασμάτων και μεταλλοφοριών της Β.Α. Χαλκιδικής.

ανάλυση) με λίγο άργυρο. Εντοπίστηκαν περίπου 70 τέτοιοι κόκκοι. Είναι αναμενόμενο ότι αυτός ο τρόπος σύνδεσης του χρυσού με το μεταλλευμα μπορεί να βοηθήσει στην ανάκτηση του, με φυσικές μεθόδους επεξεργασίας (επίπλευση).

3. Η εφαρμογή σε μικρό αριθμό δειγμάτων της μεθόδου β-αυτοραδιογραφίας υπήρξε πολύ επιτυχής. Κατ' αρχήν επειδή εντοπίζει διάσπαρτο μικρομετρικό χρυσό, η διάκριση του οποίου είναι πέραν των δυνατοτήτων του οπτικού ή ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Επίσης καθώς διαχωρίζει τα πολύτιμα μέταλλα από άλλες φάσεις (με μεγάλη ανακλαστικότητα) παρούσες σε αυτό το μεταλλευμα π.χ. γαληνίτη.

4. Η μελέτη προβλέπεται να επεκταθεί σε μεγαλύτερο αριθμό δειγμάτων ώστε να οριστικοποιηθούν τα αποτελέσματα από στατιστικής αποδεκτά δείγματα και να υποβοηθήσουν την μελέτη αποδέσμευσης.

VI. ΜΕΤΑΛΛΟΓΕΝΕΣΗ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εξέλιξη των παραγενετικών φάσεων των Μαγγανιούχων κοιτασμάτων δίδεται σχηματικά στο σχ. 5.

Πρωτογενώς το Μαγγάνιο εναποτίθεται ως σύνδρομο των θειούχων κοιτασμάτων καθώς και στους ανθρακικούς ορίζοντες (εξ' αντικαταστάσεως) από πλούσια σε Mn, Pb, Zn, Cu, Fe, Si, Au, Ag, υδροθερμικά διαλύματα. (Μαντέμ Λάκκος, Μαύρες Πέτρες, Ολυμπιάδα, Ζέπκο).

Σημαντικοί παράγοντες για την εναπόθεση και για την ζωνώδη παραγένεση της μαγγανιούχου μεταλλοφορίας είναι η θερμοκρασία σχηματισμού, οι λόγοι Mn/Fe, Mn/Si, Mn²⁺/Mn⁴⁺, η συγκέντρωση του O₂, CO₂ και του S στα υδροθερμικά διαλύματα. Supriya Roy (1981), Varentsov et al (1980).

Δευτερογενώς λόγω υπεργενετικής μετακίνησης και συγκέντρωσης, το μαγγάνιο υπό μορφή οξειδίων και υπεροξειδίων αποτίθεται σε περιοχές, λόγω τεκτονικής διάρρηξης και υψηλής διαπερατότητας των ξενιστών (Βαρβάρρα, Μπασδέκ Λάκκος, Σκαμνί, κ.λ.π.), αλλά και λόγω της in situ οξειδωσης της πρωτογενούς μαγγανιούχου μεταλλοφορίας Πιάβιτσα, Ολυμπιάδα).

Τα πολύτιμα μέταλλα είναι παρόντα στο σύνολο των μαγγανιούχων κοιτασμάτων και μεταλλοφοριών, με μέσες περιεκτικότητες που κυμαίνονται μεταξύ 0,84 και 3,57 ppm του χρυσού, ενώ ο άργυρος παρουσιάζει την υψηλότερη περιεκτικότητα 72 ppm στην ζώνη Ζέπκο - Στρατονίκη.

Τα μαγγανιούχα κοιτάσματα της Χαλκιδικής λόγω των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών είναι αξιοποιήσιμα στην βιομηχανία ξηρών ηλεκτρικών στοιχείων. Το γεγονός ότι ο περιεχόμενος χρυσός είναι ελεύθερος και συνδέεται με το σύνδρομο πυριτικό υλικό του μεταλλεύματος, δίνει την δυνατότητα αξιοποίησής του από τα απορρίμματα μετά την απόληψη του MnO₂. Ήδη από το ΙΓΜΕ διεξάγονται εργαστηριακού επιπέδου έρευνες προς την κατεύθυνση αυτή. Από προκαταρκτικές δοκιμές με υδρομεταλλουργική επεξεργασία (κυάνωση) προκύπτει ότι η απόληψη του περιεχόμενου χρυσού ξεπερνά το 90%.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES

- ARVANITIDIS, N.D., THEODOROUDIS, A.C., HELLINGWERF, R., KOUGOULIS, C. and DIMOU, E. (1992). Preliminary ore mineralogy and gold Geochemistry of the Zepcos-Papades-Stratoniki mineralized fault zone. Forth progress report in IGME-EC project : MA2M-0015.
- ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β., ΘΕΟΔΩΡΟΥΔΗΣ, Α., (1989). Οι δυνατότητες εντοπισμού πρωτογενούς χρυσού στα μαγγανιομεταλλεύματα της ΒΑ Χαλκιδικής (αδημ. έκθ. ΙΓΜΕ).
- ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, V.P., ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ, S.I., THEODOROUDIS, A.C. (1986). The Manganese Ores of the Eastern Chalkidiki Country Macedonia, Northern Greece, 7th IAGOD symposium and Nordkalott Project Meeting LYLEA SWEDEN.
- ΔΗΜΟΥ, Ε., ΔΙΑΚΑΚΗΣ, Μ., ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ, Γ. (1986). Η θειούχος μεταλλοφορία της περιοχής Σταγείρων (θέση Πιάβιτσα) του Ν. Χαλκιδικής και η παρουσία μέσα σ'αυτή των σπανίων ορυκτών αλαμπανίτη και μαγγανιούχου σφαλερίτη. ΙΓΜΕ Γεωλογικές και γεωφυσικές μελέτες σελ. 73-87.
- ΔΙΑΚΑΚΗΣ, Ε. (1975). Υπολογισμοί αποθεμάτων περιοχών Φακής - Παλαιόχωρας (αδημ. έκθ. ΓΕΜΕΕ Α.Ε.).
- ΘΕΟΔΩΡΟΥΔΗΣ, Α., ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β. (1991). Η μαγγανιούχος μεταλλοφορία του Δημόσιου Μεταλλείου Βαρβάρας (τ.ΟΠ-13) του Ν. Χαλκιδικής (Αδημ. έκθ.ΙΓΜΕ).
- ΘΕΟΔΩΡΟΥΔΗΣ, Α., ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β. (1993). Κοιτασματολογική μελέτη της μεταλλοφορίας Au, Ag στα Μαγγανιούχα κοιτάσματα της ΒΑ Χαλκιδικής (Αδημ. εκθ. ΙΓΜΕ)
- HELLINGWERF, R., ARVANITIDIS, N., KOUGOULIS, C., THEODOROUDIS, A., and VERANIS, N. (1993). Mineralogy and geochemistry of marbles in the Olympias - Stratoniki - Varvara - Rendina area, Chalkidiki, N. Greece. Final report in IGME-EEC project MA2M- 0015.
- HELLINGWERF, R., ARVANITIDIS, N. et al. (1993). Ore geology, exploration tools and new targets for non-outcropping ore deposits in Chalkidiki N. Greece. Final report in : IGME-EEC project : MA2M-0015 .
- KALOGEROPOYLOS, S., KILKIAS, S., BITZIOS, D., NIKOLAOU, BOTH, R. (1989). Genesis of the Olympias Carbonate - Hosted Pb-Zn (Au, Ag) Sulfide ore deposit Chalkidiki Peninsula Northern Greece. Economic Geology vol. 84 p.p. 1210-1234.
- KOCKEL, F., MOLLATH and WALTER H.W. (1977). Eräuterungen zur Geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100.000 (Nord-Griechenland) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover 119 p.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδος. University Studio press 207 σελ. Θεσσαλονίκη.
- NEBEL, M., HUTCHINSON, R.W., ZARTMAN, R.E. (1991). Metamorphism and polygenesis of the Madem Lakkos polymetallic sulphide deposit, Chalkidiki Greece : Econ. Geology 86, 81-105.
- NIKOLAOU, M. (1960). L' Intrusion granitique dans la region de Stratoniki - Olympiade et sa relation avec la metallogenese. Ann. Geol. des pays Helleniques v. 11 p. 214-265.
- POTTS, P.J., BOWLES, J.F.W. and PRICHARD, H.M. (1992). Beta autoradiography studies. A sub-project of; Advanced interdisciplinary exploration research for base, precious and associated metals in polymetamorphic terrains, N.Greece. Project leader : V.P. Calanopoulos, Contract No MAIM-0049-GR.
- RENA, A. (1977). Manganese Deposits Greece (Αδημ. ακθ. Bethleen Steel).
- SUPRIYA, ROY. (1981). Maganese Deposits Academic Press. LONDON
- VARENTSOV, I.M. and GRASSELLY, Gy. (1980). Geology and Geochemistry of Manganese. Schweizerbart - Stuttgart.