

Πρακτικά		4ου Συνεδρίου		Μάιος 1988	
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ. XXIII/2	σελ. 195-206	Αθήνα 1989		
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.	pag.	Athens		

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ ΤΟΥ ΛΕΥΚΟΧΡΥΣΟΥ (PGE) ΚΑΙ ΧΡΥΣΟΣ ΣΕ ΧΡΩΜΙΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΒΟΥΛΓΑΡΙΑΣ

M. ZHELYASKOVA-PANAYOTOVA*, M. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ-ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ**

Σ Υ Ν Ο Ψ Η

Χρωμιτικά μεταλλεύματα σε υπερβασικά πετρώματα των περιοχών Dobromirski, Jakovitsa, Brousevci και Goliarno - Kamenjane της νοτιο-ανατολικής Ροδόπης της Βουλγαρίας, έχουν αναλυθεί για στοιχεία της ομάδας του λευκοχρύσου (PGE) ή πλατινοειδή και χρυσό. Το σύνολο των πλατινοειδών κυμαίνεται από < 100 έως 200 ppb, ενώ ο χρυσός από 2 έως 11 ppb. Τα πρότυπα διαγράμματα των πλατινοειδών (PGE-patterns) ακολουθούν την αρνητική κλίση των χρωμιτικών μεταλλευμάτων που συνδέονται με οφιολιθικά συμπλέγματα. Η ευρεία διακύμανση στην χημική σύσταση (κύρια στοιχεία και PGE) των χρωμιτικών μεταλλευμάτων, σε συνδυασμό με τους πετρολογικούς τύπους των περιοχών αυτών υποδηλώνουν στρωματογραφικό προσανατολισμό κοντά στην πετρολογική μοχο του συμπλέγματος, εκτεταμένο βαθμό μερικής τήξης στον ανώτερο μανδύα και γένεση σ'ένα περιβάλλον διεύρυνσης ωκεάνιου πυθμένα επάνω από καταβυθιζόμενη πλάκα.

A B S T R A C T

Chromite ores in ultramafic rocks from the areas of Dobromirski, Jakovitsa, Brousevci and Goliarno - Kamenjane of south-eastern Rhodope massif of Bulgaria have been analyzed for platinum group elements and gold. The total PGE concentrations range from < 100 to 200ppb, while gold from 2 to 11 ppb. The PGE patterns follow the negative slope of chromite ores related with ophiolites. The wide variation of the chemical composition (major elements and PGE) of chromite ores, in combination with the petrological types in the studied areas may suggest a stratigraphical proximity to the petrological mocho of the complex, a high degree of melting in the upper mantle and an origin in a supra - subduction environment.

M. ZHELYASKOVA - PANAYOTOVA and M. ECONOMOU - ELIOPOULOS

Platinum group elements (PGE) and gold in chromite ores from Bulgaria

* Ore Deposits and Geochemistry, University of Sofia, Boul. Rosski 15.

** Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, Παν/μιο Αθηνών, Πανεπιστημιόπολη, Ανω Ιλίσια, Αθήνα 15784

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - INTRODUCTION

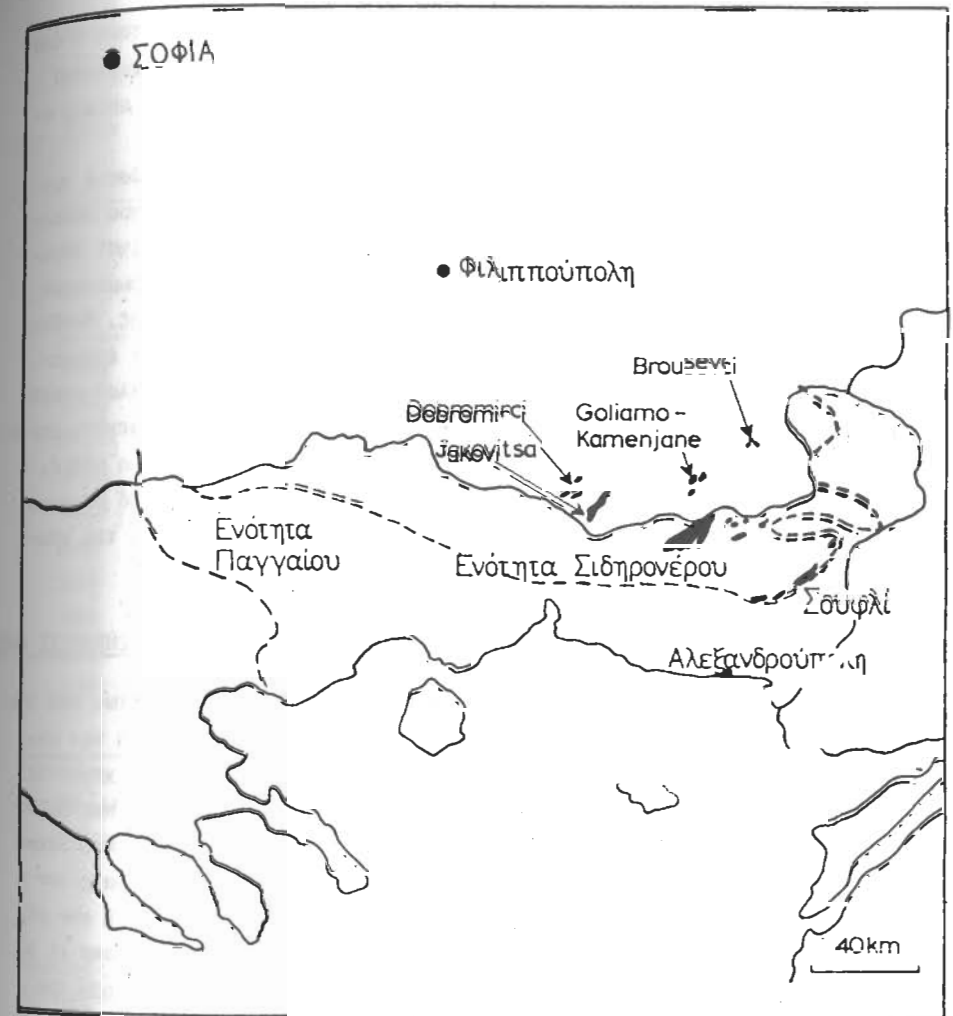
Τα χρωμιτικά σώματα που μελετήθηκαν ευρίσκονται μέσα σε υπερβασικά πετρώματα των περιοχών Dobromirci, Jakovitsa, Brousevtci και Goliamo-Kamenjane της νοτιο-ανατολικής Ροδόπης της Βουλγαρίας, τα οποία περιλαμβάνονται στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο της Ροδοπικής μάζας (Εικόνα 1). Αντίστοιχα τα υπερβασικά σώματα στην ανατολική Ροδοπική μάζα της Ελλάδας περιλαμβάνονται στην ανώτερη "ενότητα Ξιδηρόνερου", η οποία αποτελείται από γνεύσιους, αμφιβολίτες, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και μάρμαρα (Papanikolaou & Panagoroufios, 1981) ή την ανώτερη ενότητα των αμφιβολιτών και σερπεντινιτών, όπως διακρίνεται το μεταμορφωμένο υπόβαθρο της ανατολικής Ροδόπης από τους Billet & Nesbitt (1986).

Σχετικά με την ηλικία της Ροδοπικής μάζας υπάρχει διαφωνία μεταξύ των ερευνητών. Οι Dimitrov & Zidarov (1969) θεωρούν το υπόβαθρο ως Προτεροζωϊκής ή Αρχαϊκής ηλικίας. Μελετητές των υπερβασικών πετρωμάτων της νοτιο-ανατολικής Ροδοπικής μάζας τα θεωρούν Παλαιοζωϊκής ηλικίας (Zheiyaskona - Panayotova, 1980). Πρόσφατες έρευνες στην Ροδοπική μάζα της Βουλγαρίας έχουν δείξει ότι η Ροδόπη αποτελείται από ένα σύνολο αλπικών ενοτήτων που απαντούν υπό την μορφή τεκτονικών καλυμάτων (Ivanov, 1985). Η παρουσία μη μεταμορφωμένου Ανω - Κρητιδικού σε ασυμφωνία πάνω από τα μεταμορφωμένα κάθε μιας ενότητας επιτρέπει την κατάταξη των ενοτήτων της Ροδόπης στην συνέχεια των εσωτερικών Ελληνίδων (Papanikolaou, 1984).

Στην παρούσα μελέτη δίνονται γεωχημικά χαρακτηριστικά χρωμιτικών εμφανίσεων μέσα σε υπερβασικά πετρώματα της Ροδοπικής μάζας της Βουλγαρίας, γίνεται σύγκριση προς εκείνα Ελληνικών χρωμιτών και συζητείται η γένεσή τους.

2. ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΧΡΩΜΙΤΙΚΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ - ULTRAMAFIC ROCKS AND CHROMITE OCCURRENCES

Η περιγραφή των υπερβασικών πετρωμάτων και των χρωμιτικών μεταλλευμάτων της Ροδοπικής μάζας της Βουλγαρίας, καθώς και η ορυκτολογική και χημική τους σύσταση έχουν δοθεί από τους Zheiyaskona - Panayotova & Ivchinova (1971), Zheiyaskona - Panayotova (1980), Zheiyaskona - Panayotova et al. (1984). Τα χρωμιτικά μεταλλεύματα που μελετήθηκαν είναι μικρά, συνήθως φακοειδούς μορφής σώματα, τα οποία φιλοξενούνται σε υπερβασικά πετρώματα του μεταμορφωμένου υποβάθρου της Βουλγαρικής Ροδοπικής μάζας. Τα υπερβασικά σώματα, μεγέθους κυμαινόμενου από μερικά έως εκατοντάδες μέτρων κατά την μεγαλύτερη διάστασή τους, παρουσιάζουν κοινό προσανατολισμό κατά την διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Στην περιοχή επικρατούν οι περιδοτίτες, χαρτσβουργιτικής σύστασης, με κύρια ορυκτά ολιβίνη (Fe_{91}) και ορθοπυρόξενο (Fe_{8}) και ελάχιστο κλινοπυρόξενο (διοψίδιο) καθώς και χρωμί-



Εικόνα 1. Σχηματικός χάρτης της νοτιο-ανατολικής Βουλγαρίας και βορείου Ελλάδας που δείχνει τις θέσεις χρωμιτικών μεταλλευμάτων στην Ροδοπική μάζα

Figure 1. Sketch map of southern Bulgaria and northern Greece showing the localities of chromite ores in the Rodope massif.

σπινέλιο. Οι δουνίτες είναι επίσης άφθονοι. Η σερπεντινίωση είναι έντονη σ' όλα τα υπερβασικά πετρώματα. Ο τρεμολίτης - ακτινόλιθος αφθονούν στα περιφερειακά τμήματα και ζώνες σχιστοποίησης των υπερβασικών σωμάτων. Σε σημαντική επίσης αναλογία ευρίσκονται τα ορυκτά χλωρίτης, τάλκης και ανθρακικά.

Τα χρωμιτικά μεταλλεύματα στα οποία προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις των πλατινοειδών, προέρχονται από μικρές εμφανίσεις συμπαγούς ή σλίρεν τύπου μεταλλεύματος. Σε όλες τις εμφανίσεις που ανήκουν στο μεταλλουργικό τύπο, είναι τυπικές οι εναλλαγές χαρτσβουργίτου - δουνίτου στο άμεσο περιβάλλον των χρωμιτικών σωμάτων, ενώ στην κοντινή περιοχή περιγράφονται λερζόλιθος και βερλίτης. Φλέβες πυροξενίτου και ροδιγκίτου επίσης αφθονούν. Από την περιοχή Dobromirci έχει αναλυθεί και Al-πλουσιώτερο μετάλλευμα το οποίο έχει σαν άμεσο περιβάλλον μικρές εναλλαγές χαρτσβουργίτου - δουνίτου, αλλά ευρίσκεται μέσα σε σχετικά μεγάλη χαρτσβουργιτική μάζα. Επίσης, από την περιοχή Goliamo - Kamenjane το δείγμα ανήκει σε μικρή φακοειδή εμφάνιση, συμπαγούς σιδηροχρωμίτη, μέσα σε υπερβασικό πέτρωμα με μεγάλη συμμετοχή τάλκη, χλωρίτη, τρεμολίτη και ανθρακικών. Οι κόκκοι του χρωμίτου είναι ομοιογενείς, διαμέτρου κυμαινόμενης από 0.01 - 0.3 μm.

3. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΧΡΩΜΙΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ - CHEMICAL COMPOSITION OF CHROMITE ORES

Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις εμπλουτισμένων χρωμιτικών μεταλλευμάτων από τις μελετηθείσες περιοχές δίνονται στον πίνακα 1. Η διακύμανση στην σύσταση των μεταλλευμάτων αυτών είναι σημαντική (Εικόνα 2). Ο λόγος Cr/(Cr+Al) στους χρωμίτες κυμαίνεται μεταξύ 0.57 και 0.74, ενώ ο λόγος Mg/(Mg+Fe²⁺) μεταξύ 0.51 και 0.72. Τα ίδια αυτά δείγματα έχουν αναλυθεί επίσης για τα στοιχεία της ομάδας του λευκοχρύσου (PGE) ή πλατινοειδή (Πίνακας 2). Λόγω της ανομοιογενούς κατανομής των ευγενών μετάλλων σε πετρώματα και μεταλλεύματα, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στο μέγεθος των δειγμάτων (περίπου 2 kgs) και ακολουθήθηκε η μέθοδος των Hofmann et al. (1978) μετά από μικρές τροποποιήσεις. Κατά την μέθοδο αυτή γίνεται σύντηξη του δείγματος με κατάλληλα αντιδραστήρια, διαλυτοποίηση του θειούχου νικελίου (συλλέκτης πλατινοειδών) με HCl 12M και διήθηση υπό κενό, οπότε λαμβάνονται στον ηθμό τα πλατινοειδή. Στα εμπλουτισμένα αυτά δείγματα έγινε προσδιορισμός των πλατινοειδών χρησιμοποιώντας πλάσμα ICP/MS (Plasma Mass Spectrometry) στο Αναλυτικό Εργαστήριο XRAL στο Ontario του Καναδά.

Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων της ομάδας του λευκοχρύσου είναι μικρές. Το σύνολο των πλατινοειδών φθάνει έως περίπου 200 ppb, σε Cr-πλούσια μεταλλεύματα, ενώ η συγκέντρωση του χρυσού είναι μικρότερη των 6 ppb (Πίνακας 2). Η διαγραμματική παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών γίνεται στην εικόνα 3. Με σκοπό την σύγκριση των διαγραμμάτων που λαμβάνονται δια αναγωγής των συγκεντρώσεων ως προς ένα χονδρότη (C2), PGE-patterns, προς εκείνα για την περιοχή Σουφλίου και άλλες

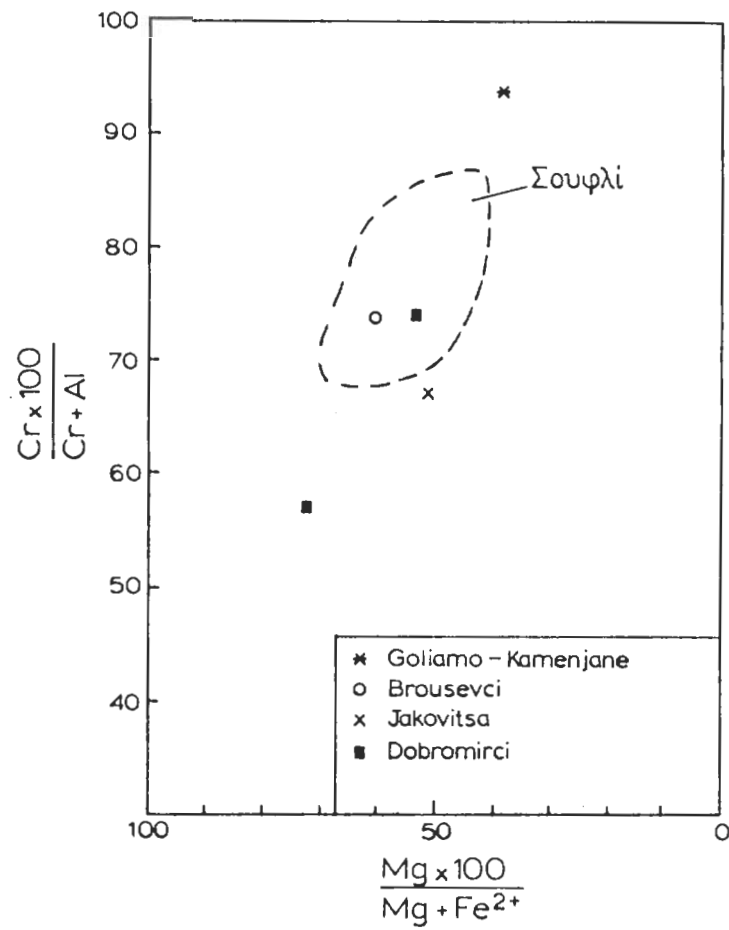
πίνακας 1. Χημικές αναλύσεις χρωμιτικών μεταλλευμάτων από την νότιο-ανατολική Ροδοπική μάζα της Βουλγαρίας.

Table 1. Chemical analyses of chromite ores from south-eastern Rhodope massif of Bulgaria.

	Dobromirci	Jakovitsa	Brousevci	Goliamo-Kamenjane	
	243/63	13/63	2007/67	1356/9	
	823/75				
SiO ₂	0.64	1.41	0.76	0.24	1.37
TiO ₂	0.43	0.14	0.14	0.17	0.09
Al ₂ O ₃	11.88	21.57	5.72	12.83	1.12
Cr ₂ O ₃	50.86	43.32	58.84	53.10	25.51
Fe ₂ O ₃	4.17	4.32	5.29	5.27	41.63
FeO	18.55	11.43	17.33	15.02	21.41
MnO	0.10	0.16	0.61	0.20	-
MgO	11.67	16.51	10.24	12.55	7.46
NiO	0.25	0.21	0.10	0.18	0.35
CoO	0.04	0.02	0.14	0.04	0.06
	98.59	99.09	99.17	99.60	99.00
Cr/(Cr+Al)	0.74	0.57	0.67	0.74	0.94
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.53	0.72	0.51	0.60	0.38

περιοχές της Ελλάδας, στην εικόνα 4 δίνεται το εύρος της διακύμανσης για Cr-πλούσιους και Al-πλούσιους χρωμίτες, καθώς και η μέση τιμή των χρωμιτικών μεταλλευμάτων από την περιοχή Σουφλίου (Economidou, 1985. Magganis & Economidou, 1987).

Οι συγκεντρώσεις Pt και Pd στους χρωμίτες της Βουλγαρικής Ροδόπης είναι χαμηλές με αποτέλεσμα τα πρότυπα διαγράμματα των πλατινοειδών (PGE-patterns) να ακολουθούν την αρνητική κλίση των χρωμιτικών μεταλλευμάτων που συνδέονται με οφιολιθικά συμπλέγματα (Εικόνες 3 & 4). Οι κάπως μικρότερες τιμές του λευκοχρύσου και μεγαλύτερες τιμές του παλλαδίου για τα μεταλλεύματα της Βουλγαρίας σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών



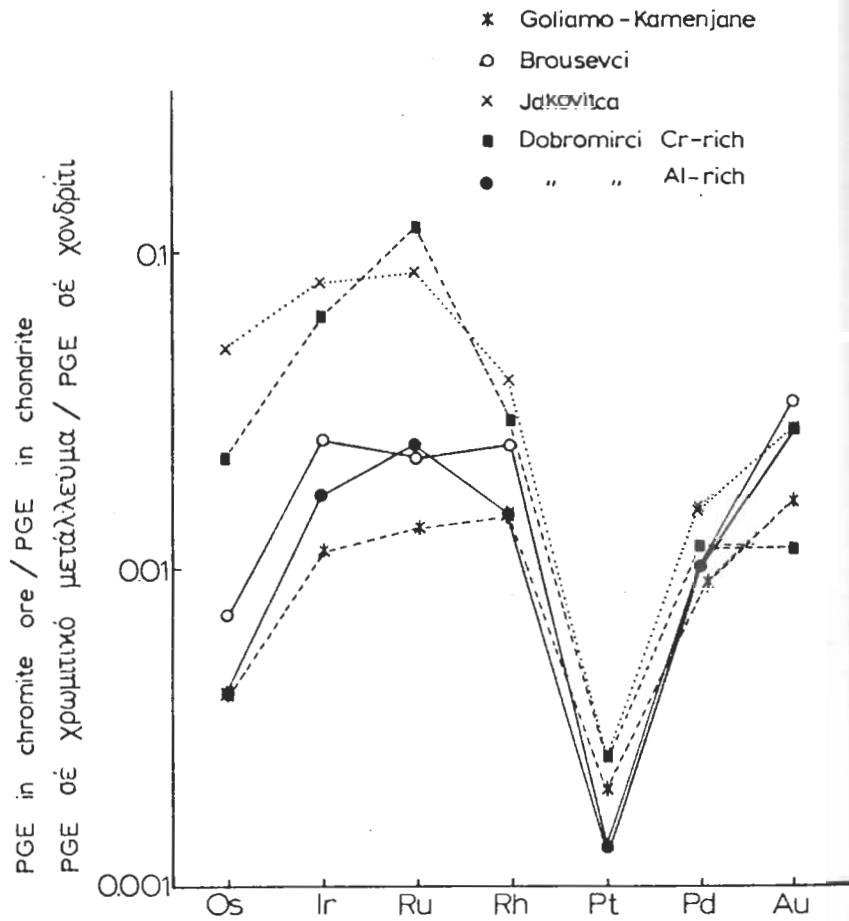
Εικόνα 2. Διακύμανση των λόγων $Cr/(Cr+Al)$ και $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ σε μεταλλεύματα χρωμίτου από την Ροδοπική μάζα της Βουλγαρίας.
Figure 2. Variation of $Cr/(Cr+Al)$ ratio vs $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ in chromite ores from Rhodope massif of Bulgaria.

σε χρωμιτικά μεταλλεύματα της Ελλάδας ίσως οφείλονται στην διαφορετική αναλυτική μέθοδο που έχει χρησιμοποιηθεί, αλλά φαίνεται επίσης πιθανόν οι μεγαλύτερες τιμές του παλλαδίου και γενικότερα του λόγου Pd/Ir να χαρακτηρίζουν την Ροδοπική μάζα, συμπεριλαμβανομένης και της περιοχής Σουφλίου.

Πίνακας 2. Συγκεντρώσεις των στοιχείων της ομάδας του λευκοχρόσου (PGE) και χρυσού (όλα σε ppb) σε μεταλλεύματα χρωμίτου της Βουλγαρίας.

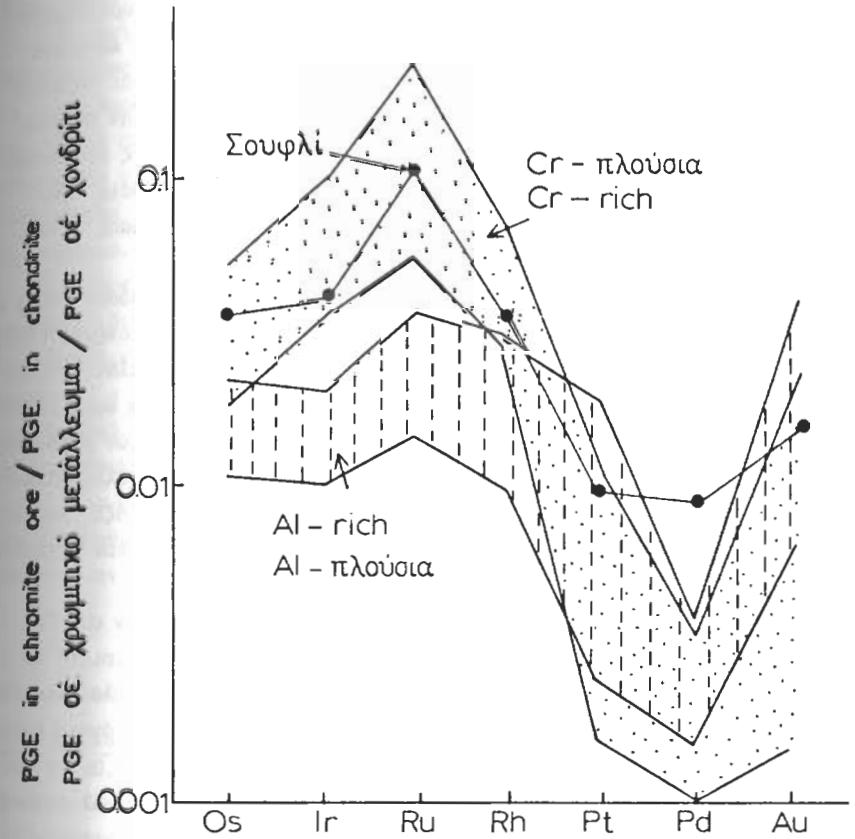
Table 2. Platinum group metal (PGE) and gold concentrations (all in ppb) in chromite ores from Bulgaria

Δείγμα Sample	Περιοχή Location	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	$\frac{Pd}{Ir}$	$\frac{Cr}{Cr+Al}$
243/63	Dobromirci	16	32	120	6	4	14	2	0.44	0.74
13/63	Dobromirci	<3	8.8	25	3	2	12	6	1.36	0.57
2007/67	Jakovitca	37	41	88	8	4	19	5	0.46	0.67
1356/ 9	Brousevci	5	13	23	4	2	12	6	0.92	0.74
823	Goliama- Kamenjane	3	5.7	14	3	3	3	11	1.93	0.94



Εικόνα 3. Πρότυπα διαγράμματα πλατινοειδών (PGE-patterns) για χρωμιτικά μεταλλεύματα της Ροδοπιικής μάζας της Βουλγαρίας. Οι συγκεντρώσεις των πλατινοειδών στο μεταλλεύμα διαιρούνται δια των αντιστοίχων συγκεντρώσεων ενός χονδρίτι (C2) και προβάλλονται σε λογαριθμική κλίμακα.

Figure 3. Platinum group element patterns for chromite ores from Rhodope massif, Bulgaria. The concentrations of PGE have been divided by the concentration of the appropriate element in chondrite and are plotted on a logarithmic scale.



Εικόνα 4. Πρότυπα διαγράμματα πλατινοειδών (PGE-patterns) για χρωμιτικά μεταλλεύματα της Ελλάδας (δεδομένα από Economidou, 1985 και Magganas & Economidou, 1987).

Figure 4. Platinum group element data for chromite ores of Greece (data from Economidou, 1985; Magganas & Economidou, 1987).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ- DISCUSSION

Είναι γνωστό ότι τα χρωμικά μεταλλεύματα στα οφιολιθικά συμπλέγματα ευρίσκονται στην ανώτερη ζώνη (1-3 km) της μανδουακής σειράς και το κατώτερο τμήμα της μαγματικής σειράς του συμπλέγματος. Συνήθως δουνίτης είναι το άμεσο περιβάλλον των χρωμικών μεταλλευμάτων και η διάκριση ανάμεσα στην ανώτερη μανδουακή και κατώτερη μαγματική σειρά, καθώς και ο στρωματογραφικός προσανατολισμός στην μανδουακή σειρά δεν είναι εύκολος ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπως στην Ροδοπική μάζα, όπου η επίδραση της παραμόρφωσης και μεταμόρφωσης είναι εντονή.

Η μελέτη της κατανομής των στοιχείων της ομάδας του λευκοχρύσου (PGE) ή πλατινοειδή, όπως συνοψίζονται από τους Page et al. (1982) και Οικονόμου (1984) έχει δείξει ότι τα ανηγμένα ως προς ένα χονδρίτη διαγράμματα των πλατινοειδών (PGE-patterns) παρουσιάζουν αρνητική κλίση, χαρακτηριστική για τα οφιολιθικά συμπλέγματα και διαφέρουν από εκείνη άλλων τύπων βασικών-υπερβασικών πετρωμάτων. Οι συγκεντρώσεις των πλατινοειδών στα δείγματα χρωμικών μεταλλευμάτων που μελετήθηκαν από την νότιο-ανατολική Ροδοπική μάζα είναι της τάξης εκείνων από την γειτονική περιοχή του Σουφλίου, και γενικότερα των χρωμικών μεταλλευμάτων της Ελλάδας (Πίνακας 2, Εικόνες 3 & 4).

Αξιοσημείωτη είναι η μεγαλύτερη συγκέντρωση των πλατινοειδών στο Cr-πλούσιο μέταλλευμα από την περιοχή Dobromirski, ενώ από την ίδια περιοχή το Al-πλούσιο μέταλλευμα παρουσιάζει σαφώς μικρότερη περιεκτικότητα πλατινοειδών (πίνακας 2, εικόνα 3). Η παρατήρηση αυτή ευρίσκεται σε συμφωνία με όμοια σχέση σε χρωμικά μεταλλεύματα της Ελλάδας. Δεδομένου ότι τα στοιχεία Cr, Os, Ir και Ru είναι ανιαγωνιστικά (compatible) η μικρότερη περιεκτικότητά τους σε Al-πλούσια μεταλλεύματα έχει θεωρηθεί αποτέλεσμα χαμηλού βαθμού μερικής τήξης στον ανώτερο μανδύα σε σχέση με τα Cr-πλούσια μεταλλεύματα (Economou, 1988). Όμως η μεγαλύτερη τιμή του λόγου Pd/Ir (1.4), ο οποίος αυξάνεται με τον αυξανόμενο βαθμό διαφοροποίησης (Barnes et al., 1984) ίσως υποδηλώνει ότι οι Al-πλούσιοι χρωμίτες στην περιοχή Dobromirski, έχουν κρυσταλλωθεί από μάγμα περισσότερο διαφοροποιημένο. Στην περίπτωση αυτή, ο μεγαλύτερος λόγος Pd/Ir σε χρωμικά μεταλλεύματα ίσως αποτελεί ένδειξη για στρωματογραφικό προσανατολισμό σε ανώτερα τμήματα της μανδουακής σειράς. Δηλαδή, εάν δεχθεί κανείς την άποψη της γένεσης των χρωμικών, μεταλλευμάτων της μανδουακής σειράς οφιολιθικών συμπλεγμάτων μέσα σε μικρούς μαγματικούς θαλάμους-αγωγούς του μάγματος (Lago et al., 1982), όπου η ανάμειξη των μαγμάτων είναι ο κύριος παράγοντας ελέγχου της χρωμιτογένεσης, τότε η τυπική διαφοροποίηση δεν είναι ο μόνος παράγοντας που ρυθμίζει την σύσταση του χρωμίτου. Η τοποθέτηση της περιοχής Dobromirski σε ανώτε-

ρους στρωματογραφικούς ορίζοντες ενισχύεται επίσης από την αφθονία φλεβών ροδικίτου καθώς και πηγματιτικού πυροξενίτου στην περιοχή (Zhelezaskona-Panayotona, 1986).

Η σχετικά μεγάλη τιμή του λόγου Pd/Ir (1.9) που χαρακτηρίζει το μέταλλευμα σιδηροχρωμίτη της περιοχής Goliamo-Kamenjane (Πίνακας 2) και η ομοιότητα του διαγράμματος των πλατινοειδών προς εκείνα των χρωμικών μεταλλευμάτων (Εικόνα 3) σε συνδυασμό με την ομοιογένεια των κόκκων και την έλλειψη έντονων φαινομένων εξαλλοίωσης (Zhelezaskona-Panayotona, 1980), ίσως υποδηλώνουν πρωτογενή γένεση του σιδηροχρωμίτη από περισσότερο διαφοροποιημένο μάγμα ή μάγμα Fe-πλούσιο.

Η ευρεία διακύμανση στην σύσταση του χρωμίτου (κύρια στοιχεία και πλατινοειδή), ιδιαίτερα η παρουσία χρωμικών πλουσίων σε FeO, Fe₂O₃, TiO₂ στην νότιο-ανατολική Ροδόπη της Βουλγαρίας, η επικράτηση του μεταλλουργικού τύπου χρωμίτου, η χαρτοβουργική σύσταση του περιδοτίτου της μανδουακής σειράς, τα πετρολογικά χαρακτηριστικά, δηλαδή οι άφθονοι πυροξενίτες στην μαγματική σειρά (Zhelezaskona-Panayotona, 1980, 1986) υποδηλώνουν εκτεταμένο βαθμό μερικής τήξης στον ανώτερο μανδύα σ' ένα περιβάλλον διεύρυνσης ωκεάνιου πυθμένα επάνω από καταβυθιζόμενη πλάκα (SSZ). Ένα τέτοιο περιβάλλον SSZ υποστηρίζεται ήδη και για την γειτονική περιοχή του Σουφλίου (Magganis & Economou, 1987).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ- REFERENCES

- Barnes S.-J., Maldrett A.J. and Corton M.P., 1985. The origin of the fractionation of Platinum Group Elements in terrestrial magmas. *Chem. Geology*, 53: 303-323.
- Billett M.F. and Nesbitt R.W., 1986. Base metal mineralization associated with mafic and ultramafic rocks, eastern Rhodope massif, Greece. *Trans. Inst. Min. Metall. Sect. B*, 95: 37-45.
- Dimitrov D.K. and Sidarov N., 1969. On the stratigraphy of the Archaic metamorphic complex in the Rhodope massif. *Rev. Bulgarian geol. Soc.*, 30.
- Economou M., 1985. Platinum group elements (PGE) in chromite and sulfide ores within ultramafic zone of some Greek ophiolite complexes. *Proced. Metallogeny of basic and ultrabasic rocks, Inst. Min. Metall., Edinburgh* 1985, 441-453.

- Hoffman E.L., Naldrett A.J., Van Loon J.C., Hancock R.G.V. and Manson A., 1978. The determination of all platinum group elements and gold in rocks and ore by neutron activation analysis after preconcentration by a nickel sulfide fire-assay technique on large samples. *Anal. Chim. Acta*, 102: 157-166.
- Ivanov Z., 1985. Position tectonique, structure geologique et evolution alpidique du massif des Rhodopes. *Reun. extr. Soc. Geol. France en Bulgarie, Guide*, 1-31.
- Lago B., Rabinowicz M. and Nicolas A., 1982. Podiform chromite bodies: a genetic Model. *Jour. Petrology*, 23: 103-125.
- Magganas A. and Economou M., 1987. On the chemical composition of chromite ores from the ophiolitic complex of Soufli, NE Greece. *Ophioliti*. (in press).
- Οικονόμου Μ., 1984. Στοιχεία της ομάδας του λευκοχρύσου (PGE) σε χρωμιτικά και θειούχα μεταλλεύματα της υπερβασικής ζώνης Ελληνικών οφιολιθικών συμπλεγμάτων. Διατριβή επί υφηγεσία, Παν/μιο Αθηνών.
- Page M. J., Pallister J.S., Brown M.A., Smewing J.D. and Haffty J., 1982. Palladium, platinum, rhodium and ruthenium in chromite-rich rocks from the Samail ophiolite, Oman. *Can. Miner.* 20: 537-548.
- Papanikolaou D., 1984. The three metamorphic belts of the Hellenides: a review and a kinematic interpretation. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 17: 551-561.
- Papanikolaou D. and Panagopoulos A., 1981. On the structural style of the Southern Rhodope, Greece. *Geol. Balc.*, 11(3): 13-22
- Zhelyaskova-Panayotova M. and Ivchinova L., 1971. Mineral species of spinelids from Bulgarian ultrabasites. *Geologiya Rudnykh Mestorozhdenii* : (Geology of Ore Deposits), 3, 71-90 (in Russian).
- Zhelyaskova-Panayotova M., Karamata S., Meyer V. and Skarpelis N., 1984. Ultramafites in the Balkan Peninsula and their ore potentiality, 27th International Geological Congress, Moscow.
- Zhelyaskova-Panayotova M. and Milev V., 1980. Chromite deposits in Bulgaria. Intern. Symposium on Metallogeny of mafic and ultramafic complexes. UNESCO, ICGP Pr. 169, Athens, 1: 183-193.
- Zhelyaskova-Panayotova M. (1986). Metallogeny of Ophiolitic Complexes in Bulgaria. *Metallogeny of Ophiolites*, ICGP 197, Athens, 1986 (in press).