

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΣΑΠΟΡΕΜΑ ΚΑΙ ΦΙΛΙΟΥΡΗ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΑΠΩΝ-ΕΥΛΑΓΑΝΗΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΡΟΔΟΠΗΣ ΣΤΗ ΘΡΑΚΗ^{1*}**

ΝΤΑΡΛΑΓΙΑΝΝΗΣ Δ.², ΒΑΒΕΛΙΔΗΣ Μ.², ΑΡΙΚΑΣ Κ.³, ΜΕΛΦΟΣ Β.², GOETZ D.⁴

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται η συγκέντρωση και κατανομή των κύριων στοιχείων (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5) και των βαρέων μετάλλων Cr, Ni, Mn, Pb, As, Cu, Zn, V, Co και Cd στα ιζήματα των ποταμών Σαπόρεμα και Φιλιούρη, στην περιοχή Σαπών-Ευλαγανής στη Θράκη. Από την παρούσα έρευνα προκύπτει ότι τα ιζήματα δεν περιέχουν ιδιαίτερα υψηλές περιεκτικότητες σε βαρέα μέταλλα, εκτός από το Cr, το Ni και το Pb που ξεπερνούν τοπικά όλα τα διεθνή επιτρεπτά επίπεδα στον ποταμό Φιλιούρη. Η μόλυνση αυτή οφείλεται πιθανώς τόσο σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (βυρσοδεψεία, φυτοφάρμακα) όσο και στη σύσταση των γειτονικών πετρωμάτων που φιλοξενούν σημαντικά κοιτάσματα μεταλλευμάτων.

ABSTRACT

The concentration and distribution of heavy metals in the sediments of the Filiouris river and its affluent Saporema, are studied in the present work. Both rivers are located in Thrace, Northeastern Greece, close to significant Cu-Pb-Zn-(As-Au) ore deposits, such as those in Konos, Kassiteres and Xylagani areas. Geologically the area belongs to the Makri Unit of the Circum Rhodope Belt, comprising mainly marble, dolomite, calciferous schists, phyllites and greenschists-metadiabases of Mesozoic age. Upper Eocene to Oligocene magmatism in Northern Aegean Sea has resulted in the emplacement of plutonic rocks (monzonite, monzodiorite, granodiorite), volcanics (andesites, trachytes, rhyolites) and pyroclastics (tuffs). The hydrothermal fluid circulation has caused extended alteration phenomena in the neighbouring rocks. Oligocene-Miocene sediments and Quaternary alluvial deposits also occur. The present environmental mineralogical and geochemical study attempts to provide the first baseline information concerning the levels of 10 heavy metals in the sediments of Filiouris and Saporema rivers. This investigation examines the contamination of the sediments caused by the disposal of industrial, private and mining waste without any control in both rivers. Additionally THRACE MINERALS S.A. has planned gold prospect and related metallurgical processing in Konos-Sapes area. It is necessary therefore to confirm the environmental condition before the gold metallurgy, in order to evaluate the possible future contamination of the sediments. According to our study, the sediments can be classified as sands to clay-sands. Mineralogically they consist mainly of quartz, K-feldspars, plagioclase, pyroxene, mica, chlorite, kaolinite, montmorillonite and hornblende. In traces talc and epidote are also observed. Limonite, magnetite, sphene, ilmenite, rutile and hematite are the main ore minerals. The geochemical investigation of the sediments revealed that the concentration of the major elements (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5) is closely related to the geochemical features of the neighbouring rocks. Concerning the concentration of ten analysed heavy elements, the present study showed that Cr varies from 30 to 400 ppm (avg. 169 ppm), Ni from 10 to 315 ppm (avg. 106 ppm), Mn from 260 to 1800 ppm (avg. 937 ppm), Pb from 20 to 420 ppm (avg. 64 ppm), As up to 12 ppm (avg. 3,50 ppm), Cu from 15 to 55 ppm (avg. 34 ppm), Zn from 55 to 145 ppm (avg. 102 ppm), V from 85 to 200 ppm (avg. 136 ppm), Co from 4 to 34 ppm (avg. 18 ppm) and Cd up to 0.06 ppm (avg. 0.03 ppm). Among all studied metals Cr and Ni showed high regional

1«ENVIRONMENTAL GEOCHEMICAL STUDY OF THE SEDIMENTS IN THE SAPOREMA AND FILIOURIS RIVERS, SAPHES-XYLAGANI AREA, RHODOPE COUNTY, THRACE» by Darlagiannis D.², Vavelidis M.², Arikas K.³, Melfos, V.², Goetz D.⁴

2:Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, Faculty of Geology, Aristotle University, Thessaloniki, 54006, Thessaloniki, Greece

3:Mineralogisch-Petrographisches Inst., Univ. Hamburg, 20146 Hamburg, Germany

4:Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg, D-20146, Hamburg, Germany

variations in their distribution patterns. Concentrations of chromium and nickel are significantly high in Filiouris river (Cr>150 ppm, Ni>200 ppm) exceeding the international standards. Lead and arsenic contents exhibit a geochemical anomaly (Pb>100 ppm, As>5 ppm) in the Saporema river, mainly in the broader area of Sapes and Arsakeio, but they are within the international safety standards. The Cr and Ni contamination of the Filiouris river, is probable associated to the human activities (mainly leather processing and use of pesticides) as well as the presence of Cr or Ni-bearing minerals along the upper flow of the Filiouris river. Additionally, it is surprising that the epithermal alteration associated with the volcanogenic sulphide mineralisations did not pollute the studied sediments of the Saporema.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Γεωχημεία Ιζημάτων, Βαρέα Μέταλλα, Μεταλλευτική Δραστηριότητα, Σαπόρεμα, Φιλιούρης, Σάπες, Ευλαγανή, Νομός Ροδόπης, Θράκη
KEY WORDS: Geochemistry of the Sediments, Heavy Metals, Mining Activities, Saporema, Filiouris, Sapes, Xylagani, Rhodope County Thrace

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες στην Ελλάδα έχει παρατηρηθεί μία σημαντική αύξηση στη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε εδάφη, ιζήματα και ύδατα που βρίσκονται κοντά σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές (Watzl 1998, Angelidis and Aloupi 2000, Meladiotis et al. 2002, Mountouris et al. 2002). Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν επικίνδυνους ρύπους επειδή δεν ανακυκλώνονται με φυσικές διεργασίες και παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Εισέρχονται στο βιολογικό κύκλο και προκαλούν έτσι διαταραχές. Η ρύπανση των επιφανειακών υδάτων προέρχεται από τη διάβρωση και αποσάθρωση πετρωμάτων και ιδιαίτερα μεταλλευμάτων αλλά και από ανθρώπινες δραστηριότητες (αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, χρήση λιπασμάτων, λειτουργία μεταλλείων, αιωρούμενα σωματίδια κ.ά.).

Μέχρι πρόσφατα παρά τη σχετική νομοθεσία στην Ελλάδα, δεν γίνονταν επαρκής έλεγχος για την απόθεση και διαχείριση των αστικών και βιομηχανικών λυμάτων. Η πιο συνηθισμένη πρακτική ήταν η απόθεσή τους σε δημόσιους χώρους, συχνά κοντά σε πόλεις και χωριά. Η διαδικασία αυτή γινόταν ως επί το πλείστον χωρίς τους κατάλληλους μηχανισμούς προστασίας, με αποτέλεσμα τη διεύθυνση πολλών τοξικών ουσιών στα εδάφη, τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα και το σχηματισμό μεγάλης έκτασης παλαιολυμάτων. Επιπλέον σε περιοχές όπου υπάρχουν κοιτάσματα μεταλλευμάτων και μεταλλευτική δραστηριότητα έχει προκληθεί εκτεταμένη μόλυνση των ιζημάτων και των εδαφών σε βαρέα μέταλλα, ιδιαίτερα στη γειτονία ενεργών ή ανενεργών μεταλλείων (Demetriades et al. 1996).

Η παρούσα εργασία που εντάσσεται στα πλαίσια ενός ευρύτερου προγράμματος μελέτης της γεωχημείας ιζημάτων και εδαφών της Θράκης, αναφέρεται στην εδαφολογική και ορυκτολογική σύσταση και κυρίως στη γεωχημεία των ιζημάτων των ποταμών Σαπόρεμα και Φιλιούρη (Σχ. 1). Η περιοχή έρευνας οριοθετείται ανατολικά του γνωστού επιθερμικού κοιτάσματος χρυσού του Κώνου, 5 km ανατολικά των Σαπών. Η περιοχή διασχίζεται από το Σαπόρεμα που συνεχίζει προς τα δυτικά/νοτιοδυτικά στον ποταμό Φιλιούρη, έως το χωριό Ίμερος Ευλαγανής. Η περιοχή μελέτης επιλέχθηκε για να διαπιστωθεί η πιθανή φυσική επιβάρυνση των ιζημάτων και των εδαφών σε βαρέα μέταλλα, λόγω της παρουσίας σημαντικών μεταλλοφόρων εμφανίσεων και διάσπαρτων μεταλλοφοριών θειούχων ορυκτών του Fe, Pb, Zn, Cu, As κ.ά. που συνδέονται με έντονες επιθερμικές εξαλλοιώσεις.

Η περιοχή Κώνου έχει επιλεγεί ακόμη για μελλοντική εκμετάλλευση χρυσού από την εταιρία ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΘΡΑΚΗΣ ABEE (Swawh and Constantinides 2001). Η εταιρία αυτή έχει ήδη ολοκληρώσει το ερευνητικό στάδιο και σκοπεύει να προχωρήσει σύντομα σε εξόρυξη μεταλλεύματος και απόληψη του χρυσού. Αυτός ήταν ένας ακόμη λόγος για να γίνει μία συστηματική γεωχημική έρευνα στα ιζήματα των ρεμάτων της περιοχής, ώστε να εκτιμηθεί η κατάσταση που επικρατεί σήμερα, σχετικά με την παρουσία βαρέων και τοξικών μετάλλων και την επιβάρυνση που πιθανόν να υποστεί αργότερα με την εκμετάλλευση του κοιτάσματος.

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Οι ποταμοί Σαπόρεμα και Φιλιούρης (ή Λίσσος) βρίσκονται στο Νομό Ροδόπης, πηγάζουν από το όρος Ροδόπη μέσα στο ελληνικό έδαφος, και εκβάλλουν στο Θρακικό πέλαγος. Το Σαπόρεμα ουσιαστικά αποτελεί παραπόταμο του ποταμού Φιλιούρη και τα



Σχ.1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης και σημεία δειγματοληψίας.
 Fig. 1. Geological sketchmap of the investigated area and sampling sites.

δύο ποτάμια ενώνονται βορειοανατολικά της Ευλαγανής.

Γεωτεκτονικά η ευρύτερη περιοχή έρευνας ανήκει στην Ενότητα Μάκρης της Περιοδοπικής Ζώνης (Σχ. 1). Σύμφωνα με τους Παπαδόπουλο (1982) και Μαγκανά (1988), η Ενότητα Μάκρης περιλαμβάνει μεταμορφωμένα πετρώματα όπως μάρμαρα, δολομίτες, ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, φυλλίτες, πρασινοσχιστόλιθους-μεταδιαβάσες, Μεσοζωικής ηλικίας. Στην περιοχή, ιδιαίτερα στον άνω ρου του Σαπορέματος, εντοπίζονται πλουτωνικά-υποηφαιστειακά (μονζονίτης, μονζοδιορίτης, γρανοδιορίτης), ηφαιστειακά (ανδεσίτες, δακίτες και ρυόλιθοι) και πυροκλαστικά (τόφφοι) πετρώματα ηλικίας Άνω Ηωκαίνου έως Μειοκαίνου. Η έντονη υδροθερμική δραστηριότητα που συνόδευσε την Τριτογενή ηφαιστειότητα έχει προκαλέσει εκτεταμένες εξαλλοιώσεις στα πετρώματα αυτά.

Στην περιοχή υπάρχουν επίσης ιζηματογενείς αποθέσεις του Ηωκαίνου (ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες), του Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου (παράκτιες αποθέσεις, κροκάλες, ψαμμίτες, άργιλοι, αμμοάργιλοι, άμμοι) και του Τεταρτογενούς (αλλουβιακές αποθέσεις: άμμοι, χαλαρά κροκαλοπαγή).

Κατά μήκος των ποταμών Σαπόρεμα και Φιλιούρη (Σχ. 1) εντοπίζεται μία σειρά από πρωτογενείς χρυσοφόρες μεταλλοφορίες Cu, Zn και Pb, που συνδέονται με τα Τριτογενή ασβεσταλκαλικά μαγματικά πετρώματα όξινης έως ενδιάμεσης σύστασης. Έτσι, στη λεκάνη απορροής του Σαπορέματος υπάρχουν μεταλλοφορίες επιθερμικού τύπου υψηλής και χαμηλής θεώσεως, πλούσιες σε Au-Ag-Pb-Zn-Cu-As στην περιοχή Κώνος καθώς και στις Κασσιτερές (Voudouris 1993, 1997, Skarpelis et al. 1999, Swawh and Constantinides 2001), μεταλλοφορίες πορφυρικού χαλκού στις Κασσιτερές (Voudouris 1993, 1997). Μεγάλη έκταση καταλαμβάνουν επίσης μέσα στα ηφαιστειακά πετρώματα οι διάσπαρτες μεταλλοφορίες θειούχων μεταλλικών ορυκτών του μολύβδου, χαλκού και ψευδαργύρου (Watzl 1998).

Χρυσοφόρος στρωματέγκλειστη μεταλλοφορία Cu-Fe-Zn-Pb με παρουσία framboidal σιδηροπυρίτη έχει εντοπιστεί στη Ν. Πέτρα Ευλαγανής (Μέλφος κ.ά. 1993, Μέλφος 1995) στον κάτω ρου του ποταμού Φιλιούρη (Σχ.1), η οποία συνδέεται με Μεσοζωικά μεταηφαιστειακά πετρώματα (πρασινοσχιστόλιθοι-μεταδιαβάσες).

ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

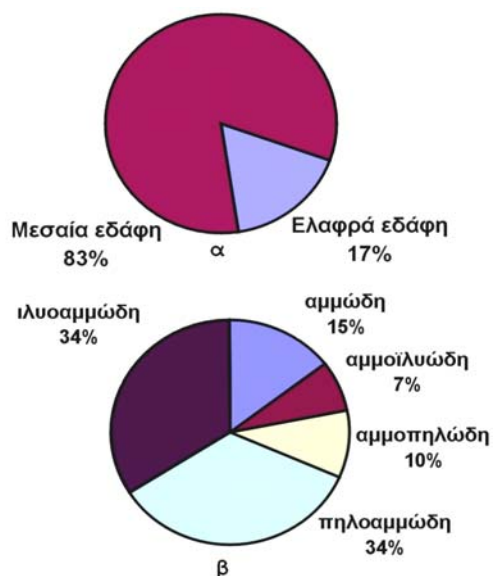
Για το σκοπό της εργασίας έγινε συστηματική δειγματοληψία ιζημάτων από τα πρηνή και την κοίτη του Σαπορέματος και του Φιλιούρη ποταμού (Σχ. 2). Συνολικά συλλέχθηκαν 41 δείγματα (Σχ. 1), βάρους 500 gr το καθένα, κατά τους μήνες Μάιο έως Νοέμβριο του 1999. Η δειγματοληψία έγινε σε βάθος (5 έως 25 cm ανά περίπτωση), με την απομάκρυνση του ανώτερου στρώματος, ώστε να αποφεύγονται τα πιο πρόσφατα υλικά, τα οργανικά συστατικά (ρίζες, φυτά) και αυτά που βρίσκονται παροδικά και τυχαία στο χώρο (AG Bodenkunde 1982).

Για την εδαφολογική μελέτη διαχωρίστηκαν τα κλάσματα άμμου, ιλύος και αργίλου για κάθε δείγμα με τη μέθοδο κοσκινίσματος. Η ορυκτολογική μελέτη των ιζημάτων περιελάμβανε ακτινογραφική εξέταση με ακτίνες X περίθλασης, μελέτη με πολωτικό και μεταλλογραφικό μικροσκόπιο και ανάλυση με σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) στον τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Ένας σημαντικός αριθμός δειγμάτων εξετάσθηκε με ακτίνες-X στο Ινστιτούτο Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Πανεπιστημίου Αμβούργου.

Οι χημικές αναλύσεις των συλλεχθέντων δειγμάτων έγιναν στο Πανεπιστήμιο του Αμβούργου και συγκεκριμένα στο Ινστιτούτο Εδαφολογίας και στο Ινστιτούτο Ορυκτολογίας και Πετρολογίας. Η γεωχημική μελέτη στην οποία στηρίχθηκαν τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, περιελάμβανε τον προσδιορισμό των κυρίων στοιχείων (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅) και δέκα ιχνοστοιχείων (Cr, Ni, Mn, Pb, As, Cu, Zn, V, Co και Cd) σε 41 συνολικά δείγματα. Για τις χημικές αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί μέθοδοι ανάλογα με τα στοιχεία που αναλύθηκαν: φασματομετρία φθορισμού ακτίνων X (XRF), φασματομετρία οπτικής εκπομπής επαγωγικού ζεύγους με πλάσμα (ICP-AES) και φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (AAS).

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ

Με βάση την εδαφολογική μελέτη ταξινομήθηκαν τα δείγματα σε κατηγορίες εδαφών (κατά S.S.D.S. 1993) και σε κατηγορίες ιζημάτων (κατά Folk et al. 1970). Στην περιοχή μελέτης κυριαρχούν τα μεσαία (πηλώδη) εδάφη ενώ τα υπόλοιπα ανήκουν στην κατηγορία των ελαφρών (αμμώδων) εδαφών (Σχ. 2). Σύμφωνα με την ταξινόμηση σε κατηγορίες ιζημάτων τα δείγματα από την περιοχή μελέτης χαρακτηρίζονται από αμμώδη έως πηλοαμμώδη ή ιλυοαμμώδη (Σχ. 2).



Σχ. 2. Ποσοστιαία κατανομή (α) των εδαφών και (β) των ιζημάτων της περιοχής έρευνας

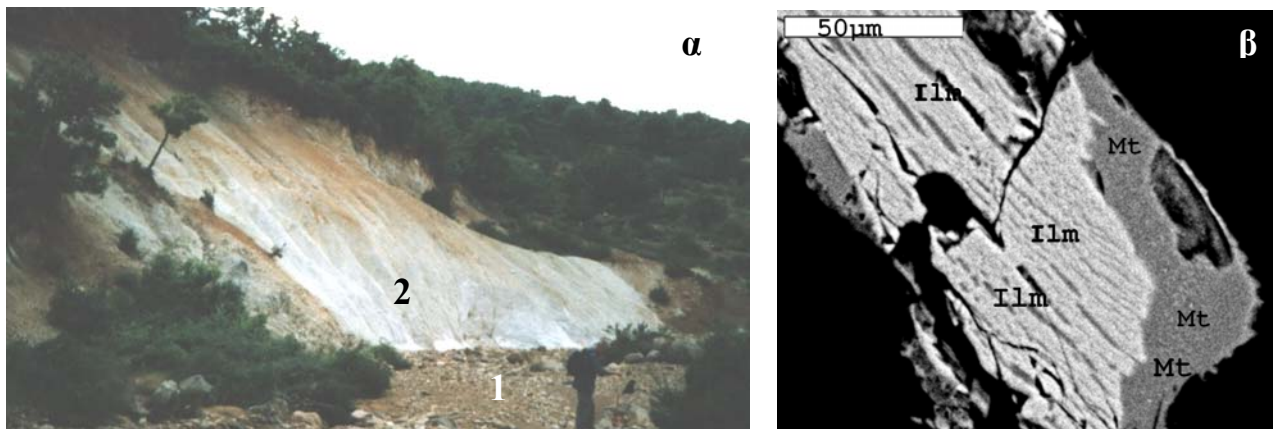
Fig. 2. Soil (a) and sediment (b) percentage in the area under investigation

Η ορυκτολογική σύσταση των ιζημάτων αποτελείται κυρίως από χαλαζία, καλιούχους αστρίους, πλαγιόκλαστα, πυρόξενους, χλωρίτη, μαρμαρυγίες, καολινίτη, μοντοριλλονίτη και κεροσίλβη. Σε μικρότερο ποσοστό εντοπίζονται τάλκης και επίδοτο. Τα μεταλλικά ορυκτά που συμμετέχουν είναι λειμωνίτης, μαγνητίτης, τιτανίτης, ιλμενίτης, ρουτίλιο και αιματίτης (Σχ. 3).

Από τη γεωχημική μελέτη που έγινε στα ιζήματα των ποταμών Σαπόρεμα και Φιλιούρη προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα σε ότι αφορά την κατανομή των κυρίων στοιχείων και ιχνοστοιχείων. Τα κύρια στοιχεία (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅) εμφανίζονται σε φυσιολογικές συγκεντρώσεις, οι οποίες επηρεάζονται από τα γειτονικά πετρώματα της λεκάνης απορροής, όπως προκύπτει από τη σύγκριση με τα βιβλιογραφικά δεδομένα που υπάρχουν για τα υγιή και εξαλλοιωμένα ηφαιστειακά πετρώματα της περιοχής Κώνου και Κασσιτερών (Michael et al. 1989, Voudouris 1997), καθώς και για τα Μεσοζωικά μεταμορφωμένα πετρώματα της Ενότητας

Μάκρης στην περιοχή Ευλαγανής (Μαγκανάς 1988, Μέλφος 1995).

Όπως αναφέρθηκε, από τα ιχνοστοιχεία μελετήθηκαν τα βαρέα μέταλλα Cr, Ni, Mn, Pb, As, Cu, Zn, V, Co και Cd και η κατανομή τους στα ιζήματα. Συγκεκριμένα οι χημικές αναλύσεις έδειξαν ότι το Cr κυμαίνεται από 30 έως 400 ppm (μ.ό. 169 ppm), το Ni από 10 έως 315 ppm (μ.ό. 106 ppm) και το Mn από 260 μέχρι και 1800 ppm (μ.ό. 937 ppm). Ο Pb βρίσκεται σε περιεκτικότητες από 20 έως 420 ppm (μ.ό. 64 ppm) και το As φτάνει έως 12 ppm (μ.ό. 3,50 ppm). Τέλος, οι περιεκτικότητες σε Cu κυμαίνονται από 15 έως 55 ppm (μ.ό. 34 ppm), σε Zn από 55 έως 145 ppm (μ.ό. 102 ppm), σε V από 85 έως 200 ppm (μ.ό. 136 ppm), σε Co από 4 έως 34 ppm (μ.ό. 18 ppm) και το Cd φτάνει έως 0.06 ppm (μ.ό. 0.03 ppm).



Σχ. 3. α. Περιοχή Σαπορέματος 1. Ιζήματα, 2. Έντονα εξαλλοιωμένο ηφαιστειακό πέτρωμα. β. Ιλμενίτης (Ilm) σε σύμφυση με μαγνητίτη (Mt). Στιλπνή τομή, SEM.
 Fig. 3. a. Saporema river. 1. Sediments 2. Hydrothermally altered volcanic rock. β. Ilmenite (Ilm) intergrown with magnetite (Mt). Polished section, SEM.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

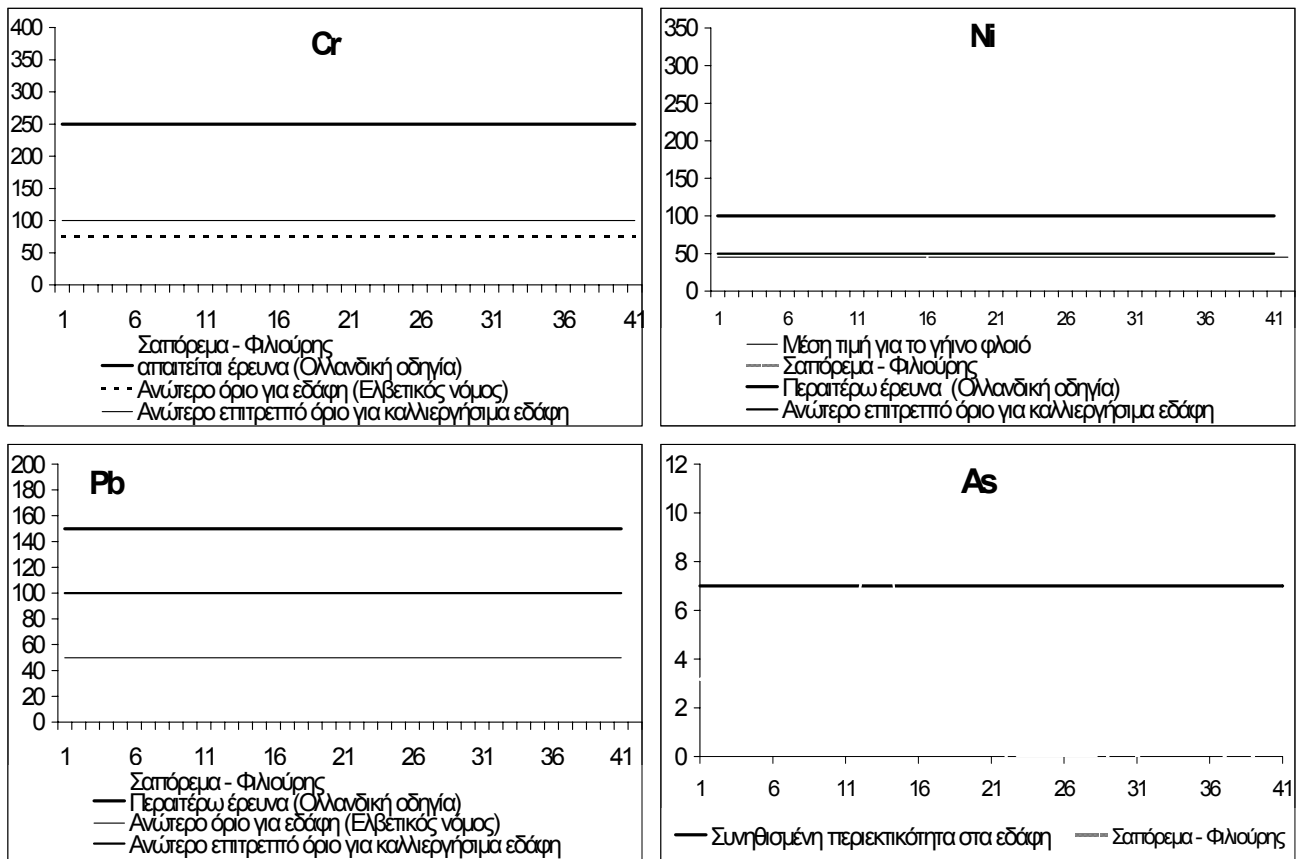
Η περιβαλλοντική γεωχημική μελέτη που έγινε στα ιζήματα των ποταμών Σαπόρεμα και Φιλιούρη έδειξε γενικά ότι οι περιεκτικότητες των αναλυθέντων βαρέων μετάλλων βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων, όπως αυτά προσδιορίζονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τις Διεθνείς Συνθήκες (Turekian and Wedepohl 1961, Ewers 1991, Klocke 1991, Merian 1991, Kabata-Pendias and Pendias 2001). Στα διαγράμματα του Σχήματος 4 φαίνονται οι καμπύλες των περιεκτικότητας τεσσάρων ιδιαίτερα τοξικών μετάλλων (Cr, Ni, Pb, As) οι οποίες συγκρίνονται με τα προτεινόμενα όρια ασφαλείας, και στο Σχήμα 5 παρατίθενται οι γεωχημικοί χάρτες με την κατανομή των στοιχείων αυτών στα ιζήματα των παραπάνω ποταμών.

Συγκεκριμένα, σε ότι αφορά το Cr, στο Σαπόρεμα οι περιεκτικότητές του κυμαίνονται σε φυσιολογικά όρια (<75 ppm) και είναι ελαφρώς πάνω από τη συνηθισμένη τιμή στα εδάφη (10 ppm). Αντίθετα στα ιζήματα του ποταμού Φιλιούρη (Σχ. 4) οι περιεκτικότητες είναι ιδιαίτερα υψηλές (>150 ppm) και ξεπερνούν το προτεινόμενο όριο ασφαλείας για καλλιεργήσιμα εδάφη (100 ppm) (Merian 1991). Εντοπίστηκαν τέσσερις θέσεις με γεωχημική ανωμαλία, όπου το Cr ξεπερνάει τα 250 ppm (Σχ. 5), περιεκτικότητες που θεωρούνται εξαιρετικά υψηλές και μεγαλύτερες από κάθε όριο ασφαλείας.

Οι περιεκτικότητες σε Ni είναι σε φυσιολογικές τιμές στα ιζήματα του Σαπορέματος (<30 ppm), ενώ στο Φιλιούρη (Σχ. 4) είναι αρκετά υψηλότερες (>100 ppm) από το ανώτερο επιτρεπόμενο όριο για καλλιεργήσιμα εδάφη (50 ppm) (Merian 1991). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εντοπίστηκαν τρεις θέσεις με γεωχημική ανωμαλία σε Ni (>200 ppm) κατά μήκος του ποταμού Φιλιούρη (Σχ. 5), όπου οι περιεκτικότητες είναι πολύ υψηλότερες από τα όρια που θέτει η Ολλανδική Οδηγία για περαιτέρω έρευνα.

Η γεωχημική ανωμαλία που παρατηρείται στα ιζήματα του Φιλιούρη στα στοιχεία Cr και Ni θα μπορούσε να αποδοθεί σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, κυρίως από τη λειτουργία βυρσοδειψείων στην ευρύτερη περιοχή. Επίσης οι υψηλές περιεκτικότητες σε Cr και Ni μπορεί να οφείλονται και στη διάβρωση και αποσάθρωση των πετρωμάτων και μεταλλευμάτων που διασχίζει ο ποταμός Φιλιούρης. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι στον άνω ρου του ποταμού και συγκεκριμένα στις θέσεις Βυρσίνη, Σμιγάδα και Χλόη εντοπίζονται υπερβασικά πετρώματα με κοιτάσματα χρωμίτη που εκτός από Cr περιέχουν και Ni. Είναι πολύ πιθανό τα στοιχεία αυτά να έχουν παρασυρθεί με τη δράση του ύδατος και λόγω μεταβολής της γεωμορφολογίας, αφού πλέον το ανάγλυφο γίνεται πιο ομαλό και άρα η ταχύτητα ροής του ύδατος είναι μικρότερη, να υπάρχει περισσότερος χρόνος για την καθίζηση των μετάλλων. Περαιτέρω έρευνα απαιτείται σε όλη την έκταση του ποταμίου συστήματος του Φιλιούρη, ώστε να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι παράγοντες που καθορίζουν την παρουσία υψηλών περιεκτικότητας σε Cr και Ni στα ιζήματα του ποταμού.

Σε ότι αφορά τα στοιχεία Pb και As, η παρούσα μελέτη έδειξε ότι υπάρχει τοπικά μία γεωχημική ανωμαλία στον ποταμό Σαπόρεμα στην περιοχή Αρσακείου (Σχ. 5). Πιο συγκεκριμένα ο Pb στο Σαπόρεμα παρουσιάζει υψηλότερες περιεκτικότητες (55 έως 126 ppm) από ότι στο Φιλιούρη (45 έως 19 ppm). Στο Σαπόρεμα οι τιμές



Σχ. 4. Καμπύλες με τις περιεκτικότητες σε Cr, Ni, Pb και As και τα αντίστοιχα προτεινόμενα διεθνή όρια ασφαλείας για κάθε στοιχείο.

Fig. 4. Cr, Ni, Pb, As curves and the related international safety standards for each element

αυτές είναι υψηλότερες από τη μέση τιμή για τα εδάφη (20 ppm), αλλά δεν ξεπερνάει τα όρια ασφαλείας (100 ppm) της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Merian 1991). Εντούτοις σε δύο δείγματα δυτικά του χωριού Αρσάκειο οι περιεκτικότητες σε Pb είναι εξαιρετικά υψηλές (275 και 417 ppm) και υψηλότερες από κάθε όριο ασφαλείας.

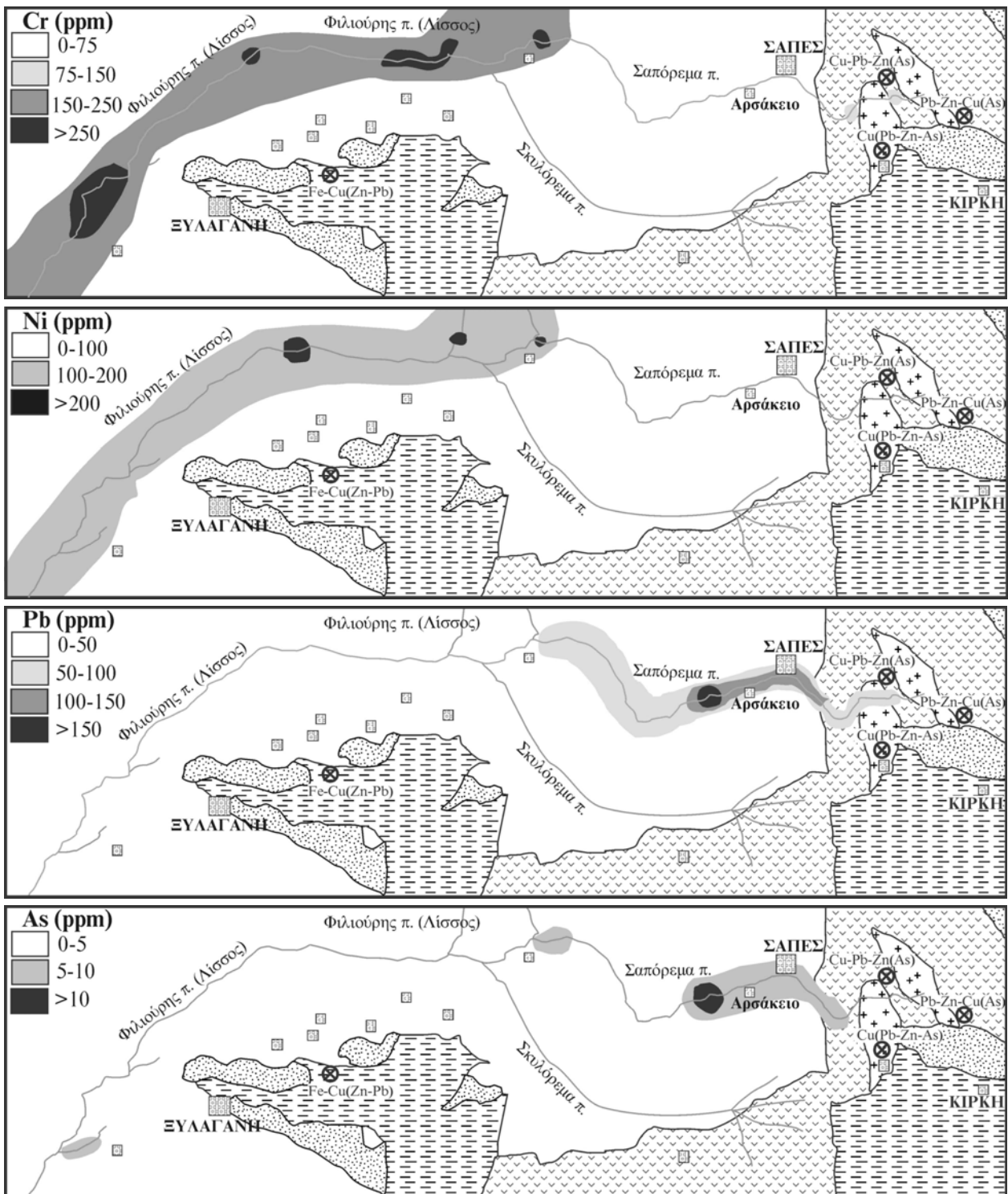
Το As που αποτελεί ένα ιδιαίτερα τοξικό στοιχείο, βρίσκεται στα μελετηθέντα ιζήματα σε περιεκτικότητες έως 5 ppm στον ποταμό Φιλιούρη και έως 10 ppm στο Σαπόρεμα. Εξαιρέση αποτελεί η περιοχή δυτικά του χωριού Αρσάκειο όπου φτάνει έως 12 ppm. Η τιμή αυτή μετρήθηκε στο δείγμα 13 όπου εντοπίζεται και η ανωμαλία σε Pb (Σχ. 5). Εντούτοις, οι περιεκτικότητες αυτές είναι φυσιολογικές, σύμφωνες με των 20 ppm που προτείνει η Ευρωπαϊκή Ένωση και άρα δεν εμπνέουν κάποια ανησυχία.

Οι σχετικά υψηλές περιεκτικότητες σε Pb και As που παρατηρούνται στην περιοχή Σαπών πιθανώς να οφείλονται στην παρουσία των μεταλλοφόρων κοιτασμάτων κατά μήκος του άνω ρου του Σαπορέματος (Κώνος, Κασσιτερές). Παρόλα αυτά, η γεωχημική ανωμαλία που παρατηρείται δυτικά του χωριού Αρσάκειο προφανώς οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες από τον παρακείμενο οικισμό.

Σε ότι αφορά τα μέταλλα Cu, Zn, V, Co, Cd, οι περιεκτικότητές τους δεν περιεκτικότητα του όμως είναι υψηλότερη από το όριο σύμφωνα με το οποίο επιτρέπεται η χρήση εδαφών σε καλλιέργειες (50 ppm) (Merian 1991).

Τέλος ο Cu (15 έως 55 ppm) και ο Zn (55 έως 145 ppm) βρίσκονται στα ιζήματα που μελετήθηκαν σε περιεκτικότητες λίγο υψηλότερες από τις φυσιολογικές για εδάφη (Cu: 20 έως 30 ppm, Zn: 20 ppm). Είναι όμως πολύ χαμηλότερες από τα όρια σύμφωνα με τα οποία τα εδάφη μπορούν να θεωρηθούν μολυσμένα (>300 ppm). Έτσι η σχετικά αυξημένη περιεκτικότητα σε Cu και Zn μπορεί να αποδοθεί στα γειτονικά πετρώματα και τις παρακείμενες μεταλλοφορίες που εμπλουτίζουν τα ιζήματα, αλλά δεν τα καθιστούν μολυσμένα.

Από την παρούσα μελέτη προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα ιζήματα των ποταμών Σαπόρεμα και Φιλιούρη δεν είναι ιδιαίτερα επιβαρυσμένα σε βαρέα μέταλλα, εκτός



Σχ. 5. Γεωχημικοί χάρτες με την κατανομή των στοιχείων Cr, Ni, Pb, As στα ιζήματα των ποταμών Σαπόρεμα και Φιλιούρη.

Fig. 5. Geochemical maps showing the Cr, Ni, Pb, As distribution in the sediments of the Saporema and Filiouris rivers.

από το Cr και το Ni των οποίων οι περιεκτικότητες στα ιζήματα του Φιλιούρη είναι εξαιρετικά υψηλές, πάνω από κάθε όριο ασφαλείας και του Pb που ξεπερνούν τοπικά στο Σαπόρεμα τα όρια ασφαλείας. Εντούτοις ιδιαίτερη εντύπωση προκαλεί το γεγονός ότι τα ιζήματα του Σαπορρέματος, το οποίο, παρόλο που διασχίζει τη μεταλλοφόρο επιθερμική περιοχή του Κώνου, δεν παρουσιάζουν υψηλές περιεκτικότητες σε βαρέα μέταλλα. Η φυσική διάβρωση λοιπόν στη μεταλλοφόρο αυτή περιοχή φαίνεται ότι δεν δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα επιβάρυνσης στα ιζήματα των ρεμάτων. Αυτό έχει

ιδιαίτερη σημασία, σε περίπτωση ανθρωπογενών επεμβάσεων στο μέλλον, όπως η προγραμματισμένη εξόρυξη και εκμετάλλευση κοιτασμάτων μεταλλεύματος για την απόληψη χρυσού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]AG Bodenkunde (1982) Bodenkundliche Kartieranleitung, 3. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 331p
- [2]Angelidis M.O. and Aloupi M. (2000) Geochemical study of coastal sediments influenced by river-transported pollution: Southern Evoikos gulf, Greece. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 40, 77-82.
- [3]Demetriades A., Stavrakakis P., Vergou-Vichou K. (1996). Contamination of surface soil of the Lavreotiki peninsula (Attiki, Greece) by mining and smelting activities. *Mineral Wealth*, 98, 7-16
- [4]Ewers U. (1991) Standards, guidelines and legislative regulations concerning metals and their compounds. In: *Metals and their compounds in the Environment* (Ed E. Merian), VCH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge, 687-711
- [5]Folk R.L., Andrews P.B. and Lewis D.W. (1970) Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in N. Zealand. *N.Z.J. Geol. Geophys.*, 13, 937-968
- [6]Kabata-Pendias A. and Pendias H. (2001) Trace elements in plants and soils. 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, Florida. 413p
- [7]Klocke A. (1991) Nutzungsmöglichkeiten und Sanierung belasteter Boeden. In: *VDLUFA-Schriftenreihe*, 34, Darmstadt, 42p
- [8]Μαγκανός Α. (1988) Μελέτη της ορυκτολογίας, πετρολογίας, γεωχημείας και των φαινομένων μεταμορφώσεως βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων της Περιφερειακής Ζώνης στην περιοχή της Θράκης. Διδακτ. Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών. 332σ
- [9]Meladiotis I., Veranis N., Nikolaidis N.P. (2002) Arsenic contamination in Central Macedonia, Northern Greece: Extent of the problem and potential solutions. In: *Protection and Restoration of the Environment VI* (Eds: A. Kungolos et al.) 913-920
- [10]Μέλφος Β., Βαβελίδης Μ., Φιλιππίδης Α., Χριστοφίδης Γ., Ευαγγέλου Ε. (1993) "Framboidal" σιδηροπυρίτης στη μεταλλοφορία Fe-Cu-(Zn-Pb-Au) της περιοχής Ευλαγανής του Νομού Ροδόπης (Θράκη). *Δ. Ελ. Γεωλ. Εταιρ.*, XXVIII/2, 407-415.
- [11]Μέλφος Β. (1995) Έρευνα των βασικών και ευγενών μετάλλων στην Περιφερειακή Ζώνη της Θράκης. Διδακτ. Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 293σ
- [12]Merian E. (1991) *Metals and their compounds in the Environment*. Verlag Chemie, Weinheim
- [13]Michael C., Constantinides D., Ashworth K., Perdikatsis V. and Demetriades A. (1989) The Kirki vein polymetallic mineralization, NE Greece. *Geol. Rhodopica*, 1, 366-373
- [14]Mountouris A., Voutsas E., Tassios D. (2002) Application of ecological risk assesment in heavy metal contaminated sites in Greece. In: *Protection and Restoration of the Environment VI* (Eds: A. Kungolos et al.) 1577-1584
- [15]Παπαδόπουλος Π. (1982) Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο *Μαρώνεια*, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ, Αθήνα
- [16]Skarpelis N., Voudouris P., Arikas K. (1999) Exploration for epithermal gold in SW Thrace, Greece: New target areas. In: *Mineral deposits: Processes to Processing* (Eds: Stanley et al.) 589-592
- [17]S.S.D.S. (Soil Survey Division Staff) (1993) *Soil Survey manual*. U.S. Dept. Agri. Handbook. No 18, 437p
- [18]Swawh A.J. and Constantinides D.C. (2001) The Sapes gold project. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXIV/3, 1073-1080
- [19]Turekian K.K. and Wedepohl K.H. (1961) Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. In: *Bull. Geol. Soc. Am.* 72, 175-172
- [20]Voudouris P. (1993) Mineralogische, mikrothermometrische und geochemische Untersuchungen an Epithermalen Au-Ag-Gangmineralisationen bei Kassiteres/Sape (Nordostgriechenland). Ph.D. Universität Hamburg. 218p
- [21]Voudouris P. (1997) Epithermal and porphyry type mineralizations in Kassiteres area, Thrace (Greece). In: *Mineral Deposits*, ed. Papunen. 683-686
- [22]Watzl V. (1998) Untersuchung der von Bergbau und Erzaufbereitung verursachten chwermetallbelastungen entlang des Flusses Erini (Thrakien, Griechenland). Diplomarbeit Miner. Petr. Inst. Univers. Hamburg, 110p