

Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ.	σελ.	Αθήνα
	XXI	45 - 52	1990
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.	pag.	Athens

ΙΣΟΤΟΠΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΓΑΛΗΝΙΤΩΝ ΑΠΟ ΤΑ
ΘΕΙΟΥΧΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ Pb-Zn (Au, Ag) ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ, Β. ΕΛΛΑΔΑ

Σ. ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΥ*

Σ Υ Ν Ο Ψ Η

Η εργασία αυτή αναφέρεται στην ισοτοπική σύσταση του μολύβδου γαληνιτών από τις θειούχες μεταλλοφορίες Pb-Zn (Au, Ag) της Ανατολικής Χαλκιδικής. Τα ισοτοπικά δεδομένα που προέκυψαν από τις αναλύσεις υποδηλώνουν προέλευση για το μόλυβδο από προϋπάρχον εξελιγμένο υλικό του φλοιού, και χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια ανεξάρτητα κλίμακας ενός κοιτάσματος ή μεταξύ κοιτασμάτων περιοχής αποδεικνύοντας την κοινή τους προέλευση. Η ομογενοποίηση των ισοτόπων του μολύβδου έλαβε χώρα κατά το στάδιο της μιγματιζώσης ή/και της μαγματογένεσης. Η ηλικία των μεταλλοφοριών με βάση το μοντέλλο Stacey-Kramers (1975) είναι μικρότερη των 50 εκ. ετών.

A B S T R A C T

The present paper is a study of the isotopic composition of ore galenas from the sulfide Pb-Zn (Au, Ag) deposits of the Eastern Chalkidiki. The isotopic data suggest that lead was derived from pre-existing evolved predominantly crustal material and they are also characterized by a significant degree of homogenization despite scale within a deposit or between deposits indicating common origin for the ores. This homogenization of the lead isotopes took place during the stage of migmatization or/and magma genesis. Model ages for the mineralizations on the basis of Stacey-Kramers (1975) model are lower than 50 Ma.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - INTRODUCTION

Η συστηματική μελέτη των ισοτόπων του μολύβδου σε μεταλλοφορίες και πετρώματα του άμεσου γεωλογικού τους περιβάλλοντος μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά (i) στον περιορισμό του αριθμού των πιθανών γενετικών μοντέλλων της μεταλλοφορίας ή του κοιτάσματος που μελετάται, (ii) στην οριοθέτηση της ηλικίας τους και (iii) στην προσπάθεια επιλογής κοιτασματολογικών στόχων με τις μεγαλύτερες πιθανότητες θετικής οικονομικής διάστασης.

* S.I. KALOGEROPOULOS. Isotopic composition of galena leads from the sulfide Pb-Zn (Au, Ag) ore deposits of the Eastern Chalkidiki, N. Greece.

Ανακοινώθηκε 17.5.85, στη Συνεδρία της Αθήνας.

Στα πλαίσια της αξιοποίησης των ισοτοπικών στοιχείων του μολύβδου από γαληνίτες των θειούχων κοιτασμάτων Pb-Zn (Au, Ag) της Ανατολικής Χαλκιδικής (Εικ. 1) η εργασία αυτή αποτελεί αφετηρία στην κατεύθυνση απαντήσεων στα παραπάνω ερωτήματα.

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ - ANALYTICAL METHOD

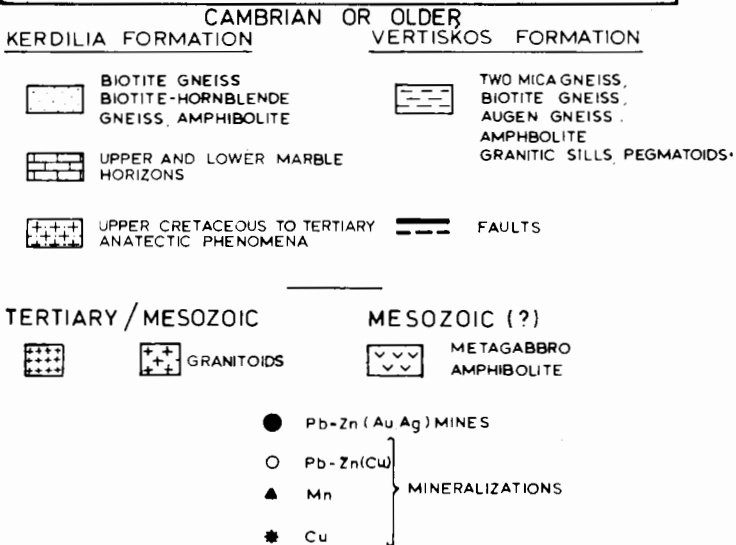
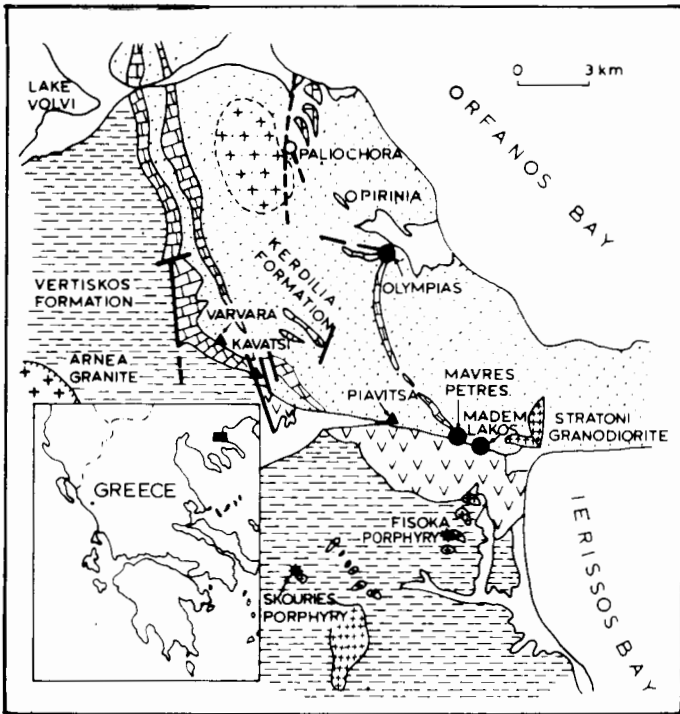
Επτά δείγματα γαληνίτη, δύο από κάθε κοίτασμα, την Ολυμπιάδα, το Μαντέμ Λάκκο και Μαύρες Πέτρες, αντίστοιχα και ένα δείγμα συμπυκνώματος αναλύθηκαν για τα ισοτοπικά χαρακτηριστικά του μολύβδου στο γεωχημικό εργαστήριο Veniny Meinesz της Ουτρέχτης, Ολλανδία.

Οι αναλύσεις της μελέτης αυτής παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 μαζί με εκείνες που αναφέρονται από τον Vanelidis (1984). Μετά την αρχική επεξεργασία των δειγμάτων έγινε η μέτρηση σε φασματογράφο μάζας προηγμένης τεχνολογίας. Σε κάθε δείγμα έγινε διόρθωση για διάκριση μάζας (mass discrimination) 1‰/μονάδα μάζας. Η διόρθωση αυτή προσδιορίσθηκε από την επαναληψιμότητα του standard NBS SRM 981. Η συνολική ακρίβεια (1 σ) κάθε μέτρησης είναι καλύτερη από 1‰/μονάδα διαφορά μάζας.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - DISCUSSION

Τα στοιχεία του Πίνακα 1 παρουσιάζονται στα διαγράμματα των Εικόνων 2, 3 και 4. Από τα δεδομένα αυτά προκύπτει ο ομοιογενής χαρακτήρας της ισοτοπικής σύστασης του μολύβδου ανεξάρτητα αν η κλίμακα αναφοράς περιορίζεται σε ένα κοίτασμα (π.χ. Ολυμπιάδα) ή σε ομάδα κοιτασμάτων στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Χαλκιδικής (Ολυμπιάδα, Μ. Λάκκος, Μ. Πέτρες, Εικ. 1).

Η Εικόνα 2 έχει προκύψει από το μοντέλλο εξέλιξης του μολύβδου plumbotectonic των Doe and Zartman (1979). Το μοντέλλο αυτό είναι βασικά μια βελτίωση και προέκταση εκείνου που αναπτύχθηκε από τον Armstrong (1968) και υποθέτει ανάμιξη του μολύβδου σε τέσσερα περιβάλλοντα κατά τη διάρκεια έντεκα (11) χρονικά ίσης διάρκειας ορογενέσεων από το 4.0 Ga μέχρι σήμερα. Τα περιβάλλοντα αυτά είναι ο μανδύας, ο ανώτερος φλοιός, ο κατώτερος φλοιός και το ορογενετικό. Το τελευταίο αντιπροσωπεύει περιβάλλον στο οποίο έχουν δυνατή συμμετοχή και οι τρεις πρώτες πηγές ή περιβάλλοντα. Θα πρέπει να τονισθεί ότι το μοντέλλο των Doe and Zartman (1979) είναι μια γενικευμένη υπόθεση που στοχεύει στον έλεγχο των θεωρήσεων που αφορούν την ισοτοπική εξέλιξη του μολύβδου στον πλανήτη μας. Έτσι, η εφαρμογή του δεν θα πρέπει να ξεπερνά αυτές τις γενικές δυνατότητες ερμηνείας που προσφέρει. Σύμφωνα με το μοντέλλο αυτό η σύσταση του μολύβδου των κοιτασμάτων της Ανατολικής Χαλκιδικής προβάλλεται πάνω από την ορογενετική καμπύλη εξέλιξης του μολύβδου υποδηλώνοντας ότι ο μολύβδος προέρχεται κύρια από υλικό του



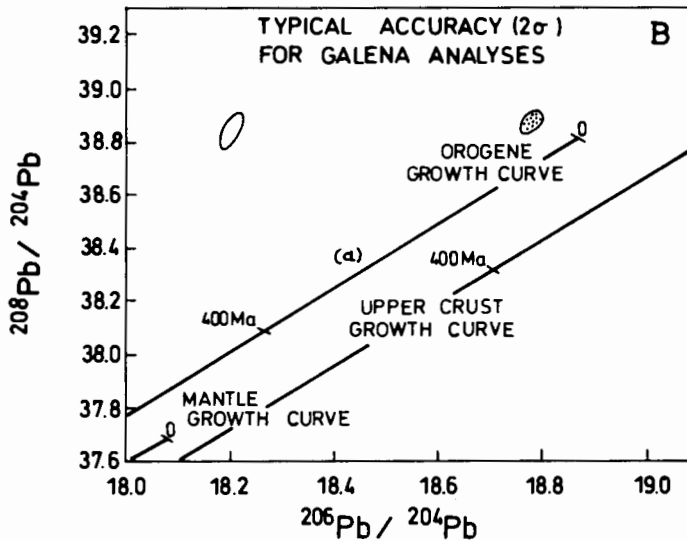
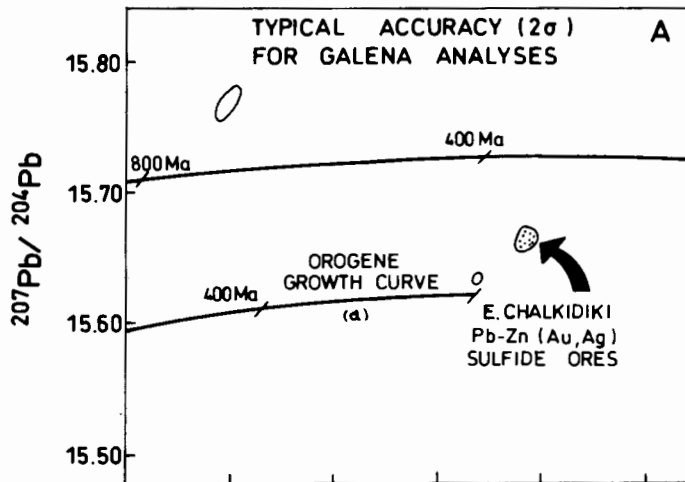
Εικ. 1. Τα θειούχα κοιτάσματα Pb-Zn (Au, Ag) της Ανατολικής Χαλκιδικής που μελετήθηκε η ισοτοπική σύσταση του μολύβδου των γαληνιτών (Kockel et al. 1977).

Fig. 1. The Pb-Zn (Au, Ag) sulphide ore deposits of Eastern Chalkidiki where the isotopic composition of ore lead was studied (Kockel et al., 1977).

Πίν. 1. Ισοτοπικές Αναλύσεις Μολύβδου σε γαληνίτες από τα συμπαγή θειούχα κοιτάσματα Pb-Zn (Au, Ag) της Ανατολικής Χαλκιδικής, Β. Ελλάδα. Οι αναλύσεις (1) είναι από τον Vavelidis (1984).

Table 1. Isotopic Analyses of Galena lead from the Eastern Chalkidiki Pb-Zn (Au, Ag) sulfide ore deposits, N. Greece. Analyses (1) are from Vavelidis (1984).

Δείγμα No	Κοίτασμα	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb
		^{204}Pb	^{204}Pb	^{204}Pb
- 68	Ολυμπιάδα	18.794	15.678	38.896
G	Ολυμπιάδα	18.794	15.678	38.906
70L	Μ. Λάκκος	18.778	15.659	38.880
78L	Μ. Λάκκος	18.781	15.660	38.905
247L	Μ. Πέτρες	18.807	15.669	38.904
260L	Μ. Πέτρες	18.805	15.665	38.904
C	Συμπύκνωμα	18.779	15.671	38.887
TG40		18.78	15.67	38.86
TG39E	1 Ολυμπιάδα	18.77	15.66	38.82
TG39A-2		18.77	15.66	38.80
TG38A-8	1 Μ. Πέτρες	18.76	15.62	38.77



Εικ. 2. Λόγοι $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ γαληνίτη από τα θειούχα κοιτάσματα Pb-Zn (Au, Ag) της Ανατολικής Χαλκιδικής σε σχέση με τις καμπύλες εξέλιξης του μολύβδου για υλικό του μανδύα (mantle) και υλικό που συμμετέχει σε ορογενετικές διαδικασίες (orogene) σύμφωνα με το plumbotectonic μοντέλλο των Doe and Zartman (1979). Η καμπύλη (α) αντιπροσωπεύει ισοτοπικές συστάσεις μολύβδου του ανώτερου φλοιού που συμμετέχει στις ορογενέσεις.

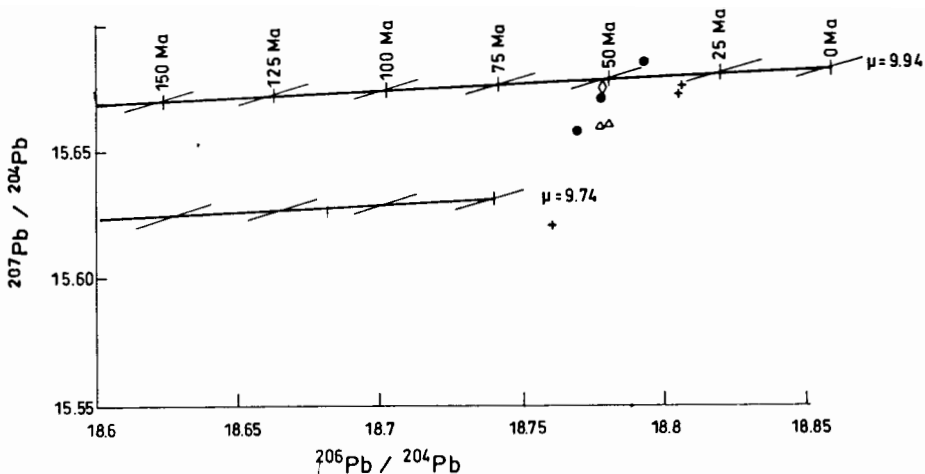
Fig. 2. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios in galenas from the Pb-Zn (Au, Ag) sulphide ore deposits of Eastern Chalkidiki relative to the mantle and orogene lead isotope evolution curves of the plumbotectonic model of Doe and Zartman (1979). Curve (a) represents the lead isotopes of upper crust contributed to orogene.

φλοιού. Από τις Εικόνες 3 και 4 προκύπτει ότι οι τιμές μ κυμαίνονται από 9.74 μέχρι 9.94 περίπου ενώ οι τιμές Th/U βρίσκονται γύρω στο 3.72 έως 3.80, αντίστοιχα υποδηλώνοντας μαζί με την ορογενετική του φύση μια προέλευση για το μόλυβδο από προϋπάρχοντα εξελιγμένο υλικό του φλοιού (pre-existing evolved crustal material). Ο ομοιογενής χαρακτήρας του μολύβδου ανεξάρτητα κοιτάσματος υποδηλώνει κοινή προέλευση και ταυτόχρονα υποδεικνύει δύο πιθανούς μηχανισμούς που χαρακτηρίζονται για την ομογενοποιητική τους ικανότητα. Ο πρώτος αναφέρεται στην μιγματικότητα (late orogenic migmatization) και ο δεύτερος στον μαγματισμό. Για να διευκρινισθεί ποιός από τους δύο παραπάνω μηχανισμούς είναι ο κυρίαρχος απαιτούνται (α) σειρά ισοτοπικών αναλύσεων του μολύβδου στα πετρώματα που αποτελούν το άμεσο και ευρύτερο γεωλογικό περιβάλλον των κοιτασμάτων που μελετώνται και (β) η συνεκτίμησή τους με τα υπόλοιπα γεωλογικά και κοιτασματολογικά δεδομένα. Όλα τα παραπάνω θα συνεισφέρουν στην επιλογή των πιο αποτελεσματικών παραμέτρων που θα συμβάλλουν και στον εντοπισμό νέων μεταλλοφοριών του ιδίου τύπου. Πρόσθετα, οι ηλικίες που προκύπτουν από το μοντέλλο (model ages) Stacey & Kramers (1975) είναι μικρότερες των 50 εκ. ετών (Εικ. 3).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - CONCLUSIONS

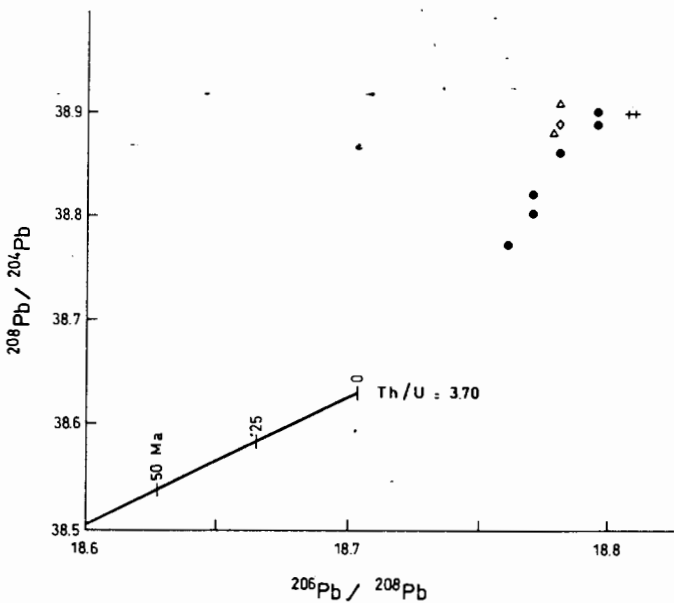
Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία αυτή είναι τα παρακάτω :

1. Ο ομοιογενής χαρακτήρας της ισοτοπικής σύστασης του μολύβδου των γαληνιτών από τα θειούχα κοιτάσματα Pb-Zn (Au, Ag) της Ανατολικής Χαλκιδικής υποδηλώνει την κοινή προέλευση και εξέλιξή του.
2. Ο ορογενετικός του χαρακτήρας, οι τιμές $\mu=9.78$ μέχρι 9.94 και ο λόγος Th/U= 3.72 μέχρι 3.80 υποδηλώνουν προέλευση από προϋπάρχον εξελιγμένο υλικό του φλοιού (pre-existing evolved crustal material).
3. Ομογενοποίηση του μολύβδου κατά την μιγματικότητα, απόπλυση (leaching) του από υδροθερμικά διαλύματα και συγκέντρωσή του σε μεταλλοφορίες ή/και η ομογενοποίησή του από τη μαγματική δράση που έχει λάβει χώρα στα τελευταία στάδια της ορογένεσης και συγκέντρωση του μέσω κύρια μαγματικής προέλευσης υδροθερμικών διαλυμάτων σε μεταλλοφορίες είναι οι δύο κύριες μεταλλογενετικές πορείες που ερμηνεύουν τα ισοτοπικά χαρακτηριστικά του μολύβδου.
4. Η ηλικία μοντέλλου (model age) της συγκέντρωσης του μολύβδου στις μεταλλοφορίες βάσει του μοντέλλου Stacey-Kramers (1975) είναι μικρότερη των 50 εκ.ετών.



Εικ. 3. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Καμπύλες εξέλιξης του μολύβδου είναι από το μοντέλλο των Stacey and Kramers (1975). Η μία αναφέρεται στο μέσο φλοιό σε $\mu=9.74$ και $\text{Th}/\text{U}=3.70$ και η άλλη με $\mu=9.94$ και αρχή 3.7 Ga. Τα δεδομένα είναι Ολυμπιάς (●), Μ. Λάκκος (Δ) και Μ. Πέτρης (+) και ισχύουν τα ίδια για την Εικόνα 4. Άνοικτος ρόμβος είναι συμπύκνωμα.

Fig. 3. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Growth curves shown is that of Stacey and Kramers (1975). One is the reference lead growth curve for average crust with $\mu=9.74$ and $\text{Th}/\text{U}=3.70$ and the other is with $\mu=9.94$ and starting age 3.7 Ga. Data are for Olympias (●), M. Lakkos (Δ) and M. Petres (+) and are also the same in Fig. 4. Open rhombus is concentrate.



Εικ. 4. $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Καμπύλη εξέλιξης του μολύβδου είναι από το μοντέλλο των Stacey and Kramers (1975) με $\mu=9.74$ και $\text{Th}/\text{U}=3.70$ όπως στην Εικ. 3.

Fig. 4. $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Growth curve shown in that of Stacey and Kramers (1975) with $\mu=9.74$ and $\text{Th}/\text{U}=3.70$ as in Fig. 3.

BIBΛIOΓPAΦIA - REFERENCES

- ARMSTRONG, R.L. (1968). A model for the evolution for strontium and lead isotopes in a dynamic earth. *Rev. Geophys.*, 6, 175-199.
- DOE, B.R. & ZARTMAN, R.E. (1979). Plumbotectonics, the Phanerozoic. In H.L. BARNES (Ed.) *Geochemistry and Hydrothermal Ore Deposits*. Second Edition. pp 22-70. Wiley Interscience, New York.
- KOCKEL, F.-MOLLAT, H. & WALTER, H. (1977). Erläuterungen zur Geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100.000 (nord-Griechenland) - Hannover, 119 pp.
- STACEY, J.S. & KRAMERS, J.D. (1975). Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth plan. Sci. Letters*, v.26, 207-221.
- VAVELIDIS, M. (1984). Neue Beobachtungen zur Genese der schichtgebundenen Pb-Zn-(Fe-Bu-As-Ag-Cu) und der Au-vorkommen auf Thasos (Nordgriechenland) mit einem Beitrag zur Geologie Petrographie und zum Metamorphosegrad des Gesteins-Komplexes der Insel 1984.