

Ορυκτολογία του πλουτωνίτη της Καστοριάς (Δυτ. Μακεδονία)***Α. ΓΡΗΓΟΡΙΑΔΟΥ¹, Α. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ¹, Γ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ¹****ΣΥΝΟΨΗ**

Εξετάζεται η ορυκτολογία του γνευσιακού πλουτωνίτη της Καστοριάς ο οποίος αποτελείται από βιοτιτικούς – κερροσιλιβικούς πορφυροειδείς γρανίτες έως γρανодиוריτές (GRD) που συχνά περιέχουν μονζοδιוריτικής σύστασης λεπτόκοκκο εγκλείσματο (MME). Τα πρωτογενή ορυκτά των GRD είναι χαλαζίας, μικροκλινης περθιτιωμένος, πλαγιόκλαστο έντονα αλλοιωμένο προς σερικήτη και επιδοτο, βιοτίτης, αμφιβολοί, τιτανίτης, απατίτης, ζιρκόνιο, μαγνητίτης και αλλανίτης, ενώ επιδοτο, ακτινόλιθος, χλωρίτης και σερικήτης εμφανίζονται ως δευτερογενή ορυκτά. Τα MME περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό βιοτίτη, αμφιβόλου και πλαγιόκλαστου και μικρότερο ποσοστό μικροκλινη και χαλαζία σε σχέση με τους GRD. Οι βιοτίτες GRD και MME δείχνουν την ασβεσταλκαλική φύση των πετρωμάτων στα οποία περιέχονται. Με βάση την περιεκτικότητα των κερροσιλιβίων σε Al βρέθηκε ότι οι ελάχιστες πιέσεις κρυστάλλωσης κυμαίνονται γενικά από 2 έως 4 kb. Εκφράζεται η άποψη ότι τα MME προέρχονται από ένα βασικό μάγμα που ενχύθηκε σε άλλο οξινότερο μάγμα (GRD). Η διαφορά ιξώδους των δυο μαγμάτων δεν επέτρεψε τη μίξη τους αλλά οδήγησε στη μηχανική ανάμιξή τους.

Λέξεις κλειδιά: Πελαγονική ζώνη, Καστοριά, πλουτωνίτης, ορυκτολογία

ABSTRACT

The mineralogy of the gneissic Kastoria pluton is investigated. The pluton comprises biotite - hornblende porphyritic granites to granodiorites (GRD). Mafic microgranular enclaves (MME) of monzodioritic composition are present in GRD. Quartz, perthitic microcline, plagioclase altered to sericite and epidote, biotite, amphibole, titanite, apatite, zircon, magnetite and allanite are the primary minerals while epidote, actinolite, chlorite and sericite are present as secondary minerals. MME have higher contents of biotite, amphibole and plagioclase, and lower contents of quartz and microcline than those found in GRD. Biotites indicate the calc-alkaline nature of the rocks. Using the Al-in-hornblende geobarometer the minimum pressure of crystallization of the investigated rocks was calculated from 2 to 4 kb. It is suggested that MME originated from a basic magma injected into a more acid magma (GRD). The difference in viscosities of the two magmas did not allow their mixing but resulted in their mingling.

Key words: Pelagonian zone, Kastoria, pluton, mineralogy

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο παλαιοζωικός μαγματισμός της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης, που εκδηλώνεται με την παρουσία κυρίως ενδιάμεσων – άξινων πλουτωνικών πετρωμάτων, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς η έρευνά του μπορεί να δώσει απαντήσεις σε προβλήματα όπως η γένεση, η εξέλιξη και το γε-

ωτεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού των πυριγενών αυτών πετρωμάτων, που εμφανίζονται στη ζώνη, και τελικά να βοηθήσει στη διαμόρφωση ενός γεωτεκτονικού μοντέλου στην περιοχή αυτή. Ένας από τους μεγαλύτερους πλουτωνίτες της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης είναι αυτός της Καστοριάς, που βρίσκεται στον όρος Βέρνο. Στην πα-

* *Mineralogy of the Kastoria pluton (Western Macedonia)*

¹ Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασμοτολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 541 24 Θεσσαλονίκη

ρούσα μελέτη, που βασίζεται στην πτυχιακή εργασία της Α. Γ., εξετάζεται η ορυκτολογία του πλουτωνίτη, με στόχο να αντληθούν πληροφορίες για την εξέλιξη του μάγματος και τις συνθήκες σχηματισμού του πλουτωνίτη.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ - ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ

Ο ορεινός όγκος του Βέρνου συγκροτείται κυρίως από πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα της Πελαγονικής, ενώ στη δυτική πλευρά του, στην περιοχή Καστοριάς – Απόσκεπου, συμμετέχει και μια ημμεταμορφωμένη κλαστική διάπλαση με τους επικείμενους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους. Η γεωλογική δομή του Βέρνου χαρακτηρίζεται από αλληπάλληλες σειρές κρυσταλλικών πετρωμάτων που επιπτεύουν η μία την άλλη από Α προς Δ και είναι η σειρά Βίτσι – Νυμφαίου, η σειρά Κλεισούρας, ο γνευσιακός πλουτωνίτης της Καστοριάς, η σειρά Σιδηροχωρίου και η σειρά Απόσκεπου. Ο γνευσιακός πλουτωνίτης της Καστοριάς είναι ένας μεγάλος πλουτωνικός όγκος, ηλικίας 302 εκ. χρόνων (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ 1983), που βρίσκεται ΒΑ της λίμνης της Καστοριάς, κατέχει την κεντρική μάζα της οροσειράς του Βέρνου και προεκτείνεται με στενή επιμήκη εμφάνιση προς τα ΒΔ. Στο σημείο εκείνο ενώνεται με το μεγάλο πλουτωνικό όγκο του Βαρνούντα (ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ 1983, ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ 1991) ο οποίος με τη σειρά του συνεχίζεται και προς τη Γιούγκοσλαβία. Ο πλουτωνίτης βρίσκεται συμπτυχωμένος με τα μεταμορφωμένα πετρώματα της σειράς Κλεισούρας.

Τα πετρώματα που συγκροτούν τον πλουτωνίτη ταξινομούνται ως βιοτιτικοί – κερροσιλβικοί πορφυροειδείς γρανίτες έως γρανοδιορίτες (GRD). Μακροσκοπικά έχουν πράσινο χρώμα και περιέχουν μεγακρυστάλλους Κ-αστρίων, ρόδινο χρώματος, οι οποίοι προσδίδουν στα πετρώματα έντονο πορφυροειδή ιστό. Τα πρωτογενή ορυκτά συστατικά τους είναι: χαλαζίας, Κ-άστριοι, πλαγιόκλαστα, βιοτίτης, κερροσίλβη, τιτανίτης, απατίτης, ζirkόνιο, μαγνητίτης, αλλανίτης, ενώ επίδοτο, ακτινόλιθος, χλωρίτης και σερίκίτης εμφανίζονται ως δευτερογενή ορυκτά. Τα γρανιτικά πετρώματα συχνά περιέχουν μονζοδιωριτικής σύστα-

σης λεπτόκακκα εγκλείσματα (ΜΜΕ) με σκούρο πράσινο χρώμα. Τα ΜΜΕ περιέχουν τα ίδια ορυκτά συστατικά όπως και τα γρανιτικά πετρώματα με πολύ μεγαλύτερη συμμετοχή όμως των φεμικών συστατικών και μικρή συμμετοχή του χαλαζία. Οι επιφάνειες επαφής των ΜΜΕ με τα πετρώματα στα οποία περιέχονται είναι σαφείς αλλά όχι ομαλές και συχνά μοιάζουν να διαεισδύει το ένα πέτρωμα στο άλλο.

3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Οι χημικές αναλύσεις των ορυκτών έγιναν με μικροαναλυτή στο εργαστήριο ηλεκτρονικής μικροσκοπίας του Α.Π.Θ. και οι χημικές αναλύσεις των πετρωμάτων με τη μέθοδο ΧRF στο τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου της Κολωνίας, χρησιμοποιούνται δε στην παρούσα εργασία ως αδημοσίευτα αποτελέσματα για τη συσχέτιση της χημείας των ορυκτών με τα πετρώματα στα οποία περιέχονται.

4. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ

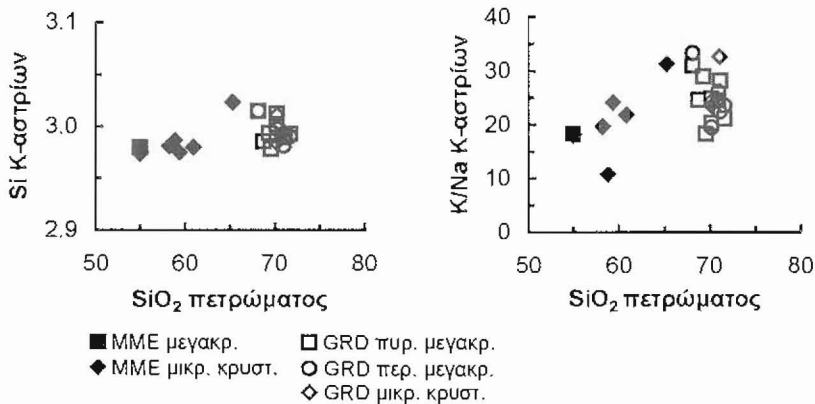
4.1. Χαλαζίας

Ο χαλαζίας απαντάται και στους δύο πετρογραφικούς τύπους, αλλοτριόμορφος και καλύπτει διάκενα των υπόλοιπων ορυκτών. Σχεδόν σε όλα τα δείγματα εμφανίζει κυματοειδή κατάσβεση που δείχνει την τεκτονική καταπόνηση του πετρώματος.

4.2. Κ-άστριοι

Οι Κ-άστριοι είναι περθητιωμένοι μικροκλινείς και εμφανίζονται στα ΜΜΕ και στους GRD τόσο ως συστατικό της θεμελιώδους μάζας, με τη μορφή μικρών κρυστάλλων όσο και με τη μορφή μεγακρυστάλλων. Μακροσκοπικά, το χρώμα τους είναι λευκό έως ρόδινο. Το μέγεθος των μικρών κρυστάλλων κυμαίνεται από 0,3 έως 8 mm ενώ των μεγακρυστάλλων φτάνει τα 5 cm.

Για τη μελέτη των Κ-αστρίων έγιναν χημικές αναλύσεις σε αντιπροσωπευτικά δείγματα των GRD και ΜΜΕ που παραθέτονται στον πίνακα 1 μαζί με την ιοντική συμμετοχή και τη σύσταση σε Or, Ab και An. Από διαγράμματα συσχέτισης της σύστασης των Κ-αστρίων με αυτή των πετρωμά-



Σχήμα 1. Προβολή του Si, και του λόγου K/Na των K-αστρίων του πλουτωνίτη της Καστοριάς ως προς το SiO₂ των αντίστοιχων πετρωμάτων.

των στα οποία περιέχονται φαίνεται ότι (Σχ. 1) καθώς προχωρά η διαφοροποίηση οι K-άστριοι των MME γίνονται πιο πλούσιοι σε Si, με αντίστοιχη μείωση του Al. Ταυτόχρονα το K αυξάνεται και το Na μειώνεται με αποτέλεσμα ο λόγος K/Na να αυξάνεται. Αντίθετα στους K-αστρίους των GRD φαίνεται, ο λόγος K/Na μειώνεται με την αύξηση του SiO₂ του πετρώματος. Δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ πυρήνων και περιφερειών των κρυστάλλων των GRD, καθώς επίσης και μεταξύ μικρών κρυστάλλων και μεγακρυστάλλων, εκτός από τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα K των μικρών κρυστάλλων GRD. Μικρότερες τιμές Si παρατηρούνται στους κρυστάλλους των MME σχετικά με τους κρυστάλλους GRD ενώ το K και το Na κυμαίνονται στις ίδιες τιμές.

4.3. Πλαγιόκλαστα

Τα πλαγιόκλαστα υπάρχουν σε όλα τα δείγματα των πλουτωνικών πετρωμάτων της Καστοριάς. Είναι έντονα αλλοιωμένα προς σερικίτη και επίδοτο, γεγονός στο οποίο οφείλεται το πράσινο χρώμα των πετρωμάτων. Το μέγεθος των πλαγιόκλαστων των GRD κυμαίνεται από 0,05 έως 2 mm. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων πλαγιόκλαστων αντιπροσωπευτικών δειγμάτων δίνονται στον πίνακα 2.

Τα πλαγιόκλαστα έχουν σύσταση που κυμαίνεται από Ab_{80,2} έως Ab_{99,7} ως αποτέλεσμα της έντονης αλλοιώσής τους. Η περιεκτικότητά τους σε K₂O είναι χαμηλή αφού η μοριακή συμμετοχή του Or δεν ξεπερνά το 1,9%. Από το σχήμα 2, όπου προβάλλεται η χημική σύσταση των πλαγιόκλαστων ως προς την περιεκτικότητα του αντίστοιχου πετρώματος σε SiO₂ και CaO, φαίνεται ότι το ποσοστό Ab% των MME μειώνεται καθώς προχωρά η διαφοροποίηση (η οποία εκφράζεται με την αύξηση του SiO₂ και την ελάττωση του CaO των πετρωμάτων). Η μη κανονική μεταβολή της σύστασης των πλαγιόκλαστων οφείλεται πιθανότατα στην αλλοιώσή τους και δεν είναι αποτέλεσμα διαδικασίας εξέλιξης του μάγματος. Σε πλαγιόκλαστο GRD που αναλύθηκε στον πυρήνα και την περιφέρεια βρέθηκε μεγαλύτερο ποσοστό Ab% στην περιφέρεια σε σχέση με τον πυρήνα του.

4.4. Βιοτίτης

Οι βιοτίτες εμφανίζονται στους GRD και MME με χρώμα καστανό και έντονη κυμοτοειδή κατάσβεση που δείχνει ότι έχουν δεχθεί τεκτονική καταπόνηση. Οι περισσότεροι από τους βιοτίτες των MME είναι αποχρωματισμένοι (αλλοιωμένοι σε λευκό μαρμαρυγία, που σε αρκετές περιπτώσεις

Πίνακας 1. Αναλύσεις καλιούχων ασφίων από τα πλουτωτικά πετρώματα της Καστοριάς

Πετρωτικό Δείγμα	MME										GRD												
	TH-16E	TH-16E	PE-9E	TH-12E	FO-12E	TH-5E	GA-9E	PE-11	PE-1	TH-5	GA-9	TH-15	TH-15	TH-8	TH-8	TH-18	TH-18	TH-18	FO-9	FO-9	FO-8	FO-8	
φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός	φαινό μικρός
SiO ₂	64.03	64.31	64.96	64.23	65.13	63.90	63.54	65.68	65.28	64.91	63.89	64.72	64.01	65.56	65.23	63.92	64.77	63.69	64.77	84.00	64.19	64.49	64.47
TiO ₂			0.14	0.15	0.14		0.11		0.09	0.09		0.10	0.02	0.02	0.03	0.00	0.05	0.05	0.21	0.09	0.07	0.01	
Al ₂ O ₃	18.76	18.92	18.42	18.68	18.70	18.49	18.09	18.97	18.15	18.46	18.02	18.06	18.06	18.48	18.68	17.99	18.42	18.19	18.08	18.00	18.04	18.14	18.13
FeO	0.01	0.15	0.08		0.07	0.08	0.17	0.11	0.05	0.09	0.10	0.21	0.04	0.04	0.23	0.00	0.04	0.17	0.09	0.11	0.13	0.17	
MgO	0.11	0.08	0.01		0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04	0.06	0.04	0.02							
CaO	0.21				0.38	0.00		0.07	0.00			0.10	0.08	0.12									
Na ₂ O	0.56	0.56	0.58	0.54	0.91	0.42	0.46	0.33	0.53	0.31	0.33	0.42	0.38	0.57	0.44	0.47	0.41	0.50	0.48	0.44	0.42	0.45	0.49
K ₂ O	15.61	15.31	15.93	16.16	14.87	15.27	15.27	15.77	15.33	15.57	15.49	15.52	16.71	15.83	16.43	16.85	15.13	14.94	14.72	16.23	16.50	16.75	16.49
BaO	0.04	0.68	0.68	0.68	0.25	0.35	0.25	0.15	0.47	0.23	0.43	0.39	0.10	0.86	0.32	0.79	0.13	0.23	0.25	0.35	0.55	0.07	0.27
Σύνολο	99.12	100.12	101.29	100.17	100.29	99.21	98.38	100.33	100.16	98.80	99.01	100.84	100.63	99.77	100.02	100.21	98.92	99.99	97.49	99.93	100.96	99.26	99.62
Αριθμός ιόντων με βάση τα 8 O																							
Si	2.98	2.97	2.98	2.98	2.99	2.98	3.02	3.01	2.99	2.99	2.98	3.00	2.98	3.01	3.00	3.01	3.00	2.98	2.99	2.99	2.99	2.98	2.99
Al ^{IV}	1.03	1.03	1.02	1.01	1.02	1.03	1.02	0.98	1.03	0.98	0.99	1.02	0.99	1.01	0.98	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
Fe ⁺⁺	0.00	0.01	0.00		0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Ti			0.00	0.01	0.00		0.00	0.00				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Z	4.01	4.01	4.00	3.99	4.01	4.00	4.00	4.02	3.99	4.00	3.99	3.98	4.01	4.02	4.01	4.00	3.99	3.98	3.99	3.99	3.99	3.98	3.99
Mg	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.01				0.02	0.00	0.00	0.00				0.00	0.00	0.00	0.01								
Na	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.04	0.04	0.03	0.05	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
K	0.93	0.90	0.93	0.96	0.87	0.91	0.91	0.92	0.90	0.93	0.92	0.91	0.98	0.94	0.97	0.99	0.89	0.88	0.88	0.96	0.99	0.99	0.98
Ba	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
Χ	0.99	0.98	0.99	1.02	0.96	0.98	0.97	0.96	0.96	0.97	0.96	0.95	1.02	1.01	1.02	1.05	0.93	0.93	0.94	1.00	1.03	1.04	1.02

GRD: κρύσταλλοι γρανιτικών πετρωμάτων, MME: κρύσταλλοι εγκλεισμάτων, περ.: περιφέρειες κρυστάλλου, πυρ.: πυρήνας κρυστάλλου, φαινό: φαινοκρύσταλλοι, μικρός: μικροί κρύσταλλοι.

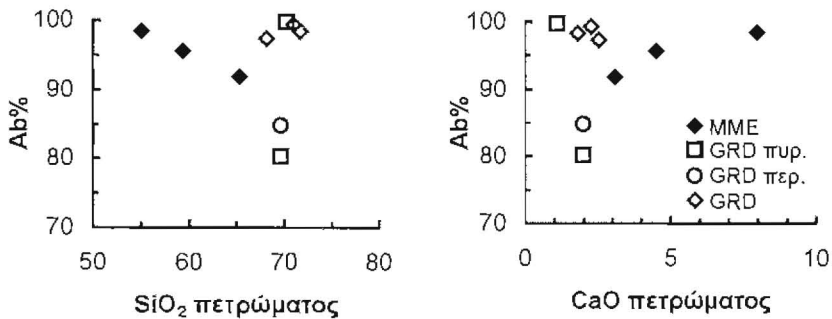
έχει ολοκληρωτικά αντικαταστήσει το βιοτίτη). Το μέγεθος των βιοτιτών κυμαίνεται από 0,2 έως 3,5 mm.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των βιοτιτών και η κατανομή των ιόντων εμφανίζονται στον πίνακα 3. Όλα τα δείγματα των GRD και MME προβάλλονται στο πεδίο των βιοτιτών (Σχ. 3) στο διάγραμμα των DEER et al. (1962). Από τα διαγράμματα του σχήματος 3 φαίνεται ότι οι αποχρωματισμένοι βιοτίτες έχουν υψηλότερες τιμές Si, Al και K και χαμηλότερες τιμές Ti, Fe, Mn και Mg σχετικά με τους υπόλοιπους. Οι μη αποχρωματισμένοι βιοτίτες GRD και MME διαφέρουν μόνο στο Ti. Συγκεκριμένα, ο βιοτίτης MME είναι γενικά πιο πλούσιος σε Ti από τους βιοτίτες GRD. Δεν υπάρχουν διαφορές στη σύσταση μεταξύ πυρήνα και περιφέρειας τόσο στους βιοτίτες MME όσο και στους βιοτίτες GRD. Τα στοιχεία Si και Al δεν παρουσιάζουν συσχέτιση, με το SiO₂ των πετρωμάτων, ο Fe και το Mn παρουσιάζουν θετική συσχέτιση ενώ Mg, Ti, K και Mg/(Mg+Fe) παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση. Το TiO₂ και το Al₂O₃ των βιοτιτών παρουσιάζουν θετική, και ο FeO (ολικός) αρνητική συσχέτιση, με το αντίστοιχο οξειδίο του πετρώματος (Σχ. 3).

Σύμφωνα με τον ABDEL – RAHMAN (1994) οι βιοτίτες δείχνουν τη φύση του πετρώματος στο οποίο περιέχονται και διακρίνονται σε βιοτίτες

Πίνακας 2. Αναλύσεις πλαγιοκλάστων από τα πλουτωνικά πετρώματα της Καστοριάς

Πετρ. Τύπος Δείγμα	MME			GRD					
	PE-9E	FO-11E	GA-9E	PE-1	GA-9 πυρ.	GA-9 περ.	TH-8 πυρ.	TH-18	FO-8
SiO ₂	69.40	66.95	68.19	69.02	64.76	65.97	68.61	69.69	69.33
TiO ₂				0.03			0.13		
Al ₂ O ₃	19.65	19.70	20.94	19.33	21.68	21.14	19.47	19.19	19.81
FeO _t		0.58	0.25	0.32	0.17	0.27	0.00	0.04	0.13
MgO					0.00	0.00	0.00		
CaO	0.23	0.84	1.59	0.46	3.69	2.76	0.06		0.23
Na ₂ O	11.49	11.37	10.72	11.28	9.14	9.40	12.02	11.54	11.36
K ₂ O	0.09	0.09	0.12	0.09	0.33	0.25	0.00	0.12	0.10
BaO				0.04	0.03				
Σύνολο	100.85	99.53	101.81	100.56	99.81	99.79	100.29	100.58	100.96
Αριθμός ιόντων με βάση τα 8 O									
Si	3.00	2.95	2.93	3.00	2.86	2.90	2.99	3.02	3.00
Al	1.00	1.02	1.06	0.99	1.13	1.10	1.00	0.98	1.01
Fe ³⁺		0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Ti				0.00			0.00		
Z	4.00	4.00	4.01	4.00	4.00	4.01	3.99	4.00	4.01
Mg					0.00	0.00	0.00		
Ca	0.01	0.04	0.07	0.02	0.17	0.13	0.00		0.01
Na	0.96	0.97	0.89	0.95	0.78	0.80	1.02	0.97	0.95
K	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01
Ba				0.00	0.00				
X	0.98	1.02	0.97	0.98	0.98	0.95	1.02	0.98	0.97
An%	98.45	95.6	91.80	97.30	80.18	84.79	99.74	99.32	98.35

Σχήμα 2. Προβολή Ab% των πλαγιοκλάστων ως προς την περιεκτικότητα SiO₂ και CaO του πετρώματος.

αλκαλικών (A), ασβεσταλκαλικών (C) και υπεραργιλικών (P) πετρωμάτων. Οι μη αποχρωματισμένοι βιοτίτες GRD και MME προβάλλονται στο πεδίο των ασβεσταλκαλικών πετρωμάτων. Στο διάγραμμα ολικού Al^t - Mg (NACHIT et al. 1985), οι βιοτίτες GRD προβάλλονται στα πεδία των ασβεσταλκαλικών και υπαλκαλικών πετρωμάτων, ενώ οι βιοτίτες MME προβάλλονται στο πεδίο των υπαλκαλικών πετρωμάτων SA (Σχ. 4).

4.5. Αμφίβολοι

Οι αμφίβολοι με τη μορφή της κερροστίβης υπάρχουν σε όλα τα δείγματα του πλουτωνίτη της Καστοριάς. Εμφανίζεται με ιδιόμορφους έως υπιδιόμορφους κρυστάλλους και με χρώματα πλεοχροισμού πράσινα έως κτρινοπράσινα. Οι περισσότερες κερροστίβες έχουν μετατραπεί περιφερειακά σε ακτινόλιθο με πλάτος κυμαινόμενο από 0,01 έως 0,04 mm. Σε μερικές περιπτώσεις,

Πίνακας 3. Αναλύσεις βιαπιτών από το πλουτωνικά πετρώματα της Καστοριάς

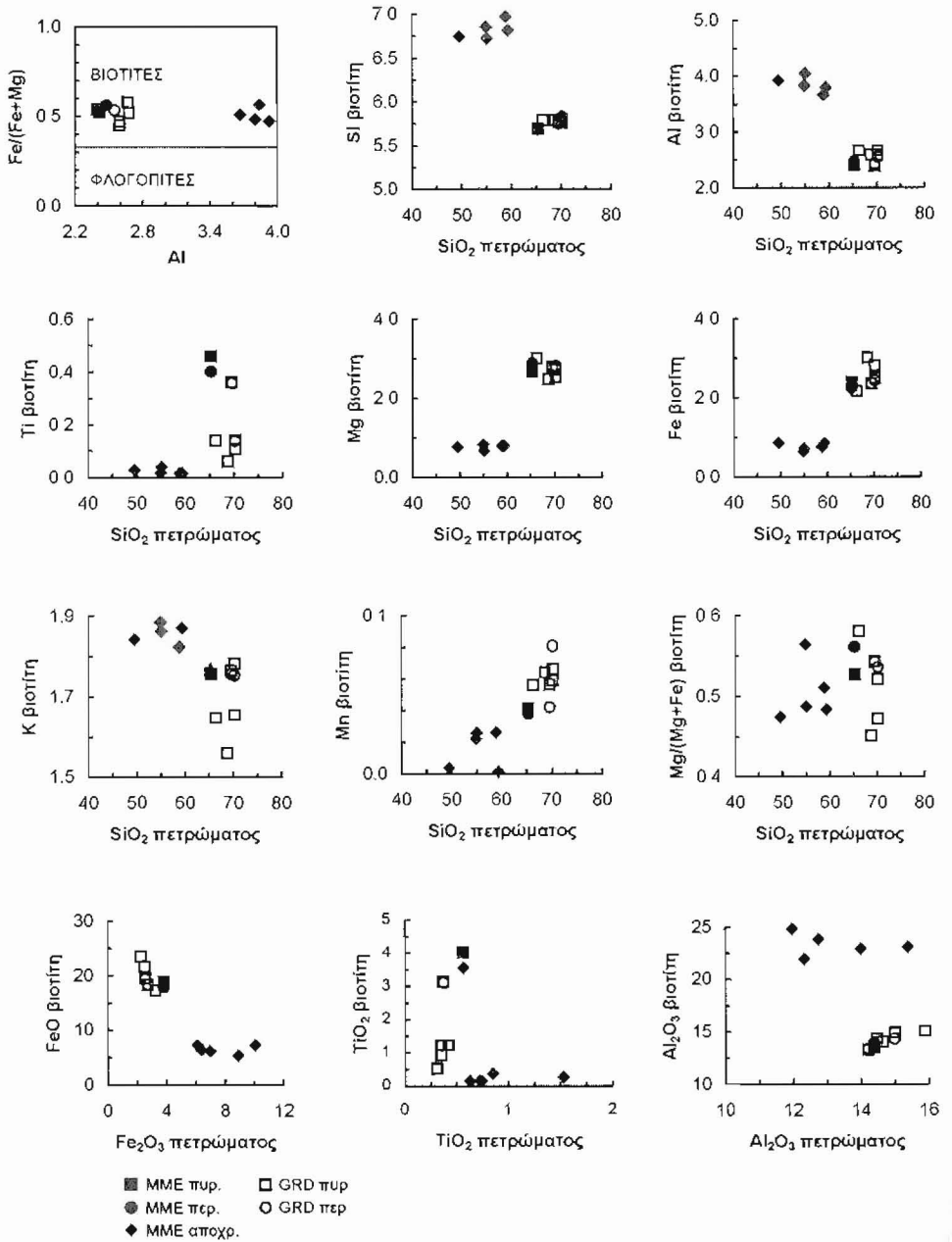
Πετρ. τύπος Δείγμα	MME							GRD						
	FO-16E	TH-16E	PE-9E	FO-12E	FO-11E	GA-9E	GA-9E	PE-11	TH-5	GA-9	GA-9	TH-15	TH-15	TH-8
	αποχρ.	αποχρ.	αποχρ.	αποχρ.	αποχρ.	πυρ.	περ.	πυρ.	πυρ.	πυρ.	περ.	πυρ.	περ.	πυρ.
SiO ₂	48.23	48.38	48.64	49.23	48.96	37.82	37.40	38.55	37.79	37.76	37.47	37.91	38.69	37.11
TiO ₂	0.27	0.17	0.38	0.16	0.15	4.04	3.56	1.24	0.53	3.15	3.11	1.24	1.23	0.93
Al ₂ O ₃	23.80	22.98	24.83	21.96	23.14	13.53	13.97	15.06	14.36	13.30	13.39	14.92	14.35	14.08
FeO _T	7.25	5.39	6.22	6.44	7.31	18.94	17.89	17.31	23.55	18.41	18.41	19.65	19.40	21.60
MnO	0.03	0.19	0.22	0.22	0.01	0.32	0.30	0.44	0.50	0.44	0.32	0.46	0.64	0.50
MgO	3.66	3.92	3.32	3.77	3.85	11.86	12.87	13.48	10.88	12.27	12.27	12.02	12.59	10.86
CaO					0.09	0.25	0.09		0.04	0.00	0.00	0.00	0.09	0.08
Na ₂ O	0.14	0.22	0.22	0.14	0.20	0.04	0.17	0.40	0.37	0.04	0.00	0.00	0.00	0.19
K ₂ O	10.31	10.43	10.56	10.10	10.53	9.10	9.22	8.60	7.98	9.06	8.97	9.19	9.13	8.30
BaO		0.27				0.24	0.13			0.76	0.72			
Σύνολο	93.67	91.94	94.38	92.01	94.24	95.94	96.04	95.07	95.98	95.17	94.66	95.39	96.12	93.65
Αριθμός ιόντων με βάση τα 22 O														
Si	6.75	6.86	6.73	6.97	6.82	5.70	5.69	5.79	5.79	5.77	5.75	5.77	5.83	5.80
Al ^{IV}	1.25	1.14	1.27	1.03	1.18	2.30	2.31	2.21	2.21	2.23	2.25	2.23	2.17	2.20
Z	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al ^{VI}	2.68	2.69	2.78	2.64	2.62	0.11	0.16	0.46	0.38	0.17	0.18	0.44	0.38	0.39
Ti	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.46	0.40	0.14	0.06	0.36	0.36	0.14	0.14	0.11
Fe ²⁺	0.85	0.64	0.72	0.76	0.85	2.40	2.25	2.18	3.02	2.35	2.36	2.50	2.44	2.82
Mn	0.00	0.02	0.03	0.03	0.00	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.04	0.06	0.08	0.07
Mg	0.76	0.83	0.68	0.80	0.80	2.68	2.88	3.02	2.48	2.80	2.81	2.72	2.83	2.53
Y	4.32	4.20	4.25	4.24	4.29	5.69	5.74	5.85	6.01	5.73	5.75	5.86	5.87	5.92
Ca					0.01	0.04	0.01		0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Na	0.04	0.06	0.06	0.04	0.05	0.01	0.05	0.12	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06
K	1.84	1.89	1.86	1.82	1.87	1.76	1.77	1.65	1.56	1.77	1.76	1.78	1.75	1.66
Ba		0.01				0.01	0.01			0.05	0.04			
X	1.88	1.96	1.92	1.86	1.94	1.83	1.84	1.76	1.68	1.82	1.80	1.78	1.77	1.73

η μετατροπή σε ακτινολίθο είναι πλήρης. Συχνά οι κερροσιλίβες ολλοιώνονται σε χλωρίτη, ενώ περιέχουν εγκλεισμάτα ιδιόμορφων κρυστάλλων απατίτη, τιτανίτη και μαγνητίτη.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των αμφιβόλων καθώς και η κατανομή των ιόντων δίνεται στον πίνακα 4. Σύμφωνα με την ταξινόμηση των LEAKE et al. (1997) οι κερροσιλίβες των MME και των GRD ταξινομούνται ως μαγνησιοκεροσιλίβες και εδενίτες, ενώ οι αποχρωματισμένες περιφέρειές τους ως ακτινολίθοι (Σχ. 5). Οι σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ της χημικής σύστασης των αμφιβόλων των GRD και των MME με τα αντίστοιχα πετρώματα, απεικονίζονται σε διαγράμματα όπου προβάλλονται στοιχεία των αμφιβόλων ως προς το SiO₂ ή τα αντίστοιχα οξειδία του πετρώματος (Σχ. 6). Οι αποχρωματισμένες περιφέρειες (ακτινολίθοι) των GRD και των MME εμφανίζουν μικρότερες τιμές Al, Ti και Na, και υψηλότερες τιμές Si σχετικά με τις κερροσιλίβες των ίδιων δειγμάτων.

Μεταξύ των κερροσιλίβων MME και GRD δεν παρατηρούνται διαφορές εκτός από το γενικά υψηλότερο Ca των πρώτων. Διαφορές δεν παρατηρούνται μεταξύ πυρήνα και περιφέρειας στις αναλυμένες κερροσιλίβες. Γενικά τα Si και Mn των κερροσιλίβων, GRD και MME, παρουσιάζουν θετική συσχέτιση και το Al και το Ca αρνητική συσχέτιση με το SiO₂ των πετρωμάτων. Το Ti δεν παρουσιάζει συσχέτιση με το SiO₂ των πετρωμάτων στους κρυστάλλους των MME, αντίθετα με αυτό των GRD που παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση. Το Mg των αμφιβόλων τόσο των MME όσο και των GRD δεν παρουσιάζει καμία συσχέτιση με το SiO₂ των πετρωμάτων. Τα Al₂O₃, MgO και CaO των κερροσιλίβων (Σχ. 6) συσχετίζονται θετικά με τα αντίστοιχα οξειδία των πετρωμάτων στα MME.

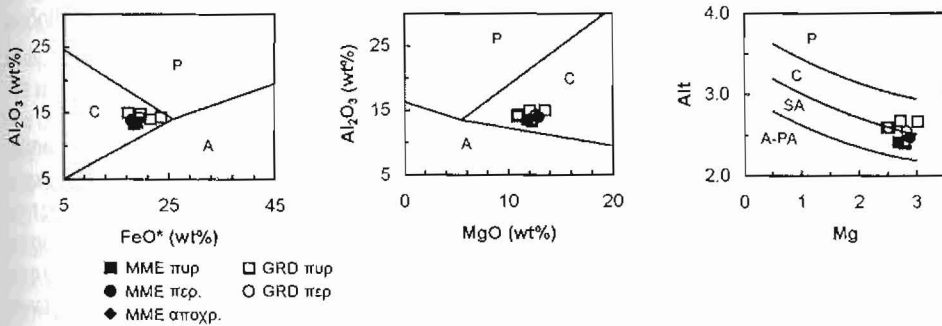
Οι αμφιβολοί μαζί με τους βιοτίτες είναι τα κύρια σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά στον πλουτωνίτη της Καστοριάς. Το Mn και ο λόγος Fe/(Fe+Mg) των βιοτιτών εμφανίζουν γενικά θετική συσχέτιση



Σχήμα 3. Τοξινόμηση των βιοτίτων στο διάγραμμα DEER et al. (1962), προβολή του Si, Al, Ti, Mg, Fe, K, Mn, Mg/(Mg+Fe) των βιοτίτων ως προς το SiO₂ των πετρωμάτων και προβολή του FeO(ολικός), TiO₂ και Al₂O₃ των βιοτίτων ως προς τα αντίστοιχο οξειδίο του πετρώματος (Fe₂O₃ ολικός σίδηρος).

Πίνακας 4. Ανολύσεις ομφιβόλων από τα πλουτωνικά πετρώματα της Καστοριάς

Πετρ. Τύπος Δείγμα	MME																																																																																																																																																																		
	FO-16E		FO-16E		TH-16E		TH-16E		PE-9E		TH-12E		TH-12E		FO-12E		FO-11E		FO-11E		TH-5E		TH-5E		TH-5E		GA-9E		GA-9E																																																																																																																																						
	πυρ.	περ.	πυρ.	περ.	πυρ.	περ.	πυρ.	απ. περ.	πυρ.	απ. περ.	πυρ.	απ. περ.	πυρ.	απ. περ.	πυρ.	απ. περ.	πυρ.	απ. περ.	πυρ.	απ. περ.	πυρ.	απ. περ.	πυρ.	απ. περ.	πυρ.	απ. περ.	πυρ.	απ. περ.																																																																																																																																							
SiO ₂	48.19	44.84	46.91	44.35	50.97	46.83	53.41	49.93	47.84	47.95	45.87	48.05	51.75	48.21	49.95	0.95	0.86	0.89	1.20	0.40	0.99	0.03	0.73	1.04	1.06	0.95	0.35	0.11	1.03	0.79	5.58	8.10	6.99	8.55	4.57	7.62	1.49	5.34	6.22	6.70	6.85	5.12	1.98	6.28	5.04	13.99	15.83	16.46	17.47	10.84	15.46	15.07	11.76	14.80	13.87	16.11	15.52	15.84	14.38	13.79	0.26	0.47	0.90	0.83	0.54	0.74	0.77	0.62	0.74	0.50	0.90	0.91	0.87	0.77	0.75	14.20	12.26	12.09	11.14	16.42	13.04	14.08	14.96	13.64	13.68	12.33	12.74	13.36	13.16	14.35	12.66	12.09	12.18	11.91	12.32	11.23	11.58	12.57	12.09	12.31	11.75	11.46	12.11	11.78	11.84	1.45	1.66	1.79	2.16	1.34	1.50	0.34	1.37	1.71	1.80	1.87	1.78	0.92	1.19	0.99	0.51	0.88			0.44	0.69	0.11	0.49	0.62	0.66	0.67	0.42	0.19	0.62	0.40	0.51	0.21	0.06	0.24	0.12	0.04	0.00		0.05	0.14	0.06	0.05	0.21	98.27	97.20	98.23	97.85	97.96	98.21	96.88	97.77	98.74	98.67	97.36	96.40	97.33	97.40	97.90
Cr ₂ O ₃	Αριθμός ιόντων με βάση τα 23 O																																																																																																																																																																		
Si	7.05	6.71	6.92	6.62	7.32	6.85	7.83	7.26	6.69	7.00	6.86	7.20	7.66	7.10	7.25	Al ^{IV}	0.95	1.29	1.08	1.38	0.68	1.15	0.17	0.74	1.01	1.00	1.14	0.80	0.34	0.90	0.75	T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00																																																																																																																				
Al ^{VI}	0.01	0.13	0.13	0.12	0.10	0.16	0.09	0.17	0.06	0.15	0.06	0.11	0.00	0.19	0.12	Ti	0.10	0.10	0.10	0.13	0.04	0.11	0.00	0.08	0.11	0.12	0.11	0.04	0.01	0.11	0.09	Fe ³	0.19	0.36	0.32	0.45	0.15	0.47	0.09	0.01	0.24	0.07	0.31	0.21	0.03	0.20	0.28	Cr	0.06	0.02	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00		0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	Mg	3.09	2.73	2.66	2.48	3.52	2.84	3.08	3.24	2.97	2.98	2.75	2.85	2.95	2.89	3.11	Fe ²	1.52	1.62	1.71	1.73	1.16	1.41	1.74	1.42	1.57	1.62	1.70	1.74	1.93	1.57	1.40	Mn	0.02	0.03	0.08	0.06	0.02	0.00	0.00	0.07	0.04	0.04	0.06	0.06	0.05	0.04	0.02	C	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00																																						
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Fe ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Mn	0.01	0.03	0.04	0.04	0.04	0.09	0.10	0.00	0.05	0.02	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	Ca	1.98	1.94	1.92	1.90	1.90	1.76	1.82	1.96	1.89	1.93	1.88	1.84	1.92	1.86	1.84	Na	0.01	0.03	0.04	0.05	0.06	0.14	0.07	0.04	0.06	0.05	0.06	0.10	0.02	0.09	0.08	B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00																																																																				
Na	0.40	0.45	0.47	0.57	0.31	0.29	0.03	0.35	0.43	0.46	0.48	0.42	0.24	0.25	0.19	K	0.10	0.17			0.08	0.13	0.02	0.09	0.12	0.12	0.13	0.08	0.04	0.12	0.07	A	0.50	0.62	0.47	0.57	0.39	0.42	0.05	0.44	0.54	0.58	0.61	0.50	0.28	0.37	0.27																																																																																																																				



Σχήμα 4. Προβολή των βιοτιτών του πλουτωνίτη της Καστοριάς στα διαγράμματα Al_2O_3 - FeO^* (FeO^* : ολικός σίδηρος), Al_2O_3 - MgO (ABDEL-RAHMAN 1994) και στο διάγραμμα Al_2 (Al_2 : ολικό αργίλιο) - Mg των NACHIT et al. (1985) που διακρίνουν βιοτιτες ασβεσταλκαλικών (C), υπεραργιλικών (P), αλκαλικών (A), υπαλκαλικών (SA) και υπεραλκαλικών (PA) πετρωμάτων.

Πίνακας 4. Συνέχεια

Πετρ. Τύπος Δείγμα	GRD																																					
	PE-11		PE-11		PE-1		PE-1		TH-5		TH-5		PE-3		PE-3		PE-3		GA-9		TH-15		TH-15		TH-8		TH-8		TH-18		TH-18		FO-9		FO-9		FO-8	
	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ	πυρ	περ		
SiO ₂	48.29	44.52	47.15	53.57	45.85	47.64	45.67	45.55	54.60	51.33	49.37	52.64	46.01	53.25	47.18	45.83	48.56	55.30	48.62																			
TiO ₂	0.20	1.26	0.87	0.06	1.27	0.79	1.09	1.21	0.17	0.64	0.50	0.04	0.80	0.06	0.62	1.16	0.76	0.01	0.76																			
Al ₂ O ₃	6.50	8.82	6.90	2.22	8.29	6.43	8.13	8.20	1.50	4.20	5.78	2.03	6.49	1.13	6.60	7.71	6.51	1.05	5.40																			
FeO	16.56	18.53	17.20	16.11	16.84	14.82	16.99	16.74	13.07	12.76	14.70	14.16	14.77	15.40	16.51	15.84	15.38	13.86	14.73																			
MnO	0.61	0.59	0.79	0.93	0.76	1.32	0.72	0.77	0.81	0.64	1.01	0.99	0.94	0.77	1.05	1.20	0.90	1.03	1.24																			
MgO	12.53	10.58	11.83	13.35	12.11	13.03	11.38	11.29	15.75	15.04	13.91	14.29	13.51	13.71	12.55	11.52	13.61	15.35	13.83																			
CaO	12.04	11.89	11.80	12.18	11.55	11.93	11.13	11.39	11.09	11.97	11.53	11.84	11.16	11.28	11.71	11.86	11.48	11.21	11.69																			
Na ₂ O	1.64	2.04	1.59	0.63	1.88	1.84	1.68	1.73	0.67	0.71	1.02	1.14	1.44	0.41	2.01	1.98	1.27	0.54	1.78																			
K ₂ O	0.65	0.86	0.72	0.20	0.92	0.89	0.93	0.88	0.18	0.44	0.41	0.16	0.60	0.07	0.68	0.90	0.59	0.22	0.55																			
Cr ₂ O ₃	0.04				0.09	0.02	0.08	0.04	0.07		0.01	0.00	0.04	0.02																								
Σύνολο	99.06	99.09	98.86	99.26	99.83	98.36	97.80	97.82	97.92	97.73	96.30	96.28	97.80	96.14	98.89	98.00	99.17	98.59	98.61																			
Αριθμός ιόντων με βάση τα 23 O																																						
Si	7.07	6.63	6.95	7.72	6.70	7.00	6.80	6.79	7.83	7.42	7.15	7.75	7.03	7.88	6.94	6.84	7.01	7.91	7.11																			
Al ^{IV}	0.93	1.37	1.05	0.28	1.30	1.00	1.20	1.21	0.17	0.58	0.85	0.25	0.97	0.12	1.06	1.16	0.99	0.09	0.89																			
T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00																			
Al ^{VI}	0.19	0.18	0.15	0.10	0.12	0.12	0.23	0.23	0.09	0.13	0.13	0.10	0.14	0.08	0.09	0.20	0.12	0.09	0.04																			
Ti	0.02	0.14	0.10	0.01	0.14	0.09	0.12	0.14	0.02	0.07	0.05	0.00	0.19	0.01	0.07	0.13	0.06	0.00	0.08																			
Fe ³⁺	0.23	0.27	0.27	0.12	0.40	0.23	0.32	0.25	0.12	0.21	0.48	0.11	0.40	0.08	0.30	0.10	0.48	0.06	0.22																			
Cr	0.00				0.01	0.00	0.01	0.00	0.01		0.00	0.00	0.00																									
Mg	2.73	2.35	2.60	2.87	2.64	2.86	2.53	2.51	3.37	3.24	3.00	3.14	2.95	3.03	2.75	2.56	2.93	3.26	3.02																			
Fe ²⁺	1.80	2.04	1.85	1.82	1.86	1.59	1.79	1.84	1.40	1.33	1.30	1.64	1.41	1.81	1.73	1.88	1.37	1.57	1.58																			
Mn	0.02	0.03	0.03	0.08	0.04	0.11	0.00	0.03	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00	0.06	0.12	0.02	0.00	0.06																			
C	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00																			
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																			
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00																			
Mn	0.05	0.05	0.06	0.03	0.06	0.05	0.09	0.07	0.10	0.06	0.09	0.11	0.11	0.10	0.07	0.03	0.09	0.12	0.09																			
Ca	1.89	1.90	1.86	1.88	1.81	1.88	1.76	1.82	1.71	1.85	1.79	1.87	1.75	1.79	1.85	1.90	1.76	1.72	1.83																			
Na	0.06	0.06	0.07	0.08	0.13	0.07	0.13	0.11	0.15	0.09	0.12	0.02	0.14	0.10	0.08	0.07	0.13	0.13	0.07																			
B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00																			
Na	0.41	0.53	0.38	0.09	0.40	0.40	0.35	0.39	0.04	0.11	0.17	0.02	0.27	0.02	0.49	0.50	0.22	0.02	0.43																			
K	0.12	0.16	0.14	0.04	0.17	0.13	0.18	0.17	0.03	0.08	0.08	0.03	0.11	0.01	0.12	0.17	0.11	0.04	0.10																			
A	0.53	0.70	0.52	0.13	0.57	0.53	0.53	0.55	0.07	0.19	0.24	0.05	0.38	0.04	0.62	0.67	0.33	0.06	0.53																			

με το Mn και το λόγο Fe/(Fe+Mg) αντίστοιχα των αμφιβόλων (δύο δείγματα) (Σχ. 7).

Το ολικό Al των αμφιβόλων χρησιμοποιείται στα ασβεσταλκαλικά πλουτωνικά πετρώματα για τον προσδιορισμό της πίεσης κρυστάλλωσης (HAMMARSTON and ZEN 1986, HOLLISTER et al. 1987, JOHNSON and RUTHERFORD 1989, SCHMIDT 1992). Για τις αμφιβόλους του πλουτωνίτη της Καστοριάς, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που πρέπει να ισχύουν για την χρήση των σχέσεων που έχουν προταθεί, επιλέχθηκαν τα δείγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της πίεσης. Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις των HOLLISTER et al. 1987, και SCHMIDT 1992 για τις μεμονωμένες περιφέρειες και για όσα δείγματα υπάρχουν αναλύσεις τόσο για την περιφέρεια όσο και για τον πυρήνα βρέθηκε ότι: α. για τα δείγματα MME οι ελάχιστες πιέσεις κρυστάλλωσης κυμαίνονται από 3,3 έως 3,7 kb (μέθοδος HOLLISTER et al. 1987) ή 3,8 έως 4,1 kb (μέθοδος SCHMIDT 1992), β. στα GRD οι πιέσεις εί-

ναι μικρότερες και κυμαίνονται από 1,5 έως 4,0 kb (μέθοδος HOLLISTER et al. 1987) και από 2,3 έως 4,4 kb (μέθοδος SCHMIDT 1992), γ. αν χρησιμοποιθούν οι πυρήνες των κροστυλίων προκύπτουν τιμές χαμηλότερες κατά 0,1 έως 2,4 kb (μέθοδος HOLLISTER et al. 1987) ή 0,1 έως 2,1 kb (μέθοδος SCHMIDT 1992).

4.6. Τιτανίτης

Ο τιτανίτης είναι αρκετά διαδεδομένο εποσυϊώδες ορυκτό στα πετρώματα της Καστοριάς. Οι κρύσταλλοι του εμφανίζονται ιδιόμορφοι με μέγεθος που κυμαίνεται από 0,2 έως 2,5 mm. Χημικές αναλύσεις των τιτανιτών δίνονται στον πίνακα 5, απ' όπου φαίνεται ότι το Ti του τιτανίτη παρουσιάζεται γενικά σταθερό με τη διαφοροποίηση του μάγματος, ενώ το Ca δείχνει αρνητική συσχέτιση που είναι ιδιαίτερος εμφανής στους κρυστάλλους MME. Το Ti των τιτανιτών εμφανίζει θετική συσχέτιση με την περιεκτικότητα CaO του πετρώματος, που κατά τον TULLOCH (1979) διακρίνει τους τιτανίτες πυριγενών πετρω-

Πίνακας 5. Αναλύσεις τιτανιτών από τα πλουτωνικά πετρώματα της Καστοριάς

Πετρ. Τύπος	MME						GRD									
	Δείγμα	FO-16E	TH-16E	PE-9E	FO-12E	FO-11E	TH-5E	PE-11	PE-1	TH-5	PE-3	TH-15	TH-8	TH-18	FO-9	FO-8
SiO ₂	29.47	28.90	29.77	30.12	29.69	29.78	29.62	30.54	29.95	30.60	30.58	30.51	29.85	30.60	30.37	30.14
TiO ₂	38.37	37.43	37.65	38.59	37.13	37.28	38.14	37.51	37.55	35.30	35.62	35.88	38.35	35.55	37.14	37.14
Al ₂ O ₃	1.04	1.13	1.10	1.13	1.27	1.33	1.15	1.46	1.25	1.33	1.26	1.22	1.17	1.30	1.18	1.18
FeO	1.30	1.27	1.21	1.19	1.48	1.69	1.37	1.29	1.61	1.48	1.53	1.49	1.42	1.44	1.41	1.41
MnO	0.10	0.28	0.05	0.07	0.41	0.25	0.22	0.22	0.30	0.11	0.19	0.16	0.14	0.15	0.15	0.15
MgO	0.09	0.06		0.15		0.15	0.08	0.07	0.09	0.07	0.02	0.05		0.08	0.01	0.01
CaO	28.41	27.61	27.75	28.54	28.09	27.65	27.47	28.78	27.95	26.61	27.19	26.81	28.10	26.99	27.77	27.77
Na ₂ O	0.11	0.02	0.06		0.11		0.09	0.00	0.11	0.06	0.04	0.10		0.03	0.09	0.09
K ₂ O	0.07	0.05	0.01	0.07		0.05	0.03	0.00	0.01	0.05	0.03	0.00		0.03		0.03
Σύνολο	98.95	96.73	97.60	99.85	98.18	98.18	98.17	99.86	98.83	95.59	96.45	96.23	99.01	96.16	97.96	97.96
Αριθμός ιόντων με βάση τα 4 Si																
Si	3.92	3.93	4.00	3.96	3.98	3.98	3.96	4.01	3.98	4.17	4.14	4.14	3.96	4.15	4.06	4.06
Ti	3.84	3.83	3.80	3.81	3.74	3.75	3.83	3.70	3.76	3.82	3.63	3.66	3.82	3.63	3.73	3.73
Al	0.16	0.18	0.17	0.18	0.20	0.21	0.18	0.23	0.20	0.21	0.20	0.20	0.18	0.21	0.19	0.19
Fe	0.14	0.14	0.14	0.13	0.17	0.19	0.15	0.14	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16
Mn	0.01	0.03	0.01	0.01	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Mg	0.02	0.01		0.03		0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00		0.00	0.02	0.00	0.00
Ca	4.05	4.02	3.99	4.02	4.03	3.98	3.93	4.05	3.98	3.89	3.95	3.90	3.99	3.92	3.97	3.97
Na	0.03	0.01	0.02		0.03		0.02	0.00	0.03	0.02	0.01	0.03		0.01	0.02	0.02
K	0.01	0.01	0.00	0.01		0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00		0.01		0.01
Σύνολο	12.18	12.16	12.12	12.15	12.19	12.18	12.13	12.17	12.18	12.11	12.13	12.12	12.13	12.12	12.13	12.13

μάτων από αυτούς των μεταμορφωμένων.

4.7. Επίδοτο & αλλανίτης

Το επίδοτο βρίσκεται σε όλα τα δείγματα του πλουτωνίτη της Καστοριάς ως προϊόν αλλοίωσης των πλαγιοκλάστων. Το μέγεθος του κυμαίνεται από 0,3 έως 2 mm. Σε κάποια δείγματα βρέθηκε επιταξική ανάπτυξη επιδότου γύρω από αλλανίτη. Ο αλλανίτης είναι και αυτό επουσιώδης ορυκτό και εμφανίζεται με ιδιόμορφους κρυστάλλους χρώματος καστανού με σαφή πλεοχροισμό. Από τον πίνακα 6 των χημικών αναλύσεων φαίνεται ότι δεν υπάρχουν ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ των επιδότων των διαφόρων δειγμάτων. Στα επίδοτα της Καστοριάς, οι υψηλές τιμές πιστασίτη ($Ps = 100Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Al)$, 29-36) (Πίν. 6) επιβεβαιώνουν ότι αυτά δεν είναι μαγματικά καθώς ένδειξη για μαγματική προέλευση είναι οι χαμηλές τιμές Ps. Ο TULLOCH (1979) αναφέρει για το μαγματικό επίδοτο ποσοστό 27 έως 29 Ps, σε αντίθεση με δευτερογενή επίδοτα που εμφανίζουν υψηλότερες τιμές Ps. Τα δεδομένα του NANEY (1983) δείχνουν για μαγματικό επίδοτο τιμές Ps που κυμαίνονται από 26 έως 29.

Από τις αναλύσεις (Πίν. 6) φαίνεται ότι ο αλ-

λανίτης περιέχει υψηλό ποσοστό REE όπως La και Ce που αντικαθιστούν το Ca (DEER et al. 1962). Όσον αναφορά τη γένεση του αλλανίτη υποστηρίζεται ότι αυτός είναι προϊόν πρωτογενούς μαγματικής κρυστάλλωσης (HILDRETH 1979, GROMET & SILVER 1983).

4.8. Μαγνητίτης

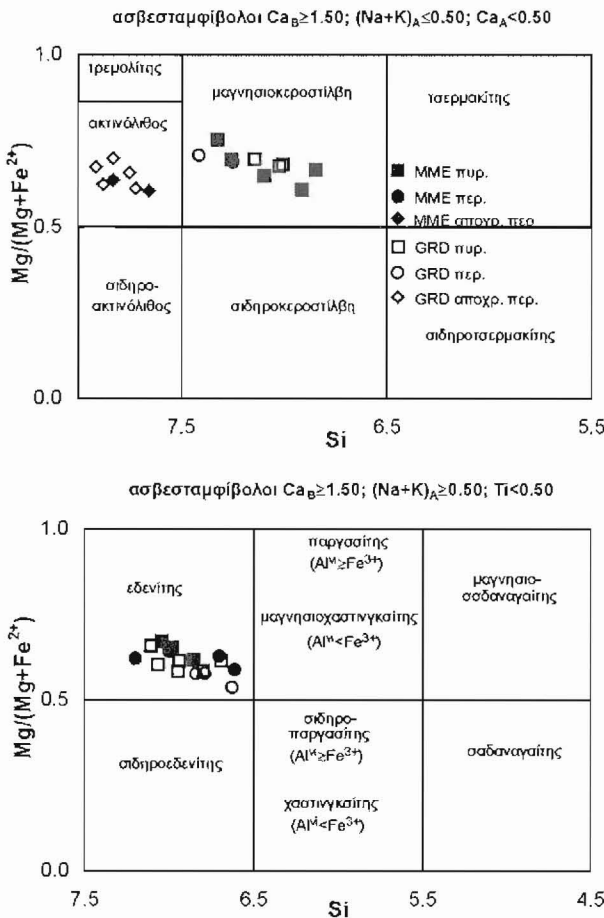
Στα πετρώματα της Καστοριάς βρέθηκαν αδιαφανή ορυκτά που με βάση τη σύστασή τους (Πίν. 7), χαρακτηρίζονται ως μαγνητίτης. Απαντώνται σε υπιδιόμορφους κρυστάλλους συχνά μαζί με κεροσίλβη.

4.9. Χλωρίτης

Στα πετρώματα του πλουτωνίτη της Καστοριάς ο χλωρίτης συναντάται ως δευτερογενές ορυκτό από αλλοίωση του βιοσίτη και της κεροσίλβης. Αναπτύσσεται γύρω από φύλλα βιοσίτη ή κατά μήκος του σχισμού. Το χρώμα του είναι πράσινο έως υποπράσινο και συχνά συνοδεύεται από αδιαφανή ορυκτά.

4.10. Σερικήτης

Ο σερικήτης υπάρχει σε όλα τα δείγματα ως



Σχήμα 5. Ταξινόμηση των αμφιβόλων του πλουτωνίτη της Καστοριάς (LEAKE et al. 1997).

προϊόν αλλοίωσης των πλαγιόκλαστων. Για τη μελέτη του έγιναν χημικές αναλύσεις (Πιν. 8) απ' όπου φαίνεται ότι οι τιμές του TiO_2 κυμαίνονται σε πολύ μικρά ποσοστά, από 0,06 έως 0,29 στα GRD και από 0,11 έως 0,19 στα MME, τιμές αρκετά μικρότερες από αυτές των τυπικών μοσχοβιτών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο γνευσιακός πλουτωνίτης της Καστοριάς αποτελείται από βιοτιτικούς –κεροσιλβικούς πορφυροειδείς γρανίτες έως γρανοδιорίτες (GRD) που συχνά περιέχουν μονζοδιוריτικής σύστασης λεπτόκοκκα εγκλείσματα (MME). Τα πρωτογενή ορυκτά των GRD είναι χαλαζίας, K- άστριοι, πλα-

γιόκλαστα, βιοτίτης, κεροσιλβη, τιτανίτης, απατίτης, ζirkόνιο, μαγνητίτης, αλλανίτης, ενώ επιδότο, ακτινόλιθος, χλωρίτης και σερικίτης εμφανίζονται ως δευτερογενή ορυκτά. Τα MME περιέχουν τα ίδια ορυκτά αυστιατικά όπως και τα γρανιτικά πετρώματα με πολύ μεγαλύτερη συμμετοχή όμως των φεμικών συστατικών.

Οι K-άστριοι είναι μικροκλινείς περιθιτωμένοι και εμφανίζονται με τη μορφή μικρών κρυστάλλων όσο και μεγαλύτερων κρυστάλλων. Γενικά δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ πυρήνα – περιφέρειας και μεταξύ μικρών κρυστάλλων και μεγαλύτερων κρυστάλλων. Μεταξύ των K-αστριών MME και GRD παρατηρούνται μικρές διαφορές στη συμπεριφορά του λόγου K/Na και μικρότερες τιμές Si στους MME σχετικά με τους GRD. Τα πλαγιόκλαστα είναι έντονα αλλοιωμένα προς σερικίτη και επιδότο, γεγονός στο οποίο οφείλεται το πράσινο χρώμα των πετρωμάτων. Έχουν σύσταση που κυμαίνεται από $Ab_{80,2}$ έως $Ab_{99,7}$, και πιθανότατα είναι αποτέλεσμα της έντονης αλλοίωσής τους.

Οι βιοτίτες εμφανίζονται και στους δυο πετρογραφικούς τύπους του πλουτωνίτη. Οι περισσότεροι από τους βιοτίτες των MME είναι αποχρωματισμένοι και διαφέρουν σημαντικά από τους υπόλοιπους. Γενικά δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ πυρήνα – περιφέρειας και μεταξύ βιοτιτών GRD και MME. Μόνον ο βιοτίτης MME είναι γενικά πιο πλούσιος σε Ti από τους βιοτίτες των GRD. Το περισσότερο στοιχείο των βιοτιτών παρουσιάζουν συσχετίσεις με το SiO_2 των πετρωμάτων ή με τα αντίστοιχα οξείδια. Οι βιοτίτες GRD και MME δείχνουν την ασβεσταλκαλική ή υποαλκαλική φύση πετρωμάτων στα οποία περιέχονται.

Η κεροσιλβη αποτελεί το κύριο φεμικό συστατικό των πλουτωνικών πετρωμάτων. Οι περισσότερες κεροσιλβες έχουν μετατραπεί στην περιφέρειά τους ή ολικό σε ακτινόλιθο. Οι κεροσιλ-

Πιστ. Τύπος	MME			GRD							
	FO-16E	TH-16E	GA-9E	PE-11	PE-1	PE-3	TH-18	FO-8	TH-5	FO-9	
Δείγμα	Επίδοτο			Επίδοτο						Αλλανίτης	
Ορυκτό											
SiO ₂	36.80	37.19	38.21	37.38	38.25	38.31	38.10	37.86	31.31	33.29	
TiO ₂	1.07	0.28	0.06	0.13	0.00	0.05	0.23	0.23	0.68	1.24	
Al ₂ O ₃	19.75	22.32	22.03	23.00	22.14	20.83	21.57	21.42	14.52	14.40	
FeO	15.74	13.56	13.87	13.01	13.25	14.86	15.81	15.07	14.75	14.50	
MnO	0.23	0.07	0.28	0.27	0.30	0.18	0.27		0.31	0.77	
MgO	0.07	0.28	0.05	0.06	0.00	0.02	0.18	0.22	1.19	0.86	
CaO	23.30	23.82	22.63	23.70	23.07	22.39	24.05	23.13	12.97	11.11	
Na ₂ O	0.27	0.12	0.00	0.17	0.00		0.24	0.26			
K ₂ O	0.05	0.01	0.03	0.06	0.00		0.04				
Cr ₂ O ₃	0.38	0.12		0.09			0.09				
NiO	0.12	0.09		0.08			0.03				
La ₂ O ₃									7.54	6.20	
Y ₂ O ₃										1.07	
CeO ₂									9.46	8.44	
V ₂ O ₅										0.02	
Nd ₂ O ₃										1.82	
Nb ₂ O ₅										0.06	
Σύνολο	97.77	97.84	97.16	97.95	97.00	96.64	100.58	98.19	92.71	93.78	

Αριθμός ιόντων με βάση τα 25 O

Si	6.16	6.12	6.30	8.12	6.30	6.38	6.16	6.23	6.10	6.35
Ti	0.13	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01	0.03	0.03	0.10	0.18
Al	3.89	4.33	4.28	4.44	4.30	4.09	4.11	4.15	3.33	3.24
Fe	2.20	1.87	1.91	1.78	1.83	2.07	2.14	2.07	2.40	2.31
Mn	0.03	0.01	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.00	0.05	0.12
Mg	0.02	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.05	0.35	0.24
Ca	4.18	4.20	4.00	4.16	4.07	4.00	4.17	4.08	2.71	2.27
Na	0.09	0.04	0.00	0.05	0.00		0.08	0.08		
K	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00		0.01			
Cr	0.05	0.02		0.01			0.01			
Ni	0.02	0.01		0.01			0.00			
La									0.54	0.44
Y										0.11
Ce									0.64	0.56
V										0.00
Nd										0.12
Nb										0.01
Ps	36.1	30.1	30.9	28.6	29.8	33.6	34.2	33.3		

Πίνακας 6. Αναλύσεις επίδοτων και αλλανιτών από τα πλατωνικά πετρώματα της Καστοριάς

βες των MME και των GRD ταξινομούνται ως μαγνησιοκεροσιτίβες και εδενίτες, ενώ οι αποχρωματισμένες περιφέρειες των ως ακτινολίθιοι. Δεν παρατηρούνται διαφορές μεταξύ πυρήνα - περιφέρειας στις κεροσιτίβες καθώς και μεταξύ κεροσιτιλών MME και GRD εκτός από το γενικά υψηλότερο Ca των πρώτων. Τα περισσότερα στοιχεία των κεροσιτιλών παρουσιάζουν συσχετίσεις με το SiO₂ των πετρωμάτων ή με τα αντίστοιχα οξειδία.

Οι ελάχιστες πιέσεις κρυστάλλωσης για τα

δείγματα MME κυμαίνονται από 3,3 έως 3,7 kb (μέθοδος HOLLISTER et al. 1987) ή 3,8 έως 4,1 kb (μέθοδος SCHMIDT 1992), ενώ στα GRD οι πιέσεις είναι μικρότερες και κυμαίνονται από 1,5 έως 4,0 kb (μέθοδος HOLLISTER et al. 1987) και από 2,3 έως 4,4 kb (μέθοδος SCHMIDT 1992).

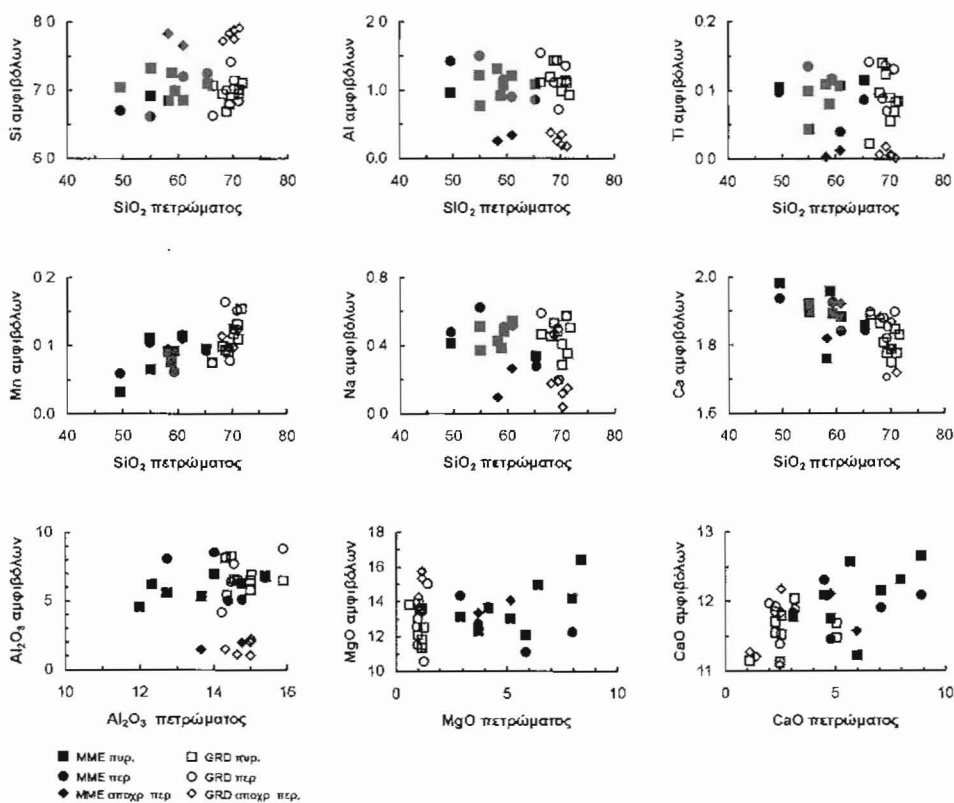
Ο τιτανίτης είναι αρκετά διαδεδομένο εποικωδές ορυκτό στα πετρώματα της Καστοριάς. Εμφανίζει ιστολογικό και χημικά χαρακτηριστικά τιτανιτών πυριγενών πετρωμάτων ενώ το επίδοτο είναι δευτερογενές.

Πιστ. Τύπος	GRD		
Δείγμα	GA-9	TH-15	FO-9
SiO ₂	0.20	0.15	0.39
TiO ₂	0.10	0.07	0.03
Al ₂ O ₃	0.08	0.06	0.09
Fe ₂ O ₃	68.66	67.10	64.31
FeO	28.20	30.87	30.63
MnO	0.01	0.00	0.07
MgO	0.22	0.03	0.08
CaO	0.01		
Na ₂ O	0.50		
K ₂ O	0.02		
Cr ₂ O ₃		0.18	0.16
NiO		0.07	0.04
ZnO		0.07	0.31
Σύνολο	98.00	98.26	95.60

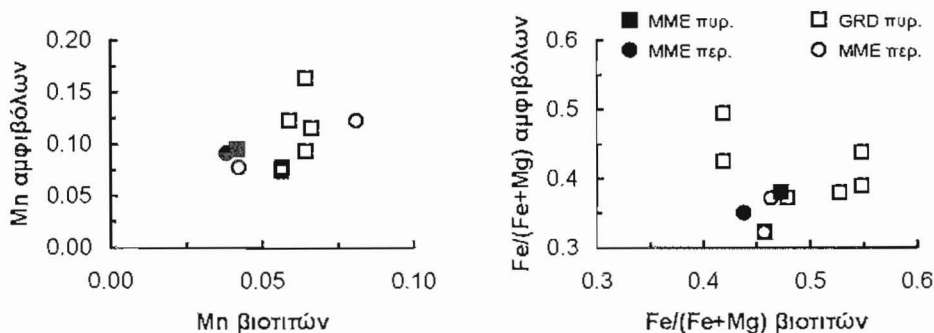
Αριθμός ιόντων με βάση τα 3 κατιόντα

Si	0.01	0.01	0.02
Al	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.01	0.01
Fe ³⁺	2.01	1.97	1.94
Ti	0.00	0.00	0.00
A	2.03	1.99	1.96
Mg	0.01	0.00	0.00
Ni		0.00	0.00
Fe ²⁺	0.92	1.01	1.03
Mn	0.00	0.00	0.00
Zn		0.00	0.01
Ca	0.00		
Na	0.04		
K	0.00		
B	0.97	1.01	1.04

Πίνακας 7. Αναλύσεις μογνητιτή από τα πλατωνικά πετρώματα της Καστοριάς



Σχήμα 6. Προβολή των Si, Al, Ti, Mg, Na, Ca, Fe, Mn των αμφιβόλων ως προς το SiO_2 των πετρωμάτων και προβολή του TiO_2 , Al_2O_3 , MgO και CaO των αμφιβόλων ως προς τα αντίστοιχα οξειδία του πετρώματος.



Σχήμα 7. Προβολή του Mn και του λόγου $Fe/(Fe+Mg)$ των αμφιβόλων ως προς τα Mn και $Fe/(Fe+Mg)$ των βιοτιτών αντίστοιχα.

Πετρ. Τύπος Δείγμα	MME			GRD				
	FO-16E	TH-16E	TH-5E	PE-11	PE-1	PE-3	TH-15	FO-9
SiO ₂	49.01	48.54	48.77	48.63	49.98	50.16	50.64	51.78
TiO ₂	0.19		0.11	0.19	0.15	0.29	0.06	0.10
Al ₂ O ₃	26.47	23.28	23.14	26.18	24.97	23.65	24.89	23.90
FeO _T	4.16	5.61	5.39	4.80	5.62	6.76	4.20	5.86
MnO	0.13	0.15	0.27	0.04	0.05	0.06	0.09	0.00
MgO	3.03	3.70	3.61	3.34	2.93	3.37	3.51	3.67
CaO	0.00	1.64			0.11	0.00	0.07	0.01
Na ₂ O	0.22	0.36	0.13	0.29	0.06	0.13	0.03	0.00
K ₂ O	10.36	9.52	10.48	10.75	10.64	10.45	10.41	10.66
NiO		0.07						
Σύνολο	93.60	92.87	91.92	94.24	94.54	94.93	93.94	95.99

Αριθμός ιόντων με βάση το 22O

Si	6.74	6.81	6.90	6.69	6.85	6.89	6.92	6.98
Al ^{IV}	1.26	1.19	1.10	1.31	1.15	1.11	1.08	1.02
Z	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al ^{VI}	3.03	2.66	2.76	2.93	2.89	2.72	2.93	2.78
Ti	0.02		0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01
Fe ²⁺	0.48	0.66	0.64	0.55	0.65	0.78	0.48	0.66
Mn	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Mg	0.62	0.77	0.76	0.69	0.60	0.69	0.72	0.74
Ni		0.01						
Y	4.16	4.12	4.20	4.19	4.16	4.23	4.14	4.19
Ca	0.00	0.25			0.02	0.00	0.01	0.01
Na	0.06	0.10	0.04	0.08	0.02	0.04	0.01	0.00
K	1.82	1.70	1.89	1.89	1.86	1.83	1.82	1.83
X	1.88	2.05	1.93	1.96	1.90	1.87	1.84	1.83

Πίνακας 8. Αναλύσεις αερικών από τα πλουτωνικά πετρώματα της Κασιόριδας

Ο ιοτός των MME και τα «ανώμαλα», γενικά, ορία τους με τους GRD δείχνουν ότι προέρχονται από ένα βασικό μάγμα που ενχύθηκε σε άλλο οξιινότερο μάγμα (GRD). Η διαφορά ιξώδους των δυο μαγμάτων ήταν τέτοια που δεν επέτρεψε τη μίξη τους αλλά αντίθετα οδήγησε στη μηχανική ανάμιξη τους (mingling). Η χημική ομοιογένεια των ορυκτών των εξετασθέντων δειγμάτων αποκλείει επίσης τη μίξη ως κύρια διαδικασία εξέλιξης. Το εύρος συστάσεων των MME, που φαίνεται τόσο στη χημεία του ολικού πετρώματος όσο και στη χημεία των ορυκτών τους, δείχνει ότι το βασικό μάγμα υπέστη κάποια διαφοροποίηση πριν αναμειχθεί μηχανικά ή κατά τη μηχανική ανάμιξη του με το οξιινότερο. Η ομοιότητα της σύστασης των ορυκτών των δυο πετρογραφικών τύπων ή οι ομαλές τάσεις που παρατηρούνται από τα MME προς τους GRD υποδεικνύουν πιθανόν ως διαδικασία εξέλιξης την κλασματική κρυστάλλωση - μίξη (MFC) ό-

που το βασικό μάγμα διαφοροποιείται με κλασματική κρυστάλλωση και ταυτόχρονα μινγνείται σε μικρό βαθμό με το οξιινό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ABDEL - RAHMAN, A-F. M. (1994). Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline and Peraluminous Magmas. *J. Petrol.*, 35,2, 525-1029.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. (1962). Rock-forming minerals Vol. 1, 2, 3, 4, 5, Longman, London.
- GROMET, L. P. & SILVER, L. T. (1983). Rare earth element distribution among minerals in a granodiorite and their petrogenetic implications. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 47,925-939.
- HAMMARSTON, J. M. & ZEN, E-AN (1986). Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *Am. Mineral.*, 71, 1297-1313.
- HILDRETH, W. (1979). The Bishop Tuff: Evidence for the origin of compositional zonation in silicic magma chambers. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 180, 43-75.
- HOLLISTER, L. S., GRISSOM, G. C., PETERS, E. K., STOWELL, H. H. & SISSON, V. B. (1987). Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification calc-alkaline plutons. *Am. Mineral.*, 72, 231-239.
- JOHNSON, M. C. & RUTHERFORD, M. J. (1989). Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, 17, 837-841.
- ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΣ, Α. Ε. (1983). Συμβολή στη μελέτη των πλουτωνίων πετρωμάτων του Δυτικού Βαρνούντα. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών, 182 σ.
- ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ, Α. (1991). Ορυκτολογία, πετρολογία και γεωχημεία του πλουτωνίτη του Ανατ. Βαρ-

- νούτο. (ΒΔ. Μακεδονία). Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 451 σ.
- LEAKE, B. E., WOOLEY, A. R., ARPS, C. E. S., BIRCH, W. D., GILBERT, M. C., GRICE, J. D., HAWTHORNE, F. C., KATO, A., KISCH, H. J., KRIVOVICHEV, V. G., LINTHOUT, K., LAIRD, J., MANDARINO, J. A., MARESH, W. V., NICKEL, E. H., ROCK, N. M. S., SCHUMACHER, J. C., SMITH, D. C., STEPHENSON, N. C., N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E. J. W. & YOUZHI, G. (1997). Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *Can. Mineral.*, 35, 219-246.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. Μ. (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελοποννησιακής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγματείο για υψηλούς, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 289σ.
- NACHIT, H., RAZAFIMAHERA, N., STUSSI, J. & CARRON, J. P. (1985). Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoides. *Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Academic des Sciences.*, 301(11), 813-818.
- NANEY, M. T. (1983). Phase equilibria of rock-forming ferromagnesian silicates in granitic systems. *Am. J. Sci.*, 283, 993-1033.
- SCHMIDT, M. W. (1992). Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 304-310.
- TULLOCH, A. J. (1979). Secondary Ca-Al silicates as low-grade alteration products of granitoid biotites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69, 105-117.