

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΜΕΤΑΠΗΛΙΤΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΕΝΕΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΝΗΣΟ ΙΚΑΡΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΙΣΟΧΗΜΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ P-T ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ (PSEUDOSECTIONS)

Ηλιόπουλος Ι. και Καταγάς Χ.

Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 265 00 Πάτρα, morel@upatras.gr, c.katagas@upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση ισοχημικών τομών P-T διαγραμμάτων φάσεων (isochemical P-T phase diagram sections όπως προτείνεται σαν ονομασία τους από τους Tinkham & Ghent 2005), ευρύτερα γνωστών ως *pseudosections*, έχει αποδειχθεί ως ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη μεταμορφική πετρολογία. Στην εργασία αυτή δοκιμάζεται η εφαρμογή του σε μεταπηλιτικά πετρώματα μετρίων βαθμών μεταμόρφωσης (πρασινοσχιστολιθική – αμφιβολιτική φάση) της κύριας λιθολογικής ενότητας της νήσου Ικαρίας (ενότητα Ικαρίας). Η χρήση τέτοιων διαγραμμάτων έδωσε τη δυνατότητα της μοντελοποίησης των παρατηρούμενων παραγενέσεων, καθώς και την αποκωδικοποίηση σημαντικού τμήματος της πορείας των μεταμορφικών συνθηκών P-T, που επέδρασαν επί των αντίστοιχων πετρωμάτων. Η δημιουργία ισοχημικών τομών με βάση δύο εκ των πλέον χρησιμοποιούμενων συστημάτων (KFMASH και MnKFMASH) για τρεις κύριες συστάσεις (AIK, BIK, και CIK) που προέκυψαν από την ομαδοποίηση παρομοίου χημισμού συστάσεων πετρωμάτων, επέτρεψε σε πρώτη φάση την αναγνώριση της επίδρασης του Mn στο σύστημα και την επιλογή του πλέον κατάλληλου συστήματος για την ιδανικότερη μοντελοποίηση της κάθε σύστασης/ομάδας παραγενέσεων. Τα διαγράμματα αυτά τέλος επέτρεψαν την με γεωθερμοβαρομετρικούς όρους προσέγγιση παραγενέσεων για τις οποίες η κλασική γεωθερμοβαρομετρία αδυνατεί να δώσει αποτελέσματα, λόγω της απουσίας των κατάλληλων ορυκτών φάσεων.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια επεκτείνεται ολοένα και περισσότερο η προσέγγιση μεταμορφικών παραγενέσεων υψηλών βαθμών ελευθερίας καθώς και η γραφική τους αναπαράσταση με τη χρήση διαγραμμάτων P-T, τα οποία σχεδιάζονται με βάση μια συγκεκριμένη ολική χημική σύσταση πετρώματος και που υπολογίζονται για ένα συστασιακό διάλυσμα (Powell et al. 1998). Τα διαγράμματα αυτά έχει επικρατήσει να αποκαλούνται στην διεθνή βιβλιογραφία με τον όρο "pseudosections". Ο όρος αυτός ωστόσο έχει προκαλέσει αρκετές αντιπαραθέσεις τόσο στα διεθνή συνέδρια όσο και σε σχετικές ομάδες συζητήσεων (mailing lists) στο διαδίκτυο. Για το λόγο αυτό προτιμήθηκε η χρήση της πρόσφατα προτεινόμενης ονομασίας «ισοχημικές τομές P-T διαγραμμάτων φάσεων» και για περισσότερη συντομία ο όρος «ισοχημική τομή» (Tinkham & Ghent 2005).

Τόσο οι συστάσεις όσο και τα ποσοστά συμμετοχής όλων των ορυκτών μιας παραγένεσης είναι προκαθορισμένα σε ένα συγκεκριμένο σημείο P-T, λαμβανομένου υπ' όψιν ότι η ενεργή ολική σύσταση (effective bulk composition: EBC) είναι γνωστή. Ως ενεργή ολική σύσταση ορίζεται από τον Stüwe (1997) η ολική σύσταση του όγκου εξισορρόπησης (equilibration volume) του όγκου δηλαδή του πετρώματος ο οποίος σε συγκεκριμένες P-T αντιδρά ώστε να βρεθεί σε ισορροπία. Η κρισιμότητα της επιλογής της κατάλληλης EBC μέσω της οποίας θα επιτευχθεί η πρόρρηση των ορυκτολογικών παραγενέσεων καθώς και η μοντελοποίησή τους διαμέσου των ισοχημικών τομών έχει αποτελέσει το θέμα μεγάλου αριθμού εργασιών τα τελευταία χρόνια (π.χ. Tinkham et al. 2001, Zeh 2001, Marmo et al. 2002 κ.α.).

Το σύστημα που έχει μελετηθεί διεξοδικά την τελευταία εικοσαετία με ποικίλα αποτελέσματα και με στόχο το εύρος των κοινών ορυκτολογικών παραγενέσεων που εμφανίζονται στα τυπικά μεταπηλιτικά πετρώματα είναι το KFMASH. Το γεγονός ότι στη φύση τα πετρώματα αποτελούνται συ-

νήθως από μεγαλύτερο αριθμό συστατικών, προκάλεσε την μελέτη περισσότερο πολύπλοκων συστημάτων με αύξηση του αριθμού των συστατικών του συστήματος αυτού με την εισαγωγή συστατικών όπως τα Na_2O , CaO , TiO_2 , Fe_2O_3 και MnO (Mahar et al. 1997, Worley & Powell 1998, White et al. 2000, 2001, Tinkham et al. 2001, Wei et al. 2004). Έτσι μπορούν πλέον να υπολογιστούν ισοχημικές τομές συστημάτων όπως το NCKMnFMASHTO.

Τα πιθανά περιθώρια σφάλματος που υπεισέρχονται στους πραγματοποιούμενους υπολογισμούς με το ελεύθερο λογισμικό THERMOCALC (Powell & Holland 1988) προέρχονται από τον υπολογισμό των ενεργοτήτων των ακραίων μελών και από την ίδια την χρήση της βάσης θερμοδυναμικών δεδομένων που το συνοδεύουν. Η τυπική αβεβαιότητα για τις γραμμές οι οποίες διαχωρίζουν πεδία σταθερότητας διαφορετικών ορυκτών στις ισοχημικές τομές, είναι τυπικά της τάξης των ± 10 °C (Vance & Mahar 1998). Τέτοιας έκτασης περιθώρια σφάλματος μπορούν να είναι σημαντικά όταν αυτό που ενδιαφέρει πρωταρχικά είναι οι απόλυτες τιμές της πίεσης και της θερμοκρασίας. Ωστόσο, κύριο ενδιαφέρον τέτοιου είδους διαγραμμάτων αποτελεί η τοπολογία τους και το σχήμα των συστασιακών τους ισοπληθών, καθώς και οι αλλαγές που πραγματοποιούνται σε ένα δεδομένο πεδίο πίεσεων και θερμοκρασιών (Vance & Mahar 1998).

Σκοπός της χρήσης αυτών των διαγραμμάτων ήταν η ερμηνεία μεταπηλιτικών παραγενέσεων της ενότητας Ικαρίας και η χάραξη της πιθανής πορείας των συνθηκών P-T που ακολούθησαν τα αντίστοιχα πετρώματα.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η νήσος Ικαρία αποτελεί μέρος του ανατολικού τμήματος της Απτικο-κυκλαδικής μάζας η συσχέτιση της οποίας με το ανατολικότερο εμφανιζόμενο σύμπλεγμα του Μεντερές έχει απασχολήσει την ερευνητική κοινότητα για πολλά χρόνια. Τα γεωλογικά μοντέλα που κατά καιρούς έχουν προταθεί για την περιοχή αυτή έχουν εξελιχθεί ευρέως τα τελευταία 30 χρόνια, από τη θεωρία ενός συμπαγούς κρατονικού τεμάχους (rigid microcraton) στην πιο πρόσφατα προτεινόμενη ενός «σμπλέγματος Αλπικών καλυμμάτων» (Alpine nappe pile) που δημιουργήθηκε μέσω επωθήσεων και κανονικών ρηγμάτων (Jolivet et al. 1994). Αποτελείται από τρεις κύριες λιθολογικές ενότητες (Hejl et al. 2002): α) ένα τεκτονικό κάλυμμα αποτελούμενο από προ-Μειοκαινικά μεταμορφωμένα πετρώματα και το οποίο περιλαμβάνει: μια κατώτερη παρα-αυτόχθονη ενότητα με χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα, μία ενδιάμεση Ηωκαινικής ηλικίας κυανοσχιστολιθική ενότητα και μία ανώτερη ενότητα από χαμηλής πίεσης μεταμορφωμένα πετρώματα που περιλαμβάνει και μεταοφιόλιθους· β) Μειοκαινικούς πλουτωνίτες που διεισδύουν σε αυτό το τεκτονικό κάλυμμα και γ) μία ανώτερη ενότητα αποτελούμενη από νεογενή ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν τεμάχη από το προϋπάρχον υπόβαθρό τους. Λόγω της εύρεσης απολιθωμάτων (Melidonis 1980) καθώς και του προσδιορισμού ισοτόπων Sr (Andriesen et al. 1979) έχει γίνει ευρύτερα αποδεκτή η συσχέτιση της κυανοσχιστολιθικής ενότητας με την Πελαγονική ζώνη των εσωτερικών Ελληνίδων.

Τρεις τεκτονικές ενότητες έχουν περιγραφεί στην Ικαρία (Κτενάς 1969, Παπανικολάου 1978, Altherr et al. 1994). Στη βάση, η 'ενότητα Ικαρίας' περιλαμβάνει μια ακολουθία μεταπηλιτικών γνευσίων, αμφιβολιτών, χαλαζιτών (Γνεύσιοι Πλαγιάς), μάρμαρα με σπάνιες εμφανίσεις μεταβωξίτων (Μάρμαρο Πούντας) και ποικιλόχρωμες ακολουθίες αμφιβολιτών, μεταπηλιτών, ασβεστοπηριτικών πετρωμάτων και μαρμάρων (σχηματισμός Πετροπούλιου) που έχουν υποστεί ένα μετρίων πίεσεων και θερμοκρασιών μεταμορφικό επεισόδιο Ολιγοκαινικής ως Κάτω Μειοκαινικής ηλικίας. Κατά τη διάρκεια του κάτω Μειοκαινού δύο γρανιτικά σώματα διείσδυσαν στην 'ενότητα Ικαρίας' προκαλώντας τοπικά ανακρυσταλλώσεις λόγω θερμικής μεταμόρφωσης (Altherr et al. 1982). Λιθοτύποι όπως φυλλίτες, μάρμαρα, πρασινοσχιστόλιθοι και ασβεσπτικοί-μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, που υποδηλώνουν μεταμορφικές συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης αποτελούν την 'ενότητα Μεσσαρίας' η οποία είναι τεκτονικά τοποθετημένη επί της 'ενότητας Ικαρίας'. Η ανώτερη τεκτονική ενότητα Κεφάλας η οποία αποτελεί ένα τεκτονικό παράθυρο έκτασης $1,5 \text{ km}^2$ που περιλαμβάνει μάρμαρα στα οποία διεισδύει ένα διοριτικό σώμα, καθώς και αμφιβολίτες (Παπανικολάου 1978). Πρόσφατα έχει αναγνωρισθεί ως τμήμα μιας NNΔ εκτεινόμενης ζώνης με πετρώματα χαμηλής πίεσης - υψηλής θερμοκρασίας, ηλικίας ανώτερου Κρητιδικού. Η ζώνη αυτή αποτυπώνει το όριο μεταξύ των Ελληνίδων και των Ταυρίδων (Langosch et al. 2000).

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΕΙΓΜΑΤΑ

Με σκοπό την αντιπροσωπευτικότερη παρουσίαση του συνόλου των μεταπηλικών παραγενέσεων της ενότητας Ικαρίας μέσω της χρήσης ισοχημικών τομών P-T, κρίθηκε σκόπιμη η ομαδοποίηση των δειγμάτων σε τρεις κύριες συστασιακές ομάδες: την AIK, την BIK και την CIK. Οι συστασιακές αυτές ομάδες αντιστοιχούν σε ιδιαίτερα αργιλούχους μεταπηλίτες (AIK), σε αργιλούχους μεταπηλίτες οι οποίοι στο διάγραμμα AFM προβάλλονται επάνω από τη συνδετική γραμμή γρανάτη-χλωρίτη (BIK), και σε φτωχούς σε Al μεταπηλίτες οι οποίοι προβάλλονται κάτω από τη συνδετική γραμμή γρανάτη-χλωρίτη στο διάγραμμα AFM (CIK). Οι χημικές συστάσεις των τριών αυτών συστασιακών ομάδων αποτελούν στην ουσία το μέσο όρο των ολικών χημικών συστάσεων περισσότερων δειγμάτων με αντίστοιχες συστάσεις (Πιν. 1).

Οι ορυκτολογικές παραγενέσεις που συναντώνται στα δείγματα που αντιστοιχούν στην κάθε μια από τις συστασιακές ομάδες που προαναφέρθηκαν είναι

AIK: χλωριτοειδής-κυανίτης-χλωρίτης-μαργαρίτης-ρουτίλιο

BIK: βιοτίτης-γρανάτης-σταυρόλιθος-κυανίτης-πλαγιόκλαστο

βιοτίτης-ανδαλουσίτης-σιλλιμανίτης-κορδιερίτης (κυανίτης-σταυρόλιθος-γρανάτης)

CIK: χλωρίτης-βιοτίτης-γρανάτης-πλαγιόκλαστο

βιοτίτης-γρανάτης-σταυρόλιθος-πλαγιόκλαστο

Στις παραπάνω παραγενέσεις συμμετέχουν πάντοτε ο χαλαζίας και ο μοσχοβίτης, ενώ τα ορυκτά που δίνονται σε παρένθεση αποτελούν υπολειμματικές φάσεις.

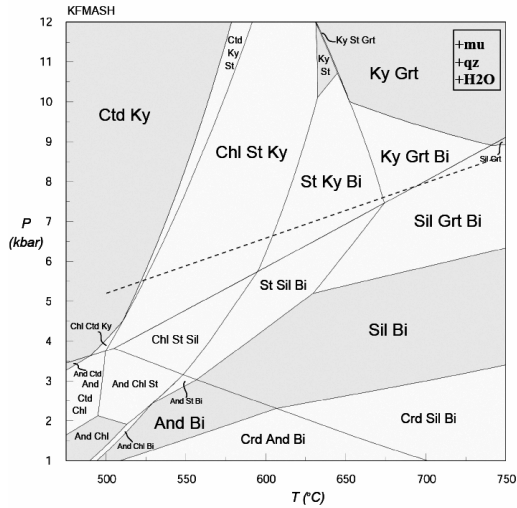
Για τη δημιουργία των ισοχημικών τομών για τις ομάδες συστάσεων BIK και CIK, κρίθηκε απαραίτητη η διόρθωση των μοριακών τους αναλογιών λόγω της σταθερής παρουσίας του πλαγιόκλαστου σε όλα τα αντίστοιχα δείγματα. Η διόρθωση πραγματοποιήθηκε με την αφαίρεση των μοριακών αναλογιών των CaO και Na₂O από την αντίστοιχη μοριακή αναλογία του Al₂O₃. Στα διαγράμματα αυτά τόσο το TiO₂ όσο και το ZnO δεν λαμβάνονται υπόψη αφού αποτελούν μικρό ποσοστό της ολικής σύστασης και ένα δευτερεύον συστατικό σε μία ή δύο ορυκτές φάσεις (TiO₂ στον πιτανίτη και στον ιλμενίτη, ZnO στο σταυρόλιθο). Στο θεωρούμενο πλαίσιο P-T το TiO₂ δεν επηρεάζει σημαντικά τη σταθερότητα των κυρίαρχων ορυκτών φάσεων (White et al. 2000,2001). Όσο για το ZnO, αν και γενικά η παρουσία του αυξάνει το πεδίο σταθερότητας του σταυρολίθου ειδικά όσον αφορά τις υψηλότερες πιέσεις, μικροαναλύσεις έδειξαν ότι η συμμετοχή του στους σταυρόλιθους της Ικαρίας ήταν αμελητέα. Για τη συστασιακή ομάδα AIK δεν κρίθηκε απαραίτητη η αντίστοιχη διόρθωση λόγω της απουσίας του πλαγιόκλαστου από τα αντίστοιχα δείγματα.

Οι ισοχημικές τομές που προέκυψαν για τις συστάσεις AIK, BIK και CIK στο σύστημα KFMASH, και BIK και CIK στο σύστημα KMnFMASH (σχήματα 1 έως 5) κατασκευάστηκαν με τη χρήση του ελεύθερου λογισμικού THERMOCALC (έκδοση 3.21) των Powell & Holland (1988) και Powell et al. (1998) και της συνοδούσας «ενδο-συμβατής» βάσης θερμοδυναμικών δεδομένων (έκδοση th.pd). Τα μοντέλα συσχέτισης ενεργοτήτων-συστάσεως που χρησιμοποιήθηκαν ακολουθούν για μεν το σύστημα KFMASH την κωδικοποίηση που δίνεται από τους Powell & Holland (2001), για δε το σύστημα MnKFMASH εκείνη των Wei et al. (2004). Στους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν, θεωρήθηκε ότι μία πλούσια σε νερό ρευστή φάση καθώς και ο χαλαζίας ήταν συνεχώς σε περίσσεια στα υπό εξέταση συστήματα. Ο μοσχοβίτης συμμετέχει σε όλες τις παραγενέσεις που προκύπτουν για το συγκεκριμένο εύρος των συνθηκών P-T (1-12 kbar και 475-750°C). Στις ισοχημικές τομές που κατασκευάστηκαν, χρησιμοποιείται λευκός χρωματισμός για τα πεδία με δύο βαθμούς ελευθερίας και πιο σκούροι χρωματισμοί με αύξηση της μεταβλητότητας.

3.1 Ισοχημικές τομές στο σύστημα KFMASH

Η ισοχημική τομή του διαγράμματος που αντιστοιχεί στη συστασιακή ομάδα AIK (Σχ. 1) αποτελείται αποκλειστικά από πεδία με δύο και τρεις βαθμούς ελευθερίας. Η επεξεργασία της συγκεκριμένης σύστασης με το THERMOCALC αποδίδει τέσσερα σημεία με μηδέν βαθμούς ελευθερίας καθώς και τμήματα από 7 καμπύλες μονομεταβλητών αντιδράσεων. Το πεδίο σταθερότητας του γρανάτη, δείχνει ότι το χαμηλότερο όριο σταθερότητας του ορυκτού αυτού είναι οι 635 °C στα 10,2 kbar, και οι 630°C στα 5,2 kbar. Ο χλωριτοειδής περιορίζεται στη περιοχή των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών (< 575°C στα 12kbar και <475°C στα 3,5 kbar) και το πεδίο σταθερότητάς του διευρύνεται στις υψηλότερες πιέσεις. Ο κυανίτης είναι σταθερός σε όλο το εύρος του χρησιμοποιούμενου διαγράμματος και για πιέσεις που αντιστοιχούν στο πεδίο σταθερότητας του ορυκτού αυτού. Το

διάγραμμα αυτό προβλέπει ότι είναι δυνατή η σταθερότητα αλουμινοπυριτικών φάσεων στο τριπλό σημείο (3,8 kbar, 505°C, Holdaway 1971).

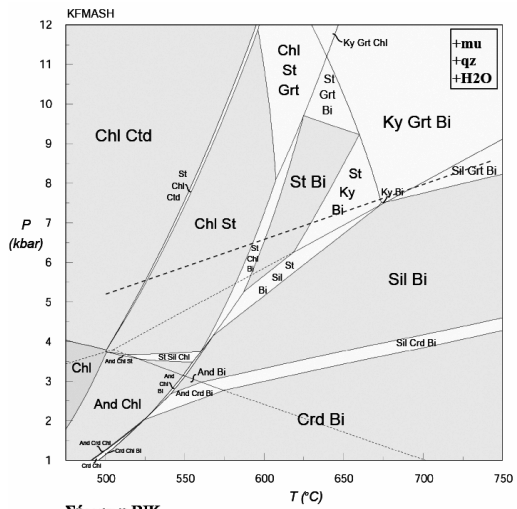


Σύσταση A1K
Al₂O₃ MgO FeO K₂O
70.44 5.95 17.06 6.55

Σχήμα 1. Ισοχημική τομή P-T στο σύστημα KFMASH για τη σύσταση A1K.

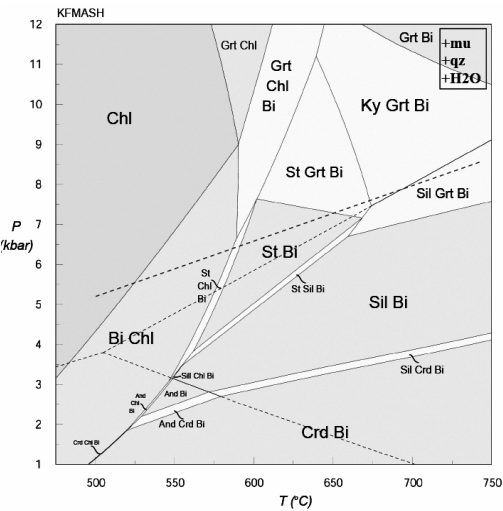
Πίνακας 1. Οι τρεις αντιπροσωπευτικές ομάδες συστάσεων μεταπηλιτών της Ικαρίας που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των ισοχημικών τομών.

(% κ.β.)	A1K	BIK	CIK
SiO ₂	47.32	65.73	62.40
TiO ₂	1.86	1.04	1.39
Al ₂ O ₃	35.4	18.55	19.37
Fe ₂ O ₃	6.67	5.60	6.64
MnO	0.06	0.07	0.05
MgO	0.89	2.67	2.37
CaO	2.13	1.54	1.88
Na ₂ O	0.56	1.71	1.57
K ₂ O	3.01	2.69	3.98
Σύνολο	97.90	99.59	99.65



Σύσταση B1K
Al₂O₃ MgO FeO K₂O
43.50 22.71 24.01 9.78

Σχήμα 2. Ισοχημική τομή P-T στο σύστημα KFMASH για τη σύσταση B1K.



Σύσταση C1K
Al₂O₃ MgO FeO K₂O
41.56 18.68 26.37 13.39

Σχήμα 3. Ισοχημική τομή P-T στο σύστημα KFMASH για τη σύσταση C1K.

Η ισοχημική τομή KFMASH για τη σύσταση B1K (Σχ. 2) αποτελείται κυρίως από πεδία με δύο και τρεις βαθμούς ελευθερίας και μόνο ένα πεδίο με τέσσερις βαθμούς ελευθερίας στην περιοχή χαμηλών πιέσεων και θερμοκρασιών. Η συγκεκριμένη σύσταση εμφανίζει ένα σημείο με μεταβλητότητα μηδέν και τμήματα από 7 μονομεταβλητές αντιδράσεις. Η αντίστοιχη ισοχημική τομή για τη σύσταση C1K (Σχ. 3) εμφανίζει, επίσης, κυρίως πεδία με δύο και τρεις βαθμούς ελευθερίας και μερικά μόνο πεδία με τέσσερις βαθμούς ελευθερίας στις περιοχές υψηλών πιέσεων. Η σύσταση αυτή αποφέρει ένα αμετάβλητο σημείο και τμήματα από 5 μονομεταβλητές αντιδράσεις.

Θεωρώντας μια τυπική πορεία μιας τύπου Barrow μεταμόρφωσης όπως αυτή που υποδεικνύεται με τη διακεκομμένη γραμμή στις τρεις ισοχημικές τομές των αντίστοιχων συστάσεων, προβλέπονται οι ακόλουθες παραγενέσεις (+μοσχοβίτης+χαλαζίας+H₂O):

σύσταση AIK: χλωριτοειδής + κυανίτης → χλωριτοειδής + κυανίτης + σταυρόλιθος → χλωρίτης + κυανίτης + σταυρόλιθος → σταυρόλιθος + κυανίτης + βιοτίτης → κυανίτης + γρανάτης + βιοτίτης → σιλλιμανίτης + γρανάτης + βιοτίτης

σύσταση BIK: χλωρίτης-χλωριτοειδής → χλωρίτης-χλωριτοειδής-σταυρόλιθος → χλωρίτης-σταυρόλιθος → χλωρίτης-σταυρόλιθος-βιοτίτης → σταυρόλιθος-βιοτίτης → σταυρόλιθος-κυανίτης-βιοτίτης → κυανίτης-γρανάτης-βιοτίτης → σιλλιμανίτης-γρανάτης-βιοτίτης

σύσταση CIK: χλωρίτης → χλωρίτης-βιοτίτης → σταυρόλιθος-χλωρίτης-βιοτίτης → σταυρόλιθος-βιοτίτης → σταυρόλιθος-γρανάτης-βιοτίτης → κυανίτης-γρανάτης-βιοτίτης → σιλλιμανίτης-γρανάτης-βιοτίτης

Οι παραγενέσεις που εμφανίζονται σε δείγματα σύστασης AIK (Σχ. 1) είναι οι χλωριτοειδής-κυανίτης και σπανιότερα χλωρίτης-χλωριτοειδής-κυανίτης, και οι δύο των οποίων προβλέπονται από την αντίστοιχη ισοχημική τομή που πραγματοποιήθηκε στο σύστημα KFMASH. Το γεγονός της μη ανίχνευσης σταυρολίθου στα πετρώματα αυτά, θέτει σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, ως ανώτερο δυνατό θερμοκρασιακό όριο τους ~570 °C στα 12 kbar. Η παρουσία ωστόσο χλωρίτη σε ορισμένες από τις παραγενέσεις είναι δυνατό να περιορίσει ακόμη περισσότερο τις συνθήκες κάτω από τις οποίες τα πετρώματα αυτά μεταμορφώθηκαν. Αν ληφθεί υπόψη το, αρκετά περιορισμένης έκτασης διμεταβλητό πεδίο σταθερότητας της παραγένεσης χλωρίτης-χλωριτοειδής-κυανίτης, τότε μπορεί να υποθεθεί ως μέγιστη δυνατή πίεση τα ~4,5 kbar και μέγιστη δυνατή θερμοκρασία οι ~510 °C.

Τα πεδία που προβλέπονται ωστόσο για τις συστάσεις BIK και CIK από τις αντίστοιχες ισοχημικές τομές (Σχ. 2 και Σχ. 3) αποτυγχάνουν να προβλέψουν τις παραγενέσεις που αναγνωρίστηκαν στα αντίστοιχα δείγματα, λόγω κυρίως του ότι τοποθετούν την είσοδο του γρανάτη σε πολύ υψηλές συνθήκες πίεσης αλλά και θερμοκρασίας. Είναι γνωστό ότι η ύπαρξη του MnO σταθεροποιεί το γρανάτη σε υψηλότερες και χαμηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις και για ένα ευρύτερο πλαίσιο ολικών συστάσεων πετρώματος (Spear & Cheney 1989, Symmes & Ferry 1992, Mahar et al. 1997), γεγονός που έκανε απαραίτητη την μοντελοποίηση των δύο αυτών ομάδων συστάσεων στο σύστημα MnKFMASH.

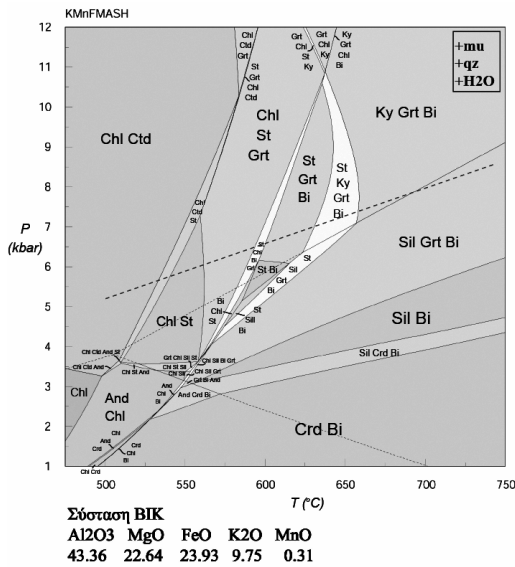
3.2 Ισοχημικές τομές στο σύστημα MnKFMASH

Οι ισοχημικές τομές στο σύστημα MnKFMASH (Σχ. 4 και 5) αποτελούνται κυρίως από πεδία με 3 και 4 βαθμούς ελευθερίας, τα πεδία με 2 βαθμούς ελευθερίας είναι περιορισμένα και εμφανίζεται ένα πεδίο με 5 βαθμούς ελευθερίας. Η ισοχημική τομή για τη σύσταση BIK συναντά πολύ μικρά τμήματα τριών μονομεταβλητών αντιδράσεων και η αντίστοιχη της CIK μόνο μικρό τμήμα μίας μονομεταβλητής αντίδρασης. Χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων διαγραμμάτων είναι ότι τα ορυκτά δείκτες, σταυρόλιθος και κυανίτης δημιουργούν κατά μήκος των ισοχημικών τομών στο σύστημα MnKFMASH διμεταβλητά πεδία τα οποία αντιστοιχούν σε μονομεταβλητές αντιδράσεις των αντίστοιχων ισοχημικών τομών στο σύστημα KFMASH.

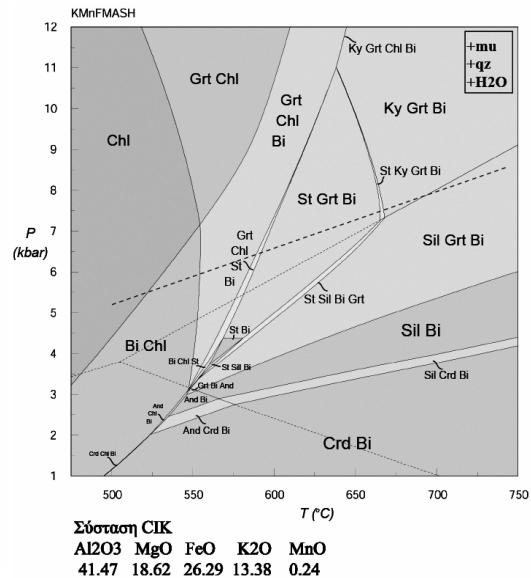
Η επεξεργασία αυτών των ισοχημικών τομών επέτρεψε, κατά πρώτο λόγο, την παρατήρηση της επίδρασης που έχει το Mn, στο πεδίο σταθερότητας του γρανάτη και είναι σύμφωνη με προηγούμενες μελέτες (Spear & Cheney 1989, Symmes & Ferry 1992, Mahar et al. 1997, Tinkham et al. 2001, Wei et al. 2004) που έδειξαν ότι το Mn σταθεροποιεί τον γρανάτη σε σημαντικά χαμηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις σε χημικά συστήματα που το συμπεριλαμβάνουν (πχ. MnNCKFMASH ή MnKFMASH) σε σχέση με το σύστημα KFMASH. Στα σχήματα 6 και 7 έχουν σχεδιαστεί με ξεχωριστά χρώματα, οι γραμμές που αντιστοιχούν στην πρώτη εμφάνιση του γρανάτη, όπως αυτή προκύπτει από την επεξεργασία των διορθωμένων καθώς και μη διορθωμένων συστάσεων BIK και CIK στο σύστημα KFMASH, σε σύγκριση με την πρώτη εμφάνιση του γρανάτη όπως αυτή πιστοποιείται μέσω του συστήματος MnKFMASH.

Τα διαγράμματα αυτά προβλέπουν ένα σημαντικά διευρυμένο πεδίο σταθερότητας του γρανάτη. Στο σύστημα MnKFMASH ο γρανάτης δεν είναι σταθερός στην περιοχή χαμηλών πιέσεων και το πεδίο σταθερότητάς του συρρικνώνεται περαιτέρω με αύξηση τη θερμοκρασίας. Η ελάχιστη δυνατή πίεση στην οποία η ισοχημική τομή προβλέπει σταθερότητα του γρανάτη είναι ~2,97 kbar και κοντά

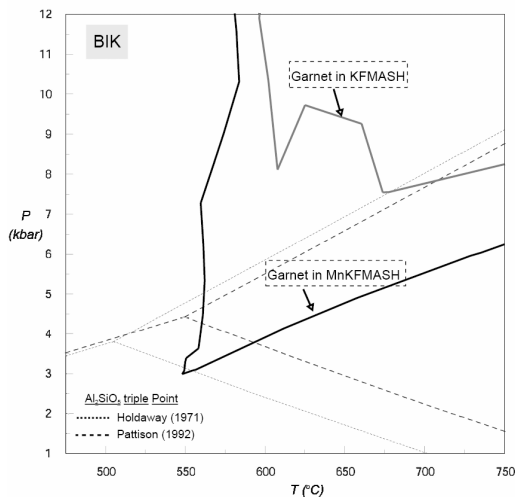
στους ~547 °C. Για τις υπόλοιπες ορυκτές φάσεις δεν προβλέπονται σημαντικές διαφοροποιήσεις όσον αφορά στα πεδία σταθερότητάς τους, όπως έχει παρατηρηθεί και από τον Evans (2004). Γενικά, ο κวานίτης αρχίζει να σταθεροποιείται μόνο πάνω από τους ~620 °C, ο σιλλιμανίτης είναι σταθερός μόνο σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 550 °C, ενώ ο ανδαλουσίτης δείχνει σημαντικό περιορισμένο πεδίο σταθερότητας (<3 kbar, ~525 °C) στη σύσταση CIK, αλλά αρκετά πιο διευρυμένο πεδίο σταθερότητας στην περίπτωση της σύστασης BIK (<3 kbar, ~475°C). Καμία αργιλοπυριτική φάση δεν είναι σταθερή στις συνθήκες P-T του τριπλού σημείου των αλουμινοπυριτικών, γεγονός που συμφωνεί με την άποψη του Pattison (2001) ότι σε πηλιτικά πετρώματα φτωχά σε Al, τα αργιλοπυριτικά ορυκτά δεν είναι σταθερά στο τριπλό σημείο.



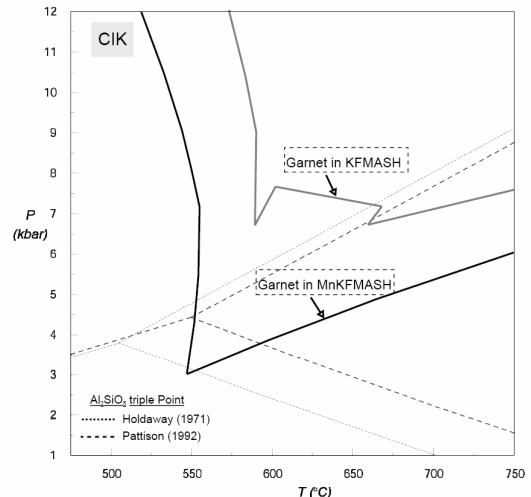
Σχήμα 4. Ισοχημική τομή P-T στο σύστημα MnKFMAsh για τη σύσταση BIK.



Σχήμα 5. Ισοχημική τομή P-T στο σύστημα MnKFMAsh για τη σύσταση CIK.



Σχήμα 6. Διαφοροποίηση του πεδίου σταθερότητας του γρανάτη μεταξύ των συστημάτων KFMASH και MnKFMAsh για τη σύσταση BIK.



Σχήμα 7. Διαφοροποίηση του πεδίου σταθερότητας του γρανάτη μεταξύ των συστημάτων KFMASH και MnKFMAsh για τη σύσταση CIK.

Η κύρια διαφοροποίηση των δύο συστάσεων (BIK και CIK) στο σύστημα MnKFMASH όσον αφορά το πεδίο σταθερότητας του γρανάτη, έγκειται στην διαφορά της θερμοκρασιακής πορείας που ακολουθεί η ισοπληθής εισαγωγής του γρανάτη στις αντίστοιχες παραγενέσεις (BIK: Grt-Chl-Mu-St, CIK: Grt-Chl-Mu-Bi) της κάθε μιας από τις συστάσεις. Έτσι, ενώ και στις δύο συστάσεις η ισοπληθής εισαγωγής του γρανάτη αρχικά διατηρείται γενικά σταθερή, σε πιέσεις >7 kbar στη μεν σύσταση BIK αρχίζει να μετατοπίζεται προς υψηλότερες θερμοκρασίες, στη δε σύσταση CIK αρχίζει να μετατοπίζεται προς χαμηλότερες θερμοκρασίες. Μια άλλη σημαντική διαφορά των δύο συστάσεων είναι ο σχεδόν διπλασιασμός του εύρους του πεδίου σταθερότητας του σταυρόλιθου στην σύσταση BIK σε σχέση με την σύσταση CIK. Αντίστοιχα η επεξεργασία της σύστασης CIK έδειξε τη σημαντική διεύρυνση του πεδίου σταθερότητας του βιοτίτη ο οποίος παράλληλα κάνει την πρώτη του εμφάνιση πριν την αντίστοιχη εμφάνιση του σταυρόλιθου. Σημαντική διαφορά επίσης αποτελεί το γεγονός ότι στη σύσταση BIK η ισοχημική τομή προβλέπει την παρουσία του χλωριτοειδούς στην περιοχή των χαμηλών θερμοκρασιών για ένα ιδιαίτερα περιορισμένο θερμοκρασιακό εύρος, για μεγάλο όμως εύρος πιέσεων. Στις διαφορές των δύο διαγραμμάτων έχει ήδη αναφερθεί στην προηγούμενη παράγραφο και η διευρυμένη παρουσία του ανδαλουσίτη στη περίπτωση της σύστασης BIK. Μάλιστα, η ίδια ισοχημική τομή προβλέπει την εμφάνιση της παραγένεσης σταυρόλιθος+ανδαλουσίτης+χλωρίτης. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ισοχημικής τομής που προκύπτει από τη σύσταση CIK είναι επίσης το εκτεταμένο πεδίο σταθερότητας της παραγένεσης χλωρίτης+μοσχοβίτης. Τέλος, στις σημαντικές διαφορές πρέπει να προστεθεί και η ελαφρά μετατόπιση το πεδίου σταθερότητας της παραγένεσης σταυρόλιθος-κυανίτης-γρανάτης-βιοτίτης-μοσχοβίτης στην ισοχημική τομή της σύστασης BIK, προς χαμηλότερες θερμοκρασίες με σύγχρονη διεύρυνσή του σε σχέση με την σύσταση CIK.

Συγκρίνοντας τις παραγενέσεις που προβλέπονται από τις δύο αυτές χαρακτηριστικές συστάσεις των μεταπηλιτών της Ικαρίας με τις παραγενέσεις που αναγνωρίστηκαν πετρογραφικά, προκύπτει ότι η κορύφωση της μεταμόρφωσης στα πετρώματα αυτά θα πρέπει να έγινε στις συνθήκες που προκύπτουν για το πεδίο σταυρόλιθος-κυανίτης-γρανάτης-μοσχοβίτης-βιοτίτης στην ισοχημική τομή της σύστασης BIK (Σχ. 4). Η παραγένεση κυανίτης-γρανάτης-βιοτίτης-μοσχοβίτης που απαιτεί υψηλότερες θερμοκρασίες σχηματισμού δεν πιστοποιήθηκε από την μικροσκοπική εξέταση των λεππών τομών. Το πεδίο σταθερότητας της παραγένεσης που αντιστοιχεί στην κορύφωση της μεταμόρφωσης σύμφωνα με την αντίστοιχη ισοχημική τομή προσδιορίζεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 620 °C και 660 °C και πιέσεις μεγαλύτερες των 6,4 kbar. Η ανάγνωση των δύο διαγραμμάτων των συστάσεων BIK και CIK, με επάλληλη τοποθέτησή τους πιστοποιεί ότι η συγκεκριμένη παραγένεση δεν θα μπορούσε να σχηματιστεί ποτέ σε δείγματα σύστασης CIK, αφού εάν συνέβαινε κάτι τέτοιο, τότε στα αντιστοιχών συνθηκών δείγματα της σύστασης BIK η σταθερή παραγένεση θα ήταν κυανίτης-γρανάτης-βιοτίτης-μοσχοβίτης, που όμως, όπως ήδη αναφέρθηκε πιο πάνω, δεν παρατηρήθηκε ποτέ στα δείγματα της Ικαρίας.

Θεωρώντας μια γεωθερμική βαθμίδα της τάξης των 25 °C km⁻¹, η οποία αντιπροσωπεύει μεταμόρφωση σε συνθήκες μετρίων πιέσεων, οι παραγενέσεις που θα "έβλεπαν" οι δύο υπό μελέτη συστάσεις θα ήταν (με τον χαλαζία και το νερό πάντα σε περίσσεια και με τον μοσχοβίτη παρόντα σε όλες τις παραγενέσεις: με έντονα γράμματα αναφέρονται οι παραγενέσεις που εμφανίζονται στην Ικαρία):

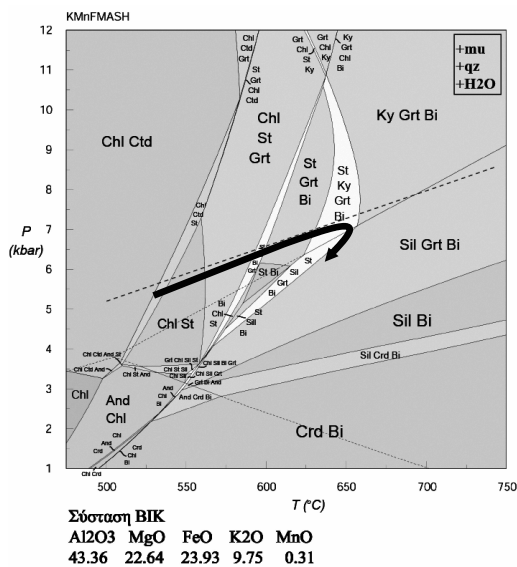
σύσταση BIK: χλωρίτης-χλωριτοειδής → χλωρίτης-χλωριτοειδής-σταυρόλιθος → χλωρίτης-σταυρόλιθος-γρανάτης → χλωρίτης-σταυρόλιθος-γρανάτης-βιοτίτης → **σταυρόλιθος-γρανάτης-βιοτίτης** → **σταυρόλιθος-κυανίτης-γρανάτης-βιοτίτης** → κυανίτης-γρανάτης-βιοτίτης → σιλλιμανίτης-γρανάτης-βιοτίτης.

σύσταση CIK: χλωρίτης → **βιοτίτης-χλωρίτης** → **γρανάτης-χλωρίτης-βιοτίτης** → γρανάτης-χλωρίτης-σταυρόλιθος-βιοτίτης → **σταυρόλιθος-γρανάτης-βιοτίτης** → σταυρόλιθος-κυανίτης-γρανάτης-βιοτίτης → κυανίτης-γρανάτης-βιοτίτης → σιλλιμανίτης-γρανάτης-βιοτίτης.

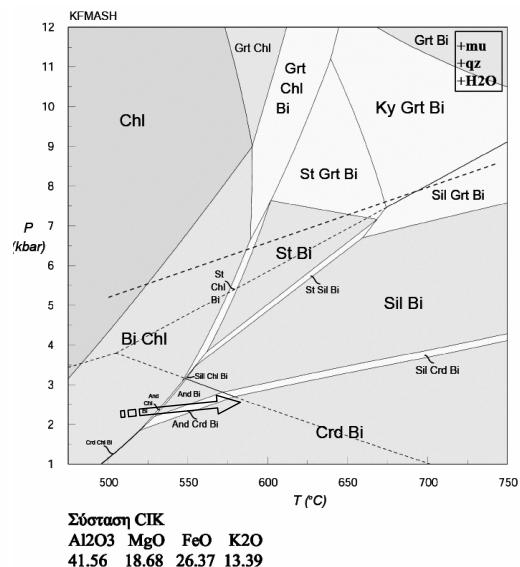
Παραγενέσεις οι οποίες συναντώνται στους μεταπηλίτες της Ικαρίας, δεν συμπεριλαμβάνονται όμως σε μία πορεία μεταμόρφωσης με γεωθερμική βαθμίδα 25 °C km⁻¹ αν και προβλέπονται από τις ισοχημικές τομές στο σύστημα MnKFMASH, είναι: **σταυρόλιθος-γρανάτης-σιλλιμανίτης-βιοτίτης**, και ο ορυκτολογικός συνδυασμός ανδαλουσίτης-κορδιερίτης-βιοτίτης-σιλλιμανίτης-(σταυρόλιθος-γρανάτης-κυανίτης). Η είσοδος του σιλλιμανίτη στην παραγένεση σταυρόλιθος-γρανάτης-σιλλιμανίτης-βιοτίτης θα μπορούσε να εξηγηθεί με μια ελαφρά καμπή της προηγούμενης περιγραφόμενης πορείας συνθηκών P-T, με ελαφρά μείωση της πίεσης στα ~6,5 kbar.

Το ορυκτολογικό άθροισμα ανδαλουσίτης - κορδιερίτης - βιοτίτης - σιλλιμανίτης - (σταυρόλιθος - γρανάτης - κυανίτης) στο σύνολό του αποτελεί εκ των πραγμάτων έναν ορυκτολογικό συνδυασμό μη ισορροπίας. Η ερμηνεία όμως αυτού του ορυκτολογικού συνδυασμού κρίνεται σημαντική αφού αντικατοπτρίζει ένα μεγάλο τμήμα της πορείας των μεταμορφικών συνθηκών που ήταν υπεύθυνες για την μεταμόρφωση στην Ικαρία. Η μικροσκοπική εξέταση των ιστολογικών χαρακτηριστικών του αντίστοιχου δείγματος επιβεβαίωσε την έλλειψη ισορροπίας μεταξύ των συνυπαρχόντων ορυκτών.

Η ερμηνεία του παραπάνω ορυκτολογικού συνδυασμού γίνεται θεωρώντας δύο ανεξάρτητα μεταξύ του στάδια μεταμόρφωσης. Το πρώτο στάδιο (Σχ. 8) οδήγησε στην τερματική παραγένεση γρανάτης-σταυρόλιθος-κυανίτης-βιοτίτης που αντιστοιχεί στην κορύφωση του μεταμορφικού γεγονότος τύπου Barrow στην Ικαρία και πιθανότατα σχετίζεται με την μεταμορφική φάση M2 στην ευρύτερη περιοχή. Η ελαφρά μείωση της πίεσης περίπου στα 6,5 kbar οδήγησε, τοπικά μόνο, στην εμφάνιση ινώδους σιλλιμανίτη. Σύντομες ανυψωτικές κινήσεις, που πιθανότατα ακολούθησαν επέτρεψαν στη παραγένεση αυτή να διατηρηθεί σε συνθήκες αρκετά έξω από εκείνες του πεδίου σταθερότητας της, αλλά και να υποστεί φαινόμενα ανάδρομης μεταμόρφωσης, που αποτυπώνονται στις παραγένεσεις αυτές με την έντονη χλωρίτιση του βιοτίτη, καθώς και τη εν μέρει δημιουργία shimmer aggregate από το σταυρόλιθο. Αυτό είχε ως συνέπεια τη μεταβολή της ενεργού ολικής σύστασης (EBC) του πετρώματος η οποία θα ήταν διαθέσιμη κατά την έναρξη του επόμενου σταδίου μεταμόρφωσης. Η νέα ενεργός ολική σύσταση (EBC) θα πρέπει να ήταν πλέον σημαντικά φτωχότερη σε Mn, λόγω της κλασματοποίησης του στον ήδη υπάρχοντα γρανάτη. Επίσης, η διατήρηση των πλούσιων σε Al φάσεων (π.χ. σταυρόλιθος, κυανίτης) επέδρασε ανάλογα, επηρεάζοντας αρνητικά τη διαθέσιμη στο σύστημα ποσότητα Al. Έτσι το σύστημά μας θα μπορούσε να ερμηνευθεί μέσω της ισοχημικής τομής στο σύστημα KFMASH, χρησιμοποιώντας μια σύσταση ελαφρά πιο φτωχή σε Al, όπως η σύσταση CIK (Σχ. 9).



Σχήμα 8. Χάραξη της πορείας συνθηκών P-T στο σύστημα MnKFMASH για τη σύσταση BIK (στάδιο 1).



Σχήμα 9. Χάραξη της πορείας συνθηκών P-T στο σύστημα KFMASH για τη σύσταση CIK (στάδιο 2).

Το δεύτερο στάδιο (Σχ. 9) σχετίζεται πιθανότατα με την τοπική αύξηση της θερμοκρασίας που δημιουργείται λόγω της κατω-Μειοκαινικής διεϊσόδου γρανιτικών σωματών στην Ικαρία. Θεωρώντας μια σχεδόν ισοβαρική πορεία, χαρακτηριστική για ανάλογο τύπου φαινόμενα θερμικής μεταμόρφωσης και ως εναρκτήριες συνθήκες εκείνες του πεδίου βιοτίτης-χλωρίτης, ή και ακόμη χαμηλότερα (π.χ. πεδίο χλωρίτη), η αύξηση της θερμοκρασίας οδήγησε στην εμφάνιση του ανδαλουσίτη, η οποία προβλέπεται αρχικά στην αντίστοιχη ισοχημική τομή (Σχ. 9) με την ύπαρξη του αρκετά περιορισμένης έκτασης διμεταβλητού πεδίου σταθερότητας της παραγένεσης ανδαλουσίτης-χλωρίτης-βιοτίτης. Το γεγονός αυτό περιορίζει τις πιθανά επικρατούσες αρχικές πιέσεις μεταξύ ~1,9 και 3,2 kbar, και τις πιθανές αντίστοιχες θερμοκρασίες μεταξύ 520 και 540 °C. Η περαιτέρω αύξηση της

θερμοκρασίας οδηγεί τα αντιστοιχού σύστασης πετρώματα να εμφανίσουν τις παραγενέσεις ανδαλουσίτης-βιοτίτης, ανδαλουσίτης-κορδιερίτης-βιοτίτης. Η τερματική παραγένεση του σταδίου αυτού, σύμφωνα με τις ιστολογικές παρατηρήσεις θα πρέπει να περιέχει σιλλιμανίτη. Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει να περιορίσουμε ακόμη περισσότερο το εύρος των πιθανών πιέσεων κατά το στάδιο αυτό. Οι πιέσεις αυτές περιορίζονται μεταξύ της πίεσης που αντιστοιχεί στην χαμηλότερη πίεση εμφάνισης του σιλλιμανίτη, και εκείνης που αντιστοιχεί στην υψηλότερη δυνατή πίεση εμφάνισης κορδιερίτη μαζί με ανδαλουσίτη (+βιοτίτη), δηλαδή μεταξύ ~2,7 και ~2,8 kbar. Το αντίστοιχο θερμοκρασιακό εύρος κυμαίνεται μεταξύ ~570 και ~580 °C. Ανάλογες συνθήκες πίεσης υποδηλώνουν την πιθανή άνοδο του γρανιτικού σώματος μέχρι βάθους τουλάχιστον 10 km. Τα φαινόμενα που περιγράφθηκαν αφορούν περιοχές κοντά στην επαφή του γρανίτη της Δυτικής Ικαρίας με τα γειτονικά του πετρώματα. Αντίστοιχα φαινόμενα παρατηρούνται, σε περιορισμένη όμως ένταση και στο γρανίτη του Ξυλοσύρτη (ΝΑ Ικαρία), αλλά μόνο κοντά σε πηγματιπικές φλέβες που συνδέονται γενετικά με αυτόν (περιοχή Πλωμάρι, ΒΑ Ικαρία). Εκεί όμως δεν ανιχνεύθηκε σιλλιμανίτης, γεγονός που αντικατοπτρίζει την μικρότερη θερμική επιρροή που είχαν τα πλουτώνια αυτά σώματα, καθώς και την άνοδό τους υψηλότερα σε σχέση με τον γρανίτη της Δυτικής Ικαρίας.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση των ισοχημικών τομών P-T στα συστήματα KFMASH και MnKFMASH με βάση τρεις αντιπροσωπευτικές συστάσεις των μεταπηλιτών της 'ενότητας Ικαρίας' επέτρεψε την μοντελοποίηση των σχετικών ορυκτολογικών παραγενέσεων, τον προσδιορισμό των σχετικών συνθηκών P-T κάτω από τις οποίες αυτά μεταμορφώθηκαν, και τέλος την χάραξη της πιθανής πορείας των συνθηκών αυτών σε ένα διάγραμμα πίεσης-θερμοκρασίας (Σχ. 8 και 9).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Κτενάς, Κ., 1969. Γεωλογία της νήσου Ικαρίας (Συντ. Μαρίνος Γ.), *Γεωλογικά Γεωφυσικά Μελέται*, 13(2), 57-86
- Παπανικολάου, Δ., 1978. Συμβολή εις την γεωλογίαν της νήσου Ικαρίας (Αιγαίον Πέλαγος), *Annales Geologique des Pays Helleniques*, 29, 1-28.
- Altherr, R., Kreuzer, H., Lenz, H., Wendt, I., Harre, W., and Durr, S., 1994. Further Evidence for a Late Cretaceous Low-Pressure High-Temperature Terrane in the Cyclades, Greece - Petrology and Geochronology of Crystalline Rocks from the Islands of Donoussa and Ikaria, *Chemie Der Erde-Geochemistry*, 54(4), 319-328.
- Altherr, R., Kreuzer, H., Wendt, I., Lenz, H., Wagner, G. A., Keller, J., Harre, W., and Hohndorf, A., 1982. A late Oligocene/Early Miocene high temperature belt in the Attic-Cycladic crystalline complex (SE Pelagonian, Greece), *Geologische Jahrbuch Reihe E*, 23, 97-164.
- Andriessen, P.A.M., Boelrijk, N.A.I.M., Hebeda, E.H., Priem, H.N.A., Verdurmen, E.A.T., and Verschure, R.H., 1979. Dating the Events of Metamorphism and Granitic Magmatism in the Alpine Orogen of Naxos (Cyclades, Greece), *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69(3), 215-225.
- Evans, T.P., 2004. A method for calculating effective bulk composition modification due to crystal fractionation in garnet-bearing schist: implications for isopleth thermobarometry, *Journal of Metamorphic Geology*, 22(6), 547-557.
- Hejl, E., Riedl, H., and Weingartner, H., 2002. Post-plutonic unroofing and morphogenesis of the Attic-Cycladic complex (Aegean, Greece), *Tectonophysics*, 349(1-4), 37-56.
- Holdaway, M.J., 1971. Stability of Andalusite and Aluminum Silicate Phase Diagram, *American Journal of Science*, 271(2), 97-131.
- Jolivet, L., Brun, J.P., Gautier, P., Lallemand, S., and Patriat, M., 1994. 3d-Kinematics of Extension in the Aegean Region from the Early Miocene to the Present, Insights from the Ductile Crust. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 165(3), 195-209.
- Langosch, A., Seidel, E., Stosch, H.G., and Okrusch, M., 2000. Intrusive rocks in the ophiolitic melange of Crete - Witnesses to a Late Cretaceous thermal event of enigmatic geological position, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 139(3) 339-355.
- Mahar, E.M., Baker, J.M., Powell, R., Holland, T.J.B., and Howell, N., 1997. The effect of Mn on mineral stability in metapelites, *Journal of Metamorphic Geology*, 15(2), 223-238.
- Marmo, B.A., Clarke, G.L., and Powell, R., 2002. Fractionation of bulk rock composition due to porphyroblast growth: effects on eclogite facies mineral equilibria, Pam Peninsula, New Caledonia, *Journal of Metamorphic Geology*, 20(1), 151-165.

- Melidonis, N.G., 1980. The geological structure and mineral deposits of Tinos island (Cyclades, Greece). *The Geology of Greece* 13, 80 pp., Athens.
- Pattison, D.R.M., 2001. Instability of Al₂SiO₅ "triple-point" assemblages in muscovite plus biotite plus quartz-bearing metapelites, with implications, *American Mineralogist*, 86(11-12), 1414-1422.
- Powell, R., and Holland, T.J.B., 1988. An Internally Consistent Dataset with Uncertainties and Correlations .3. Applications to Geobarometry, Worked Examples and a Computer-Program, *Journal of Metamorphic Geology*, 6(2), 173-204.
- Powell, R., Holland, T., and Worley, B., 1998. Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC, *Journal of Metamorphic Geology*, 16(4), 577-588.
- Spear, F.S., and Cheney, J.T., 1989. A Petrogenetic Grid for Pelitic Schists in the System SiO₂- Al₂O₃-FeO-MgO-K₂O-H₂O, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 101(2), 149-164.
- Stuwe, K., 1997. Effective bulk composition changes due to cooling: a model predicting complexities in retrograde reaction textures, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 129(1), 43-52.
- Symmes, G.H., and Ferry, J.M., 1992. The Effect of Whole-Rock MnO Content on the Stability of Garnet in Pelitic Schists during Metamorphism, *Journal of Metamorphic Geology*, 10(2), 221-237.
- Tinkham, D.K., Zuluaga, C.A., and Stowell, H.H., 2001. Metapelite phase equilibria modeling in MnNCKFMASH: the effect of variable Al₂O₃ and MgO/(MgO + FeO) on mineral stability, *Geological Materials Research*, 3, 1-42.
- Tinkham, D.K., and Ghent, E.D., 2005. Estimating P-T conditions of garnet growth with isochemical phase-diagram sections and the problem of effective bulk- composition, *Canadian Mineralogist*, 43, 35-50.
- Vance, D., and Mahar, E., 1998. Pressure-temperature paths from P-T pseudosections and zoned garnets; potential, limitations and examples from the Zaskar Himalaya, NW India. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 132, 225-245.
- Wei, C.J., Powell, R., and Clarke, G.L., 2004. Calculated phase equilibria for low- and medium-pressure metapelites in the KFMASH and KMnFMASH systems, *Journal of Metamorphic Geology*, 22(5), 495-508.
- White, R.W., Powell, R., and Holland, T.J.B., 2001. Calculation of partial melting equilibria in the system Na₂O-CaO-K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (NCKFMASH), *Journal of Metamorphic Geology*, 19(2), 139-153.
- White, R.W., Powell, R., Holland, T.J.B., and Worley, B.A., 2000. The effect of TiO₂ and Fe₂O₃ on metapelitic assemblages at greenschist and amphibolite facies conditions: mineral equilibria calculations in the system K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂- H₂O-TiO₂-Fe₂O₃, *Journal of Metamorphic Geology*, 18(5), 497-511.
- Worley, B., and Powell, R., 1998. Singularities in NCKFMASH (Na₂O-CaO-K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂- H₂O), *Journal of Metamorphic Geology*, 16(2), 169,169-188.
- Zeh, A., 2001. Inference of a detailed P-T path from P-T pseudosections using metapelitic rocks of variable composition from a single outcrop, Shackleton Range, Antarctica, *Journal of Metamorphic Geology*, 19(4), 329-350.

ABSTRACT

MODELING AND PREDICTION OF METAPELITIC ASSEMBLAGES FROM IKARIA ISLAND (AEGEAN, GREECE) EMPLOYING ISOCHEMICAL P-T PHASE DIAGRAM SECTIONS (PSEUDOSECTIONS)

Iliopoulos I. and Katagas C.

Section of Earth Materials, Department of Geology, University of Patras, 265 00, Patras, morel@upatras.gr, c.katagas@upatras.gr

Isochemical P-T phase diagram sections (broadly known as pseudosections) have been proved a very useful tool for metamorphic petrology. In the present work the use of these diagrams is employed in metapelitic rocks of medium grade (greenschist-amphibolite facies) from the main tectonic unit of Ikaria island (Ikaria unit). These diagrams have permitted to model the observed mineralogical assemblages and to trace segments of the P-T path these rocks had followed. Isochemical sections were made for three representative mean compositions of rock analyses with similar mineral associations. These diagrams sought light to the influence that Mn imposes on garnet stability and helped us selecting the appropriate chemical system (KFMASH or MnKFMASH) for each bulk composition involved, in order to better modeling the relative assemblages. Finally, the isochemical sections helped us inferring preliminary thermobarometric constraints for mineral assemblages that conventional geothermobarometry has very limited success.