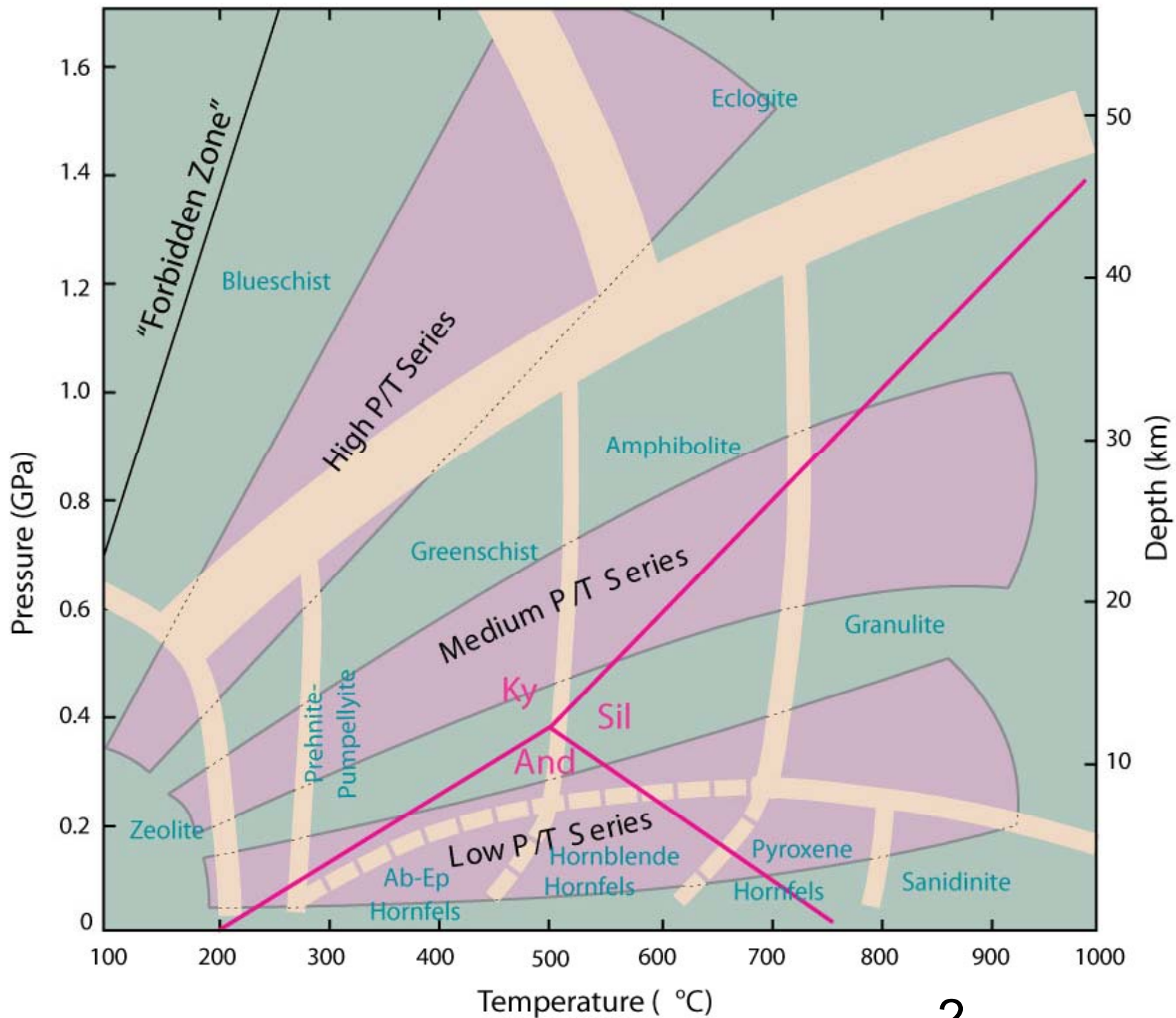


Πετρολογία Μαγματικών και Μεταμορφωμένων Πετρωμάτων

Διάλεξη 12^η:

- ✓ **Σειρά φάσεων μετρίων πιέσεων**
(Μεταμόρφωση τύπου *Barrow*)

Fig. 25.3. Temperature-pressure diagram showing the three major types of metamorphic facies series proposed by Miyashiro (1973, 1994). Winter (2010) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.



Μεταμόρφωση πηλιτικών ιζημάτων

Ορυκτολογία

- Φυλλοπυριτικά ορυκτά ~ 50%
- Λεπτόκοκκος χαλαζίας ~ 10 – 30%
- Άστριοι, οξειδία και υδροξειδία σιδήρου, ζεόλιθοι, ανθρακικά ορυκτά, σουλφίδια και οργανικό υλικό

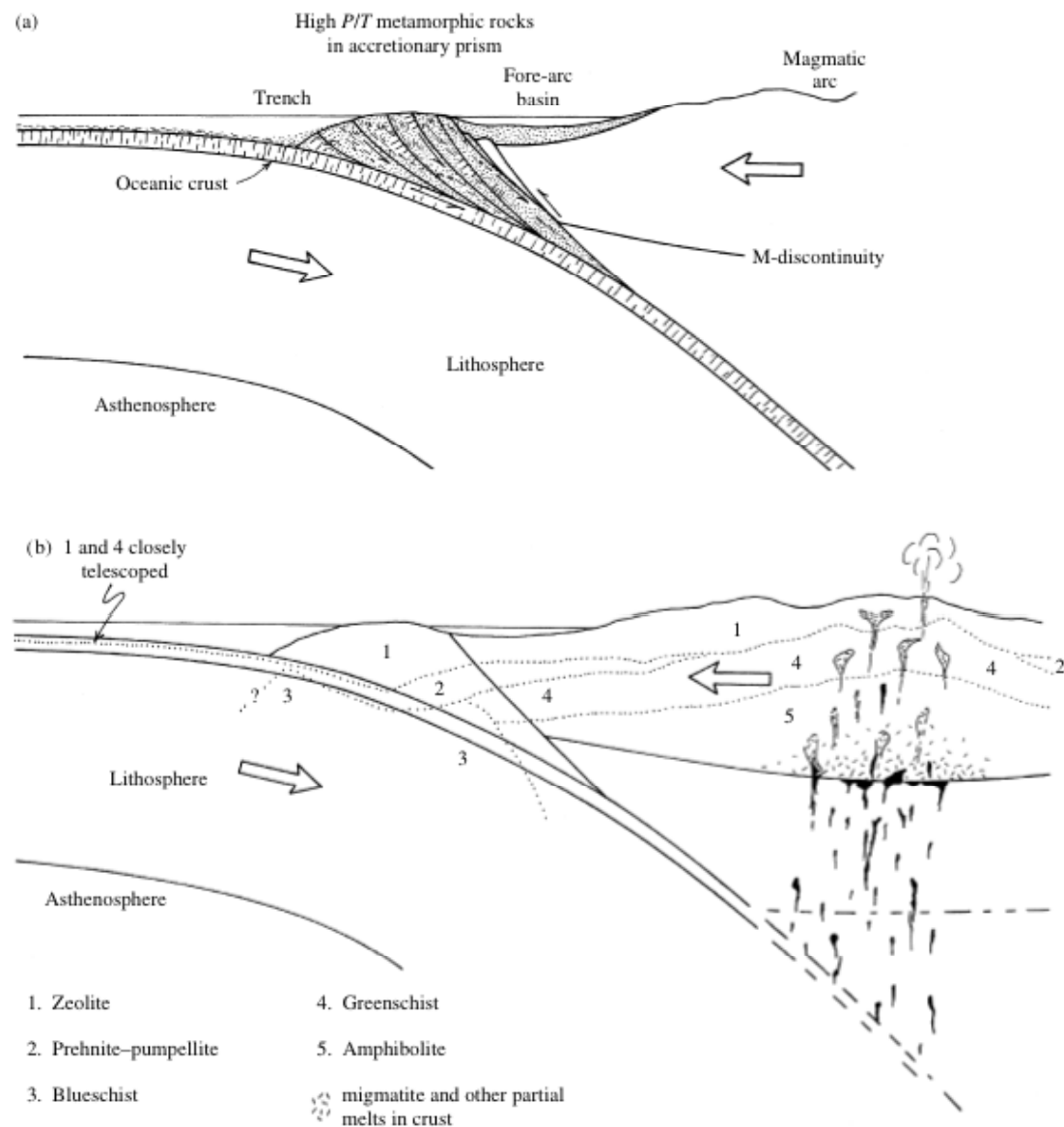
TABLE 1 Chemical Compositions* of Shales and Metapelites

	1	2	3	4	5
SiO ₂	64.7	64.0	61.5	65.9	56.3
TiO ₂	0.80	0.81	0.87	0.92	1.05
Al ₂ O ₃	17.0	18.1	18.6	9.1	20.2
MgO	2.82	2.85	3.81	2.30	3.23
FeO*	5.69	7.03	10.0	6.86	8.38
MnO	0.25	0.10			0.18
CaO	3.50	1.54	0.81	0.17	1.59
Na ₂ O	1.13	1.64	1.46	0.85	1.86
K ₂ O	3.96	3.86	3.02	3.88	4.15
P ₂ O ₅	0.15	0.15			
Total	100.00	100.08	100.07	99.98	96.94

*Reported on a volatile-free basis (normalized to 100%) to aid comparison.

1. "North American Shale Composite." Gromet et al. (1984). 2. Average of ~100 published shale and slate analyses (Ague, 1991). 3. Ave. pelite–pelagic clay (Carmichael, 1989). 4. Ave. of low-grade pelitic rocks, Littleton Formation New Hampshire (Shaw, 1956). 5. Ave. of ~150 amphibolite–facies pelitic rocks (Ague, 1991).

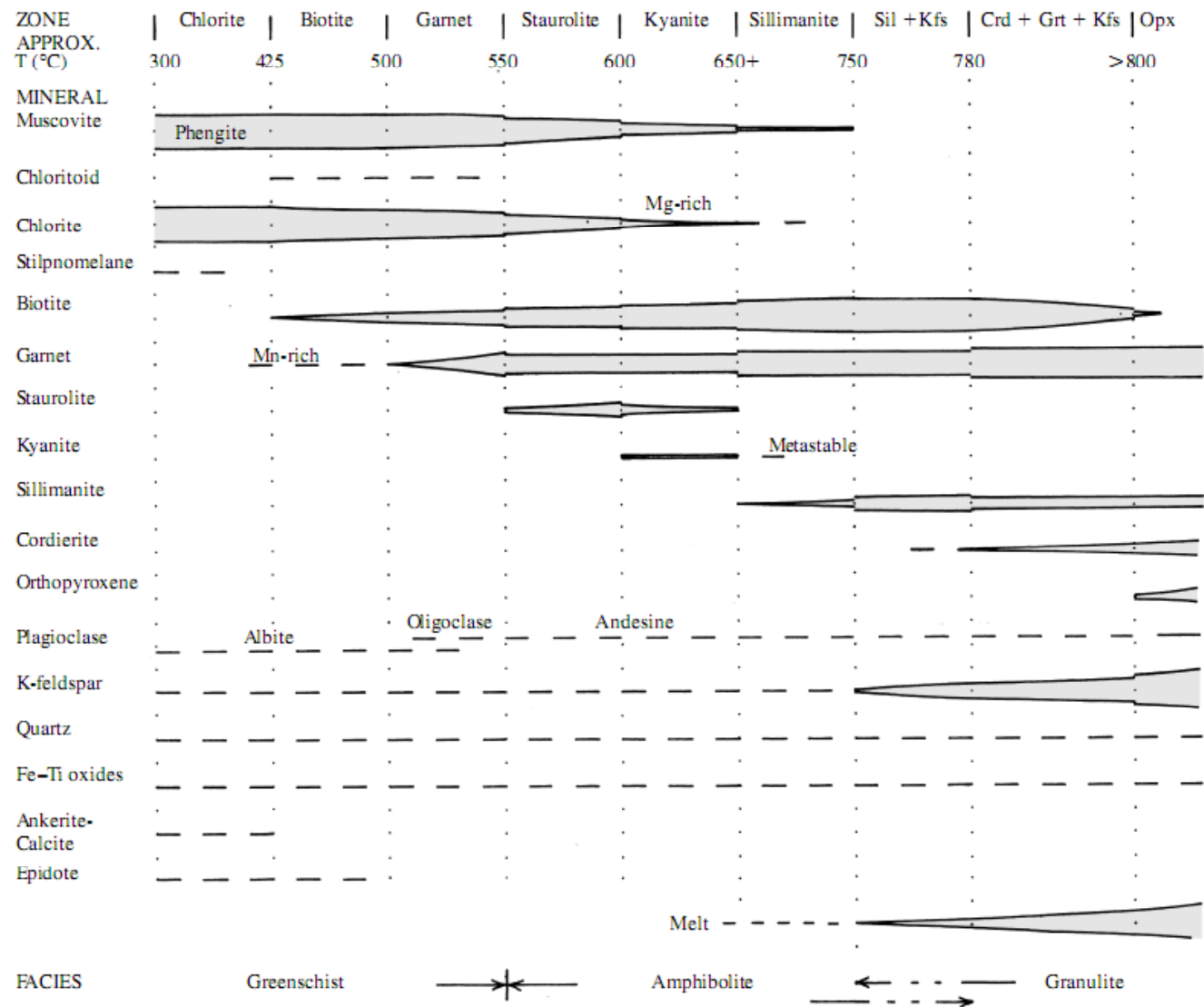
- Παχιές ακολουθίες πετρωμάτων συνδεδεμένες με δραστηριότητα μαγματικού τόξου
- $T > 300^{\circ} \text{C}$ και P χαμηλή έως ενδιάμεση
- Χαμηλές $P \rightarrow$ Buchan zones
- Μέτριες $P \rightarrow$ Barrow zones
- Τοπικά $T >$ granitic solidus \rightarrow δημιουργία ανατηκτικών μιγματιτών



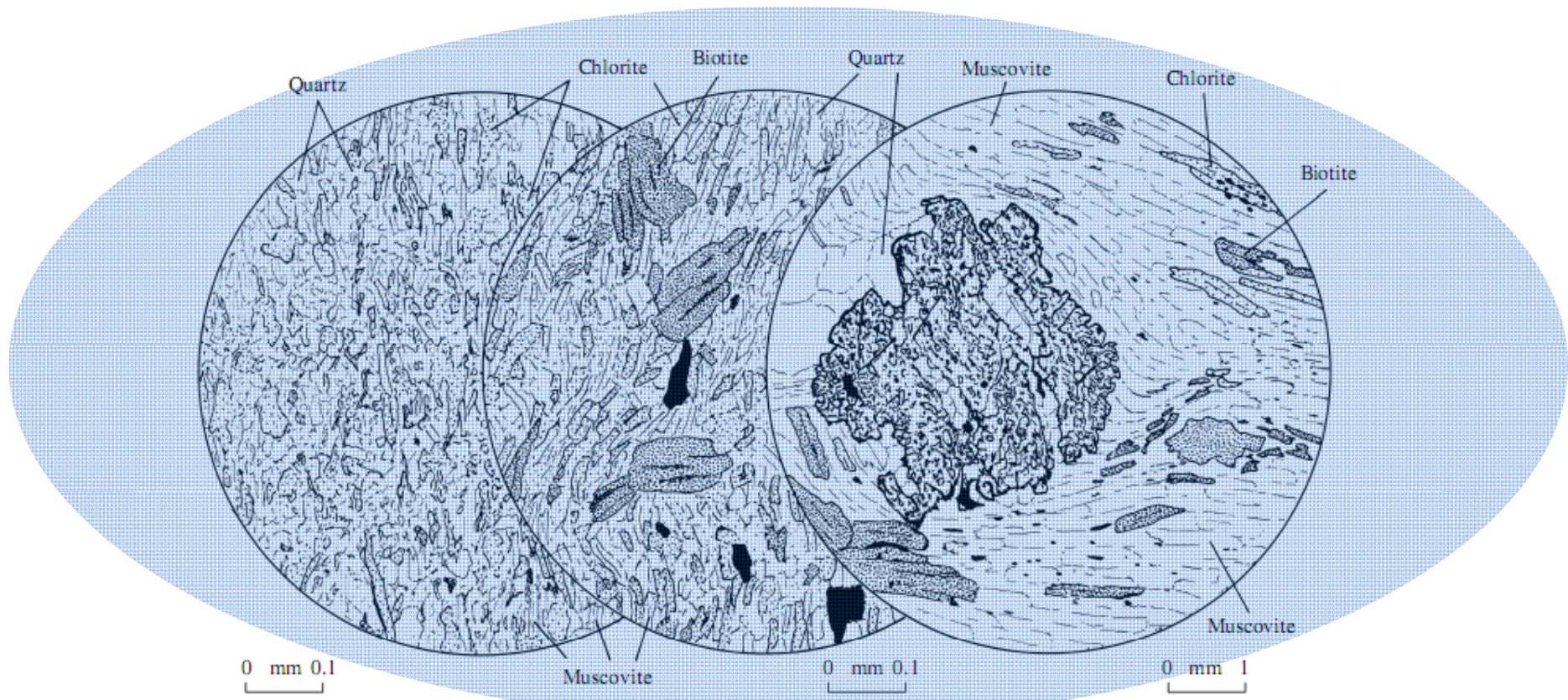
14.24 Schematic cross-sections through a continental margin subduction zone showing typical settings for regional and contact metamorphism. Redrawn from Ernst (1976). (a) Underthrust imbrication of slices of arc-trench sediments and scraped-off oceanic lithosphere builds an **accretionary prism**, or accretionary wedge (compare Figures 11.16 and 13.17). (b) Distribution of metamorphic facies (Figure 14.33) in an orogenic belt, or orogen. Note that boundaries between facies in the magmatic arc in the core of the orogen are deflected nearer the surface where the geothermal gradient is elevated. This is the setting of regional Barrovian-style metamorphism of the greenschist-amphibolite facies series along an intermediate P metamorphic field gradient that culminates with migmatites in the deeper crust. Contact thermal metamorphism develops around magmatic intrusions, especially in the shallow crust, perturbing the facies boundaries as drawn. The high P/T facies series (zeolite, prehnite-pumpellyite, and blueschist) develops in the accretionary prism adjacent to the trench where the cool subducting oceanic slab acts as a heat sink, depressing geotherms.

Πλεονεκτήματα χρήσης πηλιτών για P-T

- ευαισθησία πηλιτικών παραγενέσεων στις αλλαγές P-T
- πλήθος ασυνεχών αντιδράσεων (και ορυκτών φάσεων)
- σχιστές άργιλοι και ιλυόλιθοι (~50% micas, 10-30% qz), αποτελούν τους πλέον συχνούς ιζηματογενείς λιθότυπους
- Μαζί με ανώριμα χαλαзо-αστριακά ιζήματα και ψαμμίτες αποτελούν το κύριο *λιθολογικό καθεστώς* σε περιβάλλοντα παθητικών (κατωφέρειας) και ενεργητικών (μαγματικών τόξων) ηπειρωτικών περιθωρίων
- Σε πολύ χαμηλούς βαθμούς μεταμόρφωσης πληροφορίες παίρνουμε από:
 - την κρυσταλλικότητα του ιλλίτη (XRD), και
 - την ανακλαστικότητα του οργανικού υλικού (vitrinite reflectance)



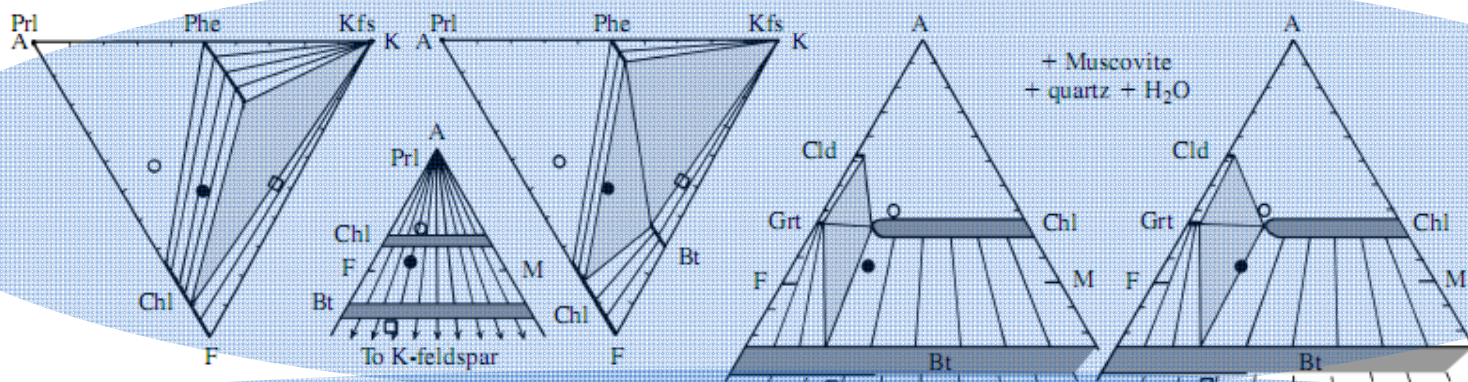
Σχήμα 1. Συμβατότητα ορυκτών σε τυπικές μεταμορφωτικές ζώνες ηλιτικών πετρωμάτων που μεταμορφώθηκαν σε μέτριες πιέσεις (τύπου Barrow). Το εύρος των γραφημάτων παρουσίας των ορυκτών εξαρτάται από την ποσοτική συμμετοχή τους στα πετρώματα. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν την δυνατότητα παρουσίας των ορυκτών στην παραγένεση χωρίς να προσδιορίζεται η ποσοτική τους συμμετοχή. Οι αναγραφόμενες θερμοκρασίες είναι ενδεικτικές. Το κατώτερο όριο θερμοκρασιών για τη μετάβαση από την αμφιβολιτική στην γρανουλιτική φάση τίθεται από κάποιους ερευνητές στο κατώτερο όριο της ζώνης σιλλιμανίτη-ορθοκλάστου και από άλλους στο ανώτερο όριο θερμοκρασιών αυτής της ζώνης.



(a) CHLORITE ZONE

(b) BIOTITE ZONE

(c) GARNET ZONE



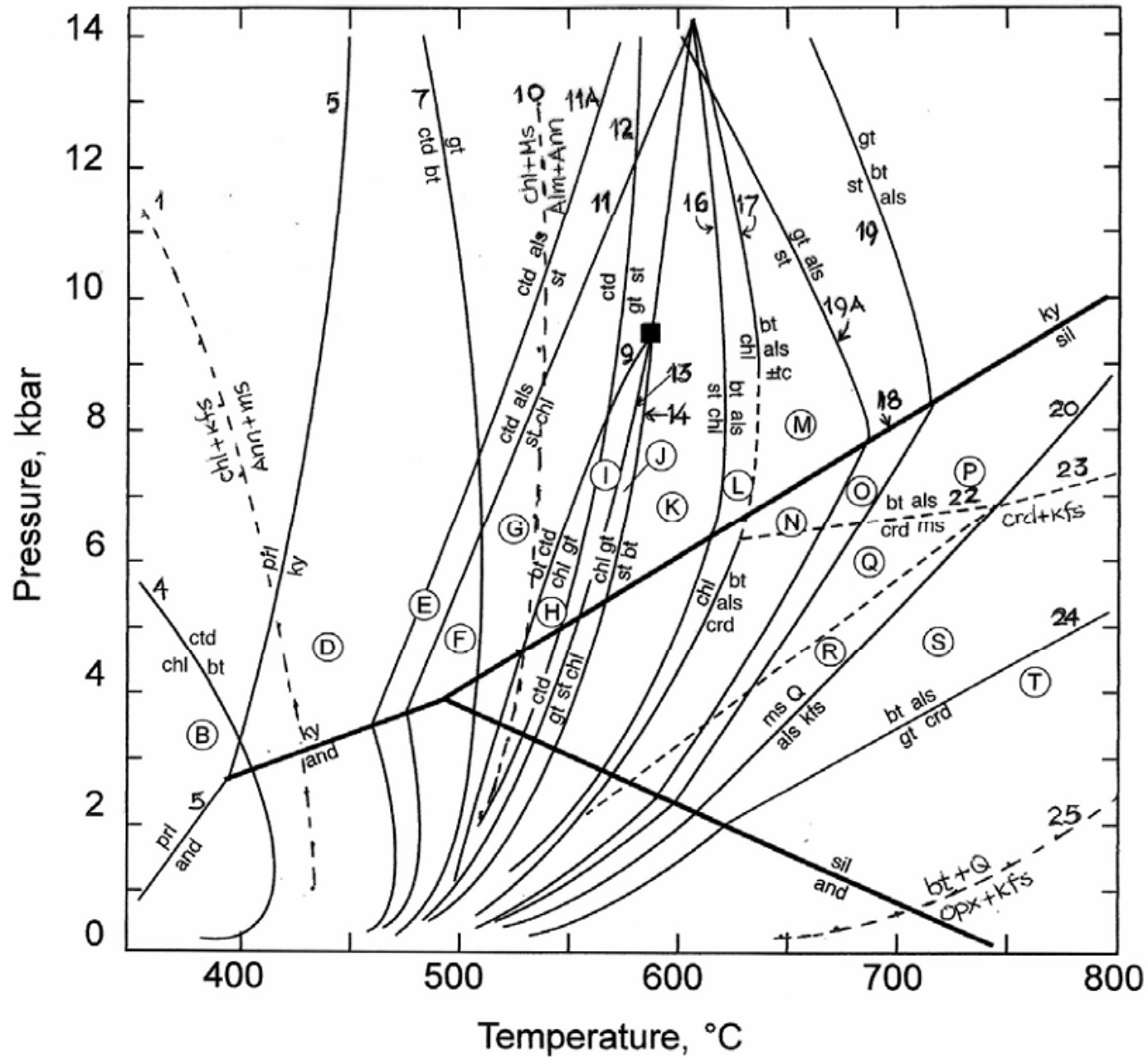
Phengite + chlorite →
biotite + muscovite + quartz + H₂O

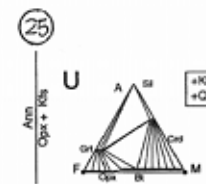
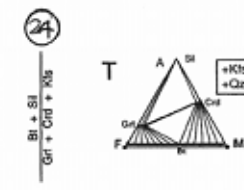
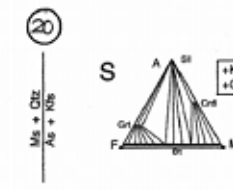
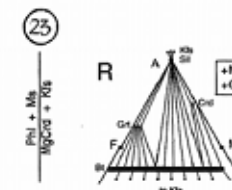
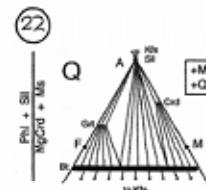
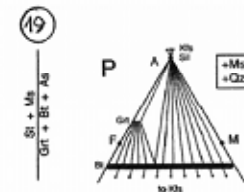
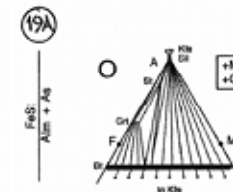
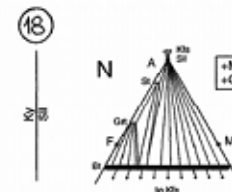
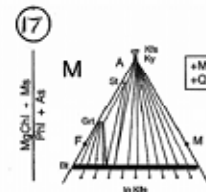
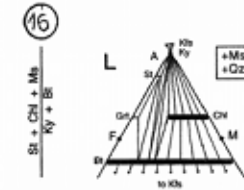
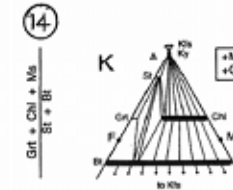
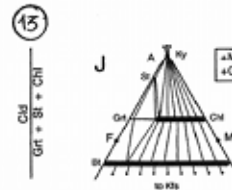
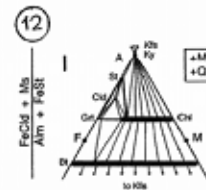
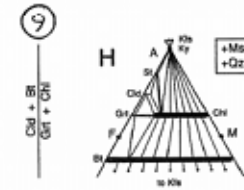
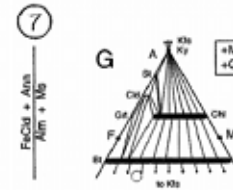
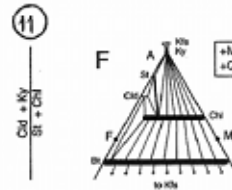
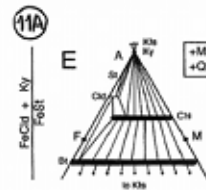
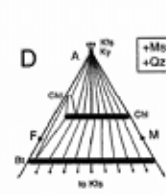
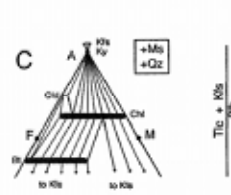
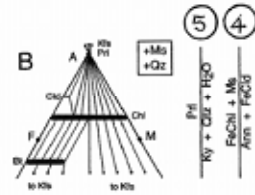
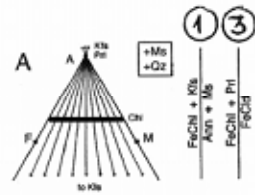
Chlorite + muscovite → garnet + Mg-richer chlorite +
biotite + H₂O

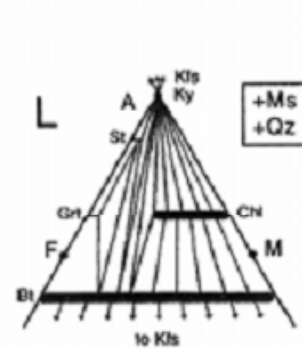
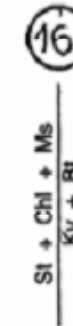
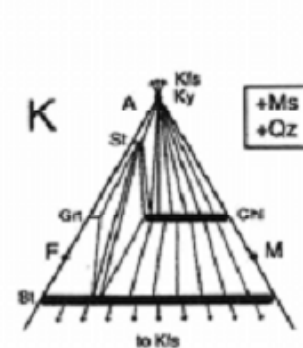
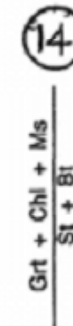
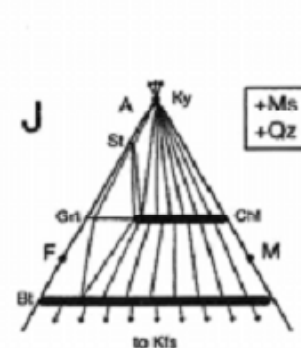
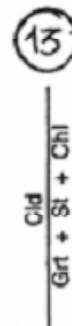
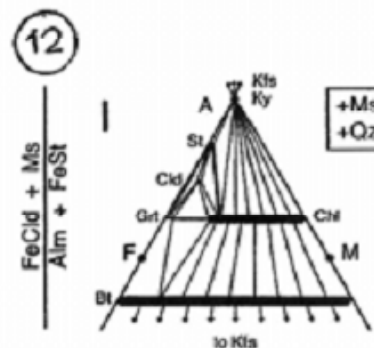
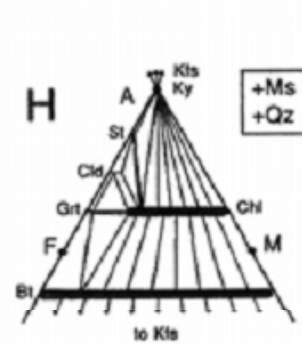
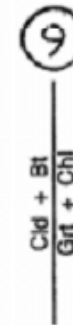
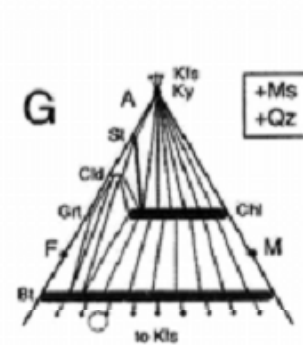
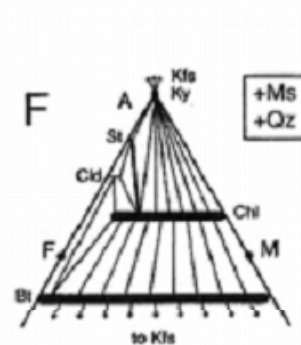
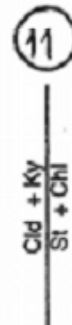
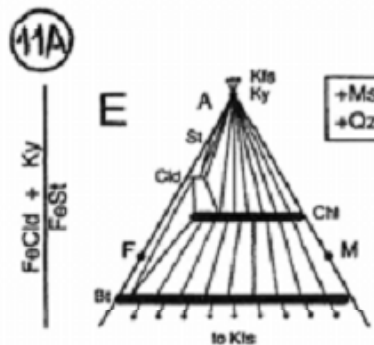
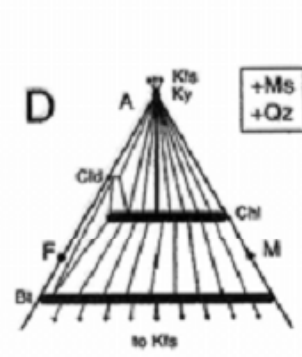
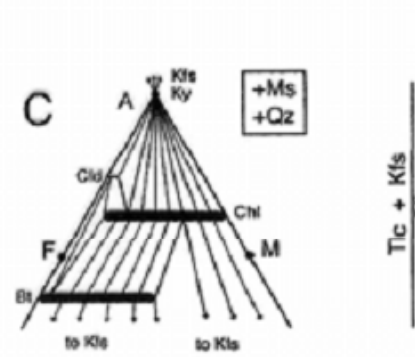
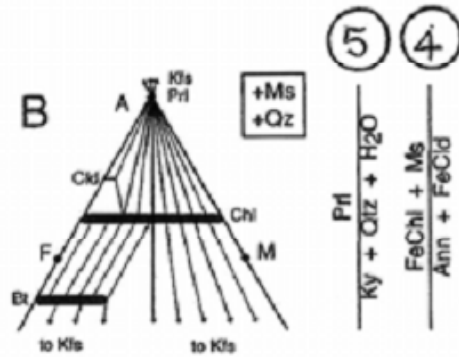
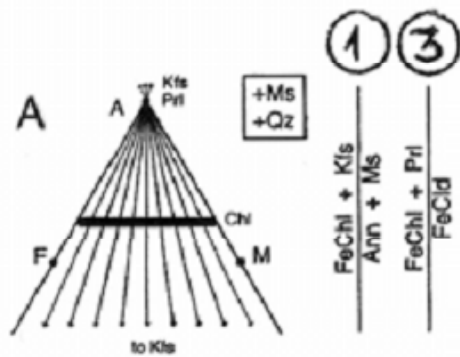
Θα εξεταστούν βήμα προς βήμα:

- οι ορυκτολογικές παραγενέσεις που αναπτύσσονται κατά την προοδευτική αύξηση του βαθμού μεταμόρφωσής τους
- οι αντιδράσεις που καθορίζουν τις ισόβαθμες και την ανάπτυξη των διαφόρων ζωνών προοδευτικής μεταμόρφωσης (Ζώνες Barrow, Σειρά φάσεων)
- οι τοπολογίες των AFM διαγραμμάτων που απεικονίζουν τις αλλαγές των ορυκτολογικών παραγενέσεων λόγω των αντιδράσεων μεταμόρφωσης
- οι θέσεις των καμπύλων ισορροπίας σημαντικών αντιδράσεων σε ένα πετρογενετικό δίκτυο.

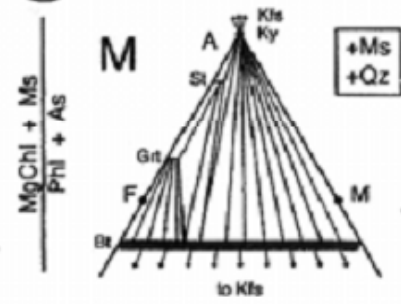
KFMASH: $F = C + 2 - \phi \rightarrow F = 6 + 2 - 6 = 2$
 (για τα πεδία με παραγενέσεις τριών φάσεων)



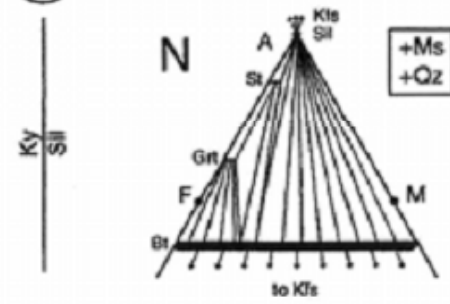




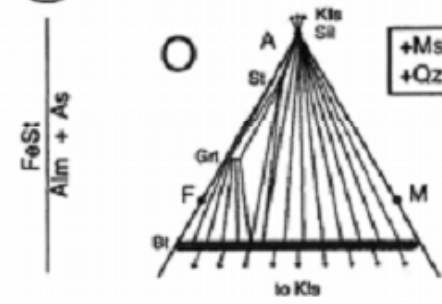
17



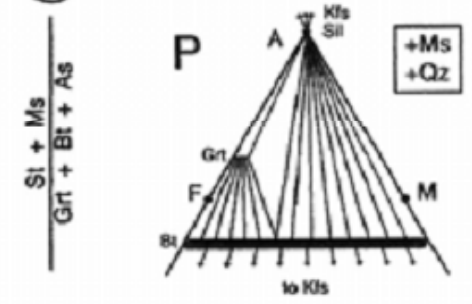
18



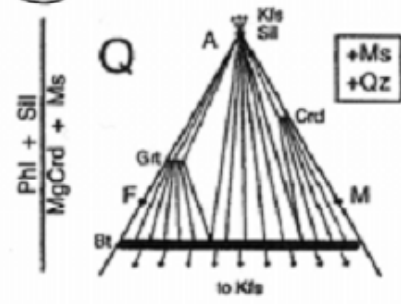
19A



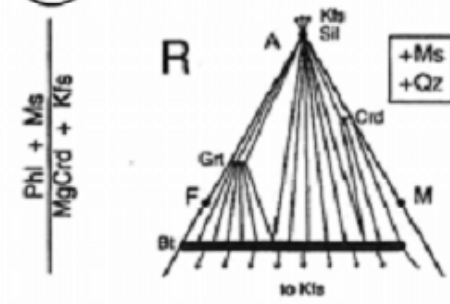
19



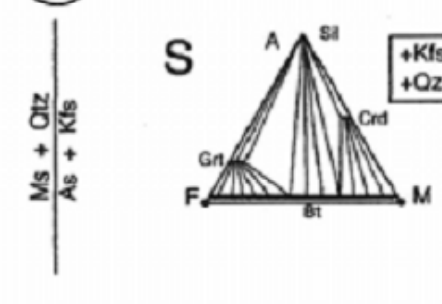
22



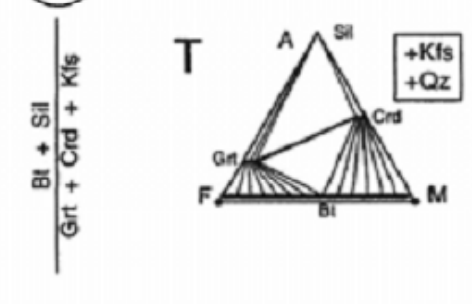
23



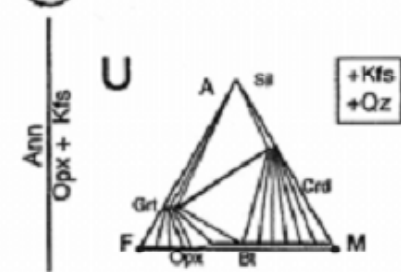
20



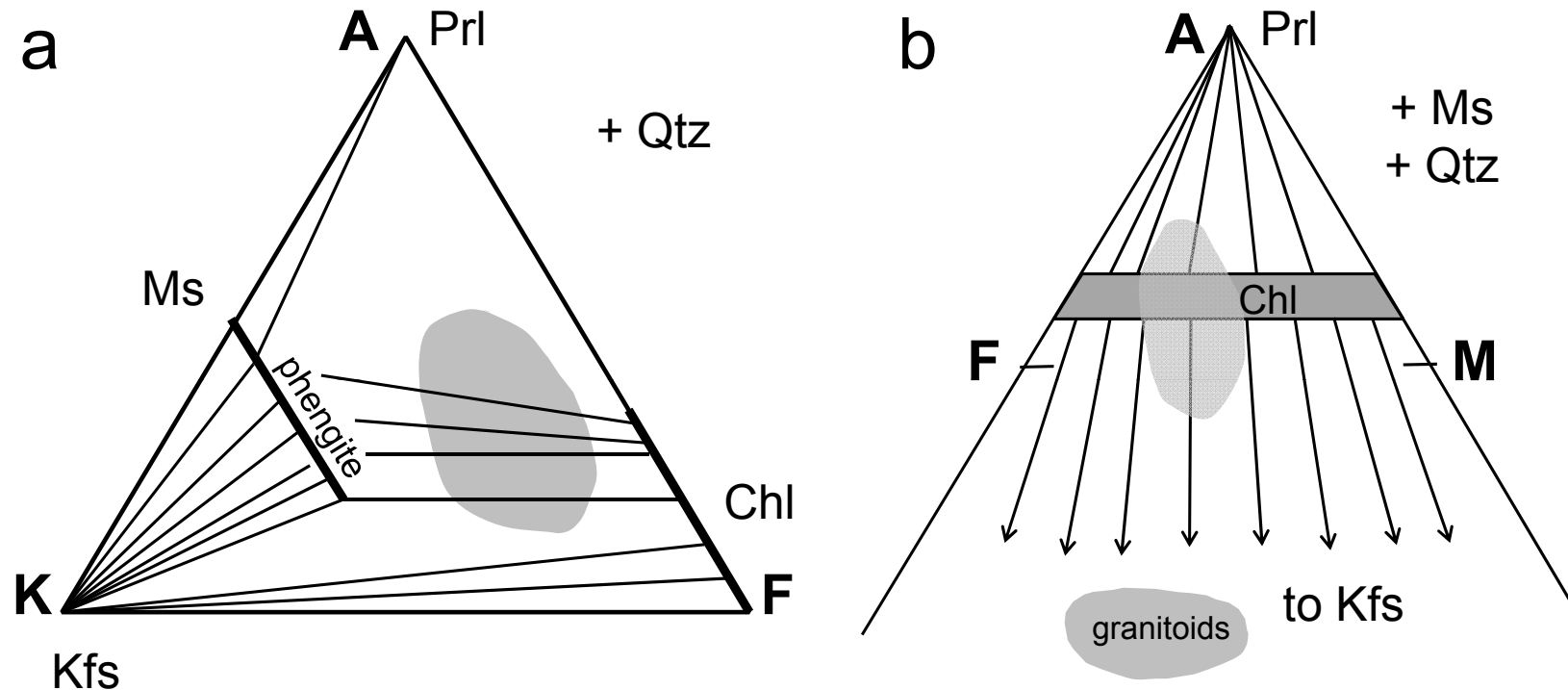
24



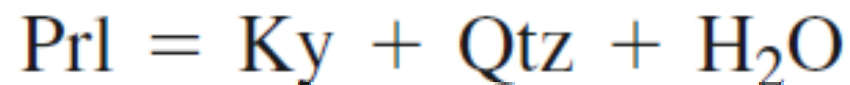
25



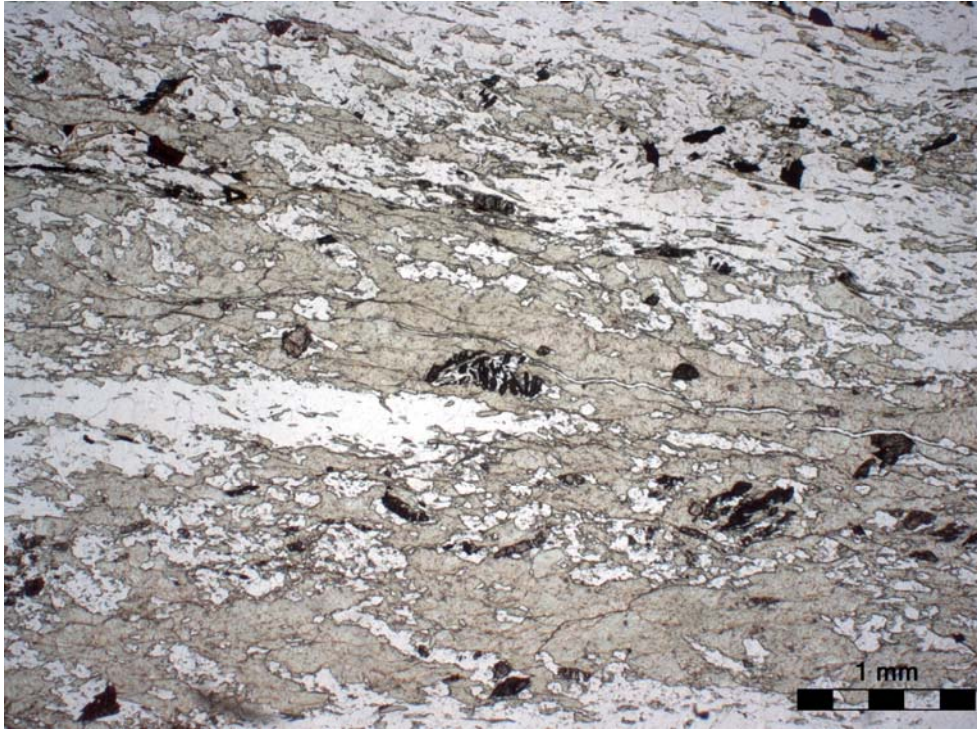
Η ζώνη του χλωρίτη



➤ σε πλούσιους σε Al πηλίτες (εάν ο Prl υπάρχει ως διακριτή φάση)

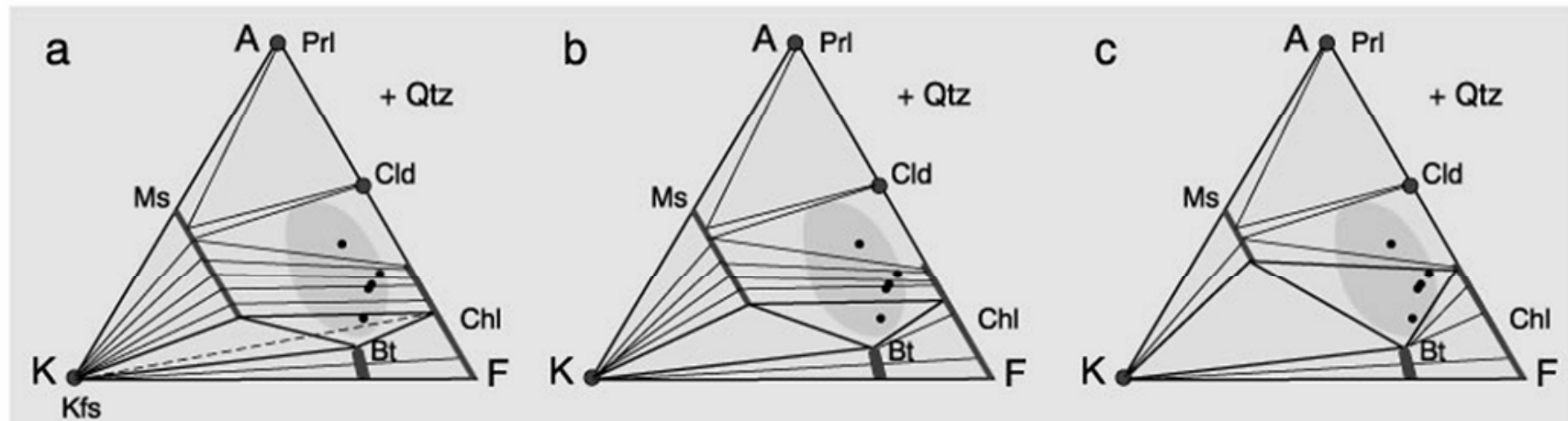


Η ζώνη του χλωρίτη

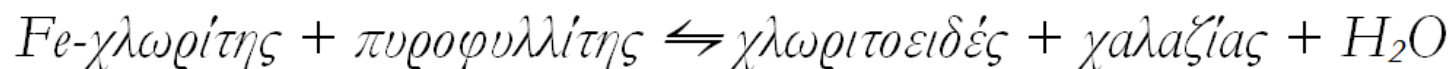
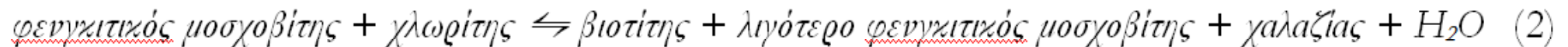
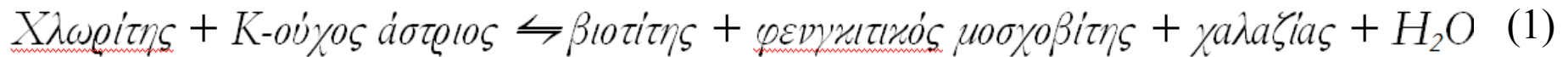


Μικροφωτογραφίες Χλωριτικού σχιστόλιθου

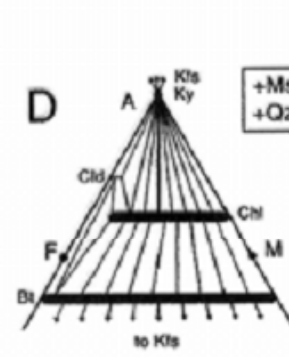
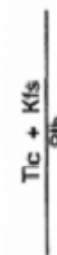
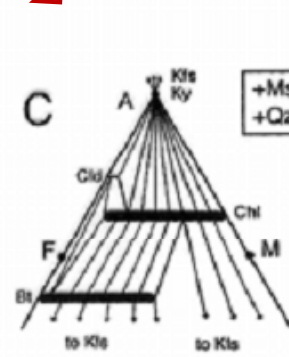
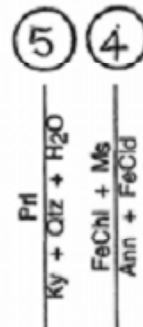
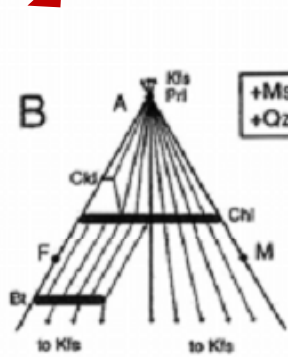
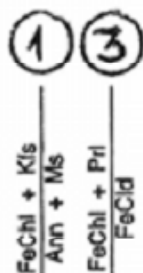
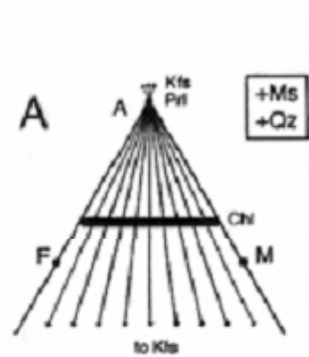
Η ζώνη του βιοτίτη



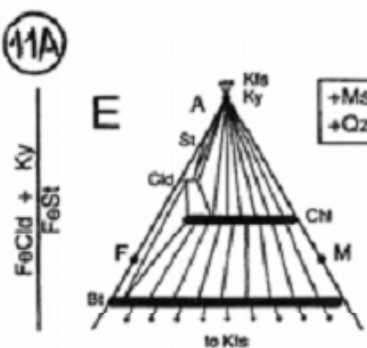
Σχήμα 5. Σειρά AKF διαγραμμάτων που δείχνουν την μετακίνηση των τριγώνων μοσχοβίτη (ms) – βιοτίτη (bt) – χλωρίτη (chl) και μοσχοβίτη (ms) – K-ούχου αστρίου (kfs) – χλωρίτη (chl) προς περισσότερες πλούσιες σε Al συστάσεις μέσω συνεχών αντιδράσεων στη ζώνη του βιοτίτη (πρασινοσχιστολιθική φάση) σε συνθήκες ανώτερες της ισοβάθμου του βιοτίτη (από Winter, 2001).



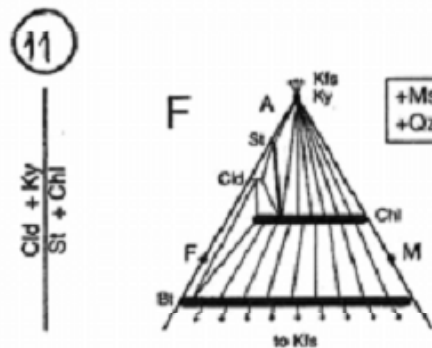
➤ Χλωριτοειδές σε KFASH → <250° C



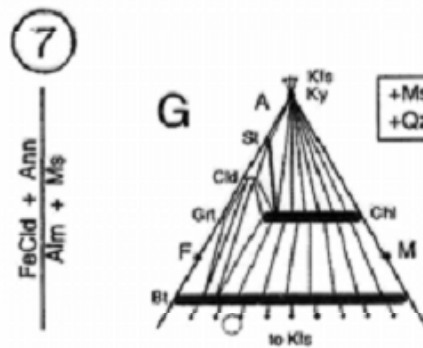
⑪A



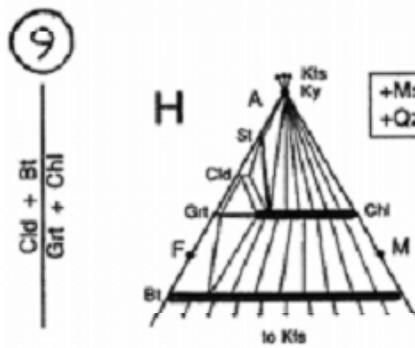
⑪



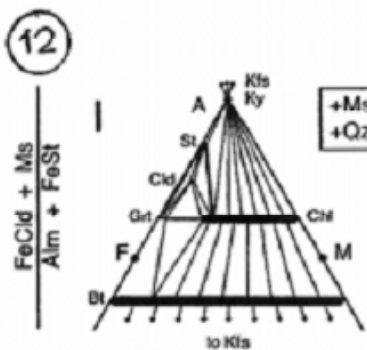
⑦



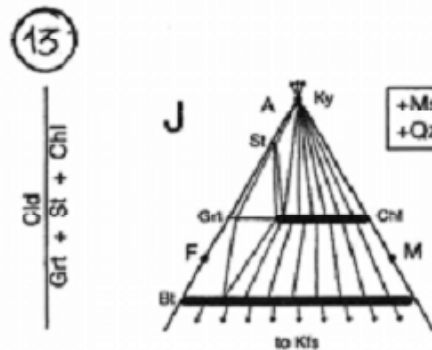
⑨



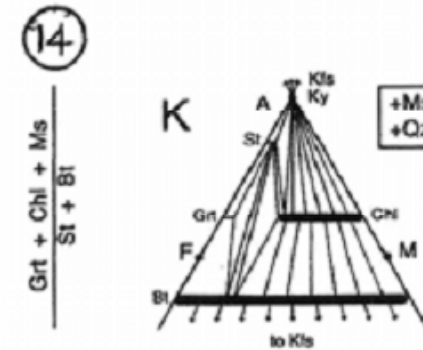
⑫



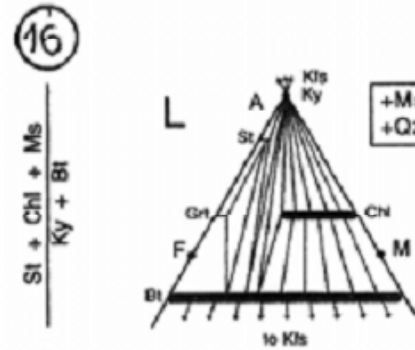
⑬



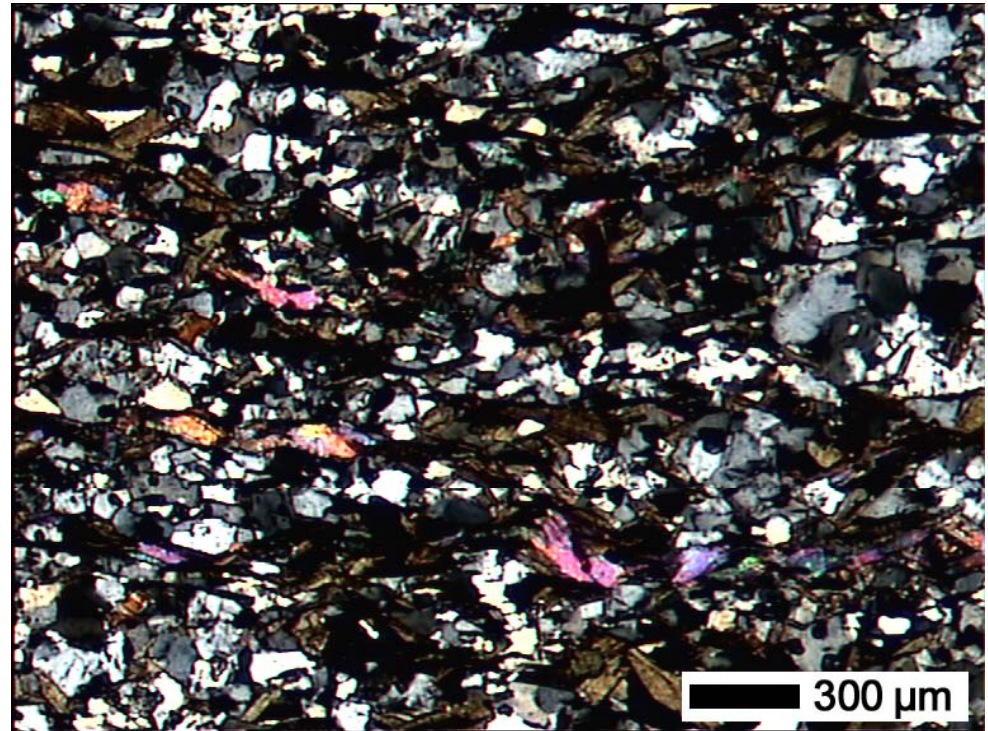
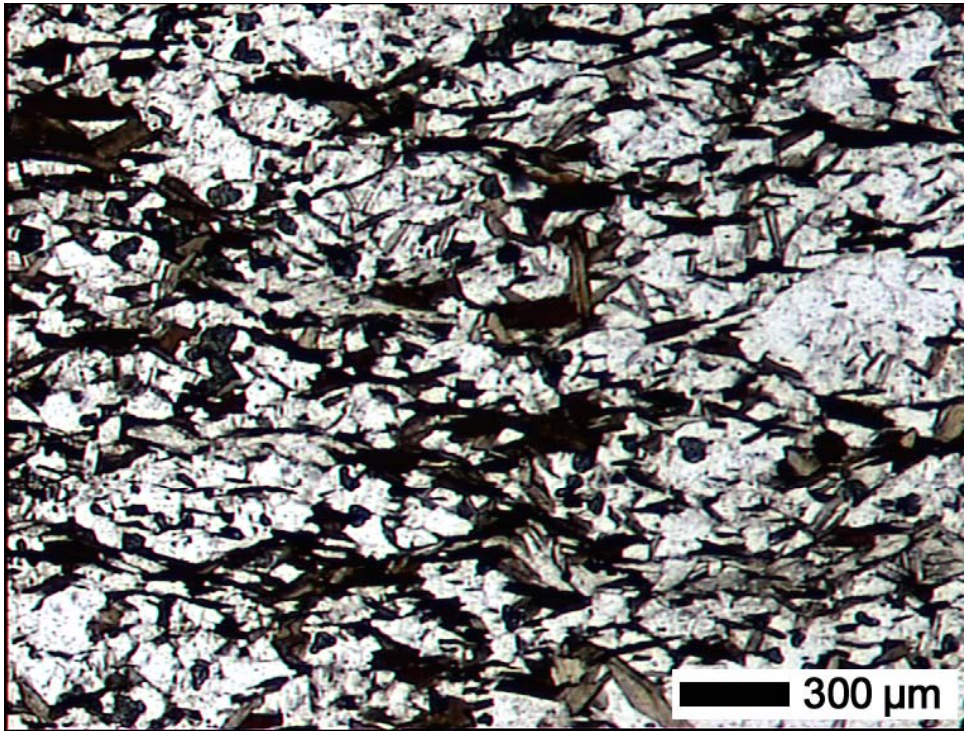
⑭



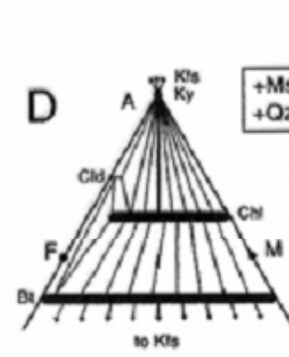
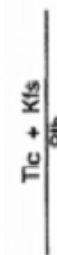
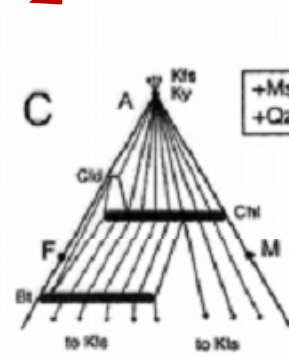
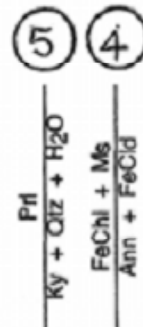
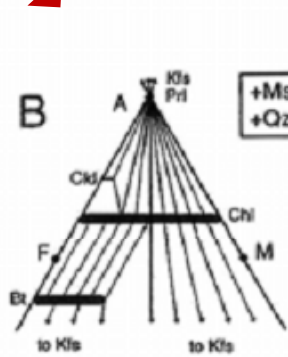
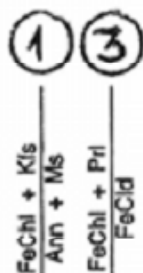
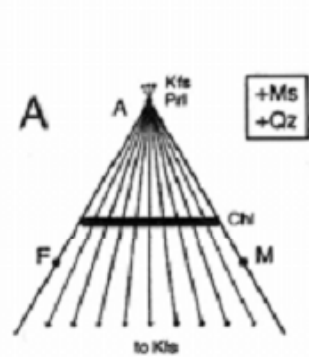
⑯



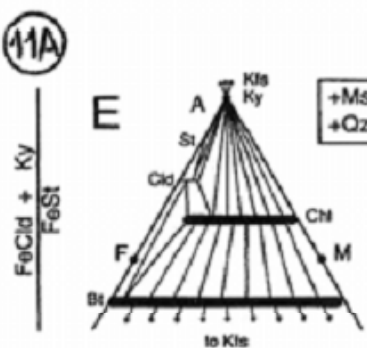
Η ζώνη του βιοτίτη



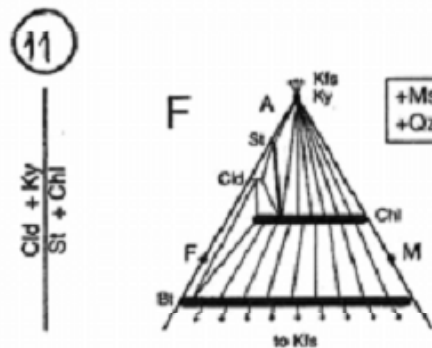
Μικροφωτογραφίες χαλαζιαστριακών σχιστολίθων με βιοτίτη
(δείγμα ΙΚ83α). Από: *Ηλιόπουλος, 2005*



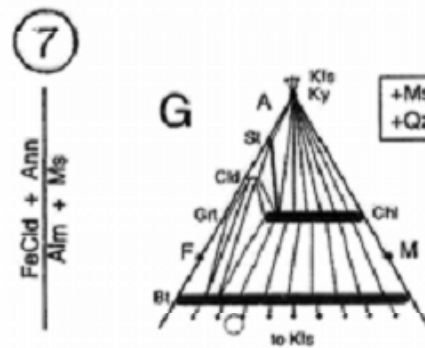
⑪A



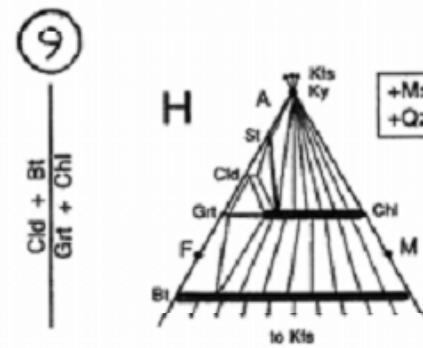
⑪



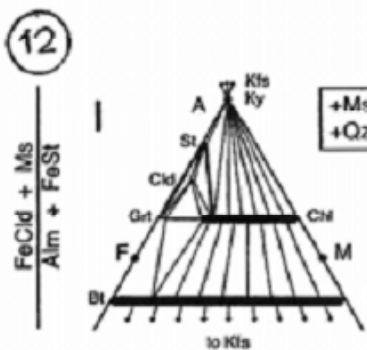
⑦



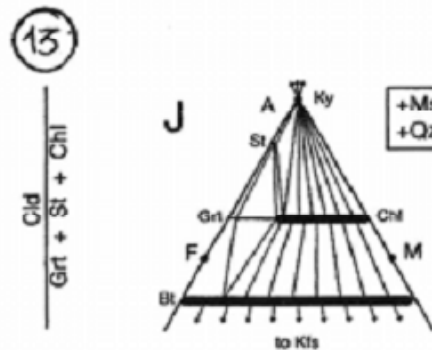
⑨



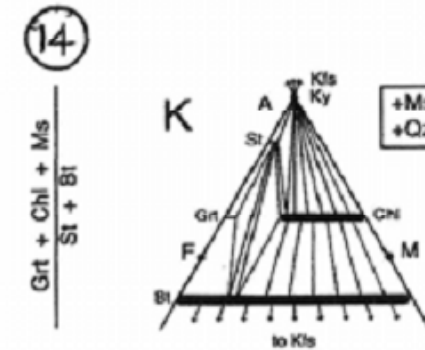
⑫



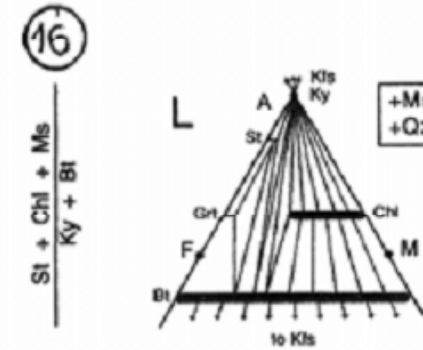
⑬



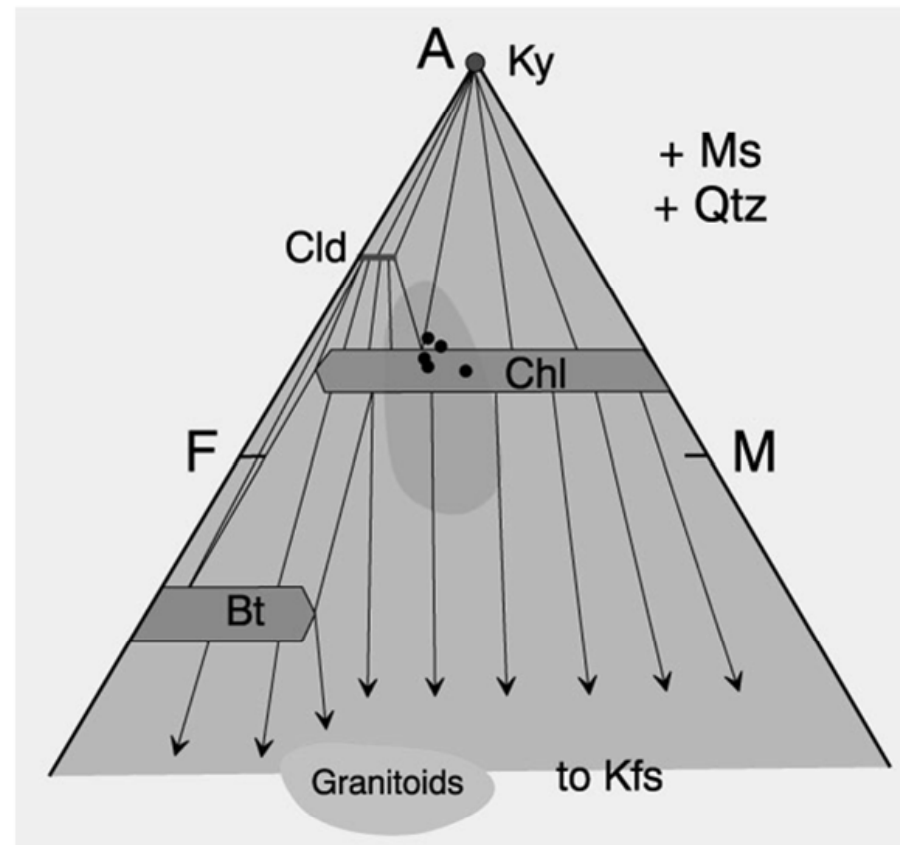
⑭



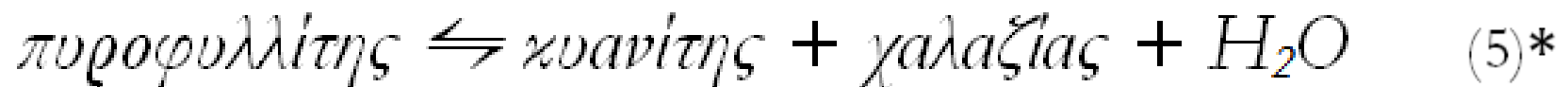
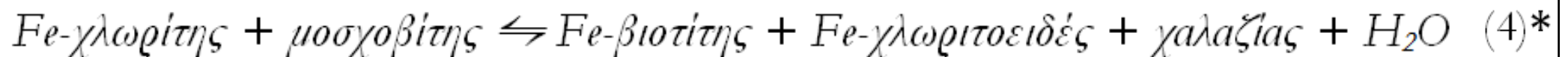
⑯



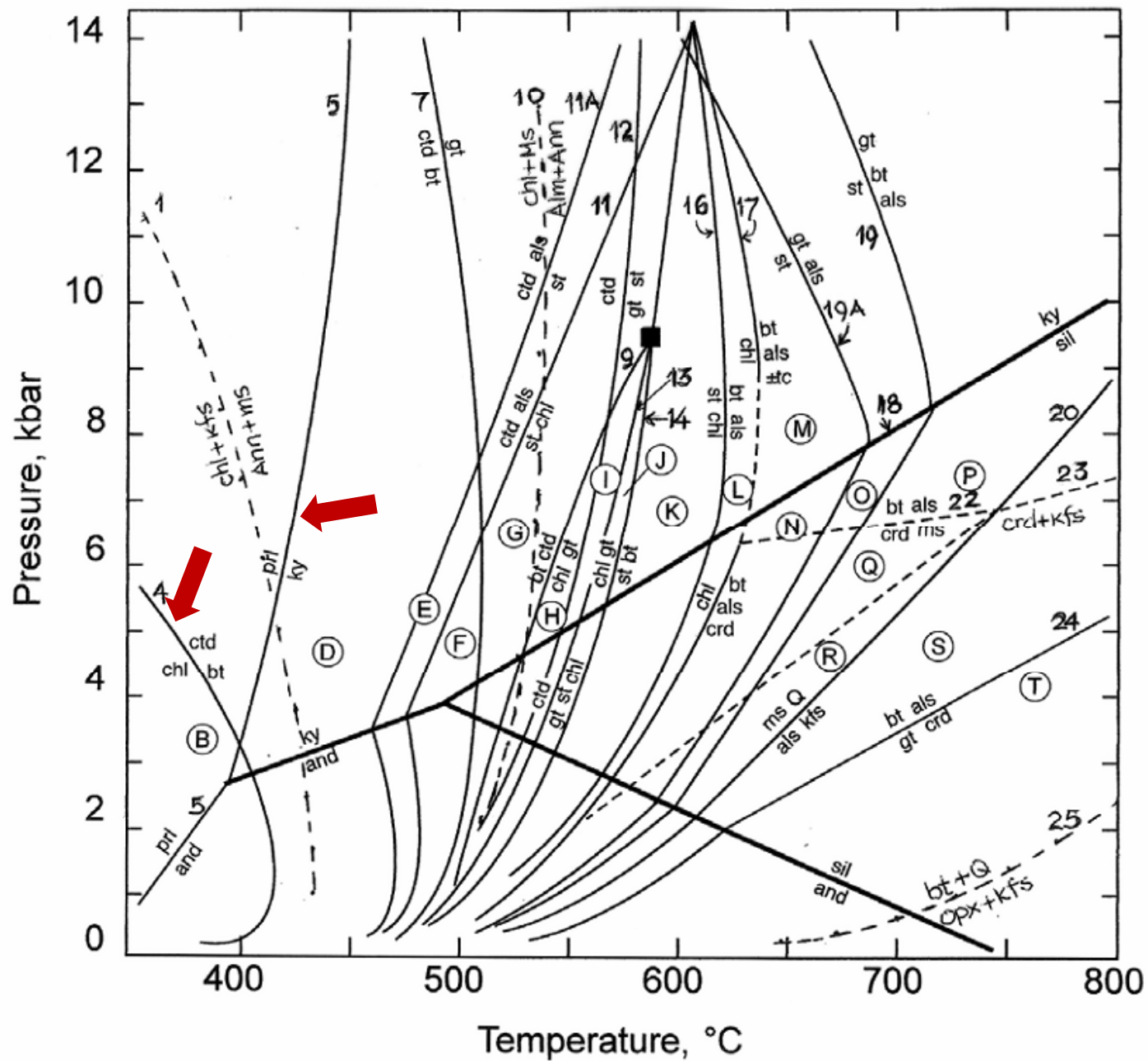
Η ζώνη του βιοτίτη



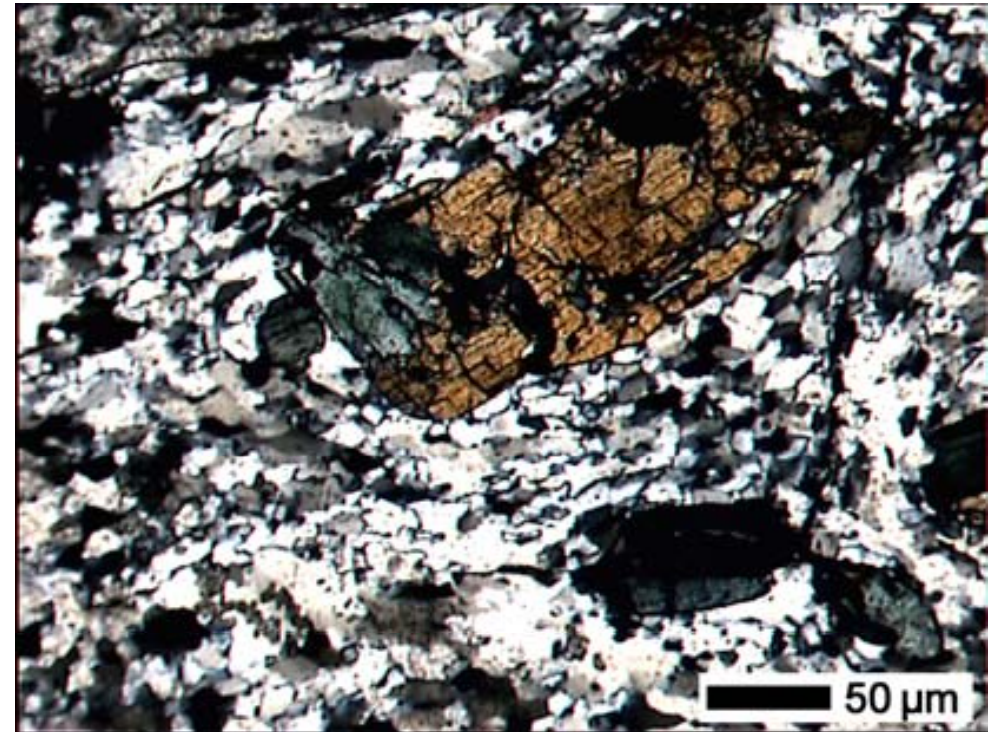
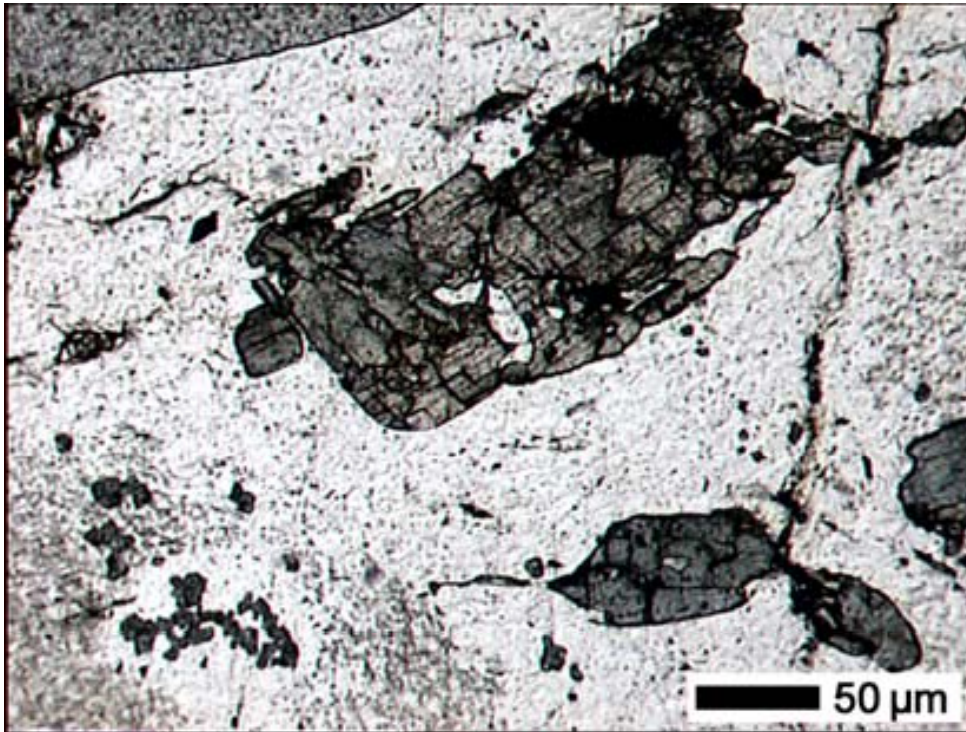
Σχήμα 6. AFM διάγραμμα για μεταπηλιτικά πετρώματα της ζώνης του βιοτίτη (πρασινοσχιστολιθική φάση) σε συνθήκες ανώτερες της ισοβάθμου του χλωριτοειδούς (από Winter, 2001).



Η ζώνη του βιοτίτη

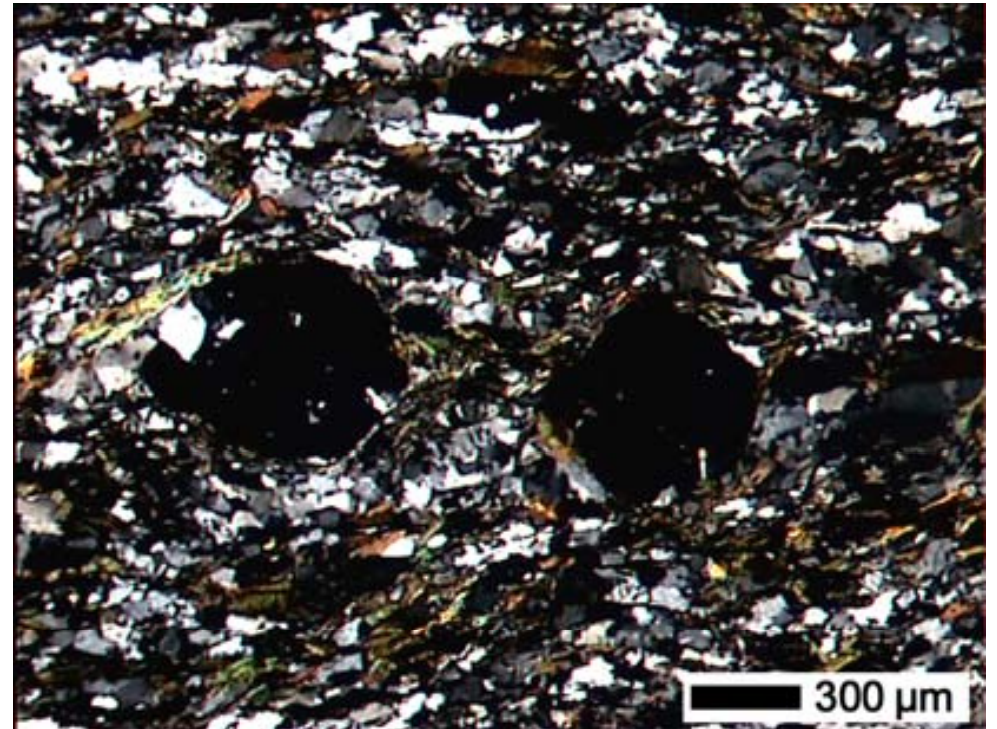
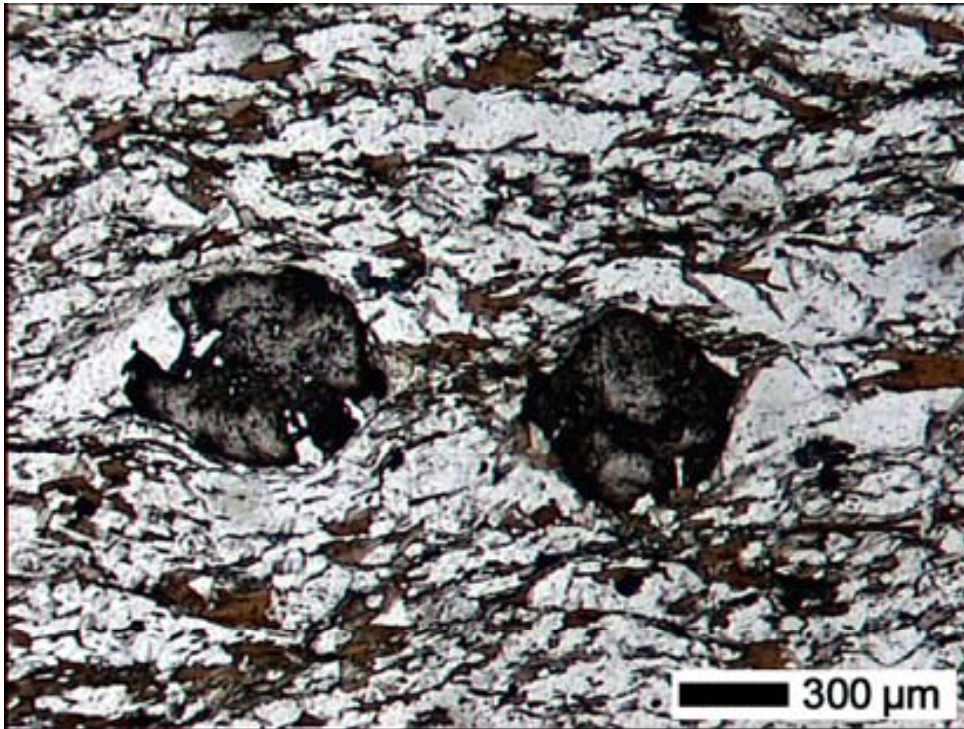


Η ζώνη του βιοτίτη



Μικροφωτογραφίες χλωριτοειδικού κυανιτικού σχιστολίθου: χλωριτοειδές σε επαφή με κυανίτη (δείγμα ΙΚ231c,f). Από: *Ηλιόπουλος, 2005*

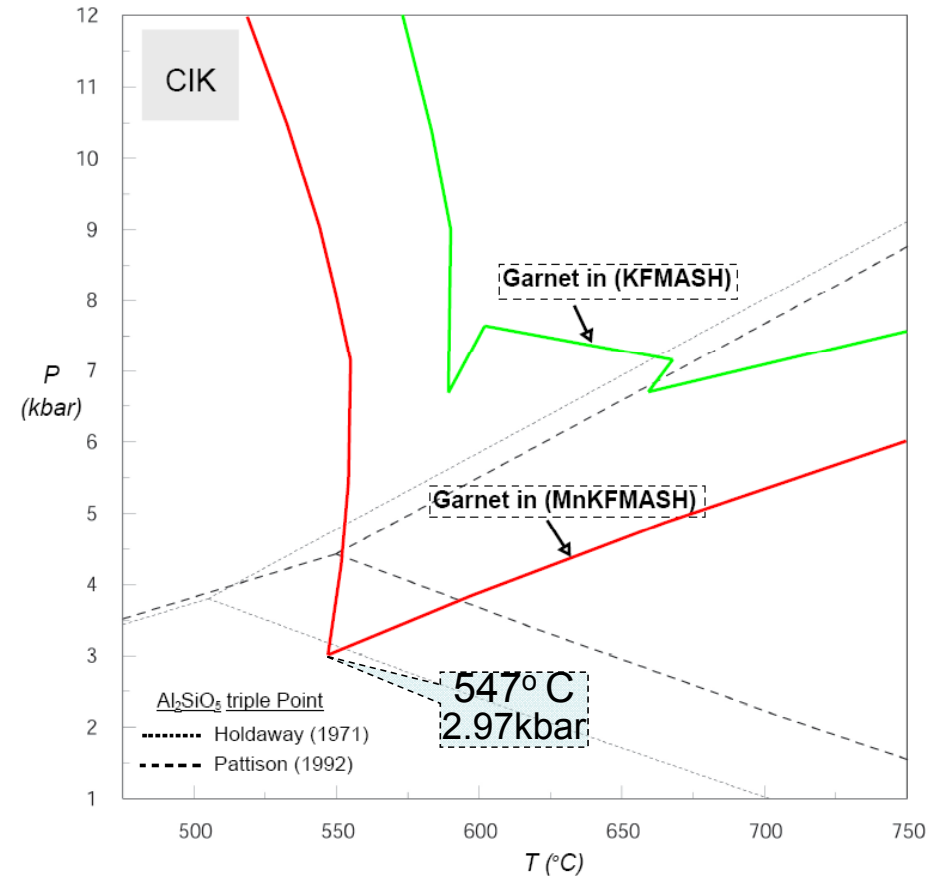
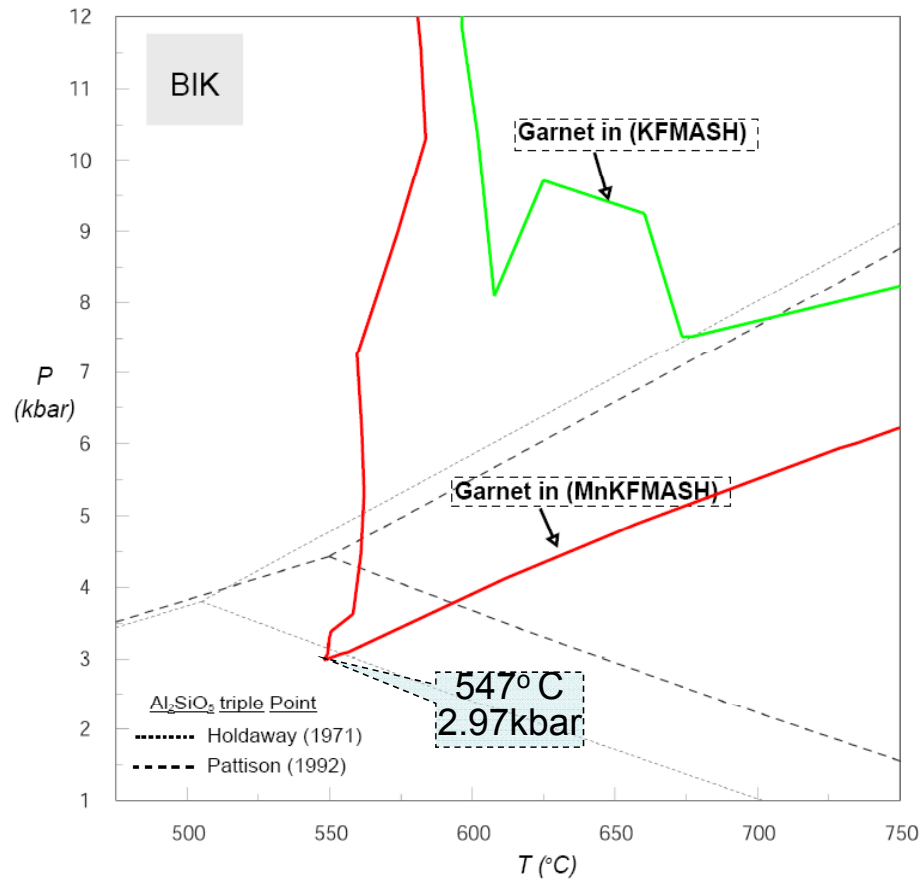
Η ζώνη του γρανάτη (?)



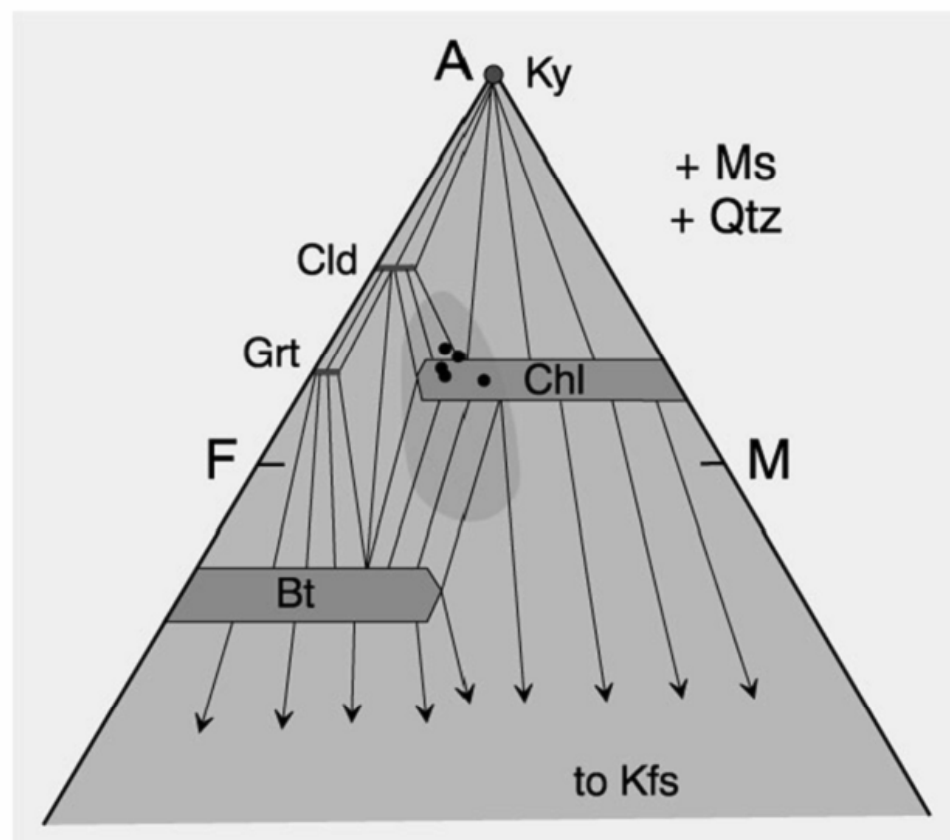
Μικροφωτογραφίες **γранаτιτικού βιοτιτικού σχιστολίθου**: (δείγμα ΙΚ77b). Από: *Ηλιόπουλος, 2005*

- Αρχικά: μικροί πορφυροβλάστες αλμανδίνη
- Εάν υπάρχει Mn ή Ca και Fe^{3+} : γρανάτες ακόμη και στη ζώνη του χλωρίτη !!!

Διαφοροποίηση KFMASH-MnKFMASH



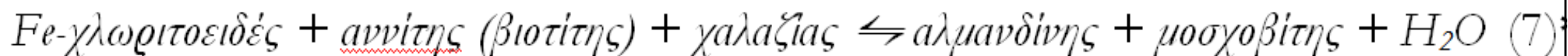
Η ζώνη του γρανάτη (?)



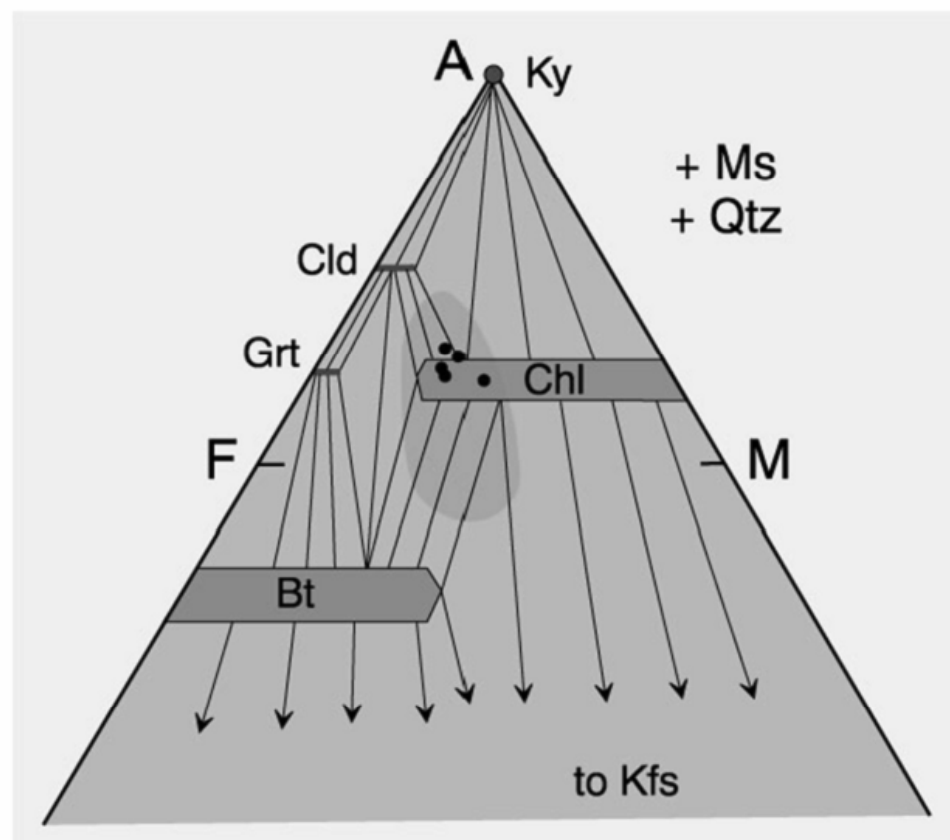
➤ Ζώνη μεταμόρφωσης ?

Σχήμα 7. AFM διάγραμμα για μεταπηλιτικά πετρώματα της ζώνης του βιοτίτη (πρασινοςχιστολιθική φάση). Παρότι ο γρανάτης είναι σταθερός, περιορίζεται σε ασυνήθιστα πλούσιες σε Fe συστάσεις πετρωμάτων και δεν εμφανίζεται σε πετρώματα που έχουν την συνήθη πηλιτική σύσταση (σκιασμένη περιοχή) (από Winter, 2001).

➤ Αρχικά: σταθεροποίηση αλμανδίνη στο KFASH

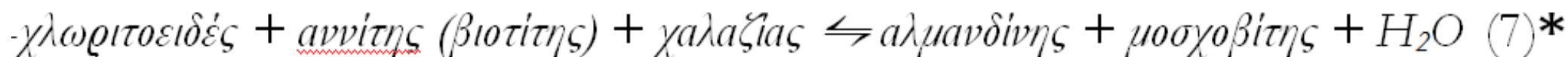


Η ζώνη του γρανάτη (?)

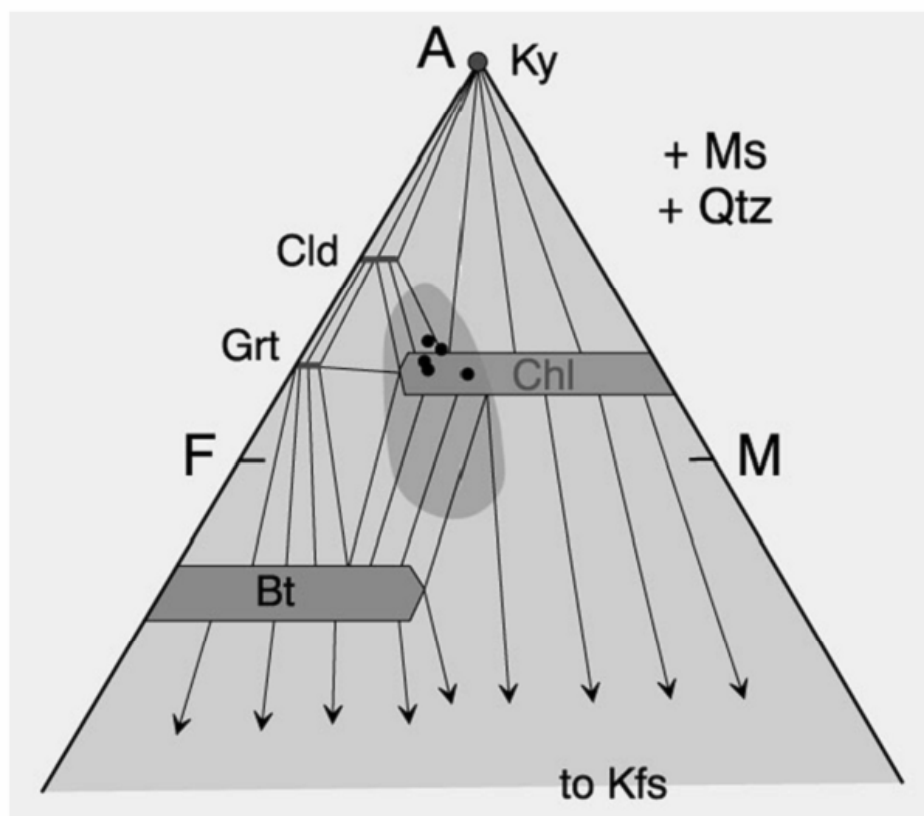


Σχήμα 7. AFM διάγραμμα για μεταπηλιτικά πετρώματα της ζώνης του βιοτίτη (πρασινοςχιστολιθική φάση). Παρότι ο γρανάτης είναι σταθερός, περιορίζεται σε ασυνήθιστα πλούσιες σε Fe συστάσεις πετρωμάτων και δεν εμφανίζεται σε πετρώματα που έχουν την συνήθη πηλιτική σύσταση (σκιασμένη περιοχή) (από Winter, 2001).

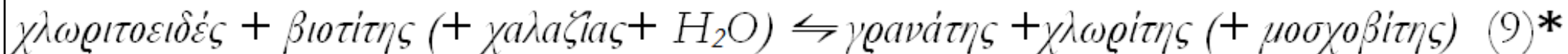
- στο KFMASH η αντίδραση 7 είναι συνεχής και οδηγεί το τρίγωνο Cld-Grt-Bt προς τα δεξιά



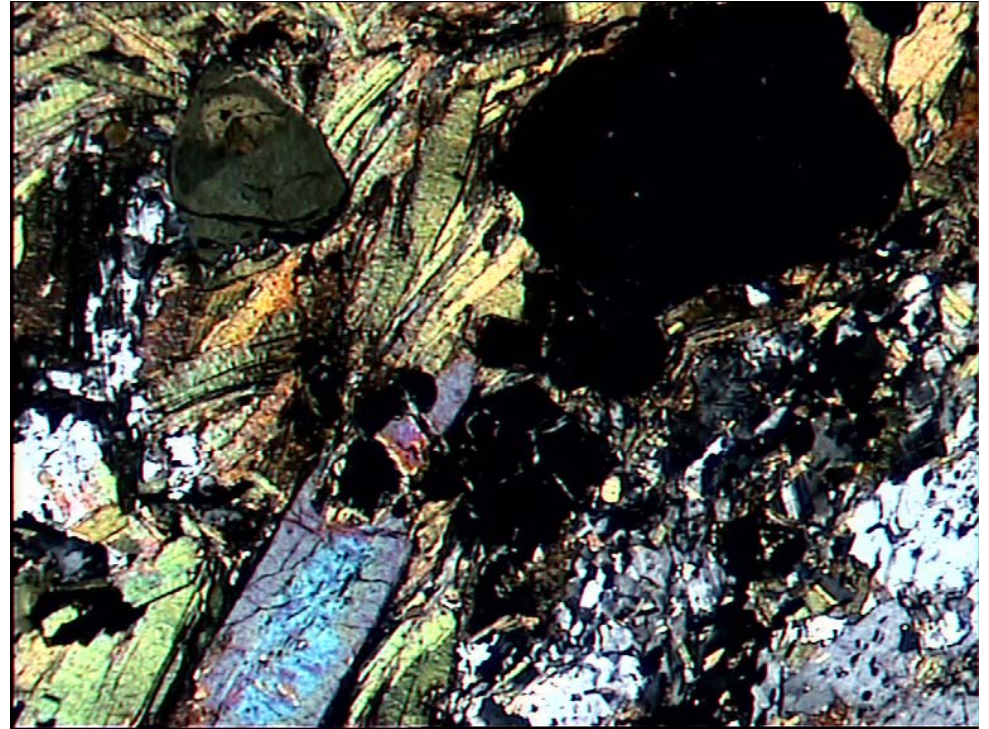
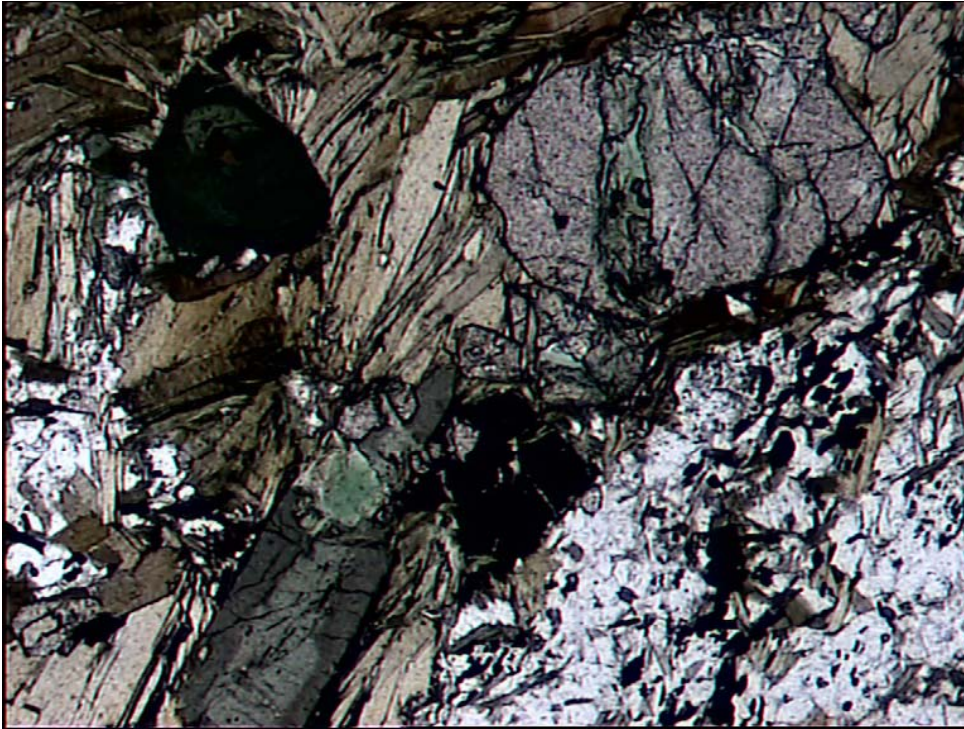
Η ζώνη του γρανάτη



Σχήμα 8. AFM διάγραμμα για μεταπηλιτικά πετρώματα της ζώνης του γρανάτη (συνθήκες μεταβατικές προς την αμφιβολιτική φάση) που δείχνει την διάσπαση της συνδετικής γραμμής χλωριτοειδές (cld) – βιοτίτης (bt) (σχ. 7) και την αντικατάστασή της από την συνδετική γραμμή γρανάτης (grt)- χλωρίτης (chl). Βλέπε αντίδραση (9). (από Winter, 2001).

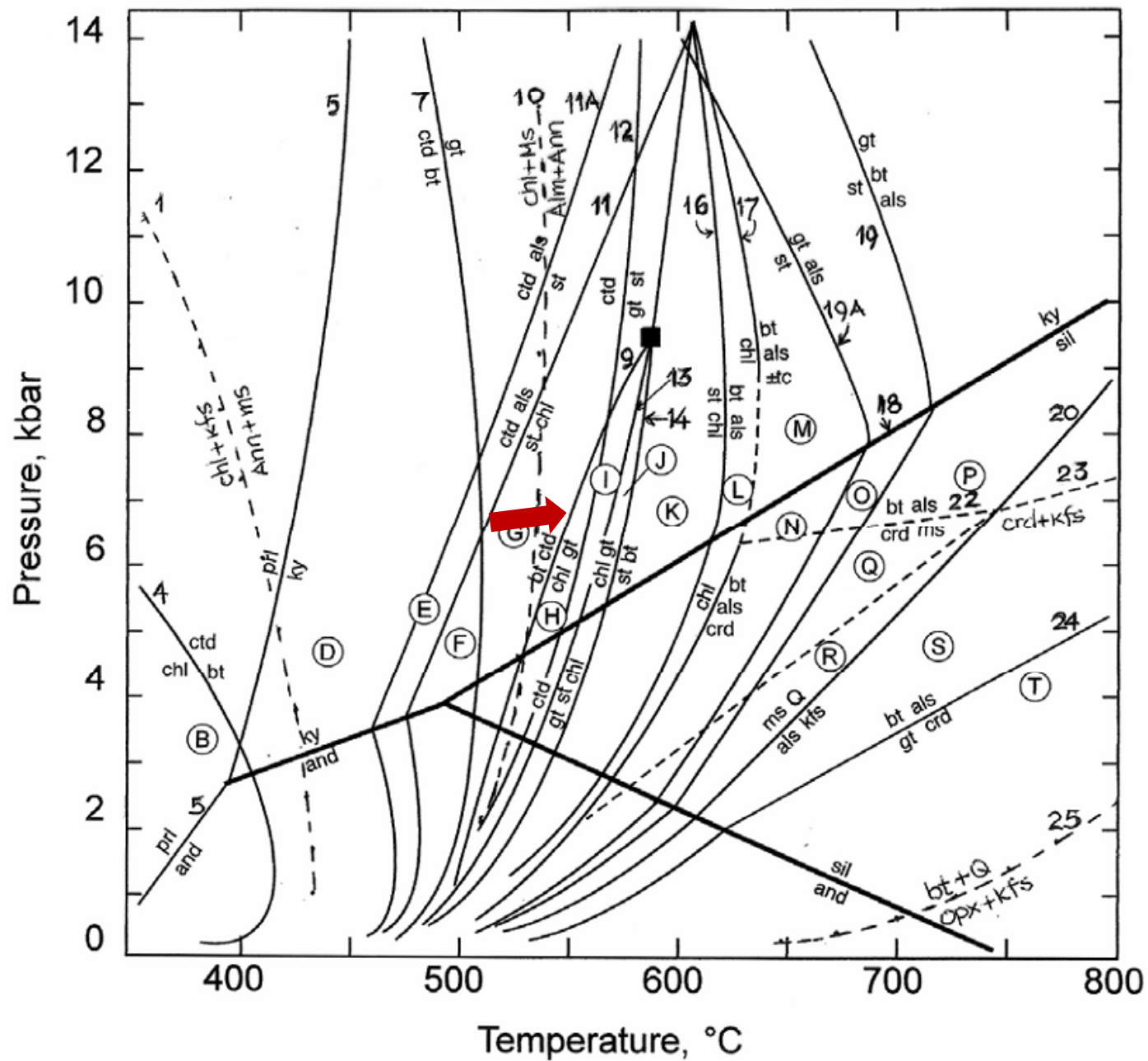


Η ζώνη του γρανάτη

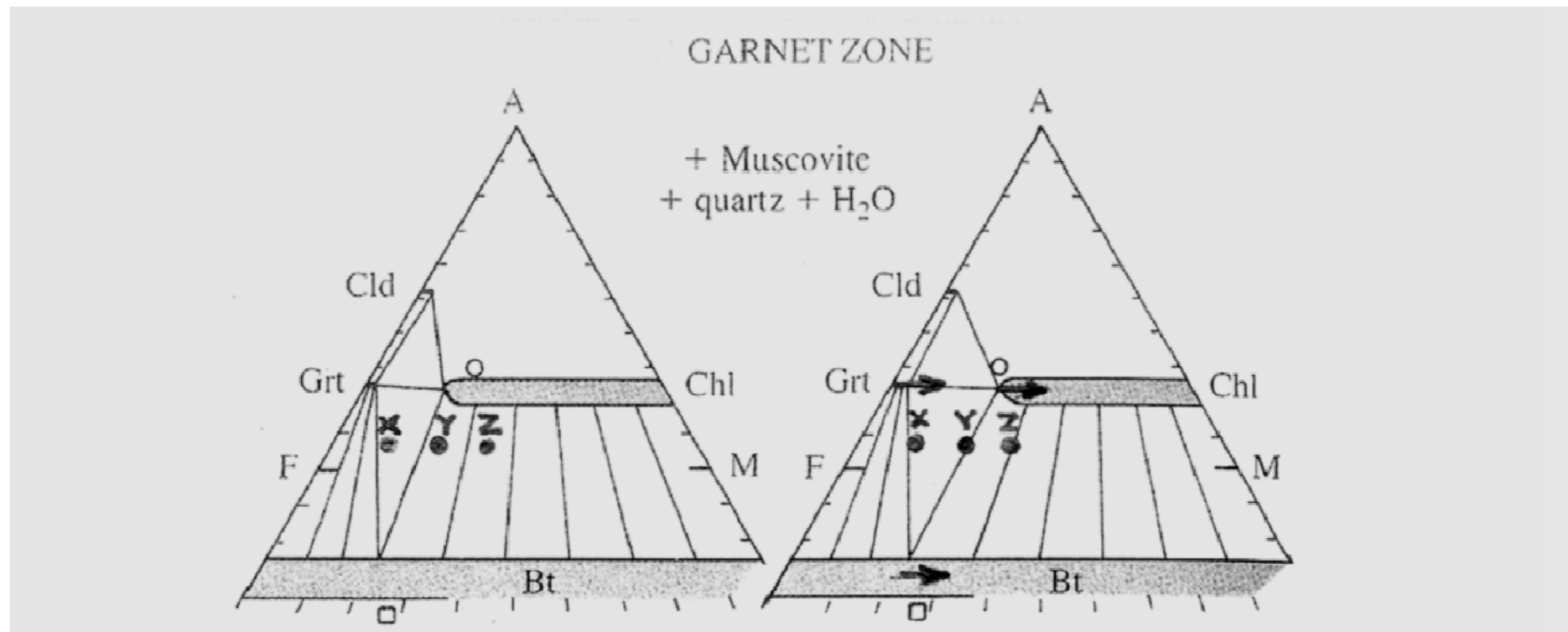


Μικροφωτογραφίες γρανατιτικού βιοτιτικού σχιστολίθου: γρανάτης σε επαφή με βιοτίτη (δείγμα ΙΚ77b). Από: *Ηλιόπουλος, 2005*

Η ζώνη του γρανάτη



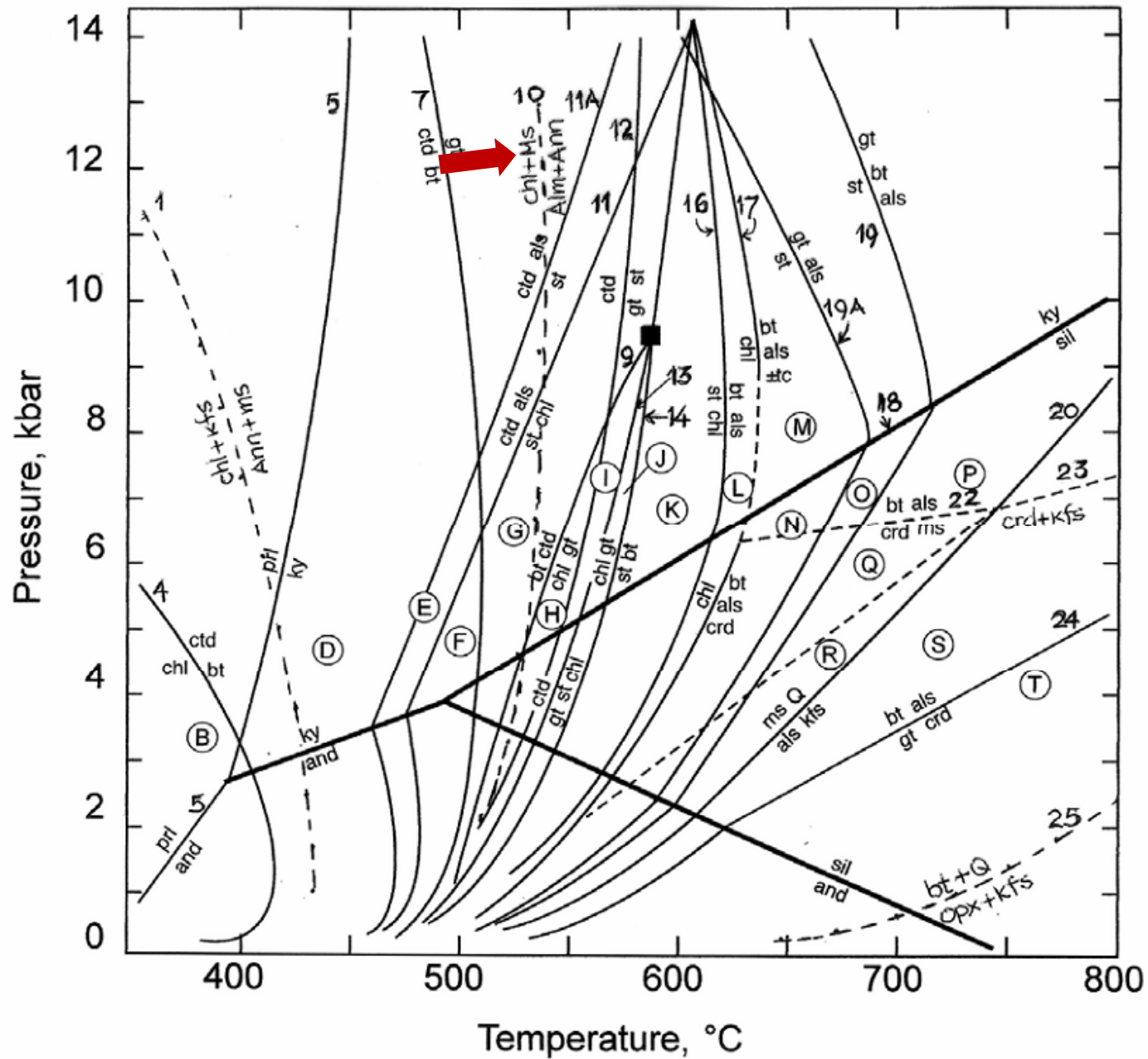
Η ζώνη του γρανάτη



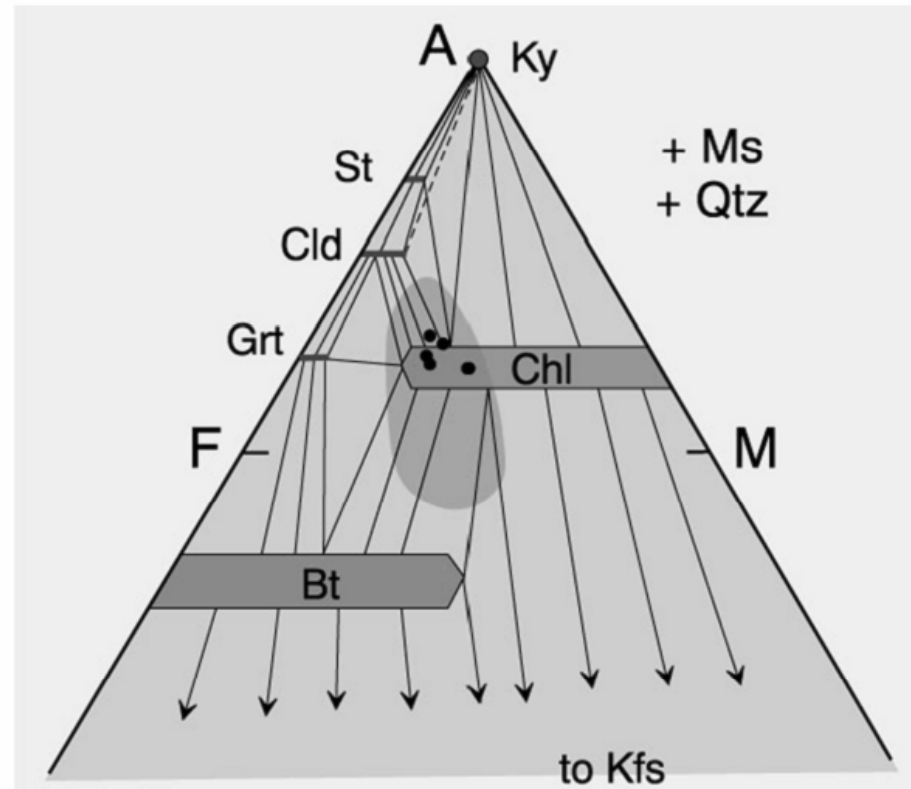
χλωρίτης + μοσχοβίτης + χαλαζίας →
γρανάτης + πιο Mg-ούχος χλωρίτης + βιοτίτης + H₂O (10)*

Σχήμα 9. AFM διαγράμματα που απεικονίζουν τη συνεχή αντίδραση χλωρίτης+μοσχοβίτης → γρανάτης+περισσότερο Mg-ούχος χλωρίτης+βιοτίτης+H₂O (αντίδραση 10) με την αύξηση της θερμοκρασίας σε μεταπηλικά πετρώματα της ζώνης του γρανάτη. Τα βέλη δείχνουν τη φορά μετακίνησης του τριγώνου γρανάτης-χλωρίτης-βιοτίτης προς πιο Mg-ούχες συστάσεις με την αύξηση του βαθμού μεταμόρφωσης, εντός της ζώνης του γρανάτη. Τα σημεία X, Y και Z αντιπροσωπεύουν συστάσεις διαφόρων πηλιτικών πετρωμάτων. (τροποποιημένο, από Best 2003).

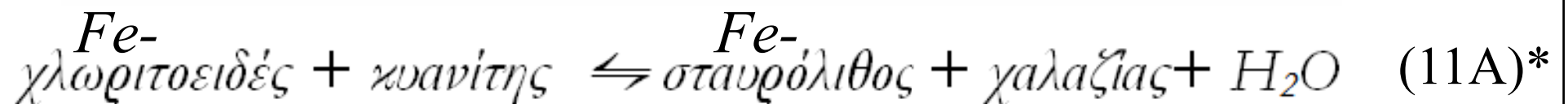
Η ζώνη του γρανάτη



Η ζώνη του σταυρολίθου

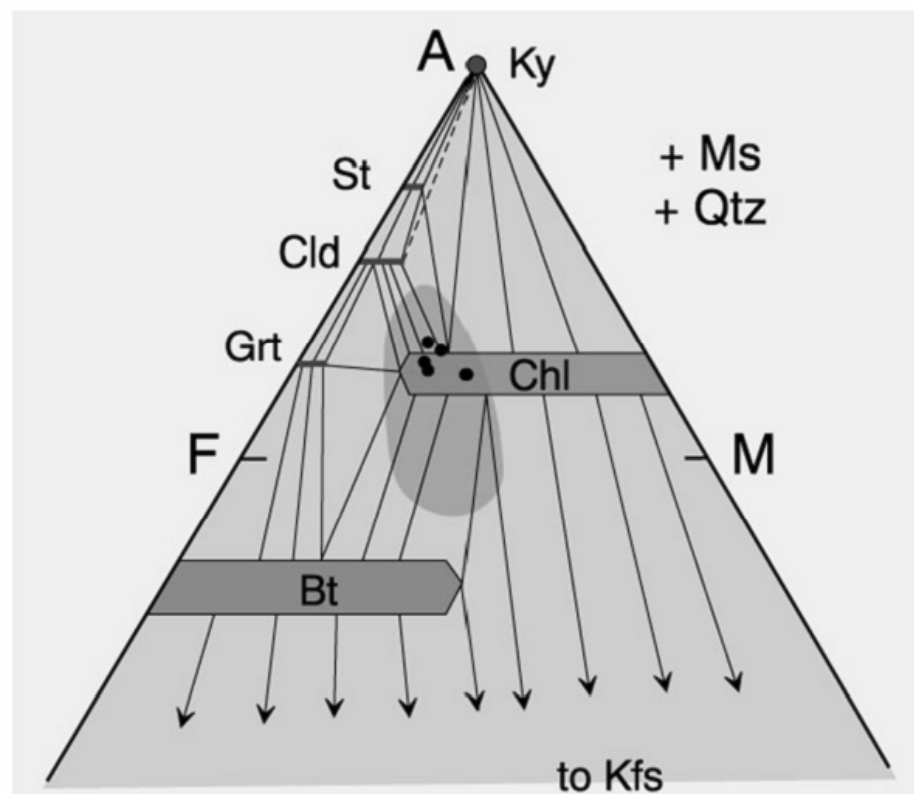


Σχήμα 10. AFM διάγραμμα για τις κατώτερες συνθήκες της ζώνης του σταυρόλιθου (αμφιβολιτική φάση) που δείχνει την αλλαγή της τοπολογίας λόγω της αντίδρασης (11), με την οποία η χαμηλότερου βαθμού συνδετική γραμμή χλωριτοειδές-κβανίτης (διακεκομμένη) χάνεται και αντικαθίσταται από την συνδετική γραμμή σταυρόλιθος (st) – χλωρίτης (chl). Με την αντίδραση αυτή δημιουργείται σταυρόλιθος σε μικρό εύρος χημικών συστάσεων Al-ούχων μεταπηλιτών. (Από Winter, 2001).



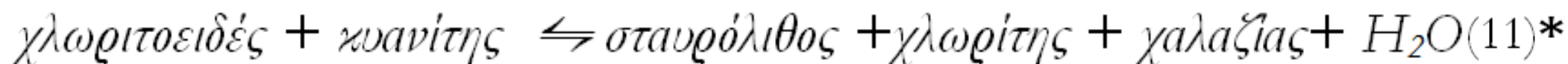
- ακόμη και πριν την (9) που σχηματίζει τον γρανάτη!

Η ζώνη του σταυρολίθου

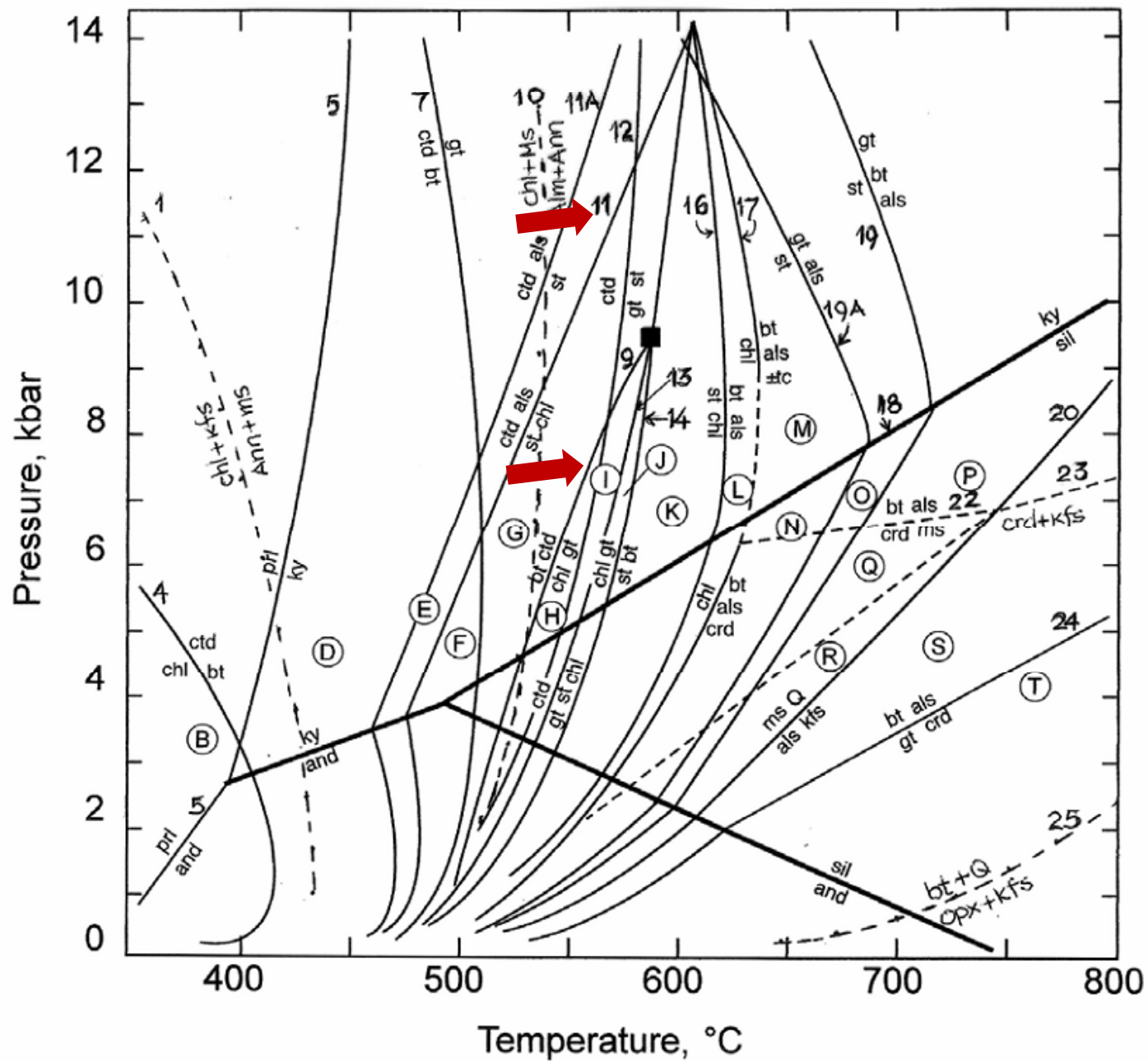


Σχήμα 10. AFM διάγραμμα για τις κατώτερες συνθήκες της ζώνης του σταυρόλιθου (αμφιβολιτική φάση) που δείχνει την αλλαγή της τοπολογίας λόγω της αντίδρασης (11), με την οποία η χαμηλότερου βαθμού συνδετική γραμμή χλωριτοειδές-κνανίτης (διακεκομμένη) χάνεται και αντικαθίσταται από την συνδετική γραμμή σταυρόλιθος (st) – χλωρίτης (chl). Με την αντίδραση αυτή δημιουργείται σταυρόλιθος σε μικρό εύρος χημικών συστάσεων Al-ούχων μεταπηλιτών. (Από Winter, 2001).

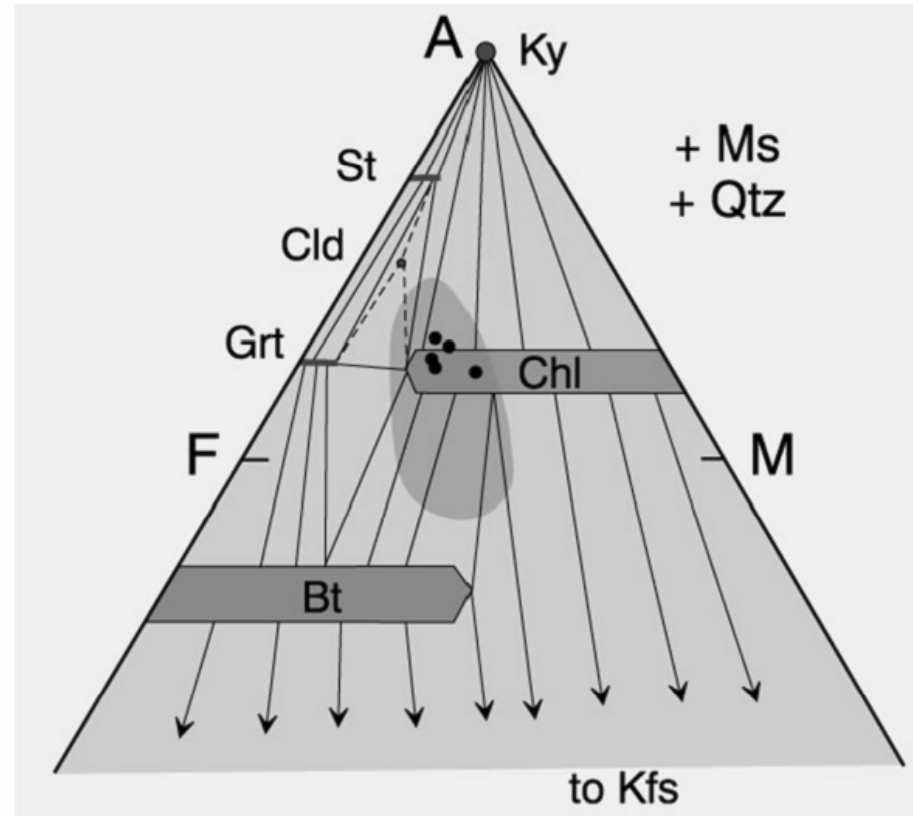
➤ στο σύστημα KFMASH:



Η ζώνη του σταυρολίθου

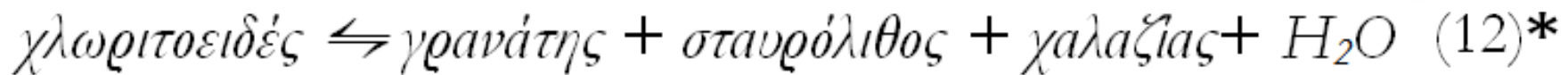


Η ζώνη του σταυρολίθου



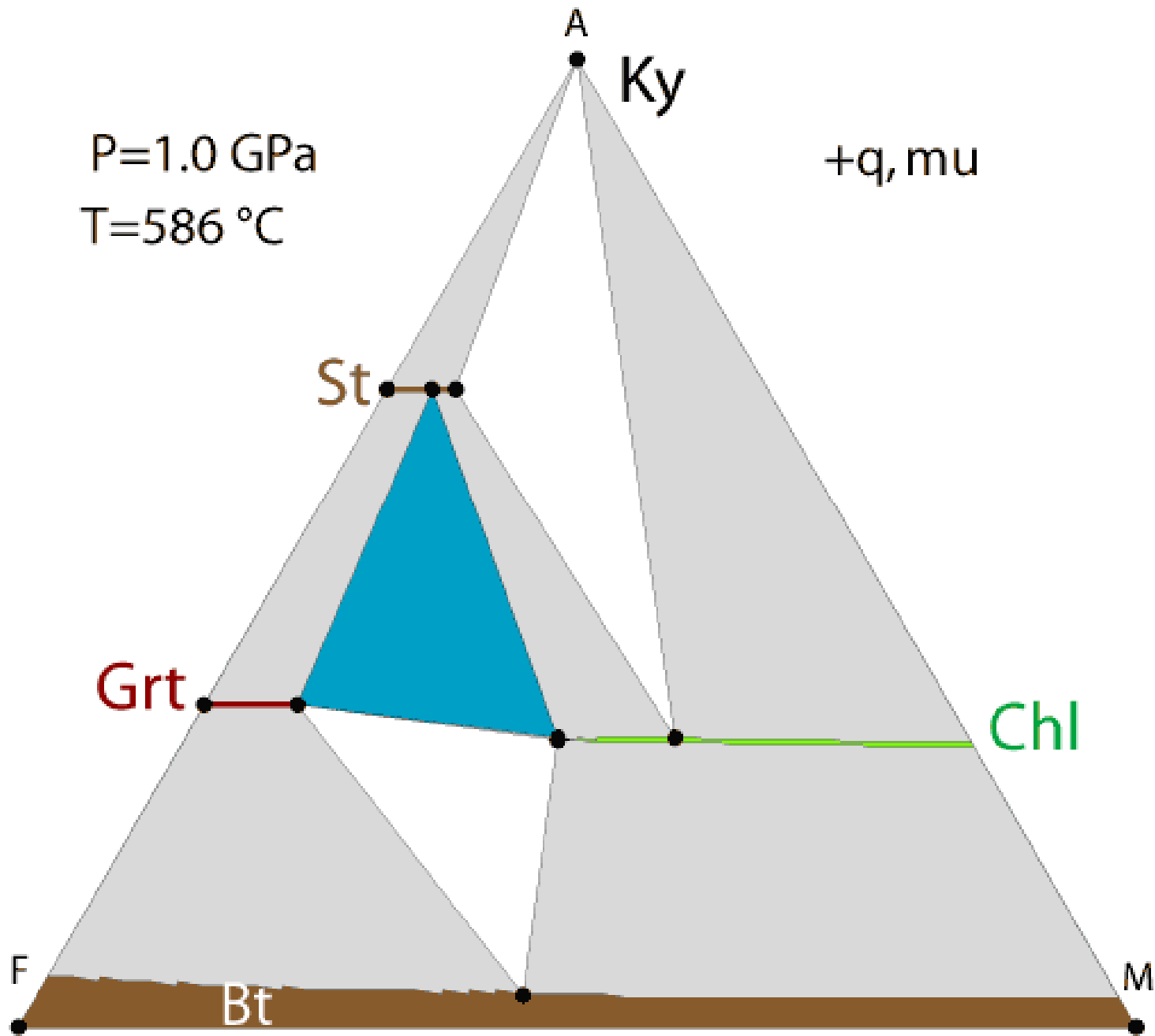
- Σε υψηλότερες T, το τρίγωνο Cld-Grt-Chl μικραίνει και μετακινείται προς το M λόγω της συνεχούς αντίδρασης (12)

Σχήμα 11. AFM διάγραμμα για τη ζώνη του σταυρόλιθου (αμφιβολιτική φάση) που απεικονίζει την αλλαγή της τοπολογίας λόγω της τερματικής αντίδραση του χλωριτοειδούς (αντίδραση 13), με την οποία σχηματίζεται η παραγένεση του τριγώνου γρανάτης-σταυρόλιθος-χλωρίτης, εις βάρος του χλωριτοειδούς. (Από Winter, 2001).



- τερματική αντίδραση χλωριτοειδούς

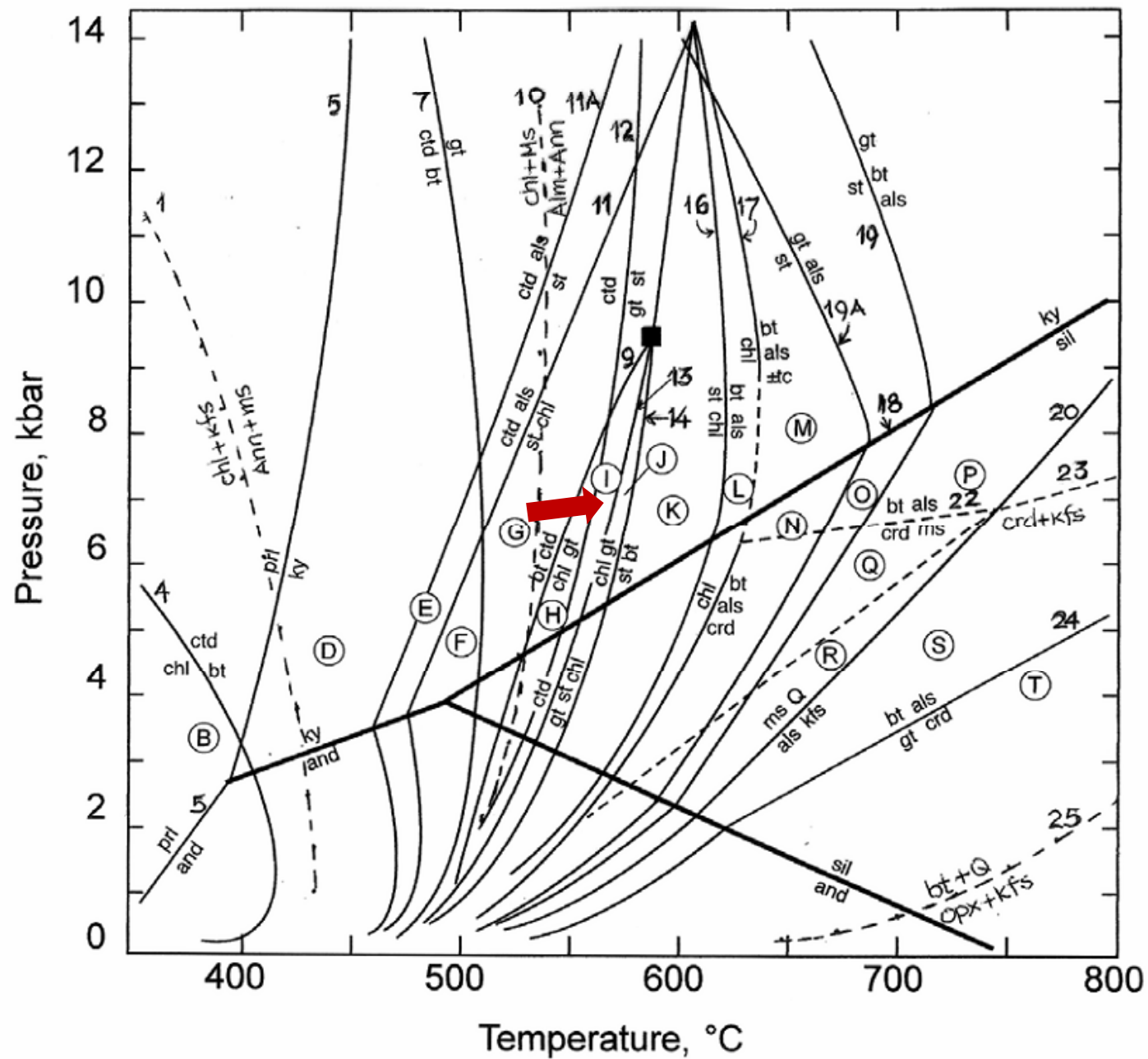
(13)*



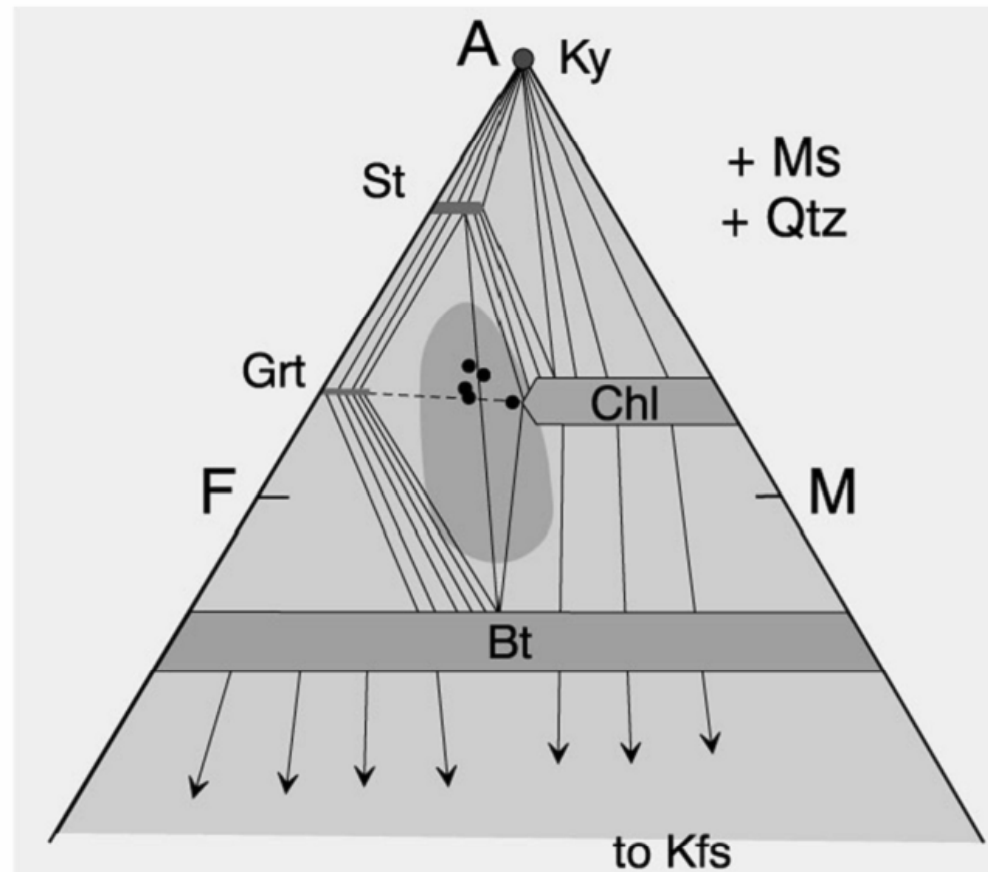
Παράδειγμα τερματικής αντίδρασης. Από: The Science Education Resource Center (SERC),
 Carleton College, USA

http://serc.carleton.edu/research_education/equilibria/reactioncurves.html

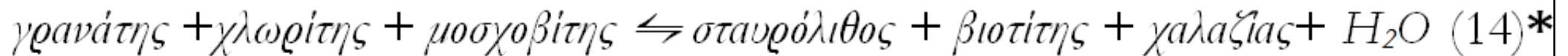
Η ζώνη του σταυρολίθου



Η ζώνη του σταυρολίθου (για τυπικούς πηλίτες)

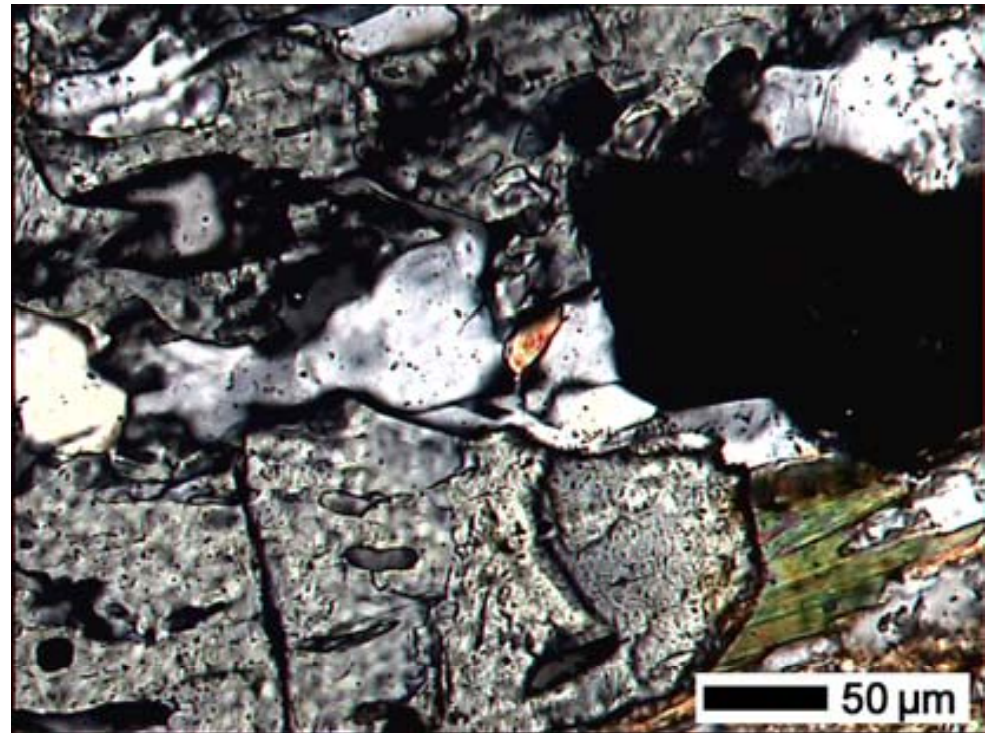
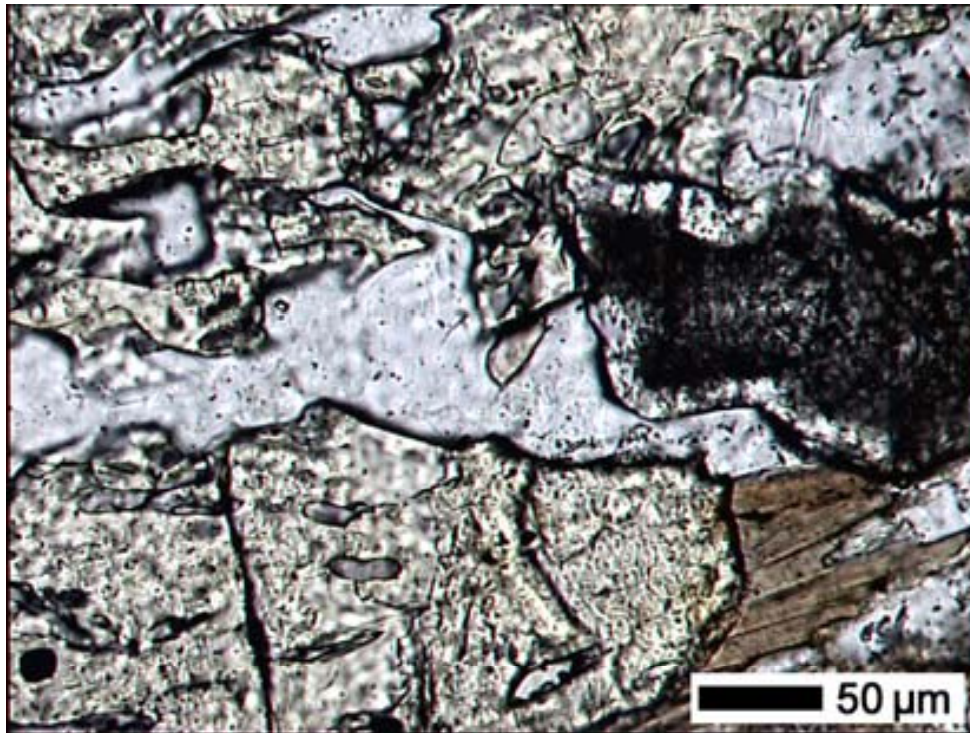


Σχήμα 12. AFM διάγραμμα για τη ζώνη του σταυρολίθου που δείχνει την διάσπαση της συνδετικής γραμμής γρανάτης χλωρίτης (διακεκομμένη) και την αντικατάστασή της από την συνδετική γραμμή σταυρόλιθος-βιοτίτης, λόγω της ασυνεχούς αντίδρασης (14), που δημιουργεί σταυρόλιθο σε πηλιτικά πετρώματα μεγάλου εύρους συστάσεων (σκιασμένη περιοχή). (Από Winter, 2001)



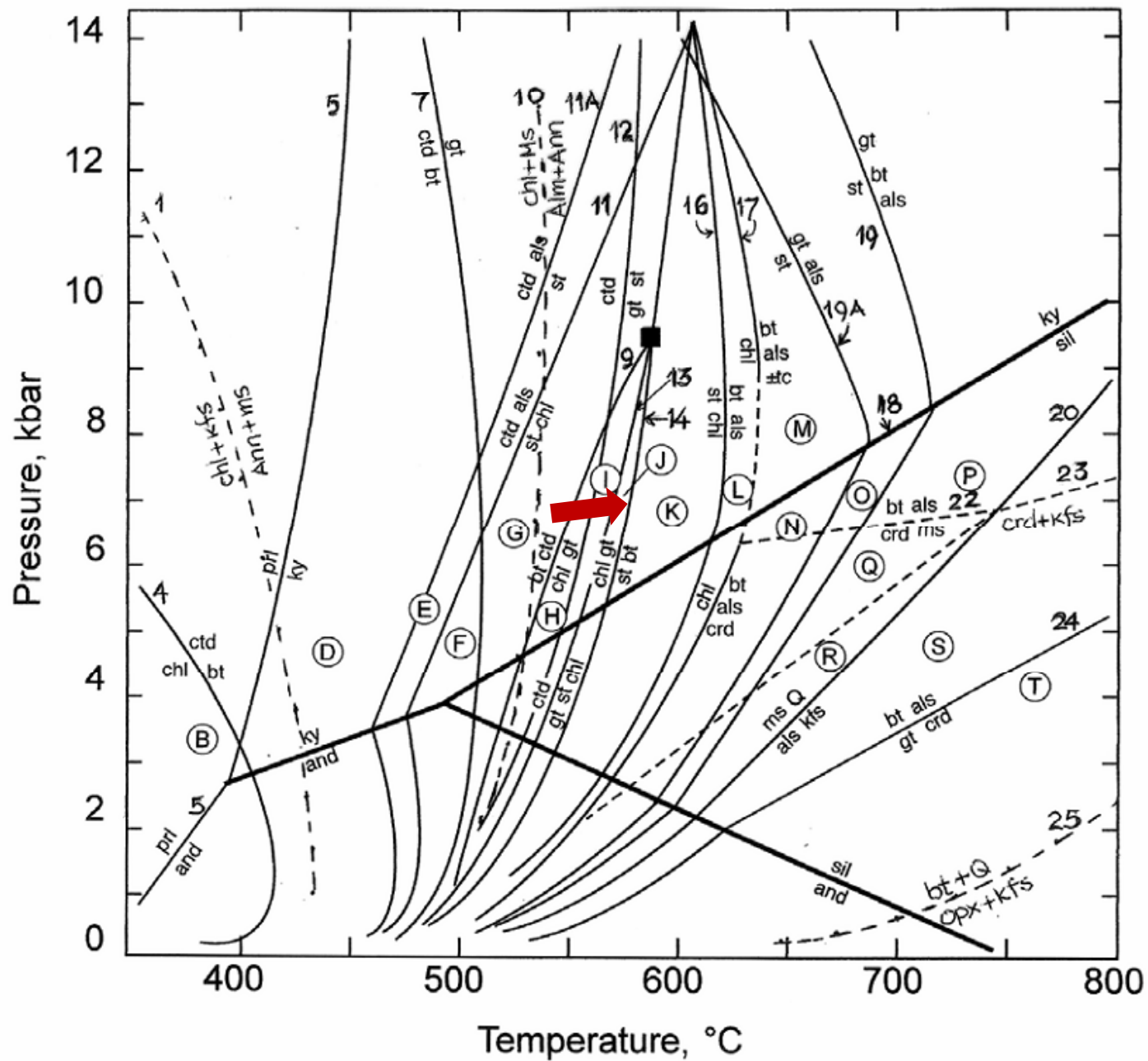
➤ Ζώνη σταυρόλιθου - βιοτίτη

Η ζώνη του σταυρόλιθου - βιοτίτη

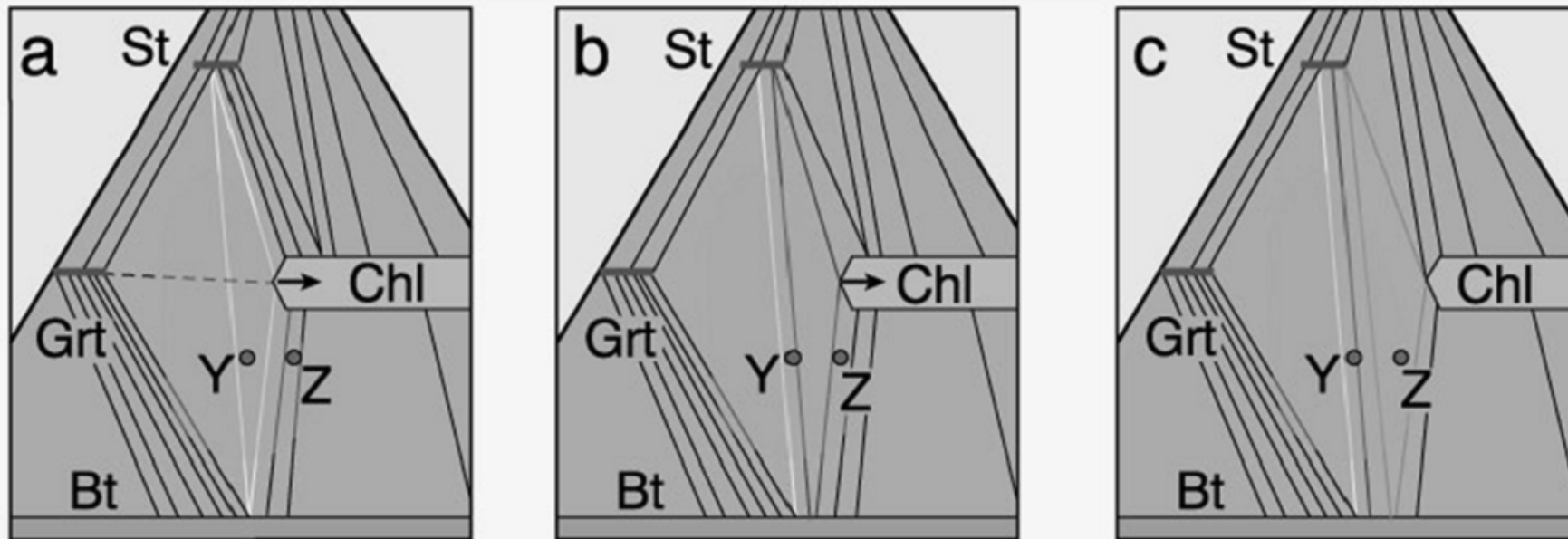


Μικροφωτογραφίες διμαρμαρυγιακών σχιστολίθων (δείγμα IK75a) με σταυρόλιθο και γρανάτη: σταυρόλιθος, γρανάτης και βιοτίτης σε επαφή μεταξύ τους. Από: *Ηλιόπουλος, 2005*

Η ζώνη του σταυρολίθου - βιοτίτη

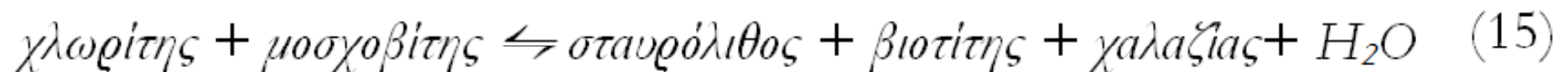


Η ζώνη του σταυρολίθου - βιοτίτη



Σχήμα 13. Μεγέθυνση του τετραπλεύρου γρανάτης-σταυρόλιθος-χλωρίτης-βιοτίτης του AFM διαγράμματος του σχήματος 12 που δείχνει τον προοδευτικό χαρακτήρα της συνεχούς αντίδρασης (15), μετά την πραγματοποίηση της ασυνεχούς αντίδραση (14) και την αύξηση του βαθμού μεταμόρφωσης. a) Στις συνθήκες της ισοβάθμου του σταυρόλιθου (αντίδραση 14), λόγω της διάσπασης της συνδετικής γραμμής γρανάτης-χλωρίτης, η σύσταση Y χάνει τον γρανάτη και αναπτύσσει σταυρόλιθο (ανήκει τώρα στο τρίγωνο σταυρόλιθος-βιοτίτης-χλωρίτης). b) Με την συνεχή αντίδραση (15) ο περισσότερο πλούσιος σε Fe χλωρίτης καταστρέφεται και το τρίγωνο σταυρόλιθος-βιοτίτης-χλωρίτης μετακινείται προς τα δεξιά. c) Περαιτέρω μετακίνηση του τριγώνου αυτού προς τα δεξιά λόγω της αντίδρασης (15), έχει ως αποτέλεσμα τα πετρώματα σύστασης Y να χάσουν τον χλωρίτη και να αναπτυχθεί σταυρόλιθος σε πετρώματα σύστασης Z. (Τροποποιημένο, από Winter, 2001).

➤ Σε συνθήκες ανώτερες της ισοβάθμου σταυρόλιθος-βιοτίτης:

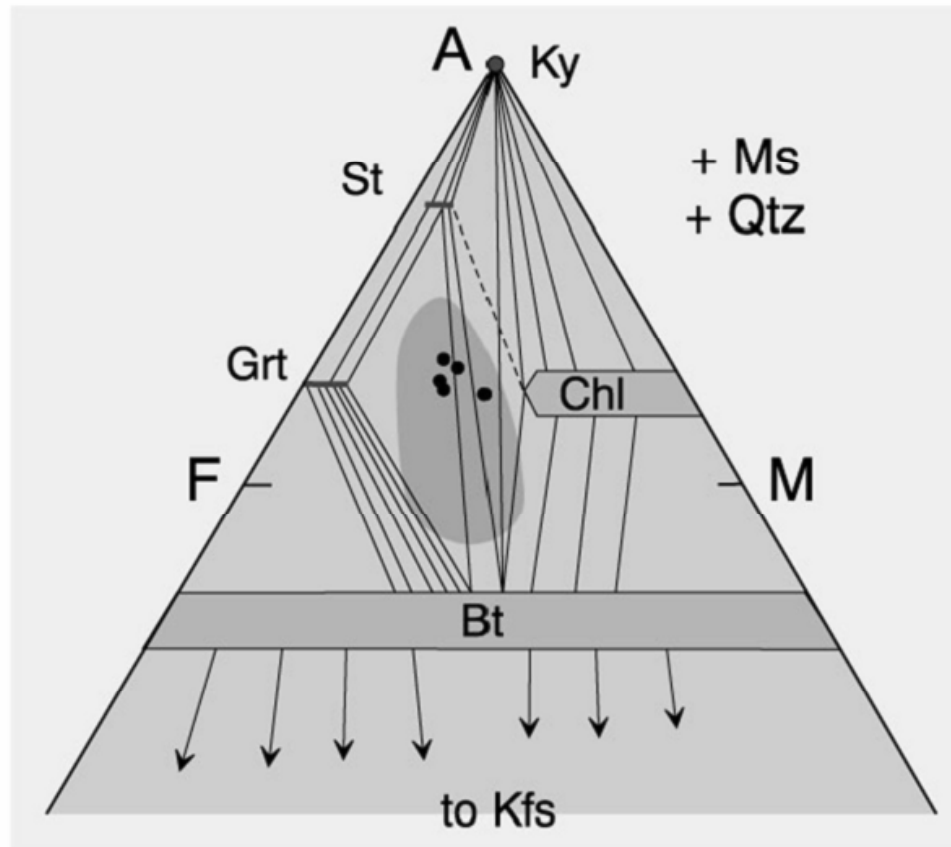


Η ζώνη του σταυρολίθου

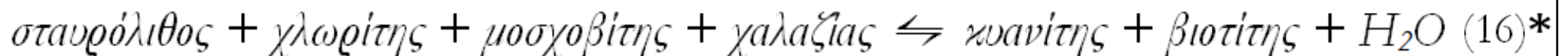
Είναι λοιπόν φανερό ότι:

- ✓ δεν είναι μόνο οι **ασυνεχείς αντιδράσεις** αυτές που μπορούν να δημιουργήσουν ένα ορυκτό σε ένα πέτρωμα, αλλά και ότι οι **συνεχείς αντιδράσεις** μπορούν να προκαλέσουν την εμφάνιση ενός ορυκτού σε πετρώματα κατάλληλης σύστασης, σε συνθήκες ανώτερες απ' αυτές που συμβαίνει η αντίστοιχη ασυνεχής αντίδραση.
- ✓ τα ορυκτά-δείκτες του βαθμού μεταμόρφωσης δεν αναπτύσσονται σε όλα τα πετρώματα στις ίδιες συνθήκες.
- ✓ Αν ένα πέτρωμα έχει π.χ. δημιουργήσει St τότε θα πρέπει να υποθέσουμε ότι και το γειτονικό του πέτρωμα θα έχει μεταμορφωθεί στις ίδιες συνθήκες, έστω κι αν δεν εμφανίζει St

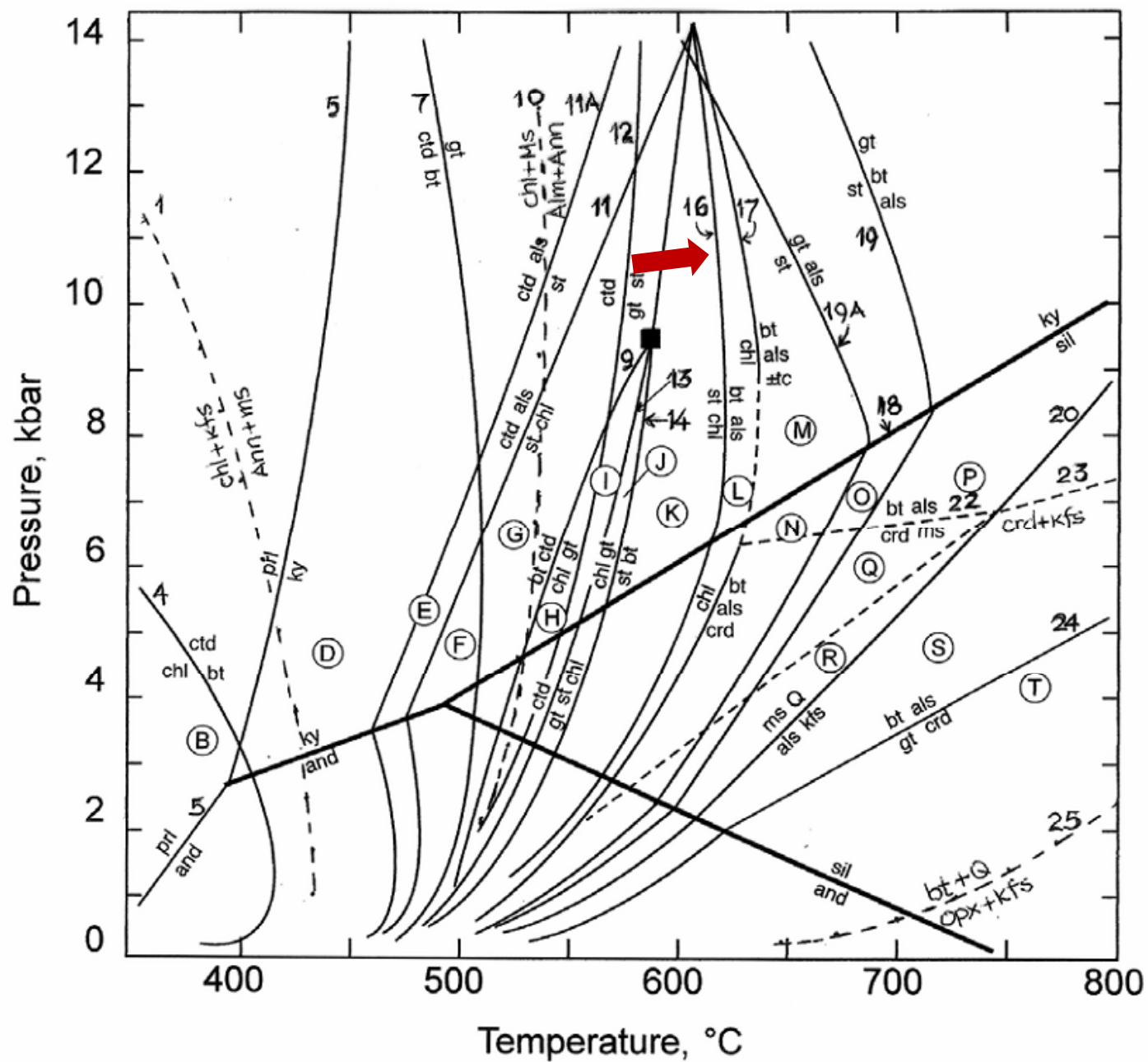
Η ζώνη του κυανίτη (+ βιοτίτης)



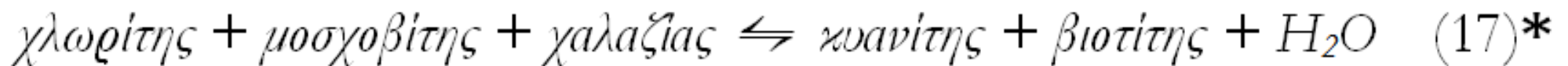
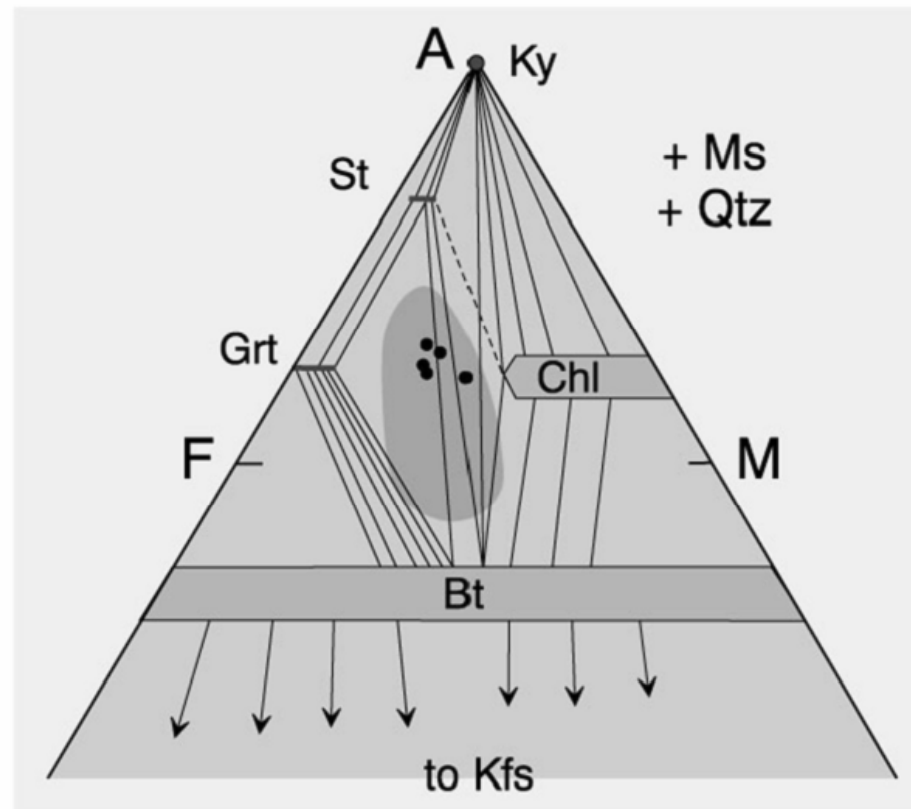
Σχήμα 14. AFM διάγραμμα για την ζώνη του κυανίτη (αμφιβολιτική φάση) που δείχνει την διάσπαση της συνδετικής γραμμής χλωρίτης-σταυρόλιθος και την αντικατάστασή της από την κυανίτης-βιοτίτης λόγω της ασυνεχούς αντίδρασης (16). Η αντίδραση αυτή επιτρέπει τον σχηματισμό του κυανίτη σε μεγαλύτερο εύρος χημικών συστάσεων πηλιτικών πετρωμάτων. (Από Winter, 2001).



Η ζώνη του κυανίτη

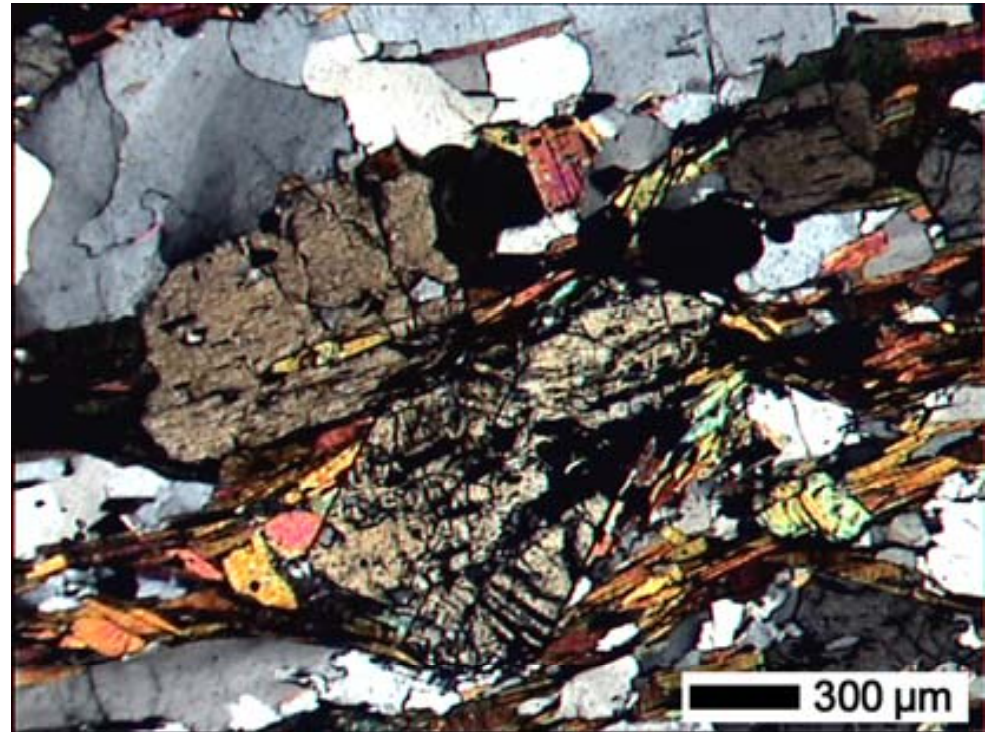
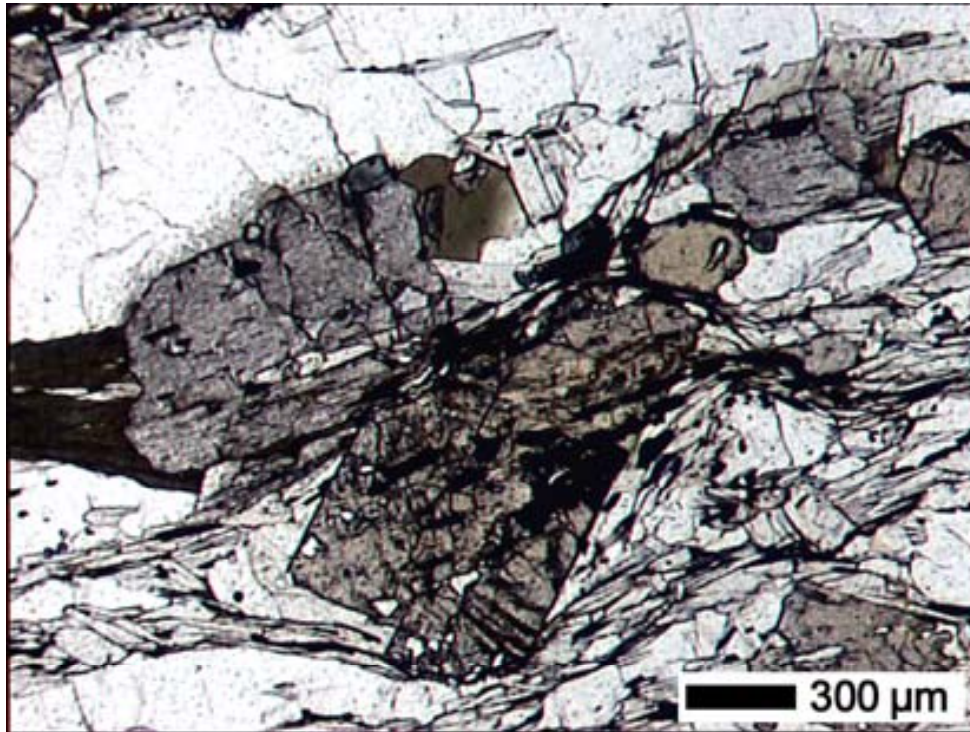


Η ζώνη του κวานίτη



- Η συνεχής αντίδραση (17) μετατοπίζει το τρίγωνο chl-ky-bt προς τα δεξιά και αυξάνει το πλήθος των συνδετικών γραμμών ky-bt ενώ συρρικνώνει το συστασιακό εύρος του chl προς το πιο Mg-ούχο ακραίο μέλος και εν συνεχεία οδηγεί στην **εξαφάνισή του**

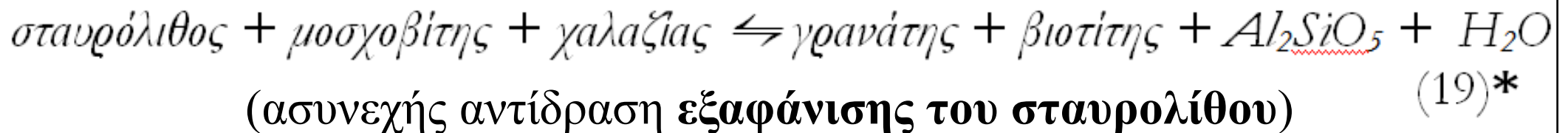
Η ζώνη του κυανίτη



Μικροφωτογραφίες διμαρμαρυγιακών σχιστολίθων (δείγμα ΙΚ102α) με σταυρόλιθο και κυανίτη: σταυρόλιθος και κυανίτης σε επαφή μεταξύ τους. Από: *Ηλιόπουλος, 2005*

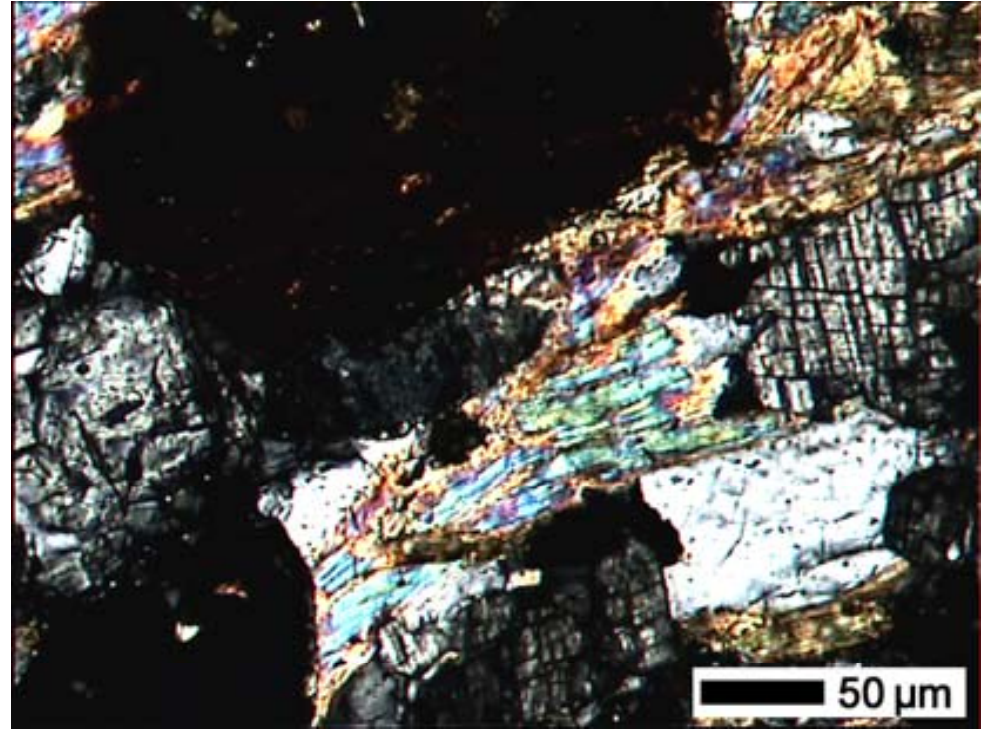
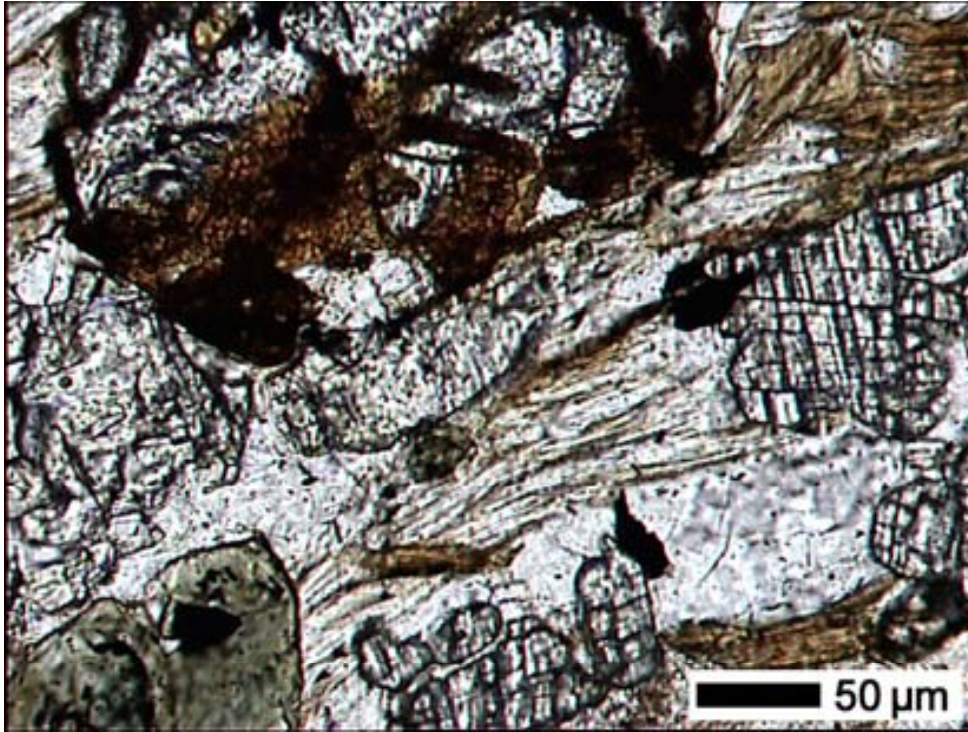
Η ζώνη του σιλλιμανίτη

- AFM διάγραμμα το ίδιο με τη ζώνη κυανίτη
- Μόνη αλλαγή η αντικατάσταση Ky από Sill μέσω της πολυμορφικής αντίδρασης (18)
- Συνήθως όμως ο Ky μετατρέπεται σε Sill μέσω σειράς άλλων αντιδράσεων που εμπλέκουν μοσχοβίτη
- Πρώτη εμφάνιση → με την κρυστάλλωση fibrolite
- Με αύξηση T → αδρόκοκκοι πρισματικοί κρύσταλλοι
- Μια σημαντική αντίδραση σχετικά υψηλών πιέσεων είναι η:



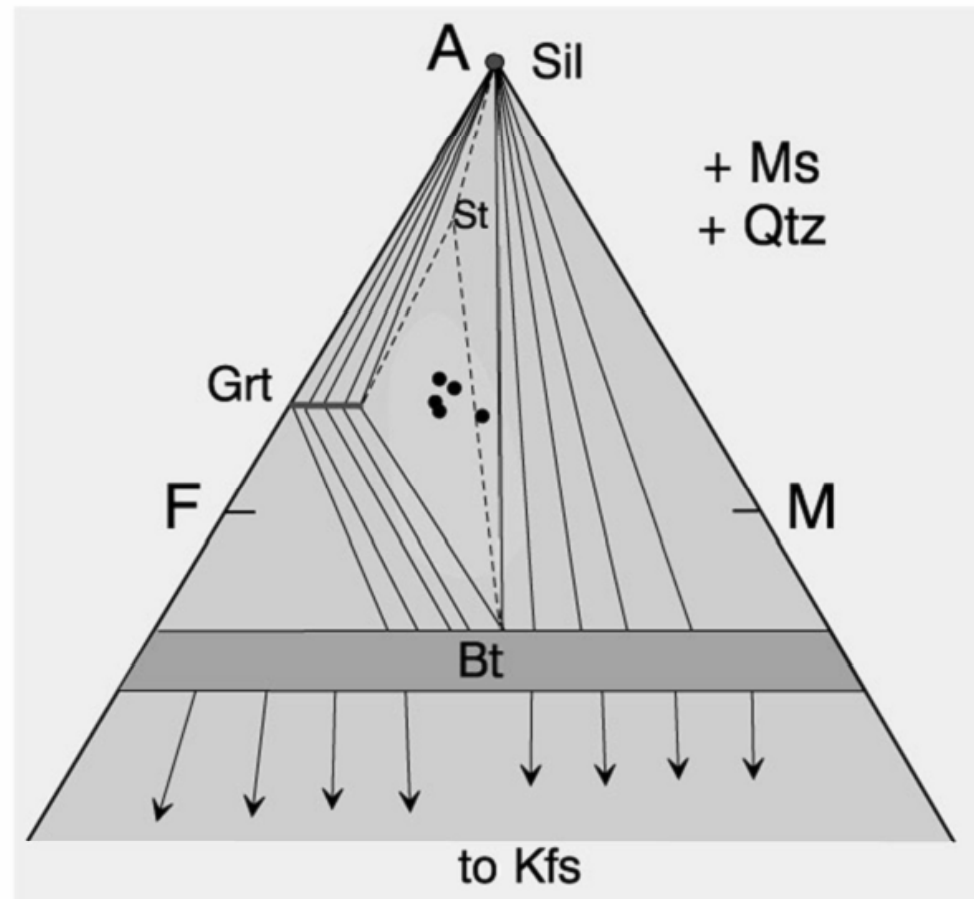
- Συμπίπτει σχεδόν με την μετατροπή κυανίτη σε σιλλιμανίτη

Η εξαφάνιση του σταυρολίθου



Μικροφωτογραφίες χαλαστριακών σχιστολίθων με σταυρόλιθο, γρανάτη και κυανίτη (δείγμα IK221a). Από: *Ηλιόπουλος, 2005*

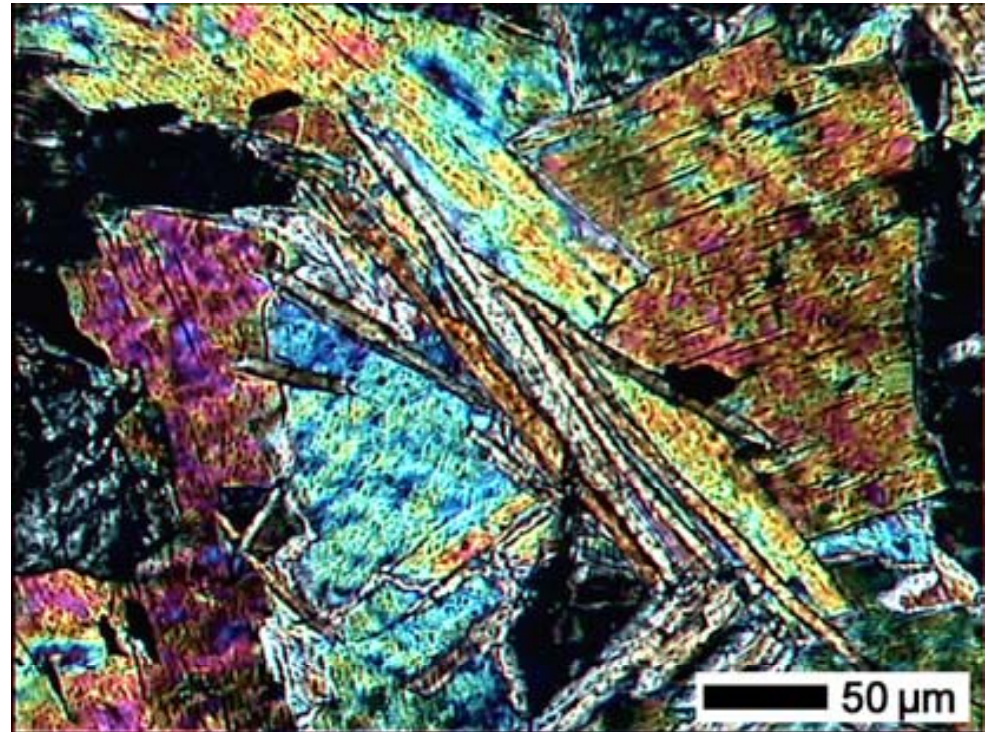
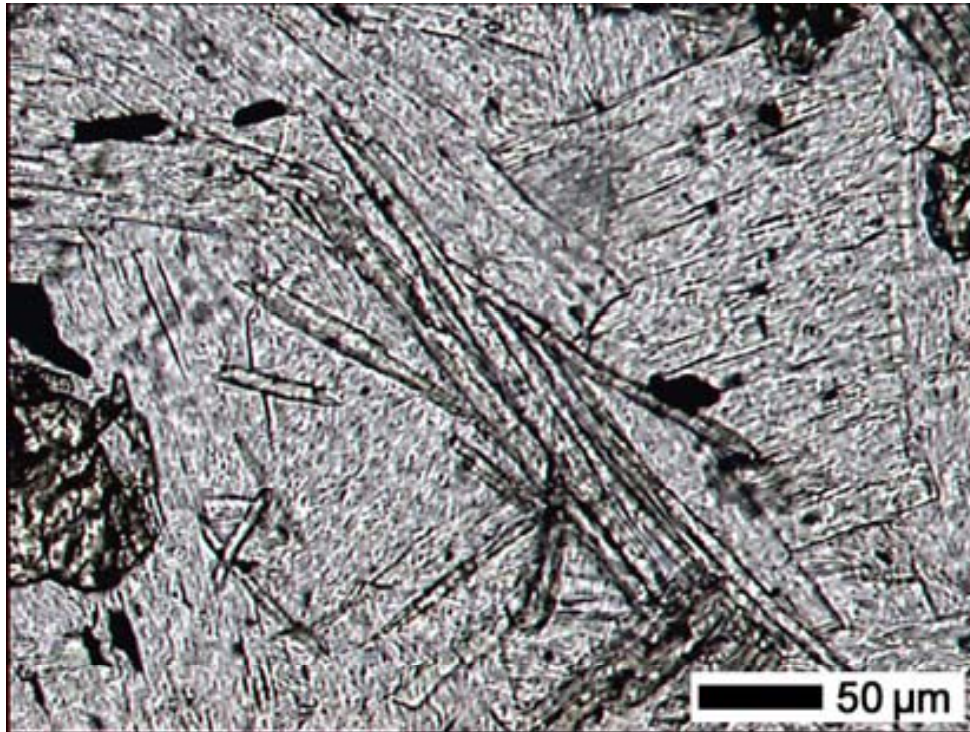
Η ζώνη του σιλλιμανίτη



Σχήμα 15. AFM διάγραμμα για συνθήκες ανώτερες της ισοβάθμου του σιλλιμανίτη και της ισοβάθμου "εξαφάνισης του σταυρόλιθου". (Ζώνη σιλλιμανίτη, ανώτερη αμφιβολιτική φάση). (Από Winter, 2001).

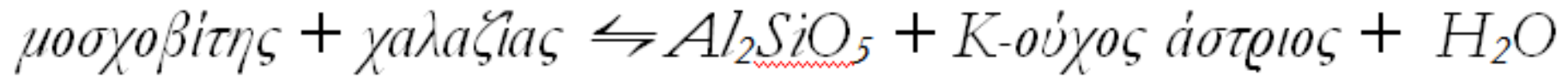
- Η τοπολογία του AFM που προκύπτει από την αντίδραση (19)

Η ζώνη του σιλλιμανίτη



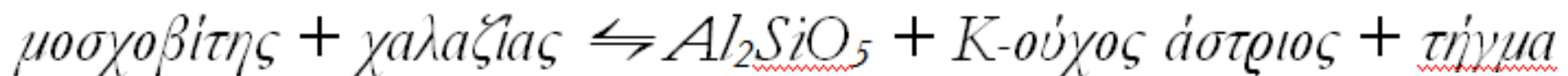
Μικροφωτογραφίες χαλαζιαστριακών σχιστολίθων με σταυρόλιθο, γρανάτη και κυανίτη: βελονοειδείς κρύσταλλοι σιλλιμανίτη που αναπτύσσονται σε βάρος του μοσχοβίτη (δείγμα IK101e). Από: Ηλιόπουλος, 2005

Η ζώνη του σιλλιμανίτη-ορθοκλάστου



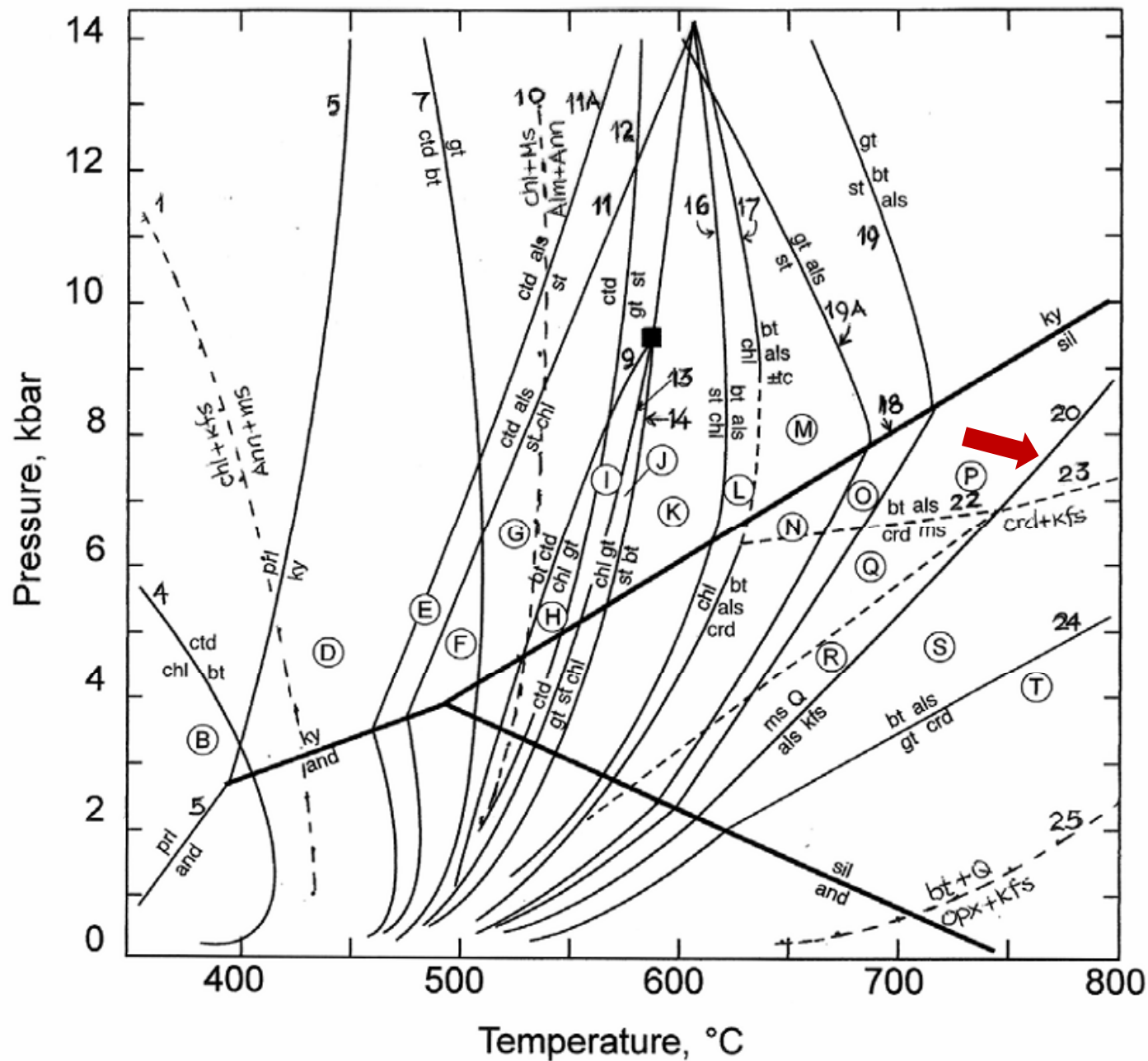
(20)*

- δεύτερη ισόβαθμος του σιλλιμανίτη
- σε υψηλές πιέσεις (>8 kbar) δημιουργεί:
κυανίτη + Κ-ούχο άστριο
- σε πολύ χαμηλές πιέσεις (<3.5 kbar):
ανδαλουσίτη + Κ-ούχο άστριο.
- Με την εξαφάνιση του μοσχοβίτη, το μόνο ένυδρο ορυκτό που μπορεί να συμμετέχει στην ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων είναι ο βιοτίτης.
- Το νερό μπορεί να προκαλέσει μερική τήξη → μιγματίτες

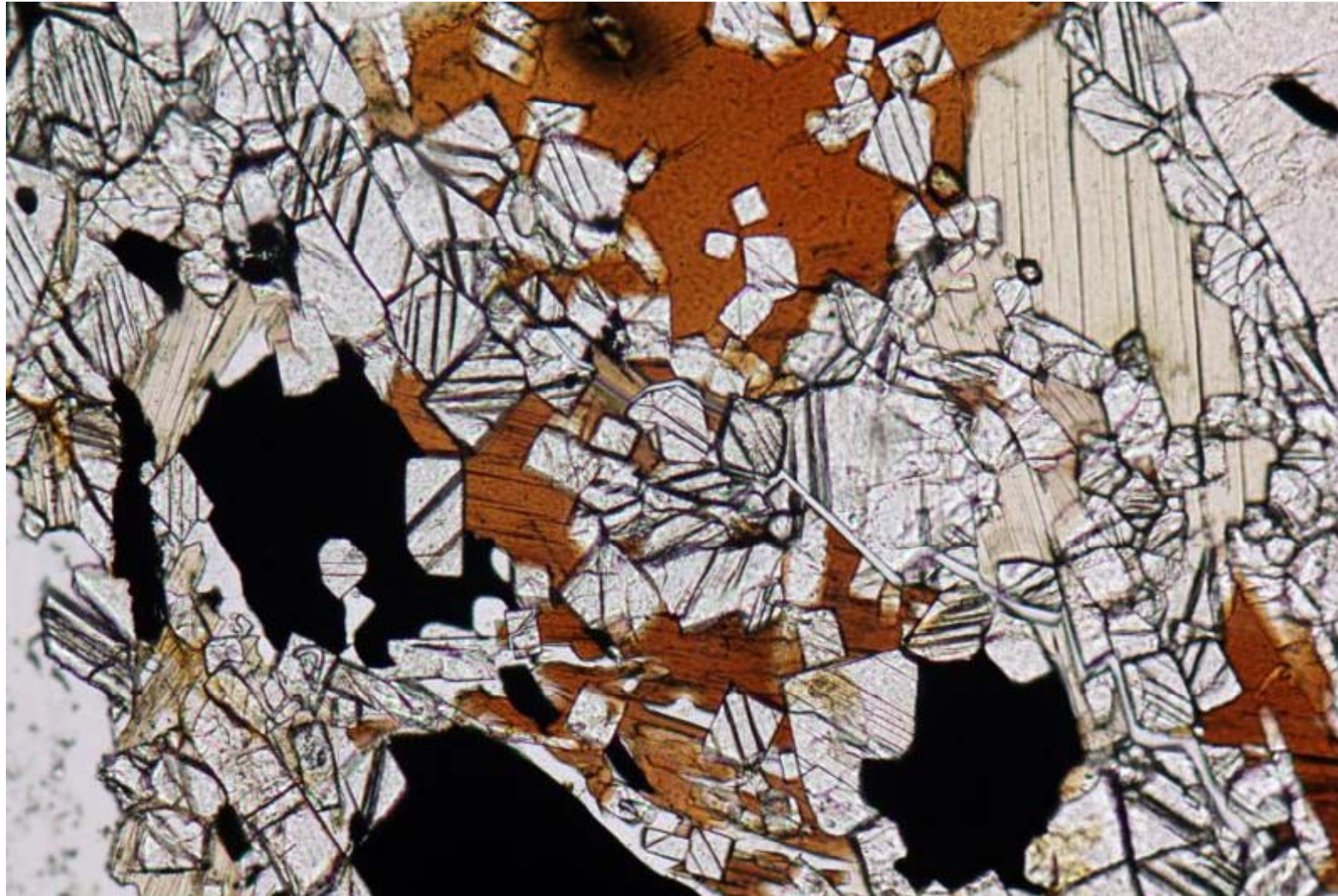


(21)

Η ζώνη του σιλλιμανίτη - ορθοκλάστου

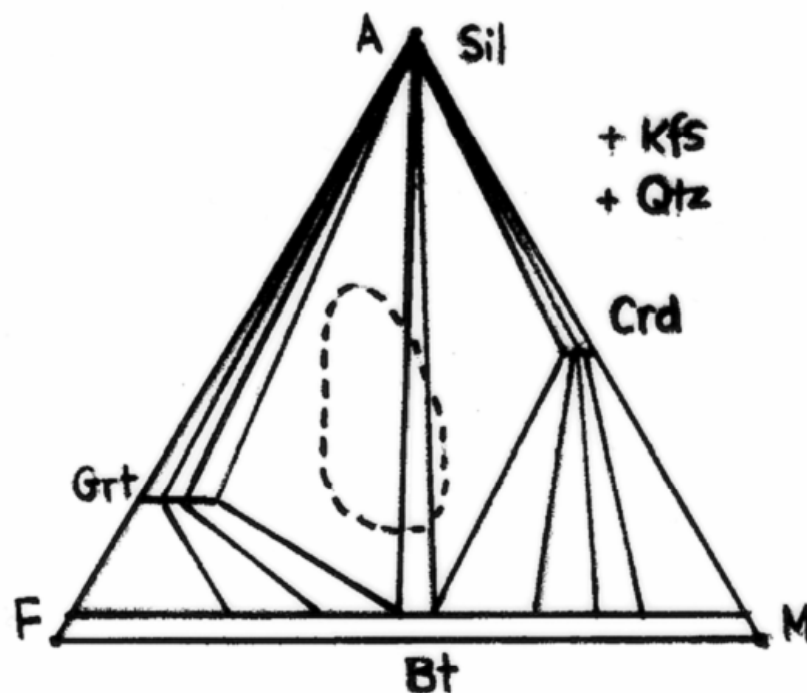


Η ζώνη του σιλλιμανίτη - ορθοκλάστου

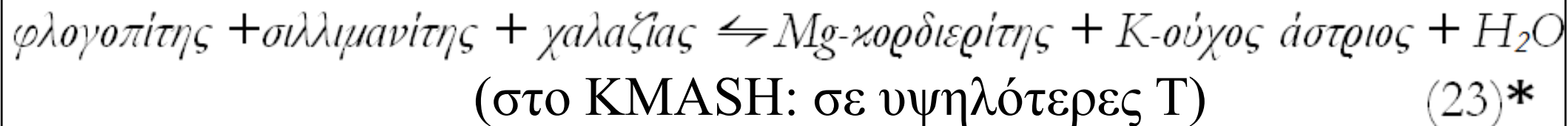
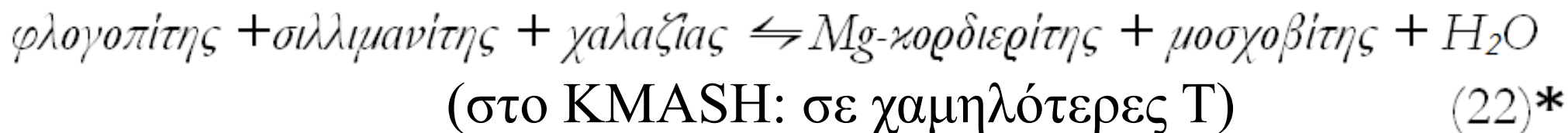


Sillimanite (basal section). Granulite from Calabria (Italy). PPL image, 10x (Field of view = 2mm) Από: <http://www.alexstrekeisen.it/english/meta/felsicgranulite.php>

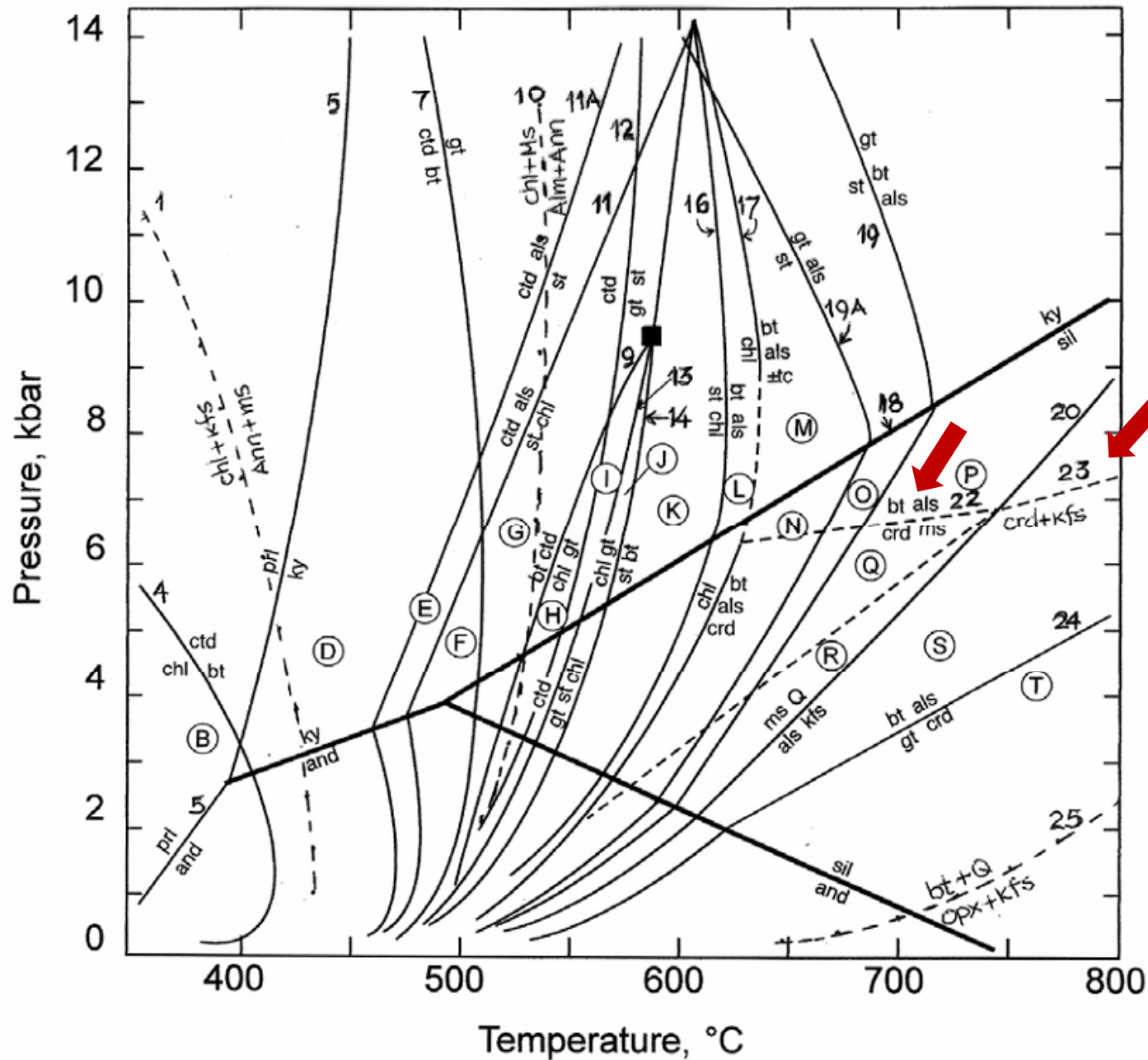
Η ζώνη του σιλλιμανίτη-ορθοκλάστου



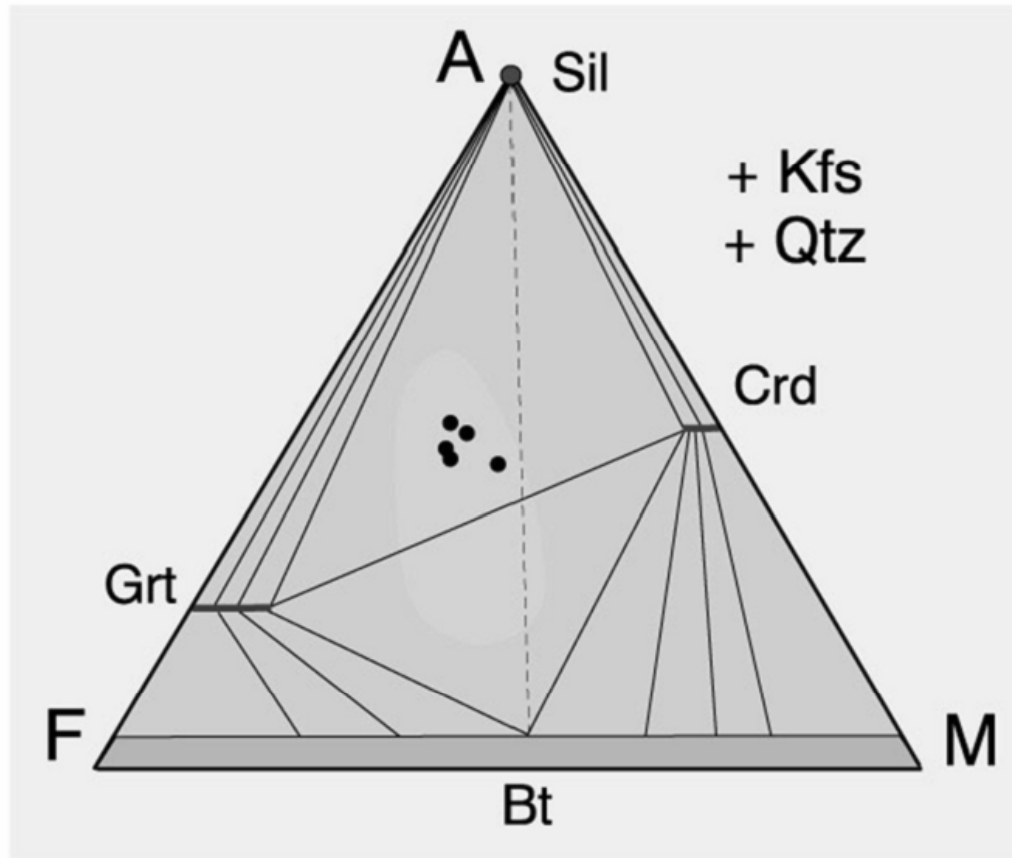
Σχήμα 16. AFM διάγραμμα για μεταπηλιτικά πετρώματα της ζώνης "σιλλιμανίτη-K-ούχου αστρίου".
Ασυνήθιστα υψηλοί σε Mg πηλίτες, περιέχουν κορδιερίτη. (Προβολή από K-ούχο άστριο).



Η ζώνη του σιλλιμανίτη-ορθοκλάστου



Ζώνες υψηλού – πολύ υψηλού βαθμού μετ.

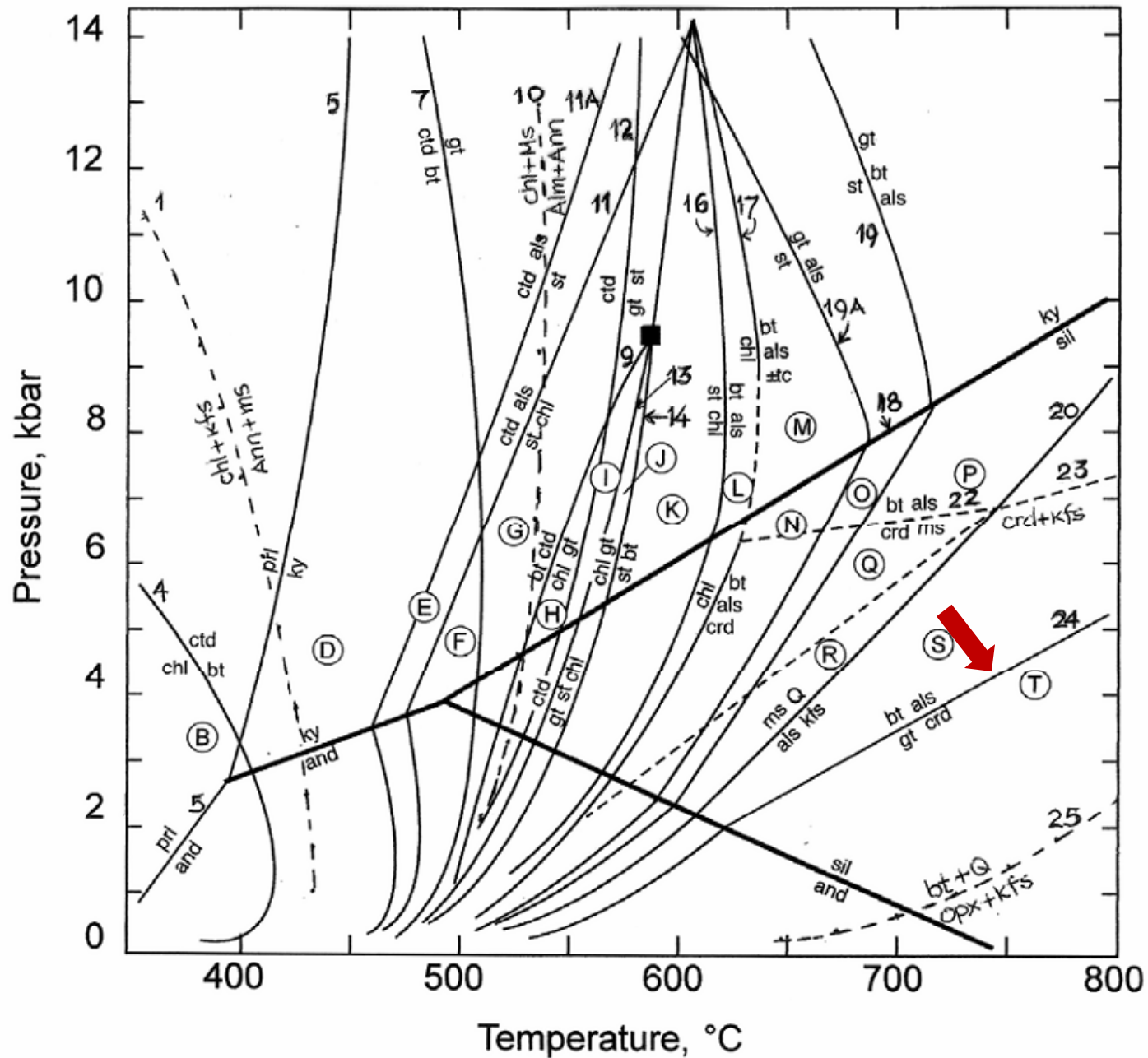


Ζώνη
γρανάτη-
κορδιερίτη

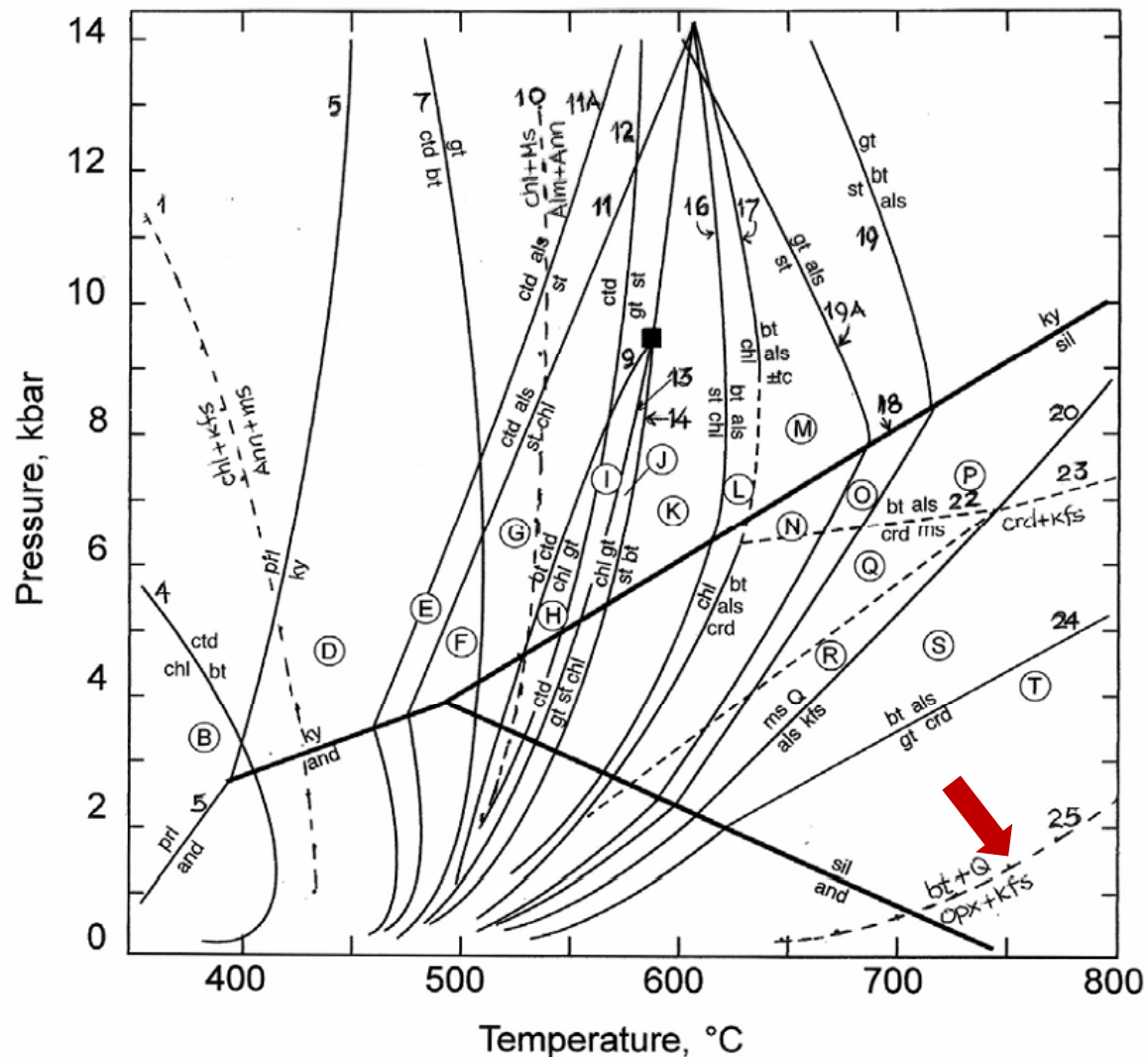
Σχήμα 17. AFM διάγραμμα για συνθήκες ανώτερες της ισοβάθμου του κορδιερίτη (γρανουλιτική φάση). Η συνδετική γραμμή σιλλιμανίτης-βιοτίτης (διακεκομμένη) σπάει και αντικαθίσταται από την γραμμή γρανάτης-κορδιερίτης (αντίδραση 24). Έτσι, μπορεί να σχηματισθεί κορδιερίτης σε πηλιτικά πετρώματα ευρύτερης χημικής σύστασης. (Προβολή από K-ούχο άστριο). (Από Winter, 2001).



Ζώνες υψηλού – πολύ υψηλού βαθμού μετ.



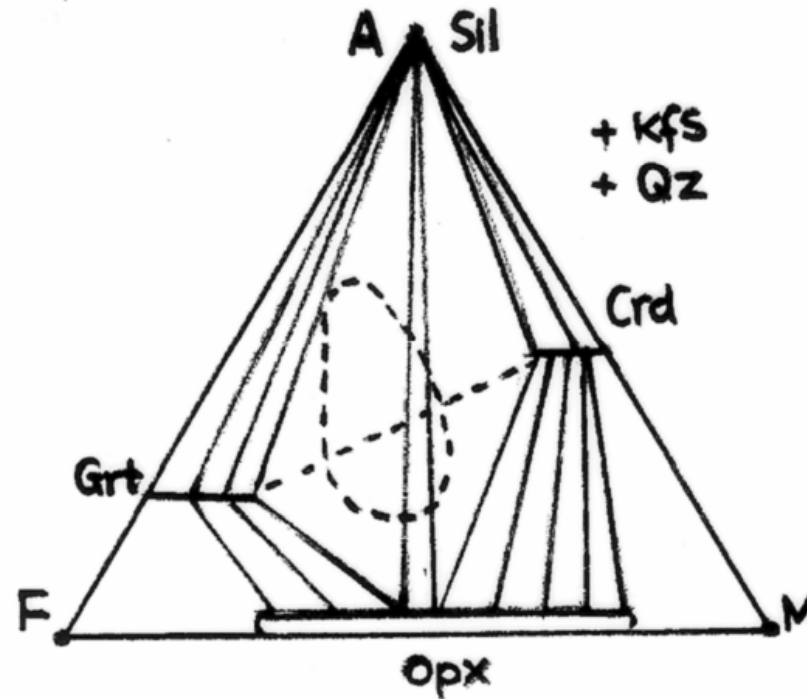
Ζώνες υψηλού – πολύ υψηλού βαθμού μετ.



βιοτίτης + χαλαζίας \rightleftharpoons ορθοπυρόξενος + K-ούχος άστριος + H_2O (25)*

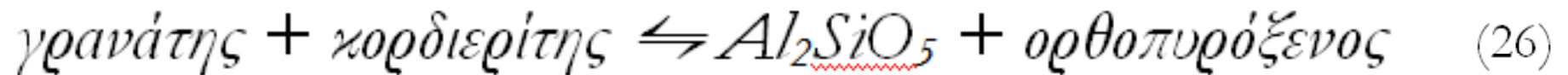
Σε ακόμη υψηλότερες T της γρανουλιτικής φάσης (850-1000° C)
(τερματική αντίδραση βιοτίτη)

Ζώνες υψηλού – πολύ υψηλού βαθμού μετ.



Ζώνη
ορθοπυροξένου

Σχήμα 18. AFM διάγραμμα που απεικονίζει πηλιτικές παραγενέσεις με ορθοπυρόξενο σε πετρώματα της ανώτερης γρανουλιτικής φάσης. Παραγενέσεις με ορθοπυρόξενο και σιλλιμανίτη σχηματίζονται πιθανότατα λόγω της διάσπασης της συνδετικής γραμμής γρανάτη-κορδιερίτη και της αντικατάστασής της από την γραμμή σιλλιμανίτης-ορθοπυρόξενος. (Προβολή από K-ούχο άστριο). (Τροποποιημένο, από Best, 2003).



χαμηλότερες T

υψηλότερες T

Μεταμόρφωση βασικών πετρωμάτων

Μεταβασικά πετρώματα μετρίων συνθηκών

- Πρωτόλιθοι με βασική σύσταση παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τις συνθήκες μεταμόρφωσής τους
- όμως η χρησιμότητά τους περιορίζεται λόγω δύο κυρίως παραγόντων:
 - α) *στους χαμηλούς βαθμούς μεταμόρφωσης διασώζονται ορυκτά του μητρικού πετρώματος λόγω της περιορισμένης δυνατότητας επίδρασης της ρευστής φάσης (κυρίως H_2O) στο σχηματισμό και τη δημιουργία σταθερών ορυκτολογικών παραγενέσεων και*
 - β) *οι μεταβασίτες, συγκρινόμενοι με τους πηλίτες, αποτελούνται από λιγότερα ορυκτά που παρουσιάζουν όμως εκτεταμένο στερεό διάλυμα και οι περισσότερες αντιδράσεις έχουν συνεχή χαρακτήρα προκαλώντας προοδευτικές αλλαγές στη χημική τους σύσταση σε ένα διάστημα P και T .*

Πετρογενετικό δίκτυο για μεταβασικά πετρώματα

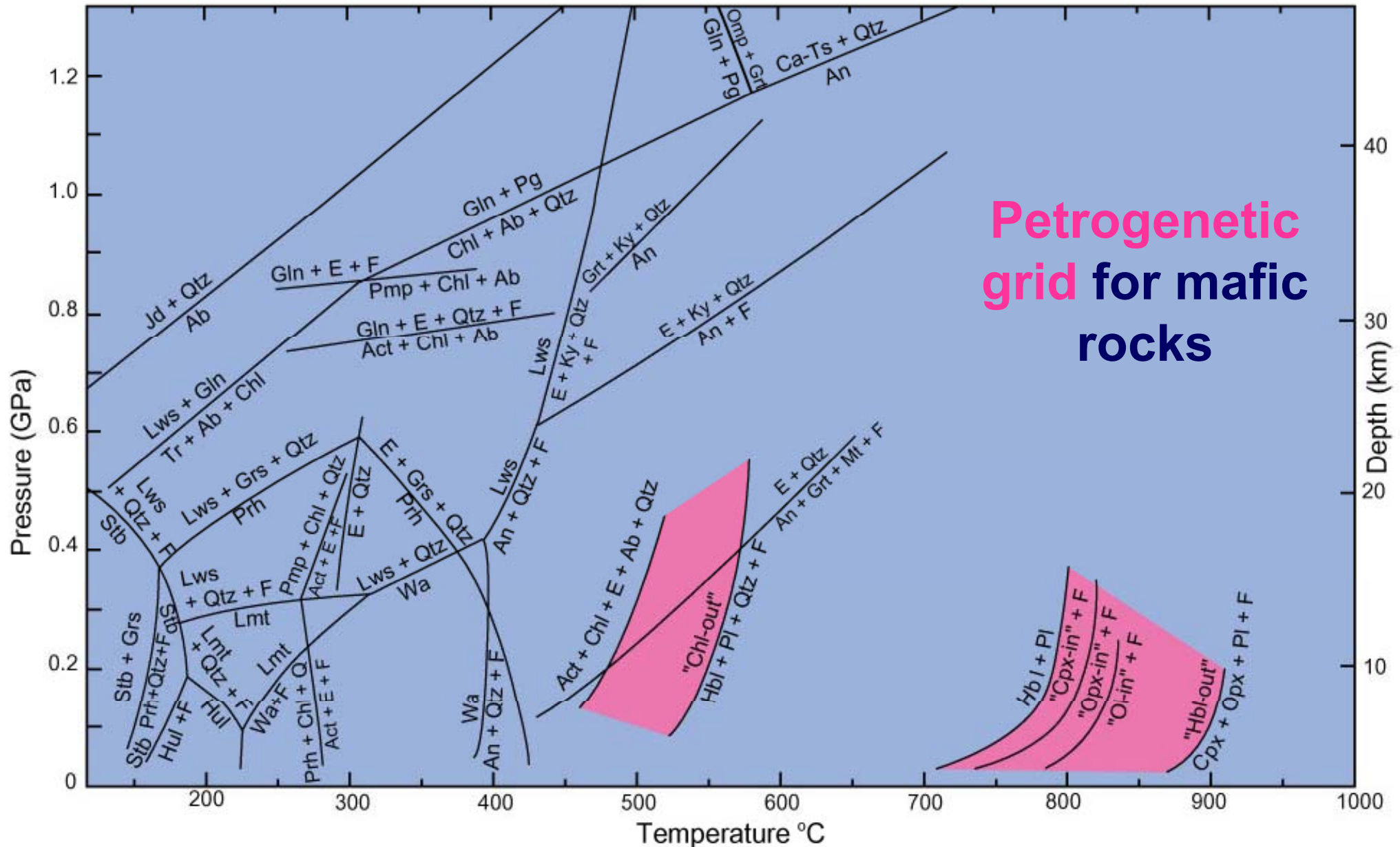
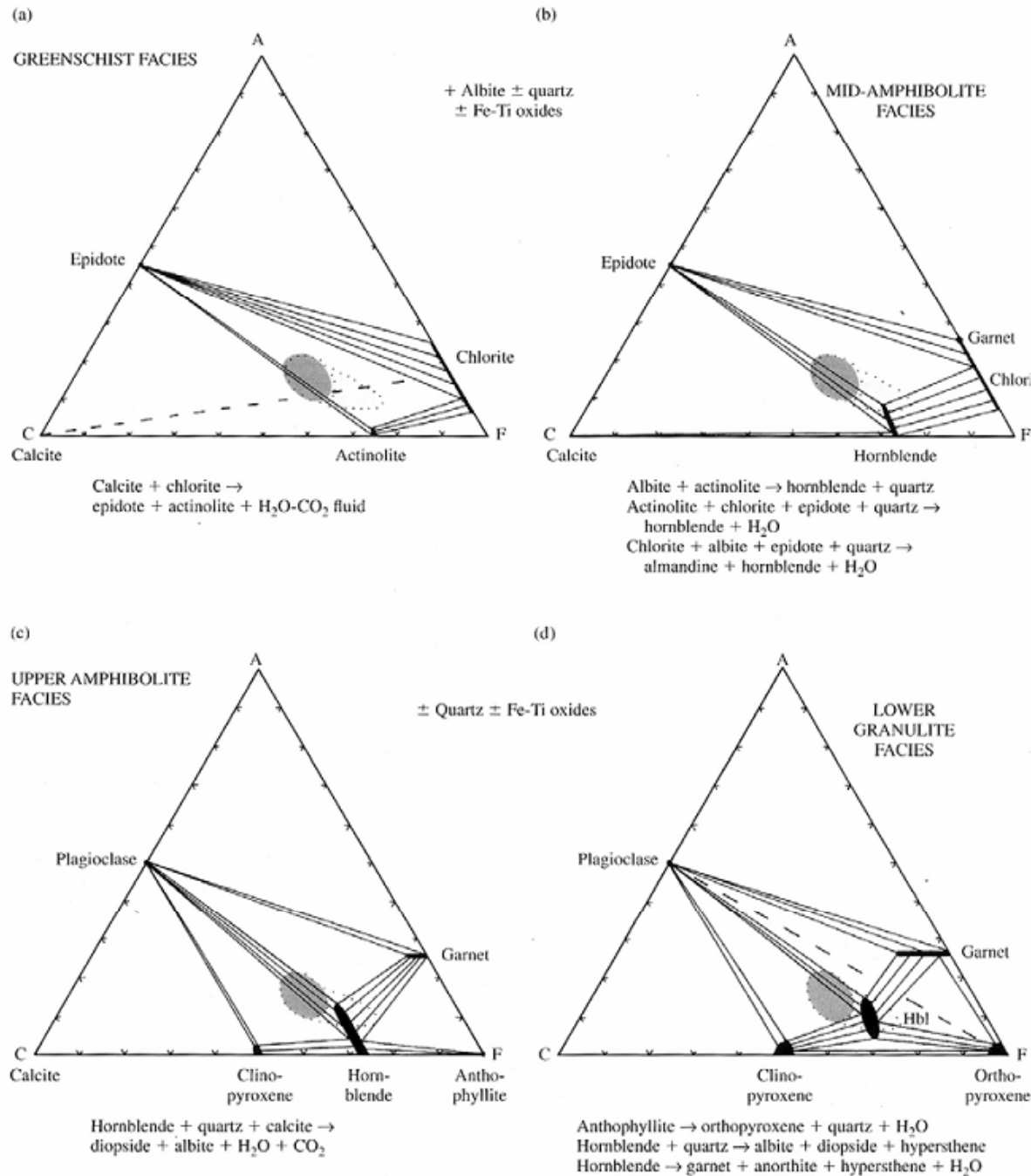
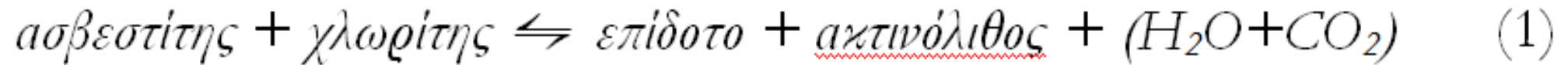


Fig. 26.19. Simplified petrogenetic grid for metamorphosed mafic rocks showing the location of several determined univariant reactions in the CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O-(Na₂O) system ("C(N)MASH"). Winter (2010) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.

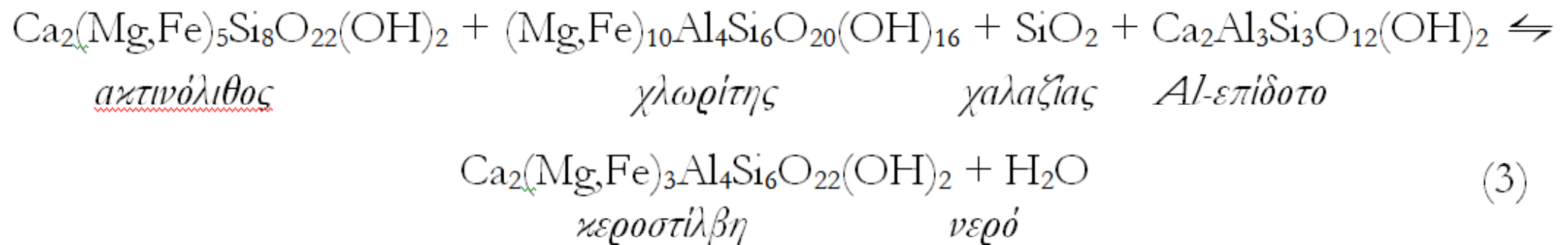
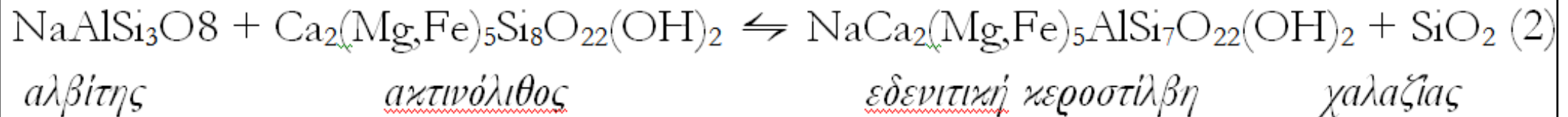
Μεταβασικά πετρώματα μετρίων συνθηκών



Πρασινοσχιστολιθική φάση



- Η προσφορά Ca και Al για την δημιουργία του ανορθιτικού συστατικού και του Al για τον σχηματισμό του κεροστιλβικού συστατικού προέρχεται από τη διάσπαση του επιδότου και του γλωρίτη με αντιδράσεις όπως:

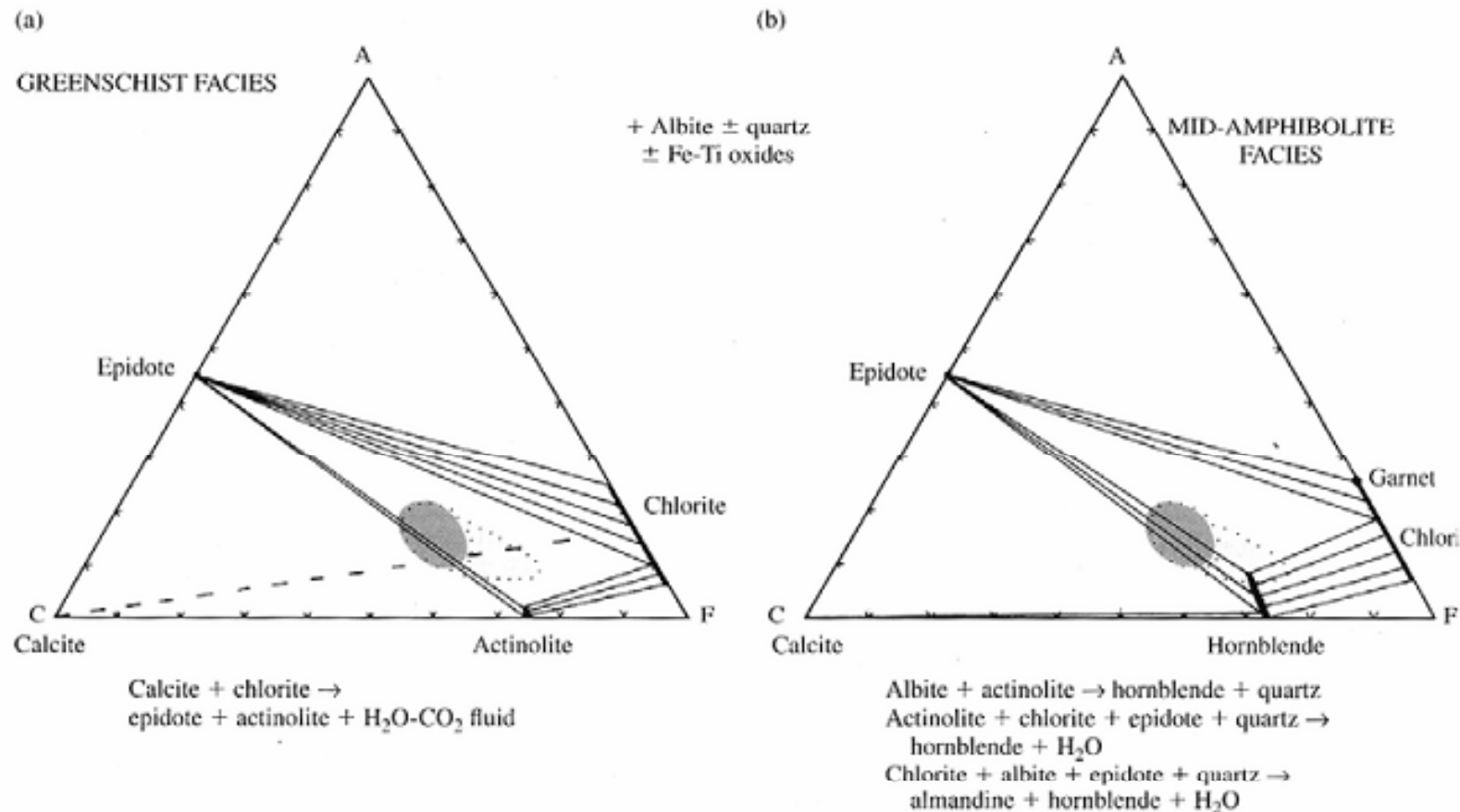


Πρασινοσχιστολιθική φάση

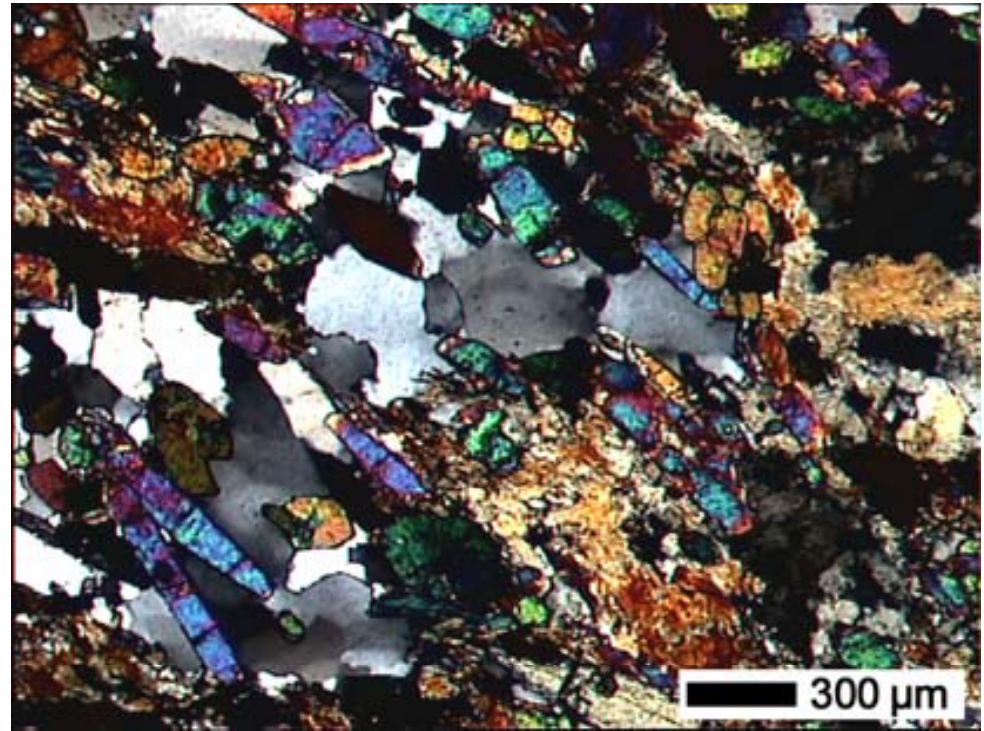
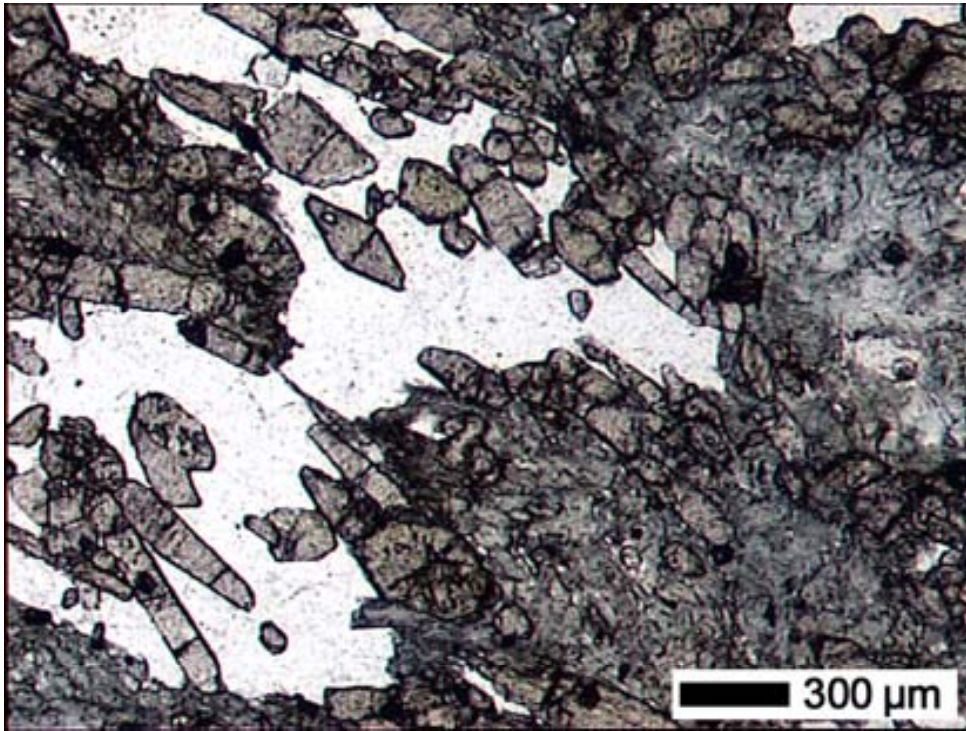
Fe-γλωρίτης + αλβίτης + επίδοτο + χαλαζίας \Leftrightarrow

αλμανδίνης + Mg-γλωρίτης + κερροσίλβη + H₂O

(4)

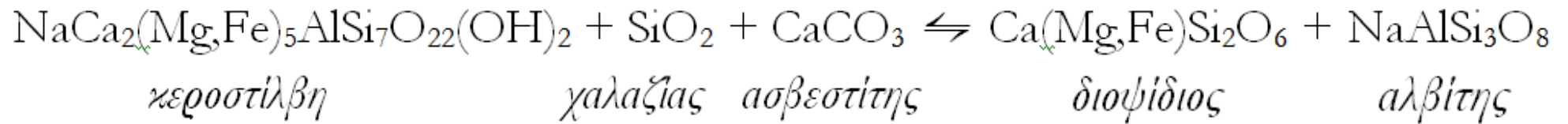


Πρασινοσχιστολιθική φάση

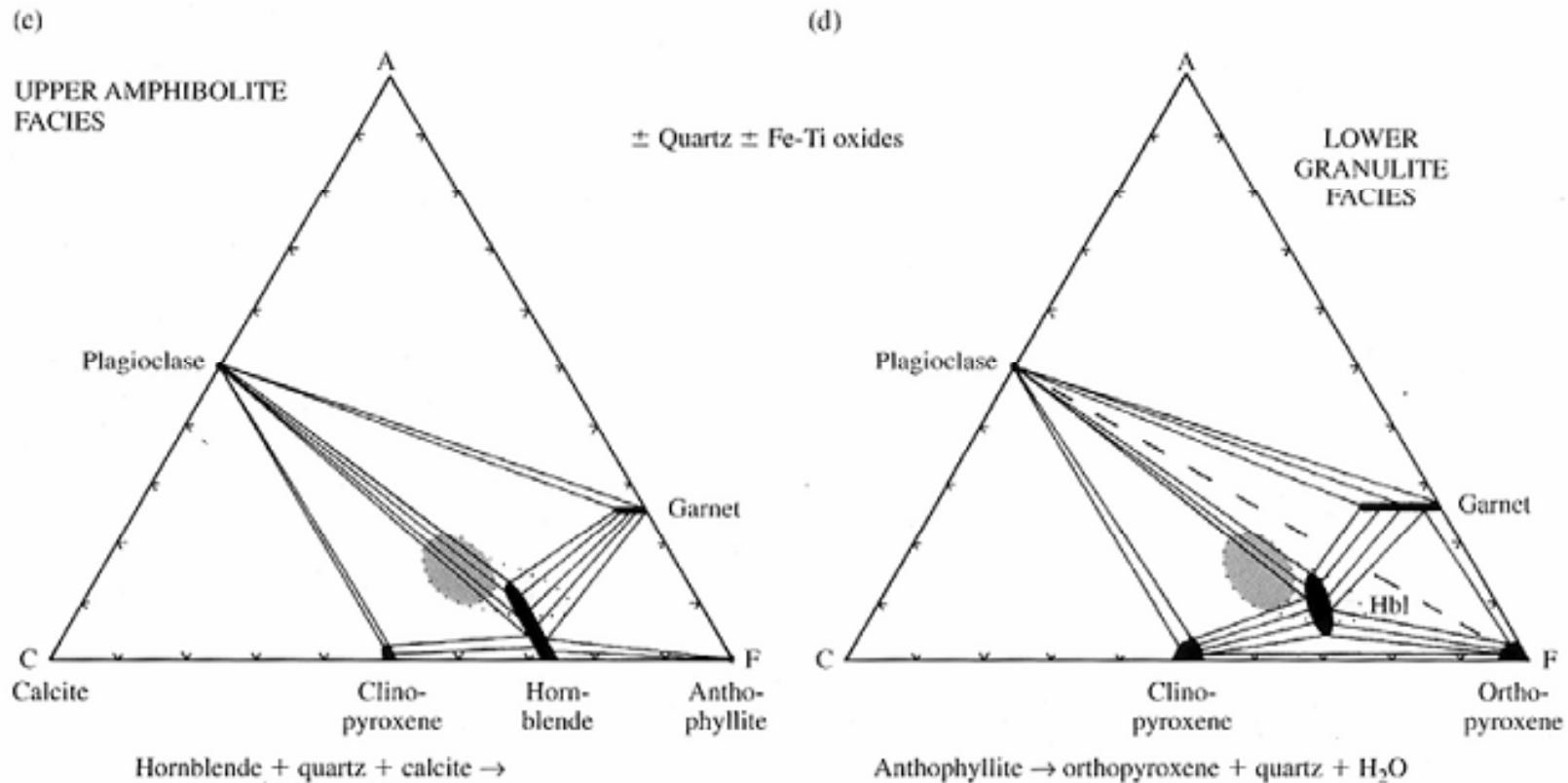


Μικροφωτογραφίες μεταβασικού δείγματος από τις εμφανίσεις του σχηματισμού Πετροπουλίου στην περιοχή Στελί (κεντρική Ικαρία): ακτινολιθικός επιδοτιτικός σχιστόλιθος (δείγμα ΙΚ115b). Από: *Ηλιόπουλος, 2005*

Αμφιβολιτική φάση

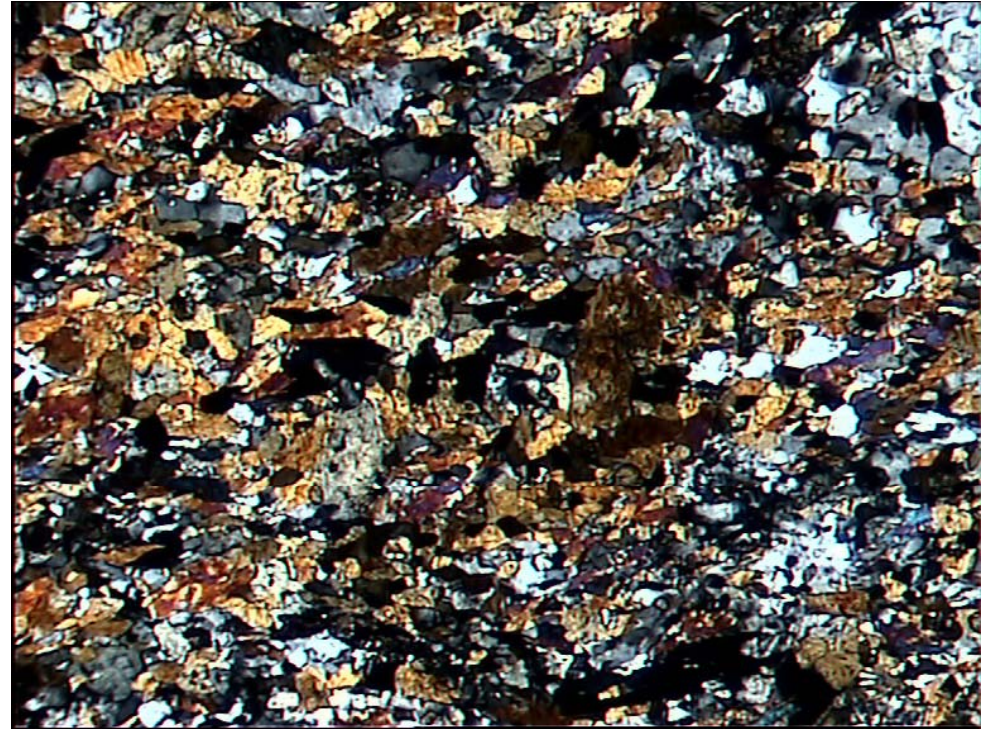


(5)



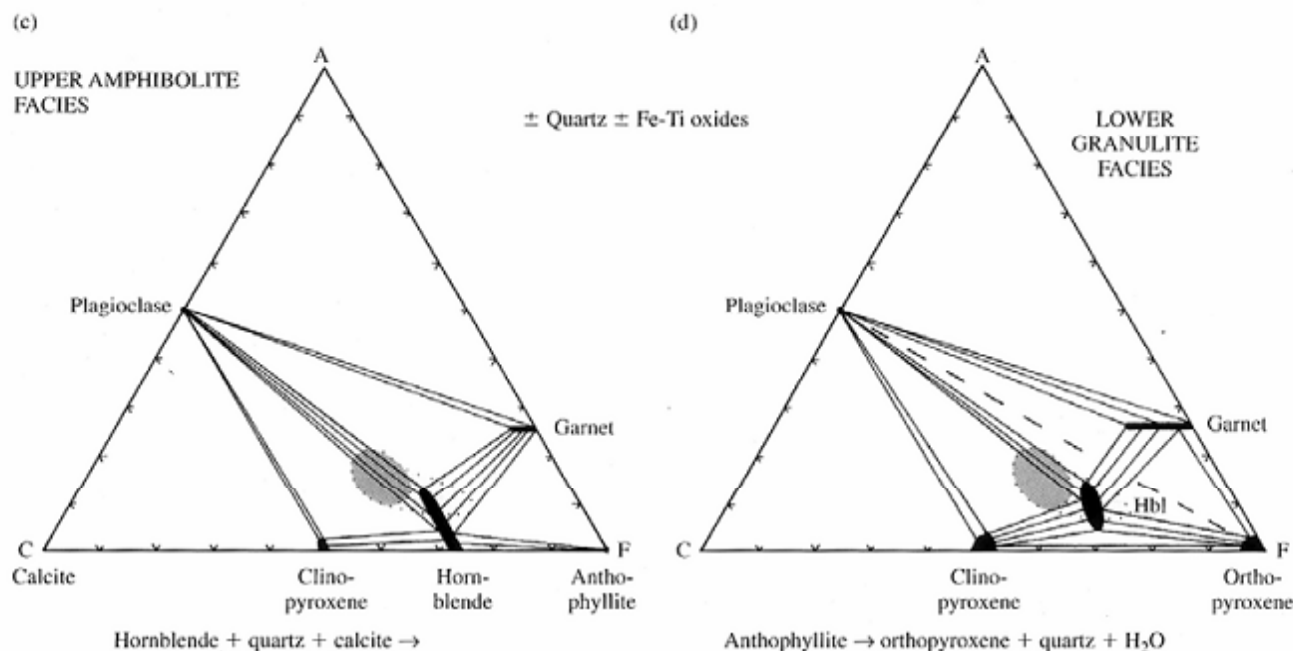
Εμφάνιση Crx: θεωρείται το ανώτερο όριο της αμφιβολιτικής φάσης (~650 °C)

Αμφιβολιτική φάση

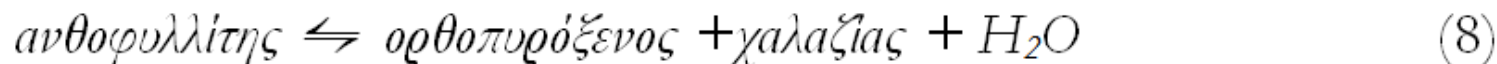
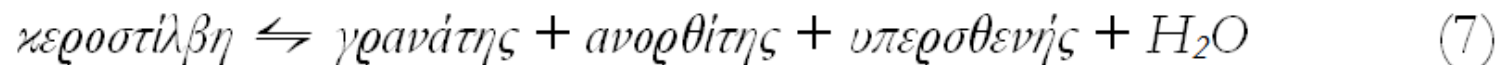
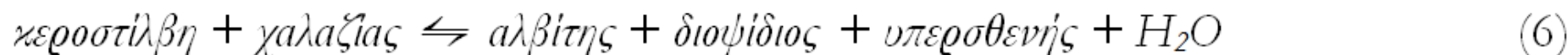


Μικροφωτογραφίες λεπτοκρυσταλλικού αμφιβολίτη (δείγμα ΙΚ235a) από τις εμφανίσεις του σχηματισμού Γνευσίων Πλαγιάς (Ανατολική Ικαρία):. Από: Ηλιόπουλος, 2005

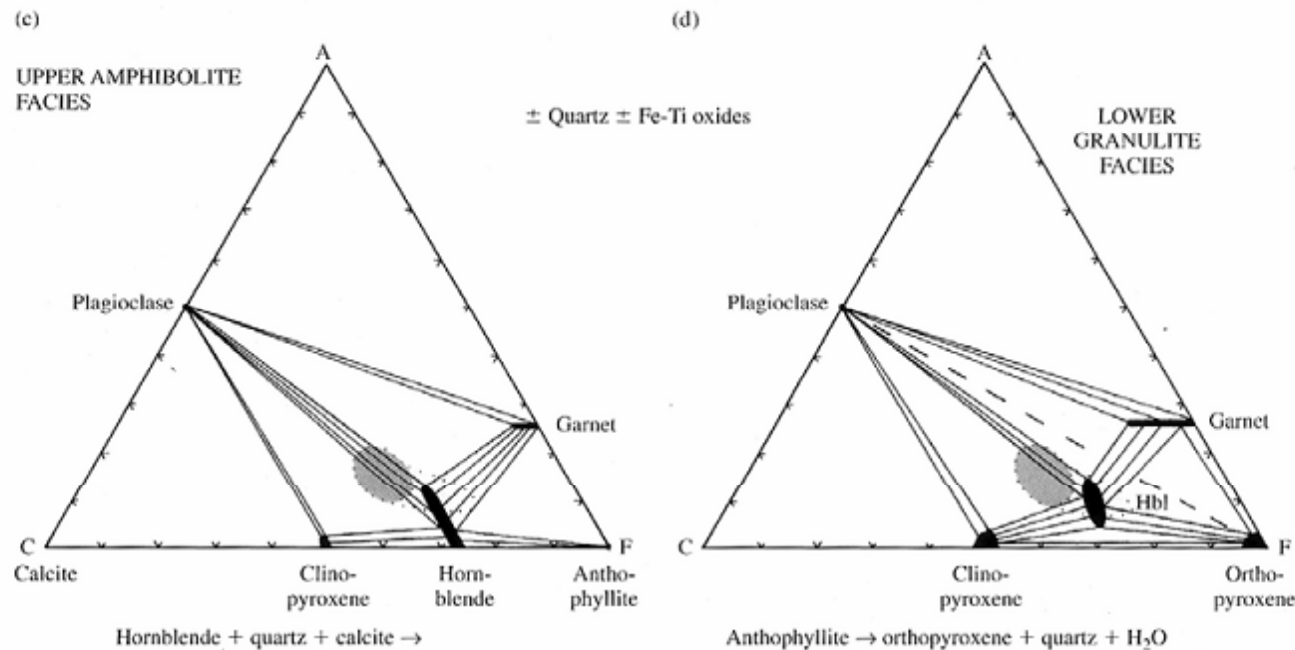
Γρανουλιτική φάση



Η κερροσίλβη και ο ανθοφυλλίτης καταστρέφονται σχηματίζοντας άνυδρες παραγενέσεις με αντιδράσεις όπως:



Γρανουλιτική φάση



Ανάλογα με την πίεση, σχηματίζονται διαφορετικές παραγενέσεις.

- Γρανουλίτες χαμηλής πίεσης: ορθοπυρόξενος-κλινοπυρόξενος-πλαγιόκλαστο
- Γρανουλίτες μετρίων πιέσεων: γρανάτης- κλινο- και ορθο-πυρόξενος -πλαγιόκλαστο
- Γρανουλίτες υψηλών πιέσεων: γρανάτης-κλινοπυρόξενος-πλαγιόκλαστο.

Μεταβασικά πετρώματα μετρίων συνθηκών

