

ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΗ – ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΑΣΙΤΩΝ (ΠΡΑΣΙΝΙΤΩΝ) ΤΗΣ ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥΣ

K. ARIKAS¹, M. PAPE¹, K. ΣΕΡΕΛΗΣ² & Α. ΤΣΑΓΚΑΛΙΔΗΣ²

ΣΥΝΟΨΗ

Η ΝΑ Αττική, μέρος της Αττικοκυκλαδικής μάζας αποτελείται από γνεύσιους, χαλαζίτες, μεγάλες σειρές μαρμάρων και σχιστόλιθων και διάφορα μεταβασικά και μεταυπερβασικά πετρώματα. Οι μεταβασίτες - πρσινίτες στη Λαυρεωτική εντοπίζονται σε περισσότερες από 60 εμφανίσεις. Τα σημαντικότερα ορυκτά τους είναι ο ακτινόλιθος, η ακτινολιθική κροσσίλη και ο γλαυκοφανής ο οποίος συχνά αντικαθίσταται από χλωρίτη, αλβίτη και επιδοτό - κλινόζωισίτη. Με βάση την ορυκτολογική τους σύσταση θεωρείται ότι έχουν υποστεί μέσης πρσινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωση. Η παρουσία όμως του γλαυκοφανούς δείχνει ότι προηγήθηκε μια μεταμόρφωση υψηλής πίεσης σε συνθήκες υποβύθισης. Η λεπτομερής μελέτη των διακριτικών διαγραμμάτων ταξινόμησης κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των πρσινιτών της Λαυρεωτικής δείχνει ότι οι πρωτόλιθοι ήταν βασάλτες με υποαλκαλικό χαρακτήρα. Το γεωτεκτονικό περιβάλλον γένεσης των μαγμάτων ήταν η μεσοωκεάνεια ράχη MORB. Τα μάγματα αυτά έχουν θολεϊτικό χαρακτήρα και κατατάσσονται στους εμπλουτισμένους βασάλτες τύπου E- ή P-MORB.

ABSTRACT

The SE part of Attica belong to the Attico Cycladic massif and comprises gneiss, quartzites series of marble and scists, metabasites and metaultrabasites. The metabasites (prasinittes) of Laurium area recognized in over 60 outcrops. The main mineral of the metabasites are actinolites, actinolitic hornblende glaucophan frequently altered to chlorite, albite, epidot - clinzoisite and chlorite which in the most frequent mineral. According to the mineral composition those metabasites have been affected by an intermediate to high temperature green - schist metamorphic phase. Nevertheless the presence of glaucophane shows that a high pressure metamorphic phase under subduction conditions was preceded. The detailed study of distinctive classification diagrams based on the main and trace elements of the Laurium prasinittes showed a subalkalic basaltic character. The geotectonic environment of thoss basaltic magmas should be of MORB type with a tholeiitic character belonging to the E or P-MORB type basalts.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Λαύριο, μεταβασίτες, πρσινίτες, ορυκτολογία, πετρολογία, γεωτεκτονικό περιβάλλον.
KEY WORDS: Laurio, metabasites, prasinittes mineralogy, petrology, geotectonic environment.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

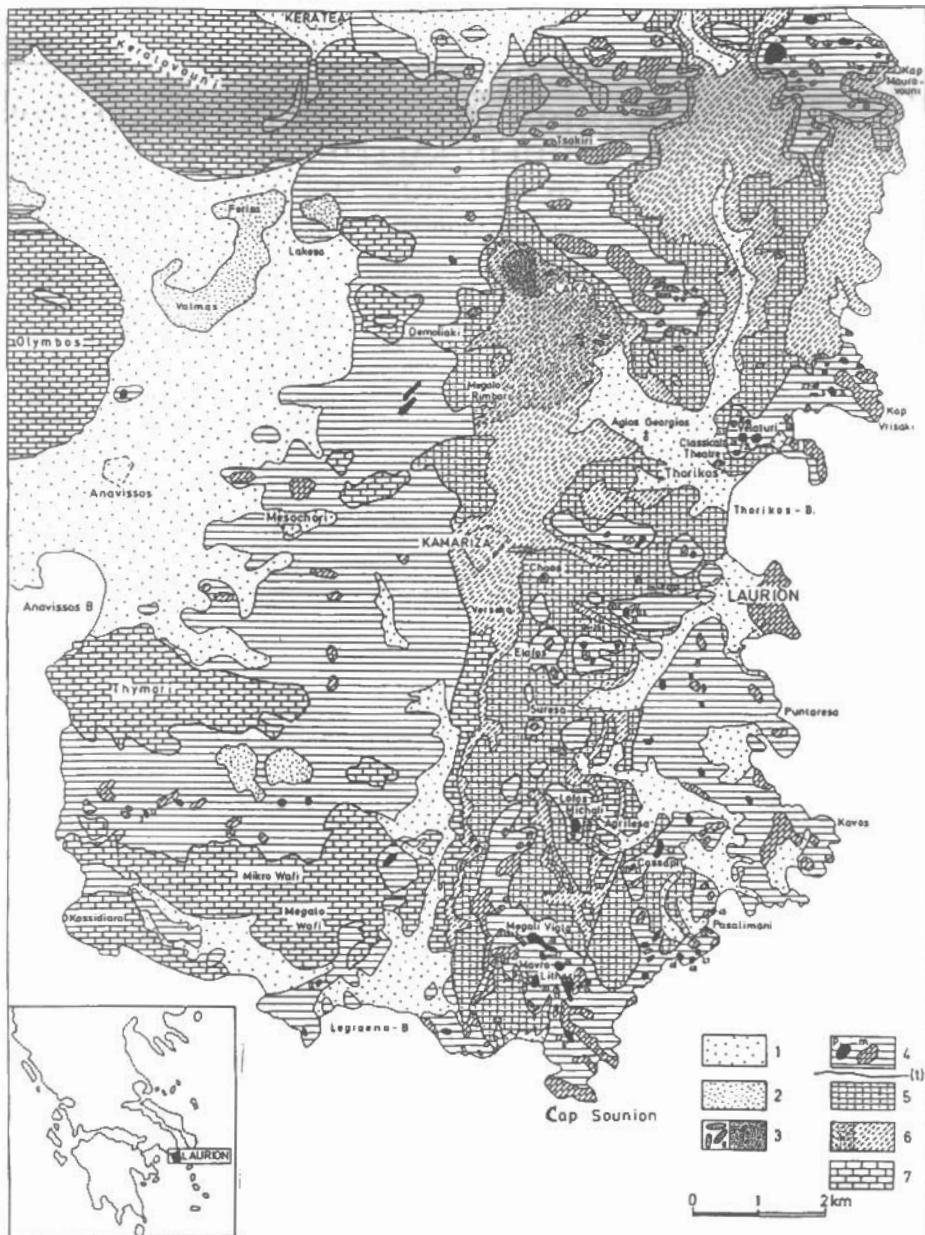
Το ΝΑ τμήμα της Αττικής, η Νότια Εύβοια και όλες σχεδόν οι Κυκλάδες ανήκουν στην Αττικοκυκλαδική μάζα που ελεγκτείται ανατολικά στη μεταμορφωμένη μάζα του Μεντερές στη Μ. Ασία. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της μάζας αυτής αποτελούνται κυρίως από γνεύσιους, χαλαζίτες και μεγάλες σειρές μαρμάρων με παρεμβολές μεταβασιτών και μεταυπερβασικών πετρωμάτων.

Τεκτονικές φάσεις των Μέσο και Νεοελληνίδων διαμόρφωσαν τη δομή της Αττικής. Στις φάσεις αυτές διείδυσαν γρανιτοειδή πλουτώνια πετρώματα που τα συναντάμε συχνά στις Κυκλάδες αλλά και στη Λαυρεωτική. Οι LEPSIUS (1893), KOBEL (1929), κ.ά. ήταν οι πρωτοπόροι στη γεωλογική μελέτη της Αττικής.

Λεπτομερής γεωλογική και κοιτασματολογική περιγραφή του ΝΑ τμήματος της Αττικής έγινε από τους MAPINO & PETRASCHECK (1956), οι οποίοι διέκριναν δύο σειρές γεωλογικών σχηματισμών: α) μία αυτόχθονη, που αποτελείται από μάρμαρα και μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους, και β) μία αλλόχθονη υπό μορφή φυλλιτικού, καλύμματος που περιέχει σώματα μεταβασιτών οι οποίοι φέρουν το όνομα «πρσινίτες».

1. Mineralogisch-Petrographisches Inst., Grindelallee, 48, 20146, Hamburg, Germany.

2. Εργ. Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Γεωτεκτονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Γεωλ. Οδός 75, 115 25 Αθήνα.



Υπόμνημα

- 1 Τεταρτογενή
- 1 Τριτογενή (Νεογενή)
- 3 Γρανодиωρίτης Πλάκας
ε γρανοδιωριτικές φλέβες (Ευρίτες)
- 4 Αλλόχθονο σχιστολιθικό κάλυμμα
m = Ενδιάμεσο μάρμαρο
p = Πρασινίτες t = Γραμμική επώθησης
- 5 Ανώτερο μάρμαρο
- 6 Μαρμαρυγακός σχιστολίθος Καισαριανής
- 7 Κατώτερο μάρμαρο

Legend

- 1 Quaternary
- 2 Tertiary (Neogen)
- 3 Granodiorit of Plaka
e - Granodioritic dykes (Eurites)
- 4 Allochthon schist nappes
m = intermediate marbles
p = Prasinites t = overthrust line
- 5 Upper marble
- 6 Mica schists Kesariani
- 7 Lower marbles

3 - 52 Αριθμοί δειγμάτων

Σχ. 1 Γεωλογικός χάρτης της Λαυρεωτικής (Γ. Μαρίνου & W. Petrascheck, 1956)
 Μητροπολιτική Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκης - Πύλη Γεωλογίας Α.Π.Θ. (Petrascheck, 1956)

Στο γεωλογικό χάρτη της περιοχής (MAPINOS & PETRASCHECK, 1956) έχουν χαρτογραφηθεί περισσότερες από 60 εμφανίσεις μεταβασιτών. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής έγινε δειγματοληψία από τις 28 σημαντικότερες εμφανίσεις. Μελετήθηκε μεγάλος αριθμός λεπτών τομών με πολωτικό μικροσκόπιο και πραγματοποιήθηκαν 36 χημικές αναλύσεις. Οι αναλύσεις έγιναν με XRF σε συσκευή τύπου Philips PW 1410 του πετρογραφικού εργαστηρίου του Πανεπιστημίου του Αμβούργου. Μικροαναλύσεις ορυκτών έγιναν σε 15 δείγματα με μικροαναλυτή τύπου Cameca, Camebax-microbeam, στο ίδιο Πανεπιστήμιο.

Μορφολογία των μεταβασιτών - πρασινιτών

Ο όρος «πρασινίτης» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον KALKOWSKY το 1886. Προέρχεται από τη λέξη <<πράσινο>>, που είναι το χρώμα του πετρώματος λόγω της μεγάλης περιεκτικότητάς του σε χλωρίτη, επίδοτο και αμφίβολο.

Οι πρασινίτες, ως μεταμορφωμένα βασικά και εν μέρει υπερβασικά πετρώματα έχουν αρκετά χαμηλές τιμές σε SiO₂ (έως 41,6%). Τα ιστολογικά χαρακτηριστικά των πρασινιτών δείχνουν ότι τα πετρώματα αυτά είχαν εν μέρει ηφαιστειακό έως πορφυριτικό ιστό και ρευστική υφή, συχνά όμως δείχνουν κρυπτόλιθους με πλουτωνικό χαρακτήρα. Στην ύπαιθρο ορισμένες εμφανίσεις πρασινιτών έχουν τη μορφή <<Pillow lava>> ή ενστρώσεις που δίνουν την υφή ρευστικής βασαλτικής λάβας. Οι πρασινίτες, ως ανθεκτικά πετρώματα στη μηχανική και χημική διάβρωση, εμφανίζονται - λόγω της διαφορικής διάβρωσής τους σε σχέση με τα περιβάλλοντα πετρώματα - στις οξείληκτες κορυφές πολλών λόφων όπως στο Μαύρο Λιθάρι, στη Μεγάλη Βίγλα κ. ά. βόρειοδυτικά του Σουνίου και στο Βελατούρι, βόρεια της πόλης του Λαυρίου.

Ορυκτολογία - Πετρολογία

Οι πρασινίτες παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία όσον αφορά τον ιστό, την ορυκτολογική σύσταση και το χημισμό τους.

Τα κύρια ορυκτά τους είναι ο ακτινόλιθος, ο χλωρίτης, το επίδοτο, ο ζωισίτης και ο αλβίτης. Συχνά συμμετέχει κατά τόπους σε σχετικά μεγάλη ποσότητα και ο ασβεσίτης. Σε μερικά δείγματα (από το λόφο Βελατούρι) ο γλαυκοφανής αποτελεί το κύριο ορυκτό. Στα δευτερεύοντα ορυκτά ανήκουν ο γλαυκοφανής, ο φεγγίτης και ο πτανίτης. Σε ελάχιστες ποσότητες συμμετέχουν επίσης ο βιοτίτης, ο χαλαζίας και τα μεταλλικά ορυκτά μαγνητίτης και χαλκοπυρίτης. Σε ένα δείγμα (52) βρέθηκαν πολλοί κρύσταλλοι πρενίτη.

Κλινοπυρόξενοι: Μόνο στις βόρειες εμφανίσεις της Λαυρεωτικής, Α και ΒΔ του ακρωτηρίου Μαυροβούνι, διατηρήθηκαν υγιείς μαγματικοί κλινοπυρόξενοι των αρχικών βασικών πετρωμάτων. Το μέγεθος των κρυστάλλων τους είναι συνήθως 1X0,5 mm και μερικές φορές 2X1 mm. Με βάση τη χημική τους σύσταση ταξινομούνται στο διάγραμμα του MORIMOTO et al. (1988) στο πεδίο του διοψιδίου έως το πεδίο του διοψιδικού ανγίτη (σχήμα 2). Από τη μικροσκοπική εξέταση προκύπτει ότι οι κλινοπυρόξενοι της μεγαλύτερης εμφάνισης (δείγμα. 50 & 51) αποτελούν το κύριο ορυκτό ενός αρχικού γάββρου, ενώ σε δύο γειτονικές εμφανίσεις πρασινιτών (δείγμα. 52 & 53) αποτελούν φαινοκρύσταλλους βασάλτου με πορφυριτικό ιστό.

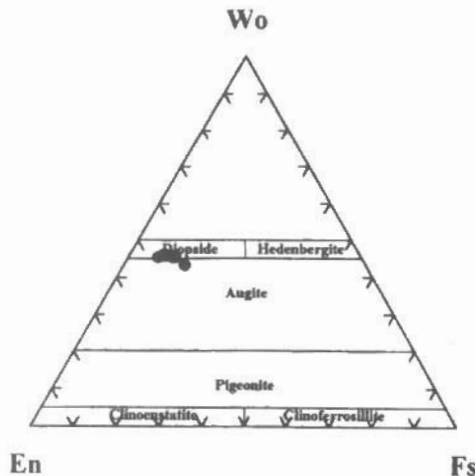
Ακτινόλιθος: Οι αμφίβολοι που επικρατούν στους πρασινίτες μας εντάσσονται στην κατηγορία του ακτινόλιθου ή της ακτινολιθικής κερροσίλης HAWTHORNE (1981) (σχήμα 4). Ο ακτινόλιθος σχηματίζει συχνά λεπτοπρισματικούς κρυστάλλους που συμφύονται στενά μεταξύ τους. Συχνά όμως εμφανίζεται και με τη μορφή μεγάλων ινωδών πορφυροβλαστών. Επιμήκεις κρύσταλλοι ακτινόλιθων εγκλείονται συχνά σε αλβίτη.

Γλαυκοφανής: Απαντά σε ορισμένες μόνο εμφανίσεις. Σε ορισμένες θέσεις (π.χ. στο λόφο Βελατούρι) αποτελεί το κύριο ορυκτό του πετρώματος και συνοδεύεται από αλβίτη και χλωρίτη. Σχηματίζει συνήθως ιδιόμορφους επιμήκεις και μερικές φορές ακτινοειδείς - σφαιρολιθικούς κρυστάλλους. Σε όλα τα δείγματα που παρατηρήθηκαν στο μικροσκόπιο διαπιστώθηκε ότι ο γλαυκοφανής αντικαθίσταται από όλα τα άλλα ορυκτά του πετρώματος. Πιο συχνή είναι η αντικατάστασή του από χλωρίτη, όπου διακρίνονται όλα τα στάδια μερικής μέχρι και πλήρους αντικατάστασής του. Με βάση τη χημική του σύσταση και σύμφωνα και με το διάγραμμα ταξινόμησης κατά HAWTHORNE (1981) διακρίνεται σε σίδηρο-γλαυκοφανή και σε κροσσίτη (σχήμα 4).

Χλωρίτης: Ο χλωρίτης ανήκει στα κύρια ορυκτά του πρασινίτη. Παρουσιάζει μικρές αποκλίσεις στη χημική του σύσταση. Στο διάγραμμα των DEER et al. (1972) καταλαμβάνει μια στενή περιοχή μεταξύ ριπιδόλιθου, πυνοχλωρίτη και βρουνσφιγκίτη (σχήμα 3).

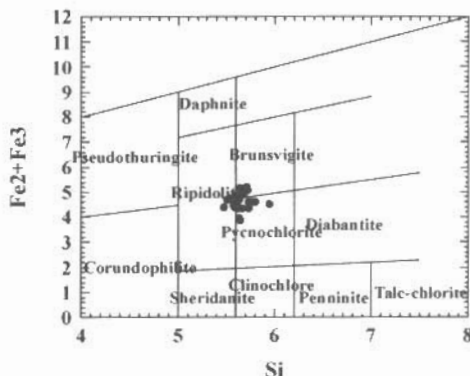
Αλβίτης: Από 35 μικροαναλύσεις αλβίτη δύο μόνο έδωσαν τιμές CaO 2,3% και 1,6%. Στις υπόλοιπες αναλύσεις η τιμή του CaO ήταν κάτω από 0,2%. Ο αλβίτης εμφανίζεται με διάφορες μορφές. Συχνά παρουσιάζεται με τη μορφή κόκκων και συνυπάρχει με ιδιόμορφους κρυστάλλους επίδοτου. Επίσης, συχνά πληροί τους χώρους μεταξύ των άλλων ορυκτών του πετρώματος. Σε ορισμένα δείγματα στα οποία τα ορυκτά διατηρούν κάπως τον ιστό του προτόλιθου (όπως αυτά με τους υπαλειμματικούς κλινοπυρόξενους) τα αλβιτωμένα πλαγιόκλαστα διατηρούν ακόμη την αρχική πρισματική τους μορφή.

Επίδοτο-κλινοζωϊσιτης: Το ορυκτό επίδοτο-κλινοζωϊσιτης εμφανίζεται σε όλα τα δείγματα αλλά σε διαφορετικές αναλογίες. Σε μερικά δείγματα αποτελεί το επικρατέστερο ορυκτό, ενώ σε ένα δείγμα (24) ήταν το μοναδικό σχεδόν ορυκτό του πετρώματος (επίδοτιτης). Το μέγεθος (0,3-1,8 mm) και η μορφή των κρυστάλλων του διαφέρει από δείγμα σε δείγμα. Στα δείγματα που είναι πλούσια σε γλαυκοφανή εμφανίζονται αποστρωγγυλεμένοι, θαμποί και ρυπαροί κόκκοι, που δίνουν την εντύπωση ότι είναι προϊόντα μιας παλαιότερης μεταμόρφωσης. Συνήθως όμως οι κρυστάλλοι του επιδότου-κλινοζωϊσιτης είναι διαυγείς, γωνιώδεις και ιδιόμορφοι. Από 33 μικροαναλύσεις προέκυψε μεγάλη διακύμανση σε Fe_2O_3 (από 0,9% έως 14,6% κ.β.) και σε Al_2O_3 (από 32,8% έως 21,3% κ.β.), η οποία καλύπτει σχεδόν όλο το φάσμα χημισμού από κλινοζωϊσιτη έως πλούσιο σε σίδηρο επίδοτο. Μερικοί από τους κρυστάλλους που αναλύθηκαν έδωσαν 2,88% MgO (ασυνήθιστα υψηλό για επίδοτο-κλινοζωϊσιτη) και ανάλογα χαμηλότερες τιμές σε CaO.



Σχ. 2. Διάγραμμα ταξινόμησης πυρόξενων κατά MORIMOTO et al. (1988)

Fig. 2. Pyroxen classification diagram after MORIMOTO et al. (1988)



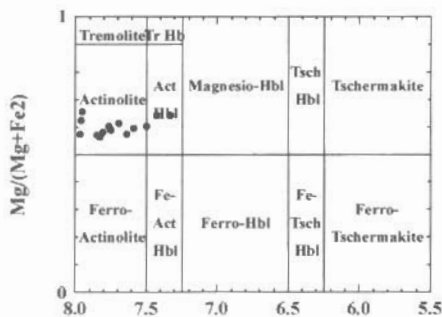
Σχ. 3 Διάγραμμα ταξινόμησης χλωριτών κατά DEER et al. (1972)

Fig. 3 Chlorites classification diagram after DEER et al. (1972)

Ασβεσίτης: Απαντά συχνά και σε σχετικά μεγάλες ποσότητες (βλ. ποσοστά CO_2 στον πίνακα αναλύσεων 1). Οι μικροαναλύσεις έδειξαν ότι πρόκειται για καθαρό ασβεσίτη.

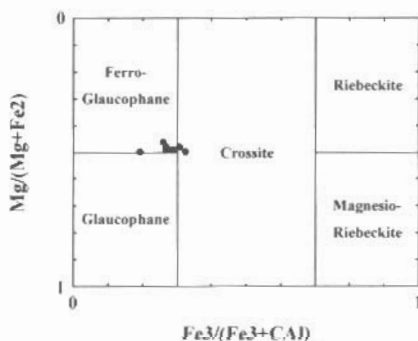
Πρενίτης: Μόνο σε μία εμφάνιση πρασινίτη (1,5 χιλιάμ. ΒΔ του ακρωτηρίου Μαυροβούνι, δείγμα 52) διαπιστώθηκε η παρουσία πρενίτη υπό μορφή ιδιόμορφων επιμήκων κρυστάλλων μεγέθους έως 0,7X0,1mm. Οι μικροαναλύσεις έδειξαν ότι έχει σταθερή σύσταση με: $SiO_2=38.5\%$, $Al_2O_3=31.7\%$ & $CaO=18\%$.

Ως επορισώδη ορυκτά εμφανίζονται ο Φεγγίτης (MgO έως 4,8 & FeO έως 5,4%), ο βιοτίτης, ο χαλαζίας, ο τιτανίτης και τα μεταλλικά ορυκτά μαγνητίτης, μαγνητοπυρίτης, σιδηροπυρίτης και χαλκοπυρίτης.



Σχ. 4. Διάγραμμα ταξινόμησης αμφιβόλων κατά HAWTHORNE (1981)

Fig. 4. Amphiboles classification diagram after HAWTHORNE (1981)



Σχ. 5. Διάγραμμα ταξινόμησης γλαυκοφανούς κατά HAWTHORNE (1981)

Fig. 5. Glaucofanous classification diagram after HAWTHORNE (1981)

Η ορυκτολογική σύσταση των πρασινιτών της Λαυρεωτικής δείχνει ότι έχουν υποστεί πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωση.

Η ύπαρξη υπολεμμάτων γλαυκοφανούς, ο οποίος συχνά αντικαθίσταται από χλωρίτη του οποίου είναι μητρικό ορυκτό, δείχνει ότι προηγήθηκε μεταμόρφωση υψηλών πιέσεων - χαμηλών θερμοκρασιών κυανοσχιστολιθικής φάσης. Κατά τον BALTATZIS (1996), η μεταμόρφωση αυτή έγινε σε περιβάλλον υποβύθισης με συνθήκες πίεσης 7-7,5 Kbar και θερμοκρασίας 300 - 340°C.

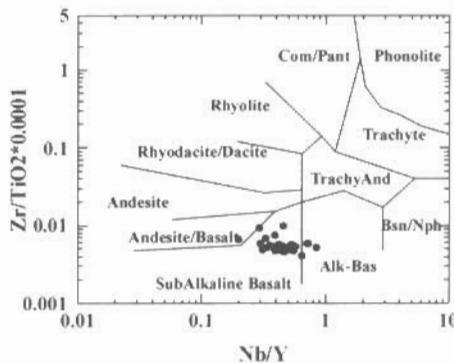
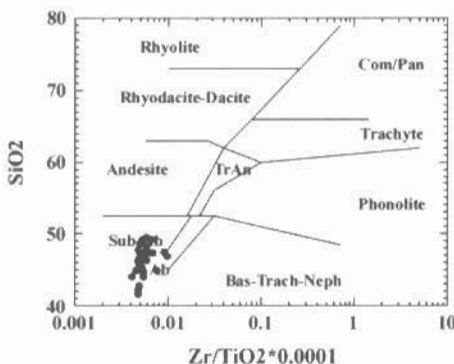
Παρόμοιες συνθήκες μεταμόρφωσης παρατηρήθηκαν στην Εύβοια και στα νησιά των Κυκλάδων Άνδρο, Τήνο Φολέγανδρο και Σίφνο (ALTHER 1979, 1982, DIXON, 1968, DIETRICH & DAVIS 1986). Λαμβάνοντας υπόψη τις ομοιότητες αυτές φαίνεται να δικαιολογείται η άποψη των KATSIKATSOS et al. (1986) και του JACOBSSHAGRN (1986) ότι η Ν. Αττική, η Ν. Εύβοια και οι Β. Κυκλάδες αποτελούν ενιαία γεωτεκτονική ενότητα.

Από το συνδυασμό ορισμένων διακριτικών διαγραμμάτων ταξινόμησης συμπεραίνονται τα εξής:

- ♦ Σύμφωνα με τα διαγράμματα των COX et al. (1979) (σχήμα 8) και IRVINE & PARAGAR (1971) (σχήμα 9), οι πρασινίτες έχουν υποαλκαλικό - αλκαλικό βασαλτικό χαρακτήρα.
- ♦ Στο διάγραμμα Na₂O vs SiO₂ (σχήμα 11) τα περισσότερα δείγματα προβάλλονται στο πεδίο των αλκαλικών βασαλτών, ενώ στο διάγραμμα K₂O vs SiO₂ (σχήμα 10) προβάλλονται στο πεδίο των υποαλκαλικών βασαλτών και εν μέρει στο πεδίο των βασαλτών με χαμηλές περιεκτικότητες καλίου.
- ♦ Λαμβάνοντας υπόψη την προσφορά νατρίου και την έντονη αλβιτίωση κατά τη μεταμόρφωση των πρασινιτών, πρέπει να δεχτούμε ότι ο υποαλκαλικός χαρακτήρας ανταποκρίνεται καλύτερα στον αρχικό πετρολογικό χαρακτήρα των πρασινιτών. Η θέση των πρασινιτών κυρίως στο πεδίο των υποαλκαλικών βασαλτών στα διαγράμματα διάφορων ιχνοστοιχείων (Zr, Nb, Y) με SiO₂ και TiO₂ (σχήματα 6 και 7) κατά WINHCESTER & FLOYD (1976) ενισχύουν αυτή την άποψη.

Γεωτεκτονικό περιβάλλον δημιουργίας των πρωτόλιθων

Σχετικά με το γεωτεκτονικό περιβάλλον της γένεσης των βασαλτικών αυτών μαγμάτων η συσχέτιση ορισμένων ιχνοστοιχείων με οξειδία κύριων στοιχείων έδωσε συγκεκριμένα συμπεράσματα. Το διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα 12 δίνει στους πρωτόλιθους θολεϊτικό χαρακτήρα. Η προβολή των δειγμάτων στο διακριτικό διάγραμμα V vs Ti (σχήμα 13) κατατάσσει τους πρωτόλιθους στο πεδίο που προβάλλονται βασάλτες μεσοωκεάνιας ράχης (Ocean Floor Basaltes, OFB ή Mid Ocean Ridge Basaltes, MORB).

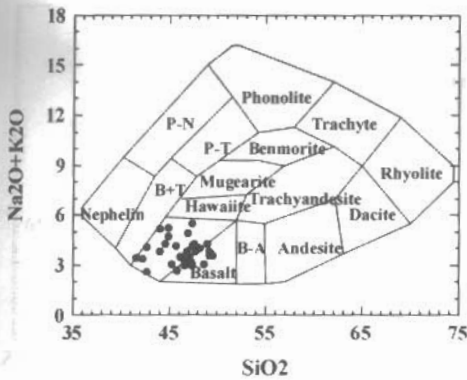


Σχ. 6 & 7. Διαγράμματα ταξινόμησης κατά WINHCESTER & FLOYD (1976)
 Fig. 6 & 7. Classification diagrams after WINHCESTER & FLOYD (1976)

Πιν.1: ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΜΕΤΑΒΑΣΙΤΩΝ (ΠΡΑΣΙΝΙΤΩΝ) ΤΗΣ ΛΑΒΡΕΩΤΙΚΗΣ
Table1: CHEMICAL ANALYSIS METABASITES (PRASINIT) OF LAVRION

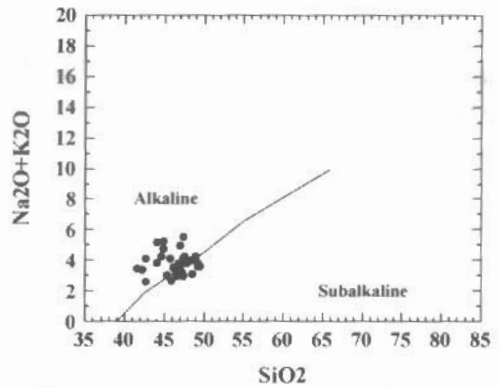
Δείγματα	Pr 2	Pr 3	Pr 4c	Pr 5	Pr 6	Pr 7	Pr 8	Pr 14	Pr 15	Pr 16	Pr 17b	Pr 18	Pr 20	Pr 21	Pr 22	Pr 23	Pr 24	Pr 25a
SiO ₂	47.53	46.84	44.05	49.53	41.59	45.84	46.13	44.08	42.69	45.73	47.56	46.82	47.37	37.33	48.21	49.00	47.03	47.39
Al ₂ O ₃	16.58	17.68	13.61	11.94	14.59	15.03	14.43	16.40	15.12	15.21	12.97	14.44	15.82	12.04	13.31	13.68	14.80	16.54
Fe ₂ O ₃	10.69	7.71	15.48	14.07	12.43	9.94	11.87	8.07	11.42	9.81	13.81	9.58	13.21	6.99	13.18	11.38	10.96	11.71
MnO	0.24	0.16	0.21	0.21	0.17	0.18	0.19	0.16	0.17	0.15	0.19	0.16	0.18	0.18	0.20	0.16	0.17	0.14
MgO	7.91	7.02	7.00	7.67	7.01	5.68	7.19	4.25	6.37	6.11	7.72	7.36	6.57	3.89	7.24	7.07	6.22	3.63
CaO	4.82	9.03	7.89	8.20	10.52	14.57	9.39	11.73	13.18	10.31	7.49	11.23	7.74	18.85	7.65	8.32	10.87	8.91
Na ₂ O	2.96	2.80	3.61	3.48	2.76	2.56	3.39	4.99	2.38	3.15	3.22	3.00	3.94	3.86	3.75	2.95	3.44	4.73
K ₂ O	1.25	0.34	0.19	0.08	0.88	0.07	0.13	0.17	0.22	0.96	1.03	0.80	0.31	0.68	0.23	1.31	0.07	0.78
TiO ₂	1.41	1.71	1.63	1.65	1.41	0.97	1.37	0.93	1.30	1.49	1.29	1.27	1.16	0.70	1.24	1.21	1.22	1.86
P ₂ O ₅	0.19	0.27	0.17	0.02	0.13	0.09	0.15	0.15	0.11	0.16	0.12	0.14	0.17	0.10	0.06	0.10	0.11	0.39
SO ₂	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05	0.04	0.04
H ₂ O t	5.41	5.01	4.29	2.37	3.13	2.56	2.97	3.02	3.65	3.10	3.14	2.84	3.51	2.34	2.94	2.33	2.64	2.36
CO ₂	0.14	0.20	1.33	0.70	4.04	2.64	1.33	5.10	2.99	2.52	1.01	2.19	0.36	12.39	2.20	1.60	0.37	1.51
Σόν.	99.44	98.81	99.52	99.97	98.50	100.18	98.56	99.09	98.55	98.74	99.61	99.86	100.29	99.21	100.26	99.36	97.94	100.00
Ιχνοστ. (ppm)																		
Ba	296	43	22	22	69	26	34	23	35	101	70	92	31	48	18	125	15	88
Ce	46	61	34	44	54	27	22	12	32	32	30	26	56	14	44	35	21	58
Co	46	34	71	65	80	64	57	70	66	63	60	73	66	55	54	106	67	32
Cr	258	199	146	286	272	193	137	254	262	155	128	147	225	124	138	314	179	106
Cu	21	41	159	95	110	70	82	118	107	95	117	107	84	86	117	70	94	47
Ga	24	24	17	10	21	20	18	20	23	19	11	20	15	19	18	15	21	18
La	9	6	18	3	10	9	9	7	1	0	3	15	2	1	11	0	7	9
Nb	12	15	16	16	16	11	11	10	15	15	17	14	15	10	11	16	16	17
Nd	17	26	12	11	17	6	14	8	11	13	11	12	16	8	16	16	11	19
Ni	43	90	75	100	85	81	72	84	92	80	64	81	71	67	62	82	79	47
Pb	8	6	11	5	3	0	7	0	1	0	1	0	2	1	6	1	0	2
Rb	29	6	8	3	22	0	2	4	8	26	22	19	12	24	9	28	4	21
Sr	62	64	108	64	280	183	99	261	131	119	80	109	128	297	129	91	132	287
Th	0	0	1	2	6	0	0	0	0	8	0	3	0	9	1	0	5	4
U	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4	1	0	0	0	3	0	1	2
V	269	218	270	290	314	249	316	222	331	309	305	300	283	195	281	263	282	332
Y	41	33	25	22	29	27	28	28	29	31	24	27	29	29	26	19	30	52
Zn	94	67	122	107	78	71	86	48	68	80	83	79	98	52	80	71	78	112
Zr	130	168	67	97	67	49	66	51	64	73	76	70	65	46	72	64	70	129

Δείγματα	Pr 25b	Pr 26	Pr 27	Pr 32	Pr 33	Pr 36	Pr 37	Pr 38	Pr 39	Pr 40	Pr 42	Pr 45	Pr 46	Pr 47	Pr 48	Pr 49
SiO ₂	44.96	50.94	44.55	47.38	46.93	46.61	47.77	49.22	47.27	42.71	45.25	44.94	48.57	42.21	46.29	49.22
Al ₂ O ₃	15.29	16.14	14.35	15.74	13.52	13.91	14.37	14.13	15.49	12.32	15.33	14.61	13.53	13.59	13.20	14.82
Fe ₂ O ₃	11.19	8.17	10.17	9.84	9.07	12.05	11.05	11.03	11.45	12.41	9.66	8.62	11.34	9.30	13.38	8.68
MnO	0.17	0.13	0.16	0.19	0.17	0.21	0.22	0.19	0.21	0.64	0.18	0.22	0.17	0.15	0.20	0.13
MgO	3.78	7.78	5.49	7.57	6.06	7.78	6.63	7.99	7.40	5.58	6.68	6.43	7.39	6.43	6.85	7.58
CaO	10.81	7.42	11.83	12.68	9.14	9.62	9.50	7.17	9.02	10.06	13.97	8.34	10.17	12.79	6.10	10.16
Na ₂ O	4.32	4.22	4.03	2.82	4.79	2.85	3.58	3.61	3.05	3.90	2.92	2.81	2.84	2.59	3.32	3.11
K ₂ O	0.91	0.33	0.21	0.13	0.14	0.10	0.21	0.22	0.13	0.20	0.12	1.91	0.22	0.79	0.12	0.46
TiO ₂	1.12	1.04	1.05	0.92	0.95	1.50	1.41	1.20	1.33	2.47	1.11	1.22	1.38	1.03	1.69	1.06
P ₂ O ₅	0.32	0.13	0.15	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.12	0.26	0.13	0.13	0.11	0.10	0.15	0.15
SO ₂	0.04	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
H ₂ O t	1.91	3.50	2.03	2.45	-1.71	3.30	3.05	3.66	3.51	3.15	2.64	3.69	2.64	1.21	4.73	-4.16
CO ₂	4.60	0.22	5.04	0.26	10.37	1.15	1.91	1.20	0.00	5.86	1.16	6.21	0.92	9.56	3.54	8.52
Σόν.	99.42	99.96	99.11	100.12	99.58	99.22	99.86	99.76	98.98	99.59	99.15	99.14	99.29	100.39	99.37	99.75
Ιχνοστ. (ppm)																
Ba	89	19	48	29	17	13	36	52	31	39	25	194	43	109	28	67
Ce	28	21	29	22	1	18	15	19	33	27	0	23	21	13	27	14
Co	51	63	51	74	46	66	67	58	75	39	93	67	61	58	53	68
Cr	159	277	137	44	67	158	139	75	267	52	298	284	155	251	92	251
Cu	61	17	77	84	94	79	63	63	87	55	114	89	66	89	111	33
Ga	24	18	20	18	16	15	15	15	17	17	17	15	16	15	12	20
La	15	0	13	1	0	0	8	25	0	2	1	1	0	0	5	0
Nb	13	7	13	10	11	15	14	15	12	16	11	13	14	11	13	6
Nd	12	17	15	11	6	7	2	4	13	11	6	9	9	6	14	12
Ni	48	103	66	61	65	85	84	57	105	43	94	129	83	110	54	83
Pb	4	6	0	14	3	7	12	30	30	13	5	8	7	6	4	9
Rb	26	12	7	2	2	0	4	7	2	2	4	51	2	16	3	14
Sr	262	74	161	120	163	105	155	108	192	108	114	110	117	184	63	160
Th	0	4	2	3	0	0	0	0	1	2	6	3	0	0	2	0
U	1	1	1	2	0	0	1	1	0	1	1	2	0	0	2	2
V	267	190	272	260	259	337	328	328	296	433	280	226	313	263	386	229
Y	33	23	28	30	25	30	31	26	28	52	28	28	33	25	44	30
Zn	76	41	64	61	57	80	81	101	109	91	57	91	75	61	87	24
Zr	85	64	57	48	48	74	67	64	73	122	59	56	69	49	99	71



Σχ. 8. Διάγραμμα ταξινόμησης κατά COX et al. (1979)

Fig. 8. Classification diagrammes after COX et al. (1979)

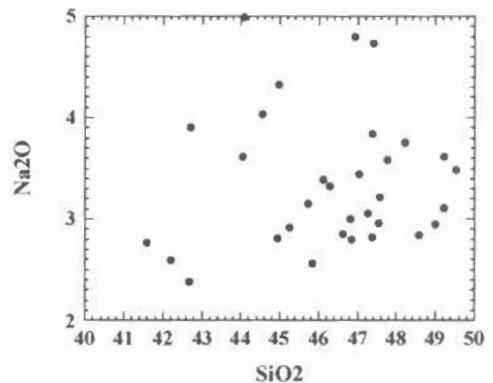
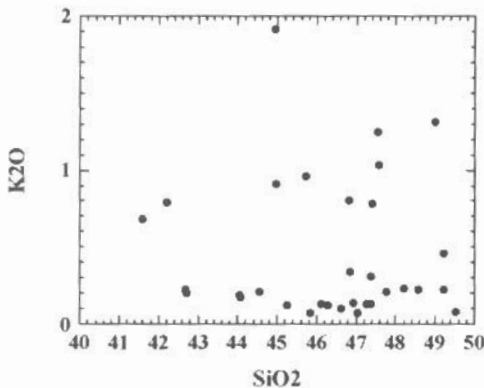


Σχ. 9. Διάγραμμα ταξινόμησης κατά IRVINE & PARAGAR (1971)

Fig. 9. Classification diagrams after IRVINE & PARAGAR (1971)

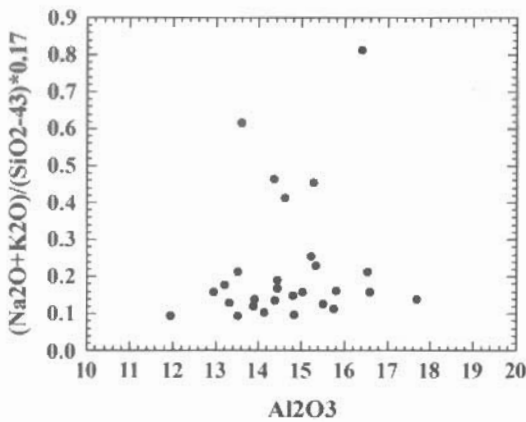
Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν και από την προβολή των δειγμάτων στα διακριτικά διαγράμματα Ti vs Zr vs Y κατά PEARCE & CANN (1973), Ti vs Cr κατά PEARCE et al. (1975) και Ti vs Zr vs Sr κατά PEARCE & CANN (1973), που φαίνονται στα σχήματα 14, 15, 16.

Στη συνέχεια γίνεται μία προσπάθεια για τον περαιτέρω διαχωρισμό των πετρωμάτων τύπου MORB, η οποία έχει ως σκοπό να προσδιοριστεί ο βαθμός εμπλουτισμού ή μη της αρχικής μανδρακής πηγής. Ετσι διακρίνονται οι κατηγορίες των κανονικών N-MORB και των εμπλουτισμένων P-MORB ή E-MORB, καθώς και ο μεταβατικός τους τύπος T-MORB (BRUAN et al. 1976, SUN et al. 1979, SCHILLING et al. 1983). Οι διαφορές των τύπων αυτών συνίστανται στο κατά πόσο οι λιθότυποι που εξετάζονται είναι πτωχοί ή εμπλουτισμένοι σε λιθόφιλα στοιχεία. Η προβολή των δειγμάτων για τη διάκριση αυτή γίνεται στο διάγραμμα Nb vs Zr vs Y κατά MESCHÉDE (1986), που απεικονίζεται στο σχήμα 17.



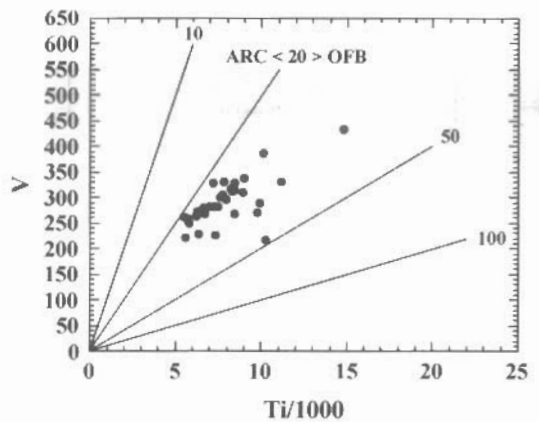
Σχ. 10 & 11. Διαγράμματα δείκτη αλκαλικότητας κατά MIDDLEMOST (1975)

Fig. 10 & 11. Alkaline index diagrams after MIDDLEMOST (1975)



Σχ. 12. Διάγραμμα δείκτη αλκαλικότητας κατά MIDDLEMOST (1975)

Fig. 12. Alkaline index (A.I.) diagram after MIDDLEMOST (1975)



Σχ. 13. Διακριτικό διάγραμμα (OFB ή MORB) του V vs Ti κατά SHERVAIS (1982)

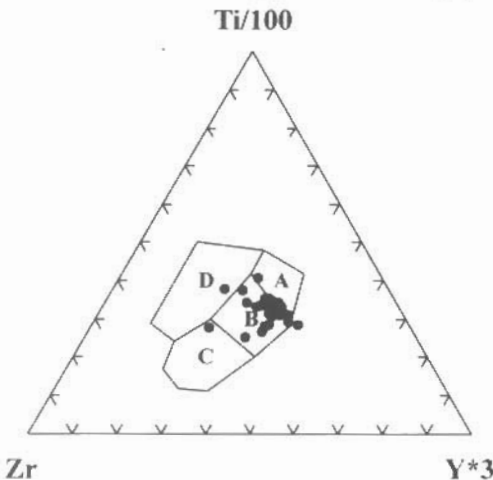
Fig. 13. Discrimination diagram (OFB ή MORB) V vs Ti after SHERVAIS (1982)

Το διάγραμμα επομένως κατατάσσει το αρχικό μάγμα στον ιδιαίτερο τύπο E-MORB ή P-MORB, δηλαδή στους εμπλουτισμένους βασάλτες που περιέχουν στοιχεία από το χαμηλότερο μανδύα (όπως οι βασάλτες της Ισλανδίας) και επίπλέον σχετικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε ασύμβατα (incompatibles) στοιχεία.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

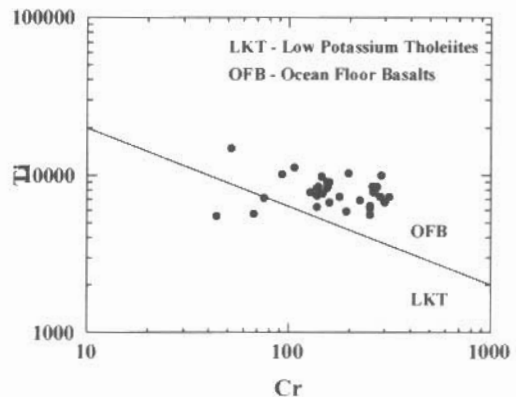
Οι μεταβασίτες (πρασινίτες) της Λαυρεωτικής, ως πετρώματα ανθεκτικά στη μηχανική και χημική διάβρωση, επηρέασαν τη γενικότερη μορφολογία της περιοχής.

Τα κύρια ορυκτά των πρασινιτών της Λαυρεωτικής είναι οι πράσινοι αμφίβολοι, ιδιαίτερα ο ακτινολίθος που στο διάγραμμα ταξινόμησης καταλαμβάνει το πεδίο ακτινολίθου και ακτινολιθικής κερροσίλης. Οι μπλέ αμφίβολοι οι οποίοι συχνά αντικαθίστανται από χλωρίτη, ταξινομούνται χημικά ως σιδηρο-γλαυκοφανής και κροσσίτης. Ο χλωρίτης, κύριο ορυκτό του πρασινίτη, χαρακτηρίζεται ως ρυτιδολίθος, πυκνοχλωρίτης ή βρουνοσφιγκίτης. Τα πλαγιόκλαστα είναι αλβίτες. Τέλος, στα κύρια ορυκτά εντάσσεται τα επιδοτο κλινοζωιοίτης, που συμμετέχει σε όλα τα δείγματα αλλά σε διαφορετικές αναλογίες.



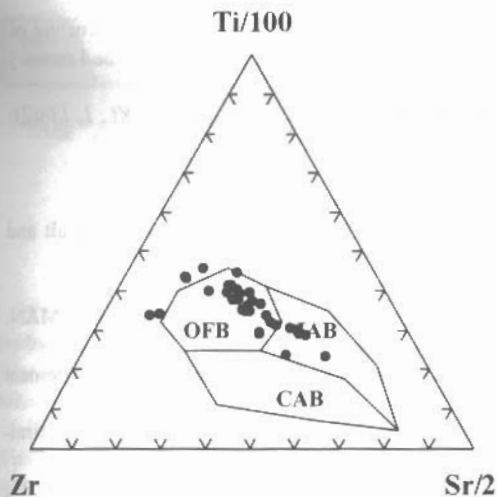
Σχ. 14. Διακριτικό διάγραμμα Ti vs Zr vs Y κατά PEARCE & CANN (1973)

Fig. 14. Discrimination diagram Ti vs Zr vs Y after PEARCE & CANN (1973)



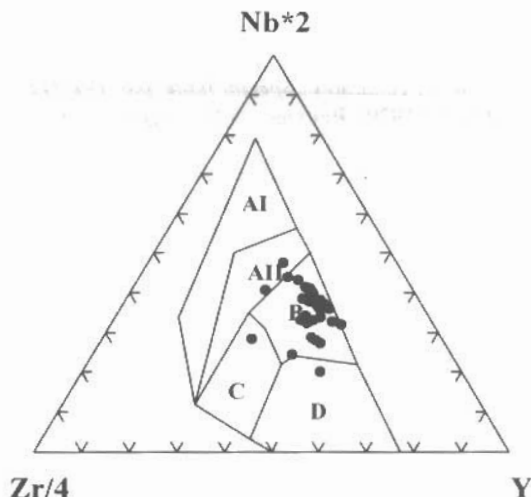
Σχ. 15. Διακριτικό διάγραμμα Ti vs Cr PEARCE et al. (1975)

Fig. 15. Discrimination diagram Ti vs Cr PEARCE et al. (1975)



Σχ. 16. Διακριτικό διάγραμμα Ti vs Zr vs Sr κατά PEARCE & CANN (1973)

Fig. 16. Discrimination diagramme Ti vs Zr vs Sr κατά PEARCE & CANN (1973)



Σχ. 17. Διακριτικό διάγραμμα Nb vs Zr vs Y κατά MESCHEDE (1986)

Fig. 17. Discrimination diagramme Nb vs Zr vs Y κατά MESCHEDE (1986)

Σύμφωνα με βάση την ορυκτολογική τους σύσταση εκτιμάται ότι οι πρασινίτες μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης, ενώ η παρουσία του γλανοφανούς δείχνει ότι προηγήθηκε μια μεταμόρφωση κvanoσχιστολιθικής φάσης.

Η μελέτη των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων των πρασινιτών της Λαυρεωτικής οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι πρωτόλιθοι ήταν βασάλτες με υποαλκαλικό χαρακτήρα και με χαμηλή εν μέρει περιεκτικότητα σε κάλιο.

Ο χαρακτήρας των βασαλτικών αυτών μαγμάτων είναι θολεϊτικός. Το γεωτεκτονικό περιβάλλον γένεσης των βασαλτών αυτών εντάσσεται σε εκείνο των μεσοωκεάνιων ράχων MORB και μάλιστα στους εμπλουτισμένους βασάαλτες (E-MORB ή P-MORB) που περιέχουν στοιχεία από το χαμηλότερο μανδύα, όπως είναι οι βασάαλτες της Ισλανδίας με σχετικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε ασύμβατα (incompatibles) στοιχεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ALTHERR, R. & SEIDEL, E. (1979): Speculations on the geodynamic evolution of the Attic-Cycladic Crystalline Complex during alpidic times. - *Proceed. 6th Colloq. Geol. Aegean Region Athens 1977*, 1: 347 - 352, Athen.
- ALTHERR, R.; KREUZER, H.; WENDT, J.; LENZ, H.; WAGNER, G. A.; KELLER, J.; HARRE, W. & HÖHNDORF, A. (1982): A late Oligocene/early Miocene high temperature belt in the Attic-Cycladic Crystalline Complex (SE Pelagonian, Greece). - *Geol. Jb.*, E23: 97 - 164, Hannover.
- BALTATZIS, E. (1996): Blueschist-to-greenschist transition and the P-T path of Prasinites from the Lavrion area, Greece. - *Min. Mag.*, 60: 551 - 561.
- BRUAN, W.B., THOMPSON, G., FREY, F.A. & DICKEY, J.S. (1976): Inferred setting and differentiation in basalts from the Deep Sea Drilling Project. *J. Geoph. Res.*, 81, 4285-4304.
- COX, K. G., BELL, J. D. & PANKHURST, R. J. (1979): The interpretation of igneous rocks. - *Allen and Unwin, London*, 450 p.
- DEER, W., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J. (1974): Rock forming Minerals. - *Longman, London*, Vol. 1 - 5.
- DIETRICH, V. J. & DAVIS, E. N. (1986): Ophiolitic Relicts in the Cycladic Blueschist-belt (AEGEAN SEA) A geochemical approach IGME Special Issue. *Geol. & Geoph. Res.* P.p. 89-97.
- DIXON, J. E. (1968): The metamorphic rocks of Syros, Greece. - *Unveröff. Ph. D. Thesis Univ. Cambridge*.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. - *Can. J. Earth Sci.*, 8(5).
- JACOBSHAGEN, J. Hrsgb. (1986): Geologie von Griechenland. - *Gebrüder Bornträger, Berlin*, 363 S.

- KATSIKATSOS, G., MIGIROS, G., TRIANTAPHYLLIS, E., & METTOS, A., (1986): Geological Structure of Internal Hellenides (E. Thessaly, SW. Macedonia, Euboea, Attica, Nortn. Cyclades Islands & Lesvos) *I.G.M.E.Geoph. Res., Special Issue, p.p. 191-212*
- KOBER, L. (1929): Beiträge zur Geologie von Attika. - *Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., I, 138(7): 299 - 327, Wien.*
- LEPSIUS, R. (1893): Geologie von Attika. - *Reimer, Berlin, 196 S.*
- MARINOS, E. P. & PETRASCHEK, W. E. (1956): Laurium. - *Geol. Geophys. Res., 4(1): 1 - 252.*
- MESCHEDÉ, M. (1986): A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalt and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y-diagram. - *Chem. Geol., 56: 207 - 218.*
- MIDDLEMOST, E. A. K. (1975): The Basalt Clan. - *Earth Sci. Rev., Amsterdam, 28: 337 - 364.*
- MORIMOTO, N., FABRIES, J., FERGUSON, A.K., GINZBURG, I.V., ROSS, M., SEIFERT, P.A., ZUSSMAN, J., AOKI, K. & GOTTARDI, G. (1988): Nomenclature of pyroxenes. *Am. Mineral. 73, 1123-1133.*
- PEARCE, J. A. & CANN, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. - *Earth Planet. Sci. Lett., 19: 290 - 300.*
- PEARCE, T. H., GORMAN, B. E. & BIRKETT, T. C. (1975): The TiO_2 - K_2O - P_2O_5 diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts. - *Earth Planet. Sci. Lett., 24: 419 - 426.*
- SCHILLING, J.-G.; ZAJAC, M.; EVANS, R.; JOHNSTON, T.; WHITE, W.; DEVINE, J. D. & KINGSLEY, R. (1983): Petrologic and geochemical variations along the Mid-Atlantic Ridge from 27°N to 73°N. - *Am. J. Sci., 283: 510 - 586.*
- SHERVAIS, J. W. (1982): Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. - *Earth Planet. Sci. Lett., 57: 101 - 118.*
- SUN, S. S., NESBITT, R.W. & SHARASKIN, A. Y., (1979): Geochemical characteristics of mid-ocean ridge basalts. *Earth Planet. Sci. Lett., 44, 119-138.*
- WEG, O. (1931): Die Zwischengebirgische Prasinitischolle bei Hainichen – Berbersdorf - *Abhdl. D. Sachs Geol. Landesamtes Kaufmann Leipzig. 140 S*
- WINCHESTER, J. A. & FLOYD, P. A. (1976): Geochemical magma type discrimination; application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. - *Erth Planet. Sci. Lett., 28: 459 - 469.*