

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΜΙΓΜΑΤΙΤΙΩΣΗΣ ΒΙΟΤΙΤΙΚΩΝ ΓΝΕΥΣΙΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΧΙΝΟΥ ΞΑΝΘΗΣ, ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΘΡΑΚΗ

Ε. Καναβός, Α. Κοκκινάκης, Κ. Κυριακόπουλος, Α. Μαγκανάς και Κ. Σιδέρης

ΣΥΝΟΨΗ

Οι πετρολογικοί τύποι που απαντούν στην περιοχή του Εχίνου στη Δυτική Θράκη είναι κυρίως μιγματίτες και γνεύσιοι. Οι μιγματίτες είναι κατά κανόνα στρωματοειδούς τύπου και τύπου σλίρεν και αποτελούνται από μεσόσωμα, που αντιπροσωπεύεται από βιοτιτικούς γνευσίους και από λευκόσωμα, που συνίσταται από απλιτοπηγματίτες, οι οποίες παρεμβάλλονται ως σύμφωνες κυρίως ενδιαστρώσεις στο μεσόσωμα. Από ανάτηξη *in situ* τμημάτων των βιοτιτικών γνευσίων σχηματίστηκαν αρχικά, οφθαλμοί αστρίου-χαλαζία ("εμβρυώδη" λευκώματα), και σε επόμενο στάδιο λεπτά πηγματιτικά φλεβίδια που συνοδεύονται συχνά από μελανόσωμα πλούσιο σε βιοτίτη. Οι παχύτερες λευκωσωματικές φλέβες, οι οποίες είναι γενικά πλουσιότερες σε αλκάλια από το γειτονικό μεσόσωμα και δεν σχετίζονται με μελανόσωμα, ερμηνεύονται ως έγχυση τήγματος, το οποίο προέκυψε από μερική τήξη βαθύτερων οριζόντων των βιοτιτικών γνευσίων.

ABSTRACT

In the area of Echinus (W. Thrace) migmatites and gneisses occur. The migmatites are of stromatic and schlieren type and consist of biotite gneisses mesosome and of aplitepegmatitic leucosome, which is mainly intercalated in concordance with the mesosome. At first feldspar-quartz augens ("embryoidal" leucosomes) and in a second stage thin pegmatitic veinlets, frequently accompanied by biotite melanosomatic selvages, were formed by *in-situ* anatexis of biotite gneiss parts. The thick leucosome veins, which are more enriched in relation to the adjacent mesosome and they are not related with melanosome, may be explained by melt injection derived by melting of deeper levels of the biotite gneisses.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μιγματίτες είναι υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης σύνθετα πετρώματα αποτελούμενα από νεότερα πυριγενή και παλαιότερα μεταμορφωμένα τμήματα, τα οποία μπορούν να διακριθούν μακροσκοπικά (ASHWORTH, 1985, McLELLAN, 1988). Το πυριγενές τμήμα είναι λευκοκρατικό πέτρωμα πλούσιο σε αστρίους και χαλαζία και ονομάζεται **λευκόσωμα**. Το μεταμορφωμένο πέτρωμα είναι σκοτεινόχρωμο και ονομάζεται περιγραφικά **μεσόσωμα**, χωρίς να έχει συγκεκριμένη γενετική σχέση με το λευκόσωμα. Σε ορισμένους μιγματίτες το λευκόσωμα διαχωρίζεται από το μεσόσωμα με ένα λεπτό φλοιό πλούσιο σε μαφικά ορυκτά που καλείται **μελανόσωμα**.

Οι μιγματίτες είναι δυνατόν να σχηματιστούν με τέσσερις μηχανισμούς:

α. Με στρωματοειδή **έγχυση μάγματος** (*lit-par-lit*) κατά μήκος των επιφανειών φύλλωσης (SEDERHOLM, 1907, 1916).

β. Με **μεταμορφική διαφοροποίηση** σε *subsolidus* θερμοκρασίες με χημικές ή/και

μηχανικές διεργασίες (ASHWORTH & McLELLAN, 1985).

γ. Με **μετασώματωση** και ειδικότερα με εισαγωγή K και Na σε subsolidus ή hypersolidus συνθήκες (OLSEN, 1985).

δ. Με **μερική τήξη (ανάτηξη)** με ή χωρίς αποχωρισμό του αρχικού τήγματος (MEHNERT, 1968, JOHANNES & GUPTA, 1982).

Οι εμφανίσεις μιγματιτικών πετρωμάτων στον Ελληνικό χώρο είναι περιορισμένες. Οι σημαντικότερες εμφανίσεις εντοπίζονται στη Σερβομακεδονική μάζα και στη μάζα της Ροδόπης (ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ, 1974, ΜΠΟΣΚΟΣ κ.α., 1988, ΚΟΤΟΡΟΥΛΙ et al., 1991).

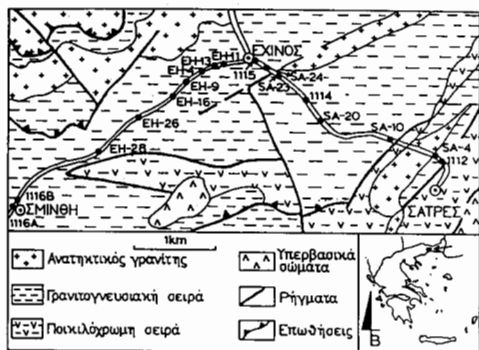
Η εργασία αυτή έχει σκοπό μια αρχική προσέγγιση των διεργασιών μιγματιτικής των βιοτιτικών γνευσίων της περιοχής Εχίνου, στη Δυτική Θράκη, με βάση νέα πετρολογικά στοιχεία και παρατηρήσεις υπαίθρου. Συλλέχθηκαν 90 δείγματα από όλους τους πετρολογικούς τύπους και μελετήθηκαν πετρογραφικά. Στα πιο αντιπροσωπευτικά από αυτά έγιναν χημικές αναλύσεις με XRF στο Τεχνικό Πανεπιστήμιο του Μονάχου, καθώς και με κλασσικές υγρές μεθόδους στα εργαστήρια του Πανεπιστημίου Αθηνών (Πιν. 1).

Πίν. 1: Χημικές αναλύσεις κυρίων στοιχείων (% κ.β.) και CIPW norms μεσσωμάτων και λευκωμάτων. ΔΑ = δεν αναλύθηκε, Α.Π. = απώλεια πύρωσης.

Table 1: Chemical analyses of major elements (% wt.) and CIPW norms of mesosomes and leucosomes. ΔΑ = not analysed, A.P. = Loss of ignition.

←—————Λευκωσώματα—————→								
	SA-20	EH-16	SA-10	EH-9	EH-13	SA-23	EH-26	1112
SiO ₂	73.22	73.48	69.19	69.30	69.04	69.23	72.85	73.19
TiO ₂	0.11	0.10	0.23	0.12	0.18	0.10	0.12	0.21
Al ₂ O ₃	14.66	15.20	16.27	17.11	17.70	16.54	15.80	14.56
Fe ₂ O ₃ (ολ)	0.53	0.55	0.96	0.24	1.76	0.14	0.64	1.41
MnO	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	0.16	0.23	0.42	0.57	0.31	0.05	0.15	0.39
CaO	1.02	1.87	1.25	2.99	1.25	0.36	1.84	4.05
Na ₂ O	3.01	4.09	4.15	5.52	4.13	1.91	3.48	3.45
K ₂ O	6.52	4.12	6.68	4.11	5.44	11.53	4.85	1.58
P ₂ O ₅	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	0.09
Α.Π.	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	0.61
ΣΥΝΟΛΟ	99.26	99.65	99.18	99.97	99.82	99.87	99.74	99.54
Norm wt%								
Qtz	28.88	30.07	17.33	15.60	21.96	13.65	30.48	38.87
Cor	1.27	1.04	0.92	-	3.51	0.69	1.99	0.71
Or	38.53	24.35	39.48	24.29	32.15	68.14	28.66	9.34
Ab	25.47	34.61	35.12	46.71	34.95	16.16	29.45	29.19
An	3.78	8.12	3.53	9.78	4.11	0.63	7.74	17.65
Di	-	-	-	2.85	-	-	-	-
Hy	0.40	0.57	1.05	0.10	0.77	0.12	0.37	0.97
Mt	0.10	0.03	0.10	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Hm	0.46	0.53	0.89	0.22	1.74	0.22	0.62	1.39
Ru	0.11	0.10	0.23	0.12	0.18	0.10	0.12	0.21
Ap	-	-	-	-	-	-	-	0.21

	Μεσσωμάτα					
	EH-28	SA-4	SA-24	EH-4	1114	1115
SiO ₂	64.05	62.76	63.90	68.01	70.34	71.53
TiO ₂	0.61	0.89	0.74	0.64	0.34	0.57
Al ₂ O ₃	17.05	17.02	17.35	16.86	15.27	14.41
Fe ₂ O ₃ (ολ)	3.89	7.47	4.32	3.49	3.62	2.84
MnO	0.05	0.08	0.08	0.06	0.05	0.18
MgO	1.68	2.37	1.64	1.18	0.70	0.47
CaO	4.23	2.03	4.81	2.62	2.05	1.64
Na ₂ O	4.22	3.49	4.64	5.08	2.97	3.77
K ₂ O	3.58	3.67	2.43	1.97	3.21	3.97
P ₂ O ₅	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	0.14	0.14
A.Π.	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	ΔΑ	1.10	0.42
ΣΥΝΟΛΟ	99.36	99.78	99.91	99.91	99.79	99.94
	Norm wt%					
Qtz	17.29	24.99	18.57	26.76	37.05	37.45
Cor	1.14	7.40	1.49	4.33	4.63	4.49
Or	21.16	21.69	14.36	11.64	18.97	19.10
Ab	35.71	29.53	39.26	42.99	25.13	26.87
An	13.90	-	15.27	5.57	6.22	6.02
Hy	4.18	5.90	4.08	2.94	1.74	2.10
Mt	0.16	0.26	0.26	0.20	0.16	0.19
Hm	3.78	7.29	4.14	3.35	3.51	4.02
Ru	0.61	0.89	0.74	0.64	0.34	0.41
Ap	-	-	-	-	0.32	0.33



Εικ. 1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Εχίνου, Δ. Θράκη (τροποποιημ. από Μπόσκος κ.α., 1988) και θέσεις δειγματοληψίας αντιπροσωπευτικών τύπων μιγματιτών.

Fig. 1: Geological map of Echinos area, W. Thrace (modified from MPOSKOS et. al., 1988) and sampling sites of representative types of migmatites.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η υπό μελέτη περιοχή αποτελεί τμήμα του μεταμορφωμένου συμπλέγματος της Κεντρικής Ροδόπης και κατά τους PAPANIKOLAOU & PANAGOPOULOS (1981) ανήκει στην ανώτερη γεωτεκτονική ενότητα (ενότητα Σιδηρόνερου). Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει κυρίως γνευσίους και μιγματίτες, καθώς επίσης και αμφιβολίτες, μαρμαρυγιάκους σχιστόλιθους, ασβεστοπυριτικά πετρώματα, μάρμαρα και μεταπηλικά πετρώματα.

Σύμφωνα με τους ZACHOS & DIMADIS (1983) το κρυσταλλικό υπόβαθρο της περιοχής Εχίνου διαχωρίζεται σε δύο ενότητες με βάση πετρολογικά και τεκτονικά κριτήρια. Το κατώτερο τμήμα του υποβάθρου αποτελεί την ενότητα των σχιστογνευσίων (γρανιτογνευσιακή σειρά και ποικιλόχρωμη σειρά) και εμφανίζεται πτυχωμένο, ανεστραμμένο και επωθημένο στο ανώτερο τμήμα που συνιστά την ανθρακική ενότητα (μάρμαρα). Τον πυρήνα αυτής της πτυχής καταλαμβάνει ο γρανοδιορίτης Εχίνου - Σκαλωτής (Εικ. 1).

Στην ευρύτερη περιοχή της Ροδόπης έχουν διαπιστωθεί τρεις φάσεις μεταμόρφωσης. Μια υψηλής πίεσης μεταμόρφωση σε εκλογιτικούς αμφιβολίτες (LIATI, 1986, MPOSKOS & PERDIKATIS, 1987), μια νεώτερη μεταμόρφωση τύπου BARROW, αμφιβολιτικής φάσης, σε συνθήκες P, T 7 kbars και 650 °C ηλικίας Κάτω-Μέσο-Ηκκαινικής (LIATI, 1988, ATZORI et al., 1991), καθώς επίσης μια ανάδρομη μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης, που φτάνει τους 440 °C σε P = 5 kbars και παρατηρείται σε αμφιβολίτες, μεταπηλιτικά πετρώματα και γνευσίους (LIATI & MPOSKOS, 1989, ATZORI et al., 1991).

Από την Ξάνθη μέχρι τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα ο βαθμός μεταμόρφωσης των πετρωμάτων αυξάνει από την πρασινοσχιστολιθική φάση στα νότια μέχρι την αμφιβολιτική φάση στα βόρεια (KRONBERG & RAITH, 1977, ZACHOS & DIMADIS, 1983).

Η περιοχή μελέτης δομείται σχεδόν αποκλειστικά από πετρώματα της γρανιτογνευσιακής σειράς, όπως βιοτιτικούς γνευσίους, μιγματίτες και οφθαλμώδεις γνευσίους (ΜΠΟΣΚΟΣ κ.α., 1988). Ο βιοτιτικός γνευσίος αποτελεί τον τύπο πετρώματος που επικρατεί στη σειρά αυτή και διασχίζεται συχνά από απλιτοπηγματιτικές φλέβες, των οποίων το πάχος και η πυκνότητα αυξάνει προς το γρανοδιορίτη του Εχίνου. Κατά θέσεις εμφανίζονται αμφιβολίτες είτε ως διαστρώσεις είτε ως μικροί φακοί μέσα σε γνευσίους και μιγματίτες. Είναι λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα πετρώματα συχνά με έντονα φαινόμενα boudinage. Σε περιορισμένη έκταση απαντούν επίσης αμφιβολικοί γνευσίοι, οι οποίοι αναπύσσονται κυρίως ως διαστρώσεις μεταξύ βιοτιτικών γνευσίων και αμφιβολιτών.

Πολλοί ερευνητές έχουν δεχθεί την ύπαρξη μιγματιτικών φαινομένων στην ευρύτερη περιοχή του Εχίνου, και μάλιστα όχι μόνο σε βιοτιτικούς γνευσίους αλλά και σε μεταπηλιτικούς και αμφιβολικούς γνευσίους. Οι KRONBERG & RAITH (1977), ZACHOS & DIMADIS (1983), ΜΠΟΣΚΟΣ κ.α. (1988) και ΚΟΥΚΟΥΒΕΛΑΣ (1988) αναφέρουν το βιοτιτικό γνεύσιο ως το μητρικό πέτρωμα του λευκοσώματος και η LIATI (1986) θεωρεί τον ίδιο γνεύσιο ως μεσόσωμα. Όλοι δέχονται ως διεργασία σχηματισμού των μιγματιτών την ανάτηξη in situ ενώ η LIATI (1986) σε μερικές περιπτώσεις δέχεται τη μαγματική έγχυση.

Οι ATZORI et al. (1991) αναφέρονται στη μιγματιτίωση βιοτιτικών γνευσίων και θεωρούν ότι οι απλιτοπηγματιτικές λευκοσωματικές φλέβες είναι ανατηκτικά προϊόντα συνοδευόμενα από μελανοσωματικό υλικό.

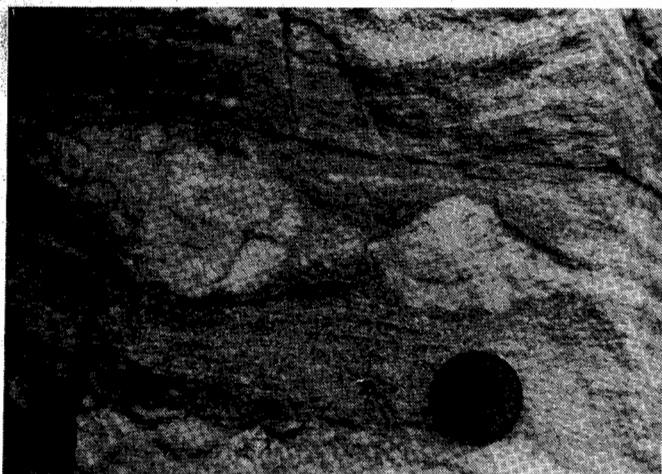
Ο MPOSKOS (1989) αναφέρεται στη μιγματιτίωση μεταπηλιτικών γνευσίων (με κυανίτη και σιλλιμανίτη) κατά τη μεταμόρφωση τύπου BARROW και θεωρεί ότι η θερμοκρασία των 700 °C στη ζώνη των μιγματιτών είναι αρκετά υψηλή και ικανή να προκαλέσει μερική τήξη.

Οι ΚΟΤΟΠΟΥΛΙ et al. (1991) αναφέρουν ως μεσόσωμα των μιγματιτών τον αμφιβολικό γνεύσιο και θεωρούν ότι οι βιοτιτικοί γνευσίοι δεν παρουσιάζουν τυπικά φαινόμενα μιγματιτίωσης. Έτσι θεωρούν ως άτυπα "μεσοσώματα" λεπτόκοκκους οφθαλμώδεις γνευσίους και ως άτυπα "λευκοσώματα" πιο χονδρόκοκκους πηγματίτες, οι οποίοι περιστασιακά περιβάλλονται από "μελανόσωμα" πλούσιο σε βιοτίτη.

ΜΙΓΜΑΤΙΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Οι μιγματίτες της περιοχής μελέτης αποτελούνται κυρίως από λευκόσωμα και μεσόσωμα. Ως λευκόσωμα των μιγματιτών θεωρούνται οι απλίτες και οι πηγματίτες, ενώ ως μεσόσωμα οι βιοτιτικοί γνευσίοι.

Το λευκόσωμα έχει γενικά λευκογρανιτική σύσταση και αποτελείται κυρίως από χαλαζία, K-ούχο άστριο και πλαγιόκλαστο (ολιγόκλαστο). Συμμετέχουν επίσης μοσχοβίτης, βιοτίτης, χλωρίτης, απατίτης, ζιρκόνιο, γρανάτης, τιτανίτης, αλλανίτης και ρουτίλιο. Ειδικότερα οι πηγματίτες παρουσιάζουν κατά τόπους μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βιοτίτη. Η συμμετοχή του K-ούχου αστρίου στην ορυκτολογική σύσταση του λευκοσώματος κατατάσσει τους μιγματίτες στην κατηγορία των γρανιτικών μιγματιτών (πβ. McLELLAN, 1988).



Εικ. 2: Ατρακτοειδείς μορφές πηγματιτικού λευκοσώματος.

Fig. 2: Boudinage of pegmatitic leucosome.

και εμφανίζεται σε ατρακτοειδείς μορφές (boudinage) (Εικ. 2) και σε μικρές μάζες ακανόνιστου σχήματος. Μερικές φορές παρατηρείται απότομη διακοπή της συνέχειας του λευκοσωματικού υλικού. Οι παχύτερες λευκοσωματικές φλέβες γενικά δεν τέμνονται μεταξύ τους και έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι τα λευκοσώματα αυτά σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου.

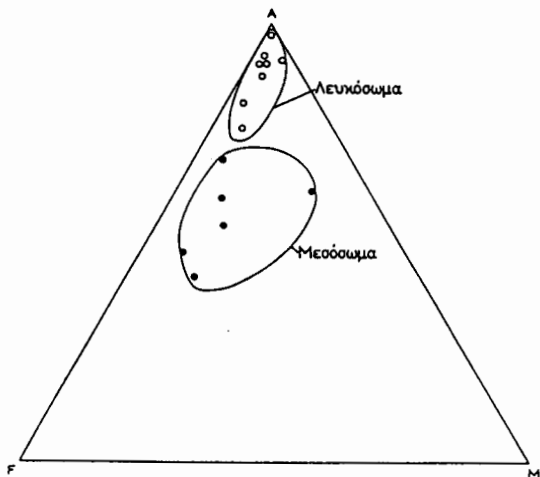
Πίν. 2: Πραγματική ορυκτολογική σύσταση (% κ.ό.) λευκοσωμάτων και μεσοσωμάτων. Qz = χαλαζίας, Plag = πλαγιόκλαστα, Kf = Κ-ούχοι άστριοι, Biot = βιοτίτης, Mu = μωσχόβιτης, Chl = χλωρίτης, Alan = αλλανίτης, Apat = απατίτης, Opaq = αδιαφανή ορυκτά.

Table 2: Modal analyses (% vol.) of leucosomes and mesosomes.

	Λευκοσώματα								Μεσοσώματα					
	EH-16	SA-23	EH-26	EH-13	EH-9	SA-10	SA-20	1112	EH-28	EH-4	SA-24	SA-4	1114	1115
Qz	41.4	8.9	46.7	33.2	40.2	33.1	41.1	28.2	19.7	29.6	42.1	25.2	29.5	28.7
plag	44.2	18.8	40.5	46.6	43.7	37.4	24.7	37.5	48.6	55.8	42.5	40.2	41.9	41.7
Kf	12.8	72.2	11.5	17.7	16.1	27.4	30.7	25.6	14.1	1.3	1.2	-	12.3	10.1
Biot	0.8	-	1.2	1.3	-	0.3	0.1	6.4	16.3	13.3	13.5	30.5	15.1	17.7
Mu	0.6	0.1	0.1	0.2	-	0.4	0.3	1.2	0.3	-	0.1	3.7	0.9	1.3
Chl	0.2	-	-	0.6	-	1.4	1.4	0.7	0.1	-	0.4	0.3	0.1	0.2
Alan	-	-	-	-	-	-	1.3	-	-	-	0.1	-	-	0.1
Apat	-	-	-	-	-	-	0.4	-	0.5	-	0.1	0.1	0.1	0.1
Opaq	-	-	-	0.4	-	-	-	0.4	0.4	-	-	-	0.1	0.1

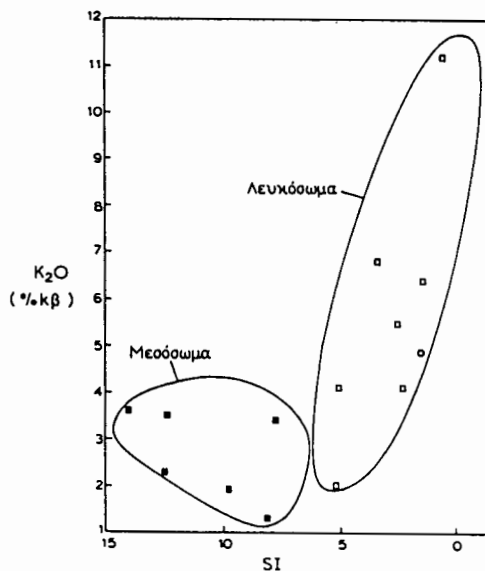
Μεταξύ πηγματιτικών και απλιτικών λευκοσωμάτων δε διαπιστώθηκαν κατά τη μικροσκοπική εξέταση σημαντικές διαφορές όσον αφορά το είδος των ορυκτολογικών συστατικών. Επίσης δε διαφέρουν ουσιαστικά στο χημισμό τους. Οι μεγάλης πάχους λευκοσωματικές φλέβες είναι γενικά πλούσιες σε αλκάλια και ιδιαίτερα σε K_2O , σε σχέση με το γειτονικό μεσόσωμα, γεγονός που οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα των συγκεκριμένων λευκοσωμάτων σε Κ-ούχους αστρύου (Πίν. 1,2, Εικ. 3,4).

Το μεσόσωμα έχει λεπτόκοκκη έως μεσόκοκκη δομή και είναι γενικά πλούσιο



Εικ. 3: Προβολή συστάσεων λευκωμάτων και μεσοσωμάτων στο διάγραμμα AFM. $A=K_2O+Na_2O$, $F=Fe_2O_3$ (ολ), $M=MgO$.

Fig. 3: Plot of leucosome and mesosome compositions in the diagram AFM. $A=K_2O+Na_2O$, $F=Fe_2O_3$ (tot), $M=MgO$.



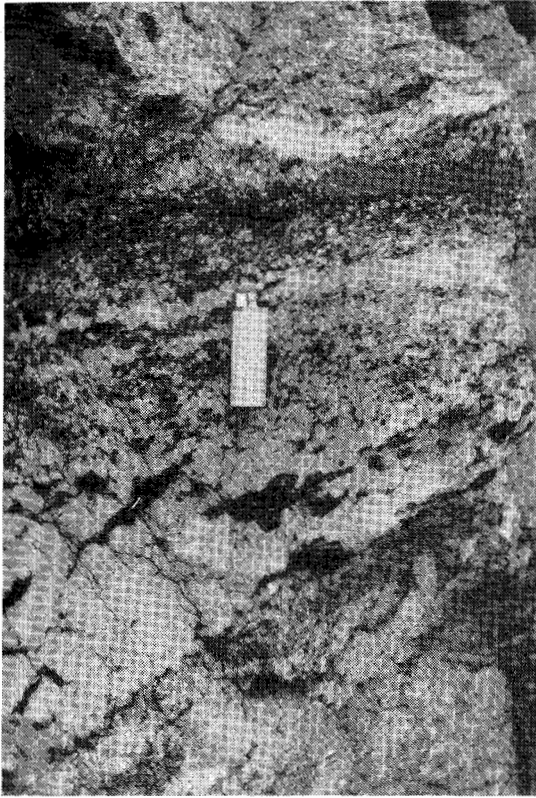
Εικ. 4: Διάγραμμα K_2O προς SI ($=100MgO \backslash MgO+Fe_2O_3+Na_2O+K_2O$) λευκωμάτων και μεσοσωμάτων.

Fig. 4: Plot of K_2O vs SI ($=100MgO \backslash MgO+Fe_2O_3+Na_2O+K_2O$) of leucosomes and mesosomes.

σε χαλαζία, πλαγιόκλαστο (ολιγόκλαστο) και βιοτίτη. Επίσης περιέχει Κ-ούχο άστριο, γρανάτη και κορδιερίτη. Ο τελευταίος εμφανίζεται σχεδόν πλήρως εξαλλοιωμένος σε μοσχοβίτη και χλωρίτη. Σπανιότερα συμμετέχουν απατίτης, ζirkόνιο, τιτανίτης, αλλανίτης και ρουτίλιο. Στις περισσότερες περιπτώσεις έχει γρανοδιοριστική σύσταση και παρουσιάζει λεπιδοβλαστική έως γρανοβλαστική ή πορφυροβλαστική δομή.

Τυπικό μελανόσωμα γενικά δεν εμφανίζεται στην περιοχή του Εχίνου. Μόνο που και που παρατηρείται μελανόσωμα, εξαιρετικά πλούσιο σε βιοτίτη, είτε ως ενδιαστρώσεις (πάχους 3 - 5 mm) μεταξύ λεπτών λευκωσμητικών φλεβών και μεσοσώματος, είτε σπανιότερα ως τοπικές συγκεντρώσεις μέσα στο λευκόσωμα (Εικ. 5, 6, 7). Στην πρώτη περίπτωση τα φυλλάκια βιοτίτη είναι σαφώς μεγαλύτερα από εκείνα του γειτονικού μεσοσώματος, παρουσιάζουν όμως τον ίδιο προσανατολισμό. Μερικές φορές τα φυλλάκια του βιοτίτη του μελανοσώματος συμπιέζονται και παραμορφώνονται ακριβώς στο όριο με το λευκόσωμα (το λευκόσωμα στις περιπτώσεις αυτές προέρχεται από μερική τήξη in situ, βλ. παρακάτω). Ο σχηματισμός του μελανοσώματος εξηγείται με μηχανικό διαχωρισμό των στερεών υλικών από το τήγμα. Το λευκωσμητικό τήγμα καθώς κρυσταλλώνεται απωθεί τα φυλλάκια του βιοτίτη με αποτέλεσμα αυτά να συγκεντρώνονται στις άκρες του λευκωσμητικού φλεβιδίου και να σχηματίζουν στενές βιοτιτικές μελανοσμητικές ταινίες. Νεότερες τεκτονικές φάσεις έχουν προκαλέσει παραμόρφωση και προσανατολισμό των φυλλαρίων του βιοτίτη στις επιφάνειες S του πετρώματος.

Στο ύπαιθρο εμφανίζονται κυρίως μιγματίτες τύπου σλίρεν (schlieren) (Εικ. 7) και στρωματοειδούς τύπου μιγματίτες (Εικ. 8). Στην πρώτη περίπτωση παρατηρούνται συνήθως ασαφώς οριοθετημένες φλέβες, πάχους μερικών εκατοστο-



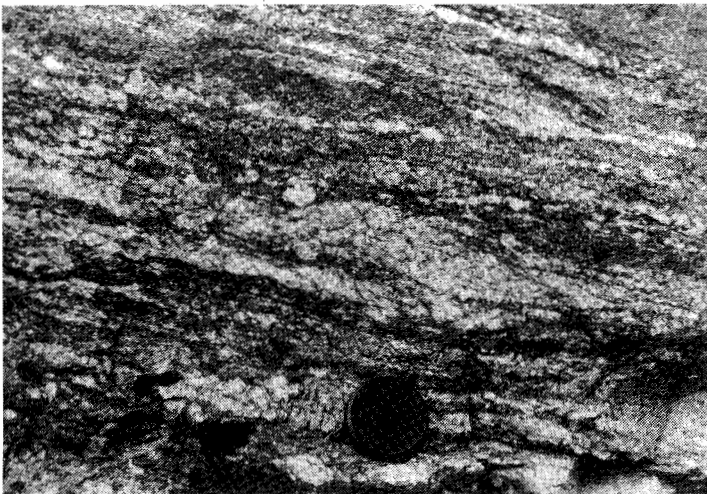
Εικ. 5: Βιοτιτικές μελανοσωματικές συγκεντρώσεις σε ηγηματιτικό λευκόσωμα και ενδιστρώσεις μελανοσωματος μεταξύ λευκοσωματος και μεσοσωματος.

Fig. 5: Biotite melanosome accumulations in pegmatitic leucosome and melanosome selvages between leucosome and mesosome.

μέτρων, λευκοσωματος μέσα στο μεσόσωμα ενώ στη δεύτερη εναλλάσσονται φλέβες λευκοσωματος με στρώματα μεσοσωματος. Σε ορισμένες θέσεις παρατηρήθηκαν οφθαλμικοί μιγματίτες, όπου το λευκόσωμα εμφανίζεται με μορφή συνθέτων οφθαλμών αστρίου-χαλαζία. Οι μεταβάσεις από τον ένα τύπο μιγματίτη στον άλλο είναι συχνά βαθμιαίες και τα όρια των διαφόρων τύπων μόνο κατά προσέγγιση είναι δυνατό να προσδιορισθούν.

Ο βαθμός μιγματιτώσης των βιοτιτικών γνευσίων ποικίλλει από σημείο σε σημείο και φαίνεται να καθορίζεται από τοπικούς παράγοντες, δηλαδή από τον ιστό, τη σύσταση και την παραμόρφωση των γνευσίων, ενώ

προσδιορίζεται προσεγγιστικά από το ποσοστό του λευκοσωματος. Έτσι, αλλού εμφανίζονται λίγα και λεπτά λευκοσωματικά φλεβίδια ενώ αλλού οι λευκοσωματικές φλέβες αποτελούν το μισό σχεδόν όγκο του μιγματιτωμένου γνευσίου. Ωστόσο παρατηρείται μια σαφής τάση αύξησης του αριθμού και του μεγέθους των λευκοκρατικών φλεβών από νότο προς βορρά. Επίσης στις περισσότερες περιπτώσεις τα όρια των μιγματιτωμένων και μη γνευσίων είναι ασαφή.

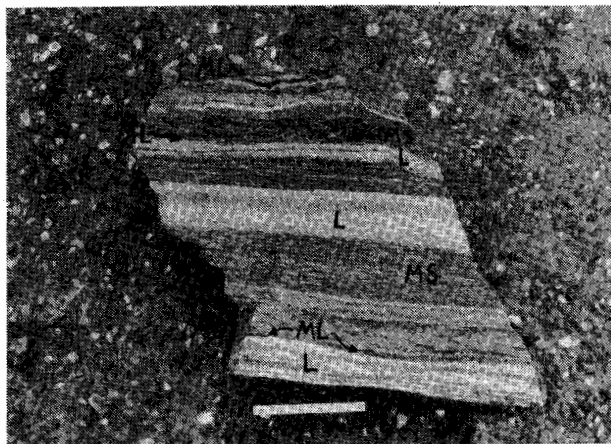


ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΜΙΓΜΑΤΙΤΩΣΗΣ

Από την πόλη της Εάνθης και προς τα βόρεια παρατηρείται μια βαθμιαία αύξηση στο μέγεθος των οφθαλμών αστρίου-χαλαζία των

Εικ. 6: "Εμβρυώδη" λευκοσώματα και μελανοσωματικά φλεβίδια βιοτίτη

Fig. 6: "Embryoidal" leucosomes and melanosome selvages of biotite.



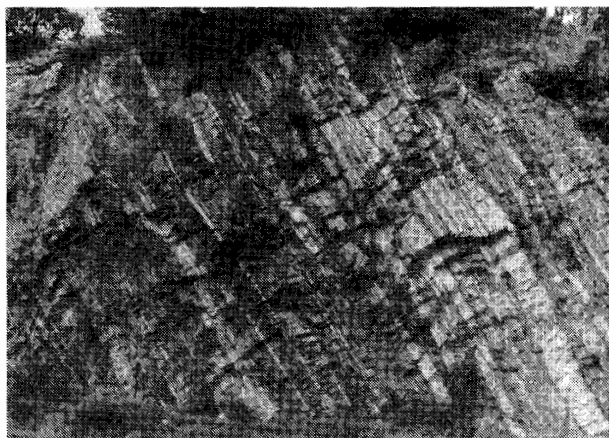
Εικ. 7: Δείγμα μιγματίτη τύπου ολίρεν. Διακρίνονται λευκόσωμα (L), μεσόσωμα (MS) και μελανόσωμα (ML). Κλίμακα 10 cm.

Fig. 7: Schlieren migmatite. Leucosome (L), mesosome (MS) and melanosomatic selvages (ML) are observed. Scale bar 10 cm.

τικούς γνευσίους μπορούν να χαρακτηριστούν ως "εμβρυσώδη" λευκώματα (Εικ. 6). Με αυτό τον τρόπο αρχίζει ένας προοδευτικός διαχωρισμός λεπτών φλεβιδίων, χαλαζιαστριούχου σύστασης από το βιοτιτικό γνεύσιο. Πρόκειται δηλαδή για την έναρξη της διεργασίας σχηματισμού μιγματιτών.

Σ' αυτή τη σταδιακή μετατροπή των γρανοδιοριτικών γνευσίων σε μιγματίτες τα λευκωσμητικά φλεβίδια παρουσιάζονται συχνά με ασαφείς επαφές και σε συμφωνία με τον περιβάλλοντα γνεύσιο - μεσόσωμα, στοιχεία που αποτελούν ενδείξεις της **ανάτηξης in situ** (χωρίς κινητοποίηση του αρχικού τμήματος σε μεγάλη κλίμακα) ως διεργασίας μιγματιτώσεως. Από μικροσκοπικές παρατηρήσεις σε τέτοιου είδους λευκώματα διαπιστώθηκε σημαντικό ποσοστό περθιτικών συμφύσεων σε Κ-ούχους αστρίους, καθώς και πλήρης απουσία ζώνωσης στα πλαγιόκλαστα, στοιχεία που συνηγορούν για την ανατηκτική *in situ* πρόελευση των λευκωσμημάτων (πβ. PATISSON & HARTE, 1988). Ορυκτολογικά και πετρολογικά δεδομένα συνηγορούν για σύνδεση της ανάτηξης *in situ* με τη μεταμόρφωση τύπου BARROW του Ηκκαίνου.

Μελανωσμητικό υλικό, το οποίο αναμένεται ως στερεό υπόλειμμα και μάλι-



στα σε μεγάλες ποσότητες αφού ο γνεύσιος - μεσόσωμα είναι γενικά πλούσιος σε βιοτίτη, παρατηρείται σε μερικές από τις περιπτώσεις ανάτηξης *in situ* και συνήθως σε μικρές ποσότητες. Δηλαδή η διαγνωστική για την ανάτηξη *in situ* εξίσωση του MEHNERT (1968) **Λευκόσωμα + Μελανόσωμα = Παλαιόσωμα (εδώ Μεσόσωμα)** δεν επαληθεύεται πάντα στην περιοχή μελέτης και συνήθως επιβεβαιώνεται μόνο ποιοτικά και όχι ποσοτικά. Ω-

Εικ. 8: Μιγματίτες στρωματοειδούς τύπου.

Fig. 8: Stromatic migmatites.

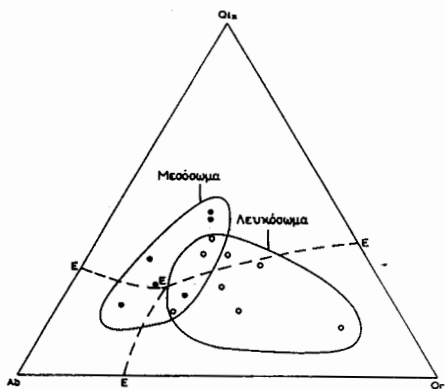
στόσο, η ύπαρξη μελανοσώματος δεν είναι πάντα καθοριστική για την ανάπτυξη *in situ*. Μελανόσωμα πλούσιο σε βιοτίτη δεν αναμένεται στις περιπτώσεις όπου α) το λευκοσωματικό φλεβίδιο έχει προκύψει από ανάπτυξη *in situ* τμήματος του μεσοσώματος που περιέχει λίγο έως καθόλου βιοτίτη, β) ο βιοτίτης του μεσοσώματος συμμετέχει σε αντιδράσεις που παράγουν κορδιερίτη, K-ούχο άστριο, γρανάτη και σιλλιμανίτη (GUPTA & JOHANNES, 1986), και γ) επιτεύχθηκαν συνθήκες διάτηξης, η οποία συμπεριλαμβάνει και την τήξη των σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών με αποτέλεσμα τη μη διάκριση των τηγμένων από τα άτηκτα τμήματα των μιγματιτών. Η περίπτωση της διάτηξης όμως αποδυναμώνεται λόγω της απουσίας ορισμένων χαρακτηριστικών μακροσκοπικών δομών στους μιγματιτικούς γνευσίους όπως ρωδείς δομές, επικράτηση του λευκοσώματος, σχετικά λεπτόκοκκη δομή και ομοιογένεια του μιγματίτη (MEHNERT, 1968). Ακόμα αυτή προϋποθέτει πολύ υψηλές θερμοκρασίες, πάνω από 750 °C, που δεν έχουν αναφερθεί για την υπό μελέτη περιοχή.

Οι τοπικές συγκεντρώσεις βιοτιτικού μελανοσώματος στο εσωτερικό του λευκοσώματος (Εικ. 5) πιθανά οφείλονται σε σχετικά ταχεία κρυστάλλωση του λευκοσωματικού τήγματος, με αποτέλεσμα μέρος του στερεού υλικού να μη προλάβει να διαχωριστεί πλήρως από αυτό και να παραμείνει εγκλωβισμένο.

Η τοπική και περιορισμένη εμφάνιση των ανατηκτικών *in situ* φαινομένων πρέπει να αποδοθεί κυρίως στο χημισμό, στην ορυκτολογική σύσταση και στη δομή των γρανοδιοριστικών γνευσίων (δεν επέτρεψαν την εκτεταμένη μερική τήξη στις συνθήκες P, T που επιτεύχθηκαν). Επίσης μπορεί να αποδοθεί στην τοπική κατανομή των τάσεων (πβ. BARBEY et al., 1990), καθώς και στη διαθεσιμότητα του H₂O, η οποία ελέγχει το βαθμό και τις αντιδράσεις μερικής τήξης.

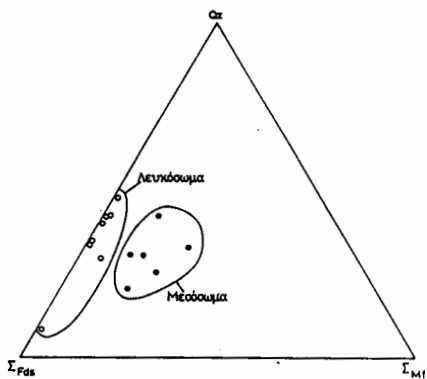
Ο βιοτιτικός γνεύσιος, που βρίσκεται σε επαφή με τα λευκοσωματικά φλεβίδια και έχει ορισθεί περιγραφικά ως μεσόσωμα, γενετικά θα μπορούσε να χαρακτηριστεί είτε ως **παλαιόσωμα**, αν είναι το μητρικό πέτρωμα του λευκοσώματος, είτε ως **αντιστάτης**, αν είναι το πέτρωμα που αντιστάθηκε στην μιγματιτίωση, δηλαδή δεν τήχθηκε *in situ*. Συγκρίνοντας ίσες μάζες μεσοσώματος και νεοσώματος (άθροισμα λευκοσώματος και μελανοσώματος) φαίνεται ότι το ποσοστό του K-ούχου αστρίου είναι περίπου ίσο, στοιχείο που αποτελεί μια πρώτη ένδειξη ότι ο γνεύσιος - μεσόσωμα αποτελεί το παλαιόσωμα των μιγματιτών που προέκυψαν από ανάπτυξη *in situ* (πβ. MEHNERT, 1968). Αυτό ενισχύεται ακόμα από το γεγονός ότι οι συστάσεις των πλαγιόκλαστων των λεπτών λευκοσωματικών φλεβών και των γειτονικών τους μεσοσωμάτων είναι γενικά όμοιες (πβ. MEHNERT, 1968, JOHANNES & GUPTA, 1982).

Εκτός της ανάπτυξης *in situ*, που δε φαίνεται να δικαιολογεί την ύπαρξη όλου του λευκοσωματικού υλικού στην περιοχή του Εχίνου, ένας άλλος κύριος μηχανισμός μιγματιτίωσης που πρέπει να έλαβε χώρα είναι η στρωματοειδής **έγχυση τήγματος**. Έτσι, οι κατώτεροι ορίζοντες των βιοτιτικών γνευσίων τήχθηκαν μερικώς με αποτέλεσμα το σχηματισμό κάποιων ποσότητας ρευστού. Τμήμα του λευκοσωματικού τήγματος που σχηματίστηκε, αποχωρίστηκε και τελικά διείδυσε στα περιβάλλοντα πετρώματα και κρυστάλλωθηκε,



Εικ. 9: Προβολή συστάσεων διεισδυτικών λευκοσωμάτων και των γειτονικών τους μεσοσωμάτων στο τριγωνικό διάγραμμα Qtz-Ab-Or.

Fig. 9: Plot of intrusive leucosome and their adjacent mesosome compositions in the triangular diagram Qtz-Ab-Or.



Εικ. 10: Προβολή συστάσεων διεισδυτικών λευκοσωμάτων και των γειτονικών τους μεσσωμάτων στο τριγωνικό διάγραμμα Qz- Σ_{Fds} - Σ_{Mf} (Qz = χαλαζίας, Σ_{Fds} = άθροισμα αστρίων, Σ_{Mf} = άθροισμα μαφικών ορυκτών, βλ. Πίνακα 2).

Fig. 10: Plot of intrusive leucosome and their adjacent mesosome compositions in the triangular diagram Qz- Σ_{Fds} - Σ_{Mf} . (Qz = quartz, Σ_{Fds} = total of feldspars, Σ_{Mf} = total of mafic minerals, see Table 2).

Είναι πιθανό δηλαδή από το μεγάλο όγκο ανατηκτικού ρευστού, που προέκυψε από μερική τήξη των βαθύτερων οριζόντων των βιοτιτικών γνευσίων, αφενός να σχηματίστηκε ο πλουτωνίτης και αφετέρου διαφοποποιημένα κλάσματά του να διεισδυσαν τόσο σε γνευσίους όσο και σε ήδη κρυσταλλωμένα μέρη του γρανοδιορίτη. Το ότι το πάχος και η πυκνότητα των απλιτοπηγματιτικών λευκοσωματικών φλεβών αυξάνει όσο πλησιάζουμε προς τις γρανοδιοριτικές εμφανίσεις, καθώς και το ότι η επαφή του πλουτωνίτη με τα μιγματιτωμένα περιβάλλοντα πετρώματα είναι ασαφής μπορούν να θεωρηθούν ενδείξεις για την άμεση σχέση του γρανοδιορίτη με τις παχύτερες λευκοσωματικές φλέβες. Το πρότυπο διείσδυσης ανατηκτικού λευκοσώματος ενισχύεται με την ύπαρξη του πλουτωνίτη, γιατί έτσι ισχύει η προϋπόθεση των AMIT & EYAL (1976), για την έγχυση τήγματος ως διεργασία μιγματιώσεως, αφού υπάρχει στην περιοχή ένα σώμα χαλαζιαστριούχου σύστασης το οποίο θα μπορούσε να ήταν η πηγή για τις λευκοσωματικές φλέβες.

Από την Εικ. 9, στην οποία προβάλλονται οι συστάσεις διεισδυτικών λευκοσωμάτων και των γειτονικών τους μεσσωμάτων, φαίνεται ότι τα λευκοσώματα πλησιάζουν την συντηκτική γραμμή που ενώνει τα ευτηκτικά σημεία Qtz-Ab-Or και Qtz-Or. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένδειξη για την προέλευση των λευκοσωμάτων από ανατηκτικά ρευστά (GUPTA & JOHANNES, 1986). Παρατηρούμε επίσης ότι στην πλειοψηφία τους οι συστάσεις των συγκεκριμένων ανατηκτικών διεισδυτικών λευκοσωμάτων προσεγγίζουν το ευτηκτικό σημείο E, γεγονός που σημαίνει ότι πιθανότατα αντιστοιχούν τις συστάσεις των αρχικών τους τηγμάτων (GUPTA & JOHANNES, 1982). Στην εικόνα αυτή φαίνεται ακόμα ότι τα συγκεκριμένα

κατά κανόνα, με τη μορφή σύμφωνων φλεβών. Με το πρότυπο αυτό των αρτηριτών μπορούν να ερμηνευθούν οι παχύτερες λευκοσωματικές φλέβες που δεν συνοδεύονται από μελανόσωμα και έχουν σαφείς και απότομες επαφές με το γειτονικό μεσόσωμα. Η σύμφωνη θέση του λευκοσώματος σε σχέση με τον περιβάλλοντα γνεύσιο είναι πιθανό να οφείλεται στη σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και στο υψηλό ιξώδες των ανατηκτικών ρευστών και επομένως στην όχι μεγάλη κινητικότητα του τήγματος που διείσδυσε. Ακόμα μπορεί να εξηγηθεί με την παραδοχή ότι η διείσδυση έγινε σε μικρά σχετικά βάθη, με μικρό όγκο υπερκείμενων πετρωμάτων και επομένως κάτω από σαφώς χαμηλότερη πίεση φόρτισης σε σχέση με την πίεση του τήγματος, με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η κίνηση στις επιφάνειες σχιστότητας των γνευσίων.

Το πρότυπο της διείσδυσης ανατηκτικού υλικού μπορεί να συνδιαστεί με ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο. Σε επαφή με τα μιγματιτωμένα πετρώματα εμφανίζεται κατά θέσεις ο γρανοδιορίτης Εχίνου-Σκαλωτής. Ο πλουτωνίτης αυτός θεωρείται ότι είναι ανατηκτικός και προέρχεται από διαφόρων βαθμών μερική τήξη του χαλαζιαστριούχου υλικού του μεταμορφωμένου υποβάθρου της Ροδόπης (ZACHOS & DIMADIS, 1983, JONES et al., 1992, KOTOPOULI & PE-PIPER, 1989, KOTOPOULI et al., 1991).

μένα μεσοσώματα προβάλλονται κοντά στο ευτηκτικό σημείο E. Αυτό υποδηλώνει ότι αν οι συνθήκες της ανάτηξης ήταν ευνοϊκότερες για αυτά τα μεσοσώματα, τότε θα είχαν υποστεί μερική τήξη και θα είχαν προκύψει σημαντικά ποσοστά λευκοσώματος. Τέλος αν δεχθούμε ότι ο παρατηρούμενος γνεύσιος (μεσόσωμα) έχει την ίδια σύσταση με το μητρικό πέτρωμα (παλαιόσωμα) του διεισδυτικού λευκοσώματος, τότε το λευκόσωμα, που προβάλλεται σε απομακρυσμένη θέση από το μεσόσωμα και σε αναλογία περίπου $\Sigma F_{D_S}/Q_z = 60/40$ (Εικ. 10), πρέπει να προήλθε από διεργασίες μετάτηξης, δηλαδή από μικρού βαθμού μερική τήξη (πβ. MEHNERT, 1968).

Μετασωματικές διεργασίες μιγματιτώσης των βιοτιτικών γνευσίων δεν διαπιστώθηκαν. Ένα πολύ μικρό μέρος της παρατηρούμενης μιγματιώσης θα μπορούσε να αποδοθεί σε μεταμορφική διαφοροποίηση σε συνθήκες subsolidus. Άλλωστε, κατά τον MEHNERT (1968) ανακρυστάλλωση και βλάστηση λευκοκρατικού υλικού μπορούν να εμφανιστούν και σε συνθήκες P, T χαμηλότερες από τις συνθήκες έναρξης της ανάτηξης. Ωστόσο, ένας τέτοιου είδους μηχανισμός δεν είναι δυνατόν να δικαιολογήσει την ευρείας κλίμακας μιγματιώση των βιοτιτικών γνευσίων, που παρατηρείται στην περιοχή του Εχίνου.

Συμπερασματικά μπορεί να αναφερθεί ότι στην περιοχή μελέτης πρέπει να έδρασαν δύο κύριοι μηχανισμοί μιγματιώσης. Πρόκειται αφενός για τοπικά και περιορισμένα φαινόμενα ανάτηξης *in situ*, που αρχικά έδωσαν "εμβρυώδη" λευκοσώματα και σε επόμενο στάδιο λεπτά πηγματιτικά φλεβίδια λευκοσώματος συνοδευόμενα μερικές φορές από μελανόσωμα, και αφετέρου για μεγάλης κλίμακας έγχυση ανατηκτικών προϊόντων (από μερική τήξη γνευσιακού υλικού στο βάθος) κυρίως κατά μήκος της φύλλωσης των βιοτιτικών γνευσίων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία των παχύτερων λευκοσωματικών φλεβών με απότομα όρια και χωρίς μελανόσωμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AMIT, O. and EYAL, Y. (1976). The genesis of wadi Magrish migmatites (N-E Sinai). - *Contrib. Miner. Petrol.*, 59, 95-110.
- ASHWORTH, J. (1985). Introduction. In: Ashworth J. (ed) *Migmatites*. - Blackie, Glasgow London, 1-35.
- ASHWORTH, J. and McLELLAN, E. (1985). Textures. In: Ashworth J. (ed) *Migmatites*. - Blackie, Glasgow London, 180-203.
- ATZORI, P., CIRINCIONE, R., LO GIUDICE, A., KOKKINAKIS, A., KYRIAKOPOULOS, K., MAGGANAS, A., PANNUCCI, S., PEZZINO, A., SIDERIS, K., TRANCHINA, A. (1991). Studio petrologico delle rocce cristalline a nord di Xanthi, Grecia settentrionale. - *Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat.*, 24, 337, 133-182.
- BARBEY, P., MACAUDIERE, J., NZENTI, J. (1990). High pressure dehydration melting of metapelites : Evidence from the migmatites of Yaounde (Cameroon). - *Journal of Petrology*, 31, 2, 401-427.
- ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ, Σ. (1974). Πετρολογική μελέτη των μιγματιτικών γνευσίων και αμφιβολιτών των περιοχών Ρεντίνας - Ασπροβάλλιας - Σταυρού - Ολυμπιάδας. *Διδακτορική διατριβή*. Θεσσαλονίκη, σ.σ 232.
- GUPTA, L. and JOHANNES, W. (1982). Petrogenesis of a stromatic migmatite (Nelaug, Southern Norway). - *Journal of Petrology*, 23, 4, 548-567.
- GUPTA, L. and JOHANNES, W. (1986). Genetic model for the stromatic migmatites of the Rantasalmisulkava area, Finland. - *J. Petrol.*, 27/2, 521-539.
- JOHANNES, W. and GUPTA, L. (1982). Origin and evolution of a migmatite. - *Contrib. Miner. Petrol.*, 79, 114-123.
- JONES, C., TARNEY, J., BAKER, J., GEROUKI, F. (1992). Tertiary Granitoids of Rhodope, N. Greece: magmatism related to extensional collapse of the

- Hellenic Orogen? - *Tectonophysics*, 210, 1-20.
- KOTOPOULI, C. and PE-PIPER, G. (1989). Geochemical characteristics of felsic intrusive rocks within the Hellenic Rhodope: A comparative study and petrogenetic implications. - *N. Jb. Min. Abh.*, 161, 2, 141-169.
- KOTOPOULI, C., PE-PIPER, G., KATAGAS, C. (1991). The metamorphism and migmatization of the Xanthi-Echinos metamorphic complex, Central Rhodope, Greece. - *Lithos*, 27, 79-93.
- KΟΥΚΟΥΒΕΛΛΑΣ, Ι. (1988). Σχέση ρηγματίων και θειούχων κοιτασμάτων στην περιοχή Θερμών Εάνθης, Βόρεια Ελλάδα. - *Ορυκτός Πλούτος*, 56, 19-30.
- KRONBERG, P. and RAITH, M. (1977). Tectonics and metamorphism of the Rhodope crystalline complex in Eastern Greek Macedonia and parts of Western Thrace. - *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*, 11, 697-704.
- LIATI, A. (1986). Regional metamorphism and overprinting contact metamorphism of the Rhodope zone near Xanthi (N. Greece). *Διδακτορική διατριβή*. Techn. Univ. Braunschweig, σ.σ. 186.
- LIATI, A. (1988). Amphibolitized eclogites in the Rhodope crystalline complex near Xanthi (N. Greece). - *Neues Jahrb. Mineral. Montsh.*, 1, 1-8.
- LIATI, A. and MPOSKOS, E. (1989). Petrological evolution of the eclogites of Rhodope, N. Greece. - *Third International Eclogite Conference, Wurzburg (Abstract)*.
- McLELLAN, E. (1988). Migmatite structures in the Central Gneiss Complex Boca de Quadra, Alaska. - *J. Metamorphic Geol.*, 6, 517-542.
- MEHNERT, K. (1968). Migmatites and the origin of granitic rocks. - *Elsevier, Amsterdam*.
- MPOSKOS, E. (1989). Polymetamorphism in the central and east Rhodope Massif. - *Geologica Rhodopica*, 1, 153-159.
- MPOSKOS, E. and PERDIKATSI, V. (1987). High pressure metamorphism in East Rhodope Massif (Greece). - *Fortschr. Mineralogie*, 65:140.
- ΜΠΟΣΚΟΣ, Ε., ΔΗΜΑΔΗΣ, Α., ΠΕΡΑΙΚΑΤΣΗΣ, Β. (1988). Συμβολή στη μελέτη του μεταμορφωμένου συστήματος της Ροδόπης μεταξύ Εάνθης - Ιάσμου και ελληνοβουλγαρικών συνόρων. - *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, XX/2, 275-291.
- OLSEN, S. (1985). Mass balance in migmatites. In: *Migmatites* (ed. Ashworth J.). - Blackie, Glasgow London, 145-179.
- PAPANIKOLAOU, D. and PANAGOPOULOS, A. (1981). On the structural style of southern Rhodope. - *Geol. Balc.*, 11.3, 13-22.
- PATTISON, D. and HARTE, B. (1988). Evolution of structurally contrasting anatectic migmatites in the 3 Kbar Ballachulish aureole, Scotland. - *J. Metamorphic Geol.*, 6, 475-494.
- SEDERHOLM, J. (1907). Om granit och gneis. - *Bull. comm. Geol. Finl.*, 23.
- SEDERHOLM, J. (1916). On synantetic minerals and related phenomena. - *Bull. Com. Geol. Finl.*, 48.
- ZACHOS, S. and DIMADIS, E. (1983). The geotectonic position of the Skaloti - Echinos granite and its relationship to the metamorphic formations of Greek Western and Central Rhodope. - *Geol. Balc.*, 13, 5, 17-24.