

κυμαίνεται από 5,7 kbar μέχρι 9,4 kbar (μέση πίεση 7,5 kbar) που αντιστοιχεί σε βάθος από 21,6 μέχρι 35,5 km (28,3 km μέσο βάθος), για τον ΧΜΓ η πίεση κρυστάλλωσης κυμαίνεται από 2,5 kbar μέχρι 5,7 kbar (μέση πίεση 3,9 kbar) που αντιστοιχεί σε βάθος από 9,4 μέχρι 21,5 km (14,7 km μέσο βάθος) ενώ για τον ΧΜζ η πίεση κρυστάλλωσης κυμαίνεται από 2,6 kbar μέχρι 3,3 kbar (μέση πίεση 3,0 kbar) που αντιστοιχεί σε βάθος από 9,8 μέχρι 12,5 km (11,3 km μέσο βάθος).

Πίνακας 5.35.: Τιμές πίεσης (P) κρυστάλλωσης σε kbar του ΜΓ, του Μζ, του ΧΜΓ και του ΧΜζ καθώς και τα αντίστοιχα βάθη (H) κρυστάλλωσης τους σε km με βάση τις αναλύσεις των κλινοπυροξένων από Παπαδοπούλου (2003).

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	P (kbar)	H (km)
ΜΓ	MP-36	11,2	42,3
	MP-41	9,5	35,9
	MP-06	7,7	29,1
	MP-52	7,7	29,1
	MP-26	2,9	10,9
	MP-13	6,4	24,1
	MP-57	7,2	27,2
	ελάχιστη	2,9	10,9
	μέγιστη	11,2	42,3
	μέση	7,5	28,3
Μζ	MP-11	7,7	29,1
	MP-53	8,3	31,3
	MP-14	9,4	35,5
	MP-73	6,3	23,8
	MP-21	5,7	21,5
	ελάχιστη	5,7	21,6
	μέγιστη	9,4	35,5
ΧΜΓ	MP-34	3,6	13,6
	MP-62	2,5	9,4
	MP-67	5,7	21,5
	ελάχιστη	2,5	9,4
	μέγιστη	5,7	21,5
	μέση	3,9	14,7
ΧΜζ	MP-98	2,6	9,8
	MP-65	3,3	12,5
	ελάχιστη	2,6	9,8
	μέγιστη	3,3	12,5
	μέση	3,0	11,3

5.9.2. Θερμοκρασία

5.9.2.1. Γεωθερμόμετρο αμφιβόλου-πλαγιοκλάστου

Η θερμοκρασία του ΜΓ, του ΧΜΓ και του ΧΜΖ του πλουτωνίτη της Μαρώνας, που υπολογίστηκε με βάση τα δυο γεωθερμόμετρα (Α, Β) των Blundy & Holland (1994) απεικονίζεται στον πίνακα 5.36. Σε αυτόν τον πλουτωνίτη, επειδή οι πιέσεις που υπολογίστηκαν με βάση τα γεωβαρόμετρα της αμφιβόλου ήταν μικρότερες από 2 kbar, χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας μόνο η πίεση που έδωσε το γεωβαρόμετρο της αμφιβόλου του Schmidt (1992).

Πίνακας 5.36.: Τιμές θερμοκρασίας (Τ) σε °C του ΜΓ, του ΧΜΓ και του ΧΜΖ με βάση τα γεωθερμόμετρα Α (Τ_Α) και το γεωθερμόμετρο Β (Τ_Β) των Blundy & Holland (1994) για κάθε πίεση κρυστάλλωσης με βάση τα γεωβαρόμετρα της αμφιβόλου των Hammarstrom & Zen (1986) (P_(H&Z)), Hollister et al. (1987) (P_(H et al)), Johnson & Rutherford (1989) (P_(J&R)) και του Schmidt (1992) (P_(Sch)). Οι υπολογισμοί των θερμοκρασιών βασίζονται στις αναλύσεις των αμφιβόλων και των πλαγιοκλάστων από Παπαδοπούλου (2003).

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	X ^{Plag} _{Ab}	X ^{Plag} _{An}	P _(H&Z) (kbar)	T _A (°C)	T _B (°C)	P _(H et al) (kbar)	T _A (°C)	T _B (°C)	P _(J&R) (kbar)	T _A (°C)	T _B (°C)	P _(Sch) (kbar)	T _A (°C)	T _B (°C)
ΜΓ	MP-6	0,544	0,441	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2,0	--	603
	MP-70	0,512	0,465	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	717
	ελάχιστη	0,512	0,441	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	603
	μέγιστη	0,544	0,465	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	717
	μέση	0,528	0,453	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	660
ΧΜΓ	MP-62	0,485	0,510	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2,0	777	760
ΧΜΖ	MP-76	0,595	0,386	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2,0	698	743
	MP-65	0,491	0,488	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	730	791
	ελάχιστη	0,491	0,386	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	698	743
	μέγιστη	0,595	0,488	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	730	791
	μέση	0,543	0,437	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	714	767

--: διότι οι πιέσεις είναι μικρότερες από 2 kbar.

Στον ΜΓ το γραμμομοριακό κλάσμα του αλβίτη στο πλαγιόκλαστο (X^{Plag}_{Ab}) έχει μέση τιμή 0,528 ανά δομική μονάδα και του ανορθίτη (X^{Plag}_{An}) 0,453. Η θερμοκρασία που υπολογίστηκε με βάση το γεωθερμόμετρο Β (Τ_Β) κυμαίνεται από 603 μέχρι 717

°C (μέση θερμοκρασία περίπου 660 °C) ενώ το γεωθερμόμετρο A (T_A) δεν έδωσε θερμοκρασία γιατί το πέτρωμα είναι ακόρεστο σε διοξείδιο του πυριτίου.

Στον ΧΜΓ το γραμμομοριακό κλάσμα του αλβίτη στο πλαγιόκλαστο (X_{Ab}^{Plag}) έχει μέση τιμή 0,485 ανά δομική μονάδα και του ανορθίτη (X_{An}^{Plag}) 0,510. Η θερμοκρασία που υπολογίστηκε με βάση το γεωθερμόμετρο A (T_A) 777 °C και 760 °C με το γεωθερμόμετρο B (T_B).

Τέλος, στον ΧΜζ το γραμμομοριακό κλάσμα του αλβίτη στο πλαγιόκλαστο (X_{Ab}^{Plag}) έχει μέση τιμή 0,543 ανά δομική μονάδα και του ανορθίτη (X_{An}^{Plag}) 0,437. Η θερμοκρασία που υπολογίστηκε με βάση το γεωθερμόμετρο A (T_A) κυμαίνεται από 698 μέχρι 730 °C (μέση θερμοκρασία περίπου 714 °C) ενώ το γεωθερμόμετρο B (T_B) έδωσε θερμοκρασία η οποία κυμαίνεται από 743 μέχρι 791 °C (μέση θερμοκρασία περίπου 767 °C).

5.9.2.2. Γεωθερμόμετρο δυο αστρίων

Η θερμοκρασία του ΜΓ, του Μζ, του ΧΜΓ, του ΧΜζ, του Γρ και του ΠμΓρ που υπολογίστηκαν με βάση τα γεωθερμόμετρα των δυο αστρίων απεικονίζονται στον πίνακα 5.37.

Έτσι, τα ενδιάμεσα μέλη έδωσαν θερμοκρασία περίπου 747 °C (πίνακας 5.37.), ενώ οι θερμοκρασίες που έδωσαν ο Γρ και ο ΠμΓρ ήταν πολύ μικρότερες, 593 και 453 °C, αντίστοιχα.

Πίνακας 5.37.: Τιμές θερμοκρασίας (T) σε °C του ΜΓ, του ΜΖ, του ΧΜΓ, του ΧΜΖ, του Γρ και του ΠμΓρ με βάση τα γεωθερμόμετρα των δυο αστρίων. Οι υπολογισμοί των θερμοκρασιών βασίζονται στις αναλύσεις των καλιούχων αστρίων και των πλαγιοκλάστων από Παπαδοπούλου (2003).

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	T (°C)
ΜΓ	MP-57	737
ΜΖ	MP-21	770
ΧΜΓ	MP-35	760
	MP-67	720
	MP-34	769
	MP-62	704
	ελάχιστη	704
	μέγιστη	769
	μέση	738
ΧΜΖ	MP-65	775
	MP-76	661
	ελάχιστη	661
	μέγιστη	775
	μέση	718
Γρ	MP-64	593
ΠμΓρ	MR-6	453

5.9.2.3. Θερμοκρασία με βάση τον κορεσμό του ζirkονίου και του απατίτη

Η θερμοκρασία του ΜΓ, του ΜΖ, του ΧΜΓ του ΧΜΖ, του Γρ και του ΠμΓρ που υπολογίστηκε με βάση τον κορεσμό του ζirkονίου στο τήγμα απεικονίζεται στον πίνακα 5.38. και του απατίτη στον πίνακα 5.39.

Έτσι, με βάση τον κορεσμό του ζirkονίου ο ΜΓ έδωσε θερμοκρασία από 609 μέχρι 734 °C, με μέση τιμή 655 °C, ο ΜΖ έδωσε θερμοκρασία από 614 °C μέχρι 748 °C, με μέση τιμή 700 °C, ο ΧΜΓ από 683 °C μέχρι 749 °C, με μέση τιμή 715 °C, ο ΧΜΖ από 704 °C μέχρι 783 °C, με μέση τιμή 745 °C, ο Γρ από 762 °C μέχρι 813 °C, με μέση τιμή 796 °C και ο ΠμΓρ από 750 °C μέχρι 777 °C (μέση τιμή 765 °C). Από την άλλη πλευρά, με βάση τον κορεσμό σε απατίτη, ο ΜΓ έδωσε θερμοκρασία από 827 μέχρι 923 °C, με μέση τιμή 886 °C, ο ΜΖ έδωσε θερμοκρασία από 874 °C μέχρι 945 °C, με μέση τιμή 915 °C, ο ΧΜΓ από 875 °C μέχρι 944 °C, με μέση τιμή 905 °C,

ο ΧΜζ από 895 °C μέχρι 1020 °C, με μέση τιμή 945 °C, ο Γρ από 924 °C μέχρι 981 °C, με μέση τιμή 951 °C και ο ΠμΓρ από 864 °C μέχρι 910 °C (μέση τιμή 882 °C).

Πίνακας 5.38.: Τιμές θερμοκρασίας (T) σε °C του ΜΓ, του Μζ, του ΧΜΓ του ΧΜζ, του Γρ και του ΠμΓρ με βάση το γεωθερμόμετρο του ζirkονίου. Οι υπολογισμοί των θερμοκρασιών βασίζονται στις αναλύσεις των πετρωμάτων από Παπαδοπούλου (2003).

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	Zr (ppm)	D	M	T (°C)
ΜΓ	MP-06	154	3231	0,04	643
	MP-07	212	2347	0,03	717
	MP-08	267	1864	0,03	734
	MP-13	119	4182	0,04	626
	MP-26	129	3858	0,03	663
	MP-36	109	4566	0,03	640
	MP-41	100	4976	0,03	637
	MP-52	94	5294	0,03	638
	MP-57	147	3385	0,03	685
	MP-58	103	4832	0,03	677
	MP-60	136	3659	0,03	684
	MP-63	68	7318	0,03	632
	MP-66	86	5787	0,03	645
	MP-70	77	6463	0,02	662
	MP-81	116	4290	0,04	628
	MP-91	135	3686	0,04	638
	MP-92	112	4443	0,03	630
	MP-93	105	4740	0,04	611
	MP-402	112	4443	0,04	609
	MP-405	169	2945	0,03	707
	ελάχιστη				609
	μέγιστη				734
	μέση				655
Μζ	MP-03	226	2202	0,02	745
	MP-11	173	2877	0,03	670
	MP-14	223	2232	0,03	690
	MP-18	194	2565	0,03	676
	MP-23	168	2962	0,03	687
	MP-25	236	2109	0,03	719
	MP-38	197	2526	0,03	703
	MP-53	79	6299	0,03	614
	MP-73	214	2325	0,03	698
	MP-82	181	2749	0,03	705
	MP-89	263	1892	0,03	744
	MP-403	270	1843	0,03	748
	ελάχιστη				614
	μέγιστη				748
	μέση				700

Πίνακας 5.38. (συνέχεια)

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	Zr (ppm)	D	M	T (°C)
ΧΜΓ	MP-34	153	3253	0,02	710
	MP-35	172	2893	0,03	693
	MP-37	208	2393	0,03	727
	MP-56	191	2605	0,03	721
	MP-62	176	2828	0,02	721
	MP-67	131	3799	0,03	683
	MP-69	171	2910	0,03	712
	MP-74	240	2074	0,02	749
	MP-102	169	2945	0,03	696
	MP-404	149	3340	0,02	740
	ελάχιστη μέγιστη μέση				683 749 715
ΧΜΖ	MP-19	167	2980	0,03	704
	MP-24	211	2359	0,02	746
	MP-32	228	2183	0,03	726
	MP-65	210	2370	0,03	712
	MP-88	237	2100	0,03	729
	MP-94	289	1722	0,03	755
	MP-97	244	2040	0,02	751
	MP-98	296	1681	0,02	773
	MP-99	298	1670	0,02	783
	MP-100	265	1878	0,02	771
	ελάχιστη μέγιστη μέση				704 783 745
Γρ	MP-64	207	2404	0,01	813
	MP-68A	114	4365	0,01	762
	MP-90	312	1595	0,02	812
	ελάχιστη μέγιστη μέση				762 813 796
ΠμΓρ	MR-1	92	5409	0,01	762
	MR-2	83	5996	0,01	750
	MR-3	110	4524	0,01	771
	MR-6	119	4182	0,01	777
	ελάχιστη μέγιστη μέση				750 777 765

Πίνακας 5.39.: Τιμές θερμοκρασίας (T) σε °C του ΜΓ, του ΜΖ, του ΧΜΓ και ΧΜΖ, του Γρ και του ΠμΓρ με βάση το γεωθερμόμετρο του απατίτη. Οι υπολογισμοί των θερμοκρασιών βασίζονται στις αναλύσεις των πετρωμάτων από Παπαδοπούλου (2003).

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	SiO ₂	P ₂ O ₅	T (°C)
ΜΓ	MP-06	52,10	0,51	878
	MP-07	52,96	0,48	883
	MP-08	50,67	0,48	847
	MP-13	52,08	0,67	920
	MP-26	50,87	0,59	881
	MP-36	52,25	0,51	881
	MP-41	51,85	0,53	880
	MP-52	51,41	0,62	897
	MP-57	54,57	0,54	924
	MP-58	54,50	0,46	900
	MP-60	51,64	0,49	865
	MP-63	52,06	0,51	878
	MP-66	52,57	0,50	883
	MP-81	49,28	0,71	884
	MP-91	51,54	0,62	899
	MP-92	52,11	0,61	906
	MP-93	51,98	0,73	932
	MP-402	48,41	0,81	891
	MP-405	55,56	0,33	869
	ελάχιστη			827
	μέγιστη			932
	μέση			886
ΜΖ	MP-03	55,75	0,45	914
	MP-11	54,38	0,57	929
	MP-14	55,11	0,51	923
	MP-18	54,25	0,55	922
	MP-23	55,38	0,47	915
	MP-25	54,80	0,47	907
	MP-38	54,11	0,40	874
	MP-53	53,69	0,52	905
	MP-73	54,20	0,50	907
	MP-82	55,41	0,53	933
	MP-89	56,47	0,52	945
	MP-403	55,44	0,45	910
	ελάχιστη			874
	μέγιστη			945
	μέση			915
ΧΜΓ	MP-34	55,10	0,45	905
	MP-35	52,44	0,48	875
	MP-37	54,97	0,44	900
	MP-56	55,24	0,46	910
	MP-62	55,90	0,45	916
	MP-67	54,69	0,40	883
	MP-69	55,22	0,46	910
	MP-74	56,53	0,42	915
	MP-102	53,52	0,47	888
	MP-404	62,68	0,29	944
	ελάχιστη			875
	μέγιστη			944
	μέση			905

Πίνακας 5.39. (συνέχεια)

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	SiO ₂	P ₂ O ₅	T (°C)
ΧΜζ	MP-19	56,35	0,41	909
	MP-24	59,20	0,43	954
	MP-32	56,53	0,55	954
	MP-65	55,80	0,39	895
	MP-76	57,11	0,80	1020
	MP-77	57,53	0,56	970
	MP-78	56,07	0,50	934
	MP-83	56,27	0,51	939
	MP-88	56,16	0,58	957
	MP-94	56,14	0,53	943
	MP-97	57,11	0,51	951
	MP-98	57,77	0,47	948
	MP-99	58,09	0,39	926
	MP-100	58,11	0,40	930
	ελάχιστη			895
	μέγιστη			1020
	μέση			945
Γρ	MP-64	72,08	0,10	924
	MP-68A	73,62	0,15	981
	MP-90	65,73	0,22	946
	ελάχιστη			924
	μέγιστη			981
ΠμΓρ	MR-1	77,56	0,03	866
	MR-2	77,36	0,03	864
	MR-3	75,74	0,06	910
	MR-6	73,53	0,06	891
	ελάχιστη			864
	μέγιστη			910
	μέση			882

5.9.3. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα της παραγράφου αυτής αναφορικά με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας του πλουτωνίτη της Μαρώνειας μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα.

Από τα γεωβαρόμετρα της αμφιβόλου το γεωβαρόμετρο του Schmidt (1992) έδωσε πίεση κρυστάλλωσης η οποία ήταν 2,1 kbar για τον Μζ, ενώ τα υπόλοιπα γεωβαρόμετρα έδωσαν αρνητικές πιέσεις. Η Παπαδοπούλου (2003) υπολόγισε την πίεση κρυστάλλωσης του πλουτωνίτη της Μαρώνειας περίπου 1,5 kbar, χρησιμοποιώντας όμως το γεωβαρόμετρο της αμφιβόλου των Anderson & Smith (1995).

Με το γεωβαρόμετρο του κλινοπυροξένου υπολογίστηκαν παρόμοια εύρη τιμών πίεσης κρυστάλλωσης με αυτά της Παπαδοπούλου (2003). Έτσι, για τον ΜΓ η πίεση κρυστάλλωσης κυμαίνεται από 2,9 μέχρι 11,2 kbar, για τον Μζ από 5,7 μέχρι 9,4 kbar, για τον ΧΜΓ από 2,5 μέχρι 5,7 kbar ενώ για τον ΧΜζ από 2,6 μέχρι 3,3 kbar. Η Παπαδοπούλου (2003) ως μέση πίεση κρυστάλλωσης, με βάση το γεωβαρόμετρο του κλινοπυροξένου, για τον πλουτωνίτη της Μαρώνειας, υπολόγισε την τιμή των 4,5 kbar.

Η διαφορά αυτή στην πίεση που υπολογίστηκε με βάση τα παραπάνω γεωβαρόμετρα πιθανόν οφείλεται στο ότι η κρυστάλλωση των πυροξένων πιθανόν να συνέβη σε μεγαλύτερα βάθη του πλουτωνικού όγκου, όπου η πίεση ήταν υψηλότερη, σε αντίθεση με την κρυστάλλωση των αμφιβόλων, η οποία άρχισε σε κάποιο μετέπειτα στάδιο διαφοροποίησης του μάγματος και οι πιέσεις που υπολογίστηκαν με βάση τα γεωβαρόμετρα της αμφιβόλου πιθανόν να αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες κρυστάλλωσης κατά το σχηματισμό των αμφιβόλων.

Η Δορυφόρου (1990) και οι Μπόσκος και Δορυφόρου (1993) υπολόγισαν, με βάση τις παραγενέσεις των ορυκτών που υπάρχουν στη ζώνη επαφής του πλουτωνίτη με τα μάρμαρα, ότι η διείδυση του πλουτωνίτη έγινε σε πίεση 0,5-2,5 kbar και θερμοκρασία 700-775 °C. Πάντως, όπως παρατηρείται, η μεταμόρφωση επαφής συνηγορεί υπέρ των αποτελεσμάτων που έδωσε το γεωβαρόμετρο της αμφιβόλου.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία, του πλουτωνίτη της Μαρώνειας, με βάση τα γεωθερμόμετρα της αμφιβόλου-πλαγιοκλάστου, υπολογίστηκε ότι είναι περίπου 720 °C ενώ το γεωθερμόμετρο των δυο αστρίων έδωσε θερμοκρασία για τα ενδιάμεσα μέλη της σειράς περίπου 740 °C και για τα όξινα μέλη πάρα πολύ χαμηλές τιμές θερμοκρασίας οι οποίες δεν θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν μαγματικές θερμοκρασίες. Η Παπαδοπούλου (2003) υπολόγισε παρόμοιες θερμοκρασίες για τον πλουτωνίτη της Μαρώνειας με βάση το γεωθερμόμετρο της αμφιβόλου-πλαγιοκλάστου αλλά με το γεωθερμόμετρο των δυο αστρίων υπολόγισε και πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες της τάξης των 1100 °C.

Όπως αναφέρει και η Παπαδοπούλου (2003) τα ενδιάμεσα μέλη του πλουτωνίτη της Μαρώνειας έχουν προκύψει από διαφορετικό είδος μάγματος από

εκείνο των όξινων μελών και η διαδικασία εξέλιξης από την οποία προέκυψαν τα ενδιάμεσα μέλη δεν είναι η κλασματική κρυστάλλωση αλλά η αφομοίωση με κλασματική κρυστάλλωση (AFC). Έτσι, οι χαμηλές θερμοκρασίες που έδωσε το θερμόμετρο κορεσμού του Zr για τον ΜΓ και για όλα τα ενδιάμεσα πετρώματα πιθανόν να οφείλονται σε μόλυνση του μάγματος από μαφικά υλικά φτωχά σε Zr (Valdecir de Assis Janasi 2002) οπότε οι θερμοκρασίες αυτές δεν είναι αξιόπιστες. Από την άλλη πλευρά η θερμοκρασία με βάση τον κορεσμό του Zr για τα όξινα μέλη είναι περίπου 780 °C.

Οι θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν με βάση τον κορεσμό του απατίτη είναι υψηλότερες σε σχέση με τις θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν, με βάση τη διαλυτότητα του ζirkονίου για το λόγο ότι η πίεση που υπολογίστηκε για τον πλουτωνίτη είναι πολύ μικρότερη από την πίεση των 7,5 kbar που πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα για το θερμόμετρο του απατίτη (Perring et al. 2001, Valdecir de Assis Janasi 2002, Lenharo et al. 2003).

5.10. Ο ΠΛΟΥΤΩΝΙΤΗΣ ΤΗΣ ΣΑΜΟΘΡΑΚΗΣ

Ο πλουτωνίτης της Σαμοθράκης, αποτελείται από τον πορφυροειδή μικρο-χαλαζιακό μονζονίτη μέχρι μικρο-γρανίτη (PMQM), τον πορφυροειδή χαλαζιακό μονζονίτη μέχρι γρανίτη (PQM), τον μικρο-γρανίτη (MGR), τον βιοτιτικό γρανίτη (GR) και τα εγκλείσματα (ENC). Οι αναλύσεις των ορυκτών και των πετρωμάτων για τους θερμοβαρομετρικούς υπολογισμούς προέρχονται από τους Christofides et al. (2000).

5.10.1. Πίεση κρυστάλλωσης

5.10.1.1. Γεωβαρόμετρο αμφιβόλου

Με βάση τα γεωβαρόμετρα της αμφιβόλου η πίεση που υπολογίστηκε υπό την οποία κρυστάλλωθηκε ο PQM, ο MGR και τα ENC απεικονίζεται στον πίνακα 5.40. Το συνολικό ΑΙ της κεροστίλβης για τον PQM είναι 1,1 και του MGR καθώς επίσης και των εγκλεισμάτων ENC 1,3.

Πίνακας 5.40.: Πίεση (P) κρυστάλλωσης σε kbar του PQM, MGR καθώς και των ENC καθώς και τα αντίστοιχα βάθη (H) κρυστάλλωσης τους σε km με βάση τις αναλύσεις των αμφιβόλων από Christofides et al. (2000).

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	Altot	Hammarstrom & Zen (1986)		Hollister et al. (1987)		Johnson & Rutherford (1989)		Schmidt (1992)	
			P (kbar)	H (km)	P (kbar)	H (km)	P (kbar)	H (km)	P (kbar)	H (km)
PQM	RF22	1,1	--	--	--	--	--	--	2,0	7,5
MGR	BN1	1,3	2,5	9,4	2,4	9,2	1,9	7,3	3,1	11,6
ENC	KF6	1,3	2,5	9,5	2,4	9,2	1,9	7,3	3,1	11,6

--: πιέσεις μικρότερες από 2 kbar.

Ο PQM έδωσε πίεση κρυστάλλωσης με το γεωβαρόμετρο του Schmidt (1992) 2 kbar (βάθος 7,5 km).

Για τον MGR η πίεση κρυστάλλωσης που υπολογίστηκε με το γεωβαρόμετρο του Schmidt (1992) είναι 3,1 kbar που αντιστοιχεί σε βάθος κρυστάλλωσης 11,6 km περίπου. Όμοιες τιμές πίεσης με αυτές του MGR, όπως παρατηρείται και στον πίνακα, έδωσαν και τα ENC.

5.10.2. Θερμοκρασία

5.10.2.1. Γεωθερμόμετρο αμφιβόλου-πλαγιόκλαστου

Με βάση τα δύο γεωθερμόμετρα των Blundy & Holland (1994) η θερμοκρασία του PQM, του MGR καθώς και των ENC, που υπολογίστηκε απεικονίζεται στον πίνακα 5.41.

Στον PQM το γραμμομοριακό κλάσμα του αλβίτη στο πλαγιόκλαστο (X_{Ab}^{Plag}) είναι 0,738 ανά δομική μονάδα και του ανορθίτη (X_{An}^{Plag}) 0,243. Η θερμοκρασία που υπολογίστηκε με βάση το γεωθερμόμετρο A (T_A) είναι 731 °C και με το γεωθερμόμετρο B (T_B) 714 °C (διαφορά 25 °C) για πίεση κρυστάλλωσης $P_{(Sch)}=2$ kbar.

Το γραμμομοριακό κλάσμα του αλβίτη (X_{Ab}^{Plag}) και του ανορθίτη (X_{An}^{Plag}) στο πλαγιόκλαστο, του MGR είναι περίπου 0,669 και 0,299 ανά δομική μονάδα, αντίστοιχα. Η θερμοκρασία που υπολογίστηκε με βάση το γεωθερμόμετρο A για όλες τις πιέσεις, είναι 790 °C ενώ με το γεωθερμόμετρο B 758 °C.

Πίνακας 5.41.: Τιμές θερμοκρασίας (T) σε °C του PQM, του MGR καθώς και των ENC με βάση τα γεωθερμόμετρο A (T_A) και το γεωθερμόμετρο B (T_B) των Blundy & Holland (1994) για κάθε πίεση κρυστάλλωσης με βάση τα γεωβαρόμετρα της αμφιβόλου των Hammarstrom & Zen (1986) ($P_{(H\&Z)}$), Hollister et al. (1987) ($P_{(H\ et\ al)}$), Johnson & Rutherford (1989) ($P_{(J\&R)}$) και του Schmidt (1992) ($P_{(Sch)}$). Οι υπολογισμοί των θερμοκρασιών βασίζονται στις αναλύσεις των αμφιβόλων και των πλαγιόκλαστων από Christofides et al. (2000).

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	X_{Ab}^{Plag}	X_{An}^{Plag}	$P_{(H\&Z)}$ (kbar)	T_A (°C)	T_B (°C)	$P_{(H\ et\ al)}$ (kbar)	T_A (°C)	T_B (°C)	$P_{(J\&R)}$ (kbar)	T_A (°C)	T_B (°C)	$P_{(Sch)}$ (kbar)	T_A (°C)	T_B (°C)
PQM	RF22	0,738	0,243	--			--			--			2	731	714
MGR	BN1	0,669	0,299	2,5	790	758	2,4	791	758	1,9	798	758	3,1	782	758
ENC	KF6	0,780	0,198	2,5	749	712	2,4	750	712	1,9	756	712	3,1	742	712

--: οι πιέσεις της αμφιβόλου είναι μικρότερες από 2 kbar.

Τέλος, στα ENC το γραμμομοριακό κλάσμα του αλβίτη στο πλαγιόκλαστο (X_{Ab}^{Plag}) είναι 0,780 ανά δομική μονάδα και του ανορθίτη (X_{An}^{Plag}) 0,198. Η θερμοκρασία

που υπολογίστηκε με βάση το γεωθερμόμετρο Α για όλες τις πιέσεις, είναι 749 °C ενώ με το γεωθερμόμετρο Β 712 °C.

5.10.2.2. Γεωθερμόμετρο δυο αστρίων

Η θερμοκρασία PMQM που υπολογίστηκε με βάση τα γεωθερμόμετρα των δυο αστρίων βρέθηκε να είναι περίπου 747 °C (πίνακας 5.42.).

Πίνακας 5.42.: Τιμή θερμοκρασίας (T) σε °C του PMQM με βάση τα γεωθερμόμετρα των δυο αστρίων. Οι υπολογισμός της θερμοκρασίας βασίζεται στην ανάλυση του καλιούχου αστρίου και του πλαγιοκλάστου από Christofides et al. (2000).

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	T (°C)
PMQM	PA1	747

5.10.2.3. Θερμοκρασία με βάση τον κορεσμό του ζirkονίου και του απατίτη

Η θερμοκρασία του PMQM, του PQM, του MGR, του GR καθώς και των ENC που υπολογίστηκε με βάση το γεωθερμόμετρο κορεσμού του ζirkονίου στο τήγμα απεικονίζεται στον πίνακα 5.43. και του απατίτη στον πίνακα 5.44.

Με βάση τον κορεσμό του ζirkονίου ο PMQM έδωσε θερμοκρασία που κυμαίνεται από 842 μέχρι 855 °C με μέση θερμοκρασία 849 °C, ο PQM έδωσε θερμοκρασία που κυμαίνεται από 802 μέχρι 851 °C (μέση θερμοκρασία 828 °C), ο MGR από 830 μέχρι 850 °C (μέση θερμοκρασία 840 °C), ο GR από 781 μέχρι 834 °C (μέση θερμοκρασία 807 °C) και τα ENC από 750 μέχρι 807 °C με μέση θερμοκρασία 774 °C.

Το θερμόμετρο κορεσμού σε απατίτη έδωσε θερμοκρασία για τον PMQM από 1025 μέχρι 1087 °C με μέση θερμοκρασία 1053 °C, για τον PQM από 978 μέχρι 1047 °C με μέση θερμοκρασία 1012 °C, για τον MGR από 1012 μέχρι 1052 °C με μέση θερμοκρασία 1029 °C, για τον GR από 922 μέχρι 988 °C με μέση θερμοκρασία 964 °C και, τέλος, για τα ENC από 964 μέχρι 1084 °C με μέση θερμοκρασία 1020 °C.

Πίνακας 5.43.: Τιμές θερμοκρασίας (T) σε °C του PMQM, του PQM, του MGR, του GR καθώς και των ENC με βάση το γεωθερμόμετρο κορεσμού του ζirkονίου στο τήγμα των Watson & Harrison (1983). Οι υπολογισμοί των θερμοκρασιών βασίζονται στις αναλύσεις των πετρωμάτων από Christofides et al. (2000).

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	Zr (ppm)	D	M	T (°C)
PMQM	PA1	491	1014	1,88	852
	PA3	481	1035	1,89	849
	PA4	487	1022	1,84	855
	ANG12	450	1106	1,83	847
	PA16	444	1121	1,78	850
	PR7	402	1238	1,76	842
	BN2	387	1286	1,68	845
	ελάχιστη				842
	μέγιστη				855
	μέση				849
PQM	GA1	326	1527	1,71	827
	AM2	298	1670	1,79	812
	KF1	366	1360	1,82	829
	AM5	300	1659	1,62	826
	B3	442	1126	1,82	846
	KF4	341	1459	1,78	825
	AM4	321	1550	1,55	838
	GA2	290	1716	1,68	818
	ANG3	428	1163	1,73	851
	B5	418	1191	1,83	841
	RF22	345	1442	1,80	825
	EK18	360	1382	1,77	831
	AM3	274	1816	1,68	812
	L3	281	1771	1,76	809
	AM1	236	2109	1,64	802
	RF8	350	1422	1,63	839
	ANG7	345	1442	1,67	835
	EK10	383	1299	1,73	840
	L2	307	1621	1,69	823
	L1	295	1687	1,69	819
	ANG6	294	1693	1,62	824
	RAL4	313	1590	1,49	840
	ελάχιστη				802
	μέγιστη				851
	μέση				828
MGR	B1	350	1422	1,68	836
	EK12	427	1165	1,74	850
	BN1	358	1390	1,73	833
	B6	383	1299	1,64	847
	ANG4A	356	1398	1,76	830
	ANG1	388	1283	1,64	849
	EK17	310	1605	1,58	832
	ελάχιστη				830
	μέγιστη				850
	μέση				840

Πίνακας 5.43. (συνέχεια)

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	Zr (ppm)	D	M	T (°C)
GR	RAL3	298	1670	1,51	834
	ANG9	261	1907	1,59	815
	EK8	272	1830	1,54	823
	EK13	215	2315	1,57	799
	EK20	222	2242	1,59	800
	EK5	195	2552	1,36	806
	XX1	224	2222	1,53	806
	ANG8	267	1864	1,53	822
	RAL1	227	2192	1,50	809
	XX3	179	2780	1,53	786
	EK7	198	2513	1,33	810
	L5	212	2347	1,46	806
	EK6	240	2074	1,49	816
	L6	209	2381	1,46	805
	EK1	196	2539	1,43	801
	EK4	203	2451	1,43	805
	XX4	171	2910	1,55	781
	EK9	220	2262	1,49	808
	ελάχιστη				781
	μέγιστη				834
	μέση				807
ENC	RF3	338	1472	2,59	764
	KF6	367	1356	2,88	750
	AM7	408	1220	2,22	807
	ελάχιστη				750
	μέγιστη				807
	μέση				774

Πίνακας 5.44.: Τιμές θερμοκρασίας (T) σε °C του PMQM, του PQM, του MGR, του GR καθώς και των ENC με βάση το γεωθερμόμετρο κορεσμού του απατίτη στο τήγμα των Harrison & Watson (1984). Οι υπολογισμοί των θερμοκρασιών βασίζονται στις αναλύσεις των πετρωμάτων από Christofides et al. (2000).

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	SiO ₂	P ₂ O ₅	T (°C)
PMQM	PA1	65,05	0,68	1087
	PA3	65,64	0,59	1073
	PA4	64,41	0,55	1050
	ANG12	66,70	0,50	1060
	PA16	66,78	0,41	1034
	PR7	68,03	0,39	1040
	BN2	67,91	0,35	1025
	ελάχιστη			1025
	μέγιστη			1087
	μέση			1053
PQM	GA1	65,16	0,46	1033
	AM2	65,78	0,34	999
	KF1	66,35	0,39	1023
	AM5	66,85	0,34	1010
	B3	67,10	0,35	1017
	KF4	67,32	0,37	1026
	AM4	67,37	0,36	1023
	GA2	67,44	0,30	1001
	ANG3	67,51	0,30	1001
	B5	67,52	0,40	1038
	RF22	67,69	0,42	1047
	EK18	67,80	0,29	1000
	AM3	67,90	0,30	1005
	L3	68,08	0,30	1007
	AM1	68,10	0,28	999
	RF8	68,25	0,34	1025
	ANG7	68,51	0,29	1008
	EK10	68,80	0,27	1002
	L2	69,28	0,29	1015
	L1	69,34	0,28	1012
	ANG6	69,37	0,21	978
	RAL4	69,44	0,25	999
	ελάχιστη			978
	μέγιστη			1047
	μέση			1012
MGR	B1	66,44	0,39	1024
	EK12	67,34	0,45	1052
	BN1	67,49	0,40	1038
	B6	67,72	0,39	1037
	ANG4A	67,84	0,35	1024
	ANG1	68,30	0,31	1014
	EK17	68,91	0,29	1012
	ελάχιστη			1012
	μέγιστη			1052
	μέση			1029

Πίνακας 5.44. (συνέχεια)

ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΓΜΑ	SiO ₂	P ₂ O ₅	T (°C)
GR	RAL3	68,84	0,24	988
	ANG9	69,08	0,21	975
	EK8	69,08	0,22	980
	EK13	69,12	0,18	958
	EK20	69,13	0,20	970
	EK5	69,51	0,19	968
	XX1	69,52	0,16	948
	ANG8	69,55	0,19	968
	RAL1	69,70	0,15	943
	XX3	69,96	0,12	922
	EK7	70,12	0,17	961
	L5	70,37	0,20	982
	EK6	70,58	0,19	978
	L6	70,62	0,17	966
	EK1	70,69	0,16	960
	EK4	70,69	0,18	973
	XX4	70,78	0,12	930
	EK9	70,89	0,20	987
	ελάχιστη			922
	μέγιστη			988
	μέση			964
ENC	RF3	51,39	0,93	964
	KF6	55,22	0,87	1009
	AM7	57,17	1,18	1087
	ελάχιστη			964
	μέγιστη			1087
	μέση			1020

5.10.3. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα αναφορικά με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας του πλουτωνίτη της Σαμοθράκης μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα.

Η πίεση κρυστάλλωσης που υπολογίστηκε με βάση το γεωβαρόμετρο του Schmidt (1992) υπό την οποία κρυσταλλώθηκε ο PQM, ο MGR και τα ENC, είναι 2 kbar για τον PQM και περίπου 3,1 kbar για τον MGR και τα ENC. Όμοιες τιμές πίεσης υπολογίστηκαν, με το γεωβαρόμετρο του Schmidt (1992), για τον PMQM και τον PQM και από τους Christofides et al. (2000).

Οι θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν με το γεωθερμόμετρο της αμφιβόλου-πλαγιοκλάστου των Blundy & Holland (1994), χρησιμοποιώντας τις διάφορες πιέσεις κρυστάλλωσης από τα γεωβαρόμετρα των αμφιβόλων, είναι για τον PQM 722 °C, για τον MGR 774 °C και για τα ENC 730 °C. Αρκετά υψηλότερη θερμοκρασία, 747 °C,

και όμοια με αυτή των Christofides et al. (2000) έδωσε το γεωθερμόμετρο των δυο αστρίων για τον PMQM σε σχέση με το παραπάνω γεωθερμόμετρο.

Η θερμοκρασία που υπολογίστηκε με βάση το θερμόμετρο κορεσμού σε ζirkόνιο είναι περίπου 830 °C για όλους τους πετρογραφικούς τύπους του πλουτωνίτη ενώ τα ENC έδωσαν θερμοκρασία κρυστάλλωσης με αυτό το θερμόμετρο γύρω 774 °C.

Οι θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν με βάση τον κορεσμό του απατίτη είναι υψηλότερες σε σχέση με τις θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν, με βάση τη διαλυτότητα του ζirkονίου για το λόγο ότι η πίεση που υπολογίστηκε για τον πλουτωνίτη είναι πολύ μικρότερη από την πίεση των 7,5 kbar που πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα για το θερμόμετρο του απατίτη (Perring et al. 2001, Valdecir de Assis Janasi 2002, Lenharo et al. 2003).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ

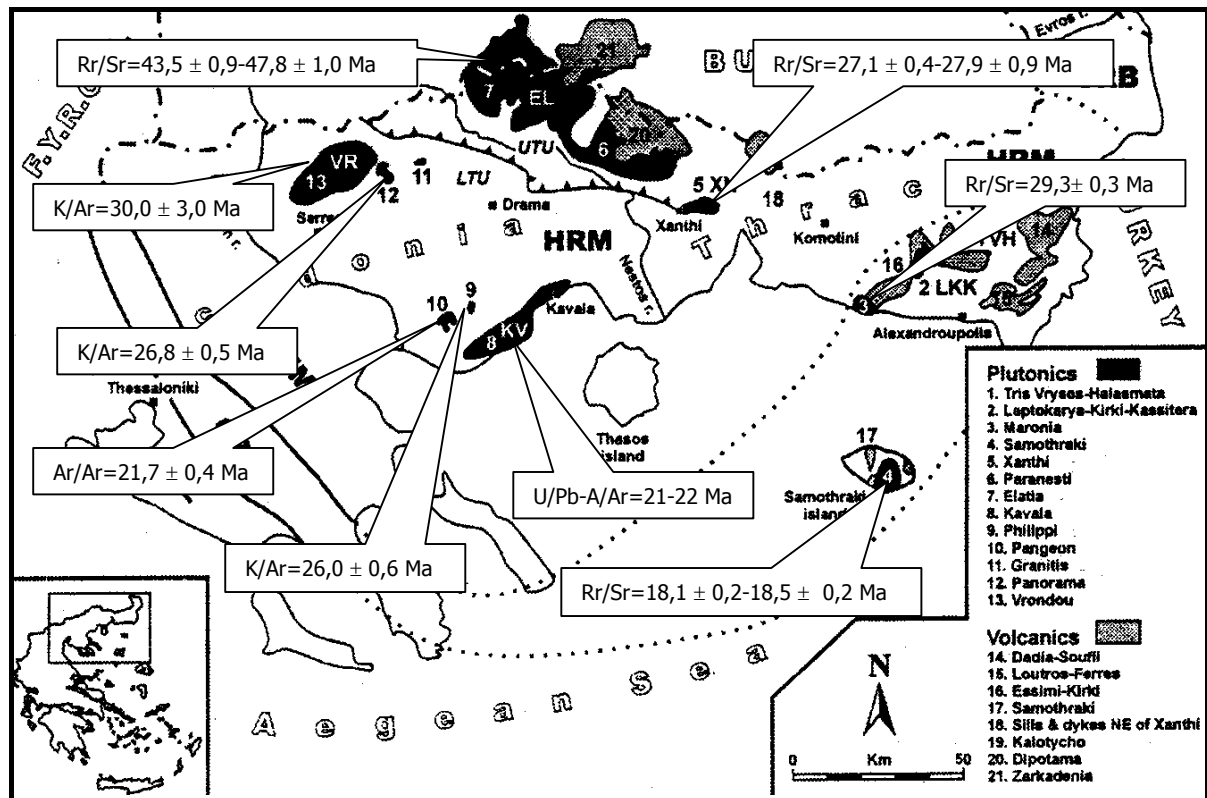
Η μάζα της Ροδόπης, η οποία διαχωρίζεται σε δυο τεκτονικές ενότητες, την ενότητα Παγγαίου ή Κατώτερη Τεκτονική Ενότητα (ΚΤΕ) και την ενότητα Σιδηρονέρου ή Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα (ΑΤΕ), καλύπτει στον ελληνικό χώρο την ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη. Στα δυτικά συνορεύει με την Σερβομακεδονική Μάζα και στα νότια-ανατολικά επικαλύπτεται τεκτονικά από την Περιροδοπική Ζώνη (Karfakis & Doutsos 1995).

Κατά το Τριτογενές, τόσο στη Μάζα της Ροδόπης όσο και στην Περιροδοπική Ζώνη, λαμβάνει χώρα μία έντονη μαγματική δραστηριότητα με αποτέλεσμα τον σχηματισμό του πλουτωνικού συμπλέγματος Ελατιάς-Σκαλωτής-Παρανεστίου και του πλουτωνίτη της Ξάνθης που διεισδύουν στα μεταμορφωμένα πετρώματα της ΑΤΕ, τον σχηματισμό των πλουτωνιτών της Βροντούς, του Πανοράματος, του Παγγαίου, των Φιλίππων και της Καβάλας που διεισδύουν στα μεταμορφωμένα πετρώματα της ΚΤΕ καθώς και τον σχηματισμό του πλουτωνίτη της Μαρώνειας και της Σαμοθράκης που διεισδύουν στην Περιροδοπική Ζώνη.

Γενικά, οι Τριτογενείς γρανιτικοί πλουτωνίτες της Ροδόπης όπως φαίνεται από τις σχέσεις τους με τα περιβάλλοντα πετρώματα τα οποία διακόπτουν είναι μεταμορφικοί και θεωρούνται ότι συνδέονται γενετικά με ζώνη κατάδυσης. Επίσης, όλοι οι Τριτογενείς πλουτωνίτες, εκτός από το πλουτωνικό σύμπλεγμα Ελατιά-Σκαλωτή-Παρανέστι, έχουν τοποθετηθεί σε ένα εκτατικό περιβάλλον (Koukouvelas & Pe-Piper 1991, Kolocotroni 1992, Sokoutis et al. 1993, Dinter et al. 1995, Christofides et al. 1998) και όπως παρατηρείται και στο σχήμα 6.1., η ηλικία τους μειώνεται, γενικά, από βορρά προς νότο.

Στον πίνακα 6.1. παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν με τα γεωθερμόμετρα των δυο αστρίων, της αμφιβόλου-πλαγιοκλάστου και τα θερμόμετρα κορεσμού του ζirkονίου και του απατίτη. Επίσης, στον ίδιο πίνακα,

παρουσιάζονται και οι πιέσεις που υπολογίστηκαν με τα γεωβαρόμετρα της αμφιβόλου και του κλινοπυροξένου καθώς και τα αντίστοιχα βάθη κρυστάλλωσης των ορυκτών αυτών.



Σχήμα 6.1.: Τα πλουτωνικά πετρώματα στη Μάζα της Ροδόπης. Ταυτόχρονα απεικονίζονται οι πιέσεις κρυστάλλωσης και οι ηλικίες τους.

Έτσι, στη Μάζα της Ροδόπης οι πιέσεις κρυστάλλωσης που υπολογίστηκαν, με βάση το γεωβαρόμετρο της αμφιβόλου του Schmidt (1992), για τον πλουτωνίτη της Καβάλας και του Παγγαίου είναι γύρω στα 6,2 kbar που αντιστοιχεί σε βάθος κρυστάλλωσης γύρω στα 25 km, ενώ για το πλουτωνικό σύμπλεγμα της Ελατιάς-Σκαλωτής-Παρανεστίου είναι γύρω στα 5,6 kbar που αντιστοιχεί σε βάθος κρυστάλλωσης γύρω στα 23 km. Ο πλουτωνίτης των Φιλιππων έδωσε μικρότερη πίεση κρυστάλλωσης 4,5 kbar (βάθος κρυστάλλωσης περίπου 18 km) με βάση το παραπάνω γεωβαρόμετρο, ενώ για τον πλουτωνίτη της Βροντούς η πίεση κρυστάλλωσης υπολογίστηκε με βάση το γεωβαρόμετρο του κλινοπυροξένου του Nimis (1995) και είναι της τάξης των 7,2 kbar, περίπου 29 km βάθος κρυστάλλωσης.

Πιέσεις κρυστάλλωσης, της τάξης των 2,2 kbar (βάθος κρυστάλλωσης 9 km), έδωσε το γεωβαρόμετρο της αμφιβόλου για τους πλουτωνίτες της Ξάνθης και του Πανοράματος οι οποίες θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν ή τις συνθήκες κρυστάλλωσης κατά τον σχηματισμό των αμφιβόλων σε κάποιο μετέπειτα στάδιο διαφοροποίησης του μάγματος ή τις πιέσεις κρυστάλλωσης των πλουτωνιτών αυτών. Στον πλουτωνίτη της Ξάνθης, η Liati (1986) υπολόγισε, με βάση τις παραγενέσεις των ορυκτών που υπάρχουν στη ζώνη επαφής του πλουτωνίτη με τα μάγμαρα, ότι η διεύθυνση του πλουτωνίτη έγινε σε πίεση γύρω στα 3 kbar η οποία συνηγορεί υπέρ των αποτελεσμάτων που έδωσε το γεωβαρόμετρο της αμφιβόλου.

Πίνακας 6.1.: Συγκεντρωτικός πίνακας των θερμοκρασιών και των πιέσεων καθώς και των βαθών κρυστάλλωσης των πλουτωνιτών.

	ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΑ				ΒΑΡΟΜΕΤΡΑ		ΒΑΘΟΣ (km)
	Amph-Plag (°C)	Kfs-Plag (°C)	Zrc (°C)	Ap (°C)	Amph (kbar)	Cpx (kbar)	
ΒΡΟΝΤΟΥ	660-750	530-660	690-780	760-950		7,2	29
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	700-790	470-600	710-800	760-900	2		8
ΠΑΓΓΑΙΟ	750-800	450-490			6,2		25
ΦΙΛΙΠΠΟΙ	690-760	480-540			4,5		18
ΚΑΒΑΛΑ	690-760	430-520	740-820	850-940	6,2		25
ΕΛΑΤΙΑ	710-790	440-500	740-840	850-1010	5,6		23
ΞΑΝΘΗ	760-770	500-930	780-830	860-930	2,2		9
ΜΑΡΩΝΕΙΑ	600-790	450-770	610-750	830-1020		5,5	22
ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ	710-800	750	750-850	920-1090	2		8

Στην Περιροδοπική Ζώνη, η πίεση κρυστάλλωσης που υπολογίστηκε για τον πλουτωνίτη της Μαρώνας είναι 5,5 kbar που αντιστοιχεί σε βάθος κρυστάλλωσης περίπου 22 km. Η τιμή αυτής της πίεσεως υπολογίστηκε με βάση το γεωβαρόμετρο

του κλινοπυροξένου. Το γεωβαρόμετρο της αμφιβόλου, για τον ίδιο πλουτωνίτη, δίνει πολύ χαμηλότερες πιέσεις κρυστάλλωσης, γύρω στα 2,1 kbar, οι οποίες όπως έχει ήδη αναφερθεί, αυτές μπορεί να αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες κρυστάλλωσης κατά τον σχηματισμό των αμφιβόλων σε κάποιο μετέπειτα στάδιο διαφοροποίησης του μάγματος και όχι την πίεση κρυστάλλωσης του πλουτωνίτη αυτού. Η Δορυφόρου (1990) και οι Μπόσκος και Δορυφόρου (1993) υπολόγισαν, με βάση τις παραγενέσεις των ορυκτών που υπάρχουν στη ζώνη επαφής του πλουτωνίτη με τα μάρμαρα, ότι η διείδυση του πλουτωνίτη της Μαρώνειας έγινε σε πίεση 0,5-2,5 kbar η οποία συνηγορεί υπέρ των αποτελεσμάτων που έδωσε το γεωβαρόμετρο της αμφιβόλου. Ο πλουτωνίτης της Σαμοθράκης έδωσε με το γεωβαρόμετρο της αμφιβόλου πίεση κρυστάλλωσης μικρότερη από 2 kbar. Η τιμή αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστη για το λόγο ότι υπήρχε μία ανάλυση για κάθε πετρογραφικό τύπο του πλουτωνίτη και οι κροστίλβες έχουν μια ελαφριά τάση προς τις ακτινολιθικές κροστίλβες ενώ το γεωβαρόμετρο εφαρμόζεται μόνο σε αναλλοίωτα δείγματα αμφιβόλου.

Όσον αφορά τις θερμοκρασίες των πλουτωνιτών της Μάζας της Ροδόπης και της Περιροδοπικής Ζώνης, παρατηρείται σε όλους τους πλουτωνίτες, ότι το γεωθερμόμετρο κορεσμού του απατίτη έδωσε τις υψηλότερες θερμοκρασίες, ακολουθεί το γεωθερμόμετρο κορεσμού του ζirkονίου και της αμφιβόλου-πλαγιοκλάστου ενώ το γεωθερμόμετρο των δύο αστρίων έδωσε τις μικρότερες θερμοκρασίες οι οποίες είναι συνήθως κάτω από την *solidus* θερμοκρασία.

Οι θερμοκρασίες που υπολογίστηκαν με βάση το γεωθερμόμετρο κορεσμού του απατίτη δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες διότι η διαλυτότητα του απατίτη αυξάνεται ελάχιστα με μείωση της πίεσης, και τα πειράματα, όσον αφορά το θερμόμετρο κορεσμού του απατίτη, έχουν πραγματοποιηθεί σε πιέσεις γύρω στα 7,5 kbar, ενώ οι πιέσεις που υπολογίστηκαν στους περισσότερους πλουτωνίτες ήταν πολύ μικρότερες από 7,5 kbar (Perring et al. 2001, Valdecir de Assis Janasi 2002, Lenharo et al. 2003). Επίσης, για τους πλουτωνίτες της Περιροδοπικής Ζώνης δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες και για το λόγο ότι η εξέλιξη του πλουτωνίτη της Μαρώνειας και της Σαμοθράκης έγινε με την διαδικασία της αφομοίωσης με

κλασματική κρυστάλλωση (AFC) και όχι την διαδικασία της κλασματικής κρυστάλλωσης.

Η γεωλογική εξέλιξη της Μάζας της Ροδόπης από τα 50 μέχρι τα 20 Ma σε σχέση με το χρόνο διείσδυσης των πλουτωνιτών και το βάθος κρυστάλλωσής τους απεικονίζεται σχηματικά με μια σειρά γεωλογικών τομών βορειοανατολικής-νοτιοδυτικής κατεύθυνσης στο σχήμα 6.2.

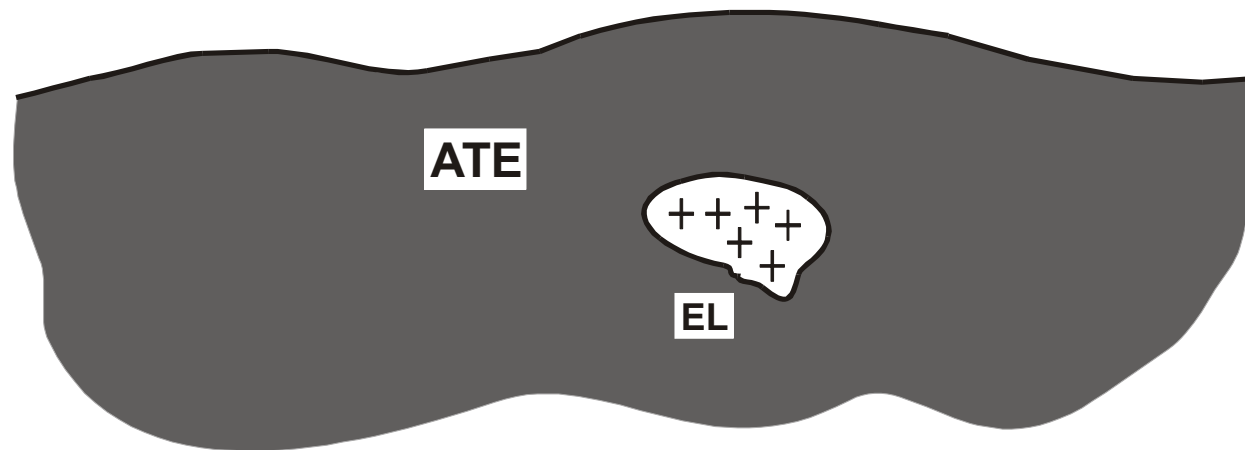
Κατά το χρονικό διάστημα 50 με 40 Ma, αρχικά, λαμβάνει χώρα η διείσδυση του πλουτωνικού συμπλέγματος Ελατιάς-Σκαλωτής-Παρανεστίου, σε βάθος περίπου 23 km, ακολουθεί η επώθηση της ΑΤΕ πάνω στην ΚΤΕ της Μάζας της Ροδόπης και η έκταση της Μάζας της Ροδόπης με ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων. Η έκταση της Μάζας της Ροδόπης είχε ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση. Το πάχος της ΑΤΕ εκείνη την εποχή έχει υπολογιστεί ότι είναι γύρω στα 30 με 35 km ενώ το πάχος της ΚΤΕ υπολογίστηκε γύρω στα 25 km (Papazaxos 1998, Papazaxos & Skordilis 1998).

Στην συνέχεια, το χρονικό διάστημα 40 με 30 Ma, στην ΚΤΕ διεισδύει ο πλουτωνίτης της Βροντούς σε βάθος 29 km. Το μεγάλο αυτό βάθος μπορεί ίσως να δικαιολογείται από το ότι την περίοδο που διείσδυσε ο πλουτωνίτης της Βροντούς να υπήρχε και τμήμα της ΑΤΕ πάνω από την ΚΤΕ στην περιοχή διείσδυσης του πλουτωνίτη.

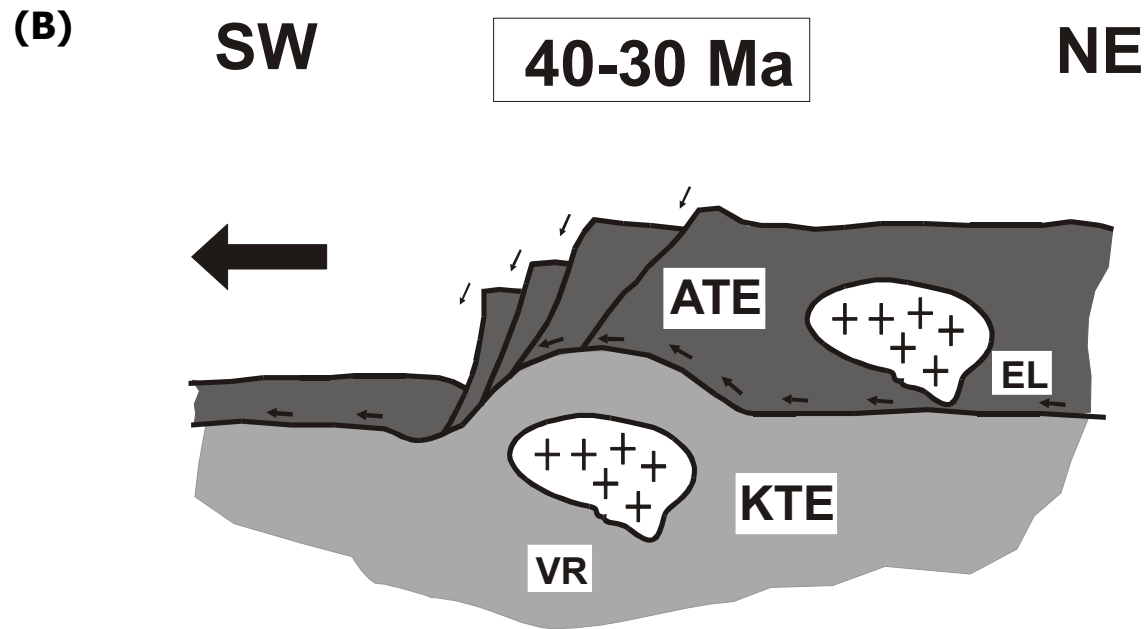
Τέλος, το χρονικό διάστημα 30 με 20 Ma και ενώ η έκταση της Μάζας της Ροδόπης συνεχίζεται έχουμε τη διείσδυση του πλουτωνίτη της Ξάνθης στην ΑΤΕ σε βάθος περίπου 9 km, ο οποίος ίσως μπορεί να εισέρχεται και από την ΚΤΕ αφού σήμερα τον βλέπουμε να βρίσκεται στο όριο της ΑΤΕ και ΚΤΕ. Αυτό το διάστημα στην ΚΤΕ διεισδύουν οι πλουτωνίτες του Πανοράματος και των Φιλιππων σε βάθη 8 Km και 18 Km αντίστοιχα, ενώ πιο νοτιοδυτικά, στην ίδια ενότητα διεισδύει ο πλουτωνίτης της Καβάλας και του Παγγαίου σε βάθος 25 km και οι δυο.

(A)

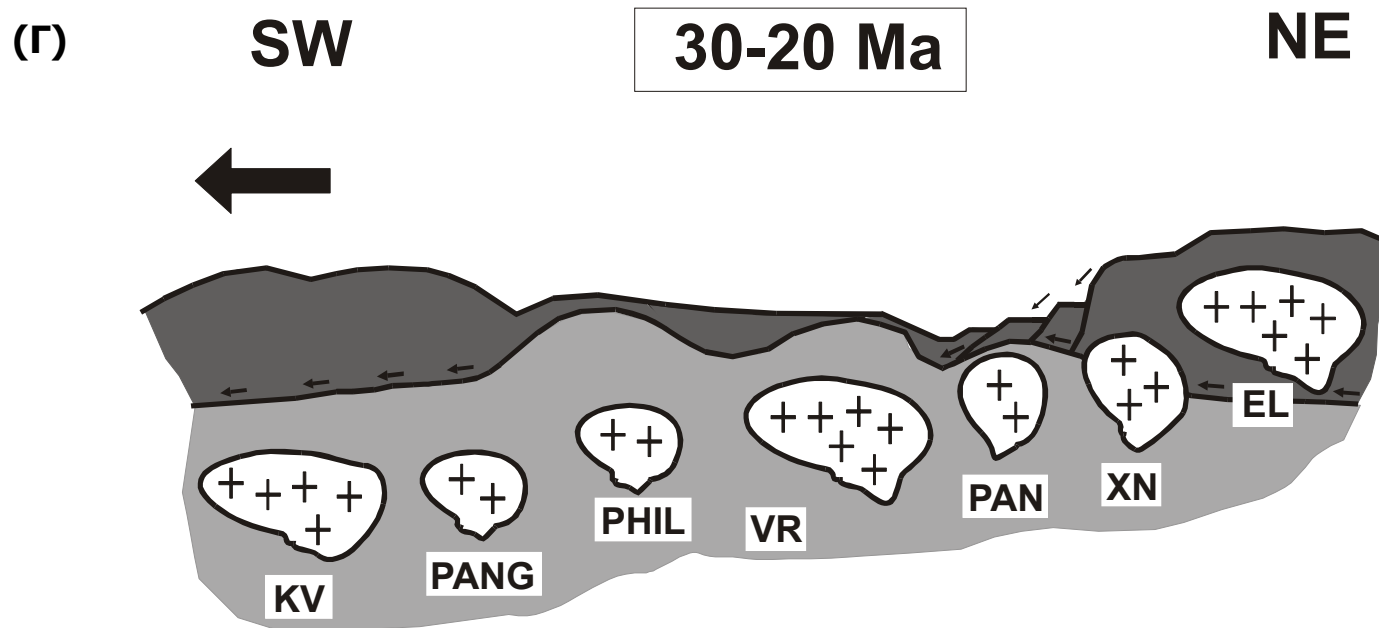
50-40 Ma



Σχήμα 6.2. (A): Η γεωλογική εξέλιξη της Μάζας της Ροδόπης από τα 50 μέχρι τα 20 Ma σε σχέση με το χρόνο διείσδυσης των πλουτωνιτών και το βάθος κρυστάλλωσής τους. ATE: Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα, EL: πλουτωνικό σύμπλεγμα Ελατιά-Σκαλωτή-Παρανέστι. Κλίμακα 1:1.000.000.



Σχήμα 6.2. (B): Η γεωλογική εξέλιξη της Μάζας της Ροδόπης από τα 50 μέχρι τα 20 Ma σε σχέση με το χρόνο διείσδυσης των πλουτωνιτών και το βάθος κρυστάλλωσής τους. ATE: Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα, KTE: Κατώτερη Τεκτονική Ενότητα, EL: πλουτωνικό σύμπλεγμα Ελατιά-Σκαλωτή-Παρανέστι, VR: πλουτωνίτης της Βροντούς. Κλίμακα 1:1.000.000.



Σχήμα 6.2. (Γ): Η γεωλογική εξέλιξη της Μάζας της Ροδόπης από τα 50 μέχρι τα 20 Ma σε σχέση με το χρόνο διείσδυσης των πλουτωνιτών και το βάθος κρυστάλλωσής τους. ΑΤΕ: Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα, ΚΤΕ: Κατώτερη Τεκτονική Ενότητα, EL: πλουτωνικό σύμπλεγμα Ελατιά-Σκαλωτή-Παρανέστι, VR: πλουτωνίτης της Βροντούς, ΧΝ: πλουτωνίτης της Ξάνθης, PAN: πλουτωνίτης του Πανοράματος, PHIL: πλουτωνίτης των Φιλιππων, PANG: πλουτωνίτης του Παγγαίου, KV: πλουτωνίτης της Καβάλας. Κλίμακα 1:1.000.000.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andersen, D.J., Lindsley, D.H. & Davidson, P.M. (1993). QUILF: a Pascal program to assess equilibria among Fe-Mg-Mn-Ti oxides, pyroxenes, olivine and quartz. *COMPUT GEOSCI*, 19, 1333-1350.
- Anderson, J.L. (1996). Status of the thermobarometry in granitic batholiths. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh, Earth Sciences*, 87, 125-138.
- Anderson, J.L. & Smith, D.R. (1995). The effect of temperature and oxygen fugacity on Al-in-hornblend barometry. *AM Mineral*, 80, 549-559.
- Baltatzis, E., Esson, J. & Mitropoulos, P. (1992). Geochemical characteristics and petrogenesis of the main granitic intrusions of Greece: an application of trace element discrimination diagrams. *Min. Mag.*, 56, 487-501.
- Barr, S.R., Temperley, S. & Tarney, J. (1999). Lateral growth of the continental crust through deep level subduction-accretion: a re-evaluation of central Greek Rhodope. *Lithos*, 46, 69-94.
- Barth, T. F. W. (1962a). The feldspar geologic thermometer. *Norsk Geol. Tidsskr.*, 42, 330-339.
- Berman, R.G. (1988). Internally consistent thermodynamic data for minerals in the system $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. *J PETROL*, 29, 445-522.
- Blundy, J.D. & Holland, T.J.B. (1990). Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104, 208-224.
- Boncev, E. (1946). On the tectonic lineaments of the Balkan peninsula. *Sofia, Geology of the Balkan peninsula*, 4, part I, 13-27.
- Chatzipanagis, I. (1990). Geology and stratigraphy of Falakro Mountain area (W. Rhodope). *Geol. Rhodopica*, 2, 89-99.
- Cheliotis, I. (1986). Geology, mineralization and rock geochemistry of a volcanic-sedimentary formation in the Xylagani Maronia area, NE Greece. M. Sc., University of Leicester, U.K., 90p.

- Christofides, G. (1989). Evolution of the Xanthi pluton, N. Greece. Proc. XIV Congress CBGA, Sofia, 168-169.
- Christofides, G. (1996). Tertiary magmatism in the Greek Rhodope massif, northern Greece: granitic plutons. In: "Terranes of Serbia", Knezevic V. & Krstic B (Eds), Dept of Petrology, Fac Of Mining and Geology, Univ. Of Belgrade, 155-160.
- Christofides, G., Eleftheriadis, G. & Esson, J. (1990). Preliminary results on the magmatic evolution of the island of Samothraki granite (N. Greece). *Geologica Rhodopica*, Vol. 2, 213-226.
- Christofides, G., Soldatos, T., Eleftheriadis, G. & Koroneos, A. (1998). Chemical and isotopic evidence for source contamination and crustal assimilation in the Hellenic Rhodope plutonic rocks. *Acta Vulcanol.*, 10, 2, 305-318.
- Christofides, G., Eleftheriadis, G., Esson, J., Soldatos, T., Koroneos, A. & Brocker, M. (2000). The evolution of the Samothraki granitic pluton (N. Aegean sea, Greece): geochronology, chemical and isotopic constraints for AFC modeling. Third International Conference on the Geology of the Eastern Mediterranean, 193-209.
- Czamanske, G.K., Ishihara, S. & Atkins, S.A. (1981). Chemistry of rock-forming minerals of the Cretaceous-Paleocene batholith in southwestern Japan and implications for magma genesis. *J. Geophys. Res.*, 86, 10431-10469.
- Δάβη, Ε. (1963). Γεωλογική κατασκευή της νήσου Σαμοθράκης. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 14, 133-212.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. (1962). Rock-forming minerals. Vol. 3, Longman, London.
- Del Moro, A. Innocenti, F., Kyriakopoulos, C., Manetti, P. & Papadopoulos, P. (1988). Tertiary granitoids from Thrace (N. Greece): Sr isotope and petrochemical data. *N. Jb. Miner. Abh.*, 159, 113-135.
- Del Moro, A., Kyriakopoulos, K., Pezzino, A., Atzori, P. & Lo Giudice, A. (1990). The metamorphic complex associated to the Kavala plutonites: An Rb-Sr geochronological, petrological and structural study. *Geol. Rhodopica*, 2, 143-156.

- Dimadis, E. & Zachos, S. (1986). Geological map of Rhodope Massif, 1:200.000. Institute of Geology and Mineral Exploration, Xanthi.
- Dimadis, E. & Zachos, S. (1989). Geological and tectonic structure of the metamorphic basement of the Greek Rhodope. *Geol. Rhodopica*, 1, 122-138.
- Δορυφόρου, Κ. (1990). Ο πλουτωνίτης της Μαρώνειας και η μεταμορφική του επίδραση στα περιβάλλοντα πετρώματα της Φυλλιτικής σειράς. Διδακτορική διατριβή. Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 167 σ.
- Dinter, D.A. (1988). Late Cenozoic extension of the Alpine collisional orogen, northeastern Greece: Origin of the north Aegean basin. *GSA Bulletin*, 110/9, 1208-1230.
- Dinter, D.A. & Royden, L. (1993). Late Cenozoic extension in northeastern Greece: Strymon Valley detachment and Rhodope metamorphic core complex. *Geology*, 21, 45-48.
- Dinter, D.A., Macfarlane, A., Hames, W., Isachsen, C., Bowring, S. & Royden, L. (1995). U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Symvolon granodiorite: Implications for the thermal and structural evolution of the Rhodope metamorphic core complex, northeastern Greece. *Tectonics*, 14/4, 886-908.
- Düerr, S., Altherr, R., Keller, J., Okrusch, M. & Seidel, E. (1978). The median aegean crystalline belt: Stratigraphy, structure, metamorphism, magmatism. In: "Alps, Appenines, Hellenides-Geodynamic investigation along geotraverses by an international group of geoscientists"; H., Closs, D., Roeder & K., Schmidt (Eds), I.U.G.S. Rep., 38, Stuttgart, 445-447.
- Eleftheriadis, G. (1995). Petrogenesis of the Oligocene volcanics from central Rhodope massif (N. Greece). *Eur. J. Mineral.*, 7, 1169-1182.
- Eleftheriadis, G. & Lippolt, H.I. (1984). Altersbestimmungen zum oligozanen Vulkanismus der Sud-Rhodopen/Nord-Griechenland. *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*, 399-409.

- Eleftheriadis, G., Christofides, G. & Papadopoulos, P. (1989b). Petrology and geochemistry of Leptokarya-Kirki plutonic intrusions in the NE Rhodope massif, Thrace, Greece. *Geologica Rhodopica*, 1, 280-289.
- Eleftheriadis, G., Frank, W. & Petrakakis, K. (2001). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and cooling history of the Pangeon granitoids, Rhodope Massif (Eastern Macedonia, Greece). *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXIV/3, 911-916.
- Eleftheriadis, G., Pe-Piper, G. & Christofides, G. (1995). Petrology of the Philippi granitoid rocks and their microgranular enclaves (East Macedonia, North Greece). *Geol. Soc. Greece, Sp. Publ.*, No. 4.
- Eleftheriadis, G., Christofides, G., Mavroudchiev, B., Nedyalkov, R., Andreev, A. & Hristov, L. (1989a). Tertiary volcanics from the East Rhodope in Greece and Bulgaria. *Geologica Rhodopica*, 1, 202-217.
- Elkins, L.T. & Grove, T.L. (1990). Ternary feldspar experiments and thermodynamic models. *AM Mineral*, 75, 544-559.
- Epitropou, N. & Chatzipanagis, I. (1987). Mineral exploration in Drama area, Mn-mineralizations. Unpublished IGME internal report, Xanthi branch (in greek).
- Evangelakakis, C., Kroll, H., Voll, G., Wenk, H.R., Meishenge, H. & Köpcke, J. (1993). Low-temperature coherent exsolution in alkali feldspars from high-grade metamorphic rocks of Sri Lanka. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 114, 519-532.
- Fuhrman, M.L. & Lindsley, D.H. (1988). Ternary feldspar modeling and thermometry. *AM mineral*, 73, 201-215.
- Gordon, T.M. (1992). Generalized thermobarometry: solution of the inverse chemical equilibrium problem using data for individual species. *GEOCHIM COSMOCHIM ACTA*, 56, 1793-1800.
- Hammarstrom, J.M. & Zen, E-an. (1986). Aluminum in hornblende an empirical igneous geobarometer. *AM Mineral*, 71, 1297-1313.
- Harrison, T.M. & Watson, E.B. (1984). The behavior of apatite during crustal anatexis: equilibrium and kinetic considerations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 1467-1477.

- Haselton, H.T., Hovis, G.L., Hemingway, B.S. & Robie, R.A. (1983). Calorimetric investigation of the excess entropy of mixing in analbite-sanidine solid solutions: lack of evidence for Na, K, short-range order and implications for two-feldspar thermometry. *AM Mineral*, 68, 398-413.
- Holland, T. & Blundy, J. (1994). Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contrib. Mineral Petrol.*, 116, 433-447.
- Hollister, L.S., Grissom, G.C., Peters, E.K., Stowell, H.H. & Sisson, V.B. (1987). Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *AM Mineral*, 72, 231-239.
- Innocenti, F., Kolios, N., Manetti, P., Mazzuoli, R., Rita, F. & Villari, L. (1984). Evolution and geodynamic significance of the Tertiary orogenic volcanism in northeastern Greece. *Bull. Volcan.*, 47, 25-37.
- Ιωαννίδης, Ν., Χατζηδημητριάδης, Ε., Μουντράκης, Δ. και Κίλιας, Α. (1998). Η μελέτη χαμηλής μεταμόρφωσης Νεοπαλαιοζωικών έως κάτω Μεσοζωικών ιζημάτων στην περιοχή της Νέας Μάκρης, Δυτικά της Αλεξανδρούπολης, Δυτική Θράκη, Ελλάδα. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.* XXXII/3, 79-89.
- Johnson, M.C. & Rutherford, M.J. (1989). Experimental calibration of an aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, 17, 837-841.
- Jones, C.E., Tarney, J., Baker, J.H. & Gerouki, F. (1992). Ternary granitoids of Rhodope, northern Greece: magmatism related to extensional collapse of the Hellenic Orogen? *Tectonophysics*, 210, 295-314.
- Karfakis, I. & Doutsos, T. (1995). Late orogenic evolution of the Circum-Rhodope Belt, Greece. *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*, H.5, 305-319.
- Karistineos, N. & Sotiriades, L. (1987). Contribution to the East Mediterranean-Tethys evolution. The Rhodope-Servomacedonian massifs boundary. *Abstract. Terra Cognita*, 7, 2-3, 107.
- Katirtzoglou, K. (1986). The metallogenesis of the Tertiary sulphide mineralization of the Esiimi region, Evros Country. Ph. D. Thesis, Univ. of Athens, 176 pp. [in Greek with English abstract].

- Kilias, A. & Mountrakis, D. (1990). Kinematics of the crystalline sequences in the Western Rhodope massif. *Geol. Rhodopica*, 2, 100-116.
- Kockel, F. & Walter, H.W. (1965). Die Strymon-linie als Grenze zwischen Servo-Macedonischen und Rila- Rhodope Massiv in Ost Mazedonien. *Geol. Jb.*, 83, 575-602.
- Kokkinakis, A. (1977). Das intrusivgebiet des Symvolon-Gebirges und von Kavala in Ostmakedonien, Griechenland, Ph. D, Thesis, Ludwig-Maximilians Univ. Munchen, 268 pp.
- Kokkinakis, A. (1980). Altersbeziehungen zwischen Metamorphosen, mechanischen Deformationen und Intrusionen am Sudrand des Rhodope Massivs (Macedonien, Griechenland). *Geol. Rudsch.*, 69, 726-744.
- Kolocotroni, C. (1992). The emplacement and petrogenesis of the Vrontou granitoid pluton, Rhodope massif, NE Greece. Ph.D. Thesis, Univ. of Edinburgh, 425 pp.
- Kolocotroni, C. & Dixon, J.E. (1991). The origin and emplacement of the Vrontou granite, Serres, N.E. Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXV/1, 469-483.
- Koroneos, A. & Eleftheriadis, G. (2002). Mineralogical constraints on the petrogenesis of the Pangeon granitoids (Central Macedonia, northern Greece). *Geologica Balcanica*, 32, 1, 13-29.
- Κοτοπούλη, Κ. (1981). Οι εμφανίσεις των μαγματικών πετρωμάτων Σκαλωτής-Παρανεστίου, Ελληνική Ροδόπη. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πάτρας, 225 σ.
- Kotopouli, C.N. & Pe-Piper, G. (1989). Geochemical characteristics of felsic intrusive rocks of the Hellenic Rhodope: a comparative study and petrogenetic implications. *N. Jb. Miner. Abh.*, 161, 141-169.
- Kotopouli, C. N., Pe-Piper, G. & Katagas, C.G. (1991). The metamorphism and migmatization of the Xanthe-Echinos metamorphic complex, Central Rhodope, Greece. *Lithos*, 27, 79-93.
- Koukouvelas, J. & Doutsos, T. (1990). Tectonic stages along a traverse cross-cutting the Rhodopian Zone (Greece). *Sonderdr. Geol. Rundsch.*, 79, 753-776.

- Koukouvelas, J. & Pe-Piper, G. (1991). The Oligocene Xanthi pluton, northern Greece: a granodiorite emplacement during regional extension. *J. Geol. Soc. London*, 148, 749-758.
- Koukoulzas, G. (1972). Le chevanchemeh de Strymon dans la région de la frontière Greco-Bulgare. *Deuts. Z. Geol. Ges.*, 2, 123, 343-347.
- Kroll, H. Evangelakakis, C. & Voll, G. (1993). Two-feldspar geothermometry: a review and revision for slowly cooled rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 114, 510-518.
- Kronberg, P. & Raith, M. (1977). Tectonics and metamorphism of the Rhodope crystalline complex in the Eastern Greek Macedonia and parts of Western Thrace. *Jb. Geol. Palaont. Mh.*, 11, 697-704.
- Κυριακόπουλος, Κ. (1987). Γεωχρονολογική-Γεωχημική-Ορυκτολογική μελέτη Τριτογενών πλουτώνιων πετρωμάτων της μάζας της Ροδόπης και ισοτοπικοί χαρακτήρες αυτών. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 343 σ.
- Kyriakopoulos, K., Pezzino, A. & Del Moro, A. (1989). Rb-Sr geochronological, petrological and structural study of the Kavala plutonic complex (N. Greece). *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXIII/2, 545-560.
- Leake, B.E. (1971). On aluminous and edenitic hornblendes. *Mineral. Mag.*, 42, 533-563.
- Leake, B.E. (1978). Nomenclature of amphiboles for Subcommittee on Amphiboles, I.M.A. *Mineral. Mag.*, 42, 533-563.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Lithout, K., Laird, J., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stefenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. & Youzhi, G. (1997). Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on the new minerals and mineral names. *Eur. J. Mineral.*, 9, 623-651.

- Le Maitre, R.W. (1989). A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell Scientific Publications, 193 p.
- Lenharo, S. L. R., Pollard, P. J. & Helmut, B. (2003). Petrology and textural evolution of granites associated with tin and rare-metals mineralization at the Pitinga mine, Amazonas, Brazil. *Lithos*, 66, 37-61.
- Liati, A. (1986). Regional metamorphism and overprinting contact metamorphism of the Rhodope zone, near Xanthi (N. Greece). Petrology, Geochemistry, Geochronology. Ph.D. Thesis, Technical University of Braunschweig, Braunschweig.
- Liati, A. & Mposkos, E. (1989). Petrological evolution of the eclogites of Rhodope, N. Greece. Third Intern. Eclogite Conference, Würzburg (abstract).
- Liati, A. & Mposkos, E. (1990). Evolution of the eclogites in the Rhodope zone of the northern Greece. *Lithos*, 25, 89-99.
- Liati, A. & Seidel, E. (1994). Sapphirine and högbomite in overprinted kyanite eclogites of central Rhodope, northern Greece; first evidence of granulite-facies metamorphism. *Eur. J. Mineral.* 6, 733-738.
- Liati, A., Gebauer, D. & Wysoczanski, R. (2002). U-Pb SHRIMP- dating of zircon domains from UHP garnet-rich mafic rocks and late pegmatoids in the Rhodope zone (N. Greece): evidence for Early Cretaceous crystallization and Late Cretaceous metamorphism. *Chemical Geology*, 184, 281-299.
- Μαγκανάς, Α. (1988). Μελέτη της ορυκτολογίας, πετρολογίας, γεωχημείας και των φαινομένων μεταμορφώσεως βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων της Περιοδοπικής Ζώνης στην περιοχή της Θράκης. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 333σ.
- Magganas, A., Sideris, C. & Kokkinakis, A. (1991). Marginal basin-volcanic arc origin of metabasic rocks of the Circum-Rhodope Belt, Thrace, Greece. *Min. & Petr.*, 44, 235-252.
- Μαράκης, Γ. (1969). Γεωχρονολογήσεις επί γρανιτών της Μακεδονίας. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 21, 121-152.

- Mavroudchiev, B., Nedyalkon, R., Eleftheriadis, G., Soldatos, T. & Christofides, G. (1993). Tertiary plutonic rocks from east Rhodope in Bulgaria and Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXVIII/2, 643-660.
- Melidonis, N.G (1969). The peat-lignite deposit of Philippi, Macedonia, Greece. *Geol. Geoph. Res.*, XII, No 3, IGME, Athens.
- Meyer, W. (1968). Zur Alterstellung des plutonismus in Sudteil des Rila-Rhodope-Masse (Nordgriechenland). *Geol. Palaont.*, 2, 173-192.
- Miller, C.F., Stoddard, E.F., Bradfish, L.J., Dollase, W.A. (1981). Composition of plutonic muscovite: genetic implication. *Canadian Mineral.*, 19, 25-34.
- Morimoto, N. (1989): Nomenclature of pyroxenes. Subcommittee on pyroxenes. Commission on new minerals and mineral names. International Mineralogical Association. *Canadian Mineral.*, 27, 143-156.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Aoki, K. & Gottardi, G. (1988). Nomenclature of pyroxenes. *Mineral. Mag.*, 52, 535-550.
- Mposkos, E. (1989). High-pressure metamorphism in gneisses and pelitic schists in the east Rhodope zone (N. Greece). *Mineral. Petrol.*, 41, 25-39.
- Mposkos, E. & Doryphorou, K. (1993). High temperature skarns in the Maronia area (NE Greece). *Bull. Geol. Soc. Greece*. XXVIII/2, 23-35.
- Mposkos, E. & Kostopoulos, D. (2001). Diamonod, former coesite and supersilicic garnet in metasedimentary rocks from the Greek Rhodope: a new ultrahigh-pressure metamorphic province established. *Earth Planet. Sci. Letters*, 192, 497-506.
- Mposkos, E. & Liati, A. (1993). Metamorphic evolution of metapelites in the high-pressure terrane of the Rhodope zone Northern Greece. *Can. Mineral.*, 31, 401-424.
- Mposkos, E., Dimades, E. & Perdikatsis, V. (1986). Contribution to the study of the Rhodope metamorphic basement between Xanthi-Iasmos and the Greek-Bulgarian borders. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XX/2, 275-291.
- Μπόσκος, Ε., Ηλιάδης, Α. και Περδικάτσης, Β. (1988). Πετρολογία των μεταμορφωμένων υπερμαφικών πετρωμάτων της Ανώτερης Τεκτονικής

- ενότητας στην ανατολική Ροδόπη. Συμβολή στη μεταμορφική εξέλιξη της Ροδοπικής ζώνης. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., XXX/1, 241-254.
- Mposkos, E., Liati, A., Katagas, C. & Arvanitides, N. (1990). Petrology of the metamorphic rocks of Western Rhodope, Drama area, N. Greece. *Geol. Rhodopica*, 2, 127-141.
- Neiva, A.M.R., Christofides, G., Eleftheriadis, G. & Soldatos, T. (1996). Geochemistry of granitic rocks and their minerals from Kavala pluton, Northern Greece. *Chem. Erde.*, 56, 117-142.
- Nimis, P. (1995). A clinopyroxene geobarometer for basaltic systems based on crystal-structure modeling. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 121, 115-125.
- Nimis, P. (1999). Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks. Part 2. Structural geobarometers for basis to acid, tholeiitic and mildly alkaline magmatic systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 135, 62-74.
- Nimis, P. & Ulmer, P. (1998). Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks. Part 1. An expanded structural geobarometer for anhydrous and hydrous, basic and ultrabasic systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 133, 122-135.
- Νταγκουνάκη, Κ. (2000). Ο πλουτωνίτης του Πανοράματος Δράμας. Ορυκτολογία-Πετρολογία-Γεωχημεία. Διπλωματική εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Παπαδάκης, Α. (1965). Ο πλουτωνίτης της περιοχής Σερρών-Δράμας. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη, 130σ.
- Παπαδοπούλου, Λ. (2003). Ισορροπία ορυκτών φάσεων, συνθήκες κρυστάλλωσης και εξέλιξη του πλουτωνίτη της Μαρώνας. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη, 118-138.
- Papanikolaou, D. (1984). The three metamorphic belts of the Hellenides. In: *Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Eds. Dixon, J.E. & Robertson, A.H.F., *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 17, 551-566.
- Papanikolaou, D. & Panagopoulos, A. (1981). On the structural style of the Southern Rhodope. *Geol. Balc.*, 11, 13-22.
- Παπανικολάου, Δ., Sassi, F.P. και Σκαρπέλης, Ν. (1982). Επί των προ-αλπικών μεταμορφώσεων στην Ελλάδα. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 31, 16-31.

- Papazachos, C.B. (1998). Crustal and upper mantle P and S velocity structure of the Serbomacedonian massif (northern Greece). *Geophys. J. Letters*, 134, 25-39.
- Papazachos, C.B. & Skordilis, E.M. (1998). Crustal structure of the Rhodope and surrounding area obtained by non-linear inversion of P and S travel times and its tectonic implications. In: Christofides G, Marchev P, Serri G (eds): Tertiary magmatism of the Rhodopian region. Spec. vol., *Acta Vulcanological*, 10, 339-345.
- Perkins, D., Essene, E.J. & Wall, V.J. (1987). THERMO: a computer program for calculation of mixed volatile equilibria. *AM MINERAL*, 72, 446-447.
- Perring, C.S., Pollard, P.J. & Nunn, A.J. (2001). Petrogenesis of the Squirrel Hills granite and associated magnetite-rich sill and vein complex: Lightning creek prospect, Cloncurry district, Northwest Queensland. *Precambrian Research*, 106, 213-238.
- Πομόνη-Παπαϊωάννου, Φ. και Παπαδόπουλος, Π. (1988). Ιζηματολογική μελέτη των ανθρακικών πετρωμάτων της Μεταϊζηματογενούς σειράς της ενότητας Μάκρης (ΝΑ Ροδόπη). *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*, XX, 2, 429-447.
- Powell, R.E. & Holland, T.J.B. (1988). An internally consistent dataset with uncertainties and correlations: 3. Applications to geobarometry, worked examples and a computer program. *J METAMORPH GEOL*, 6, 173-204.
- Ricou, L.E., Burg, J.P., Godfriaux, I. & Ivanow, Z. (1988). Rhodope and Vardar: the metamorphic and the olistromic paired belts related to the Cretaceous subduction under Europe, *Geodinamica Acta*, 11, 6, 285-309.
- Schmidt, M.W. (1992). Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental study at 650 °C. *AM J SCI*, 293, 1011-1060.
- Schultz, B. (1992). Syntectonic heating and loading deduced from microstructures and mineral chemistry in micas schists and amphibolites of the Pangeon Complex (Thasos Island, Northern Greece). *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.*, 184, 181-201.

- Σιδέρης, Κ. (1975). Αναζήτηση ιδιαίτερων χαρακτήρων εις πλουτωνίτας και ηφαιστίτας ανατολικής ζώνης Ροδόπης. Σχέσεις ηφαιστειότητας και πλουτωνίου δράσεως. Διατριβή επί Υψηγεία, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 108σ.
- Σκλαβούνος, Σ (1981). Ο γρανίτης του Παρανεστίου (Ορυκτολογία-Πετρογραφία). Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Επιστ. Επετ. της Φυσικομαθηματικής Σχολής, Παράρτημα 33, Τόμος 20, 175 σ.
- Sokoutis, D., Brun, J.P., van den Driessche, J. & Pavlides, S. (1993). A major Oligo-Miocene detachment in southern Rhodope controlling north Aegean extension. *J. Geol. Soc. London*, 150, 243-246.
- Σολδάτος, Τ. (1985). Πετρολογία και γεωχημεία του πλουτωνίτη της Ελατιάς (Κεντρική Ροδόπη). Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Επιστ. Επετ. της Σχολής Θετικών Επιστημών, Παράρτημα 37, Τόμος 23, 303σ.
- Soldatos, T., Poli, G., Christofides, G., Eleftheriadis, G., Koroneos, A. & Tomassini, S. (1998). Petrology and evolution of transitional alkaline-subalkaline granitoids from Vrontou (NE Greece): Evidence for fractional crystallization and magma mixing. *Acta Vulcanol.*, 10, 2, 319-330.
- Soldatos, T., Koroneos, A., Christofides, G. & Del Moro, A. (2001a). Geochronology and origin of the Elatia plutonite (Hellenic Rhodope Massif, N. Greece) constrained by new Sr isotopic data. *N. Jb. Min. Abh.*, 176, 179-209.
- Soldatos, T., Koroneos, A., Del Moro, A. & Christofides, G. (2001b). Evolution of the Elatia plutonite (Hellenic Rhodope Massif, N. Greece). *Chem. Erde*, 61, 92-116.
- Spear, F.S. (1981). Amphibole-plagioclase equilibria: an empirical model for the reaction albite+tremolite=edenite+4quartz. *Contrib. Mineral Petrol.*, 77, 355-364.
- Stormer, J.C. (1975). A practical two-feldspar thermometer. *AM Mineral*, 60, 667-674.
- Streckeisen, A. (1967). Classification and nomenclature of igneous rocks (Final report of an inquiry). *N. Jb. Min. Abh.*, 107, 144-214, 215-240.

- Streckeisen, A. & Le Maitre, R.W. (1979). A chemical approximation to the modal QAPF classification of igneous rocks. *Neues Jahrb. Mineral. Abh.*, 136, 169-206.
- Theodorikas, S. (1982). The mineralogy, petrology and geochemistry of the Serres-Drama granitic complex, Northern Greece. Ph.D Thesis, University of Keele. In: *Sci. Ann. Phys. Math., Univ. Thessaloniki*, 22, No 28, Thessaloniki 1983, 415 pp.
- Tranos, M.D., Kilias, A.A. & Mountrakis, M. (1999). Geometry and kinematics of the Tertiary post-metamorphic Circum Rhodope Belt Thrust System (CRBTS) Northern Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXIII, 5-16.
- Tuttle, O. F. & Bowen, N. L. (1958). Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O . *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 74, 145 p.
- Valdecir de Assis Janasis (2002). Elemental and Sr-Nd isotope geochemistry of two Neoproterozoic mangerite suites in SE Brasil: implications for the origin of the mangerite-charnockite-granite series. *Precambrian Research*, 119, 301-327.
- Valley, J.W. & Essene, E.J. (1980). Calc-silicate reactions in Adirondack marbles: the role of fluids and solid solution. *BULL GEOL SOC AM*, 91, 114-117.
- Watson, E.B. & Harrison, T.M. (1983). Zircon saturation revisited: temperature and compositional effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planet Sci Lett*, 64, 295-304.
- Whitney, J.A. & Stormer, J.C.Jr. (1977a). The distribution of $\text{NaAlSi}_3\text{O}_9$ between coexisting microcline and plagioclase and its effect on geothermometric calculations. *AM Mineral*, 62, 687-691.
- Whitney, J.A. & Stormer, J.C.Jr. (1977b). Two-feldspar Geothermometry, Geobarometry in Mesozonal Granitic Intrusions: Three Examples from the Piedmont of Georgia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 63, 51-64.
- Χατζηδημητριάδη, Ε.Α. και Κελεπερτζής, Α.Ε. (1984). Συμβολή στην γνώση της Γεωλογίας της Ελλάδος. Εσωτερικές Ελληνίδες Ζώνες και εφαρμογή της θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών. *Ορυκτός πλούτος*, 33, 41-58.

- Χριστοφίδης, Γ. (1977). Συμβολή εις την μελέτην των πλουτωνικών πετρωμάτων της περιοχής Ξάνθης. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 249σ.
- Zachos, S. & Demades, E. (1983). The geotectonic position of the Scaloti-Echinos granite and its relationship to the metamorphic formation of Greek Western and Central Rhodope. *Geol. Balc.*, 13(5), 17-24.
- Zen, E-an. (1988). Phase relations of peraluminous granitic rocks and their petrogenetic implications. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 16, 21-51.
- Zen, E-an & Hammarstrom, J. M. (1988). Pumbling the depths of plutons by magmatic epidote-hornblende association: a cautionary review and example from Round Valley Pluton, Western Idaho. *Geol. Soc. Am. Abstracts with Program*, 20, 475-476.