

ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ Η ΜΕΤΑΛΛΟΓΕΝΕΣΗ ΤΩΝ ΗΦΑΙΣΤΙΤΩΝ ΤΗΣ ΤΑΦΡΟΥ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΤΩΝ/ΜΑΡΩΝΕΙΑ, Δ. ΘΡΑΚΗ

Αρίκας Κ.¹, Βουδούρης Π.², Kloos R.M.¹, και Tesch Ch.¹

¹ *Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Hamburg, D-20146 Hamburg, mi9a004@mineralogie.uni-hamburg.de*

² *Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 15784 Αθήνα, voudouris@geol.uoa.gr*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Απο τη πετρογραφική, ορυκτολογική και γεωχημική σύγκριση τριτογενών ηφαισπιτών της Τάφρου των Πετρωτών/Μαρώνειας προκύπτουν: α) μια υψηλού καλίου ασβεσταλκαλική ομάδα (ανδεδσίτες-δακίτες), β) μια σωσονιτική ομάδα (σωσονιτικοί ανδεδσίτες, τραχυτικές λάβες, γ) ρυοδακίτικοι ιγνιμβρίτες και ιγνιμβριτικοί τόφφοι με υψηλού καλίου ασβεσταλκαλική έως σωσονιτική συγγένεια, και δ) ρυόλιθοι. Πηγή τροφοδοσίας των σωσονιτικών ηφαισπιτών και των ρυολίθων αποτέλεσε πιθανόν το γειτονικό πλουτώνιο σύμπλεγμα της Μαρώνειας (μονζονίτες, μικρογρανίτης). Αντίθετα η ασβεσταλκαλική σειρά σχετίζεται γεωχημικά και πετρογραφικά με την ανάπτυξη αντίστοιχων ηφαισπιτών στη γειτονική περιοχή Μέστης-Κασσιτερών. Για την πετρογένεση των ηφαισπιτών της τάφρου προτείνονται διαδικασίες μαγματικής διαφοροποίησης λόγω κλασματικής κρυστάλλωσης και/ή μαγματικής ανάμειξης. Οι επιθερμικές μεταλλοφορίες στη Μαυροκορυφή, το λόφο Περάματος και το Οδοντωτό συνδέονται γενετικά με τον φλοιικής προέλευσης ρυολιθικό μαγματισμό της περιοχής.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τάφρος των Πετρωτών/Μαρώνεια στο Ν. Ροδόπης περί τα 20 km δυτικά της Αλεξανδρούπολης σχηματίσθηκε κατά την διάρκεια του Ανω Ηώκαινου-Ολιγόκαινου σαν αποτέλεσμα εφελευστικού τεκτονισμού που ακολούθησε την μετα-ορογενετική κατάρρευση της Ροδοπικής μάζας. Η τάφρος αναπτύχθηκε πάνω στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο της ενότητας Μάκρης (Παπαδόπουλος 1982). Ένα σημαντικό τμήμα της καλύπτεται από ηφαιστειακά προϊόντα με χαρακτηριστικά μαγματιών ηπειρωτικού περιθωρίου. Τα υπόλοιπα 15 km² κυριαρχούνται από ένα γαββρικό σύμπλεγμα που έχει περιγραφεί από Biggazi et al. (1987) και Frass et al. (1990). Μεσο-Ηωκαινικά κροκαλοπαγή και νομμουλιτοφόροι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται στα νότια και βόρεια της τάφρου. Στα βορειοανατολικά και μεταξύ Περάματος-Μέστης και Συκοράχης ένα μικρότερης έκτασης τεκτονικό βύθισμα συνδέει την τάφρο με την περιοχή Κασσιτερών/Σατών.

Στη παρούσα εργασία δίνεται μια ορυκτολογική, πετρογραφική και γεωχημική σύγκριση των τριτογενών ηφαισπιτών της τάφρου των Πετρωτών που προέκυψε στα πλαίσια διατριβών στο Πανεπιστήμιο Αμβούργου (Kloos 1991, Hegewald 1991, Tesch 1991, Voudouris 1993). Επιπλέον γίνεται συσχέτιση των διαφόρων πετρολογικών τύπων με τις επιθερμικές ζώνες εξαλλοίωσης και με τις συνδεδεμένες μεταλλοφορίες επιθερμικού χρυσού.

2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Αναλύσεις κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων έγιναν με την μέθοδο φθορισμετρίας ακτίνων-Χ (XRF). Οι αναλύσεις έγιναν σε δισκία συντήξεως πετρώματος με φασματόμετρο τύπου Phillips PW 1220 στο Ινστιτούτο Ορυκτολογίας-Πετρογραφίας του Πανεπιστημίου Αμβούργου χρησιμοποιώντας διεθνή πρότυπα.

Ο χαρακτηρισμός των ορυκτολογικών συστατικών και ο χημισμός των πετρογενετικών ορυκτών έγινε με βάση μικροαναλύσεις που έγιναν με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή Cameca SX-100 WDS στο Ινστιτούτο Ορυκτολογίας–Πετρογραφίας του Πανεπιστημίου Αμβούργου.

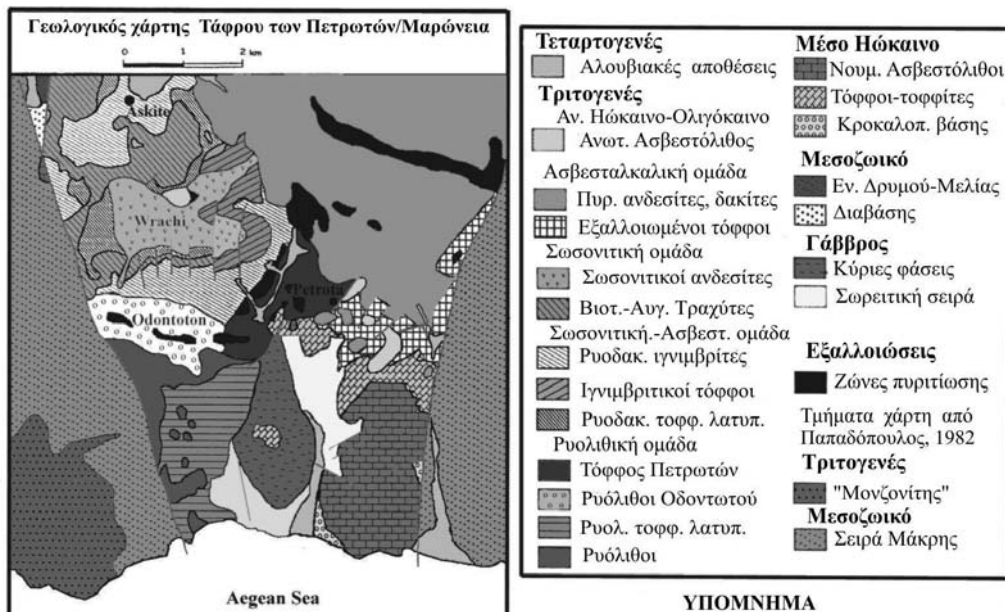
3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η πετρογραφική-γεωχημική μελέτη καθώς και οι γεωλογικές παρατηρήσεις οδηγούν στην ταξινόμηση των ηφαισπιτών και πυροκλαστικών σε τέσσερις κύριες ομάδες πετρωμάτων (Σχ. 1): την υψηλού καλίου ασβεσταλκαλική ομάδα (πυροξενικοί ανδεσίτες, δακίτες) στο βορειοανατολικό τμήμα και στο γειτονικό βύθισμα μεταξύ Περάματος και Κασσιτερών, τη σωσονιτική ομάδα (πυροξενικοί-βιοπτικοί ανδεσίτες, τραχύτες) και τους ρυοδακίτες με σωσονιτική έως υψηλού καλίου ασβεσταλκαλική συγγένεια στο βορειοδυτικό τμήμα, και τέλος τη ρυολιθική ομάδα που εξαπλώνεται κυρίως στο νοτιοδυτικό και κεντρικό τμήμα της τάφρου των Πετρωτών.

3.1 Ασβεσταλκαλική ομάδα

3.1.1 Πυροξενικοί ανδεσίτες και αυγιτικοί-κεροσιλβικοί δακίτες

Απαντούν τόσο σαν εκχύσεις όσο και υπό μορφή διεισδύσεων. Οι πυροξενικοί ανδεσίτες αποτελούνται από φαινοκρυστάλλους πλαγιοκλάστων, κλινο- και ορθοπυροξένων σε κυρία μάζα από γυαλί και μικρόλιθους. Σύμφωνα με Lescuyer et al. (2003) χαρακτηρίζουν ροές λάβας και υαλοκλαστίτες που αποτέθηκαν σε ένα υδάτινο περιβάλλον. Οι αυγιτικοί-κεροσιλβικοί δακίτες αντιπροσωπεύουν τα δακίτικα μέλη της σειράς αυτής. Στα μαφικά ορυκτά ανήκουν οι κλινοπυρόξενιοι, οι αμφίβολοι και λίγοι βιοπτικοί. Η κυρία μάζα είναι υαλώδης και αποτελείται από μικρόλιθους πλαγιοκλάστων.



Σχήμα 1. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της τάφρου των Πετρωτών (τροποποιημένος από Arikas & Voumouris 1998)

3.2 Σωσονιτική ομάδα

3.2.1 Πυροξενικοί-βιοιτιτικοί ανδεδσίτες

Οι πυροξενικοί-βιοιτιτικοί ανδεδσίτες αποτελούν τα προϊόντα πολυάριθμων μαγματικών επεισοδίων που σχημάτισαν ροές λάβας, τόφφους καθώς και ένα υποηφαιστειακό σώμα. Στα ανατολικά, οι πυροξενικοί-βιοιτιτικοί ανδεδσίτες είναι έκχυτα πετρώματα και φαίνεται να καλύπτουν δακτυλικούς τόφφους και λάβες, ενώ στα δυτικά διεισδύουν στους τραχύτες. Οι φαινοκρύσταλλοι είναι πλαγιόκλαστα, βιοτίτης και κλινοπυρόξενοι. Η μικρολιθική κυρία μάζα περιλαμβάνει κυρίως βελόνες Κούχου αστρίου και διάσπαρτα οξειδία του σιδήρου.

3.2.2 Τραχύτες

Διακρίθηκαν δύο τύποι: οι βιοιτιτικοί-αυγιτικοί τραχύτες και βιοιτιτικοί-αυγιτικοί-κεροστιλβικοί τραχύτες. Πρόκειται για ροές (τοπικά δόμους) λάβας με έντονη κατάτμηση και χρώματος μαύρου σε υγιή κατάσταση. Οι κύριοι φαινοκρύσταλλοι είναι πλαγιόκλαστα και ακολουθούν οι κλινοπυρόξενοι, αμφίβολοι και ο βιοτίτης. Ο χαλαζίας και το σανίδινο παρατηρούνται σπάνια. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των περισσοτέρων δειγμάτων αυτής της ενότητας είναι η παρουσία δύο διαφορετικών τύπων γυαλιού στην κύρια μάζα που αντανακλάται πολύ καθαρά στην ρευστική δομή. Οι δύο τύποι γυαλιού φαίνονται καθαρά σε οξειδωμένα δείγματα όπου μακροσκοπικά διακρίνονται κόκκινες και μαύρες στρώσεις. Στο μικροσκόπιο διακρίνεται μια υγιής άχρωμη και μια οξειδωμένη κόκκινη έως καστανή ποικιλία γυαλιού.

3.3 Υψηλού καλίου ασβεσταλκαλική έως σωσονιτική ομάδα

3.3.1 Ρυοδακίτικοι ιγνιμβρίτες και ιγνιμβριτικοί τόφφοι

Οι ρυοδακίτικοι ιγνιμβρίτες βρίσκονται στη βάση της σωσονιτικής ομάδας. Είναι ελαφρά συνεκτικοποιημένα πετρώματα λευκού χρώματος χωρίς καλή στρώση. Στους ανώτερους ορίζοντες περιέχουν βόμβες μεγέθους αρκετών δεκάδων cm. Στους κατώτερους ορίζοντες χαρακτηρίζονται σαν ιγνιμβρίτες πλούσιοι σε φαινοκρυστάλλους (30-40% κ.ο). Περιλαμβάνουν κυρίως σπασμένους και διαβρωμένους άστριους και χαλαζία. Οι ιγνιμβριτικοί τόφφοι συγκρινόμενοι με τους προαναφερθέντες ρυοδακίτικούς τόφφους βάσης, είναι πιο σκουρόχρωμοι και καλύτερα στρωμένοι.

3.4 Ρυολιθική ομάδα

3.4.1 Ρυόλιθοι

Οι ρυόλιθοι αναπτύσσονται κυρίως στο ΝΔ τμήμα της τάφρου. Στο μικροσκόπιο υπολείμματα θραυσμάτων γυαλιού υποδεικνύουν τον αρχικό ιγνιμβριτικό χαρακτήρα των πετρωμάτων αυτών. Οι φαινοκρύσταλλοι κυριαρχούνται από μαγματικά διαβρωμένους φαινοκρυστάλλους χαλαζία, Κούχου αστρίου, πλαγιόκλαστα και βιοτίτες που έχουν υποστεί αργλική εξαλλοίωση (σερικήτης, καολινίτης).

3.4.2 Ρυολιθικό τοφφικό λατυποπαγές, τόφφος Πετρωτών, σειρές Οδοντωτού

Το ρυολιθικό τοφφικό λατυποπαγές, ο τόφφος των Πετρωτών και οι ρυολιθικές σειρές του Οδοντωτού ταξινομούνται σαν μία ενιαία ομάδα. Το ρυολιθικό τοφφικό λατυποπαγές σχετίζεται με τους γειτονικούς ρυολίθους. Οι φαινοκρύσταλλοι και η κυρία μάζα και στους δύο πετρολογικούς τύπους είναι ίδια. Το τοφφικό λατυποπαγές διαφοροποιείται στο ότι περιλαμβάνει συστατικά από παλαιότερους σχηματισμούς. Ο τόφφος των Πετρωτών καταλαμβάνει τον ομώνυμο λόφο και την έκταση στα δυτικά και ΝΔ των Πετρωτών κυρίως με μορφή πυριτικών καλυμμάτων. Ο τόφφος των Πετρωτών περιέχει φαινοκρυστάλλους μαγματικού χαλαζία και λατύπες κυρίως από το υπόβαθρο. Στο μικροσκόπιο μερικά δείγματα έχουν σαφή ιγνιμβριτικό χαρακτήρα. Η ετερογενούς σύστασης σειρά του Οδοντωτού καταλαμβάνει την έκταση γύρω από την ομώνυμη ράχη. Τη σειρά αυτή διαπερνά στο Οδοντωτό έντονα υδροθερμικά εξαλλοιωμένο (πυριτίωση, αλουινίωση) ρυολιθικό dike διεύθυνσης περίπου Α-Δ.

4 ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

Η γεωχημεία των ηφαισπιτών της τάφρου των Πετρωτών ερευνήθηκε στη βάση 82 χημικών αναλύσεων κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων. Επιλεγμένες χημικές αναλύσεις από υγιείς μαγματίτες της τάφρου των Πετρωτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Το σχήμα 3 παρουσιάζει τη κατανομή επιλεγμένων κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων ως προς το SiO_2 . Με βάση το διάγραμμα SiO_2 vs Zr/TiO_2 του σχήματος 3 (Winchester & Floyd 1977), οι ηφαιστίτες των Πετρωτών χαρακτηρίζονται σαν ανδεσίτες, τραχυανδεσίτες, ρυοδακίτες έως ρυόλιθοι. Σύμφωνα με την ταξινόμηση των Peccerillo & Taylor (1976) οι πυροξενικοί ανδεσίτες και αυγιτικοί-κεροστιλβικοί δακίτες ταξινομούνται στις ασβεσταλκαλικές έως υψηλού καλίου ασβεσταλκαλικές σειρές, ενώ οι πυροξενικοί-βιοτιτικοί ανδεσίτες και οι τραχυτικές λάβες στη σωσονιτική σειρά (βλέπε σχήμα 3, SiO_2 vs K_2O). Οι ρυοδακίτικοι ιγνιμβρίτες παρουσιάζουν υψηλό καλίου ασβεσταλκαλική έως σωσονιτική συγγένεια και συνδέονται γεωχημικά με τους τραχύτες. Τέλος οι ρυόλιθοι και οι ρυολιθικοί τόφφοι αποτελούν ανεξάρτητη ενότητα. Στα διαγράμματα έχουν προβληθεί για λόγους σύγκρισης και οι ασβεσταλκαλικοί μαγματίτες από τη γειτονική μεταλλοφόρο περιοχή Κασσιτερών που αποτελεί τη βορειοανατολική προέκταση της τάφρου των Πετρωτών. Οι πετρογραφικές ομάδες που περιγράφονται στη τάφρο των Πετρωτών (και τη περιοχή Κασσιτερών) διακρίνονται καθαρά στη βάση της κατανομής των ιχνοστοιχείων Ba, Zr, Nb, Th (και Rb, Sr, Pb) ως προς το SiO_2 .

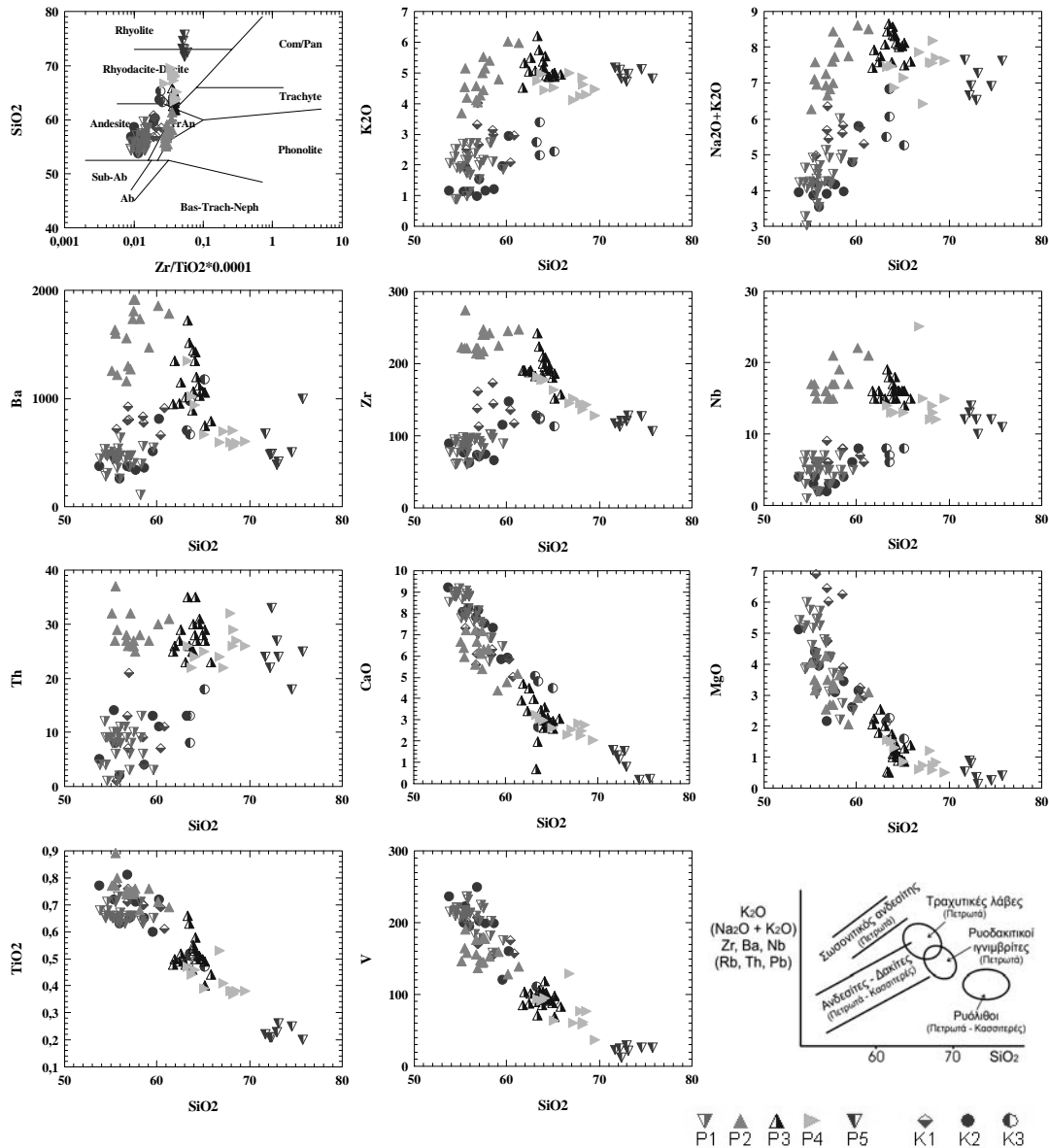
Πίνακας 1. Επιλεγμένες χημικές αναλύσεις κύριων στοιχείων (κ.β%) και ιχνοστοιχείων (ppm) από υγιείς ηφαιστίτες της τάφρου των Πετρωτών.

Sample	A13	SA01	SA13	D03	D09	RD04	RD09	R05
SiO_2	54,35	57,61	55,42	64,09	61,74	63,36	69,49	75,74
TiO_2	0,66	0,76	0,77	0,53	0,48	0,47	0,38	0,2
Al_2O_3	14,05	14,97	15,62	14,87	15,13	14,86	14,72	12,51
Fe_2O_3	2,02	5,31	5,44	4	3,03	2,51	2,94	1,15
FeO	5,60	1,20	1,41	0,39	1,03	0,98		
MnO	0,11	0,10	0,12	0,08	0,08	0,07	0,03	0,03
MgO	5,16	3,21	3,50	1,11	2,07	1,55	0,5	0,4
CaO	9,02	6,31	6,37	3,18	3,91	3,22	2,05	0,22
Na_2O	1,97	2,58	2,58	3,23	2,92	2,71	3,16	2,81
K_2O	2,26	5,15	4,53	5,09	4,51	4,75	4,47	4,81
P_2O_5	0,41	0,61	0,47	0,32	0,25	0,23	0,03	0,05
LOI	3,58	2,12	3,05	2,47	3,88	4,25	1,4	1,32
Total	99,19	99,87	99,28	99,36	99,03	98,96	99,17	99,25
Ba	529	1914	1636	1349	950	1345	601	994
Rb	172	239	185	236	202	226	216	139
Sr	624	644	572	453	432	408	280	232
Nb	6	17	17	16	16	14	15	11
Zr	95	240	222	196	190	182	128	107
Y	19	26	21	22	18	16	15	16
Th	12	25	27	28	25	26	26	25
Cr	136	142	179	100	53	52	11	4
Ni	28	34	42	47	9	13	5	1
V	216	177	165	118	85	94	37	26
Cu	45	32	42	17	1	4	1	
Pb	16	64	36	33	31	49	44	19
Zn	72	61	60	52	48	44	29	19
La	17	41	46	67	49	35	30	51
Ce	29	72	91	53	61	75	45	64
Nd	17	42	39	29	17	41	9	16

A13: Πυροξενικός ανδεσίτης, SA01, 13: Σωσονιτικοί ανδεσίτες, DO3, 09: Τραχυτικές λάβες Ασκητών, RD04, 09: Ρυοδακίτικοι ιγνιμβρίτες, R05: Ρυόλιθος.

Η εξέλιξη των πυροξενικών ανδεσιτών προς δακίτες στην ασβεσταλκαλική ομάδα συνοδεύεται από αύξηση των K_2O , $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, Ba, Zr, Nb, Th, και Rb, Pb, και μείωση των $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$, MgO,

CaO, TiO₂, Sr και V με το SiO₂. Πρόκειται για γεωχημικές τάσεις που αποδίδονται σε διαδικασίες μαγματικής διαφοροποίησης λόγω κλασματικής κρυστάλλωσης.



Σωσονοϊκή ομάδα
 P2: σωσονοϊκοί ανδεσίτες (Πετρωτά)
 P3: τραχυτικές λάβες (Πετρωτά)

Υψηλού K ασβεσταλκαλική έως σωσονοϊκή ομάδα
 P4: ρυοδακίτικοι ιγνιμβρίτες, τόφφοι (Πετρωτά)

Ρυολιθική ομάδα: P5: Ρυόλιθοι (Πετρωτά)

Ασβεσταλκαλική ομάδα
 P1: πυροξενικοί ανδεσίτες (Πετρωτά)

K1: μονζοδιорίτης (Κασσιτερές),
 K2: πυροξενικοί ανδεσίτες (Κασσιτερές),
 K3: δακίτες (Κασσιτερές)

Σχήμα 3. Διαγράμματα συσχέτισης κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων με το SiO₂ (για λόγους σύγκρισης προβάλλονται ηφαιστίτες και ο χαλαζιακός μονζοδιорίτης απο τη γειτονική μεταλλοφόρο περιοχή Κασσιτερών)

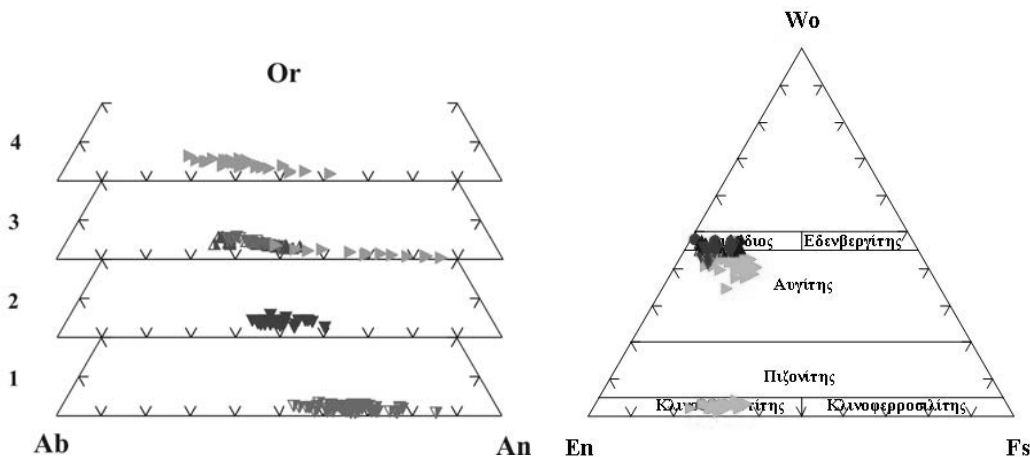
Η γεωχημική συμπεριφορά της σωσονιτικής ομάδας περιγράφεται στα περισσότερα διαγράμματα από δύο τάσεις με αλλαγή περίπου στο 60% SiO₂. Οι τάσεις των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στους σωσονιτικούς ανδεσίτες είναι αντίστοιχες με αυτές που παρατηρήθηκαν στη ασβεσταλκαλική ανδεσιτική-δακτική ομάδα υποδεικνύοντας διαδικασίες διαφοροποίησης λόγω κλασματικής κρυστάλλωσης.

Οι τραχύτες και οι ρυοδακτικοί ιγνιμβρίτες παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση των στοιχείων K₂O, Na₂O+K₂O, Rb, Ba, Zr, Nb, και Th με το SiO₂ δηλαδή αντίστροφο τάση από εκείνη που παρατηρήθηκε στους πυροξενικούς ανδεσίτες και στους σωσονιτικούς ανδεσίτες. Για την εξέλιξη αυτών των πετρωμάτων αυτών δεν υποστηρίζεται η άποψη μαγματικής διαφοροποίησης

5 ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ

Ορυκτοχημικές μελέτες στους ηφαιστίτες των Πετρωτών έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πλαγιόκλαστα: Τα πλαγιόκλαστα των πυροξενικών ανδεσιτών χαρακτηρίζονται από έντονη ζώωση και αντίστοιχα μεγάλη διακύμανση του χημισμού τους από An= 94% στο κέντρο έως An= 50% στα περιθώρια των κρυστάλλων (Σχ. 4α). Οι ρυόλιθοι περιέχουν τα οξινότερα πλαγιόκλαστα (An= 27-38%, Ανδεσίτης/Ολιγόκλαστο). Ο χημισμός τους στα υπόλοιπα πετρώματα ποικίλει μεταξύ ανδεσίτη και βυτοβνίτη με κέντρο συχνότητας An γύρω στα 50% (Ανδεσίτης/λαβραδόριο).



Σχήμα 4α. Χημισμός πλαγιόκλαστων στους ηφαιστίτες της τάφρου των Πετρωτών. (1) πυροξενικοί ανδεσίτες ; (2) σωσονιτικοί ανδεσίτες; (3) τραχύτες, (4) ρυοδακτικοί ιγνιμβρίτες. Στους τραχύτες τα μαγματικά διαβρωμένα πλαγιόκλαστα παρουσιάζουν ενδιάμεσο χημισμό (ανδεσίτης) ενώ τα πλαγιόκλαστα στους ακέραιους φαινοκρυστάλλους καταλαμβάνουν το πεδίο βασικού χημισμού (βυτοβνίτη-λαβραδορίτη)

Σχήμα 4β. Ταξινόμηση πυροξένων στους διάφορους ηφαιστίτες της τάφρου των Πετρωτών και της περιοχής Κασσιτερών. Οι κλινοπυρόξενοι των σωσονιτικών ανδεσιτών, τραχυτικών λαβών και των ανδεσιτών των Κασσιτερών συμπίπτουν στο όριο διοψιδίου-αυγίτη. Οι κλινοπυρόξενοι των ανδεσιτών της τάφρου των Πετρωτών κατατάσσονται στον διοψιδικό αυγίτη και οι ορθοπυρόξενοι των ίδιων ανδεσιτών στον βρονζίτη έως υπερσθενή.

Μια ιδιαίτερη ομάδα αποτελούν τα πλαγιόκλαστα στις τραχυτικές λάβες (Σχ. 4α) τα οποία χημικά και μορφολογικά μπορούν να χωρισθούν σε δύο κατηγορίες: α) πλαγιόκλαστα μέσου χημισμού (An 33-53%), με ποικίλες μαγματικές διαβρώσεις και διάτρητους κρυστάλλους απο εγκλείσματα της κύριας μάζας (Σχ. 5) και β) βασικά πλαγιόκλαστα με An 55-86% σε ακέραιους φαινοκρυστάλλους που συχνά συσσωρεύονται με αυτούς του πυροξένου και του μαγνητίτη. Τα πλαγιόκλαστα αυτά ευρίσκονται συχνότερα μέσα στις μικροσκοπικά εμφανιζόμενες καστανοκόκκινες, από ότι στις άχρωμες παραλλαγές γυαλιού της κύριας μάζας.

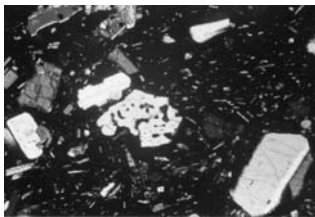
Καλιούχοι άστριοι: Κάλιο και καλιούχοι άστριοι δεσμεύονται στους ανδεσιτικούς ηφαιστίτες στη κυρία μάζα του πετρώματος. Υγιείς φαινοκρυστάλλους σανίδιου περιέχουν από τους μελετηθέντες

ηφαιστίτες μόνο οι ρυοδακίτικοί ιγνιμβρίτες και οι ρυόλιθοι. Οι μικροαναλύσεις υποδεικνύουν χημισμό με μέση σύσταση $O_{75}Ab_{25}$.

Βιοτίτες: Οι βιοτίτες στους διάφορους μαγματίτες δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις στον χημισμό τους και ταξινομούνται γενικά στο χώρο του μεροξένου. Αισθητή διαφορά χημισμού παρουσιάζουν οι πλούσιοι σε μαγνήσιο βιοτίτες των σωσονιτικών ανδεσιτών.

Κλινοπυρόξενοι: Οι κλινοπυρόξενοι αποτελούν το πιο συνηθισμένο φεμικό ορυκτό στους ηφαιστίτες. Οι μικροαναλύσεις από τους διαφορετικούς πετρολογικούς τύπους οδηγούν τελικά στο συμπέρασμα ότι οι διαφορές χημισμού είναι μικρές έως ασήμαντες (Σχ. 4β). Ο χημισμός όλων των κλινοπυρόξενων καταλαμβάνει το πεδίο μεταξύ αυγίτη και διοψίδιου.

Ορθοπυρόξενοι: Αποτελούν μετά τον κλινοπυρόξενο βασικό φεμικό συστατικό ανδεσιτικών ηφαιστίτων (απουσιάζουν από τους σωσονιτικούς ανδεσίτες). Οι ορθοπυρόξενοι των πυροξενικών ανδεσιτών παρουσιάζουν μέση σύσταση $En_{70}Fs_{30}$ (βρονζίτης/υπερσθενής, Σχ. 4β).



Σχήμα 5. Μικροφωτογραφία τραχυτικής λάβας δείχνει δύο τύπους πλαγιοκλάστων: μαγματικά διαβρωμένα (στο κέντρο) και υγιή (κάτω δεξιά), βιοτίτη και πυρόξενο εντός μικροκρυσταλλικής κύριας μάζας (#11s, μήκος φωτογραφίας 2.2 mm)

Υαλος της κύριας μάζας: Από τις μικροαναλύσεις που έγιναν στο γυαλί διαφόρων ηφαιστειακών τύπων, θεωρείται απαραίτητο να αναφερθούν οι υψηλές περιεκτικότητες καλίου του γυαλιού στις τραχυτικές λάβες ($K_2O = 6.2$ έως 8.0%) και στους ρυοδακίτικούς ιγνιμβρίτες ($K_2O = 5.0$ έως 7.1%). Αξιοσημείωτη είναι επίσης η σχετικά μεγάλη διακύμανση χημισμού στο γυαλί (74 μικροαναλύσεις) των δύο αυτών ηφαιστειακών τύπων, και ιδιαίτερα των τραχυτικών λαβών (πχ. SiO_2 από $66.9-74.2\%$).

6 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

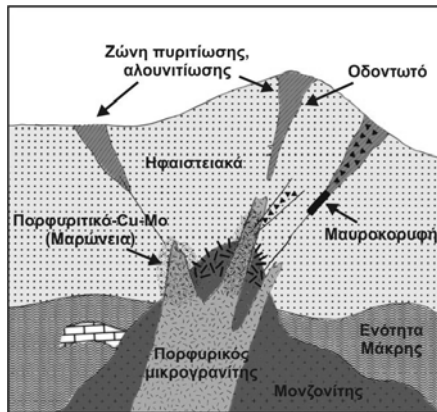
Η έρευνα των ηφαιστίτων της τάφρου των Πετρωτών υπέδειξε την παρουσία ασβεσταλκαλικών και σωσονιτικών μαγματιτών (που πιθανόν εξελίχθηκαν σχεδόν ταυτόχρονα μεταξύ $30.8-29.0$ Ma με βάση τους Hague (1993) και Pecskey et al. (2003), καθώς και ρυόλιθων που είναι πιθανόν προϊόντα ανατηκτικής προέλευσης από τον φλοιό. Αν και ο τριτογενής μαγματισμός της Δ. Θράκης έχει αποδοθεί σε διαδικασίες κατάδυσης κάτω από την Ευρωπαϊκή ηπειρωτική πλάκα, η τοποθέτηση των μαγμάτων έλαβε χώρα λόγω της εφελκυστικής κατάρρευσης που ακολούθησε την αλπική ορογένεση. Πηγή προέλευσης των ενδιάμεσης σύστασης μαγμάτων έχει θεωρηθεί ένας εμπλουτισμένος σε LILE και LREE λιθοσφαιρικός μανδύας (Sideris 1975, Fytikas et al. 1984, Innocenti et al. 1984, Del Moro et al. 1988, Christofides et al. 1998, Pe-Piper et al. 1998, Παπαδοπούλου 2002, Pe-Piper & Piper 2002, Pecskey et al. 2003).

Από τη γεωχημική μελέτη προκύπτουν ανοδικές τάσεις με προοδευτική μαγματική διαφοροποίηση κυρίως για την ασβεσταλκαλική ομάδα των ανδεσιτών-δακίτων (Πετρωτά-Κασσιτερές) και κατά δεύτερο λόγο για τη σειρά των σωσονιτικών ανδεσιτών (Πετρωτά).

Οι αντίστροφες γεωχημικές τάσεις που παρουσιάζουν οι τραχύτες-ρυοδακίτικοί ιγνιμβρίτες υποδεικνύουν υβριδικές διαδικασίες για τη πετρογένεση τους. Οι Brooks (1977), Gamble (1979) και Arikas (1986) περιγράφουν παρόμοιες γεωχημικές τάσεις και τις αποδίδουν σε υβριδικές διαδικασίες μεταξύ διαφοροποιημένων βασικών και όξινων μαγμάτων. Ορισμένες ιδιότητες των τραχυτικών λαβών των Πετρωτών (διάφορα είδη πλαγιοκλάστων, ταινιοειδείς παραλλαγές του χρώματος και διακύμανση χημισμού της υάλου στη κύρια μάζα) ενισχύουν την άποψη της γένεσής τους λόγω μαγματικής ανάμειξης. Διαδικασίες ανάμειξης μαγμάτων προτάθηκαν ήδη και από τους Pecskey et al. (2003), για την πετρογένεση ηφαιστίτων στον ευρύτερο χώρο της Δ. Θράκης.

Οι ρυόλιθοι (Πετρωτά-Κασσιτερές) αποκλίνουν από την τάση της ασβεσταλκαλικής σειράς, και συνεπώς δεν αποτελούν συνέχεια της μαγματικής διαφοροποίησης των ανδεσιτών. Παρόλο που οι ρυόλιθοι ακολουθούν σε γενικές γραμμές τη τάση της σωσονιτικής ακολουθίας και θα μπορούσαν να αποτελούν προϊόντα διαφοροποίησης της ακολουθίας αυτής, πιστεύεται ότι είναι φλοιικά προϊό-

να ανατηκτικής προέλευσης. Η άποψη αυτή έχει βασιστεί κυρίως σε ισοτοπικές μελέτες άλλων ρυολιθικών εμφανίσεων των νομών Έβρου και Ροδόπης, όπως της περιοχής Πετρωτών (BA Έβρος), όπου γεωχημική και ισοτοπική μελέτη ρυολίθων έδειξε ότι πιθανή προέλευση τους ήταν ανάτηξη του κατώτερου έως μέσου φλοιού (Barbieri et al. 2001). Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγει και η Παπαδοπούλου (2002) για τους όξινης σύστασης πλουτωνίτες της Μαρώνας, άποψη που βασίστηκε σε ισοτοπικές μελέτες Sr και O.



Σχήμα 6. Υποθετικό μοντέλο συσχετίζει τον όξινο ρυολιθικό μαγματισμό με τις ζώνες πυριτίωσης και αλουιτίωσης των ηφαιστειών στις θέσεις Μαυροκορυφή και Οδοντωτό (που συνδέονται με επιθερμικές μεταλλοφορίες πολυτίμων μετάλλων). Επίσης διακρίνεται η σχέση στο χώρο μεταξύ της πορφυριτικής εμφάνισης στα Κτίσματα/Μαρώνας και των επιθερμικών μεταλλοφοριών.

Σύγκριση μεταξύ των σωσονιτών και των ρυολίθων της τάφρου αφενός, και του γειτονικού συμπλέγματος της Μαρώνας (Παπαδοπούλου 2002) αφετέρου, υποδεικνύει ότι το τελευταίο αποτελεί πλουτώνιο ισοδύναμο του σωσονιτικού και του ρυολιθικού μαγματισμού στη τάφρο. Τέλος η σύγκριση της ασβεσταλκαλικής έως υψηλού καλίου ασβεσταλκαλικής ακολουθίας της τάφρου των Πετρωτών με ηφαιστίτες από την περιοχή βορειοανατολικά της τάφρου (Μέστη-Κασσιτερές) δείχνει γεωχημικές και πετρογραφικές ομοιότητες. Ένα μεγάλο τμήμα των ηφαιστιτών της τάφρου χαρακτηρίζεται από έντονη ανάπτυξη μεταλλοφοριών επιθερμικού τύπου, πχ. οι ασβεσταλκαλικοί ανδρείτες στο λόφο Περάματος (Lescuyer et al. 2003), και τη Μαυροκορυφή (Βουδούρης & Σκαρπέλης 1998; Skarpeilis et al. 1999), όπως επίσης και η γειτονική περιοχή Κασσιτερών-Σαπών. Όπως φαίνεται από το σχήμα 1 ζώνες πυριτίωσης και αλουιτίωσης αναπτύσσονται σε όλες τις πετρογραφικές ομάδες που ερευνήθηκαν στη παρούσα μελέτη. Η έντονη παρουσία αλουιτίτη+χαλαζία στο ρυολιθικό dike που διασχίζει το Οδοντωτό, υποδεικνύει ότι ο νεώτερος ρυολιθικός μαγματισμός πρέπει να ήταν υπεύθυνος για την όξινο-θειική εξαλλοίωση (πυριτίωση, αλουιτίωση) των ηφαιστιτών. Τονίζεται ότι η κύρια ζώνη σπαλιτίωσης στο ΒΑ τμήμα της τάφρου έχει ακριβώς την ίδια διεύθυνση (ΔΒΔ) όπως και εκείνη στο Οδοντωτό. Σε ότι αφορά τις πυριτιώσεις δυτικά και βόρεια των Πετρωτών, ο Hague (1993) δέχεται ότι αυτές, σε συνδυασμό με εκείνη του Οδοντωτού οριοθετούν ένα καλδερικό βύθισμα. Οι ζώνες πυριτίωσης αποτελούν τμήμα του καλδερικού ρήγματος το οποίο έδρασε σαν εστία για τα ανερχόμενα ρυολιθικά μάγματα, και στη συνέχεια για τα αέρια και τα υδροθερμικά διαλύματα. Το σχήμα 6 παριστά ένα υποθετικό μοντέλο για τις μεταλλογενετικές διαδικασίες στη περιοχή, τη σχετική θέση της πορφυριτικής εμφάνισης Cu-Mo στα Κτίσματα της Μαρώνας, την πιθανή ύπαρξη μιάς άλλης παρόμοιας εμφάνισης κάτω από το Οδοντωτό ή στο βορειοανατολικό τμήμα της Τάφρου κάτω από του πυροξενικούς ανδρείτες, και την σχέση του ρυολιθικού μαγματισμού με τις ζώνες αλουιτίωσης και πυριτίωσης στη περιοχή.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Βουδούρης, Π., και Σκαρπέλης, Ν., 1998. Μεταλλοφορίες επιθερμικού χρυσού-αργύρου στις περιοχές Περάματος (Θράκη) και Λήμνου. *Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ.*, XXXII/3, 125-135.
- Παπαδόπουλος, Π., 1982. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος, κλίμακα 1:50000, Φύλλο Μαρώνας, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Παπαδοπούλου, Λ., 2002. Ισορροπία ορυκτών φάσεων, συνθήκες κρυστάλλωσης και εξέλιξη του πλουτωνίτη της Μαρώνας, Θράκη. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 336σ.
- Arikas, K., 1986. Geochemie und Petrologie der permischen Rhyolite in Südwestdeutschland (Saar-Nahe-Pfalz-Gebiet, Odenwald, Schwarzwald) und in den Vogesen. Pollichia Buch Publications, (8), Habil. thesis, 278s.

- Barbieri, M., Castorina, U., Masi, U., Garbarino, C., Nicoletti M., Kassoli-Fournaraki, A., Filippidis, A., and Mignardi, S., 2001. Geochemical and isotopic evidence for the origin of rhyolites from Petrota (Thrace, Greece) and geodynamic significance. *Chem. Erde*, 61, 13-29.
- Biggazzi, G., Del Moro, A., Innocenti, F., Kyriakopoulos, K., Manetti, P., Papadopoulos, P., Norelli, P., and Magganas, A., 1987. The magmatic intrusive complex of Petrota, West Thrace: age and geodynamic significance. *Geol. Rhodop.*, 1, 290-297.
- Brooks, C.K., 1977. Example of magma mixing from the Kialineq district of east Greenland. *Bull. Geol. Soc. Denmark*, 26, 77-83.
- Christofides, G., Soldatos, T., Eleftheriadis, G., and Koroneos, A., 1998. Chemical and isotopic evidence for source contamination and crustal assimilation in the Hellenic Rhodope plutonic rocks. *Acta Vulcanologica*, 10, 305-318.
- Del Moro, A., Innocenti, F., Kyriakopoulos, C., Manetti, P., and Papadopoulos, P., 1988. Tertiary granitoids from Thrace (Northern Greece): Sr isotopic and petrochemical data. *N. Jb. Miner. Abh.*, 159, 113-135.
- Frass, A., Hegewald, S., Kloos, R.M., Tesch, C., and Arikas, K., 1990. The geology of the graben of Petrota (Thrace, NE Greece). *Geologica Rhodopica*, 2, 50-63.
- Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A., and Villari, L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region, In: J.E. Dixon, and A.H.F. Robertson (eds), *The geological evolution of the eastern Mediterranean*. Oxford, Geol. Soc. Spec. Publ., 17, 687-699.
- Gamble, J.A., 1979. Some relationships between coexisting granitic and basaltic magmas and genesis of hybrid rocks in the tertiary central complex of Slieve Gulion, Northeast Ireland. *Jour. Volc. Geoth. Res.*, 5, 297-316.
- Hague, P.F., 1993. The structural and volcanic evolution of tertiary basins along the southern margin of the Rhodope Massiv, Northeastern Greece, Ph.D. thesis (unpubl.), University Southampton, 227pp.
- Hegewald, S., 1991. Petrographie und Geochemie der Oligozänen Dacite und Rhyodacite im Nordwesten des Grabens von Petrota/Maronia (Thrakien, Nordgriechenland). Dipl. thesis (unpubl.), University Hamburg, 124pp.
- Innocenti, F., Kolios, N., Manetti, O., Mazzuoli, R., Peccerillo, G., Rita, F., and Villari, L., 1984. Evolution and geodynamic significance of the tertiary orogenic volcanism in northeastern Greece. *Bull. Volcanol.*, 47, 25-37.
- Kloos, R.M., 1991. Geologische und petrographisch-geochemische Untersuchungen an Oligozänen Vulkaniten im zentralen Teil des Grabens von Petrota/Maronia (Thrakien, Nordgriechenland). Dipl. thesis (unpubl.), University Hamburg, 117pp.
- Lescuyer, J.L., Bailly, L., Cassard, D., Lips, A.L.W., Piantone, P., and McAlister, M., 2003. Sediment-hosted gold in south-eastern Europe: the epithermal deposit of Perama, Thrace, Greece. In: Eliopoulos et al. (eds), *Mineral Exploration and Sustainable Development*, Rotterdam, Millpress Publications, 499-502.
- Pe-Piper, G., Christofides, G., and Eleftheriadis, G., 1998. Lead and neodymium isotopic composition of tertiary igneous rocks of northeastern Greece and their regional significance. *Acta Vulcanologica*, 10, 255-263.
- Pe-Piper, G., and Piper, D.J.W., 2002. *The igneous rocks of Greece: the anatomy of an orogen*, Berlin, Bornträger Publications, 645pp.
- Peccerillo, A., and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contr. Miner. Petrol.*, 58, 63-81.
- Pecskay, Z., Eleftheriadis, G., Koroneos, A., Soldatos, T. and Christofides, G., 2003. K/Ar dating, geochemistry and evolution of the Tertiary volcanic rocks (Thrace, northeastern Greece). In: D. Eliopoulos et al. (eds), *Mineral Exploration and Sustainable Development*, Rotterdam, Millpress Publications, 1229-1232.
- Sideris, C., 1975. Investigation of specific characteristics of the plutonic and volcanic rocks of eastern Rhodope zone. Relationship between volcanism - plutonism. Habil thesis (unpubl.), University Athens, 108pp.
- Skarpelis, N., Voudouris, P., and Arikas, K., 1999. Exploration for epithermal gold in SW Thrace, Greece: New target areas. In: C.L. Stanley et al. (eds), *Mineral deposits: Processes to Processing*, Rotterdam, Balkema Publications, 589-592.
- Tesch, Ch., 1991. Geologische und petrographisch-geochemische Untersuchungen an tertiären Vulkaniten im nordöstlichen Teil des Grabens von Petrota/Maronia (Thrakien, Nordgriechenland). Dipl. thesis (unpubl.), University Hamburg, 123pp.
- Voudouris, P., 1993. Mineralogische, Mikrothermometrische und geochemische Untersuchungen an epithermalen Au-Ag-Gangmineralisationen bei Kassiteres/Sape (nordostgriechenland), Ph.D. thesis (unpubl.), University Hamburg, 218pp.
- Winchester, J.A., and Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements, *Chem. Geol.*, 20, 325-343.

ABSTRACT

PETROLOGY – GEOCHEMISTRY AND METALLOGENESIS OF VOLCANIC ROCKS IN THE PETROTA GRABEN/MARONIA, W. THRACE

Arikas K.¹, Voudouris P.², Kloos R.M.¹, and Tesch Ch.¹

¹ *Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Hamburg, D-20146 Hamburg, mi9a004@mineralogie.uni-hamburg.de*

² *Department of Mineralogy – Petrology, Faculty of Geology, University of Athens, 15784 Athens, voudouris@geol.uoa.gr*

The petrological, mineralogical and geochemical study of tertiary volcanic rocks from Petrota Graben/Maronia, resulted in the distinction of the following petrographic groups: a) a high-K calc-alkaline group (andesites-dacites), b) a shoshonitic group (shoshonitic andesites, trachytic lavas, c) rhyodacitic ignimbrites and ignimbritic tuffs with high-K calc-alkaline to shoshonitic affinity, and d) rhyolites. The shoshonitic volcanic rocks and the rhyolites are probably originated from the neighbouring Maronia plutonic complex. In addition the calc-alkaline group is related to similar volcanics outcropping in the Mesti-Kassiteres area (the northeastern extension of the Graben). The petrogenesis of the volcanic rocks of the Petrota graben is attributed to fractional crystallization and/or magma mixing processes. Epithermal style mineralizations in Mavrokoryfi, Perama Hill and Odontoto are believed to be genetically related to the rhyolitic magmatism in the area.