

Πρακτικά	6ου	Συνεδρίου	Μάιος	1992
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ.	XXVIII/2	σελ.	209-220
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.		pag.	
			Αθήνα	1993
			Athens	

ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΑΙΓΑΙΟ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΑΞΟΝΑ ΚΑΘΕΤΟΥ ΠΡΟΣ ΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ

Π.ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΥ, Α.ΚΑΤΕΡΙΝΟΠΟΥΛΟΥ*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ηφαιστειακά κέντρα της Νισύρου, της Κω, της Καλύμνου, της Πάτμου και της Νότιας Χίου τοποθετούνται σε έναν άξονα κάθετο προς το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου. Η μελέτη της γεωχημείας των κυρίων στοιχείων, ιχνοστοιχείων και στοιχείων της ομάδας των σπανίων γαιών, πετρωμάτων από τα παραπάνω πέντε ηφαιστειακά κέντρα έδειξε ότι τα πετρώματα από τα ηφαιστειακά κέντρα του οπισθοτόξου του Αιγαίου (Κάλυμνος, Πάτμος, Ν. Χίος) παρουσιάζουν ομοιότητες αλλά και σημαντικές διαφορές από αυτά των ηφαιστειακών κέντρων της Νισύρου και της Κω που αποτελούν μέλη του τόξου.

Τα πετρώματα όλων των ηφαιστειακών κέντρων παρουσιάζουν σημαντικό εμπλουτισμό LIL σε σχέση με τα HFSE στοιχεία και αρνητικές ανωμαλίες του Nb και του Ti, χαρακτηριστικά πετρωμάτων που συνδέονται με τεκτονικό περιβάλλον υποβύθισης. Ο λόγος LILE/HFSE είναι μικρότερος για τα πετρώματα της Νισύρου και της Κω, ενώ είναι σημαντικά μεγαλύτερος για τα πετρώματα των ηφαιστειακών κέντρων του οπισθοτόξου με υψηλότερο αυτόν των K-ούχων πετρωμάτων της Πάτμου.

Από τα διαγράμματα των REE φαίνεται ένας εμπλουτισμός σε LREE σε σχέση με τα HREE που είναι μεγαλύτερος στα πετρώματα των ηφαιστειακών κέντρων του οπισθοτόξου σε σχέση με αυτά της Νισύρου. Ο μεγαλύτερος λόγος LREE/HREE παρουσιάζεται, όπως και με τον λόγο LILE/HFSE, στα K-ούχα πετρώματα της Πάτμου.

Από την προβολή των δειγμάτων από τα παραπάνω ηφαιστειακά κέντρα στα διαγράμματα Ba/Zr vs. Ce/Zr και Ce/Nb vs. Th/Nb φαίνεται ότι στη δημιουργία του μητρικού μάγματος κάθε ηφαιστειακού κέντρου συμμετέχουν, τήγγα από την καταβυθιζόμενη πλάκα και μανδυσικό υλικό N-τύπου. Το ποσοστό συμμετοχής κάθε πηγής στη δημιουργία των μητρικών αυτών μαγμάτων εξαρτάται από την θέση του κάθε ηφαιστειακού κέντρου, αφού ο βαθμός της έκτασης της λιθόσφαιρας του Αιγαίου και το βάθος που βρίσκεται η ασθενόσφαιρα μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά. Η ποικιλία των πετρογραφικών τύπων που απαντούν σε κάθε ένα από τα ηφαιστειακά κέντρα μπορεί να αποδοθεί σε διαδικασίες κλασματικής κρυστάλλωσης σε συνθήκες που διαφέρουν από κέντρο σε κέντρο.

*Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστημιούπολη, Άνω Ιλίσια,
Αθήνα 15784.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

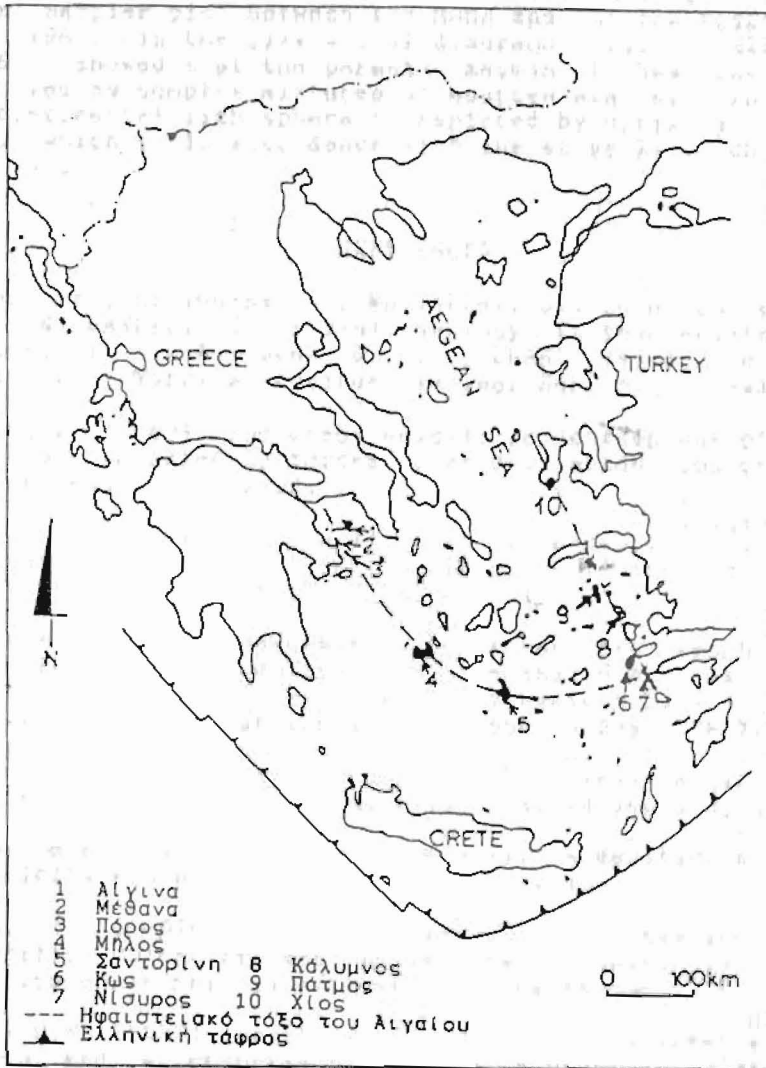
Το Αιγαίο Πέλαγος αποτελεί μία από τις πιο πολύπλοκες και πιο ενεργές, γεωλογικά, περιοχές της Ευρώπης. Ένα από τα χαρακτηριστικά του Αιγαίου είναι η ηφαιστειότητα, που εκδηλώνεται τόσο κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου όσο και σε διάφορα σημεία που βρίσκονται στη λεκάνη του οπισθοτόξου (back-arc basin) του Αιγαίου (Σχ. 1). Συγκριτική μελέτη της γεωχημείας και της ορυκτοχημείας των πετρωμάτων από τα ηφαιστειακά κέντρα του τόξου του Αιγαίου (ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ, 1986, ΜΙΤΡΟΠΟΥΛΟΣ et al., 1987, ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΜΑΓΚΑΝΑΣ 1988, ΜΙΤΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΤΑΡΝΕΥ, 1992) απέδειξε την ύπαρξη σημαντικών διαφορών μεταξύ των μητρικών μαγμάτων των λαβών των ηφαιστειακών κέντρων που βρίσκονται στα άκρα του τόξου και αυτών που βρίσκονται στο κέντρο του τόξου. Στα πλαίσια ενός προγράμματος για την ολοκληρωμένη μελέτη της ηφαιστειότητας του Αιγαίου, παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία η συγκριτική μελέτη της γεωχημείας κυρίων στοιχείων, ιχνοστοιχείων και στοιχείων της ομάδας των σπανίων γαιών (REE), πετρωμάτων από τα ηφαιστειακά κέντρα της Νισύρου και της Κώ που βρίσκονται στο ανατολικό άκρο του τόξου και της Καλύμνου, της Πάτμου και της Νότιας Χίου που βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του οπισθοτόξου (back-arc basin) του Αιγαίου. Τα παραπάνω πέντε ηφαιστειακά κέντρα τοποθετούνται σε έναν άξονα περίπου κάθετο στο ανατολικό άκρο του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου (Σχ. 1). Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση της φύσεως των μητρικών μαγμάτων των λαβών των ηφαιστειακών κέντρων της λεκάνης του οπισθοτόξου του Αιγαίου, όπως επίσης και της πιθανής γενετικής συσχέτισής τους με τα μητρικά μάγματα των λαβών του ηφαιστειακού τόξου.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

Η δυναμική/κινηματική εξέλιξη του Αιγαίου έχει αποτελέσει το αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών (π.χ. ΡΑΡΑΖΑΧΟΣ & ΚΟΜΝΙΝΑΚΗΣ, 1971, ΒΙΛΙΟΥ-ΔΟΥΒΑΛ et al., 1974, ΡΑΡΑΖΑΧΟΣ, 1977, 1990, ΜΑΚΡΗΣ, 1977, ΜΚΚΕΝΖΙΕ, 1978, ΛΕ ΡΙΧΟΝ & ΑΝΓΕΛΙΕΡ, 1979, 1981, ΜΑΚΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΒΟΥΡΤΟΝ, 1984, ΣΠΑΚΜΑΝ et al., 1988, ΔΕ ΒΟΕΡ, 1989). Το Ελληνικό τόξο έχει σχηματισθεί σαν αποτέλεσμα της υποβύθισης του βυθού της Μεσογείου που αποτελεί τμήμα της Αφρικανικής πλάκας, κάτω από την Κρήτη και το Νότιο Αιγαίο, που διαρκεί 26 Ma (ΣΠΑΚΜΑΝ et al., 1988).

Δομικό στοιχείο του Ελληνικού τόξου αποτελεί το ηφαιστειακό τόξο του Νότιου Αιγαίου οι λάβες του οποίου είναι Πλειο-πλειστοκαινικές (ΦΥΤΙΚΑΣ et al., 1976, ΙΝΝΟΚΕΝΤΙ et al., 1979, ΦΕΡΡΑΡΑ et al., 1980, ΡΕ-ΡΙΠΕΡ & ΡΙΠΕΡ, 1989). Η εκδήλωση της ηφαιστειότητας κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου, συμπίπτει με τη μετάβαση από συνθήκες συμπίεσης (Μειόκαινο) σε συνθήκες έκτασης (Πλειόκαινο μέχρι σήμερα).

Πίσω από το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου υπάρχει η εκτατική λεκάνη του οπισθοτόξου (extensional back-arc basin) η οποία σχηματίζεται από εκλεπτισμένο φλοιό. Στη λεκάνη αυτή υπάρχουν διασκορπισμένα ηφαιστειακά κέντρα με λάβες Ανώτερου Μειόκαινου μέχρι Τεταρτογενούς ηλικίας. Αν και κάποια από τα ηφαιστειακά αυτά κέντρα έχουν μελετηθεί με αρκετή λεπτομέρεια (π.χ. Πάτμος από τους WYERS & ΒΟΥΡΤΟΝ 1986, 1987, και ΒΑΡΤΟΝ & WYERS 1991) υπάρχουν διαφορετικές απόψεις για την σχέση τους με το ευρύτερο τεκτονικό περιβάλλον. Οι ΦΥΤΙΚΑΣ et al. (1984) θεωρούν ότι η ηφαιστειότητα αυτή, συνδέεται μάλλον με τις εκτατικές συνθήκες που επικρατούν στο Β. Αιγαίο παρά με την ύπαρξη της ζώνης υποβύθισης. Οι ΡΕ-ΡΙΠΕΡ & ΡΙΠΕΡ (1989) όμως



Σχήμα 1. Απλοποιημένος χάρτης του Αιγαίου στον οποίο φαίνονται τα ηφαιστειακά κέντρα που μελετήθηκαν.

σημειώνουν ότι αυτός ο τύπος της ηφαιστειότητας σχετίζεται με το βάθος στο οποίο βρίσκεται η υποβυθιζόμενη πλάκα, αν και οι εκτατικές συνθήκες διευκολύνουν την άνοδο μικρών ποσοτήτων μάγματος.

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ - ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Γιά τους σκοπούς της παρούσης εργασίας πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία των πέντε αντιπροσωπευτικών πετρογραφικών τύπων από τα ηφαιστειακά κέντρα της Καλύμνου, της Πάτμου και της Ν. Χίου ενώ πραγματοποιήθηκε και συμπληρωματική δειγματοληψία στη Νίσυρο. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι ήδη δημοσιευμένες αναλύσεις δειγμάτων πετρωμάτων από τα ηφαιστειακά κέντρα της Νίσυρου και της Κω (MITROPOULOS et al., 1987). Πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή των πέντε αυτών ηφαιστειακών κέντρων, για τη συγκριτική μελέτη τους, έγινε με βάση την πλειο-πλειστοκαινική ηλικία των λαβών τους σε αντίθεση με άλλα ηφαιστειακά κέντρα της περιοχής (π.χ. Β. Χίος, Λέσβος) με μειοκαινικής ηλικίας λάβες (PE-PIPER & PIPER, 1989).

Όλες οι αναλύσεις έγιναν στο Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου του Leicester της Αγγλίας. Γιά την ανάλυση των κυρίων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων, που έγινε με την μέθοδο της φθορισμομετρίας ακτίνων Χ (XRF), χρησιμοποιήθηκε φασματόμετρο τύπου Philips PW 1400. Τα στοιχεία της ομάδας των σπανίων γαιών διαχωρίστηκαν χρωματογραφικά, και αναλύθηκαν με φασματοσκοπία πλάσματος (ICP) με τη χρήση φασματόμετρου τύπου Philips PW 8210 1.5 m. Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις των δειγμάτων που αναλύθηκαν δίνονται στον Πίνακα 1. Ο χαρακτηρισμός των ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων έγινε με βάση χημικές αναλύσεις που έγιναν με αυτόματο ηλεκτρονικό μικροαναλυτή τύπου JXA-8600 Superprobe.

ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα πετρώματα από τα πέντε ηφαιστειακά κέντρα που εξετάζονται παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα συστάσεων. Η ομομασία των διαφόρων πετρογραφικών τύπων γίνεται με βάση την ονοματολογία του IUGS (ZANETTIN, 1984), ενώ ο χαρακτηρισμός των ορυκτολογικών φάσεων έγινε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, με βάση τις χημικές αναλύσεις τους με ηλεκτρονικό μικροαναλυτή.

Τα πετρώματα της Νίσυρου χαρακτηρίζονται σαν ανδεσίτες, δακίτες και ρουδακίτες, ενώ η ορυκτολογική τους σύσταση είναι: πλαγιόκλαστα ($Ab_{30} - Ab_{60}$) + κλινοπυρόξενοι (διοψίδιος - αυγίτης) + ορθοπυρόξενοι (ενστατίτης) + αμφίβολοι (Mg-χαστινγκσίτης) ± ιλμενίτης ± τιτανιομαγνητίτης.

Τα ηφαιστειακά πετρώματα της Κω προέρχονται από την περιοχή της χερσονήσου της Κεφάλου και είναι δακίτες και ρουδακίτες. Τα ορυκτολογικά τους συστατικά είναι τα ίδια με αυτά των πετρωμάτων της Νίσυρου (MITROPOULOS et al., 1987) με διαφορά την απουσία του ιλμενίτη και του ορθοπυρόξενου.

Στην Καλύμνο εμφανίζονται κυρίως κομμάτια δακιτών μέσα σε τόφους. Οι δακίτες αυτοί παρουσιάζουν κάποια αυξημένη περιεκτικότητα σε Κ που εκφράζεται με την παρουσία του Βιοτίτη. Τα άλλα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων αυτών είναι: πλαγιόκλαστα ($Ab_{20} - Ab_{50}$) + κλινοπυρόξενοι (διοψίδιος - αυγίτης) + αμφίβολοι (Mg-χαστινγκσίτης) ± ορθοπυρόξενοι (ενστατίτης) ± τιτανιομαγνητίτης.

Οι λάβες της Πάτμου είναι Κ-ούχες κα Na-ούχες (WYERS & BARTON, 1986, 1987). Οι Κ-ούχες διακρίνονται σε οσοονιτικές, λατιτικές έως και τραχυτικές. Τα ορυκτολογικά τους συστατικά είναι: αλκαλικοί άστριοι

Πίνακας 1. Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις πετρωμάτων από τα ηφαιστειακά κέντρα της Καλύμνου (ΚΑ) της Πάτμου (ΡΤ) της Ν. Χίου (CH) της Νισύρου (NS) και της Κω (ΚΩ)

Δείγμα	NS-3	NS-9	KA-5	PT-11	PT-1	CH-7	KO-6
SiO ₂ **	65.91	66.35	59.35	63.82	68.59	59.83	64.53
TiO ₂	0.52	0.53	0.63	0.53	0.40	0.47	0.49
Al ₂ O ₃	15.89	15.84	17.41	16.83	14.22	16.11	17.07
Fe ₂ O ₃ (t)	4.14	4.23	5.74	4.03	3.12	5.00	4.04
MnO	0.09	0.09	0.09	0.13	0.03	0.10	0.07
MgO	1.26	1.28	2.36	0.73	0.47	4.68	1.71
CaO	3.08	3.06	5.17	2.27	0.40	7.41	4.22
Na ₂ O	4.45	4.46	3.45	3.55	1.95	3.44	3.99
K ₂ O	2.98	2.92	3.98	6.32	9.24	2.44	2.96
P ₂ O ₅	0.17	0.17	0.38	0.27	0.12	0.17	0.21
LOI	0.91	0.60	0.77	0.65	0.50	0.71	0.67
Σύνολο	99.40	99.53	99.33	99.13	99.04	100.36	99.96
Nb	17.7	17.6	19.9	41.1	44.9	12.5	10.5
Zr	251.7	249.1	263.9	387.4	350.1	134.3	140.1
Y	24.1	24.1	30.4	29.8	23.4	18.1	14.7
Sr	308.0	305.6	852.1	534.8	218.1	567.5	786.3
Rb	86.1	87.1	139.9	260.3	552.7	104.9	79.5
Th	11.1	10.7	32.0	43.3	47.1	13.9	12.3
Ga	16.6	17.0	20.5	17.8	15.5	17.9	16.7
Zn	45.2	45.1	57.9	50.1	33.2	48.0	35.7
Ni	2.5	2.0	9.2	4.9	3.2	48.3	25.5
Cr	-	-	13.0	3.6	-	145.7	56.5
V	62.0	62.2	111.4	74.3	82.5	97.4	40.1
Be	711.1	724.9	1255.5	1117.8	730.8	757.5	899.5
La	28.00	23.00	63.00	65.00	52.00	28.00	35.30
Ce	49.00	45.00	112.00	118.00	91.00	51.00	56.30
Pr	6.40	6.30	15.30	15.60	10.90	6.90	n.σ.
Nd	22.00	18.00	47.00	47.00	32.00	24.00	23.30
Sm	2.70	2.90	9.30	8.90	4.90	3.07	4.30
Eu	0.87	0.86	2.45	2.15	1.17	1.03	1.13
Gd	n.σ.	n.σ.	n.σ.	n.σ.	n.σ.	n.σ.	4.36
Tb	n.σ.	n.σ.	n.σ.	n.σ.	n.σ.	n.σ.	0.71
Dy	3.80	3.90	6.20	5.60	3.18	3.40	n.σ.
Er	2.50	2.30	3.70	3.30	1.96	2.00	n.σ.
Tm	n.σ.	n.σ.	n.σ.	n.σ.	n.σ.	n.σ.	0.36
Yb	3.05	3.02	3.74	3.65	2.21	2.37	2.08
Lu	0.35	0.35	0.57	0.54	0.20	0.23	0.26

* Αναλύσεις άλλων δειγμάτων από την Νίσυρο και την Κω δίνονται από τους MITROPOULOS et al., (1987).

** Τα κύρια στοιχεία δίνονται σε wt% , τα ιχνοστοιχεία σε ppm.
Fe₂O₃(t): Ολικός σίδηρος.

n.σ.: Το στοιχείο αυτό δεν αναλύθηκε.

($Or_{\pm 0}$ - $Or_{\pm 1}$) + βιοτίτης ± πλαγιόκλαστα ($Ab_{\pm 25}$ - $Ab_{\pm 55}$) ± μοσχοβίτης + τιτανιομαγνητίτης. Οι Na-ούχες βασαλτικές λάβες απαντούν σαν φλέβες στην Πάτμο και σαν ηφαιστειακές εκχύσεις στη νησίδα Χιλιομόδι της Πάτμου. Περιέχουν: πλαγιόκλαστα ($Ab_{\pm 30}$ - $Ab_{\pm 60}$) + ολιβίνη ($Fo_{\pm 55}$ - $Fo_{\pm 60}$) + κλινοπυρόξενους (διοψίδιος - αυγίτης) ± τιτανιομαγνητίτη.

Στη Νότια Χίο τέλος (περιοχή Εμπορίου), υπάρχουν δύο ηφαιστειακές εκχύσεις (BELLON et al., 1979, NETELS & TSOFLIAS, 1989), μία βασαλτική με κύρια ορυκτολογικά συστατικά πλαγιόκλαστο ($Ab_{\pm 33}$ - $Ab_{\pm 60}$), κλινοπυρόξενο (αυγίτης), ορθοπυρόξενο (ενστατίτης) και αμφίβολο (ακτινόλιθος) και μία ρουλιθική με αλκαλικό άστριο ($Or_{\pm 55}$ - $Or_{\pm 65}$), όξινο πλαγιόκλαστο ($Ab_{\pm 22}$ - $Ab_{\pm 25}$) και μαρμαρυγία.

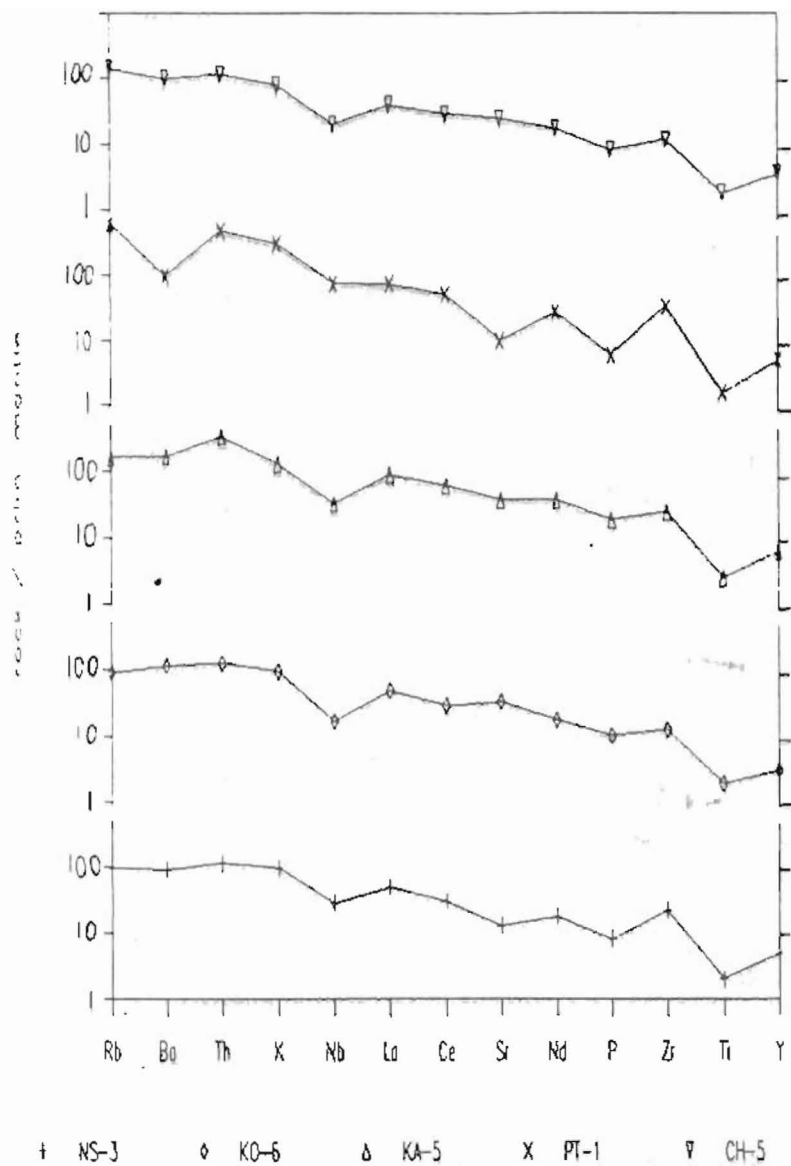
ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα πετρώματα από τα ηφαιστειακά κέντρα του οπισθοτόξου του Αιγαίου (Κάλυμνος, Πάτμος, Ν. Χίος) παρουσιάζουν, όσον αφορά τα γεωχημικά τους χαρακτηριστικά, ομοιότητες αλλά και σημαντικές διαφορές από αυτά των ηφαιστειακών κέντρων της Νισύρου και της Κω που αποτελούν μέλη του τόξου.

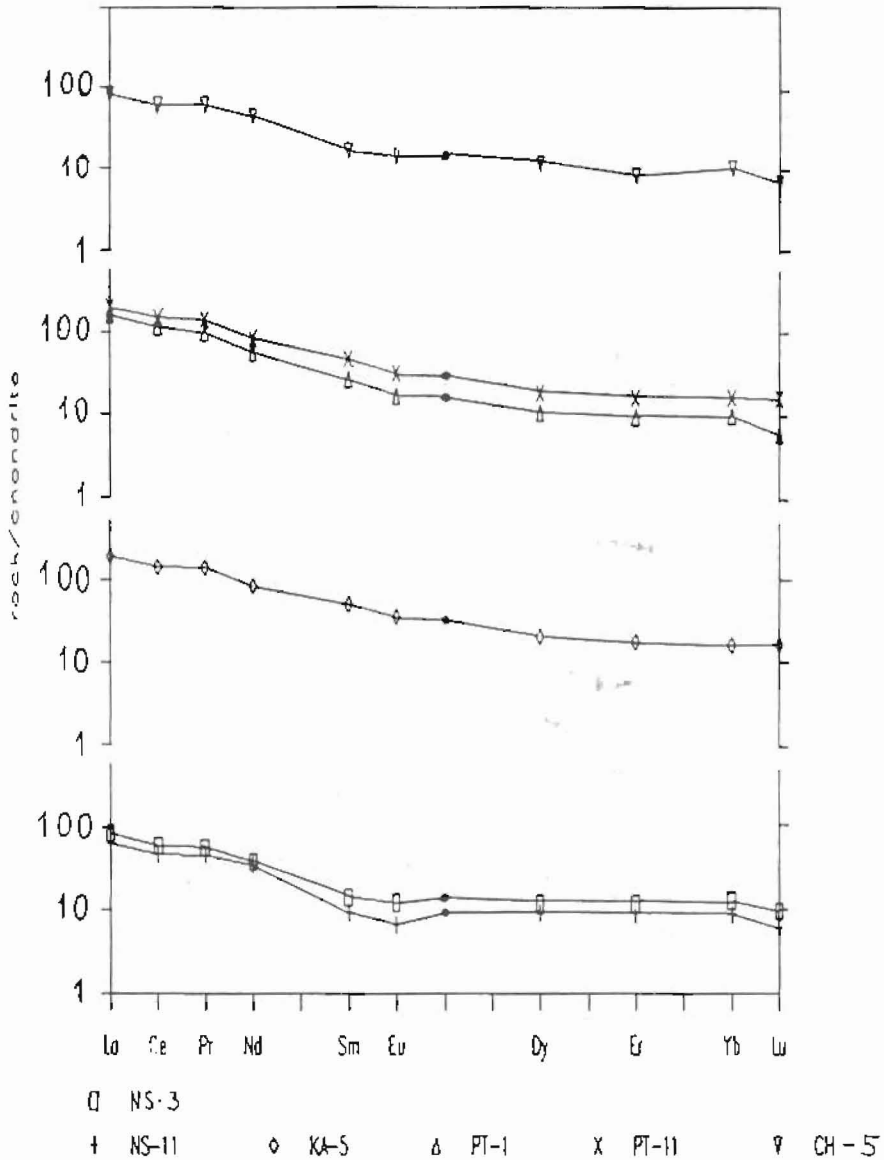
Στο σχήμα 2 δίνονται τα κανονικοποιημένα, ως προς τον πρωτογενή μανδύα (WOOD et al., 1979), διαγράμματα αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από τα πέντε ηφαιστειακά κέντρα. Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι τα πετρώματα όλων των ηφαιστειακών κέντρων παρουσιάζουν σημαντικό εμπλουτισμό σε λιθόφιλα στοιχεία μεγάλης ακτίνας ιόντος (LILE) σε σχέση με τα στοιχεία υψηλού δυναμικού πεδίου (HFSE) ενώ παρουσιάζουν επίσης αρνητικές ανωμαλίες του Nb και του Ti. Τα παραπάνω γεωχημικά χαρακτηριστικά δείχνουν ότι και τα πέντε ηφαιστειακά κέντρα συνδέονται με τεκτονικό περιβάλλον υποβύθισης. Ο λόγος όμως LILE/HFSE, όπως φαίνεται από την κλίση των κανονικοποιημένων διαγραμμάτων του σχήματος 2, είναι μικρότερος για τα πετρώματα της Νισύρου και της Κω, ενώ είναι σημαντικά μεγαλύτερος για τα πετρώματα των ηφαιστειακών κέντρων του οπισθοτόξου με υψηλότερο αυτόν των K-ούχων πετρωμάτων της Πάτμου. Αυτό φαίνεται και από τους λόγους διαφόρων στοιχείων προς το Zr (π.χ. Rb/Zr, Nb/Zr) που είναι σημαντικά υψηλότεροι για τα πετρώματα των ηφαιστειακών κέντρων του οπισθοτόξου.

Στο σχήμα 3 δίνονται τα κανονικοποιημένα ως προς τον χονδρίτη (HASKIN et al., 1968) διαγράμματα των σπανίων γαίων (REE), δειγμάτων πετρωμάτων από τα ηφαιστειακά κέντρα της Νισύρου, της Κάλυμνου, της Πάτμου και της Ν. Χίου, ενώ αντίστοιχα διαγράμματα των πετρωμάτων της Κω έχουν ήδη δημοσιευθεί (MITROPOULOS et al., 1987). Για τα πετρώματα της Νισύρου και της Πάτμου, όπου παρουσιάζεται το μεγαλύτερο εύρος συστάσεων, δίνονται τα διαγράμματα ενός όξινου και ενός βασικού μέλους. Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται ένας εμπλουτισμός σε LREE σε σχέση με τα HREE που είναι μεγαλύτερος στα πετρώματα των ηφαιστειακών κέντρων του οπισθοτόξου σε σχέση με αυτά της Νισύρου. Ο μεγαλύτερος λόγος LREE/HREE παρουσιάζεται, όπως και με τον λόγο LILE/HFSE, στα K-ούχα πετρώματα της Πάτμου.

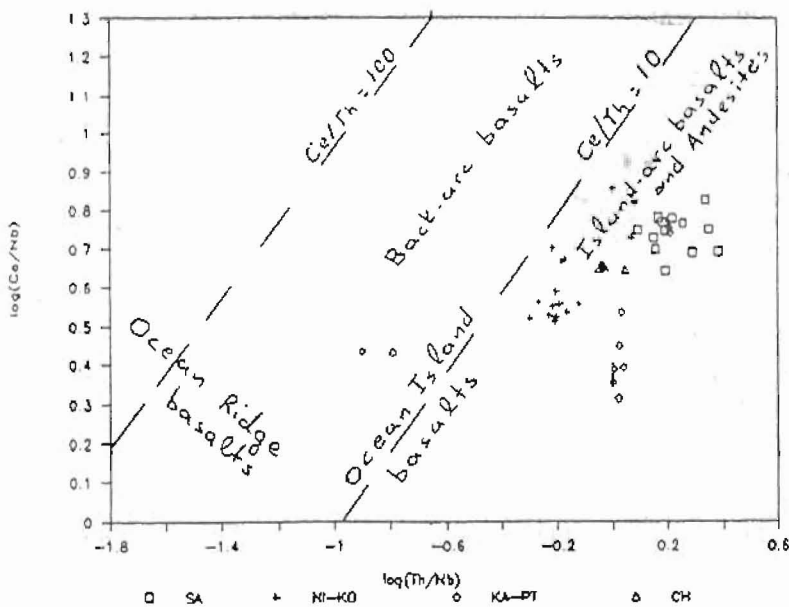
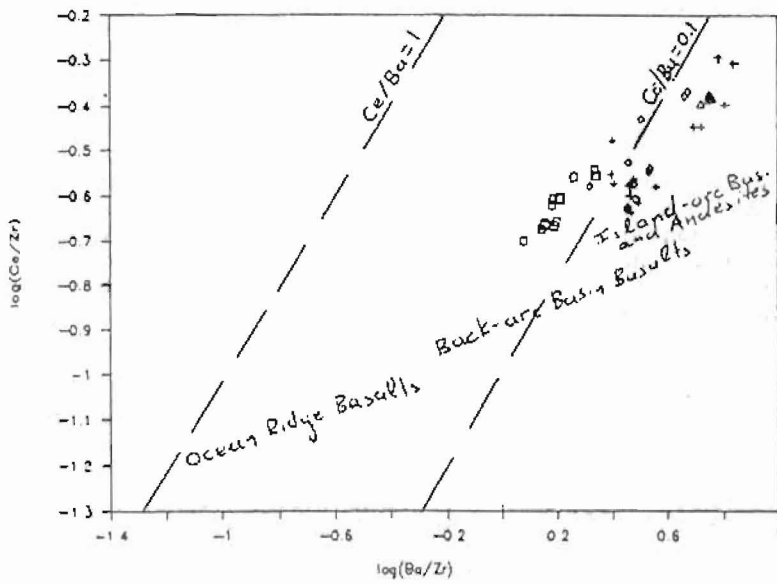
Στα διαγράμματα των REE (Σχήμα 3) εμφανίζονται και αρνητικές ανωμαλίες του Eu, οι οποίες είναι πιά έντονες στα πετρώματα της Πάτμου, και οφείλονται στις διαδικασίες κλασματικής κρυσταλλώσεως από τις οποίες προήλθαν οι διάφοροι πετρογραφικοί τύποι (BARTON & WYERS, 1991), όπως και μικρές αρνητικές ανωμαλίες του Ce που πρέπει να οφείλονται στην μικρή συμμετοχή πελαγικών ιζημάτων στην δημιουργία των ηφαιστειακών μαγμάτων των πετρωμάτων αυτών (MITROPOULOS et al., 1987).



Σχήμα 2. Κανονικοποιημένα Διαγράμματα αντιπροσωπευτικών Δειγμάτων από τα ηφαιστειακά κέντρα της Νισύρου (NS), της Κω (KO), της Καλύμνου (KA), της Πάτμου (PT) και της Ν. Χίου (CH).



Σχήμα 3. Διαγράμματα σπανίων γαιών αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από τα ηφαιστειακά κέντρα της Νισύρου, της Καλύμνου, της Πάτμου και της Ν. Χίου (συμβολ. όπως στο σχ. 2). Οι τιμές του Gd (o) δεν προέρχονται από ανάλυση αλλά έχουν υπολογιστεί από τα διαγράμματα.



Σχήμα 4. Προβολή των δειγμάτων από τα πέντε ηφαιστειακά κέντρα (συμβολ. όπως στο σχ. 2) και δειγμάτων από την Σαντορίνη (SA) στα διαγράμματα Ba/Zr vs. Ce/Zr και Ce/Nb vs. Th/Nb (SAUNDERS & TARNEY, 1989).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα βασαλτικά μάγματα των λεκανών των οπισθοτόξων παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα συστάσεων που κυμαίνονται από αυτή των βασαλτικών μαγμάτων των μεσοκεανίνων ράχων (MORB) μέχρι τη σύσταση των βασαλτών των ηφαιστειακών τόξων. Η συστηματική μελέτη όμως της γεωχημείας των ιχνοστοιχείων, των ισοτόπων και των πτητικών συστατικών των βασαλτικών μαγμάτων των λεκανών των οπισθοτόξων (SAUNDERS & TARNEY, 1991), απέδειξε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα κλάσμα, που προέρχεται από την βυθιζόμενη πλάκα, συμμετέχει στην δημιουργία αυτών των μαγμάτων.

Χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα Ba/Zr vs. Ce/Zr και Ce/Nb vs. Th/Nb (Σχήμα 4) που προτείνονται από τους SAUNDERS & TARNEY (1991) για τις λάβες των πέντε ηφαιστειακών κέντρων που τοποθετούνται σε άξονα κάθετο προς το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, φαίνεται ότι τα μητρικά τους μάγματα έχουν δημιουργηθεί από την ανάμειξη μαγματικού υλικού με χαρακτηριστικά βασαλτικού μάγματος ηφαιστειακού τόξου και ενός μεταβαλλόμενου αλλά οπωσδήποτε μικρού κλάσματος μανδουακού υλικού N-τύπου. Είναι φανερό επίσης ότι δεν υπάρχει κάποια συστηματική μεταβολή στην συμμετοχή του μανδουακού υλικού σε σχέση με την απόσταση των ηφαιστειακών κέντρων από το τόξο.

Στα διαγράμματα του σχήματος 4 προβάλλονται επίσης δείγματα ηφαιστειακών πετρωμάτων από την Σαντορίνη. Η θέση τους στα διαγράμματα δείχνει ότι, με εξαίρεση τα βασαλτικά Na-ούχα πετρώματα της Πάτμου, η συμμετοχή του μανδουακού υλικού είναι μεγαλύτερη στα μητρικά μάγματα των πετρωμάτων της Σαντορίνης. Αυτό πρέπει να θεωρηθεί σαν αποτέλεσμα της απόδοσης της ασθενόσφαιρας που παρατηρείται στο κεντρικό Αιγαίο (DELIBASIS, 1982, ΜΙΤΡΟΠΟΥΛΟΣ & TARNEY, 1992).

Συμπερασματικά, τα μητρικά μάγματα των πετρωμάτων των ηφαιστειακών κέντρων της Καλύμνου, της Πάτμου και της Ν. Χίου, παρουσιάζουν χαρακτηριστικά βασαλτικών μαγμάτων λεκανών οπισθοτόξου. Στη δημιουργία του μητρικού μάγματος κάθε ηφαιστειακού κέντρου συμμετέχουν, τήγμα από την καταβυθιζόμενη πλάκα και μανδουακό υλικό N-τύπου. Το ποσοστό συμμετοχής κάθε πηγής στη δημιουργία των μητρικών αυτών μαγμάτων εξαρτάται από την θέση του κάθε ηφαιστειακού κέντρου, αφού ο βαθμός της έκτασης της λιθοσφαιρας του Αιγαίου και το βάθος που βρίσκεται η ασθενόσφαιρα μεταβάλλονται τοπικά και χρονικά. Η ποικιλία των πετρογραφικών τύπων που απαντούν σε κάθε ένα από τα ηφαιστειακά κέντρα μπορεί να αποδοθεί σε διαδικασίες κλασματικής κρυστάλλωσης σε συνθήκες που διαφέρουν από κέντρο σε κέντρο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BARTON, M. & WYERS, G.P. (1991). Estimates of P, T, P_{H_2O} and fO_2 for lavas from Patmos (Greece) and implications for magmatic evolution. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 47, 265-297.
- BELLON, H., GRISOLLET, G. & SOREL, D. (1979). Age de l' activite volcanique neogene de l' ile de Chios (Mer Egee, Grece). *C. R. Acad. Sci. Paris*, D288, 1255-1258.
- BIJU-DUVAL, B., LE TOUZEY, J., MONTADERT, L., COURRIER, P., MUGNIOT, J.F. & SANCHO, J. (1974). Geology of the Mediterranean Sea basins. In: C.A. BURK & C.L. DRAKE (eds) *The Geology of Continental Margins*. Springer-Verlag, Berlin, 695-721.

- DE BOER, J.Z. (1989). The greek enigma: is development of the Aegean orogene dominated by forces related to subduction or obduction? *Marine Geol.*, 87, 31-54.
- FERRARA, G., FYTIKAS, M., GIULIANI, O. & MARINELLI, G. (1980). Age of the formation of the Aegean active volcanic arc. In: DOUMAS, C. (Ed.) *Thera and the Aegean World II*, 37-41.
- FYTIKAS, M., GIULIANI, O., INNOCENTI, F., MARINELLI, G. & MAZZUOLI, R. (1976). Geochronological data on recent magmatism of the Aegean Sea. *Tectonophysics*, 31, 29-34.
- FYTIKAS, M., INNOCENTI, F., MANETTI, P., MAZZUOLI, R., PECCERILLO, A. & VILLARI, L. (1984). Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 17, 687-699.
- HASKIN, L.A., HASKIN, M.A., FREY, F.A. & WILDEMAN, T. R. (1968). Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: L.H. AHRENS (ed), *Origin and distribution of the elements*. Pergamon, Oxford, 889-912.
- INNOCENTI, F., MANETTI, P., PECCERILLO, A. & POLI, G. (1979). Inner arc volcanism in NW Aegean Arc: geochemical and geochronological data. *N. Jh. Mineral. Mon.*, 1979, 145-148.
- LE PICHON, X. & ANGELIER, J. (1979). The Hellenic arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42.
- LE PICHON, X. & ANGELIER, J. (1981). The Aegean Sea. *Philos. Trans. Royal Soc. London*, A300, 357-372.
- MAKROPOULOS, K.C. & BURTON, P.W. (1984). Greek tectonics and seismicity. *Tectonophysics*, 106, 275-304.
- MAKRIS, J. (1977). Geophysical investigations of the Hellenides. *Hamb. Geophys. Einzelschr.*, 34, 124pp.
- MCKENZIE, D.P. (1978). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean sea and surrounding regions. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 55, 217-254.
- ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ, Π. (1986). Ανομοιογένεια του μητρικού μάγματος των πετρωμάτων των διαφόρων ηφαιστειακών κέντρων του τόξου του Αιγαίου: Γεωχημικά και ορυκτοχημικά δεδομένα. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.,
- ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ, Π. & ΜΑΓΚΚΑΝΑΣ, Α. (1988). Μεταβολές της πτητικότητας του οξειγόνου (fO_2) κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου όπως προκύπτουν από την ορυκτοχημεία Fe-Ti-ούχων ορυκτών οξειδίων. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 33, 147-159.
- MITROPOULOS, P., TARNEY, J., SAUNDERS, A.D. & MARSH, N.G. (1987). Petrogenesis of cenozoic volcanic rocks from the Aegean volcanic arc. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 32, 177-193.

- MITROPOULOS, P. & TARNEY, J. (1992). Significance of mineral composition variations in the Aegean island arc. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 51, 283-303.
- NETELS, V. & TSOFLIAS, P. (1989). Recherches géologiques dans l'île de Chios. *Mineral Wealth*, 62, 15-28.
- PAPAZACHOS, B.C. (1977). A lithospheric model to interpret focal properties of intermediate and shallow shocks in central Greece. *Pure Appl. Geophys.*, 155, 655-666.
- PAPAZACHOS, B.C. (1990). Seismicity of the Aegean and surrounding area. *Tectonophysics*, 178, 287-308.
- PAPAZACHOS, B.C. & COMNINAKIS, P.E. (1971). Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. *J. Geophys. Res.*, 76, 8517-8533.
- PE-PIPER, G. & PIPER, D.J.W. (1989). Spatial and temporal variation in Late Cenozoic back-arc volcanic rocks, Aegean Sea region. *Tectonophysics*, 169, 113-134.
- SPAKMAN, W., WORTEL, M.J.R. & VLAAR, N.J. (1988). The Hellenic subduction zone: a tomographic image and its geodynamic implications. *Geophys. Res. Lett.*, 15, 60-63.
- SAUNDERS, A.D. & TARNEY, J. (1989). Back-Arc Basins. In: FLOYD, P.A. (Ed.) *Oceanic Basalts*. Blackie, Glasgow, 219-263.
- WOOD, D.A., JORON, J.-L., MARSH, N.G., TARNEY, J. & TREUIL, M. (1979). Major and trace element variations in basalts from the north Philippine Sea drilled during DSDP Leg 58: A comparative study of back-arc basin basalts from Japan and mid-ocean ridges. *Init. Rept. Deep Sea Drilling Project*, 58, 873-894. (U.S. Govt. Printing Office, Washington).
- WYERS, G.P. & BARTON, M. (1986). Petrology and evolution of transitional alkaline-sub-alkaline lavas from Patmos, Dodecanesos Greece: evidence for fractional crystallization, magma mixing and assimilation. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 93, 297-311.
- WYERS, G.P. & BARTON, M. (1987). Geochemistry of a transitional ne-trachybasalt-Q-trachyte lava series from Patmos (Dodecanesos) Greece: Further evidence for fractionation, mixing and assimilation. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 97, 279-291.
- ZANETTIN, B. (1984). Proposed new chemical classification of volcanic rocks. *Episodes*, 7, 19-20.