

ΓΕΩΛΟΓΙΑ.— **Studium der Paragenese Hornblende-Granat-Biotit an den Pegmatiteinschlüssen Westthrakiens/Griechenlands,**

by *Andreas G. Vgenopoulos* *. Ἀνεκοινώθη ὑπὸ τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. Ἰω. Τρικκαλινοῦ.

PROBLEMSTELLUNG

Bei den Untersuchungen verschiedener pegmatitischer Formationen (vergl. A. Vgenopoulos, 1975): Im Kristallin des Rila-Rhodopen-Massives Westthrakiens) stellten wir fest, dass Teile des Nebengesteins, hauptsächlich die Gneise und Hornblenditen des Paleozoikums, von Pegmatiten in Form von Einschlüssen umschlossen sind. Diese Einschlüsse enthalten unter anderem die Mineralien Hornblende, Biotit, Feldspat, Quarz, Titanit, Zirkon, Tremolit, Hämatit und auch Granat.

Granat tritt in den verschiedenen Gesteinsvorkommen des Rila-Rhodopen-Massives sehr oft auf, ausserdem trafen wir Granat in verschiedenen Gesteinsformationen von verschiedener Grösse, die wichtigsten sind die Granat-Chlorit-Schiefer, die Granat-Hellglimmer-Schiefer, die Hornblende-Granat-Gneise etc. Auffallendes Merkmal der meisten Granate ist ihre Nussgrösse und der chloritisierte äussere Rand.

Einige Granatvorkommen sind von uns röntgenographisch untersucht worden. Im ersten Fall fanden wir an den Einschlüssen der Pegmatite einen Pyropgranaten, die anderen Granate ergaben im Gegensatz dazu Spessartin und Almandin. Pyropgranate mit mehr als 65% Pyropanteil werden in der Literatur (von verschiedenen Forschern) als Bildungsprodukt einer Metamorphose angesehen, d. h. dass sie entstanden sind während des Aufstieges des Materials aus dem oberen Erdmantel in die Grenzregion Kruste/Mantel (vergl. G. Lensch, 1975 und R. Schmid, 1967 usw.).

Aufgrund der interessanten Ergebnisse, die die Untersuchung dieser Pyropgranate ergaben, versuchen wir in dieser Arbeit, dem Anteil des Pyropvorkommens näherzukommen. Auf die anderen Granattypen werden wir im Zusammenhang mit anderen Mineralphasen in einer späteren Arbeit zurückkommen.

* ΑΝΔΡΕΟΥ Γ. ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ, Μελέτη τῆς παραγένεσεως κεροσίλβης - γρανάτη - βιοτίτη εἰς ἐγκλείσματα πηγματιτῶν τῆς Δυτικῆς Θράκης.

Es ging hauptsächlich darum, die folgenden Fragen zu beantworten:

1. ist dieser Einschluss ein Teil des Nebengesteins
2. ist er ein ursprünglicher Teil des Nebengesteins, der durch den Pegmatit metasomatisch verändert wurde.
3. Ist er ein Xenolith, der aus der Tiefe stammt.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE ANHAND VON DÜNNNSCHLIFFEN

Das Studium von Dünnschliffen erlaubte uns die Feststellung, dass durch den Einschluss während der Pegmatitbildung eine Trennung von charakteristischen Mineralphasen zurückgeblieben ist. Die Phasen selbst wurden von einer Mobilisation im Sinne einer Umkristallisation und einer Stoffwanderung begleitet. Um diesen Begriff genauer zu erklären, beschreiben wir im folgenden diese Mineralparagenesen.

1. Pyrop-Hornblende-Quarz-Phase
2. Pyrop-Biotit (mit Titanit, Quarz-Rutil, Muskowit, Feldspat, Chlorit, Hämatit, Zirkon) und wenig Hornblende-Phase
3. Pyrop-Quarz-Phase.

Phase 1: Bei dieser Phase stellen wir die Gleichgewichtsparagenesen Hornblende-Pyrop und frischen Quarz fest. Die Granatkörner weisen Biotitrelikten auf in Form von Schlieren (wahrscheinlich auch Pyroxen). Fig. 1, 2. Alle hellen Gemengteile, die in der vorherigen Gneisphase mit Resten der Dunkelphase koexistierten, wurden mobilisiert und in situ umkristallisiert. Zusammen mit dem zugeführten Material traten sie in Phase 2 ein. In der ersten Phase reagiert der Granat hauptsächlich auf Kosten des Biotits und weniger auf Kosten der Hornblende.

Phase 2: Es besteht eine Vernichtungstendenz des Minerals Hornblende. Die Paragenese Biotit-Granat, wenig Hornblende und frischer Quarz, erscheint am deutlichsten. Fig. 3, 4. Der Biotit ummantelt den Granaten, dann verdrängt der Granat den Biotit und dehnt sich auf dessen früheren Stellen aus. Gleichzeitig wird der Granat an seinen schwachen Stellen von Biotit durchdrungen. Nach den Ergebnissen der chemischen Analyse, die wir auf Tafel III angeben, sind für die Bildung des Pyrops



Fig. 1. Quarzitische Gefüge mit Hornblende und Granatblasten.
Dünnschliff-Photo mit // Nicols. Vergrößerung 10×8 .

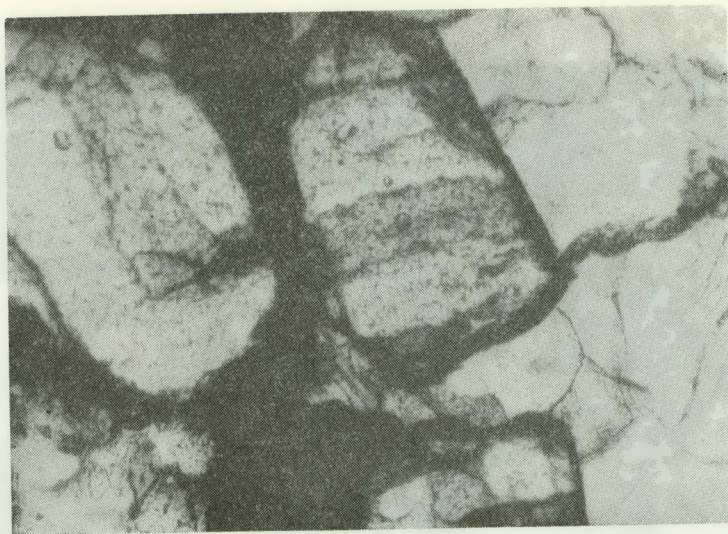


Fig. 2. Leicht zonierte Granatblasten in quarzitischem Gefüge, getrennt in der Mitte wechselweise von Opaken und durchsichtiger Masse, die hauptsächlich aus Titanit, Hornblende und Tremolit besteht. Diese Trennmasse scheint mit den Granatzonen verbunden zu sein.

Dünnschliff-Photo mit // Nicols. Vergrößerung 10×8 .

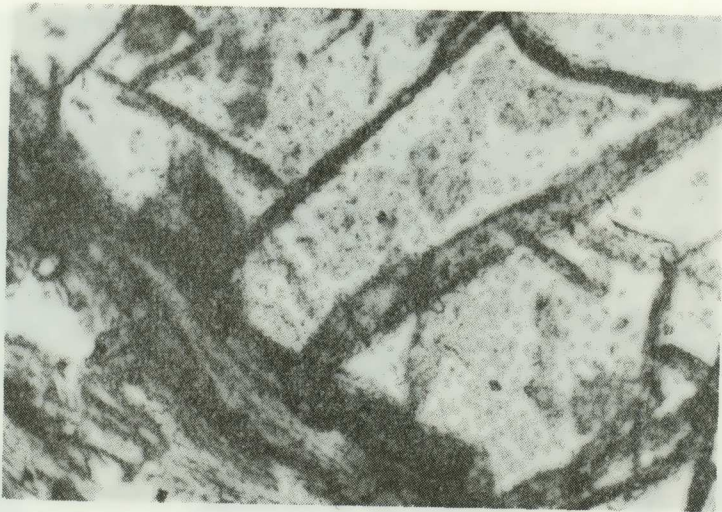


Fig. 3. Hornblenderelikte umgewandelt in Tremolit, die den Granaten ummanteln. Die Streifen im Granatkorn passen gemäss Pleochraismus zu Biotitmineralien.
Dünnschliff-Photo mit // Nicols. Vergrösserung 10×8 .

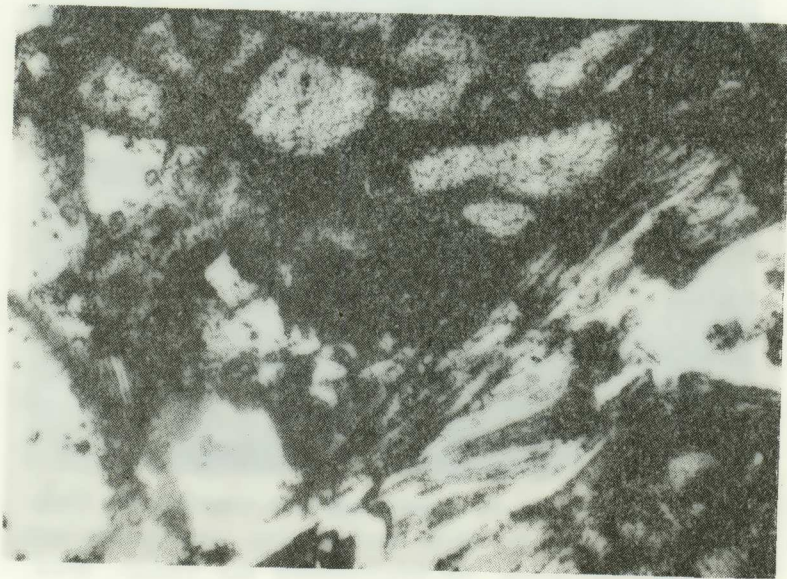


Fig. 4. Granatkörner werden von Biotit ummantelt und an manchen Stellen durchflossen.
Dünnschliff-Photo mit // Nicols. Vergrösserung 10×8 .

die Elemente Silicium, Aluminium, Eisen, Calcium und Magnesium nötig, die ohne weiteres aus den zwei Mineralphasen kommen können.

Die Umwandlung der Hornblende und des Biotits bildet also den Granaten, der Ueberschuss und die hellen Gemengteile der Gneise zusammen mit den zugeführten Stoffen bestehend hauptsächlich aus den Elementen K, Na, F, H₂O, Fe, Mg, Ti, Zr usw. bilden in dieser Phase deutlich die neuen Mineralien wie Titanit, Quarz, Rutil, Feldspat, Muskowit, Chlorit, Tremolit, Hämatit (Ilmenit?), Zirkon usw.

Phase 3: Rein mikroskopisch gesehen, besteht diese Phase aus einer Granatblastese mit quarzitischem Gefüge. Fig. 5, 6.

Leider war es uns nicht möglich, von jeder einzelnen der drei Phasen genügend Material herauszusepararieren, um durch Analyse die stofflichen Veränderungen registrieren zu können. Bei Brechungsindex-Bestimmungen ergaben sich kaum Variationen.

PHYSIKALISCHE DATEN

Auf Tafel I sind die erhaltenen 2θ und die entsprechenden d-Werte von zwei Granatpulvern (Granat des Einschlusses und Vergleichsgranat aus Kimberlit) angegeben sowie die entsprechenden Pyrop-d-Werte aus der ASTM-Kartei.

Auf Tafel II sind die erhaltenen und die theoretischen Werte der untersuchten Granate eingetragen, wie Gitterkonstante, Dichte und Brechungs-Index.

CHEMISCHER TEIL

Es wurde aus dem erwähnten Einschluss ein freies Glimmer-Pegmatitgestein, ein Granat und ein Biotit separiert, ausserdem Hornblende des Nebengesteins und des Einschlusses wie auch ein Pyropgranat aus Kimberlit und anschliessend mit R. F. analysiert (Analytiker A. Vgenopoulos).

Auf Tafel III sind die aus der Analyse erhaltenen Resultate zusammengestellt.

Aus der Analyse geht hervor, dass der Granat des Einschlusses einen höheren FeO-Anteil aufweist im Vergleich zu der Formel eines reinen Pyropmoleküls und zum analysierten Kimberlitgranat. Bei der Pegmatit-Analyse wird ein Ca-armer Pegmatit festgestellt, d. h. während der Pegmatitbildung war die Mobilisation des Ca sehr klein.

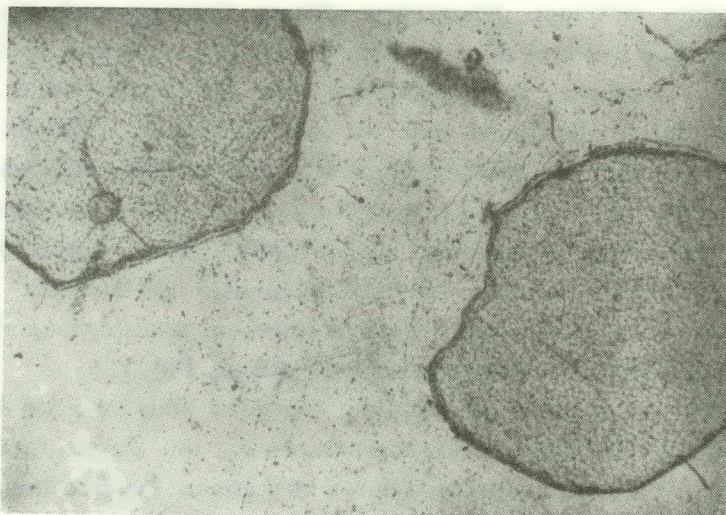


Fig. 5. Quarzitische Gefüge und Granatblasten.
Dünnschliff - Photo mit // Nicols. Vergrößerung 10×8 .

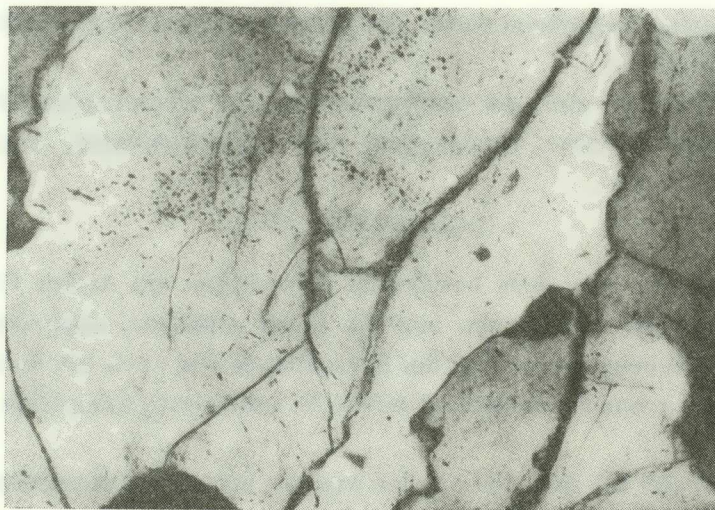


Fig. 6. Quarzitischer Körper wird von Kanälen durchflossen.
Die Kanäle führen zu Granatkörnern und stammen von mafischen Mineralien.

Dünnschliff - Photo mit + Nicols. Vergrößerung 10×8 .

T A F E L I

Granat aus Kimberlit		Literatur d - Werte	Granat aus dem Einschluss	
2θ	d		2θ	d
30.9	2.891	2.88	30.85	2.895
34.6	2.590	2.58	34.63	2.588
36.4	2.466	2.46	—	2.469
38.1	2.359	2.35	38.1	2.359
39.7	2.268	2.26	39.7	2.268
42.9	2.103	2.10	42.8	2.111
44.3	2.042	2.03	44.3	2.043
48.5	1.875	1.87	48.6	1.871
49.9	1.926	1.82	—	—
54.95	1.669	1.66	54.95	1.6695
57.4	1.604	1.60	57.35	1.605
59.95	1.541	1.54	59.9	1.543
64.4	1.445	1.44	64.35	1.446
64.6	1.441	1.42	64.55	1.442
73.15	1.292	1.29	73.1	1.293
75.25	1.2616	1.26	75.3	1.261
77.35	1.2326	1.24	77.35	1.232
78.4	1.218	1.22	—	—
82.5	1.168	1.16	—	—
82.8	1.164	1.13	—	—
		1.07	91.7	1.073
			92.0	1.070

Aufnahmebedingungen : Philips Röntgendiffraktometer, Cuka/Filter Ni/20mA/40kv

T A F E L I I

	Granat aus Kimberlit	Granat aus den Einschlüssen	Theoretische Pyropwerte nach C. W. Correns, 1968
Gitterkonstante.	11.517	11.54	11.53
Dichte	3.6	3.78	3.5
Brechungsindex.	1.74	1.777	1.70

Theoretische Werte der Gitterkonstante der anderen Granatminerale (nach C. W. Correns, 1968)	
Almandin	11.52
Spessartin	11.61
Grossular	11.85
Andradit	12.04

T A F E L I I I

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	
Granat aus Kimberlit .	42.1	21.5	13.5	7.6	13.8	—	—	0.25	98.75
Granat aus Einschluss.	41.8	22.5	19.8	4.6	8.1	—	—	1.06	97.86
Pegmatit.	14.8	13.9	1.2	1.5	0.2	5.6	0.8	0.15	98.15
Hbl aus Einschluss . .	44.5	16.7	13.8	11.2	9.7	1.9	1.0	1.7	100.5
Hbl aus Nebengestein.	48.4	12.9	10.6	11.4	13.2	2.1	1.3	0.4	100.3
Biotit aus Einschluss .	38.7	17.8	16.9	0.5	12.5	0.6	9.5	2.9	99.8

Anteil des Pyrops der analysierten Granaten : Granat aus Kimberlit = 46.00 %
Granat aus Einschluss = 27.00 %

Nach dieser Ueberlegung, dem Gefüge und der Paragenese ergibt sich, dass der Granat seine Fe-, Ca- bzw. Mg-Gehalte von den Mineralien Biotit-Hornblende erhalten hat. Die kleinen Reste, die im Pegmatitmaterial registriert wurden, genügen ziemlich sicher nicht als Lieferanten. D. h. somit, dass vor oder am Anfang der Pegmatitbildung eine Mineralumwandlung stattgefunden hat, die die Granatbildung begünstigte. Bei der Fortsetzung des Umwandlungsprozesses der Gneise bildeten sich neuere Mineralphasen wie Titanit, Rutil, Muskowit, Feldspat (Na-reich), Zirkon, Hämatit, Tremolit, Quarz usw.

Die Bestimmung einer Pyrop-Gitterkonstante (vergl. Tafel II) mit höherer Dichte und höherem Brechungsindex, die verglichen werden kann mit dem entsprechend höheren Pyropanteil des Kimberlitgranats, erlauben, sich einen ursprünglichen Granaten mit viel höherem Pyropanteil vorzustellen, der während der Metamorphose bei Substitutionsprozessen hauptsächlich das Mg durch Fe²⁺ ersetzte. Eine ursprüngliche Existenz des Granats mit höherem Pyropmaterial und seine Veränderung während der Pegmatitbildung erscheint uns nach dem Studium als unwahrscheinlich. Auch die Bildungsbedingungen der Pyropgranaten sehen wir nun skeptischer an, nachdem wir Vorkommen von relativ hohen Pyropanteilen an quarzitischen Gefügen festgestellt haben.

DISKUSSION DER RESULTATE

Wenn wir die Mittelwerte der Hauptkomponenten der zwei Mineralphasen von Biotit und Hornblende des Einschlusses zu vergleichen versuchen mit den Werten des Granats (vergl. Tafel IV), dann sehen wir, dass das Ca der Hornblende eines der Hauptkomponenten sein sollte, welches die Bildung des Granats beeinflussen könnte. Kann sich gleichzeitig ein solcher Granat mit ziemlich hohem Pyropgehalt in der Mineralphase Hornblende-Biotit bilden? Dies bleibt im Moment noch eine offene Frage. Wertvolle Hinweise über die Bildung des Granats könnte in unserem Fall auch das Element Titan bieten, nachdem die Hornblende des Nebengesteins titanarm ist, dagegen aber sowohl der Biotit als auch die Hornblende und die pyrophaltigen Granate des Einschlusses ziemlich reich an Titan sind. Wir nehmen an, dass das Titan während des Zerfalles des Biotits oder der Hornblende vom Granaten aufgenommen wurde,

T A F E L IV

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
Hornblende aus Einschluss .	44.5	19.5	13.8	11.2	9.7	1.7
Biotit aus Einschluss	38.7	16.7	16.9	0.5	12.5	2.9
Mittelwert	41.6	18.1	15.35	5.85	11.1	2.3
Pyrop aus Einschluss	41.8	22.5	19.8	4.6	8.1	1.06

dabei aber ein Restteil Titan verblieben ist, welcher wahrscheinlich während der Pegmatitphase Titanit gebildet hat. Auch das Fehlen von Granat im Nebengestein gab Probleme auf. Spurenanalysen für Zirkon

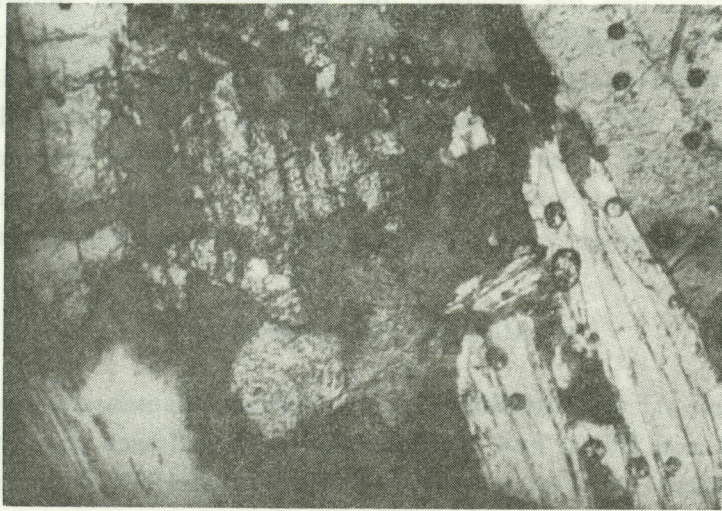


Fig. 7. Pegmatitisches Gefüge. Durch die Klüfte ist an den Spalten der verschiedenen Mineralien Zirkon entstanden.

Dünnschliff-Photo mit + Nicols. Vergrößerung 10 × 6.

ergaben minimale oder überhaupt keine Zirkonanteile im Nebengestein, während sich im Einschluss und in den Pegmatiten Werte bis über 1200 ppm an Zirkon ergaben.

Fig. 7 gibt ein charakteristisches Bild über das Auftreten von Zirkon im Gebiet. Zirkon ist eines der wichtigsten Spurenelemente in den Einschlüssen.

Das Studium der vorliegenden Arbeit erlaubt uns, anhand der assoziierten Mineralparagenesen neben den pyrophaltigen Granatkomponenten und deren Gefüge, topometasomatische Phänomene in der Natur genau zu erfassen und auf Stoffveränderungen während der Mineralumbildung zu schliessen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit geht hervor, dass der Einschluss ein Teil der Hornblenditen aus dem Nebengestein ist, welcher zu einem grossen Teil durch den Pegmatit metasomatisch verändert wurde.

Titan scheint sehr mobil zu sein und spielt wahrscheinlich die Rolle eines Indikators in dem System Hornblende/Biotit - Granat.

Der Titan könnte durch den Zerfall des Biotits oder der anderen früheren mafitischen Mineralien wie Pyroxen und Hornblende durch die pegmatitischen Lösungen ausgelaugt werden oder durch Mobilisation aus dem Einschluss selbst. Die Reaktionen, die im Einschluss stattgefunden haben, verraten ein topometasomatisches Phänomen, welches durch die pegmatitische Wirkung zum grossen Teil verursacht wurde.

ALLGEMEINES

Ungefähr 800 m nach Verlassen des Dorfes Protoklision in Richtung Mikron Derion, auf der rechten Seite der neuen Autostrasse, trifft man metamorphe Gesteine, in welche pegmatitische Körper eingedrungen sind. In diesem pegmatitischen Material findet man Einschlüsse von fremdem Gestein. U. a. sind die Mineralphasen Hornblende, Granat und Biotit deutlich zu unterscheiden, doch sind diese Paragenesen nicht in den Pegmatiten zu treffen und ausser der Hornblende auch nicht im Nebengestein.

In dieser Arbeit wird versucht, die Herkunft der Einschlüsse abzuklären wie auch die Art der Bildung der erwähnten Mineralphasen. Ich diskutierte die Probleme auch mehrmals mit anderen Fachleuten und möchte Ihnen an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen: Herrn Prof. Dr. S. S. Augustithis für die Zurverfügungstellung eines Pyropgranaten aus Kimberlit, welcher als Vergleichsmaterial diente, wie auch

für seine wertvollen Ratschläge und Diskussionen ; Herrn Dr. E. Mposkos für die Bestimmung der Brechungsindexe einiger Granatmineralien ; ausserdem den Herren vom Geochemischen Labor des Min. - Petr. Institutes der Universität Basel, Herrn Prof. Dr. H. Schwander und besonders Herrn P. D. Dr. W. B. Stern für wertvolle Hinweise. Auch meiner Frau herzlichen Dank für ihre Hilfe bei sprachlichen Schwierigkeiten und die Reinschrift des Manuskriptes.

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Ι Σ

Εἷς τινὰς πηγματιτικὰς ἐμφανίσεις τῆς Δ. Θοράκης ἐνετοπίσθησαν ἐντὸς τῶν πηγματιτῶν ἐγκλείσματα ξένης συστάσεως καὶ προελεύσεως ἐκείνης τῶν πηγματιτῶν. Εἰς τὰ ἐγκλείσματα, μετὰξὺ ἄλλων ὀρυκτῶν προσδιορίσθησαν τὰ ὀρυκτὰ κερροσίλβη, βιοτίτης, καὶ γρανάτης. Ὁ γρανάτης εἶναι τύπος πυρωποῦ, πρᾶγμα ἀσύνηθες διὰ τοὺς πηγματίτας. Τὰ ἐν λόγῳ ὀρυκτὰ, ἐκτὸς τῆς κερροσίλβης, τὴν ὁποίαν ἀπαντῶμεν καὶ εἰς τὸ παρακείμενον πέτρωμα, δὲν ἀπαντῶνται οὔτε εἰς τὸν πηγματίτην, οὔτε εἰς τὸ παρακείμενον πέτρωμα.

Εἰς τὴν παροῦσαν ἐργασίαν προσπαθήσαμεν νὰ ἀποδείξωμεν τὴν προέλευσιν τοῦ ἐγκλείματος, ὡς καὶ τὸ εἶδος καὶ τὸν τρόπον σχηματισμοῦ τοῦ γρανάτη. Τὸ γεγονός, ὅτι γρανάται τοιοῦτου εἴδους θεωροῦνται ὅτι δημιουργοῦνται εἰς μεγάλα βάθη, συντέλεσεν ὥστε νὰ ἐνταθῇ ἡ μελέτη περὶ τὸν γρανάτην.

Ἐκ τῆς μελέτης ἀπεδείχθη ὅτι ὁ γρανάτης εἶναι βλαστικῆς προελεύσεως σχηματισθεὶς ἐκ τῆς μετασωματώσεως τῶν ὀρυκτῶν κερροσίλβης καὶ βιοτίτου. Λόγῳ τῆς ὁμοιότητος τοῦ ἐγκλείματος μὲ πετρώματα τῶν παρακειμένων πετρωμάτων, θεωρεῖται ὅτι τὰ ἐγκλείσματα εἶναι μέρος τοῦ παρακειμένου πετρώματος, ἰδίως ἀμφιβολιτῶν, τὰ ὁποῖα ὑπέστησαν μετασωμάτωσιν τῇ ἐπιδράσει τοῦ ὕλικου τῆς πηγματικῆς φάσεως. Εἰς τοῦτο συνηγοροῦν καὶ τὰ στοιχεῖα τιτάνιον καὶ ζιρκόνιον, τὰ ὁποῖα εἰς τὰς φάσεις τοῦ ἐγκλείματος καὶ τοῦ πηγματίτη εἶναι πλούσια, ἐνῶ εἰς τὰς φάσεις τοῦ παρακειμένου πετρώματος εἶναι πολὺ πτωχά.

L I T E R A T U R

- S. S. Augustithis, Atlas of the textural patterns of granites, Gneises and associated rock types. Elsevier, 1973.
C. W. Correns, Einführung in die Mineralogie. Springer Verlag Berlin - New York, 1968.

- G. L e n s c h, Ein Pyropgranat aus dem Peridotitkörper von Finero. N. Jb. Miner. Mh. H. 7 S. 333-336, 1975.
- R. S c h m i d, Granatchemismus als Indikator des Metamorphosegrades in der Zone Ivrea-Verbano (Norditalien). Schw. Min. Petr. Mitteilungen, Bd. 46, S. 683-687, 1966.
- , Zur Petrographie und Struktur der Zone Ivrea-Verbano zwischen Valle d'Ossola und Val Grande. Schw. Min. Petr. Mitteilungen, Bd. 47/2, S. 935-1117, 1967.
- A. V g e n o p o u l o s, Zur Mineralchemie einiger Hellglimmer-Pegmatiten aus dem Gebiet Westthakiens /Griechenland. Prak. Akad. Athens, Bd. 50, S. 276-296, 1975.