

SUR UN AFFLEUREMENT CUPRIFÈRE  
DANS LA RÉGION DE KARYA EN OLYMPE (GRÈCE)

Par  
ELIE S. SAPOUNDJIS

SUR UN AFFLEUREMENT CUPRIFÈRE  
DANS LA RÉGION DE KARYA EN OLYMPE (GRÈCE)

Par  
ELIE S. SAPOUNDJIS

(Laboratoire de Mineralogie et Petrographie. Université de Thessaloniki)

*Abstract: An occurrence of copper minerals was investigated at the south slope of Mt. Olympus (Greece).*

*The occurrence of bornite and chalcocite as primary minerals was observed.*

*These minerals are found in a rock derived from contact metamorphism. The rock consists mainly of grossular and diopside.*

*X-ray powder examination showed that both bornite and chalcocite are low temperature forms.*

*The examination of thin sections under the metallographic microscope has shown that the origin of these minerals is typically hydrothermal. The temperature of the solutions which formed these minerals was 220° C.*

*Secondary minerals such as malachite, brochantite, chrysocolla and azurite are also described. Chrysocolla occurs both in an amorphous and cryptocrystalline state.*

*Résumé: Dans ce travail nous examinons un affleurement de minéraux cuprifères dans la région de l'Olympe de sud (Grèce).*

*Nous signalons l'existence de bornite primaire ( $Cu_5FeS_4$ ) et de chalcosine ( $Cu_2S$ ). Ces minéraux se trouvent dans une roche qui a résulté d'une métamorphisme de contact: cette roche est essentiellement constituée de grossulaire et de diopside. L'examen de radiogrammes de poudres de ces minéraux a prouvé qu'il s'agit de bornite et de chalcosine de température basse. En outre, l'examen de coupes polies, sous le microscope métallographique, a montré que l'origine de ces minéraux est typiquement*

*hydrothermale. La température des solutions desquelles ils ont été déposés était inférieure à environ 220° C.*

*Comme minéraux secondaires nous décrivons la malachite, la brochantite, la chrysocolle et l'azurite. Enfin nous signalons la présence de la chrysocolle comme amorphe et comme cryptocristalline.*

*Introduction:* Dans la région de l'Olympe méridional, à 7 Km environ à l'est du village Karya, et sur les pentes occidentales de la montagne Analipsis (1365 m), nous avons eu récemment l'occasion de remarquer dans les roches ophiolitiques un intéressant affleurement de minéraux cuprifères.

La détermination des minéraux qui prennent part à cet affleurement ainsi que l'explication de questions de nature génétique ont fait l'objet de présent travail.

*Données géologiques et pétrographiques.* Dans la structure géologique de la région du sud de l'Olympe (Bas - Olympe), les formations participantes sont essentiellement des calcaires, marbres, gneiss, schistes et une suite de roches ophiolitiques. CVIJC (1908) rapporte que, d'après Neumayer l'épaisseur des roches métamorphiques et semi-métamorphiques comme aussi des calcaires dans cette région atteint à 3000 m environ. GODFRIAUX (1968) qui s'est occupé en détail de l'étude géologique de l'Olympe, rapporte que la masse proprement dite du Bas - Olympe consiste en formations calcaires, dont certaines sont sous-jacentes aux roches métamorphiques qui se couvrent par un deuxième ensemble calcaire sur lequel finalement repose une série de roches ophiolitiques.

Avec plus de détails, il décrit que: des marbres blancs saccharoïdes d'une épaisseur de 150 m sont recouverts par des schistes sériciteux de la même environ épaisseur qui, en fait, comme il est démontré, sont des gneiss ocellés réguliers. Suivent de nouveau des marbres blancs d'une épaisseur de 100 mètres environ se couvrant par des schistes cristallins vert clair d'une épaisseur de 50 m. Enfin, sur les schistes repose la série des roches vertes composée à la base d'une mince masse de dolérites de 20 m et de serpentines désagrégées, à l'intérieur desquelles se trouvent des noyaux de péridotites et de pyroxénites ainsi que des fragments de bancs calcaires, et au sommet des péridotites et des pyroxénites de 500 m environ d'épaisseur.

*Forme de l'affleurement et nature de la roche dans laquelle il se trouve.* L'affleurement cuprifère étudié se trouve à une altitude de 1100 m

environ et sur un sol couvert par la végétation. Il occupe une étendue superficielle de 70 m de longueur et de 20 m de largeur environ. La profondeur jusqu'à laquelle se sont poussés les essais élémentaires de travaux d'investigation varie de 0,50 à 3 m sous la surface du sol, en raison de quoi l'investigation se limite sur ces éléments superficiels.

À une première observation, l'attention est attirée par la couleur verte et vert sombre des enduits cuprifères qui généralement prédominent couvrant, sous la forme de minces incrustations, des surfaces de la roche ou remplissant ses crevasses. Les minéraux opaques apparaissent soit comme de petites taches de forme irrégulière, soit sous la forme de veinules réticulées ou encore comme imprégnant la roche-hôte. À première vue le degré de la teneur en métal semble être local et réduit.

La roche dans laquelle se rencontrent les minéraux de cet affleurement appartient à la série précédemment citée des roches vertes dont l'âge selon GODFRIAUX (1968) est attribué au jurassique. Cette roche se présente avec des éléments évidents d'actions tectoniques. Ces actions provoquent des diaclases qui divisent la roche en parties de diverses grandeurs, laquelle ainsi apparaît par places comme complètement morcelée.

L'étude pétrographique de la roche prouve, du moins à la place de l'affleurement des minéraux cuprifères, que la roche a subi un métamorphisme dont l'origine est due à des phénomènes de contact.

C'est dans ce milieu géologique brièvement esquissé ci-dessus, qu'apparaît l'affleurement cuprifère étudié, en association avec la roche qui le contient de la façon suivante.

#### *Constituants minéraux :*

a) *Minéraux de la roche.* Nous citerons en premier lieu la présence du diopside et de la grossulaire, qui sont les constituants minéraux fondamentaux de la roche à l'intérieur de laquelle se trouvent les minéraux cuprifères. De ces minéraux, le diopside se trouve surtout sous la forme d'agrégats de cristaux microgrenus de couleur verdâtre, et quelquefois vert jaunâtre, qui pour la plupart engendrent des concentrations de masses de la roche composées uniquement du minéral correspondant (diopsidite). La grossulaire se trouve surtout sous forme de veinules de couleur blanche rosâtre qui pénètrent dans les masses du diopside. L'épaisseur des veinules de la grossulaire varie depuis un millimètre jusqu'à plusieurs centimètres. La détermination de ces deux minéraux a été faite optiquement et par radiographie. D'autres minéraux de paragenèse, mais qui se rencontrent en veinules sporadi-

ques, ce sont des granules de clinzoisite et d'épidote, ainsi que de la titanite laquelle pour la plupart se désagrège en leucoxène.

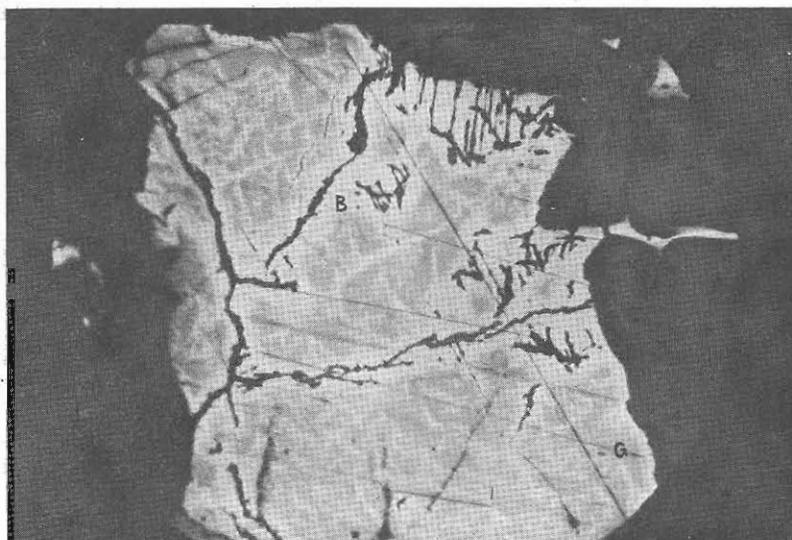
b) *Minéraux cuprifères primaires.* Comme constituants minéraux primaires de l'affleurement peuvent être considérés la bornite et la chalcosine. Ces minéraux macroscopiquement apparaissent pour la plupart, sous la forme d'intercalations de diverses orientations d'une épaisseur de quelques dixièmes de millimètres, ou comme imprégnant la roche dans laquelle ils se trouvent, mais quelquefois on rencontre aussi des taches d'un diamètre pouvant atteindre une moitié de centimètre. À l'œil nu, on peut soupçonner la présence de la chalcosine en raison des couleurs résiduelles d'anciennes coupes de ce minéral qui

*Table I. Comparaison des données des radiogrammes de poudre de la bornite et de la chalcosine étudiées avec celles des tables A.S.T.M.*

Chalcosine Karya en Olympe		Chalcosine A.S.T.M. (9-328)		Bornite Karya en Olympe		Bornite A.S.T.M. (14-323)	
d	I	d	I	d	I	d	I
3.93	7	3.93	5			4.08	10
		3.77	10			3.64	5
3.59	12	3.60	10	3.49	7	3.48	5
3.39	35	3.39	30	3.31	40	3.31	10
3.30	14	3.31	10	3.17	65	3.18	60
3.19	20	3.21	20	2.990	7	3.01	5
3.00	20	3.05	20	2.812	22	2.80	20
		2.97	5	2.738	50	2.74	50
2.875	22	2.88	20	2.641	7	2.63	5
2.827	7	2.84	5	2.512	45	2.50	40
2.742	12	2.73	10	2.128	22	2.13	20
2.665	12	2.67	10	2.112	7	2.11	5
2.571	7	2.58	5	1.935	100	1.937	100
2.528	10	2.54	10	1.860	10	1.850	10
2.476	20	2.47	20	1.649	30	1.652	30
2.393	75	2.40	70	1.582	15	1.584	10
2.332	7	2.34	5	1.523	10	1.534	10
2.172	15	2.22	20			1.474	5
2.140	10	2.14	10	1.427	22	1.427	20
2.031	12	2.06	10	1.369	22	1.370	20
1.966	85	1.969	80	1.331	7	1.335	5
1.933	7	1.937	5	1.300	7	1.300	5
1.872	100	1.870	100	1.286	7	1.290	5
		1.787	5	1.259	55	1.258	50
1.698	45	1.695	40	1.230	7	1.225	5
1.647	22	1.645	20	1.203	15	1.198	10
1.590	7	1.588	5	1.168	7	1.169	5
1.511	20	1.514	20			1.145	5
1.470	7	1.471	5			1.119	50
		1.351	10			1.097	5
		1.278	30			1.053	10
		1.119	10			1.018	5
		1.074	10			0.985	10
		0.974	10				

apparaissent avec la couleur caractéristique noire mate. Mais la bornite aussi se décèle par les couleurs violettes superficielles de son oxydation qui apparaissent à la surface sur des coupes plus anciennes de ce minéral.

Nous avons fait des diagrammes d'identification de ces minéraux par les rayons Röntgen et à l'aide des données des tables A.S.T.M. (Table I) nous avons constaté la basse température de formation de la bornite et de la chalcosine. A la rigueur, nous ignorons si cette forme était pour la bornite, lors de sa formation la forme métastable ou la forme de basse température et de symétrie quadratique. MORIMOTO et KULLERUD (1961), étudiant les polymorphismes de ce minéral, rapportent que, outre la forme de haute température à symétrie cubique de la bornite qui se produit au-dessus des  $228^{\circ}\text{C} \pm 5$  avec  $a = 5.50 \pm 0.01 \text{ \AA}$ , il existe aussi une forme métastable qui apparaît au-dessous de la température citée plus haut. Celle-ci est aussi de symétrie cubique, mais elle possède une constante différente:  $a = 10.94 \pm 0.02 \text{ \AA}$ , et se transforme lentement et à la température de la chambre à la forme de basse température avec symétrie quadratique, où  $a = 10.94 \pm 0.02 \text{ \AA}$   $c = 21,88 \pm 0.04 \text{ \AA}$ , coïncidant avec la forme ici observée.



*Fig. 1. Pénétrations de chalcosine B (blanc) dans la bornite G (gris cendré) en forme de nombreuses veinules capillaires. Nicols //  $\times 380$*

Par l'examen de coupes polies de ces minéraux sous le microscope métallographique, il a été trouvé qu'elles présentent leurs caractères

optiques connus de la bibliographie. Ces minéraux se trouvent ordinairement en association d'une telle façon que la manière de leur formation ainsi que leur succession soient en général révélées. Ainsi la bornite porte, le plus souvent, une multitude d'échancrures et de veinules capillaires en tous sens, remplies par de la chalcosine (fig. 1).

Ainsi, il s'établit un tissu qui peut être considéré comme appartenant à la catégorie des tissus appelés par SCHNEIDERHÖHN (1952) «artéritiques». Une association analogue entre bornite et chalcosine a été observée par PARASKÉVOPOULOS (1966) sur les affleurements métallifères de la région de Krokéae en Laconie (Péloponnèse). Ce phénomène peut être expliqué si l'on admet que, durant la formation de la chalcosine, des solutions chaudes ont agi érosivement sur la bornite formée un peu plus tôt, qu'elles l'ont pénétrée et ont déposé dans les fissures ainsi formées de la chalcosine. Nous sommes donc ici en présence d'une association par substitution. Il semble que les phénomènes de cette substitution commencent par les parties périphériques de la bornite qui sont celles qui ont constitué le front d'attaque (fig. 2).



Fig. 2. Substitution de bornite G par de la chalcosine B allant de la périphérie, vers l'intérieur. On voit au centre la formation d'îlots et de veinules Nicols //  $\times 380$

La substitution avance d'une manière érosive différente par régions, profitant des places de moindre résistance existant dans le corps de la bornite. Nous observons donc que, outre la multitude précitée

d'échancrures et de veinules capillaires, ils se forme aussi des affleurements de bornite en guise d'îlots partiellement ou complètement détachés de la partie maternelle du minéral, ce qui donne à l'ensemble une sorte de texture mosaïque.

*Minéraux secondaires:* Parmi les plus importants constituants minéraux secondaires du gisement nous citons la malachite, la brochantite, la chrysocolle et l'azurite.

La malachite est le plus répandu constituant minéral de la zone d'oxydation apparaissant surtout sous la forme de croûtes sur la surface ou à l'intérieur de crevasses de la roche portant les minéraux cuprifères. Elle a une couleur verte à verte sombre et coexiste avec de la brochantite et de la chrysocolle alors, en raison de leur couleur presque identique, leur distinction macroscopique devient difficile sinon impossible. Dans quelques cas, la malachite a aussi été trouvée sous forme de petits agrégats de cristaux aciculaires.

En examinant ce minéral sous microscope ainsi qu'à la platine de Fedorov, nous avons constaté le pléochroïsme clair:  $n_\alpha =$  vert - pâle jusque incolore,  $n_\beta =$  jaune-vert,  $n_\gamma =$  vert - sombre. Nous avons aussi constaté l'existence de cristaux maclés (100) et la fort dispersement des axes optiques  $r < v$ . Nous avons encore mesuré l'angle d'extinction  $n_\gamma : c = 24^\circ$  et l'angle des axes optiques  $2V_\alpha = 45^\circ$ .

Ces données sont généralement d'accord avec les données bibliographiques. Les diagrammes de poudres que nous avons pris s'accordent aussi avec ceux des tables A.S.T.M. (Table II), mais ils s'écartent

Table II. Comparaison des données des radiogrammes de poudre de la malachite avec celles des tables A.S.T.M.

Malachite Karya en Olympe		Malachite A.S.T.M. (10-399)		Malachite Karya en Olympe		Malachite A.S.T.M. (10-399)	
d	l	d	l	d	l	d	l
		7.41	11	2.484	30	2.477	30
6.006	55	5.993	55	2.464	40	2.464	35
5.053	80	5.055	75	2.430	20	2.425	20
4.701	15	4.699	13	2.350	15	2.349	13
3.693	90	3.693	85	2.324	20	2.316	17
3.030	20	3.028	17	2.290	15	2.289	17
3.000	20	2.988	17	2.247	10	2.252	7
2.860	100	2.857	100	2.188	20	2.186	20
2.824	40	2.823	40			2.160	7
2.787	50	2.778	45	2.132	20	2.129	20
2.653	10			2.079	20	2.076	17
2.522	60	2.520	55				

considérablement des six (6) valeurs données pour les fortes réflexion par Kostov (1968).

La brochantite, en tant qu'un minéral secondaire caractéristique de la zone d'oxydation des concentrations cuprifères, se présente de plus sous la forme des croûtes. Ses caractéristiques optiques sont: angle des axes optiques  $2V=69^{\circ} \pm 2$ , signe optique négatif, indices de réfraction  $n_x=1.726$ ,  $n_\beta=1.768$ ,  $n_\gamma=1.800$ , dispersion des axes optiques  $r < v$ . Ce minéral a été examiné en détail et des données optiques, radiographiques comme aussi des données d'analyse thermique différentielle sont exposées dans un travail particulier (SAPOUNDJIS, sous presse).

La chrysocolle occupe, du point de vue de la fréquence d'apparition, la deuxième place parmi les produits d'oxydation des minéraux cuprifères primaires. Elle a une couleur vert émeraude à vert foncé, quelquefois vert bleuâtre. Elle se trouve sous la forme d'incrustations ainsi qu' en agrégats réniformes à lustre graisseux, ce qui la différencie macroscopiquement des autres enduits cuprifères.

Les radiogrammes de poudre des divers échantillons du minéral ont montré que celui-ci se présente pour la plupart à l'état amorphe mais nous avons aussi obtenu quelques radiogrammes relativement riches en lignes qui témoignent un faciès cryptocristallin. Les pourcentages de participation de ce faciès dans les divers échantillons sont inconnus ainsi que sa composition chimique. D'ailleurs, la formule chimique de la chrysocolle, malgré les nombreuses analyses chimiques qui en ont été faites jusqu'à présent, n'a pas été déterminée définitivement. C'est une combinaison chimique contenant essentiellement  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CuO}$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , et qui peut aussi contenir de petites quantités de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . Et comme aussi le pourcentage de la participation de l'eau dans la chrysocolle varie, un grand nombre d'auteurs préfèrent employer pour elle la formule chimique suivante:  $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Cependant d'autres formules ont aussi été proposées par divers auteurs comme:  $\text{Cu}_3(\text{OH})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{Cu}_{3,5}(\text{OH})_2 (\text{AlSi}_3)\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (CHUKHROV et ANOSOV, 1950),  $\text{CuO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  et  $2\text{CuO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (YAKHONTOVA, 1952),  $\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (SHCHERBINA et IGNATOVA, 1955).

De la comparaison des données de nos radiogrammes avec ceux des tables A.S.T.M. (3-0219) et (11-322) et ceux d'un diagramme de chrysocolle provenant de la région «Inspiration Mine Arizona» que donne MING-SHAN-SUN (1963) (voyez Table III), il résulte de distances réticulaires que les valeurs de la chrysocolle de Karya s'accordent davantage avec les valeurs correspondantes de la région Inspiration,

mais, en tout cas, tous les échantillons comparés présentent aussi des différences qui plutôt confirment l'hypothèse que les échantillons sous le terme chrysocolle provenant de diverses régions du monde, ne possèdent pas la même composition chimique.

Table III. Comparaison entre les données des radiogrammes de poudres de diverses chrysocolles

Chrysocolle CuSiO <sub>3</sub> .2H <sub>2</sub> O A.S.T.M. 3-0219		Chrysocolle CuO.SiO <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O A.S.T.M. 11-322		Chrysocolle CuO.SiO <sub>3</sub> .nH <sub>2</sub> O Inspiration Mine Arizona		Chrysocolle CuO.SiO <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O Karya en Olympe	
d	I	d	I	d	I	d	I
				15.			
		8.30	60	(aureole sombre)			
		5.72	30				
		4.43	10				
4.35	100			4.39	(diffus)	10	4.33 diffus m-s
3.36	50	3.57	5				
2.92	20	2.92	80	2.77	} (large bande)	5	2.96 } large
2.81	20			2.88		2.779 } bande m-s	
				2.51	} (large bande)	4	2.659 } large
				2.62		2.522 } bande m-s	
2.46	20	2.49	45	2.42	(diffus)	1	2.405 diffus w
				2.32	(diffus)	1	2.304 diffus w
1.63	10	1.638	45	1.585	} (large bande)	3	1.650 } large
				1.642		1.593 } bande m	
1.48	80	1.494	100	1.482	(diffus)	8	1.482 s
1.32	10	1.334	30	1.321	(diffus)	2	1.33 } large
		0.957	5				1.30 } bande m
		0.879	5				

L'azurite se rencontre sporadiquement en proportions relativement petites en comparaison avec la malachite, et se présentant en forme de croûtes avec ses caractéristiques bien connus.

*Conclusions:* La succession des minéraux et les conditions de leur formation sont comme suit:

Les minéraux primaires ont été engendrés sous des conditions hydrothermales typiques.

La présence de la grossulaire et du diopside comme minéraux associés, et la façon de leur affleurement, prouvent que dans cette région a eu lieu un métamorphisme de contact sur la roche contenant les minéraux avant la phase hydrothermale.

Par la suite, sous l'influence de forces tectoniques, la roche a subi des diaclases des solutions chaudes contenant les constituants cupri-

fères en profitant de ces diaclases ont pénétré dans les ruptures et y ont déposé les minéraux correspondants.

La température de ces solutions ne devait pas être supérieure à 220° C environ, car la bornite examinée n'est pas une forme de haute température.

De la manière de coexistence des minéraux bornite - chalcosine, nous déduisons que la chalcosine se sera plutôt formée après la formation de la bornite.

Parmi les minéraux secondaires la chrysocolle peut se rencontrer tant à l'état amorphe que comme cryptocristalline.

#### *Remerciements*

Nous tenons à remercier vivement Messieurs les Professeurs K. SOLDATOS, Directeur du Laboratoire de Mineralogie et Petrologie et P. ΚΟΚΚΟΡΟΣ Professeur de l'Université de Thessaloniki pour de précieux conseils et critiques dans la réalisation de ce travail. Aussi nous remercions bien le Professeur J. ΚΟΡΟΝΕΟΣ pour les corrections du texte.

ΧΑΛΚΟΥΧΟΣ ΕΜΦΑΝΙΣΙΣ ΕΙΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗΝ  
ΚΑΡΥΑΣ ΟΛΥΜΠΟΥ

Υπό

ΗΛΙΑ Σ. ΣΑΠΟΥΝΤΖΗ

(Έργαστήριον Όρυκτολογίας - Πετρογραφίας Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης)

Έξετάζεται εμφάνισις χαλκούχων όρυκτῶν εἰς τὴν περιοχὴν τοῦ νοτίου Όλύμπου.

Σημειοῦται ἡ ὕπαρξις πρωτογενοῦς βορνίτου ( $Cu_5FeS_4$ ) καὶ χαλκοσίνου ( $Cu_2S$ ). Τὰ όρυκτὰ ταῦτα εὐρίσκονται ἐντὸς πετρώματος προελθόντος ἐκ μεταμορφώσεως ἐπαφῆς καὶ συνισταμένου κυρίως ἐκ γροσσουλαρίου καὶ διοψιδίου. Ἡ ἐξέτασις ἀκτινογραφημάτων κόνεως ἔδειξε ὅτι πρόκειται περὶ βορνίτου καὶ χαλκοσίνου χαμηλῆς θερμοκρασίας. Ἐκ τῆς διὰ τοῦ μεταλλογραφικοῦ μικροσκοπίου ἐξετάσεως προκύπτει ὅτι ἡ προέλευσις τῶν όρυκτῶν τούτων εἶναι τυπικῶς ὕδροθερμική. Ἡ θερμοκρασία τῶν διαλυμάτων ἐκ τῶν ὁποίων ἀπετέθησαν τὰ όρυκτὰ ταῦτα ἦτο μικροτέρα τῶν  $220^{\circ}C$  περίπου.

Ὡς δευτερογενῆ όρυκτὰ περιγράφονται, μαλαχίτης, βροχαντίτης, χρυσόκολλα καὶ ἀζουρίτης. Σημειοῦται δὲ ὅτι ἡ χρυσόκολλα ἀπαντᾶται ὡς ἄμορφος καὶ ὡς κρυπτοκρυσταλλική τοιαύτη.

## BIBLIOGRAPHIE

- CHUKHROV, F. V. and F. Y. ANOSOV (1950): Nature of Chrysocolla. Zapiski Vsesoyuz Mineral. Obshch. 79, 127 - 136 (1950) (See Chem. Abs. 44 , 7724 1950).
- CVLJIC, J. (1908): Grudlinien der Geographie und Geologie von Mazedonien und Altserbien. Gotha 1908.
- GODFRIAUX, I. (1968): Etude Géologique de la région de l'Olympe (Grèce). Ann. Géol. Pays Hellén, 19 p.p. 1 - 281.
- KOSTOV, I. (1968): Mineralogy. - Oliver and Boyd, Edinburgh.
- MING - SUAN SUN (1963): The nature of Chrysacolla from Inspiration Mine, Arizona. Amer. Mineral. vol. 48, p.p. 649 - 658.
- MORIMOTO, N. and KULLERUD, G. (1961): Polymorphism in bornite. Amer. Mineral. vol, 46, p.p. 1270-1282.
- PARASKEVOPOULOS, G. M. (1966): Zu einigen Phänomene von verwachsungen zwischen Bornite und Kupferglanz und ihre Bedeutung. Ann. Géol. Pays Hellén 16, 244 - 248 Athènes 1966.
- SAPOUNTZIS, S. E. (1972): Brochantite from Karya Mt. Olympus. N. Jb. Miner. Monatsh. (sous presse).
- SHCHERBINA, V. V. and L. I. IGNAKOVA (1955): New data on the geochemistry of copper in the supergene mineralization zone. Zapiski Vsesoyuz. Mineral. Obshch. 84, 353 - 354 (See Chem. Abs. 50 6262, 1956).
- SCHNEIDERHOHN, H. (1952): Erzmikroskopisches Praktikum Stuttgart 1952.
- YAKHOHTOVA, L. K. (1952): Copper - rich variety of chrysocolla. Vestnik Moskov. Univ. 7 (6) Ser. Fir. Mat. I. Estestven Nank. 4, 123 - 130 (See Chem. Abs. 47, 12146).