

**CHEMISCHE UND RÖNTGENKRISTALLOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN AN
ESKIMOIT (~ Ag₇Pb₁₀Bi₁₅S₃₆) UND HEYROVSKYIT (~ AgPb₁₀Bi₅S₁₈)
VOM "RAURISER GOLDBERG", HÜTTWINKELTAL, LAND SALZBURG**

von

Andreas Ertl⁺, Eugen Libowitzky⁺ und Franz Pertlik⁺

(eingelangt am 22. 3. 1994, angenommen am 18. 4. 1994)

Zusammenfassung

Auf Halden, Zeugen des ehemaligen extensiven Bergbaues am "Rauriser Goldberg" im Hüttwinkeltal, wenige Zehnermeter unterhalb des Knappenhauses, konnten in dm-großen Quarzblöcken Einsprenglinge von Galenit, Sphalerit, Pyrrhotin und Chalkopyrit sowie die zu den Wismut-Sulfosalzen zu zählenden Minerale Eskimoit und Heyrovskyit im mm-Bereich identifiziert werden. Chemische Analysen dieser beiden Minerale werden Literaturangaben gegenübergestellt. Röntgenographische Einkristalluntersuchungen ergaben, bezogen auf Angaben in der Literatur, für Eskimoit eine Vervierfachung der Gitterkonstante b_0 (von 4,10 Å auf 16,40 Å) und für Heyrovskyit eine Verdopplung von c_0 (von 4,12 Å auf 8,24 Å). Diese Vervielfachungen (schwache Zwischenschichten) werden auf Ordnungsphänomene in der Atomanordnung zurückgeführt.

Historisches und Einleitung

Eskimoit (~ Ag₇Pb₁₀Bi₁₅S₃₆)

Das Mineral Eskimoit, idealisierte Formel Ag₇Pb₁₀Bi₁₅S₃₆ nach FLEISCHER (1987), ist nach Wissen der Verfasser bis heute von drei Fundpunkten in geologisch

⁺ Andreas Ertl, Dr. Eugen Libowitzky und
tit aO. Prof. Dr. Franz Pertlik
Institut für Mineralogie und Kristallographie
Universität Wien
Dr. Karl Lueger-Ring 1
A-1010 Wien

ähnlichen Formationen beschrieben worden. Die Erstbeschreibung findet sich bei KARUP-MÖLLER (1977), der über dieses Mineral aus einer Paragenese mit Gustavit, Cosalit und Galenit im Kryolith von Ivigtut, Süd-Grönland, berichtet. Elektronenstrahl-Mikrosonden-Analysen von Eskimoit konnten in dieser Erstbeschreibung zur Formel $\text{Ag}_{1.75}\text{Pb}_{2.50}\text{Bi}_{3.75}\text{S}_9$ verrechnet werden. Die röntgenographisch bestimmten Gitterkonstanten in [Å]: $a = 13,495(5)$, $b = 30,194(8)$, $c = 4,100(5)$, $\gamma = 93.35(1)^\circ$ ergaben eine Zelle mit vier Formeleinheiten, die systematischen Auslöschungen führten zu den möglichen Raumgruppen B2/m, B2 oder Bm. Es sind ferner angegeben: mittlere Reflexionswerte für vier Wellenlängen des sichtbaren Lichtes, die Mikrohärtigkeit, sowie ein Röntgen-Pulverdiagramm, ermittelt anhand einer Gandolfi-Aufnahme.

Einen weiteren Fundpunkt des Minerals Eskimoit stellt die Wolfram-Zinn-Mineralisation (Wolframit, Cassiterit) des Lineaments eines "Zweiglimmergranites" von Montenem (Galicien, Spanien) dar. Von GOUANVIC & BABKINE (1983) werden Pb-Ag-Bi-Sulfosalze (Pavonit, Lillianit, Gustavit, Schirmerit, Eskimoit, Ustarasit und Minerale der Reihe Galenit-Matildit) sowie elementares Wismut, Stannit, Sphalerit und Pyrrhotin teils frei, teils als Einschlüsse vor allem in Chalkopyrit und Arsenopyrit, erwähnt. Neben einer ausführlichen Beschreibung der Mineralparagenese dieser Lagerstätte, der Morphologie und Optik der einzelnen Minerale, werden chemische Analysen (Elektronenstrahl-Mikrosonde) von etwa einem Dutzend Sulfosalzen angegeben. Die Analyse für das Mineral Eskimoit ist in Tab. 1 wiedergegeben. Röntgenographische Untersuchungen an den Sulfosalzen dieser Lagerstätten wurden nicht durchgeführt.

Als dritter Fundpunkt von Eskimoit werden Quarzadern im "Gneis" des Steinbruchs von La Roche-Balue (Nantes, Frankreich) von MOELO et al. (1987) erwähnt. Anhand des Mineralinhalts werden hier prinzipiell drei Generationen von Quarzadern unterschieden:

- a) pneumatolytische Phase: Quarz mit Orthoklas,
- b) hydrothermale Phase (350 - 400° C): Quarz mit Scheelit, Arsenopyrit, Pyrrhotin, Molybdänit, Gold und Galenit sowie die Sulfosalze Gustavit I, Vikingit, Heyrovskyit und Eskimoit,
- c) epithermale Phase: Quarz mit Pyrit, Markasit, Chalkopyrit, Cosalit, Gustavit II, Tetraedrit und elementarem Wismut.

Die gesamte Paragenese wird als W-As-(Pb,Bi,Ag)-Mineralisation bezeichnet. Eskimoit tritt hier als epitaktische Verwachsung mit Ag- und Bi-reichem Heyrovskyit auf.

Heyrovskyit (~AgPb₁₀Bi₁₅S₁₈)

Eine Zusammenstellung der älteren Literatur bezüglich Namensgebung, teils unzureichender Beschreibungen in bezug auf physikalische Eigenschaften und lückenhafte chemische Analysen, die sich auf die Minerale Goongarrit und Warthait beziehen, finden sich bei MOZGOVA et al. (1976). Diese Autoren belegten die Identität obgenannter Minerale mit Heyrovskyit, dessen erste exakte Beschreibung

und somit legitime Namensgebung durch KLOMINSKY et al. (1971) an Kristallen aus den Quarzadern sowie aus Quarzgeröllen von den Halden der mittelalterlichen Abbaue von Hurky, etwa 65 km westlich von Prag, durchgeführt wurde. In den beschriebenen Quarz-Feldspat-Gängen (Albit und Mikroklin) findet sich in kleinen Adern und Imprägnationen eine Mineralisation folgender opaker Mineralien: Pyrit (eine Goldführung wird erwähnt), Sphalerit, Galenit, Molybdänit, Cosalit, Chalkopyrit und Covellin sowie Heyrovskyit. Dieses Mineral tritt in derben Massen, Durchmesser max. 2 cm, verwachsen mit Cosalit und Galenit, auf. Einige wenige Einkristalle erreichen max. 20 mm Länge und 0,1 bis 0,5 mm Dicke. Neben chemischen Analysen werden von diesem Mineral angegeben: Morphologie, Mikrohärt, Reflexionswerte für sichtbares Licht, Röntgeneinkristall- und Pulverdaten sowie daraus berechnete Gitterkonstanten. Eine Bestimmung möglicher Raumgruppen sowie die Berechnung der Dichte runden die Beschreibung ab.

Eskimoit	I	II		
a	13,495(5)	13,49(3)		
b	30,194(8)	29,95(5)		
c	4,100(5)	4x4,093(5)		
γ	93,35(1)	93,50(5)		
Heyrovskyit	I	II	III	IV
a	13,705(13)	13,583(5)	13,61(1)	13,62(3)
b	31,194(33)	30,533(10)	30,47(2)	30,51(5)
c	4,121(3)	4,129(10)	4,08(2)	2 x 4,080(5)

Tab. 1: Röntgenographisch bestimmte Gitterkonstanten in [Å] von Eskimoit (I: KARUP-MÖLLER, 1977 und II: eigene Werte) sowie von Heyrovskyit (I: KLOMINSKY et al., 1971; II: KARUP-MÖLLER & MAKOVICKY, 1981; III: MOELO et al., 1987 und IV: eigene Werte).

Die mylonitisierte Zone eines granitoiden Gesteins von Castlegar, Britisch Kolumbien, enthält in einer Bi-W-Mo-Mineralisation neben Heyrovskyit eine Reihe von Mineralien, die als Lillianit-Homologe einordenbar sind, sowie weiters Scheelit, Molybdänit, Pyrit und Chalkopyrit (KARUP-MÖLLER & MAKOVICKY, 1981). Der auftretende Heyrovskyit wird als Ag-Bi-reich beschrieben. Die Gitterkonstanten wurden anhand von Drehkristall- und Weissenbergaufnahmen bestimmt, wobei von den Autoren ausdrücklich darauf hingewiesen, daß keine Verdoppelung der "4 Å Konstante", selbst auf Langzeit-Röntgenaufnahmen, auszunehmen ist.

Heyrovskyit wird aber auch, wie schon erwähnt, von MOELO et al. (1987), zusammen mit Eskimoit aus La Roche-Balue, beschrieben. Chemische Analysen und ungefähre Gitterkonstanten, bestimmt aus Einkristallen, werden weiters gegeben.

Von ZAMBONINI et al. (1925) beschriebene Feldstudien an Fumarolen auf Vulkano (Liparische Inseln) führten vorerst zur Definition des Minerals Cannizzarit, neuere Untersuchungen am Originalmaterial durch MOZGOVA et al. (1985) erbrachten neben dem Nachweis einer ausgeprägten Selenführung sämtlicher opaker Mineralien dieser Fumarolenbildung auch den Nachweis für Heyrovskyit, Lillianit, Galenobismutit und Galenit. Chemische Analysen der Blei-Wismut-Sulfosalze sowie Röntgen-Pulverdaten und Strukturdaten, ermittelt anhand von Elektronenbeugungsaufnahmen, werden weiters angeführt.

Im Zusammenhang mit der Strukturanalyse des Minerals Lillianit ($3 \text{ PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$) durch TAKAGI & TAKEUCHI (1972) wird auch eine Strukturbestimmung von Heyrovskyit erwähnt. Diese Autoren belegen ohne jegliche Zahlenangaben die von OTTO & STRUNZ (1968) für die Verbindung $6\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$ vorgeschlagene Struktur auch für Heyrovskyit mit einem R-Wert von 0,09 als übereinstimmend.

Elemente und Sulfide (im weitesten Sinn) vom "Rauriser Goldberg"

Bereits E. FUGGER (1878) erwähnt vom Bergbau "Rauriser Goldberg" im Hüttwinkeltal verschiedene Minerale, die obigen Gruppen zuordenbar sind: gediegen Silber und Gold, Dyskrasit (= Antimonsilber), Pyrit, Markasit, Arsenkies, Galenit, Sphalerit, Chalkopyrit, Antimonit und ein silberhaltiges Fahlerz. STRASSER (1975) führt ergänzend noch Pyrrhotin (Magnetkies) an. PAAR (1979) beschreibt aus mehreren Fundpunkten aus dem Penninikum des Oberpinzgaues das Vorkommen von Pb-Bi-Sulfosalzen (Heyrovskyit, Lillianit, Cosalit und Friedrichit).

Eine vor einiger Zeit von einem der Autoren (A. ERTL) durchgeführte Nachsuche am "Rauriser Goldberg" im Hüttwinkeltal (Verlängerung des Rauristales), Land Salzburg, erbrachte nun von den Halden unmittelbar unterhalb des Knappenhauses eine Belegung für die Pb-Bi-Sulfosalze Eskimoit und Heyrovskyit.

Experimenteller Teil

Röntgenographische Untersuchungen

Die "Qualität" ausgewählter Kristalle wurde mittels Röntgen-Einkristallaufnahmen untersucht. Vor allem wurde kritisch auf die Symmetrie sowie auf mögliche Vervielfachungen der Gitterkonstanten geachtet, da bereits KARUP-MÖLLER (1977) schwache Zwischenschichten in Richtung [001] für das Mineral Eskimoit erwähnt und für Heyrovskyit die Autoren KARUP-MÖLLER und MAKOVICKY (1981) sehr wohl derartige Zwischenschichten erwarteten, anhand der Aufnahmen der zur Verfügung stehenden Kristalle jedoch nicht vorfanden.

Eskimoit	1a	1b	2	3a	3b	
S	16,17(37)	16,40(16)	15,81	13,67-16,12	15,0(8)	
Bi	46,70(105)	44,79(80)	42,37	34,38-37,49	35,7(1,2)	
Pb	28,80(86)	30,42(61)	27,46	37,11-40,76	38,9(1,3)	
Ag	9,68(40)	9,64(11)	9,84	8,61-11,47	10,4(9)	
Cu	0,30(8)	0,21(3)	0,28	=	=	
Fe	-	-	0,63	=	=	
Au	-	-	0,16	=	=	
Heyrovskyit	1	2	3	4	5a	5b
S	14,4-15,1	16,6(4)	12,9-13,3	15,9-16,1	15,67-17,37	16,5(0,7)
Bi	24,9-28,3	44,1(5)	21,1-24,0	34,6-37,2	21,16-32,87	26,6(4,0)
Pb	51,9-58,6	28,2(6)	59,8-63,6	39,7-42,5	45,73-49,91	47,3(1,6)
Ag	0,5-2,5	10,5(3)	-	6,1-7,3	1,73-3,32	2,4(0,5)
Cu	-0,2	-	-	-	0,75-1,27	1,0(0,1)
Fe	-0,3	-	-	-	-	-
Zn	-0,8	-	-	-	-	-
Cd	-0,3	-	-	0,1-0,4	-	-
Sb	-	-	-	-0,1	1,31-10,22	6,2(3,1)
Se	-	-	2,5-3,0	-0,3	-	-

Tab. 2: Ergebnisse chemischer Analysen für Eskimoit in Gew.%. Partiell sind in runden Klammern die Standardabweichungen der Analysenwerte angeführt. (-: Werte nicht bestimmt; =: Werte unter der Nachweisgrenze von etwa 0,1 Gew.%). **Eskimoit:** Probe 1a und 1b: Eskimoit von zwei Vorkommen in Ivigtut, Grönland (KARUP-MÖLLER, 1977; MAKOVICKY und KARUP-MÖLLER, 1977); 2: In Arsenopyrit eingewachsener Eskimoit-Kristall von Montanem, Spanien (GOUANVIC und BABKINE, 1983); 3: Eskimoit vom "Rauriser Goldberg". Gemessen wurden 2 Kristalle mit je 5 Meßpunkte (3a: Streuung der Meßwerte, 3b: Mittelwerte).

Analysen von **Heyrovskyit** mit folgenden Fundpunkten: 1: Hurky, Granodiorit-Massiv von Cistä, Tschechische Republik (KLOMINSKY et al., 1971); 2: Bi-W-Mo-Mineralisation von Castlegar, Britisch Kolumbien, Kanada (KARUP-MÖLLER & MAKOVICKY, 1981); 3: Sulfidmineralisation durch ausgeprägte Fumarolentätigkeit auf Vulkano, Liparische Inseln, Italien (MOZGAVA et al., 1985); 4: Gneis von La Roche-Balue, Departement Loire Atlantique, Frankreich (MOELO et al., 1987); 5: Heyrovskyit vom "Rauriser Goldberg". Gemessen wurden 2 Kristalle mit je 5 Meßpunkte (5a: Streuung der Meßwerte, 5b: Mittelwerte).

Die an den vorliegenden Kristallen durchgeführten Einkristallaufnahmen belegten eindeutig eine Vervierfachung der Konstante b bei Eskimoit, sowie eine Verdoppelung von c bei Heyrovskyit gegenüber den Angaben in der Literatur. In beiden Fällen sind die Reflexe, die die Vervielfachung bewirken, sehr schwach und teils auch diffus. Das Intensitätsverhältnis dieser Reflexe zu den "starken" Reflexen beträgt im Mittel etwa 1:100. Somit war zwar die Belegung der Symmetrie möglich, die sich auch aufgrund der Zwischenreflexe in beiden Mineralien nicht nachweislich ändert, eine Bestimmung der jeweiligen Raumgruppe dieser Zellen jedoch unmöglich. In Tab. 1 sind die Gitterkonstanten der untersuchten Kristalle, ermittelt anhand von Einkristallaufnahmen, den Literaturwerten gegenübergestellt. Die beträchtlichen Unterschiede in den Gitterkonstanten von Individuen einzelner Fundpunkte ist auf die Variabilität im Chemismus zurückzuführen, die große Standardabweichung in den Meßwerten auf die Profilbreite der Röntgenreflexe. Von sämtlichen untersuchten Kristallen war kein Individuum für eine Strukturanalyse mittels Einkristalldaten geeignet.

Chemische Analysen

Die sorgfältig ausgewählten Kristalle der beiden Minerale Eskimoit und Heyrovskyit wurden vorerst, wie oben erwähnt, anhand von Röntgen-Einkristallaufnahmen identifiziert und so auch mehr oder weniger die Homogenität belegt.

Je zwei ca. 0,3 mm große Kristalle von Eskimoit und Heyrovskyit wurden für die EDX-Messungen (JEOL Rasterelektronenmikroskop JSM-6400 mit LINK EDX-System) gemeinsam mit den externen Standards auf einen Acrylglas-Probenträger aufgeklebt und mit Kohlenstoff bedampft. Die Anregungsspannung betrug 20 kV, die Kanalbreite war auf 20 eV festgesetzt. Linieninterferenz- und Matrix-Korrekturen für Absorption und sekundäre Fluoreszenz wurden mit dem Programmsystem ZAF4 (LINK) durchgeführt und die geräteinternen Standards verwendet. Anhand externer Standards für die Hauptelemente (Ag, Bi, Pb, S) in Form von (Ag_2S , Bi_2S_3 , PbS) war nur eine geringfügige Korrektur der Meßwerte notwendig. Folgende Linien dienten zur Messung:

Ag: L-Serie, **Cu:** K und $\text{K}\beta$, **Bi:** L-Serie, **Sb:** L-Serie, **Pb:** L-Serie, **S:** K und $\text{K}\beta$, korrigiert für Bi und Pb M-Serie.

5 Meßpunkte mit ca. 1 μm Durchmesser wurden je Kristall gesetzt (d.h. je 10 für Heyrovskyit und Eskimoit). Die Ergebnisse sind gemeinsam mit Daten aus der Literatur in Tab. 2 zusammengefaßt. Die analytischen Fehler der Messungen liegen bei allen Elementen weit unter den Standardabweichungen, welche sich aus den Schwankungen im Chemismus an den einzelnen Meßpunkten ergeben. Die chemische Variationsbreite (welche sich auch in den variierenden Gitterkonstanten widerspiegelt) ist durchaus mit jener der angeführten Literatur vergleichbar. Bei Heyrovskyit führt der massive Einbau von Sb zu einer großen Bandbreite in der Zusammensetzung. Wie auch die ähnlich hohen Standardabweichungen für Sb und Bi zeigen, dürfte der Einbau von Sb auf Kosten von Bi geschehen. Dieser Trend war klar bei den Einzelanalysen von Heyrovskyit erkennbar: Die Analyse mit dem geringsten Sb-Wert (1,31 Gew.%) zeigte den höchsten Bi-Wert (32,87 Gew.%) und jene mit dem höchsten Sb-Wert (10,22 Gew.%) den niedrigsten Bi-Wert

(21,16 Gew.%). Bei den Cu- und Ag-Werten von Heyrovskyit trat dieser gegenseitige Ersatz nicht so deutlich zutage, obwohl anzunehmen ist, daß Cu für Ag eingebaut wird. Hier überdeckt die Schwankung im (Cu + Ag)-Wert eine klare Aussage bezüglich einer gegenseitigen Substitution.

Ergebnisse und Diskussion

Wie bereits PAAR (1979) andeutete, dürften die Pb-Bi-Sulfosalze eine sehr weit verbreitete Mineralspezies im alpinen Raum darstellen und überwiegend an die Quarzgänge der Randbereiche diversester Gneise gebunden sein. In diesem Zusammenhang sei auch auf den Edelmetallgehalt dieser Mineralisationen hingewiesen, die gerade am "Rauriser Goldberg" die Ursache für die regen Bergbauaktivitäten darstellte.

Am "Rauriser Goldberg" im Hüttwinkeltal ist Eskimoit im Quarz eingewachsen und unmittelbar mit Galenit, Sphalerit, Pyrrhotin und Chalkopyrit vergesellschaftet. Nach einleitender Zusammenstellung dürfte es sich bei Eskimoit hier um den vierten Fundort für dieses Mineral weltweit handeln. Eskimoit bildet silberweiße, stark metallisch glänzende Butzen und dünnste Äderchen aus, die eine Größe bis einige Zehntel Millimeter erreichen können. Selten sind sichtbare ebene Kristallbegrenzungen zu erkennen. Heyrovskyit ist am "Rauriser Goldberg" im Hüttwinkeltal unmittelbar mit Chalkopyrit, Pyrit und Sphalerit vergesellschaftet und bildet hellbleigraue, ebenfalls in Quarz eingewachsene Butzen und bis 1 mm dicke Äderchen. Eingewachsene nadelförmige Einkristalle erreichen eine Länge von maximal 0,5 mm.

Auffällig erscheint das kristallchemisch unerschiedliche Verhalten zwischen Eskimoit und Heyrovskyit. Während Eskimoit praktisch kaum Fremdelemente (jenseits der Nachweisgrenzen von ca. 0,1 Gew.%) in die Struktur einbaut, findet sich bei Heyrovskyit ein massiver Einbau von Sb anstelle von Bi, und ein Cu-Gehalt bis zu 1,27 Gew.%, welcher wahrscheinlich Ag substituiert. Verglichen mit den bereits bekannten Zusammensetzungen aus der Literatur (vgl. Tab. 2) zeigt Eskimoit auch in anderen Vorkommen nur Cu-Gehalte bis zu 0,3 Gew.%, was dem Bild einer sehr geringen Substitution von dem hier beschriebenen Vorkommen durchaus entspricht. Für Heyrovskyit wurden hingegen nur geringe Cu-Gehalte bis zu 0,2 Gew.%, und Sb-Gehalte bis zu 0,1 Gew.% beschrieben, welche von den hier beschriebenen Kristallen bei weitem übertroffen werden. Einschlußphasen anderer Sb-Verbindungen können aufgrund der Röntgen-Einkristallaufnahmen ausgeschlossen werden. Bezüglich der hohen Sb-Gehalte sei jedoch darauf verwiesen, daß vom "Rauriser Goldberg" im Hüttwinkeltal, wie einleitend erwähnt, auch Sb-Sulfide bekannt sind und somit die Sb-Führung belegt. In der unmittelbaren Umgebung des Fundpunktes konnten jedoch keine eigenständigen Sb-Mineralen aufgefunden werden. Hier wird offensichtlich der Einbau von Sb einer eigenständigen Mineralbildung vorgezogen.

Dank

Diese Arbeit wurde durch die "Hochschuljubiläumsstiftung der Stadt Wien" gefördert.

Literatur

- FLEISCHER, M. (1987): Glossary of Mineral Species. - The Mineral Record Inc., Tucson, Arizona, USA.
- FUGGER, E. (1878): Die Mineralien des Herzogthumes Salzburg. - Im Selbstverlag des Verfassers.
- GOUANVIC, Y., BABKINE, J. (1983): D'écouverte de sulfosels de Bi-Pb-Ag dans la mine de tungstène-étain de Monteneme (Galice, Espagne). - C.R.Acad. Sc.Paris, 296, Série II, 639 - 644.
- KARUP-MÖLLER, S. (1977): Mineralogy of some Ag-(Cu)-Pb-Bi sulphide associations. - Bull.Geol.Soc. Denmark, 26, 41 - 68.
- KARUP-MÖLLER, S., MAKOVICKY, E. (1981): Ag- and Bi-rich heyrovskyite from the Bi-W-Mo-mineralization at Castlegar, British Columbia. - Can.Mineral, 19, 349 - 353.
- KLOMINSKY, J., RIEDER, M., KIEFT, C, MRÁZ, L. (1971): Heyrovskyite, $6(\text{Pb}_{0.86}\text{Bi}_{0.08}(\text{Ag,Cu})_{0.04})\text{S.Bi}_2\text{S}_3$ from Hurky, Czechoslovakia, a New Mineral of Genetic Interest. - Mineral.Deposita, 6, 133 - 147.
- MAKOVICKY, E., KARUP-MÖLLER, S. (1977): Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part II. - N.Jb.Mineral.Abh., 131, 56 - 82.
- MOELO, Y., MARCOUX, E., MAKOVICKY, E., KARUP-MÖLLER, S., LEGENDRE, O. (1987): Homologues de la lillianite (gustavite, vikingite, heyrovskyite riche en Ag et Bi...) de l'indice à W-As-(Pb,Bi,Ag) de La Roche-Balue (Loire Atlantique, France). - Bull. Minéral., 110, 43 - 64.
- MOZGOVA, N.N., BORODAEV, YU.S., SYRITSO, L.E., ROMANOV, D.P. (1976): New data on goongarrite (warthaite) and about the identity of heyrovskyite with goongarrite. - N.Jb.Mineral.Abh., 127, 62 - 83.
- MOZGOVA, N.N., KUZMINA, O.V., ORGANOVA, N.I., LAPUTINA, I.P., BORODAEV, Y.S., FORNASERI, M. (1985): New data on sulphosalt assemblages at Vulcano (Italy). - Rend.S.I.M.P., 40, 277 - 283.
- OTTO, H.H., STRUNZ, H. (1968): Zur Kristallchemie synthetischer Blei-Wismut-Spießglanze. - N.Jb.Mineral.Abh., 108, 1 - 19.
- PAAR, W. (1979): Pb-Bi-(Cu)-Sulfosalze (Heyrovskyit, Lillianit, Cosalit und Friedrichit) sowie Bi-hältiger Bleiglanz aus dem Penninikum des Oberpinzgau-es, Salzburg. - Der Karinthin, Folge 80, 97 - 98.
- TAKAGI, J., TAKEUCHI, Y. (1972): The crystal structure of lillianite. - Acta Cryst., B28, 649 - 651.
- STRASSER, A. (1975): Salzburger Mineralogisches Taschenbuch. - Eigenverlag Strasser, A-5023 Salzburg.