

JÁN JARKOVSKÝ* — JURAJ KNĚSL** — RUDOLF ĎUĎA*** — ONDREJ ĎURŽA*
JOZEF FORGÁČ*

GEOCHEMISCHE UND ELEKTROPHYSIKALISCHE CHARAKTERISTIK VON PYRIT AUS NEOVULKANITEN VON KREMICKÉ BANE UND ZLATÁ BAŇA MIT HINSICHT AUF DEN GOLDGEHALT

(Abb. 4, Tab. 4)



Kurzfassung: Die Autoren befassen sich in vorliegender Arbeit mit der geochemischen und elektrophysikalischen Charakteristik von Pyrit aus zwei Tiefbohrungen in neovulkanischen Gebieten der Slowakei mit Hinsicht auf den Goldgehalt. Untersucht wurde Pyrit aus der Bohrung KV-4 von der Lokalität Kremnické Bane (Gebirge Kremnické vrchy) und aus der Bohrung ZH-17 von der Lokalität Zlatá Baňa (Gebirge Slánske vrchy). Aus den geochemischen und elektrophysikalischen Werten resultiert, dass sich Gold in erhöhtem Masse in jenen Pyriten konzentriert, die mit einer polymetallischen Mineralisation assoziiert sind. Die Arbeit verfolgt ausser den theoretischen Aspekten der Distribution von Gold in Pyrit auch die praktische Seite des Problems.

Резюме: В предлагаемой статье авторы занимаются геохимической и электрофизической характеристиками пирита из двух глубоких буровых скважин в неовулканических регионах Словакии с точки зрения содержания золота. Они изучали пирит из буровой скважины KB-4 в местонахождении Кремниче Бане (Кремнические горы) и из буровой скважины ЗГ-17 в местонахождении Злата Баня (Сланские горы). Из геохимических и электрофизических данных вытекает, что золото концентрируется в повышенной степени в тех пиритах, которые встречаются в ассоциации с полиметаллической минерализацией. Авторы занимаются кроме теоретических аспектов распределения золота в пирите и практической стороной проблемы.

Mit dem Problem der Distribution von Gold in Pyriten aus hydrothermal umgebildeten vulkanischen Gesteinen aus der Bohrung MEB-1 von der Lokalität Prochov (Vtáčnik-Gebirge) befassten sich Jarkovský — Forgáč — Streško — Harman (1982). Aus den von ihnen erzielten Resultaten geht hervor, dass untersuchte Gebiet keine Anzeichen einer Goldführung aufweist. Der durchschnittliche Au-ehalt im Pyrit beträgt nur 0,13 ppm. Nachträglich wurde auch die Thermospannung von Pyrit an Proben aus dieser Bohrung studiert. Es wurde festgestellt, dass hier Pyrite zweier Generationen vorkommen (Ďurža in Jarkovský et al., 1983). Es handelt sich sehr wahrscheinlich um einen älteren, bei der Propylitisierung der vulkanischen Gesteine entstandenen Pyrit und einen jüngeren Pyrit, der bei der darauffolgenden, mit der Entstehung von Polymetallen (Galenit, Sphalerit, Chalkopyrit) verbundenen hydrothermalen Tätigkeit entstanden ist. Aus diesen

* Doz. RNDr. J. Jarkovský, DrSc., RNDr. O. Ďurža, CSc., RNDr. J. Forgáč, CSc., Lehrstuhl für Geochemie und Mineralogie der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Komenský Universität, Paulínyho 1, 811 02 Bratislava.

** Ing. J. Kněsl, Geologischer Erkundungsdienst VEB, geologischer Rayon Banská Bystrica, Kyncelová, 975 90 Banská Bystrica.

*** RNDr. R. Ďuďa, Geologischer Erkundungsdienst VEB, geologischer Rayon Košice, Garbanova 1, 040 11 Košice.

Forschungen resultiert, dass der hydrothermale Pyrit mit einer Leitfähigkeit vom p-Typ, der Hauptträger von Gold an der gegebenen Lokalität ist.

In vorliegender Arbeit wurde Pyrit und Quarz aus der Bohrung KV-4 (Kremnické Bane) untersucht. Von der Lokalität Zlatá Baňa (Slánske vrchy) wurde nur Pyrit studiert.

Kremnické Bane

Das Problem der Metallogenese und der paragenetischen Verhältnisse auf der Lagerstätte Kremnica behandelte in der Vergangenheit B ö h m e r (1955, 1966). Die Forschungen von B ö h m e r geben eine erschöpfende Charakteristik der Lagerstätte Kremnica. In dieser paragenetischen Studie werden zwei Entwicklungsstadien ausgegliedert: ein älteres Au, Ag und ein jüngeres Sb, Hg, As. Die Hauptzufuhr von Gold geschah während des älteren Zufuhrstadiums (oberes Sarmat). Die an Au angereicherten Abschnitte werden von einer bunten Mineralisation von Ag-Sulfosalzen und Sulfiden von Buntmetallen begleitet. Ein Kennzeichen der angereicherten Abschnitte ist die Gegenwart der produktiven, den angeführten Mineralen entsprechenden Mineralassoziation. Die hohen Goldkonzentrationen erläutert B ö h m e r (1966) als Ausfällung von kolloidalem Gold aus den hydrothermalen Lösungen unter günstigen Bedingungen. Die Strukturen und Texturen des Goldes von Kremnica wurden in der Arbeit B ö h m e r – H a r m a n (1969) studiert.

In dem nördlichen Teil des Erzfeldes von Kremnica wurden im Rahmen eines Projektes des Geologischen Erkundungsdienstes VEB, geologischer Rayon Banská Bystrica, einige Bohrungen situiert (Abb. 1). Hauptaufgabe der Erzkundung in diesem Teil des Erzfeldes von Kremnica war die Feststellung grundlegender Angaben über den Charakter und die Lokalisation der Edelmetall-, bzw. polymetallischen Mineralisation in der tiefen Fortsetzung des I. Gangsystems, d. h. in dem Niveau unter dem Erbstollen von Kremnica (270 m ü. d. M.). In einer der Bohrungen (KV-4) haben wir die geochemische und elektrophysikalische Untersuchung von Pyrit durchgeführt.

Geologisch-metallogenetische Charakteristik

Die bisherigen Teilergebnisse von Erkundungsarbeiten (K n ě s l – V e l k ý, 1982) bewiesen die Fortsetzung der Erzmineralisation in diesem Teil des Erzfeldes von Kremnica in Tiefenhorizonte unter 270 m. Mit zunehmender Tiefe kommt es zu einer Änderung des Characters der Erzmineralisation zugunsten des Gehaltes an Ag und polymetallischen Erzen (Pb, Zn, Cu). Nach den bisherigen Erkenntnissen kann die festgestellte Mineralisation als edelmetallisch-polymetallisch charakterisiert werden, deren Hauptverwertungskomponente Ag, und weitere nutzbare Komponenten Au, Pb, Zn und Cu sind. Die bisher bestätigten vorausgesetzten Vorräte in dem angeführten Erzfeld von Kremnica (Umgebung von Kremnické Bane) wurden aufgrund von vier vertikalen Erkundungstiefbohrungen berechnet, die anschliessend an die Bohrung der grundlegenden Lagerstättenforschung (B ö h m e r et al., 1976) situiert wurden.

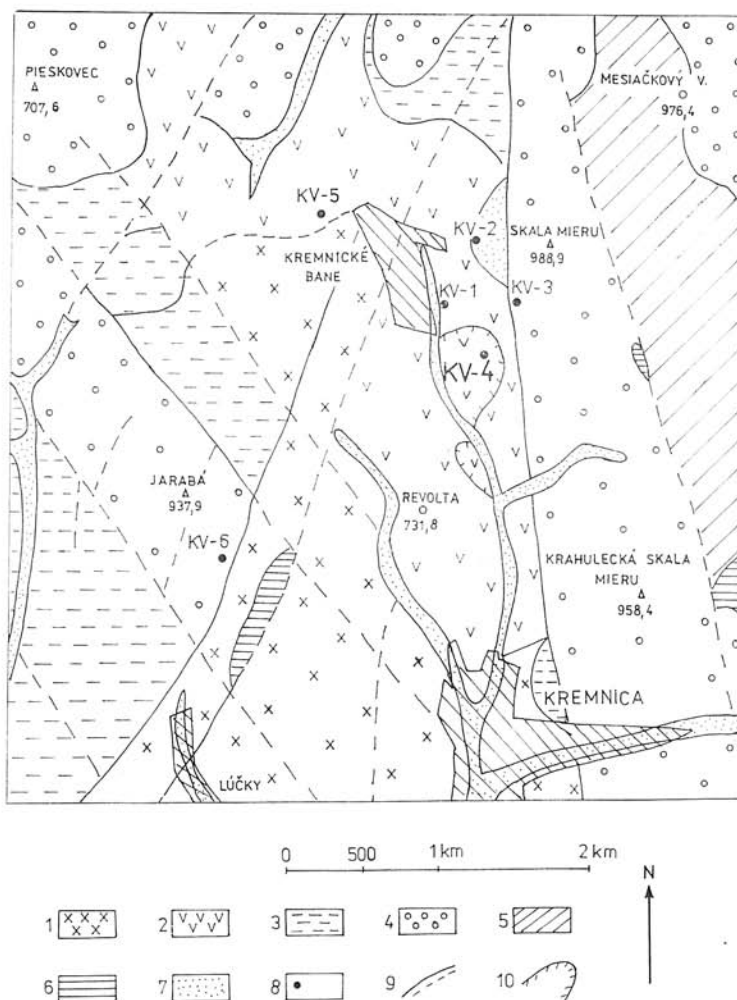


Abb. 1. Geologische Karte des Gebirges Kremnické vrchy – Bereich von Kremnica und Kremnické Bane (nach Unterlagen von Lexa).

Erläuterungen: Zlatá studňa Formation – Baden (ältere Pyroxenandesite): 1 – propylitisierter Komplex mit Überwiegen von Intrusivgesteinen; 2 – propylitisierter Komplex mit Überwiegen von Effusivgesteinen; 3 – Komplex pyroxenischer basaltoider und leukokrater Andesite, ihre autochthonen und redeponierten Pyroklastite. Kremnica-Schild Formation – unteres Sarmat: 4 – effusiver Komplex von amphibolisch-pyroxenischen Andesiten.

Krahule Formation – unteres Sarmat: 5 – Extrusionen und Dikes biotitisch-amphibolischer Andesite.

Rhyolith-Komplex – oberes Sarmat – unteres Pannon: 6 – Rhyolithe, Rhyodazite (Extrusionen, Dikes, Ströme).

Vlčí vrch Formation – Pannon: 7 – Alluvium – Quartär; 8 – Lokalisation der Bohrungen; 9 – Brüche; 10 – Rutschungsgebiete.

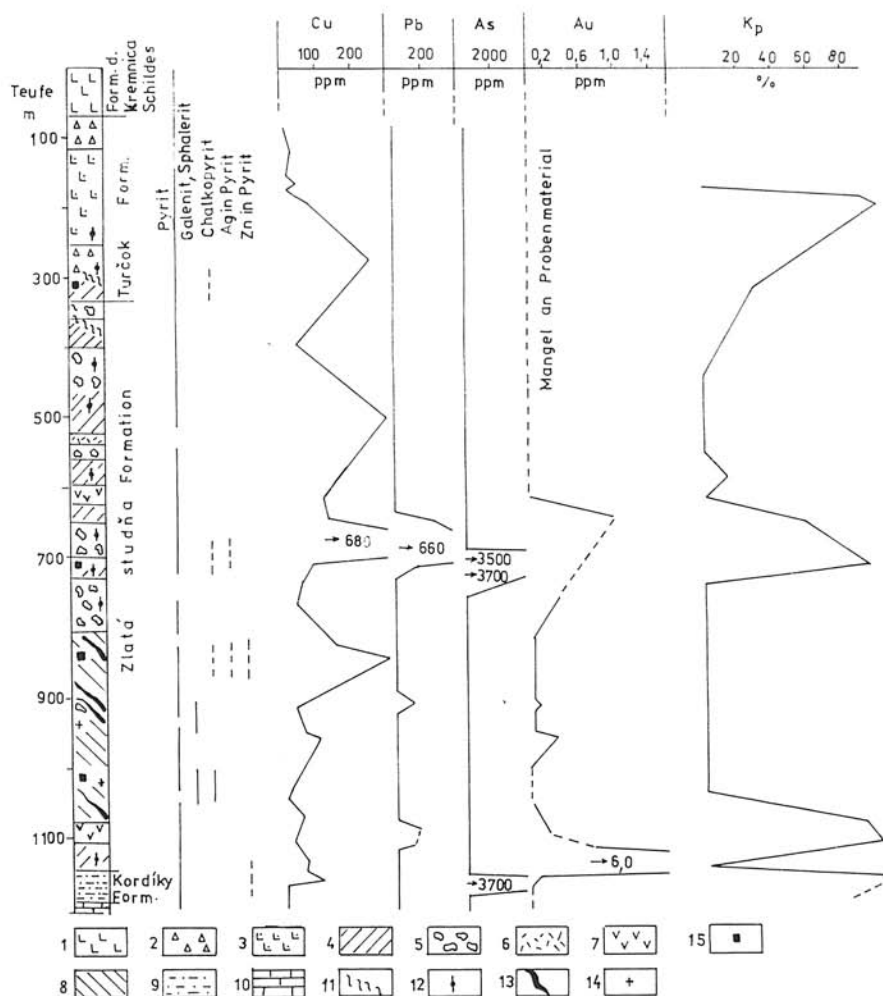


Abb. 2. Geologisches Profil der Bohrung KV-4 (Kremnické Bane) mit graphischer Darstellung einiger mineralogischer, geochemischer und elektrophysikalischer Werte in Hinsicht auf den Goldgehalt in Pyrit.

Erläuterungen: 1 – Amphibolisch-pyroxenische Andesite, chloritisiert, grau bis hellgrau. Die Gesteine sind oft ausgebleicht, stellenweise zu Ton umgebildet; 2 – Vulkanoklastite von Pyroxenadesit, grau bis hellgrau, stellenweise bis zu Ton umgebildet; 3 – Pyroxenandesite, grobporphyrisch, mit dünnen Quarz-Karbonat-Adern. Die Gesteine sind stellenweise stark ausgebleicht; 4 – Propylitisierte Pyroxenandesite, dunkelgrau, grünlich bis hellgrau. Die Gesteine sind stellenweise stark ausgebleicht; 5 – Grobklastische Andesit-Vulkanoklastite; 6 – Graue Tuffe; 7 – Dunkelgraue, grünliche bis hellgraue kompakte Dioritporphyre; 8 – Grobporphyrische propylitisierte Andesite; 9 – Tongesteine, fleckige graue Sandsteine mit dünnen Lagen tuffitischen Materials; 10 – Graue Dolomite; 11 – Trümmerzone; 12 – Dünne Quarz-Karbonat-Adern; 13 – Quarz-Karbonat-Gangfüllung; 14 – Vorkommen von Galenit mit Sphalerit; 15 – Vorkommen von Chalkopyrit (auch mikroskopisch identifizierbar).

Die Gesteine in der Umgebung des verfolgten Gangsystems sind intensiv pyritisiert. Pyrit befindet sich in den Gesteinen in Form von Imprägnationen, Krusten an Klüften und zugleich auch in Erzgängen. Pyrit aus den Erzgängen haben wir nicht untersucht. Pyrit ist in den alterierten Gesteinen verhältnismässig reich vorhanden. Wir studierten ihn mit Hinsicht auf eine potentielle komplexe Nützung der gesamten Erzmineralisation. Neben Gold haben wir im Pyrit auch die begleitenden Elemente in dem gesamten Profil der Bohrung bis zu einer Teufe von 1160 m verfolgt.

Die Bohrung KV-4 ist östlich der Gemeinde Kremnické Bane situiert (Abb. 1), wo sie den gesamten vulkanischen Komplex durchdrang. In einer Teufe von 1193 m wurde mit dieser Bohrung das von Mesozoikum gebildete Liegende der Vulkanite erfasst (Abb. 2).

Der nördliche Teil des Gebirges Kremnické vrchy wird von vulkanischen Gesteinen mit einer stratigraphischen Spanne von unterem Baden bis Pannon aufgebaut. Der vulkanische Komplex wird in mehrere vulkanische Formationen (Schichtenfolgen) gegliedert (Lexa-Rakus, 1982; Konečný-Lexa-Pländerová, 1983). Die Bohrung KV-4 erfasste in ihrem oberen Teil die Formation des Kremnica-Schildes (0–66 m), die aus Amphibol-Pyroxen-Andesit besteht. In tieferen Horizonten der Bohrung (66–339 m) wurde die altersmässig in das untere Sarmat gereichte Turčok Formation erfasst. Die Turčok Formation besteht aus Lavakörpern von Pyroxenandesiten, die mit Vulkanoklastiten wechseltargern. Von 339 bis 1148 m lag die Bohrung in der vulkanischen Formation Zlatá studňa (oberes Baden), bestehend aus Lavakörpern von Pyroxenandesiten, bzw. andesitischen vulkanoklastischen Brekzien und aus sporadischen Lagen von Andesit-Tuffen und -Tuffiten. In einem geringeren Masse erfasste die Bohrung auch intrusive Glieder dieser Formation in Form von Dioritporphyren. In den Gesteinen dieser Formation befinden sich alle bisher in Kremnica bekannten Gangstrukturen (Böhmer et al., 1976; Lexa-Rakus, 1982). Mit der Bohrung KV-4 wurden mehrere Gangstrukturen mit einem Fallen von annähernd 60° nach Osten erfasst. An einigen dieser Strukturen wurden Gehalte von Au, Ag, Pb, Zn und Cu festgestellt, die industrielle Parameter erreichen (Knešl-Velký, 1982). Die Basis der vulkanischen Formation Zlatá studňa bildet die sedimentär-vulkanogene Kordiky Formation unterbadischen Alters. Sie besteht aus Lagen von Tongesteinen, fleckigen Grauwacken, Sandsteinen und aus Tuff-Material. Im Liegenden des vulkanischen Komplexes befindet sich Mesozoikum, das aus grauen Dolomiten besteht und wahrscheinlich zu der Krížna-Einheit gehört.

Der vulkanische Komplex ist in seiner ganzen von der Bohrung erfassten Mächtigkeit durch die Einwirkung hydrothormaler Lösungen sowie durch jüngere Umbildungen, die wahrscheinlich zum Teil auch zu den Prozessen einer

←

Weitere Erläuterungen: K_p – Produktivitätskoeffizient (bestimmt das ‰ der Messungen der Thermospannung) welcher den Pyrit der goldproduktiven Assoziation charakterisiert (nach Zerebcov et al., 1978). Die unterbrochenen Linien in der graphischen Darstellung von Au bedeuten, dass nicht genügend Probenmaterial zur Analyse vorhanden war, strichpunktierte Linien bedeuten vorausgesetzte Au-Gehalte im Pyrit. Das mikroskopische Vorkommen von Chalkopyrit ist durch unterbrochene senkrechte Linien bezeichnet. Erhöhte Ag- und Zn-Gehalte über die spektrochemische Bestimmbarkeit sind ebenfalls durch unterbrochene senkrechte Linien dargestellt.

schwelig-sauren Verwitterung gehören (Čurlík–Forgáč, 1983) intensiv umgebildet. Infolge der Einwirkung dieser Umbildungen sind die vulkanischen Gesteine intensiv umgebildet, chloritisiert, pyritisiert, silifiziert, stark gebleicht bis argillitisiert, und gegenwärtig ist ihre ursprüngliche Mineralzusammensetzung schwer zu bestimmen. Die intensiven Umbildungen der Gesteine riefen eine Änderung ihrer ursprünglichen chemischen Zusammensetzung hervor und dies sowohl in den grundlegenden wie auch den Neben- und Spurenelementen.

Mineralogischen Charakteristik des Pyrits

Die mineralogische Charakteristik des Pyrits in dem Profil der Bohrung von 169 bis 1161 m wurde von G. Vlčeková an 23 Anschliffen untersucht. Pyrit befindet sich in dem Gestein in oft sehr intensiver Imprägnation und bildet auch Aggregate in Form von Äderchen mit stellenweise selbständigen idiomorphen 0,1 bis 0,5 mm grossen und oft auch kleineren Körnern. Pyrit-Metakristalle von 1 bis 6,5 mm Grösse befinden sich vorwiegend an den Rändern der Adern. Zumeist handelt es sich um Metakristalle mit hexaedrischen und pentagonal-dodekaedrischen Schnitten. Der Pyrit weist keinerlei Anomalien auf. Andere Sulfide wurden in den untersuchten Proben mikroskopisch nicht festgestellt. Vereinzelt wurde Chalkopyrit mikroskopisch in drei Proben beobachtet, als selbständige Adern in Klüften (311–312 m), als winzige Körnchen von 0,013–0,039 mm in einer Quarzader (712,6 m) und als selbständige winzige Körnchen (842,3 m). Da ein Goldkorn in keiner einzigen Probe, weder mikroskopisch noch RTG-mikroanalytisch eindeutig identifiziert wurde, kann angenommen werden, dass die in Ölimmersion bei einer 450-fachen Vergrösserung in mehreren Anschliffen beobachten intensiv gelben winzigen Körnchen Chalkopyrit darstellen. An oxidischen Mineralen sind in der Ölimmersion selten Magnetit und Hämatit bestimmt worden.

Mikroelemente in dem Pyrit

Die geochemische Darstellung des Pyrits aus den alterierten Gesteinen von Kremnické Bane wird von den in Tabelle 1 angeführten Angaben gut charakterisiert. In der Tabelle werden der Übersicht halber nur die durchschnittlichen, maximalen und minimalen Gehalte der Elemente, Gold inbegriffen, angeführt. Es handelt sich um Elemente, die in Pyrit sowohl in homogener (isomorpher) wie auch in heterogener Form vertreten zu sein pflegen. An homogenen Elementen sind hauptsächlich Co und Ni vertreten, deren Gehalte sehr gut das Gesteinsmilieu widerspiegeln und gemeinsam mit anderen Mikroelementen ohne Rücksicht auf deren Auftrittsform auf den Charakter der Erzmineralisation hinweisen, deren Bestandteil der Pyrit ist. Aus Tab. 1 ist ersichtlich, dass die Durchschnittswerte von Co und Ni das Verhältniss der Durchschnittswerte Co/Ni auch die Umbildungsstufe der Gesteine der einzelnen vulkanischen Formationen widerspiegeln. Während Pyrit in der Turčok Formation ein Verhältniss der Durchschnittswerte Co/Ni von 1,83 aufweist, beträgt der Wert dieses Verhältnisses in der Zlatá studňa Formation 5,6. Zu der bedeutenden Vergrösserung des Co/Ni Verhältnisses in dieser Formation trugen einerseits der abweichende

Tabelle 1

Durchschnittliche, minimale und maximale Mikroelement-Gehalte inbegriffen Gold (ppm) in Pyrit aus alterierten Vulkaniten aus der Bohrung KV-4 (Kremnické Bane) und elektrophysikalische Charakteristiken des Pyrits

	Turčok Formation 66.0—339.0 m	Zlatá studňa Formation 339.0—1145.6 m	Kordíky Formation 1145.6—1193.0 m	Bemerkung		
Ti	449 151 850	2255 690 3400	830 400 1260	}		
Pb	≈ 40 ≈ 40 ≈ 40	164 40 1010	≈ 40 ≈ 40 ≈ 40			
As	≈ 400 ≈ 400 ≈ 400	736 ≈ 400 3700	2050 ≈ 400 3700			
Co	28 ≈ 12 85	252,7 72 510	135,5 120 151		Turčok Formation	3 Proben
Ni	15,2 ≈ 4 44	45,1 ≈ 4 104	251,5 123 380		Zlatá studňa Formation	19 Proben
Co/Ni	1,83	5,60	0,53		Kordíky Formation	2 Proben
Cu	59,2 10 245	121,8 10 680	65,0 10 126			
Mn	50,1 ≈ 4 112	48,2 ≈ 4 178	23 4 42			
Au	— — —	0,89 ≈ 0,04 6	0,07 ≈ 0,04 0,15		Turčok Form. 0 Proben Zl. st. Form. 10 proben Kordíky Form. 3 Proben	
α ($\mu\text{V}/\text{deg}$)	+204,8	-48,2 +309,5	+341,5			
Leitfähig- keit	23	75 0	0			goldsulfid. Zone
Typ n (%)	55	1	100			goldsulfid. Zone
K _p (%)		86				goldsulfid. Zone

Erläuterungen: In den Fällen, die mit dem Zeichen weniger als (<) angeführt werden, sind bei der Berechnung der durchschnittlichen Gehalte 2/5 des hinter dem Zeichen angeführten Wertes genommen worden. Bindestrich (—) bedeutet, dass nicht genügend separiertes Material zur Verfügung stand. Die angeführten Elemente wurden mit Ausnahme von Au mittels spektrochemischer Analyse bestimmt. Analytiker J. Chudý, GÜUK. Au wurde mittels der Atomabsorptions-Spektrometrie unter Verwendung einer Graphit-Küvette bestimmt. Analytiker RNDr. K. Fellegiová unter der Leitung von Ing. V. Streško, CSc., GÜUK. Die Pyrite aus der Formation des Kremnica-Schildes sind wegen Mangels an Probenmaterial nicht analysiert worden.

petrographische Charakter der Nebengesteine, andererseits die erhöhten thermodynamischen Bedingungen bei dem Alterationsprozess der Gesteine bei. Demgegenüber ist die Kordíky Formation (1145,6–1193,0 m) dargestellt von sedimentär-vulkanogenen Gesteinen, geochemisch sichtlich unterschieden. Dies äussert sich deutlich auch in dem Durchschnittswert Co/Ni , der sehr niedrig (0,53) ist. Auch die Durchschnittswerte von Cu und zum Teil auch von Mn in dem Pyrit aus den angeführten vulkanischen Formationen widerspiegeln die lithologisch-geochemischen Verhältnisse der ausgegliederten vulkanischen Formationen. Als geeigneten Indikator des Umbildungsgrades der Gesteine sehen wir Ti an, das sich in dem Pyrit in erhöhten Masse konzentriert, auch wenn es sich um kein isomorphes Element handelt. J a r k o v s k ý – F o r g á č – J a n č u l a (1981) stellten RTG-mikroanalytisch fest, dass Ti sich in Pyrit in der Form eines sekundären Isomorphismus anhäuft, d. h., es befindet sich in der Kristallstruktur sekundärer Minerale (z. B. in Chlorit), die während des Prozesses der hydrothermalen Umbildung der gesteinsbildenden Minerale entstehen. Dieses Problem verfolgten die zitierten Autoren an Pyritproben aus der Bohrung MEB-1 (Vtáčnik). Neben dem Vorkommen von Ti in sekundären gesteinsbildenden Mineralen bildet Titan auch Einschlüsse von Ti-Mineralen. Mikroskopisch wurden zahlreiche Körner von Ti-Mineralen festgestellt (Ilmenit, Anatas).

Wenn wir also neben anderen Faktoren auch den Ti-Gehalt in dem Pyrit als Kriterium der Stufe der hydrothermalen Umbildung ansehen, dann resultiert, wie aus den Durchschnittswerten der in Tab. 1 angeführten Elemente ersichtlich ist, dass sich die relativ grössten Ti-Gehalte in den tiefen, die Zlatá studňa Formation durchdringenden Abschnitt der Bohrung KV-4 konzentrieren. Neben Ti ist in dieser Formation eine höhere Vertretung von Co, Pb, Au, Cu, As. Der Durchschnittsgehalt von Au in dem Pyrit der Zlatá studňa Formation beträgt 0,89 ppm (10 Analysen), während der Au-Gehalt in Pyrit der Kordíky Formation (3 Analysen) demgegenüber sehr gering (0,07 ppm) ist.

Thermospannung des Pyrits

Ausser des geochemischen Studiums der Proben haben wir auch die Thermospannung des Pyrits verfolgt. Die angewandte Methodik ist in den Arbeiten Ď u r ž a (1980, 1981); G a j d o š – Ď u r ž a (1981) angeführt.

Der Wert der Thermospannung der Pyrite aus der Bohrung KV-4 schwankt in einem breiten Intervall ($-160 - +400 \mu\text{V/deg}$). Wir haben eine Korrelation mit den Gehalten einiger Elemente durchgeführt. Es erwies sich eine enge Verbindung vor allem mit den Gehalten an Ni, Co, bzw. Au (Tab. 2). Mit einer Erhöhung der Ni- und Co-Gehalte steigen die negativen Werte der Thermospannung, bzw. mit einer Erhöhung des Au-Gehaltes erhöhen sich ihre positiven Werte.

Die Zugehörigkeit der erhöhten Au-Konzentrationen zu den Pyriten mit einem p-Typ der Leitfähigkeit hat einen indirekten Charakter und ist durch die Bindung von Au und As bewirkt. Diese Erscheinung wird dadurch erklärt (P o p o v a, 1978), dass As in der Form von As^{3-} zugegen ist, welches S^{2-} in dem Pyrit ersetzt, und ein akzeptorischer Gemengteil ist, d. h. die Löcher-Leitfähigkeit des Pyrits verursacht. Die erhöhte Konzentration von As im Pyrit führt

Tabelle 2

Werte der elektrophysikalischen Charakteristiken des Pyrits und Gehalte einiger Elemente in dem Pyrit aus der Bohrung KV-4 in einzelnen Teufenabschnitten der Bohrung

Teufe	α	Leitfähigkeit Typ n	K_p	Au	As	Ni	Co
m	$\mu\text{V/deg}$	$\%$	$\%$	ppm	ppm	ppm	ppm
160–185	–126,7	92	0	–	<1000	<10	<30
185–350	+315,2	0	73	–	<1000	31	62
350–630	+ 97,5	49	3	–	<1000	54	218
630–730	+261,7	0	76	1,1	2350	10	200
730–1060	– 75,4	88	0	0,2	<1000	59	359
1060–1100	+357,4	0	95	0,5	<1000	34	198
1100–1140	– 89,4	88	0	6,0	<1000	36	269
1140–1160	+341,5	0	100	0,1	<1000	60	214

Erläuterungen: α – Koeffizient der Thermospannung, K_p – Produktivitätskoeffizient charakterisiert Pyrit der goldproduktiven Assoziation (bestimmt das $\%$ der Messungen der Thermospannung grösser als 240 $\mu\text{V/deg}$).

in der Regel zu dem Ansteigen des Au-Gehaltes (Abb. 2). Der Mechanismus dieser Konzentration von Au ist in vielem unklar. Nach den Angaben von Gabinska et al. (1978 in Mironov–Žmodik–Maksimova, 1981) wird Gold in Pyriten zu Partikeln angezogen, die durch Arsen angereichert sind. Dies kann entweder mit einem isomorphen Austausch von As durch Au oder durch das Eindringen von Au-Atomen in die Kristallstruktur des Pyrits verbunden sein Korobuškin, 1970).

Wenn sich an den Lagerstätten kein markantes Arsenstadium (oder Arsenopyritstadium) äussert, wird die Bindung der erhöhten Au-Konzentrationen in den Pyriten an ihr positives Vorzeichen der Thermospannung gestört, und die Pyrite mit einem p-Typ der Leitfähigkeit äussern sich nicht durch einen maximalen Goldgehalt (Prochorov–Li, 1971). Auf Golderzlagerstätten überwiegt jedoch nach verschiedenen Autoren Pyrit mit einem p-Typ der Leitfähigkeit, nach Popova (1974) mit 85 $\%$, über Pyrit mit einem n-Typ der Leitfähigkeit.

Nach den Schlussfolgerungen von Žerebcov et al. (1978) entsprechen anomale Änderungen der elektrophysikalischen Eigenschaften von Pyriten mit einem K_p (Produktivitätskoeffizient) der grösser oder gleich 60 $\%$ ist, goldsulfidischen Zonen.

Aus Tab. 2 und Abb. 2 ist ersichtlich, dass der erhöhte Au-Gehalt in dem Pyrit in vier Teufenintervallen auftreten könnte: 185–350 m, 630–730 m, 1060–1100 m und 1140–1160 m, in denen der K_p grösser als 60 $\%$ ist. Die Pyrite aus dem Intervall 1140–1160 m können jedoch sedimentären Ursprungs sein und solche Pyrite haben eine Leitfähigkeit vom Typ p (Popova, 1974), so dass drei Abschnitte mit einem wahrscheinlich erhöhten Au-Gehalt bleiben. Der

As-Gehalt ist nur in dem Intervall 630–730 m erhöht, sonst liegt er nur unter 1000 ppm. Dies ist wahrscheinlich die Folge dessen, dass Pyrite mit einem p-Typ der Leitfähigkeit mit einer Thermospannung um $+300 \mu\text{V/deg}$ durch einen erhöhten As-Gehalt (0,01–0,1 %) charakterisiert werden, der unter der spektrochemischen Bestimmungsgrenze liegt, sonst erreicht er 0,2 % (Popova 1974). Das heisst, dass der As-Gehalt in den übrigen beiden Abschnitten wahrscheinlich ebenfalls erhöht ist, jedoch unter 0,1 % liegt.

Durch einen Vergleich des Koeffizienten K_p mit dem Au-Gehalt (Abb. 2) ist ersichtlich, dass sich die erhöhten Au-Gehalte in den Abschnitten 630–730 m und 1060–1100 m befinden, was auch aus den Messungen der Thermospannung resultiert. Proben aus dem Teufenintervall 185–350 m wurden wegen Mangels an Probenmaterial nicht analysiert. Der erhöhte Au-Gehalt aus der Teufe von 1100–1143 m ist wahrscheinlich durch das Vorkommen eines Goldkornes in der chemisch analysierten Probe verursacht, während in dem gemessenen Präparat wahrscheinlich kein erhöhter Goldgehalt bestand. Es handelt sich um Stellen in der Bohrung mit einer vorausgesetzt erhöhten Akkumulation von Gold infolge der aus dem Kontakt zweier geochemisch unterschiedlicher Gesteinsmilieus resultierenden chemischen Reaktionen. Der Kontakt der mesozoischen und vulkanischen Gesteine ist makroskopisch in einer Teufe von 1143,2 m beobachtet worden.

Aus Tab. 1 ergibt sich, dass die Pyrite aus der Turčok Formation vorwiegend eine Leitfähigkeit von Typ p aufweisen. Die Pyrite aus der Zlatá studňa Formation besitzen einen p-n Typ der Leitfähigkeit mit einem grossen Übergewicht der Leitfähigkeit vom Typ n. Die Pyrite aus der Kordíky Formation haben, da sie in sedimentogenen Gesteinen entstanden sind, eine Leitfähigkeit vom Typ p. Abschnitte mit einem möglichen erhöhten Goldgehalt befinden sich, nach den elektrophysikalischen Werten des Pyrits, nur in der Zlatá studňa Formation, wodurch die bisherigen Ergebnisse (Böhm et al., 1976; Lexa–Rakus, 1982), sowie auch unsere Resultate des geochemischen Studiums bestätigt werden.

Mikroelemente inbegriffen Gold in Quarz

Neben Pyrit haben wir an der behandelten Lokalität auch Quarz untersucht, der bei der hydrothermalen Alteration der Gesteine entstanden ist. Bei der petrographischen Analyse wird an zahlreichen Teufenabschnitten der Bohrung ein Silifizierungsprozess angegeben, wodurch die Gesteine an sekundärem Quarz angereichert wurden. Neben Quarz sind in den alterierten Neovulkaniten eng mit ihm assoziiert auch weitere sekundäre Minerale entstanden. Diese Tatsache widerspiegelt sich auch in der chemischen Zusammensetzung des Quarzes (Tab. 3). Aus ihr ist ersichtlich, dass mehrere in dem Quarz festgestellte Mikroelemente aus Einschlüssen von Karbonaten, Silikaten und Erzmineralen stammen. So stammen z. B. Ba und Sr wahrscheinlich vorwiegend aus Karbonaten, Co und Ni aus Pyrit u.s.w. Den Quarz aus der Bohrung KV-4 haben wir vor allem vom Standpunkt des Vorkommens von Au und Ag untersucht. Es zeigte sich jedoch, dass beide Elemente in diesem Quarz-Typ nur in ganz geringen Mengen vorhanden sind: Au im Durchschnitt 0,03 ppm und im Konzentrationsin-

Tabelle 3

Gehalte der Mikroelemente inbegriffen Gold in Quarz aus alterierten Vulkaniten in der Bohrung KV-4 (Kremnické Bane)

Lokalität Kremnické Bane		B	Mn	Pb	Cu	Ti	V	Zr	Ni	Co	Cr	Ba	Sr	Au
Bohrung KV-4 Probe Nr.	Teufe m													
KR-1	67,0	<30	224	69	39	3000	129	43	5,5	3,3	23	400	153	0,04
KR-2	200—400	30	1950	49	38	2630	174	18	5,9	4,1	28	224	370	0,01
KR-3	417,6	104	2140	69	58	2690	209	20	6,3	4,4	42	224	219	<0,01
KR-4	400—600	<30	1590	39	101	2450	251	16	6,8	4,2	54	234	282	0,05
KR-5	690,8	40	2090	27	28	1700	95	22	<3	<3	3	182	251	0,05
KR-6	913,7	36	2000	37	10	2570	182	18	5,4	<3	35	195	145	0,01
KR-7	1142,5	30	1260	40	13	1480	59	29	3	<3	4	145	219	0,04

Erläuterungen: Au wurde mittels der AAS unter Verwendung einer Graphit-Küvette bestimmt, Analytiker Ing. E. Stuchlíková, Geologischer Erkundungsdienst VEB, Brno. Die übrigen Elemente bestimmte mittels der spektrochemischen Methode O. Karellová, GÜUK. Wenn nicht genügend separiertes Probenmaterial zur Verfügung stand, wurden die Proben von einigen Abschnitten der Bohrung vereinigt, so dass die erzielten Resultate die Summe der Element-Gehalte dieser Abschnitte (KR-2, KR-4) darstellen. Die Gehalte von Ag und Be sind überall geringer als 3 ppm, die Sn-Gehalte sind zumeist geringer als 10 ppm, mit Ausnahme zweier Proben KR-1 und KR-4, in denen der Sn-Gehalt annähernd 10 ppm beträgt. Die Gehalte an Mo und Bi sind zumeist geringer als 10 ppm mit Ausnahme der Probe KR-4, in welcher der Bi-Gehalt 11 ppm beträgt, die Cd- und Sb-Gehalte sind überall geringer als 30 ppm.

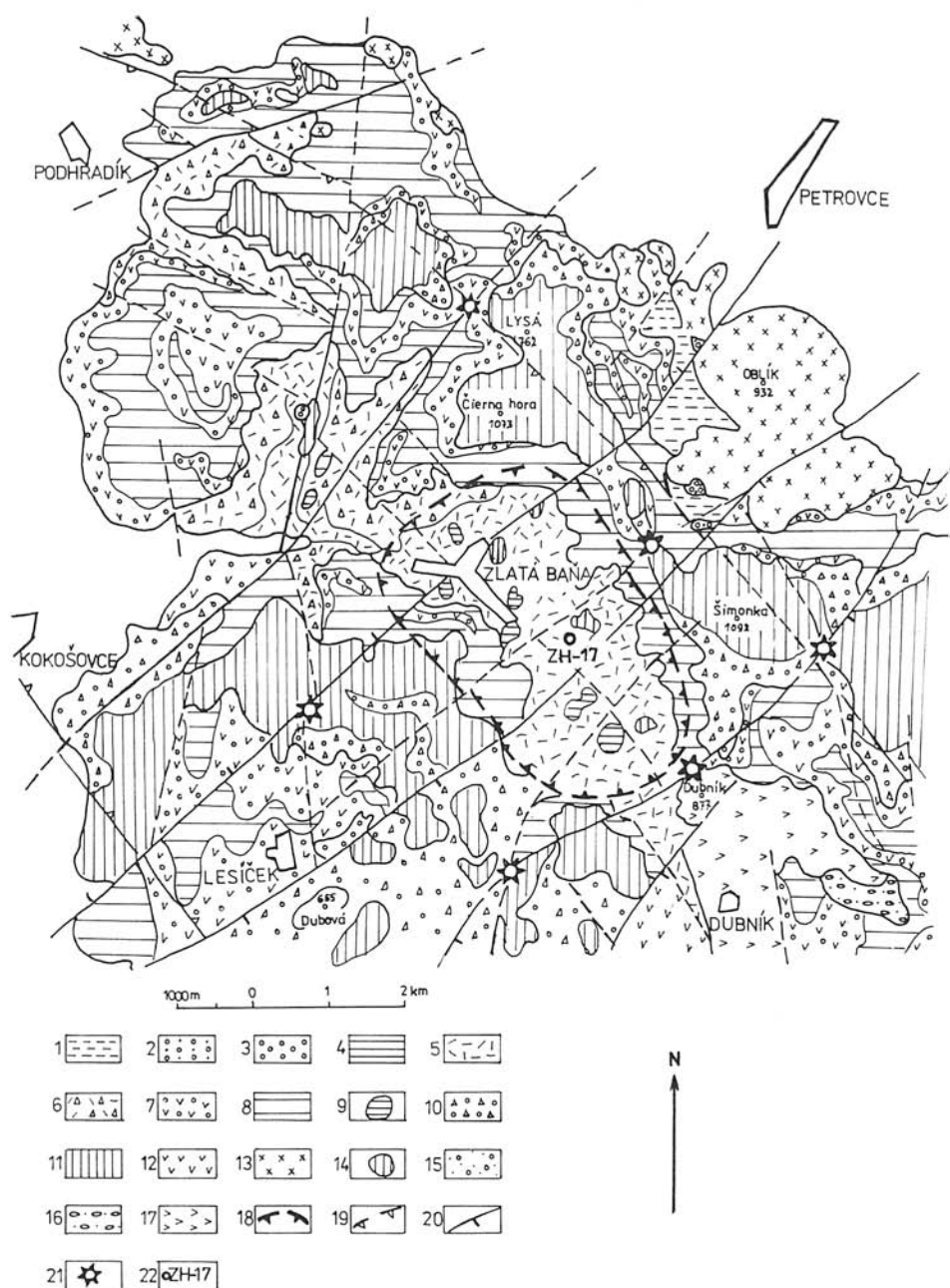


Abb. 3. Geologische Karte des Gebirges Slánske vrchy — Bereich Zlatá Baňa (nach Kaličiak, 1977).

tervall 0,01–0,05 ppm und Ag in allen analysierten Proben in Gehalten geringer als 3 ppm. Aus dem Angeführten resultiert, dass dieser Quarz-Typ auf der gegebenen Lokalität keinen Konzentrador einer Edelmetallassoziaton von Elementen darstellt.

Aus dem Angeführten kann konstatiert werden, dass so wie alle bisher bekannten Gangstrukturen von Kremnica (Böhm er et al., 1976; Lexa — Rakus, 1982) auch unsere Resultate der geochemischen und elektrophysikalischen Charakteristiken des Pyrits bestätigen, dass sich die Golderzmineralisation des Erzfeldes von Kremnica in dem Gesteinsmilieu der Zlatá studňa Formation befindet. Pyrit zeigte sich auch in diesem Fall, aufgrund der Gehalte an Co und Ni sowie des Au-Gehaltes als bedeutender geochemischer Indikator, der empfindlich auf ein durch Gold angereichertes Milieu reagiert. Dabei kann dieses gemeine sulfidische Mineral assoziiert mit anderen Sulfiden auf den Lagerstätten einen guten Gold-Kollektor darstellen.

Zlatá Baňa

Geologisch-metallogenetische Charakteristik

Die polymetallische Vererzung Zlatá Baňa befindet sich in dem nördlichen Teil des Gebirges Slánske vrchy. Situirt ist sie in der zentralen Zone des Zlatá Baňa vulkanischen Apparates, der durch Produkte von sauerem und intermediärem Vulkanismus gebildet wird (Abb. 3). In dem geologischen Bau des vulkanischen Apparates gliedern wir eine untere und eine obere Strukturetage aus. Die untere Strukturetage bilden Komplexe saurer Rhyolith-Vulkanoklastite, Rhyoli-

←

Erläuterungen: 1 — pelitische Sedimente-Karpat; 2 — Rhyolithische Aschetuffe (Hrabovec-Tuff Horizont)-unteres Baden; 3 — Redeponierte Lapilli — Bimsstein — Rhyolithuffe Kolčov-Schichtenfolge-oberes Baden bis unteres Sarmat; 4 — Rhyolith-oberes Baden (Tuhřiná).

I. Entwicklungsetappe des vulkanischen Apparates (oberes Baden): 5 — Regional propylitisierter Komplex von Pyroxenandesiten im Inneren der Kollaps-Struktur und im Bereich von Štiavnica; 6 — Autiklastite von Pyroxenandesiten.

II. Entwicklungsetappe des vulkanischen Apparates (mittleres Sarmat): 7 — Vulkanoklastite (Tuffobrekzien und Tuffe) von Pyroxenandesiten; 8 — Lavaeffusionen von Pyroxenandesiten; 9 — Dike-Körper pyroxenischer Dioritporphyrite im Inneren der Kollaps-Depression an die Oberfläche tretend.

III. Entwicklungsetappe des vulkanischen Apparates (mittleres bis oberes Sarmat): 10 — Vulkanoklastite (Tuffobrekzien, Tuffe) von Amphibol-Pyroxen- und Pyroxen-Amphibol-Andesiten; 11 — Lavaeffusionen von Amphibol-Pyroxen- und Pyroxen-Amphibol-Andesiten; 12 — Extrusive Körper von Pyroxen-Amphibol-Andesiten; 13 — Seichtintrusive domartige Körper von pyroxenamphibolischen Dioritporphyriten; 14 — Dike-Körper von pyroxenamphibolischen Dioritporphyriten, die im Inneren der Kollaps-Depression an die Oberfläche treten; 15 — Gemischte Epiklastite von Pyroxen- und Amphibolandesiten; 16 — Sedimentär-vulkanische Schichtenfolge von Červenica.

IV. Entwicklungsetappe des vulkanischen Apparates (unteres Pannon): 17 — Extrusivkörper von Pyroxen-Amphibol-Biotit-Andesit mit Übergang in Lavastrom; 18 — Angenommene Begrenzung der zentralen Kollaps-Struktur von Zlatá Baňa; 19 — Brüche von denen die Grabenstruktur Prešov-Sečovce begrenzt werden; 20 — Brüche von denen die Querelevation Oblik-Lesíček begrenzt werden; 21 — Angenommene vulkanische Zentren; 22 — Lokalisation der Bohrung ZH-17.

the und tonig-sandige Sedimente, die sich im unteren Miozän—oberen Baden in einem neogenen Sedimentationsraum geformt haben. Die obere Strukturetage bilden Produkte eines intermediären Andesitvulkanismus aus dem oberen Baden—Pannon, verschiedener Formen und Fazies vulkanischer Körper. Die Entwicklung des intermediären Andesitvulkanismus verlief in Etappen mit einer differenzierten Skala komagmatischer effusiv-explosiver und intrusiver Komplexe mit einem differentiationstrend von basischeren zu saureren und alkalischeren Fazies.

In der zentralen Partie des Apparates formte sich eine mobile tektonische Zone elliptischer Gestalt, welche die zentrale Kollaps-Struktur des Zlatá Baňa vulkanischen Apparates darstellt und in der Umgebung der Gemeinde Zlatá Baňa eine markante morphologische Depression mit einem Ausmass von ca 8 km² bildet. Die zentrale vulkanische Zone wird an der Oberfläche von hydrothermal alterierten Gesteinen gebildet und wird durch Gangkörper von Dioritporphyriten intrudiert, die ein bedeutendes metallogenetisches Phänomen und die haupt-erzführende Formation sind. Die Körper der Dioritporphyrite intrudierten in Form von Dikes, Sills und Necks bis in die höheren Niveaus des vulkanischen Baues. Sie weisen veränderliche Mächtigkeiten auf.

Synchron mit der Entwicklung des intermediären Magmatismus verliefen auch Vererzungsprozesse die ebenfalls eine etappenmässige, bzw. pulsative Entwicklung besaßen. Die Mineralisation ist genetisch mit den intrusiven Prozessen der Dioritporphyrite verbunden. Erzlokalisierendes Milieu sind einerseits die Gesteine beider Strukturetagen, sowie die einzelnen Körper der Dioritporphyrite. Die Akkumulation der Erzminerale ist vor allem durch geeignete tektono-magmatische und strukturell-lithologische Faktoren bedingt. Die räumliche Distribution ist sehr unregelmässig und tritt von den Oberflächenhorizonten bis in Teufen unter 1000 m auf. Als geeignetste erzlokalisierende Strukturen erweisen sich Endo- und Exo-Kontaktzonen der Dioritporphyritkörper, tektonisch gestörte Zonen und vulkanoklastische Fazies.

Auf der Lagerstätte Zlatá Baňa können wir drei grundlegende morphostrukturelle polymetallische Vererzungstypen ausgliedern:

- Stockwerk-Imprägnations-Typ; strukturell gebunden an die eigentlichen intrusiven Dioritporphyritkörper und in geringerem Masse an die Nebengesteine. Für diesen Typ sind folgende mineral-paragenetische Assoziationen charakteristisch: Pyrit-Pyrrhotin-Chalkopyrit, Pyrit-Sphalerit-Galenit und Calcit-Galenit.

- Stockwerk-Typ; gebunden an mechanisch (tektonisch) gestörte Zonen, hauptsächlich in kontaktnahen Zonen der Dioritporphyritkörper. Diese Zonen erreichen eine Mächtigkeit von einigen Metern. Die Mineralisation bildet in ihnen Scharen subparallel bis chaotischer, selten bis zu 80 cm mächtiger Gänge. Für diesen Typ sind folgende mineralparagenetische Assoziationen charakteristisch: Pyrrhotin (\pm Markasit), Galenit-Sphalerit, Calcit-Galenit, Quarz-Chalzedon-Pyrit, Karbonat-Sphalerit-Galenit, Epidot und Zeolith.

- Brekzien-Typ; gebunden an polymikte explosive vulkanische Brekzien in denen der Zement der Lithoklaste von Sulfiden gebildet wird. Charakteristisch sind folgende mineralparagenetische Assoziationen: Pyrit-Sphalerit-Galenit (\pm Chalkopyrit, Tetraedrit, Antimonit).

In dem Lagerstättenbereich haben sich weitläufige erzumgebende hydrothermale Umbildungen geäussert. Am intensivsten ist eine Propylisation von der vor

allem der Andesitkomplex betroffen wird. Eine bedeutende Stellung kommt auch der Argillitisierung der Gesteine zu, vor allem in den oberflächennahen Partien des Andesitkomplexes. In der Umgebung der Dioritporphyritkörper befinden sich Silifikationszonen. In tieferen Niveaus der Lagerstätte wurde eine K-Metasomatose festgestellt (Dioritporphyrite, Rhyolithe und ihre Vulkanoklastiten). Stellenweise ist mit dem Rhyolit-Vulkanoklastiten auch eine Turmalinisierung verbunden.

Eine allgemeine Gesetzmässigkeit der Vererzung ist die räumliche zonale Anordnung der Erz-Elemente, Minerale, sowie der einzelnen mineralparagenetischen Assoziationen. Diese Zonalität ist die Reflektion der pulsativen Entwicklung der Mineralisation in Etappen, die synchron mit den Entwicklungsetappen des Vulkanismus waren.

Die gesamte Entwicklung der Mineralisation und der Vererzungsprozesse verlief in vier Etappen. Während es in der ersten Entwicklungsetappe zur Entstehung einer Pyritmineralisation kam, die eine Komponente der Propylitisierung der Gesteine, assoziiert mit Chlorit, Karbonaten u.s.w. ist, und Imprägnationen sowie kleine Adern bildet, entsteht während der zweiten Entwicklungsetappe im Zusammenhang mit Intrusionen von pyroxenischen Dioritporphyriten eine Fe-Skarn- und zum Teil polymetallische Mineralisation. Die Skarn-Formation wurde in der Bohrung KSV-15 in einer Teufe von 484–486 m und 1073–1075 m festgestellt und sie wird von Magnetit, Diopsid, Aktinolith, Chlorit, Granat mit jüngeren aufgeprägten Adern von Pyrit, Pyrrhotin und Chalkopyrit gebildet. Eine ältere polymetallische Formation wurde in der Bohrung KSV-15 in einer Teufe von 1513 m festgestellt. Sie hat einen Gang-Charakter und befindet sich in einem Rhyolith-Millieu. Sie wird von Pyrrhotin, Pyrit, Galenit, Sphalerit und Chalkopyrit repräsentiert. Die Vererzungsprozesse der dritten Entwicklungsetappe sind mit den Abschluss-Stadien der Differenzierung des magmatischen Herdes verbunden. Eine bedeutende Rolle spielt hier hauptsächlich die polymetallische jüngere Formation, die von den Elementen Pb, Zn, Cu, Ag, Te u.s.w. dargestellt wird. Die Mineralisation bildet hauptsächlich Galenit, Sphalerit, Pyrit in Begleitung von Karbonaten und Quarz. In geringeren Mengen kommen auch Pyrrhotin, Chalkopyrit, Pb-Sb-Sulfosalze, Ag-Telluride, Tetraedrit u.s.w. vor.

Ein neuer, bisher unbekannter Vererzungstyp ist die von Rybář-Duďa (1980) in den Bohrungen KSV-15 und ZH-5 in einer Teufe von 800–1400 m festgestellte Mo-Cu-Vererzung. Sie bildet das unterste und höchste thermale Glied der epigenetischen Mineralisation in der dritten Entwicklungsetappe. Sie hat einen Stockwerk-Imprägnations-Charakter und wird hauptsächlich von Chalkopyrit, Pyrit, Molybdenit, Arsenopyrit, selten Bornit, Pyrrhotin, gediegenem Gold, Stannin und Sphalerit repräsentiert.

Die Vererzungsprozesse der vierten Entwicklungsetappe sind unausgeprägt und mit einer postvulkanischen Solfatarenaktivität verbunden, wobei eine ausgedehnte Markasitformation in den peripheren Partien der vulkanotektonischen Depression entstanden ist.

Stellung des Pyrits in der Lagerstätte

Pyrit ist das am meisten verbreitete sulfidische Mineral in dem ganzen Ge-

biet. Er bildet fein-kristallische Aggregate in Form von Imprägnationen in hydrothermal umgebildeten Gesteinen. Er verdrängt intensiv dunkle gesteinsbildende Minerale. Pyrit bildet feine Adern assoziiert mit weiteren Sulfiden, zementiert Gesteinsbrekzien. Er wurde auch in der Form von massiven Groberz-Nestern festgestellt. Vereinzelt kommen grosse Kristalle in Calcit-Gangfüllung vor (bis 20 mm) und nicht zuletzt sind Pyritaggregate in polymetallischer Vererzung bekannt.

Der praktisch meistverbreitete Typ ist Pyrit II, in Form von Imprägnationen von Gesteinen. Er hat eine hexaedrische Entwicklung und ist nur vereinzelt über 1 mm gross. Er ist unregelmässig versprengt in stark propylitisierten und argillitisierten vulkanischen Gesteinen. Der ältere Pyrit I ist seltener und bildet winzige Ausfüllungen nach dunklen gesteinsbildenden Mineralen (Pyroxene, Amphibole) assoziiert mit Magnetit, Chlorit, Hämatit u.s.w. Seine Entwicklung ist allotriomorph. Pyrit III ist noch seltener und ist ein Produkt der hydrothermalen Prozesse während der Anfangsstadien der Entwicklung der magmatischen Aktivität (2. Entwicklungsstufe). Er bildet grobkristallische Aggregate mit Sphalerit, Galenit und Chalkopyrit in polymetallischen Adern. Als jüngeren Pyrit IV sehen wir jenen an, der direkt assoziiert mit hydrothermal-metasomatischen Vererzungen vom Porphyr-Typ (Mo-Cu, Pb-Zn) in Dioritporphyritkörpern auftritt. Er besitzt einen Imprägnationscharakter, ist hypidiomorph bis allotriomorph. Selten bildet er winzige kurze Adern gemeinsam mit Galenit und Sphalerit. Pyrit V und VI sind aus der polymetallischen Mineralisation des Brekzien- und Gang-Stockwerk-Typs bekannt. Ihre Entwicklung ist vorwiegend allotriomorph und sie werden intensiv von jüngeren Sulfiden verdrängt. Wir nehmen an, dass dieser Pyrit zum Teil goldführend sein kann. Pyrit VII schliesst die Ausscheidung einer hydrothermalen Mineralisation der dritten Entwicklungsstufe ab. Er ist assoziiert mit Antimonit, Pb-Sb-Sulfosalzen. Seine Entwicklung ist hypidiomorph. Wir nehmen an, dass Pyrit assoziiert mit Realgar, Zinnober und Markasit jünger ist, eine selbständige Stellung einnimmt und zeitlich stark von den vorhergehenden Pyrit-Generationen getrennt ist.

Mikroelemente in dem Pyrit

Auf Abb. 4 ist in dem Profil der Bohrung ZH-17 schematisch die Pyritisierung und das Vorkommen der polymetallischen Mineralisation dargestellt. Die Resultate der spektrochemischen Analysen dokumentieren (Tab. 4), dass in den Niveaus der Bohrung mit Vorkommen von Polymeren Pyrit nicht nur mit den grundlegenden polymetallischen Elementen Pb, Zn und Cu, sondern auch mit Ti, Co, Ni, Mn sowie As und wie aus den Angaben in Tab. 4 ersichtlich ist, auch mit Au angereichert ist. Aus den in Tab. 4 angeführten Werten geht hervor, dass der Pyritisationsprozess zwar auch in tiefere Niveaus fortsetzte, doch in einer Teufe von 654 m erhöhen sich die Gehalte der angeführten Elemente im Pyrit nicht weiter. Dies korrespondiert gut mit den Angaben im Profil der Bohrung auf Abb. 3. Hieraus ist klar, dass trotz eines relativ gut separierten Pyrits (der unlösliche Rückstand liegt in einer Spanne von 0,61–3,10 Gew. %), sich der Pyrit mit Ausnahme von Co und Ni und zum Teil As, heterogen mit allen angeführten Elementen angereichert hat. Die erhöhten Gehalte dieser Elemente bezeugen, dass die polymetallische Vererzung in Zlatá

Baña ökonomisch aussichtsreich ist. Dies bezeugen auch die erhöhten Au-Gehalte im Pyrit aus den Niveaus der Bohrung ZH-17 mit Vorkommen von Polymetallen. Auf Abb. 4 ist eine deutliche positive Korrelation zwischen Gold und Arsen sichtbar, die sich dem Wert 1 nähert.

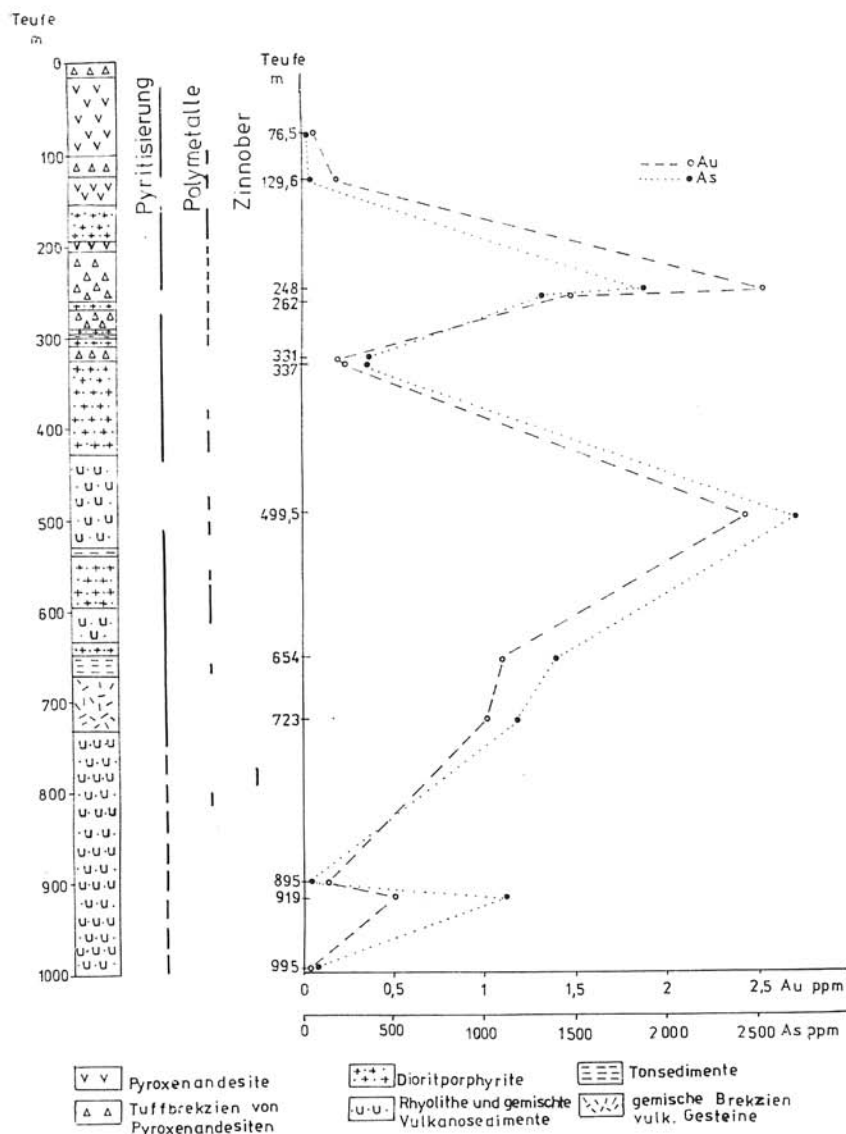


Abb. 4. Geologisches Profil der Bohrung ZH-17 (Zlatá Baňa) mit graphischer Darstellung der Au- und As-Gehalte im Pyrit.

Tabelle 4

Gehalte der Mikroelemente inbegriffen Gold in Pyrit (ppm) aus der Bohrung ZH-17
(Zlatá Baňa in dem Gebirge Slánske vrchy)

Probe Nr.	Teufe m	Mn	Pb	Cu	Ti	Ni	Co	As	Zn	Ag	Au	unlös- l. Rückst.
1	49,0	204	309	1170	3020	43	390	1200	525	32		
2	76,5	20	<100	49	1020	<10	129	0	<300	<10	0,04	1,79
3	129,6	138	178	112	2000	51	174	0	<300	<10	0,15	1,85
4	230,0	14	6500	76	1350	32	54	0	1350	28		
5	239,0	<10	980	<10	1550	28	117	0	<300	<10		
6	248,0	102	6800	56	3160	0	30	1860	3160	43	2,53	2,13
7	262,0	33	1170	30	3160	66	135	1320	560	<10	1,44	2,04
8 a	331,0	<10	251	115	1660	68	480	<1000	<300	<10		
8 b	331,0	17	269	214	2190	68	550	<1000	<300	<10	0,17	1,73
9	337,0	41	5750	21	2340	60	120	<1000	2750	<10	0,23	1,35
10	355,0	26	7100	174	1660	32	123	<1000	4200	11		
11	383,3	450	251	<10	3500	35	302	0	<300	<10		
12	426,0	<10	6800	870	510	0	<30	1740	2190	17		
13	451,0	15	1480	870	780	71	34	0	1040	16		
14	499,5	<10	4100	49	2000	101	<30	2750	≈300	10	2,40	1,62
15	532,0	320	4400	17	740	60	56	0	1350	<10		
16	573,0	91	2450	56	2140	104	200	0	620	<10		
17	636,0	355	3600	710	4000	50	295	<1000	350	11		
18	654,0	<10	282	269	65	71	<30	1410	<300	<10	1,07	0,34
19 a	723,0	0	<100	<10	930	<10	<30	1200	<300	<10		
19 b	723,0	0	<100	<10	930	<10	<30	1100	<300	<10	1,00	1,29
20	776,0	<10	320	<10	1120	<10	<30	<1000	<300	<10		
21	836,0	<10	<100	145	309	<10	132	0	<300	<10		
22	895,0	0	<100	<10	257	20	79	0	<300	<10	0,12	0,73
23	919,0	<10	<100	178	148	<10	117	1150	<300	<10	0,53	0,88
24	950,0	<10	170	<10	355	<10	340	0	<300	<10		
25	995,0	72	<100	830	370	<10	48	0	<300	<10	0,03	3,00

Erläuterungen: Die Gehalte der Elemente Mo (< 30), Sn (< 30), V (< 100) liegen in allen Proben unter der Bestimmungsgrenze (sind in Klammern hinter dem Symbol des Elements angeführt). Sb liegt zumeist unter der Bestimmungsgrenze < 300 mit Ausnahme der Proben 1 (510 ppm) und 25 (360 ppm). Auch Bi liegt zumeist unter der Bestimmungsgrenze < 10 ppm mit Ausnahme der Proben 24 (27 ppm) und 25 (33 ppm). Alle Elemente mit Ausnahme von Gold wurden spektrochemisch bestimmt, Analytiker J. Chudý GÜUK. Gold wurde mittels der Atomabsorptions-Spektrometrie mit einer Graphit-küvette in dem Geologischen Erkundungsdienst VEB, Brno bestimmt, Analytiker Ing. E. Stuchlíková. Gold und der unlösliche Rückstand wurden in den meisten Proben zweifach bestimmt, einestils zur Kontrolle der analytischen Werte, andererseits zur indirekten Bestimmung der Auftretensform von Gold in Pyrit und zur Kontrolle der Verunreinigung der monomineralischen Pyritfraktion. Die angeführten Werte sind also der Mittelwert zweier Bestimmungen.

Gold in dem Pyrit

Die Goldgehalte im Pyrit wurden mit der AAS-Methode unter Verwendung einer Graphitküvette bestimmt (GP Brno). Die Resultate der Au-Analysen dokumentieren wir in Tab. 4. Aus ihnen ist sichtbar, dass die Spanne der Goldkonzentrationen von 0,03 bis 2,65 ppm reicht.

Die Goldgehalte in den Pyriten hydrothermalen Ursprungs aus der Region der Westkarpaten sind nach Campbell et al. (1980) folgende:

Der Durchschnittsgehalt von Au in Pyrit hydrothermal-subvulkanischen Ursprungs beträgt 0,13 ppm (3 Analysen) und in Pyriten hydrothermal-plutogenen Ursprungs 0,29 ppm (28 Analysen).

Die Thermospannung des Pyrits

Die Thermospannung des Pyrits von der Lokalität Zlatá Baňa haben wir in der Bohrung ZH-17 nicht studiert, da die Körner keine genügende Grösse zur Messung der physikalischen Eigenschaften des Pyrits besaßen. Wir untersuchten jedoch Pyrit von dieser Lokalität in der Bohrung KSV-15 die von Rybár—Duďa (1980) studiert wurde. Die Resultate befinden sich in der Arbeit Durža—Duďa (1981). Die erzielten Resultate können in drei Punkten zusammengefasst werden:

1. Die Messungen der Thermospannung bestätigten die Voraussetzungen über die vertikale Zonalität auf der Lagerstätte Zlatá Baňa. In tiefen Horizonten ist für den Pyrit ein Elektronen-Typ der Leitfähigkeit charakteristisch. Mit einer Verringerung der Teufe nimmt die Bedeutung der Löcher-Leitfähigkeit zu und in den oberen Horizonten dominiert dieser Typ.

2. Die Veränderungen der Werte der Thermospannung, des Produktivitätskoeffizienten, der Mikrohärtigkeit und des Typs der Leitfähigkeit in vertikaler Richtung, sowie für die einzelnen Zonen in der Bohrung KSV-15 zeigen, dass sich die goldsulfidischen Zonen in der jüngeren polymetallischen Formation konzentrieren.

3. Es kann angenommen werden, dass der Wellencharakter der Änderungen der thermoelektrischen Eigenschaften und der Mikrohärtigkeit des Pyrits in vertikaler Richtung durch das pulsierende Durchdringen der Hydrothermen verursacht ist.

Es ist evident, dass sich die goldsulfidischen Zonen nicht nur in der Bohrung ZH-17, sondern auch in der Bohrung KSV-15 in der polymetallischen Formation konzentrieren.

Den gewonnenen geochemischen und elektrophysikalischen Werten nach, kann die Lokalität Zlatá Baňa als aussichtsreiche gold-sulfidische Lagerstätte bezeichnet werden. In tiefen Horizonten der Bohrung ZH-17 mit den reichhaltigsten Vorkommen polymetallischer Elemente weist Au im Pyrit die relativ höchsten Gehalte, die bis zu 2,6 ppm erreichen, auf.

Abschluss

Die gewonnenen Resultate über die geochemische und elektrophysikalische Charakteristik des Pyrits aus beiden untersuchten Bohrungen aus den Gebirgen Kremnické vrchy und Slánske vrchy beweisen, dass Gold in Pyrit vorwiegend an Stellen mit dem Auftreten einer polymetallischen Mineralisation gebunden ist.

Aus den Ergebnissen der Arbeit geht hervor, dass Pyrit nicht nur ein empfindlicher Indikator der Edelmetall-Assoziation von Elementen, vor allem Gold

ist, sondern zugleich auch ein bedeutender Kollektor und Träger dieses Metalls in glodführenden Gesteinsmilieus, wie es die beiden untersuchten Lokalitäten sind. Die Arbeit ist ein Beitrag zur Erkenntnis der Gesetzmässigkeiten der räumlichen Distribution von Gold in hydrothermal alterierten Vulkaniten der Slowakei in vertikaler Richtung.

Übersetzt von L. Osvald

SCHRIFTTUM

- BÖHMER, M., 1965: Paragenesis of Kremnica ore veins. Geol. sbor. XVI, 1, S. 83–93.
- BÖHMER, M., 1966: Ložiskové a paragenetické pomery zlatonosných žíl centrálnej časti kremnického rudného poľa. Acta geol. geogr. Univ. Commen., Geol. (Bratislava), 11, S. 123.
- BÖHMER, M. – HARMAN, M., 1969: Study of some questions of gold-bearing of the ore veins of Kremnica by the method of electron microscopy. Geol. Zbor. Geol. carpath. (Bratislava), 20, 2, S. 333–342.
- BÖHMER, M. et al., 1976: Závěrečná správa za roky 1971–1975 výskumná úloha II-8-4/3. Riešenie základných problémov vyhľadávania, prieskumu a využívania nerastných surovín Západných Karpát – Kremnické vrchy. Manuskript. Geofond Bratislava.
- CAMBEL, B. – STREŠKO, V. – ŠKERENČÁKOVÁ, O., 1980: The contents of gold in pyrites of various genesis. Geol. Zbor. Geol. carpath. (Bratislava), 31, 1–2, S. 139–159.
- ČURLÍK, J. – FORGÁČ, J., 1983: Prejavy sírnokyslého zvetrávania a jeho hĺbkové zmeny vo vulkanických horninách pohoria Vtáčnik. Geol. Práce, Zpr., 79, S. 197–217.
- ĐURŽA, O., 1980: Elektrické vlastnosti rudných minerálov. Závěrečná správa témy č. 3 častkovej úlohy II-4-6/6. Manuskript. GÚ PFUK Bratislava, 115 S.
- ĐURŽA, O., 1981: Elektrické vlastnosti niektorých sulfidických minerálov v závislosti na ich chemizme. Manuskript. Geofond Bratislava, 111 S.
- ĐURŽA, O. – DUĐA, R., 1981: Termoelektrické napätie pyritu z ložiska Zlatá Baňa. Miner. slov., 13, 5, S. 443–449.
- GAJDOŠ, V. – ĐURŽA, O., 1981: Merný elektrický odpor, koeficient usmernenia a diferenciálne termoelektrické napätie niektorých rudných minerálov. Miner. slov., 13, 3, S. 263–268.
- JARKOVSKÝ, J. – FORGÁČ, J. – JANČULA, D., 1981: Titanium in pyrite from hydrothermally metamorphosed volcanic rocks in the Vtáčnik Mts. Geol. Zbor. Geol. carpath. (Bratislava), 32, 5, S. 627–633.
- JARKOVSKÝ, J. – FORGÁČ, J. – STREŠKO, V. – HARMAN, M., 1982: Gold in pyrites from the volcanic complex of the Vtáčnik Mts. Geol. Zbor. Geol. carpath. (Bratislava), 33, 3, S. 331–342.
- JARKOVSKÝ, J. – ĐURŽA, O. – KNĚSL, J. – FORGÁČ, J. – VELKÝ, P. – VLČEKOVÁ, G., 1983: Studium mikroelementov v pyrite z vrtu KV-4 (Kremnické Bane) so zreteľom na Au-Ag. In: Etapová správa úlohy II-4-6/2 za roky 1981–1983. Manuskript. Katedra geochemie a mineralogie PFUK Bratislava, S. 76–99.
- KALICIÁK, M., 1977: Metalogenetické pomery zlatobanského vulkanického aparátu v severnej časti Slánskych vrchov. Manuskript. Archív Geol. ústavu D. Štúra, Bratislava, 114 S.
- KNĚSL, J. – VELKÝ, P., 1982: Projekt geologicko-prieskumných prác. Úloha Kremnica-VP, zmena projektu Z-2. Manuskript. GP Spišská Nová Ves.
- KONEČNÝ, V. – LEXA, J. – PLANDEROVÁ, E., 1983: Stratigrafické členenie neovulkanitov, stredného Slovenska. Západ. Karpaty, Sér. Geol. (Bratislava), 203 S.
- LEXA, J. – RAKUS, M., 1982: Vysvetlivky k listom 36–132 H. Štubňa a 36–134 Kremnica. Manuskript. Geofond Bratislava.
- RYBAR, P. – DUĐA, R., 1980: Geochemická zonálnosť ložiska Zlatá Baňa. Miner. slov. (Bratislava), 12, 3, S. 241–254.

- ЖЕРЕБЦОВ, П. Д. и др., 1978: О возможности оценки зон сульфидной минерализации на золото по электрофизическим свойствам пиритов. Изв. Акад. Наук Каз. ССР, Сер. геол., 3, S. 44—50.
- КОРОБУШКИН, И. М., 1970: О форме нахождения „тонкодисперсного“ золота в пирите, арзенопирите. Докл. Акад. Наук СССР, Сер. Геол. (Москва), 192, 5, S. 1121—1122.
- МИРОНОВ, А. Г., — ЖМОДИК, С. М. — МАКСИМОВА, Е. А., 1981: Экспериментальное исследование сорбции золота пиритами различных термоэлектрических свойств. Геохимия (Москва), 4, S. 553—561.
- ПОПОВА, А. В., 1974: О термоэлектрических свойствах рудных минералов. Вест. Ленингр. Унив., Сер. Геол. Геогр., 6, S. 60—68.
- ПОПОВА, Е. В., 1978: Опыт изучения термоэлектрических свойств пирита, на золото-серебряном месторождении северо-востока СССР. Вест. Ленингр. Унив., Сер. Геогр., 6, S. 84—88.
- ПРОХОРОВ, В. Г. — ПИ, Л. В., 1971: Электрохимические и термоэлектрические свойства пирита как критерий условий минералообразования. В кн.: Минералогия и минералогическая кристаллография. Свердловск, 115 S.

Zur Veröffentlichung empfohlen von M. BÖHMER

Manuskript eingegangen am 16. Juli 1984.