

Verh. Geol. B-A.	Jahrgang 1978	Heft 3	S. 301-309	Wien, Dezember 1979
Proceed. 3 rd ISMIDA (Leoben, Oct. 7-10, 1977)			S. 127-135	Wien, Dezember 1979

Schwefelisotopenuntersuchungen in slowenischen Erzlagerstätten

Von MATIJA DROVENIK, JOŽE DUHOVNIK und JOŽE PEZDIČ*)

Mit 6 Abbildungen

Schlüsselwörter

Slowenien
Schwefelisotopen
Karbon Perm-Trias
Erzlagerstätten
Massenspektrometrie
Karawanken
Magmatismus
Tektonik

Summary

The ore deposits of Slovenia occur mainly in Permo-Carboniferous, Permian and Triassic strata. There are genetically varied types of ore deposits in a relatively small area.

In order to obtain a new parameter for the assessment of the genesis of these ore deposits we have recently investigated the sulfur isotope distribution in certain minerals, resulting in over 200 massspectrometric analyses of sulfide and sulfate sulfur. In spite of the limited number of samples we are of the opinion, that the origin of sulfur for some ore deposits has been clarified. Further analyses are required to cover the entire area.

A uniform sulfur isotope composition has been found in the ore minerals from lead-zinc, antimony, and mercury ore deposits in Permo-Carboniferous beds of the Sava Fold region. Sulfides contain predominantly slightly S^{32} -enriched sulfur, but in the individual ore deposits S^{34} values vary within narrow limits and the mean values are close to composition of meteoric sulfur. Therefore a magmatic origin of sulfur has been suggested for these deposits.

Quite different properties of sulfide sulfur have been found in stratabound uranium and copper ore deposits occurring in the Middle-Permian clastic sediments of Val Gardena facies. In both groups of ore deposits the great majority of the analysed samples is strongly S^{32} -enriched, and the S^{34} -values are arranged in a very broad range. These data favour a biogenic origin of sulfur.

The massspectrometric analyses have further shown a large spread of S^{34} - and S^{32} -enrichment of sulfide in stratabound lead-zinc ore deposits occurring in the Anisian as well as in Ladinian carbonate rocks in the Northern Karawanken. Consequently, the suggestion has been made, that the sulfides contain biogenic sulfur. A comparison of sulfur isotope composition of sulfides from the Mezica, Bleiberg, and Raibl ore deposits occurring in the Middle Triassic carbonate rocks, shows considerable similarities.

Interesting data resulted from the investigation of sulfide sulfur isotope composition in the mercury ore deposit Idrija, connected with Middle Triassic magmatic-tectonic activity. S^{34} - values show a broad spread, and sulfur may be S^{34} - as well as S^{32} - enriched. Two possible explanations have been put forward regarding this heterogeneity. According to the former one sulfur was derived from Permian and Triassic sulfates, according to the latter the sulfur is juvenile, but it had been contaminated and fractionated by changed conditions during ore formation.

*) Adresse der Autoren: Universität Laibach, Aškerčeva Za, Ljubljana.

Einleitung

Die Erzlagerstätten in Slowenien liegen in permokarbonischen, permischen und triassischen Schichten. Die Faktoren der Erzbildung waren nicht überall gleich, daher befinden sich in einem relativ kleinen Bereich genetisch verschiedene Lagerstättentypen.

Mit der Absicht, für die Beurteilung der Genese dieser Lagerstätten einen neuen Parameter zu bekommen, haben wir in den letzten Jahren auch die Schwefelisotopenuntersuchungen angewendet. Die Sulfid- und Sulfatproben wurden unter dem Binokular ausgesucht; in einigen Fällen wurde auch die chemische Trennmethode angewendet. Die massenspektrometrischen Messungen wurden im Institut „Jozef Stefan“ in Ljubljana ausgeführt. Die Werte sind in der üblichen Form als ‰ Abweichungen δS^{34} von Meteorit-Standard, stammend aus Cañon Diablo, dargestellt.

Die Sulfid- und Sulfatminerale aus unseren Lagerstätten wurden gleichzeitig auch durch V. A. GRINENKO, N. M. ZAIRI und T. N. SADLUN (1974), N. A. OZEROVA, V. I. Vinogradov, I. MLAKAR, V. P. FEDORCUK und I. N. TITOV (1973), E. SCHROLL und K. H. WEDEPOHL (1972) sowie durch M. RISTIĆ und C. MARKOV (1971) massenspektrometrisch untersucht.

So verfügen wir heute über ungefähr 200 massenspektrometrische Analysen des Sulfid- und Sulfatschwefels. Die Proben stammen aus 28 Erzlagerstätten und Erzvorkommen. Die Probenzahl ist zwar relativ gering, wir sind aber trotzdem der Meinung, daß die Herkunft des Schwefels für einige Lagerstätten im großen und ganzen bewiesen wurde.

Für die Klärung der Schwefelgenese in anderen Lagerstätten sind noch weitere Analysen erforderlich.

Erzlagerstätten in permokarbonischen Schichten

In der weiteren Umgebung von Ljubljana wurden mehrere Jahrhunderte meso- bis epithermale, diskordante und konkordante Ganglagerstätten untersucht und abgebaut. Alle Gänge waren an die permokarbonischen Schichten der Savefalten gebunden. Auf Grund der Mineralparagenesen wurden diese Ganglagerstätten in fünf Gruppen gegliedert. An Erzmineralen aus einzelnen Gruppen wurden die Schwefelisotopenanalysen vorgenommen (M. DROVENIK et al., 1976).

1. Die erste Gruppe, die vor allem die Lagerstätten Cesnjice und Ponovice umfaßt, ist durch eine sehr einfache Paragenese charakterisiert. Im Erz ist praktisch nur Zinkblende enthalten. In kleinen und sehr kleinen Mengen kommen noch Bleiglanz, Kupferkies, Tetraedrit, Pyrit und Markasit vor. Die Meßwerte variieren zwischen $\delta S^{34} + 3,72\text{‰}$ und $-4,60\text{‰}$ (Abb. 1); das ergibt eine Streubreite von 8,30‰. Der Mittelwert ist $+0,2\text{‰}$.

2. Auch für die zweite Gruppe ist eine einfache Mineralparagenese typisch, in dieser Gruppe ist aber Bleiglanz das dominierende Erzmineral. Außerdem ist noch Schwerspat in größeren Mengen vorhanden, wie dies in den Lagerstätten der ersten Gruppe der Fall war. Messungen an Sulfiden aus Maljek, Zavrtnik, Zagorica und Javor ergaben eine Variationsspanne von $\delta S^{34} -4,36\text{‰}$ und $-10,90\text{‰}$ (Abb. 1), die also rund 6‰ umfaßt, sowie ein Mittelwert von $-7,2\text{‰}$.

3. Die bedeutendsten Erzreserven hatten die Lagerstätten der dritten Gruppe, nämlich Litija, Pleše und Knapovže. Außer Bleiglanz und Zinkblende kamen in ökonomischen Mengen noch Zinnober, Kupferkies und Schwerspat vor. Die Erzgänge von Litija enthielten die meist komplexe Paragenese aller Gänge in Savefalten. Das Erz wurde in vier Phasen gebildet (A. TORNIQVIST, 1929; S. GRAFENAUER, 1963). Neben den genannten Mineralen wurden noch Pyrit, Markasit, Bournonit, Tetraedrit, Tennantit, Metacinnabarit, Realgar und Auripigment festgestellt. In einzelnen Lagerstätten dieser Gruppe variieren die δS^{34} Werte in relativ engen Bereichen, für die ganze Gruppe verläuft aber die Variations-

breite der δS^{34} Werte von $-0,78\%$ bis $-10,42\%$ (Abb. 1) mit einem Mittelwert von $-5,9\%$.

Wenn wir die relativ engen Variationsspannen in Betracht nehmen, sowie auch die Tatsache, daß die δS^{34} Mittelwerte dem Wert $0,0\%$ nahe liegen, welcher dem Meteorit-Standard entspricht, dann ergibt sich, daß es sich in diesen Lagerstätten um magmatogenen Schwefel handelt. Wenn wir weiterhin andere geologische Daten berücksichtigen, so wäre es möglich, die Herkunft des Schwefels und anderer Elemente, die in den Erzen dieser Lagerstätten vorkommen, aus einem Magmaherd abzuleiten, welcher auch unterpermische Keratophyre und Quarzporphyre geliefert hat.

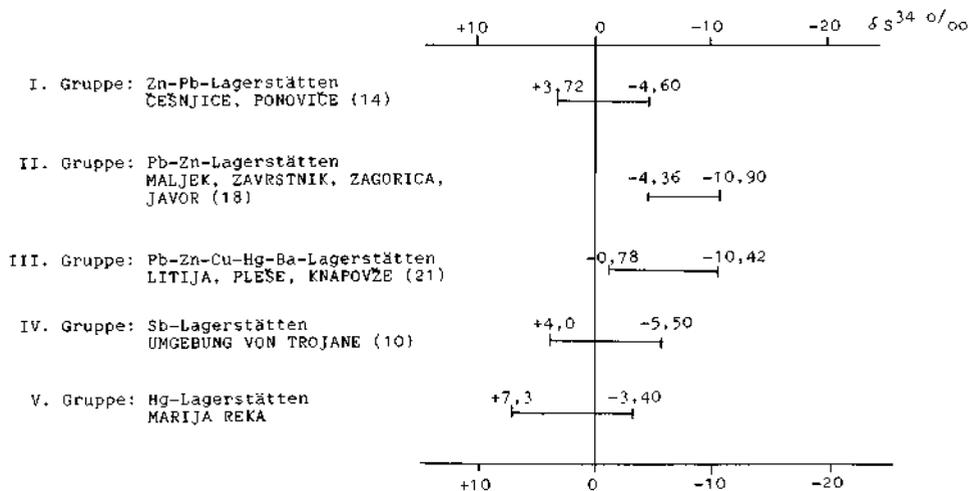


Abb. 1. Schwefelisotopenzusammensetzung in Sulfiden aus den Lagerstätten in permokarbonischen Schichten. In den Klammern dieser und der folgenden Abbildungen ist jeweils die Zahl der analysierten Sulfides angegeben.

Fig. 1: Sulfur isotope composition of sulfides from ore deposits in Permo-Carboniferous beds. The number of analysed sulfides is given with this and following figures in parantheses.

Der Schwefel hatte in den hydrothermalen Lösungen sehr wahrscheinlich jene Isotopenzusammensetzung, die etwa den Daten für die erste Gruppe der Lagerstätten entspricht. Die Anreicherung an dem leichteren Isotop S^{32} , die in den Lagerstätten der zweiten und der dritten Gruppe festgestellt wurde, ist wohl den Gleichgewichtsreaktionen der Schwefelisotopen zwischen H_2S und SO_2 während der Vererzung zuzuschreiben (M. L. JENSEN, 1971): dabei hat sich H_2S mit dem leichteren und SO_2 mit dem schwereren Isotop angereichert. H_2S war bei der Bildung der Sulfide mitbeteiligt, SO_2 oxydierte aber zu SO_4 und die Sulfate, vor allem Schwerspat, kristallisierten. Mit dieser Voraussetzung sind die δS^{34} Werte für Schwerspat im Einklang. Sie variieren nämlich von $+23,16\%$ bis $+17,05\%$ und zeigen einen Mittelwert von $+18,5\%$.

Für die magmatische Herkunft des Schwefels in den genannten Lagerstätten haben wir uns auch deswegen entschieden, weil ihre Isotopenzusammensetzung sehr der Zusammensetzung in jenen Lagerstätten ähnlich ist, die in Jugoslawien als typisch magmatogene hy-

drothermale Lagerstätten angesehen werden. Wie die Abb. 2 zeigt variieren die δS^{34} Werte für den Sulfidschwefel aus der Blei-Zink-Lagerstätte Zletovo von +2,16‰ bis -3,12‰ bis -3,12‰, aus der Blei-Zink-Lagerstätte Staritrč (Trepča) von +3,93‰ bis -4,82‰ (M. DROVENIK et al., 1970), aus der Kupfer-Lagerstätte Majdanpek von +4,83 bis -1,98‰ und aus der Kupfer-Lagerstätte Bor von +0,52‰ bis -10,52‰ (M. DROVENIK et al., 1974-75). Weiter müssen wir noch feststellen, daß die Sulfate aus Bor und aus Litija praktisch dieselbe Variationsspanne der δS^{34} Werte zeigen; der Mittelwert ist in beiden Fällen +18,5‰.

4. Die vierte Gruppe umfaßt konkordante Antimonlagerstätten in der Umgebung von Trojane. Neben Antimonglanz kommen in kleineren Mengen auch Pyrit, Arsenkies, Lin-

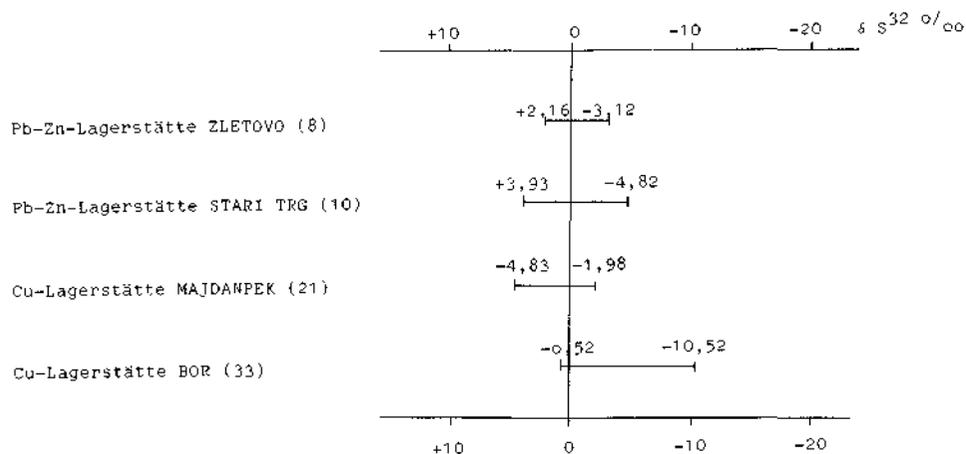


Abb. 2: Die Schwefelisotopenzusammensetzung in Sulfiden aus einigen typischen magmatisch hydrothermalen Lagerstätten Jugoslawiens.

Fig. 2: Sulfur isotope composition of sulfides from some typical magmatic hydrothermal ore deposits in Yugoslavia.

neit, Bravoit, Pyrrhotin, Bleiglanz, Berthierit und Kupferkies vor (K. HINTERLECHNER, 1918; S. GRAFENAUER, 1964). Die Variationsbreite der δS^{34} Werte verläuft von +4,0‰ bis -5,50‰, was insgesamt 9,5‰ ergibt (Abb. 1); der Mittelwert liegt bei -2,8‰. Die Isotopenzusammensetzung des Sulfidschwefels unterscheidet sich also von der Zusammensetzung in Sulfiden der Blei-Zink-Ganglagerstätten in den Savefalten nicht. Auch hier handelt es sich um magmatogenen Schwefel.

5. Die Resultate für die Quecksilberlagerstätte Marija Reka, die wir in die 5. Gruppe eingliedern, sind hingegen etwas verschieden. Die Sulfidproben ergaben einen Variationsbereich von +7,3‰ bis -3,40‰ und einen Mittelwert um 2,7‰. Der Schwefel zeigt also eine leichte Anreicherung an dem schweren Isotop S^{34} . Das könnte man mit einer Kontamination der hydrothermalen Erzlösungen mit dem S^{34} erklären.

Erzlagerstätten in permischen Schichten

Die Uran- und Kupferlagerstätten befinden sich fast ausschließlich in den mittelpermischen Klastiten und treten vor allem westlich von Ljubljana auf. In den oberpermischen Karbonatgesteinen liegen die Blei-Zink-Vererzungen.

Die mittelpermischen Grödenen Schichten sind vorwiegend durch Sandsteine, Aleuolith und Tonschiefer vertreten. Im Žirovski vrh erreicht ihre Gesamtmächtigkeit 600 m (E. LUKACS, A. P. FLORJANČIĆ, 1974). Im unteren Teil des Schichtprofils dominieren graue Klastite, im oberen hingegen die roten. Der erzführende Horizont beträgt 30 bis 60 m und liegt ungefähr in der Mitte des unteren Teiles. Vererzt sind vor allem die mittel- und grobkörnigen Sandsteine, die etwas Anthrazit führen. Das Uranpecherz ist vorwiegend mit Pyrit, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies und Arsenkies vergesellschaftet (D. RADUSINOVIĆ, 1967). Die Erzminerale treten im Bindemittel der Sandsteine auf, wo sie Imprägnationen in Größen von der Grenze der Auflösbarkeit im Mikroskop bis zu einigen mm zeigen. Hier und da wurden Pseudomorphosen von Uranpecherz oder von Sulfiden nach Pflanzenresten beobachtet. Die Geologen, die sich mit Žirovski vrh beschäftigen, vertreten die Meinung, daß die Vererzung während der Diagenese stattgefunden hat (V. OMALJEV, 1967; R. KOVAČEVIĆ, 1968; M. RISTIĆ, C. MARKOV, 1971; E. LUKACS, A. P. FLORJANČIĆ, 1974). Die Frage von wo und wann Uran, Kupfer, Blei und Zink gekommen sind, bleibt noch immer offen. Die Messungen (M. RISTIĆ, C. MARKOV, 1971; M. DROVENIK et. al., 1976) haben die δS^{34} Werte von +2,52% bis -36,8% ergeben (Abb. 3) und einem Mittelwert, der bei -21,2% liegt.

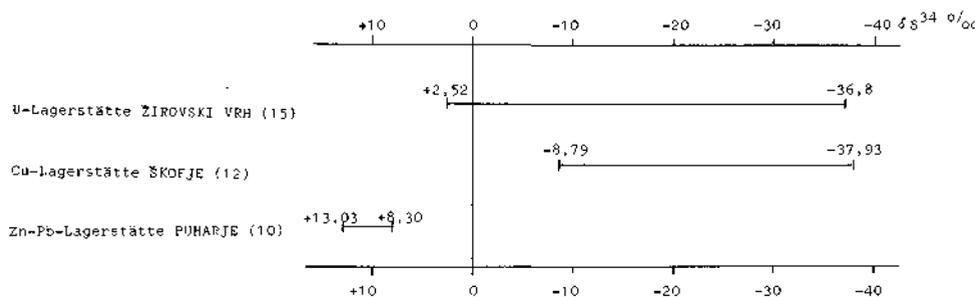


Abb. 3: Die Schwefelisotopenzusammensetzung in Sulfiden aus den Lagerstätten in permischen Schichten.

Fig. 3: Sulfur isotope composition of sulfides from ore deposits in Permian bdds.

Im oberen Teil des Schichtprofils, im Bereich der roten Schichten, liegt die Kupfererzlagerstätte Škofje. Aber auch hier sind die linsen- und schichtartigen Erzkörper an die grauen klastischen Sedimentgesteine gebunden. Die wichtigsten Komponenten sind Buntkupfererz und Kupferkies. Außerdem sind noch einige, für "red beds" Kupferlagerstätten typische Sulfide anwesend (M. DROVENIK, 1970). Die δS^{34} Werte variieren zwischen -8,79% und -37,93% (Abb. 3). Sie zeigen also eine Streuung von ungefähr 30% und einen Mittelwert bei -19,4% (M. DROVENIK et. al., 1970).

Die Schwefelisotopenverhältnisse in den Sulfiden der Uranlagerstätte Žirovski vrh, sowie der Kupferlagerstätte Škofje sind sehr ähnlich. Die große Variationsbreite der δS^{34} und die Bevorzugung des leichteren Schwefels spricht für bakterielle Prozesse bei der Sulfidbildung. Diese Schwefelisotopenzusammensetzungen unterscheiden sich nicht von der Zusammensetzung, die für die Uran- und Kupferlagerstätten vom Colorado Plateau (M. L. JENSEN, 1958, 1967), sowie für die sowjetischen Kupferlagerstätten in Sandsteinen, (Krasnoe, Burpala, Udokan - J. u. V. Bogdanov, M. N. Golubčina, 1969 und Džezkazgan - F. V. Čuh-

rov, 1969) festgestellt wurden. In allen diesen Lagerstätten sollte bei der Sulfidfällung der biogene Schwefel beteiligt sein.

In den oberpermischen Schichten liegt die Zink und Bleilagerstätte Puharje, welche schon E. DLAR (1929) beschrieben hat. Kleine unregelmäßig gestaltete Erzkörper befinden sich ausschließlich im Dolomit. Die Paragenese ist sehr einfach und das Erz zeigt vorwiegend epigenetische Texturen. Im eigenen Teil der Lagerstätte wurden jedoch auch solche Texturen gefunden, die vermutlich auf eine frühzeitige Bildung der Sulfide deuten. Die Variationsbreite der δS^{34} Werte verläuft von +13,03‰ bis +8,30‰ (Abb. 3), und der Mittelwert liegt bei +10‰. Der Schwefel der Zinkblende und des Bleiglanzes von Puharja ist von allen untersuchten Sulfidproben der slowenischen Erzlagerstätten am reichsten an S^{34} . Diese Resultate sind schwer einwandfrei zu interpretieren. Man könnte jedoch eine Entstehung des Schwefels durch mehrfache bakterielle Reduktion von Sulfat bei begrenztem Sulfatvorrat voraussetzen. Nach Literaturangaben haben einige Blei-Zink-Lagerstätten im Mississippi Valley (M. L. JENSEN, G. DESAU, 1967), sowie in Oberschlesien (K. von GEHLEN, H. NIELSEN, 1969) ähnliche Schwefelisotopenzusammensetzung.

Erzlagerstätten in triassischen Schichten

Die bedeutendsten Blei-Zink-Lagerstätten Sloweniens liegen in den triassischen Schichten. Sie sind sowohl an die skythischen als auch an die anisischen und vor allem an die ladinischen Karbonatgesteine gebunden. Sie zeigen viele Ähnlichkeiten und sind als schichtgebundene Bildungen anzusehen.

Die unterskythischen Dolomite sind im östlichen Teil der Savefalten auf einer Länge von ungefähr 30 km vererzt. Typischer Vertreter dieser Gruppe ist die Lagerstätte Bohor, deren Erz von den primären Mineralen fast nur Zinkblende und Bleiglanz führt. Die Sulfidmeßwerte schwanken in ihren δS^{34} Werten nur von +5,88‰ bis +3,87‰ (Abb. 4) und der Mittelwert ist +5‰. Diese Resultate sind denjenigen aus Puharje ähnlich, jedoch ist keine eindeutige Feststellung der Schwefelherkunft möglich.

Im mittleren Teil der anisischen Schichten liegt in den Karawanken die Zink-Blei-Lagerstätte Topla. Die bisherigen Untersuchungen ergaben (A. ZORC, 1955; I. ŠTRUCL, 1974) daß sich das Erz in Dolomiten während der Diagenese gebildet hat. Die Paragenese ist einfach;

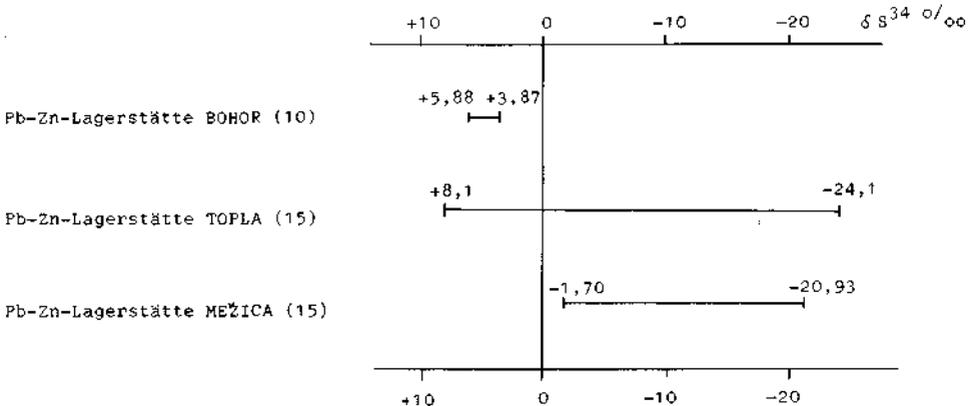


Abb. 4: Die Schwefelisotopenzusammensetzung in Sulfiden aus den Lagerstätten in triassischen Schichten.

Fig. 4: Sulfur isotope composition of sulfides from ore deposits in Triassic beds.

Texturen und Strukturen sind sedimentär. Die δS^{34} Werte des Sulfidschwefels erstrecken sich über einen Bereich von +8,1‰ bis -24,1‰ (V. A. GRINENKO et al., 1974; M. DROVENIK et al., 1970). Die Streuung beträgt sogar 32‰ (Abb. 4) und der Mittelwert erreicht -15,6‰. Diese Angaben sprechen für bakterielle Prozesse während der Erzbildung.

Die Blei-Zinklagerstätte Mežica liegt in den ladinischen Schichten; in einem Bereich von fast 30 km² sind hier in den Wettersteinkalken und Dolomiten viele Erzkörper vorhanden. Sie können in zwei Gruppen eingeteilt werden u. zw.: in konkordante und diskordante Erzkörper. Sowohl in den diskordanten als auch in den konkordanten Vererzungen dominieren die metasomatischen Texturen, in den konkordanten Erzkörpern sind aber oft auch sedimentäre Texturen zu sehen. Die Genese dieser Lagerstätte ist noch immer umstritten.

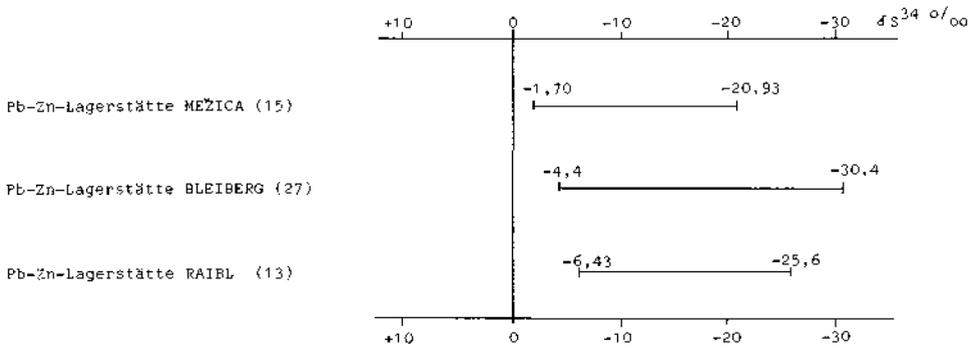


Abb. 5: Die Schwefelisotopenzusammensetzung in Sulfiden aus den Pb-Zn Lagerstätten Mežica, Bleiberg und Raibl.

Fig. 5: Sulfur isotope composition of sulfides from Pb-Zn ore deposits Mežica, Bleiberg and Raibl.

Die Schwefelisotopenuntersuchungen haben jedenfalls gezeigt, daß die δS^{34} Werte zwischen -1,70‰ und -20,93‰ variieren (M. DROVENIK et al., 1970; E. SCHROLL und K. H. WEDEPOHL, 1972) und einen Mittelwert von -10‰ haben. Wenn wir bei der Annahme bleiben, daß eine große Variationsbreite und die Anreicherung mit S^{32} die Beweise für biogenen Schwefel sind, dann müssen wir bakterielle Prozesse bei der Sulfidbildung in Betracht ziehen.

Im Zusammenhang mit der Schwefelisotopenzusammensetzung der Sulfide aus Mežica, ist es interessant, die entsprechenden Ergebnisse für die Blei-Zink-Lagerstätten Bleiberg und Raibl zu betrachten, die gleichfalls in den ladinischen Schichten vorkommen. Die δS^{34} Werte für die Sulfide aus Bleiberg variieren (Abb. 5) zwischen -4,4‰ und -30,4‰ (E. SCHROLL, K. H. WEDEPOHL, 1972; V. A. GRINENKO et al. 1974). Die Variationsbreite ist also größer als in Mežica und erreicht 26‰, der Mittelwert liegt hingegen bei -19,7‰. E. SCHROLL und K. H. WEDEPOHL, als auch V. A. GRINENKO und seine Mitarbeiter bevorzugen die bakteriellen Prozesse der Sulfidfällung. Nach E. SCHROLL und K. H. WEDEPOHL (1972) fallen die Sulfatschwefel in den Bereich der Schwefelisotopenzusammensetzung des mesozoischen (postkythischen) Meerwassers.

Aus der Blei-Zink-Lagerstätte Raibl wurden diejenigen Sulfidproben analysiert, die uns der Herr Prof. OMENETTO gesandt hat. Die Meßwerte erstrecken sich über einen Bereich von -6,43‰ bis -25,60‰ (Abb. 5) mit dem Mittelwert von -17,5‰.

Ein Vergleich der Schwefelisotopenzusammensetzung in den Sulfiden aus Mežica, Bleiberg und Raibl zeigt große Ähnlichkeit. Die Ergebnisse der Schwefelisotopenanalysen könnten als ein weiterer Hinweis auf ein triassisches Alter der drei größten ostalpinen Blei-Zink-Lagerstätten angesehen werden.

Abschließend die Ergebnisse für die Quecksilberlagerstätte Idrija: Es gibt immer neue Beweise, daß diese Lagerstätte in Verbindung mit der mitteltriassischen magmatisch-tektonischen Aktivität steht. Die mineralogischen und die geochemischen Paragenesen sind

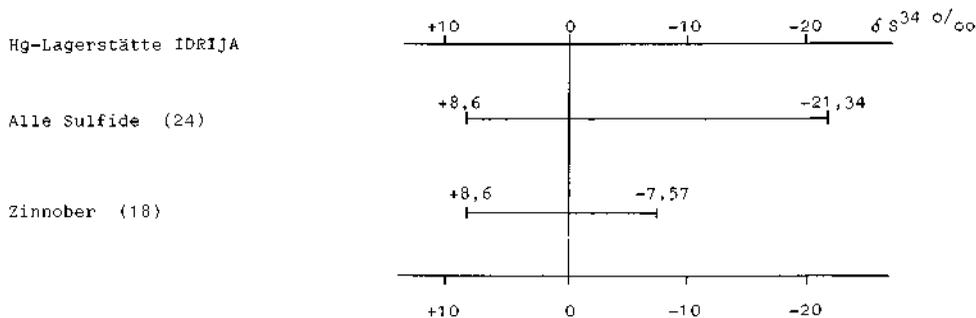


Abb. 6: Die Schwefelisotopenzusammensetzung in Sulfiden aus Quecksilberlagerstätte Idrija.

Fig. 6: Sulfur isotope composition of sulfides from mercury ore deposit Idrija.

äußerst einfach: als Erzmineral ist praktisch nur Zinnober und als Metall nur das Quecksilber vorhanden. Trotzdem ist aber die Isotopenzusammensetzung des Sulfidschwefels relativ heterogen. Die Messungen ergaben für alle Sulfide eine Variationsspanne der δS^{34} Werte von +8,6‰ bis -21,34‰ (Abb. 6), sowie einen Mittelwert von -3,75‰. Für Zinnober variieren jedoch die δS^{34} Werte von +8,6‰ bis -7,75‰ (Abb. 6) mit einem Mittelwert um -0,9‰ (N. A. OZEROVA et. al., 1973; M. DROVENIK et. al., 1976). Bis jetzt gibt es für die Schwefelgenese zwei Vermutungen: Nach der ersten soll der Schwefel aus den permischen und triassischen Sulfaten stammen. Nach der zweiten sollte der Schwefel wohl juvenil sein, erlitt aber eine Kontamination und Fraktionation, die durch wechselnde Bedingungen während der Erzbildung verursacht wurden.

Literatur

- BOGDANOV, JU., Golubčina, M. N.: Izotopnyj sostav sulfidnoj sery stratificirovannyh mestoroždenij medi Olekmo-vitimskoj gornoj strany. – Geologija rudnyh mestoroždenij, Moskva 1969.
- CLAR, E.: Ein Beitrag zur Kenntnis der Blei-Zinklagerstätte von Schönstein (Šoštanj) bei Cilli (Celje), Jugoslawien. – Akad. der Wiss., Sitzungsber., Abt. I., Bd. 138, Heft 1–10, Wien 1929.
- Čuhrov, F. V.: Ob izotopnom sostave sery i voprosah genezisa rud Džezkazgana i Udokana. – Geologija rudnyh mestoroždenij, Moskva 1969.
- DROVENIK, M.: Origin of the copper ore deposit Škofje. – 1th colloquium on geology of Dinaric Alps, Vol. 2. Ljubljana 1970.
- DROVENIK, M., LESKOVŠEK, H., PEZDIČ, J., ŠTRUCL, I.: Sulfur isotope composition in sulfides of some Yugoslav ore deposits. – Mining and Metallurgy Quarterly, Ljubljana 1970.
- DROVENIK, M., LESKOVŠEK H., PEZDIČ, J.: The sulfur isotope composition in ore deposits of the Timok eruptive area. – Mining and Metallurgy Quarterly, Ljubljana 1974–75.
- DROVENIK, M., DUHOVNIK, J., PEZDIC, J.: The sulfur isotope composition of sulfides from ore deposits in Slovenia. – Mining and Metallurgy Quarterly, Ljubljana 1976.

- GEHLEN, v. K., NIELSEN, H.: Schwefel Isotope aus Blei-Zink-Erzen von Oberschlesien. – Mineralium Deposita 4, Berlin 1969.
- GRAFENAUER, S.: Mineral parageneses of Litija and other polymetallic occurrences of the Sava Folds. Mining and Metallurgy Quarterly, Ljubljana 1963.
- GRAFENAUER, S.: The stibnite occurrences of Slovenia. – Mining and Metallurgy Quarterly, Ljubljana 1964.
- GRINENKO, V. A., Zairi, N. M., ŠADLUN, T. N.: Poligennaja priroda globuljarnyh sulfidov v strati-formnyh mestoroždenijah. – Geologija rudnyh mestoroždenij, Moskva 1974.
- HINTERLECHNER, K.: Über die alpinen Antimonvorkommen. – Jb. Geol. R.-A. 67 (1917), Wien 1918.
- JENSEN, M. L.: Sulfur isotopes and the origin of sandstonetype uranium deposits. – Economic Geology 53, Lancaster 1958.
- JENSEN, M. L.: Sulfur isotopes and mineral genesis. – Aus "Geochemistry of hydrothermal ore deposits", New York 1967.
- JENSEN, M. L., DESSAU, G.: The bearing of sulfur isotopes on the origin of Mississippi Valley type deposits. – Economic Geology, Monogr. 3., Lancaster 1967.
- JENSEN, M. L.: Provenance of cordilleran intrusives and associated metals. Economic Geology 66, Lancaster 1971.
- KOVAČEVIĆ, R.: Über die Uranerzvorkommen in Vorgebirge der Julianischen Alpen. – Freiburger Forschungshefte, C. 231, Leipzig 1968.
- LUKACS, E. FLORJANČIČ, A. P.: Uranium ore deposits in the permian sediments of northwest Yugoslavia. – Proc. of a symposium "Formation of uranium ore deposits", Wien: International Atomic Energy Agency, 1974.
- OMALJEV, V.: Razvoj gredenskih slojeva i uranove mineralizacije u ležištu Žirovski vrh. – Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i spitivanja nuklearnih i drugih mineralnih surovina, Beograd 1967.
- OZEROVA, N. A., VINOGRADOV, V. I., MLAKAR, I., FEDORČUK, V. P. TITOV, I. N.: Izotopnyj sostav sery v rudah nekotoryh mestoroždenij zapadnoj časti sredizemnomorskogo rtutnogo pojasa: „Očerki geohimii otdel'nyh elementov“, Moskva 1973.
- RADUSINOVIC, D.: Mineraloški sastav i geneza uranskog ležišta Žirovski vrh, Slovenija. – Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih surovina, Beograd 1967.
- RISTIC, M., MARKOV, C.: Mineraloško-geohemijske odlike, sredina taloženja, indikatori orudnjenja i način postanka ležišta urana Žirovski vrh u SR Sloveniji. – Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja nuklearnih i drugih mineralnih surovina. Beograd 1971.
- SCHROLL, E. & WEDEPOHL, K. H.: Schwefelisotopenuntersuchungen an einigen Sulfid- und Sulfatmineralien der Blei-Zink-Erzlagerstätte Bleiberg/Kreuth, Kärnten. – Tschermarks Min. Petr. Mitt. 3. F. 17., Wien 1972.
- ŠTRUCL, I.: Die Entstehungsbedingungen der Karbonatgesteine und Blei-Zinkvererzung in den Anis-schichten von Topla. Geologija: Razprave in Porocila 17, Ljubljana 1974.
- TORNQUIST, A.: Die Blei-Zinklagerstätte der Savefalten vom Typus Litija.-Berg- und Hüttenmännisches Jb. 77, Wien 1929.
- ZORC, A., 1955. Mining geological features of the Mežica ore deposit. – Geologija. Razprave in Porocila 3, Ljubljana 1955.