

MIROSLAV HARMAN*

UNTERSUCHUNG VON PYRIT MIT DEN METHODEN DER ELEKTRONENMIKROSKOPIE

(Taf. IV—V)

Z u s a m m e n f a s s u n g: Anknüpfend an die ausführlichen Arbeiten B. C a m b e l l's (1965) über die Geochemie der Pyrite wurden die Möglichkeiten einer Anwendung der Methoden der Elektronenmikroskopie bei der Untersuchung der Erzmineralien, hauptsächlich des Pyrit, studiert. Die Arbeit war darauf eingestellt neue Erkenntnisse zu ermitteln, besonders in bezug auf die Morphologie der Ultramikrostruktur und daraus hervorgehende Erkenntnisse über die Kristallinität — den Kristallisationprozess des untersuchten Minerals. Vf. befaßte sich mit den Fragen, die bei der Verfolgung der Homogenität des Kristalls auftreten und widmete seine Aufmerksamkeit dem Vorkommen der Einschlüsse in den Pyrit-Monokristallen, wodurch es ermöglicht wurde Angaben über die Stellung der Mikroelemente im Pyrit zu erhalten. Ferner wird in der Arbeit die Frage der Abhängigkeit der texturell-strukturellen Eigenschaften von der verschiedenen Genese des Minerals erhörtert.

Aus der uns zugänglichen Fachliteratur sind einige Arbeiten bekannt, die sich vereinzelt mit der Möglichkeit einer Anwendung der Methoden der Elektronenmikroskopie bei der Untersuchung der Erzmineralien befaßten. In dieser Hinsicht sind hauptsächlich folgende Autoren nennenswert: J. A m e s, T. Z. C o t t r e l l, A. M. D. S a m p s o n 1950, F. V. S y r o m j a t n i k o v, A. F. F i l i m o n o v 1953, E. D v o r n i k, M. R o s s 1955, V. Z. I n d e b o m 1957, M. W a t t n a b e 1957, G. S. G r i c a j e n k o, K. E. F r o l o v a 1963 u. a. Ihre Arbeiten gingen gewöhnlich von Analogien bei gründlicher bearbeiteten Fächern der elektronenmikroskopischen Applikation aus, hauptsächlich bei der Untersuchung der Metalle, resp. anderer Minerale und Materialien. Außer vereinzelten Arbeiten (A. P. P e r e l j a j e v 1963, 1965) beschränkten sich fast alle diese Versuche auf die Durchführung der Anwendungsmöglichkeit einer bestimmten, fast jedesmal verschiedenen Methodik bei der Herstellung der Präparate und — weniger häufig — auf eine Demonstration der Möglichkeiten eines weiteren Studiums der auf diese Weise erhaltenen Erscheinungen.

Da es unstreitbar ist, daß solche Erscheinungen, für die eine übliche Forschungsmethodik nicht hinreicht, in einigen Kategorien der Problematik der Erzuntersuchung wertvolle Ergebnisse bringen können, ist es nötig eine Neubewertung der gegenwärtigen Erkenntnisse vorzunehmen und für die weitere Fortsetzung diejenige Arbeitsweise zu wählen, die am meisten Möglichkeiten zur Erreichung praktischer Resultate sichert.

Die gegenwärtige nicht hinreichende Ausnutzung der Elektronenmikroskopie in dieser Richtung läßt sich durch einige Ursachen erklären: Es ist hauptsächlich die bisher geringe Verbreitung der anspruchsvollen Apparaturausrüstung und dann auch der Umstand, daß die Methoden der Elektronenmikroskopie nur einseitig — in bestimmten mineralogischen Disziplinen — wie z. B. die Mineralogie der Tonminerale usw., ausgenutzt werden.

Bei der Elektronenmikroskopie besteht auch die wichtige Notwendigkeit einer Vereinheitlichung der angewandten Methodik bei der Herstellung der Präparate, besonders wenn es sich bei der Untersuchung um das gleiche Objekt handelt, da verschiedene Arbeitsweisen — wie bekannt — in Ultramikrodimensionen bei dem selben Objekt

* Prom. Geol. M. H a r m a n, CSc., Geologisches Laboratorium der Slow. Akad. Wiss., Bratislava, Obrancov mieru 41.

unterschiedliche Ergebnisse liefern können. Schließlich muß man auch bedenken, daß es sich in bestimmten Fällen um eine fast unbekannte Region der Sulfidforschung handelt, die Erscheinungen enthüllt, für welche es oft unmöglich ist Analogien bei den bekannten und eingebürgerten Erscheinungen zu suchen, woraus sich die Schwierigkeit der Deschiffrierung der erhaltenen Ergebnisse ergibt.

Im wesentlichen kann gesagt werden, daß die Untersuchung der Oberfläche eines in Chemikalien schwer löslichen Minerals bei Ausnutzung der gegenwärtigen Ergebnisse der Elektronenmikroskopie (das Reflexions-, resp. Raster-Elektronenmikroskop ist immer noch im Experimentalstadium) mit Hilfe der Oberflächenabdrücke durchgeführt wird. Bei dieser Methode werden gewöhnlich zweistufige Matrizen verwendet und zwar so, daß die zugewandte Seite des getreuen Abdrucks der Mineraloberfläche durch das verwendete Medium (Kollodium, Formvar, Gelatine, Celluloid, Polystyren) mit einem Metall-, resp. Kohle-Schichtchen bedampft wird und dieses Schichtchen dann in einer Dicke von 50–200 Å abgetrennt und in durchgehenden Elektronenstrahlen beobachtet wird. Ein wichtiges Moment, von welchem in erster Linie der Charakter des erhaltenen Bildes abhängig ist, besteht darin, ob der Abdruck von der geschliffenen resp. polierten bzw. der Ätzwirkung ausgestellten Oberfläche des Minerals oder von der natürlichen kristallographischen oder Bruch-Fläche genommen wird. Die Verwendung einer polierten Fläche, sei es an sich allein (F. V. Syromyatnikov, A. F. Filimonov 1953, S. N. Ivanov 1951), oder nach chemischer resp. elektrolytischer Ätzung, hat ziemliche Nachteile in einigen Hinsichten: Schon für die Limitvergrößerung im Lichtmikroskop ist es eine anspruchsvolle Aufgabe eine ideal polierte Anschliff-Fläche zu erhalten; dem mehr im Elektronenmikroskop, welches jeden kleinsten Mangel der Polierung zu recht störend wirkenden Dimensionen multipliziert. Die Polierung selbst, ungeachtet der weiteren Vorbereitung der Oberfläche, verursacht infolge mechanischer Wirkungen die Entstehung der sogen. Beilby'schen Schicht, die je nach der Art des mechanischen Schleifens und Polierens, größtenteils ordnungsgemäß die Struktur der Oberflächenschicht in Dimensionen beeinflußt, die wieder auf die Beobachtungen bei den starken Vergrößerungen im Elektronenmikroskop Einfluß haben können. Eine Reihe von Autoren empfiehlt die Vorbereitung der mechanisch polierten Fläche durch Ätzung. Aufmerksamkeit verdient die Methode A. P. Pereljajev's (1963), der polierte Anschlüsse verwendete, die er struktur-elektrolytisch mit verschiedenen Reagenzien in verschiedenen Zeit-Intervallen am Apparat „Elypovist“ ätzte. Nach den erhaltenen Ergebnissen bestimmte er Kriterien zur Unterscheidung der Ultramikrostruktur bei Pyriten verschiedener Genese.

Die angeführte Methodik wurde von S. M. Ivanov und P. J. Jaros (1965) kritisiert. Die Opponenten weisen besonders auf die Mängel der Strukturätzung bei Pyrit, auf die Entstehung von Elektrolyse-Produkten in Form verschieden zerrißener Oxydhäute und die daraus hervorgehende ungleichmäßige Ätzung, auf die Verschiedenheit der verwendeten Reagenzien usw. hin, was bei der Beobachtung im Lichtmikroskop vernachlässigt werden kann, aber bei den starken Vergrößerungen im Elektronenmikroskop die Beobachtung beeinflussen könnte. Es entsteht hier die Gefahr, daß solche Artefakte bei qualitativ wenig bekannten Erscheinungen irrtümlich als Strukturelemente betrachtet werden könnten. Trotzdem scheint es, daß diese Methode bei sorgfältiger Durcharbeitung auch bei Anwendung der Elektronenmikroskopie gute Ergebnisse liefern könnte, besonders bei der Lösung einiger Spezialprobleme, wie z. B. der zusammenhängende Verlauf der mikrostrukturellen Beobachtungen — von den Untersuchungen im Lichtmikroskop bis zu den nur bei den starken Vergrößerungen im Elektronenmikroskop sichtbaren Ultramikrostrukturen — dann im Bereich der Widerstandsfähigkeitsbestimmung der Körner gegen die einzelnen chemischen Reagenzien und der daraus hervorgehenden Erwägungen über ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften u. a. Für die Auswertung im Lichtmikroskop wurde die Anwendung dieser Methodik bei uns durch G. Kminaková und S. Kipikásová zuverlässig ausgearbeitet. Gegenwärtig beschäftigen sich diese beiden Autorinnen mit den Möglichkeiten einer Applikation derselben bei den Methoden der Elektronenmikroskopie.

Im Zusammenhang damit sei bemerkt, daß in dieser Richtung die Methode der Ätzung durch Ionenbeschuß (Kathodenätzung) interessante Ergebnisse bringen könnte.

Angewandte Methodik und Diskussion der Ergebnisse

In anbetracht der an sich schon ziemlich komplizierten Vorbereitung und Präparation der elektronenmikroskopischen Präparate wählte man eine möglichst einfache Arbeitweise, die wohl die Entstehung von Artefakten fast vollkommen ausschließt. Nach

Verfassers Ansicht eignet sich am besten die Methode der zweistufigen Polystyren-Kohle-, oder Celluloid-Kohle-Abdrücke der natürlichen Bruchflächen der Minerale. Vorteile gibt es dabei mehrere: In erster Linie die einfache Vorbereitung der Minerale, wo nur darauf geachtet werden muß, daß die Bruchfläche nicht durch feine, anhaftende Trümchen verunreinigt wird, was durch Reinigung mit Alkohol, oder schrittweises Abnehmen einiger Abdrücke leicht erreicht wird.

Die abgedrückte Polystyrenmasse, die sich als Material erwies, welches die beste Unterscheidungsfähigkeit aufweist, wird bei 30° schräg mit einem Metallschichtchen bedampft. Man verwendet Platin oder eine Legierung von 60 % Pt — 40 % Pd und festigt durch Aufdampfung von Kohle. Nach Auflösung des Polystyrens in Ethylendichlorid oder Benzol, resp. des Celluloids in Aceton oder Chloroform, wird der Abdruckfilm auf ein untergelegtes Trägernetz fixiert. Diese Methodik ermöglicht bei verschiedenen Typen von Mineralen die Beibehaltung relativ gleicher Präparationsbedingungen, was bei vergleichenden Studien Grundforderung ist. Desgleichen ist eine gute kristallographische Orientierung des zu untersuchenden Minerals möglich, was für die Morphologie der Oberfläche recht große Bedeutung hat. Diese Methode ist auf der Feststellung begründet, daß der Charakter der Bruchfläche nicht nur von den einzelnen Körnern oder Baueinheiten des Minerals — also Blöcken¹ des Strukturgitters — ein Bild gibt, sondern auch die strukturellen Erscheinungen auf der Oberfläche der Blöcke selbst zeigt, die immer eine Funktion der Festigkeitsfaktoren sind, was an der Grenze der Körner mit unterschiedlichen mineralogischen oder anderen qualitativen Werten besonders klar morphologisch zum Ausdruck kommt. Darum kann gesagt werden, daß die Mineralbruchfläche in bezug auf ihr Struktur-Relief in Ultramikrodimensionen nicht hinter der geätzten Anschliff-Fläche zurückbleibt, ja dieselbe im Reichtum der Morphologie übertrifft und die Sicherheit eines natürlichen Ursprungs gewährt, der durch die unterschiedliche Kohärenz der Bauelemente gegeben ist.

Abgesehen davon, daß die Untersuchung bei Anwendung einer solchen Methodik in den Anfangsphasen ist, kann sie doch die weitere Richtung unserer Arbeit bestimmen und den erhaltenen Ergebnissen angemessene Bedeutung geben.

Es zeigte sich die Notwendigkeit systematisch nach Kriterien zu suchen — für die Vereinheitlichung nicht nur der Nomenklatur, sondern auch der Interpretation der Erscheinungen, die durch Applikation der verschiedenen Arbeitsweisen der Elektronenmikroskopie, besonders bei der Untersuchung der Sulfide, auftraten. Darum schenkte Vf. seine Aufmerksamkeit in erster Linie den Pyriten, und zwar aus denjenigen Lagerstätten, die in genetischer Hinsicht gut durchforscht sind und von denen bereits ausführliche geochemische Charakteristiken (B. C a m b e l, J. J a r k o v s k ý 1965), vorliegen.

Ein hervortretender Blockbau ist für alle Pyrit-Typen charakteristisch. Die Struktur der Blöcke, sowohl wie auch ihre Dimensionen, lassen beträchtliche Unterschiede erkennen: Von kleinen Blöcken, die etwas wie Klumpen (Taf. IV, Fig. 1) mit typisch ungeregelter Struktur bilden, bis zu gleichmäßig körniger Struktur, die ebenfalls eine Art Zonen im Inneren des Kristalls bildet. So kann man Strukturfelder mit fast reliefloser Oberflächenabsonderung und nur vereinzelten Subblöcken verschiedener

¹ Der Begriff Blockbau eines Minerals ist schon lange bekannt, doch ist die Interpretation bei den verschiedenen Autoren unterschiedlich — von benachbarten, in mehr oder weniger abweichend orientierter Lage erscheinenden Baueinheiten eines Strukturgitters verschiedener Größen (in Abhängigkeit von den theoretischen Vorstellungen über das Wachstum der Kristalle — V. D. K u z n e c o v 1953 u. a.), über P. R a m d o h r's (1962) Zonen schwächerer Kohärenz, resp. verdeckter Absonderung, bis zu den Blöcken und Subblöcken A. P. Pereljajev's (1963, 1965) u. a.

Formen — von kreisrunden zu länglichen — beobachten, scharf abgegrenzt von den Lagen gleichmäßig körniger Blockstruktur (Taf. IV, Fig. 2). Nicht selten sind auch solche Erscheinungen, wo ein strukturell abweichender, aus kleinen Blöcken ($\frac{1}{2} - 1\mu$) zusammengesetzter Komplex in der gewöhnlichen gleichmäßig körnigen Komposition eingeschlossen ist (Taf. IV, Fig. 3). Bedeutungsvolle Erscheinungen weist die Morphologie der Blöcke auf. Oft sind sie unregelmäßig, ohne Anzeichen einer gesetzmäßigen kristallographischen Begrenzung, besonders bei der im ganzen ungeregelten Struktur des auf Taf. IV, Fig. 1 dargestellten Typus, wo man manchmal eingeschlossene Blöcke globularen Charakters in einer Substanz mit feinkörniger, aus Subblöcken gebildeter — bis dichter, vielleicht glasartiger amorpher Struktur beobachten kann. Dagegen besitzen die Kristalle mit gleichmäßig körniger Blockstruktur Blöcke mit Wachstumsanzeichen vereinzelter Kanten, die an kristallographische Begrenzungen im allgemeinen polygonalen Charakters bei größeren Dimensionen erinnern (Taf. IV, Fig. 4).

Hier ist es augenscheinlich, daß es sich um eine Materie mit wesentlich erhöhter Kristallinität handelt, die entweder eine vollkommene Rekristallisation durchgemacht hat, oder — was wahrscheinlicher ist — aus einer reichen Mutterlauge, vermutlich aus echter Lösung stammt, zum Unterschied vom vorhergehenden Typ, wo wahrscheinlich die unvollkommene Rekristallisation im Übergewicht war.

Ein eigenes Kapitel bilden die Einschlüsse in beiden Kristallisationstypen. Es handelt sich einerseits um gasförmige resp. flüssige Einschlüsse, die gewöhnlich durch einen dunklen, vertieften Hintergrund auf der Oberfläche des Minerals (Taf. V, Fig. 1), manchmal sogar mit Anzeichen eines Reaktions-Saumes, gekennzeichnet sind — andererseits sind es Einschlüsse von unterschiedlichem mineralogischem Charakter wie z. B. auf Taf. IV, Fig. 1 wo eine deutlich stäbchenartige Form dargestellt ist. Das ist bei einem reinen, nur spektrale Beimengungen aufweisenden Mineral ein Zeichen dafür, daß einige spurenhaft, nicht in die isomorphen Reihen des Strukturgitters des Minerals eintretende Komponenten hier als selbständige mineralogische Elemente auftreten, die sehr wahrscheinlich in den ersten Kristallisationsphasen entstanden sind, was eine große Bedeutung für die allgemeine geochemische Auffassung des Kristall-Aufbaues hat. Trotzdem ermöglicht sie die Feststellung der Anwesenheit fremdartiger Minerale in den sogen. „reinen Kristallen“. Es ist bemerkenswert, daß diese Einschlüsse nur in den Mineralen mit niedrigerer Kristallinität häufiger auftreten. Nennenswert sind ferner noch weitere Erscheinungen, wie Dislokationen in Kristallen (Taf. V, Fig. 2) und andere mit dem Verlauf der Kristallisation resp. Rekristallisation zusammenhängende Bildungen, z. B. dentrit- oder rosettenförmige Wachstumsformen der einzelnen Blöcke (Taf. IV, Fig. 4).

Wie aus den elektronenmikroskopischen Aufnahmen ersichtlich ist kann man z. B. in der Lagerstätte Smolník Unterschiede in der Ultramikrostruktur identifizieren, die auf einen uneinheitlichen Kristallisationscharakter bei den verschiedenen Formen des Pyritvorkommens hinweisen: also bei den kleinen kubischen Monokristallen von 2–3 mm Größe in den chloritischen Schiefern, dann in größeren, mehr als 10 mm erreichenden Kristallen und endlich im massiven Pyrit aus dem Sredná-Stollen. Markante Unterschiede kann man bei Pyrit aus Slavošovce feststellen, wo der wenig hervortretende blättrige Charakter der Ultramikrostruktur eine nicht ganz vollkommene Rekristallisation des Minerals im Prozess der Metamorphose anzudeuten scheint (Taf. V, Fig. 3). Zum Unterschied von diesem Typus weisen die Pyritmonokristalle aus den Talklagerstätten (Samo), die in geochemischer Hinsicht durch besonders hohe Co- und Ni-Gehalte gekennzeichnet sind, einen Bau großer, ($5-10\ \mu$), scharf gegeneinander abgegrenzter Blöcke auf, wobei man auf ihrer Oberfläche verschiedene strukturelle

Erscheinungen beobachten kann, wie Rillung und Vorkommen kleinerer Subblöcke (Taf. V, Fig. 4).

Aus dem Studium der Oberfläche der Mineralbruchflächen geht hervor, daß es möglich ist bei starken Vergrößerungen zu einigen quantitativ neuen Erkenntnissen zu gelangen, die im großen und ganzen in folgenden Punkten zusammengefasst werden können: In erster Linie sind es Erkenntnisse über die Uneinheitlichkeit des Kristalls, über seine Heterogenität resp. Homogenität. Im Bereich dieser Dimensionen sieht man, daß es keine idealen Kristalle gibt. Obwohl zu Studienzwecken meist abseparierte kubische Monokristalle von Pyrit verwendet werden, zeigt ihr innerer Bau doch eine gewisse morphologische Variabilität im Bau der Blöcke, d. i. der Baueinheiten des Strukturgitters. Diese Variabilität ist jedoch nicht chaotisch und hat ihre Gesetzmäßigkeit für einen bestimmten Kristalltypus und manchmal sogar auch für die Richtung der Spaltungsfläche. So kann man z. B. in einem kristallographischen Individuum einen allseitig körnigen Bau der Blöcke finden, innerhalb einer gewissen Variabilität verschiedener Zonen polygonalen Charakters auch Zonen dem Ausmaße nach verschiedener Strukturkomplexe, aber es ist nicht möglich in demselben die charakteristischen Merkmale der Kristalle mit reichlicher Zwischenblockausfüllung (Gel-Charakter?) mit vorwiegenden globularen Brockformen zu identifizieren. Obzwar also eine gewisse Variabilität der ultrastrukturellen Erscheinungen auf einer und derselben Lagerstätte existiert, ist sie doch für ein bestimmtes Mineralindividuum typisch und am wahrscheinlichsten die Wiederspiegelung der Genese, also der Kristallisation dieses Minerals. Es ist daher ganz richtig vorauszusetzen, wie es bereits Pereljajev (1963) tat, daß die morphologischen Merkmale der ultramikroskopischen Dimensionen die Wiederspiegelung der physikalischen durch die Entstehungsweise bedingten Eigenschaften des Minerals sind. Hier bieten sich große Möglichkeiten zur Lösung der Genese der Minerale und damit auch der Lagerstätten durch Applikation der Methoden der Elektronenmikroskopie auf die Untersuchung ihrer Strukturen.

Eine andere Frage stellen die geochemischen Aspekte der Beobachtungen dar. Die Uneinheitlichkeit, also der komplizierte Block-Bau des Minerals schließt, wie man beobachten kann, die Existenz von Mikro einschlüssen in Form hervortretend formierter Teilchen nicht aus, woraus — falls die Möglichkeit einer Identifikation dieser Minerale besteht — eine große Perspektive hervorgeht für Studien der Heterogenität resp. Homogenität in der Stellung der Spurenbeimengungen. In dieser Problematik scheint die Methode des Ausglühens vielversprechend zu sein, die von J. D. Beljajeva und G. A. Tučková (1965) auf Grund der Forschungen von S. Gorževská und G. A. Sidorenko (1962) beschrieben wird. Diese Methode beruht auf der elektronenmikroskopischen Beobachtung der Bruchfläche des Minerals vor und nach dem Ausglühen bis zu einem bestimmten Temperaturgrad. Verschiedene Phasen und strukturell abweichende Felder des Minerals reagieren auf diese Temperaturerhöhung durch verschiedene Dehnbarkeit, Rekristallisation, resp. Destruktion, was in der Morphologie der Bauelemente — Blöcke — auffällig hervortritt. Auf diese Weise können auch weitere Informationen beschaffen werden und zwar besonders über den Kristallisationsgrad, den Wert des Kristallisationsbeginns der reagierenden Elemente, über die Möglichkeiten einer Identifikation der Kristallisationskeime, des Momentes der Kantenbildung, der Phasenveränderungen und morphologischen Veränderungen im Prozess der Temperaturerhöhung usw., also alles Erkenntnisse, die zur Lösung der Genese und Kristallisation des zu untersuchenden Minerals beitragen.

Nicht außer acht zu lassen sind auch die Erkenntnisse über weitere Eigenschaften des Mineralbaues, Dislokationen, Spaltungsklüftchen, die Angrenzungsweise der hetero-

ogenen Körner von Blöcken oder Mineralen usw. usw. In Zukunft wird die Lösung des gegenseitigen Verhältnisses und der gegenseitigen Beziehungen zwischen Ultramikro- und Mikrostrukturen und weitere Teilprobleme eine wichtige Frage bedeuten.

Wie man aus dem angeführten ersehen kann, ist die Untersuchung der Erzminerale mit den Methoden der Elektronenmikroskopie eine geeignete, ja notwendige Ergänzung zu den übrigen Forschungsmethoden und man kann sagen, daß einige diskutierte Fragen, denen in der Arbeit besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird, gar nicht anders gelöst werden können. Die Elektronenmikroskopie gelangt also in ein Stadium, wo sie zu einem wichtigen Hilfsmittel wird bei der Behandlung des breiten Fragenkreises der Genese der Erzminerale.

SCHRIFTTUM

Ames J., Cottrell P. L., Sampson A. M. D., 1950: An electron microscope study of crystal surfaces. Trans. Brit. Farad. Soc. 46. — Beljajeva I. D., Tučkova G. A., 1965: Izuchenje strukturnych osobennostej izlomov metamiktnykh mineralov v el. mikroskope. V Sb. Mineral'nije mikrovključenija AN SSSR. — Cambel B., 1959: Hydrotermálne ložiská v Malých Karpatoch, mineralogia a geochemia ich rúd. Acta geol. et geogr. Univ. Com., Geologica 3, Bratislava. — Cambel G., Kupec G., 1965: Petrochemie und Geochemie der metamorphen Hornblendegesteine aus der Kleinkarpatenregion. Náuka o zemi, Geologica 1, Bratislava. — Dvorník E., Ross M., 1955: Application of the electron microscope to mineralogic studies. The Amer. Mineral. 40. — Gorževskaja S. A., Sidorenko G. A., 1962: Fazovyj sostav produktov prokalivaniija mineralov strukturnogo tipa pirochlora i svjaz ich s chumičeskim sostavom. Geočimija 9. — Griejsenko G. S., Frollova K. E., 1963: Ob izučenijrudnych mineralov s pomosjčju elektronnogo mikroskopa. Geol. rud. mestorožd. 5, 1. — Indenbaum V. L., 1957: Dislocations in crystals. Soviet. Physics. Crystallography 3. — Ivanov S. N., Jaros P. J., 1965: O statje A. P. Pereljajeva „Vnutrenneje strojenije zeren piritu različnogo genezisa i metodika issledovanija“. Geol. rud. mestorožd. 7, 2. — Jarkovský J., 1964: Die Verteilung der Spurenlemente in den Pyriten und ihre geochemische Bedeutung beim Studium der Bildungsweise der Lagerstätten der Westkarpaten. Geol. sborn. Slov. akad. vied 15, 1, Bratislava. — Mineral'nyje mikrovključenija, 1965, AN SSSR, Moskva. — Pereljajev A. P., 1963: Vnutrenneje strojenije zeren pira različnogo genesa i metodika issledovanij. Geol. rud. mestorožd. 5, 6.

Pereljajev A. P., 1965: Nekotoryje osobennosti vnutrennogo strojenija zeren pirita gidermačnogo proischoždenija. Symposium Problems of Postmagmatic Ore Deposition 2, Praha. — Pereljajev A. P., 1965: Pismo v redakciju (Po povodu zametki C. N. Ivanova i P. J. Jarosa o statje A. P. Pereljajeva). Geol. rud. mestorožd. 7, 4. — Porneuf A., 1962: Contribution à l'étude de la microstructure du bioxyde de l'uranium. Rapport C. F. A. 2104. — Watanabe M., 1957: Submicroscopic topography of oxidized surface of stibnite and etch surface of sphalerite. J. Phys. Japan 12, 8.

Zur Veröffentlichung empfohlen von B. Cambel.

Tafelerklärung

Tafel IV

Fig. 1. Bruchfläche eines Pyritmonokristalls von 1 cm Größe, aus massivem Pyrit entnommen. Smolník, Stollen Sredná. Mineraltypus mit kleinerer Kristallinität, die globulären Formen der Blöcke sind in einer feinkörnigen Masse eingeschlossen. Deutlicher stäbchenförmiger Einschluß. Zweistufiger Polystyren-Kohle-Abdruck, Vergrößerung 10500x. — Fig. 2. Bruchfläche eines Pyritmonokristalls, etwa von 1,5 mm Größe, aus einem chloritischen Schiefer abgetrennt. Smolník. Grenze zweier strukturell verschiedener Einheiten. Zweistufiger Polystyren-Kohle-Abdruck, Vergrößerung 10500x. — Fig. 3. Bruchfläche eines Pyritmonokristalls etwa von 1 mm Größe, aus einem chloritischen Schiefer, Smolník. Ein Komplex feinkörniger Blöcke ist in der üblichen gleichmäßig feinkörnigen Ultramikrostruktur eingeschlossen. Zweistufiger Polystyren-Kohle-Abdruck, Vergrößerung 7000x. — Fig. 4. Bruchfläche eines Pyritmonokristalls, etwa von 2 mm Größe, aus einem chloritischen Schiefer, Smolník. Gleichmäßig körnige Ultra-

mikrostruktur, bei diesem Kristalltypus gemeinvorkommend. Mineraltypus mit hoher Kristallinität. Anzeichen polygonaler Blockformen. Im unteren Teil Anzeichen rosetten- resp. dendritförmiger Wachstumsformen der Blöcke. Zweistufiger Celluloid-Kohle-Abdruck, Vergrößerung 7000x.

Tafel V

Fig. 1. Bruchfläche von massivem Pyrit aus dem Stollen Sredná, Smolník. Deutlicher gasförmiger oder flüssiger Einschluß mit Reaktionssaum. Zweistufiger Polystyren-Kohle-Abdruck, Vergrößerung 10 500 X. — Fig. 2. Bruchfläche von massivem Pyrit aus dem Stollen Sredná, Smolník. Orientierte Lage der Blöcke. Dislokationen und Klüftchen im Kristall. Zweistufiger Celluloid-Kohle-Abdruck, Vergrößerung 15 900 X. — Fig. 3. Bruchfläche einer kompakten Pyrit-Pyrrhotin-Ausfüllung eines Ganges, dichter Pyrit, Slavošovce. Blättriger Charakter des Blockbaues. Zweistufiger Polystyren-Kohle-Abdruck, Vergrößerung 15 900 X. — Fig. 4. Bruchfläche eines etwa 2 cm großen Pyritmonokristalls aus Talk, Lagerstätte Samo. Große Blöcke mit hervortretenden strukturellen Erscheinungen — Rillung mit Subblockentwicklung. Zweistufiger Polystyren-Kohle-Abdruck, Vergrößerung 23 100 X.

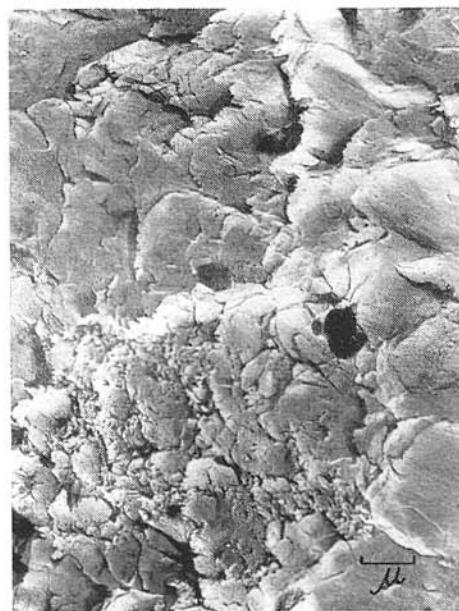
Übersetzt von V. Dlabačová.



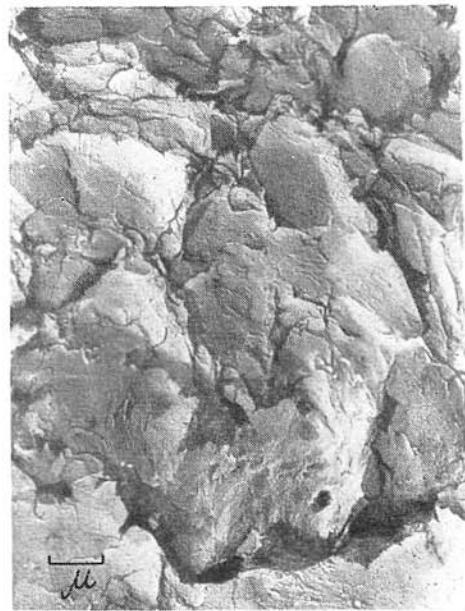
1



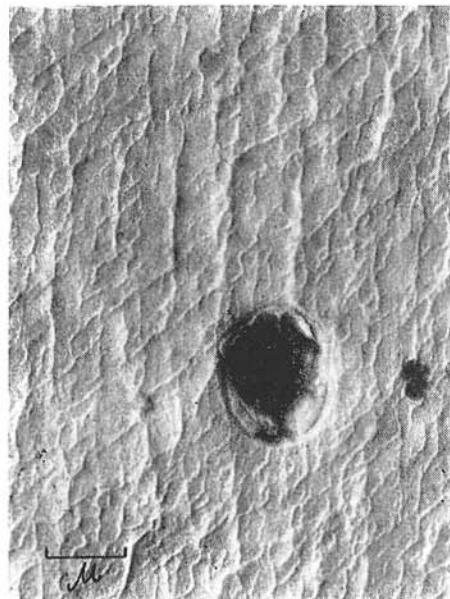
2



3



4



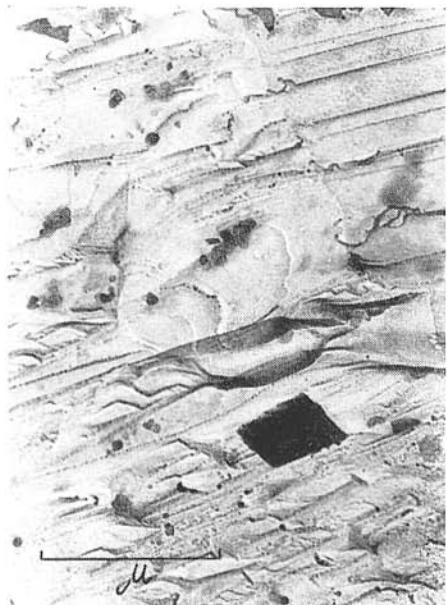
1



2



3



4