

## ZASTOSOWANIE SPEKTRALNEJ MIKROANALIZY ZE WZBUDZENIEM LASEROWYM W BADANIACH GEOLOGICZNYCH

UKD 549.08:543.5.063.06:54+549.905.3+548.4+550.84

Działanie laserów w mikroanalizie spektralnej polega na wykorzystaniu zbieżnej wiązki koherentnego promieniowania emitowanego przez rezonator do odparowania analizowanego obiektu. Metoda ta może być więc stosowana do badania dowolnych substancji, bez względu na ich właściwości elektryczne i pozwala na wykrywanie około 70 pierwiastków. Mikroanaliza laserowa na obecnym etapie rozwoju jest przede wszystkim techniką analizy jakościowej i w niektórych przypadkach ilościowej. Prowadzone są również prace mające na celu zastosowanie jej do oznaczeń ilościowych (7).

Próbki przeznaczone do badań laserowych nie wymagają w zasadzie żadnej wstępnej obróbki, co należy uznać za jedną z istotniejszych zalet omawianej techniki badawczej. Jedynym warunkiem jest, aby analizowane obiekty nie znajdowały się we wklęsłych miejscach próbki. W odniesieniu do próbek o wymiarach powyżej 1 mm można technikę laserową uważać za praktycznie nie niszczącą analizowanego obiektu.

W Polsce najbardziej rozpowszechniony jest aparat typu LMA-1 produkowany przez Zakłady Zeissa w Jenie. Przedstawione niżej uwagi odnoszą się do prac prowadzonych za pomocą tego mikroanalizatora, połączonego ze spektrografem PGS-2 (ryc. 1). Dokładny opis mikroanalizatora LMA-1 znajduje się w monografii H. i L. Moenke (4), toteż ograniczymy się tu jedynie do ogólnego przedstawienia. Podstawowym elementem LMA-1 jest stały, niesterowany rezonator wykonany ze szkła neodymowego. Źródło światła stanowi ksenonowa lampa błyskowa. Lampa i rezonator umieszczone są w dwóch ogniskach elipsoidalnego lustera, dzięki czemu błysk lampy ksenonowej zostaje zogniskowany na rezonatorze. Sprzężony z laserowym rezonatorem mikroskop wyposażony jest w 3 obiektywy: 1. obserwacyjny i 2 strzałowe, z których większy jest obiektywem lustrzanym. Istotną cechą obiektywów strzałowych jest ich długa ogniskowa, dzięki której są one zabezpieczone przed termicznymi wpływami wyładowania. Promieniowanie emitowane przez rezonator zostaje za pomocą układu optycznego mikroskopu zogniskowane na analizowanym obiekcie. Mimo bardzo małej sprawności laserów, stosunek energii wprowadzonej do wypro-

mieniowanej leży w granicach 20 000:1 do 1000:1. Dzięki krótkotrwałości wypromieniowanego błysku rzędu 0,5 do 1 ms i zogniskowaniu promieniowania na małej powierzchni uzyskuje się energię rzędu 1 MW/cm<sup>2</sup>.

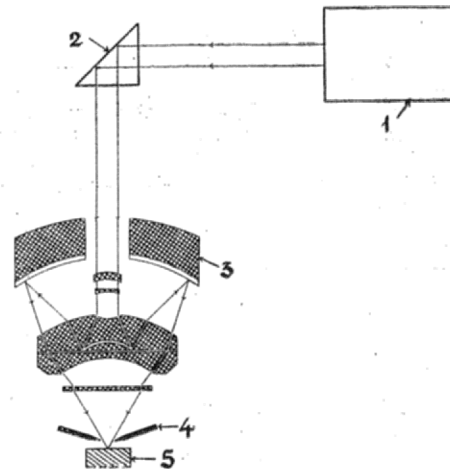
Promieniowanie rezonatora laserowego padające na obiekt podgrzewa go punktowo do temperatury 6000—8000 K. Temperatura ta jest zupełnie wystarczająca do przeprowadzenia każdej substancji w stan par atomowych, ale nie do pełnego pobudzenia par każdego pierwiastka do świecenia. Dlatego około 1 mm nad powierzchnią próbki umieszczone są poziomo 2 pomocnicze elektrody węglowe, do których przyłożone jest wysokie napięcie, niższe o około 0,2 KV od napięcia przebicia w suchym powietrzu. Obłok plazmy wyzwolonej promieniem laserowym zmniejsza napięcie przebicia i wywołuje wyładowanie iskrowe, które z kolei pobudza pary do świecenia. Światło wyemitowane przez pary kieruje się za pomocą kwarcowego kondensatora na szczelinę spektrografu i pod postacią widma rejestruje na kliszy fotograficznej.

W układzie generatora LMA-1 sterowane są:

a) pojemność, indukcyjność i napięcie zasilacza lampy błyskowej;

b) pojemność, indukcyjność i napięcie zasilacza iskry elektrycznej wysokiego napięcia.

W układzie optycznym mikroskopu rozmiary wiązki promieniowania laserowego steruje się powiększeniem obiektywu oraz specjalną blendą optyczną. Wiązka promienia laserowego, padając na badany obiekt powoduje jego wyparowanie. Po wyparowanej substancji pozostaje krater, którego średnica i głębokość mogą się zmieniać w granicach 10—300 μm zależnie od układu optycznego, elektrycznych parametrów zasilacza ksenonowej lampy „pompującej”

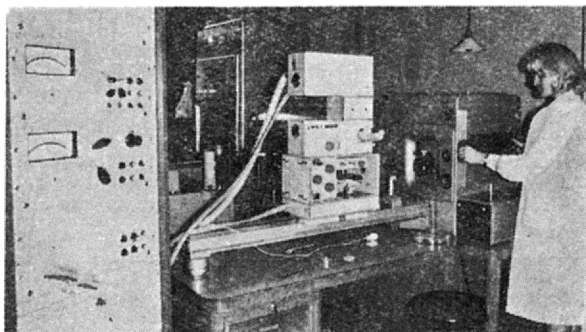


Ryc. 2. Schemat biegu promieni laserowych w aparacie LMA-1.

1 — rezonator neodymowy, 2 — pryzmat kierunkowy, 3 — obiektyw lustrzany, 4 — elektrody pomocnicze, 5 — analizowany obiekt.

Fig. 2. Scheme of the route of laser rays in the apparatus LMA-1.

1 — neodymium resonator, 2 — directional prism, 3 — mirror objective, 4 — auxiliary electrodes, 5 — object analysed.



Ryc. 1. Mikroanalizator laserowy LMA-1 w połączeniu ze spektrografem PGS-2 produkcji C. Zeiss Jena (NRD).

Fig. 1. Laser microanalyzer LMA-1 combined with spectrograph PGS-2 produced by Carl Zeiss Jena (DR Germany).

oraz zdolności absorpcji promieniowania laserowego przez analizowaną substancję. Wymiary krateru i ciężar właściwy badanego minerału determinują masę wyparowanej substancji, która może się zmieniać od  $5 \cdot 10^{-4}$  do  $10 \mu\text{g}$ .

Należy tu podkreślić pierwsze i bardzo istotne ograniczenie w możliwościach stosowania mikroanalizatorów laserowych. Mianowicie, warunkiem koniecznym wyparowania, a pośrednio i pobudzenia substancji, jest zaabsorbowanie przez nią promieniowania emitowanego przez laser. Substancje przenikliwe dla promieniowania laserowego nie ulegają wzbudzeniu lub wzbudzają się tylko w znikomym stopniu. Powstające w nich krateru mają rozmiary od zupełnie niezauważalnych w polu widzenia mikroskopu z powiększeniem 500-krotnym do maksymalnie  $30 \mu\text{m}$ . W widmach tych substancji obserwuje się linie tylko głównych składników. Zabiegiem podwyższającym zdolność absorpcji promieniowania lasera przez analizowaną substancję jest zmatowienie jej powierzchni. Zabieg ten jednak nie zawsze jest skuteczny. Substancje te lepiej wzbudzają się przy stosowaniu rubinowych laserów sterowanej dobroci. W przedstawionej tu pracy posługiwaliśmy się wyłączanie laserem neodymowym, gdyż tylko taki znajduje się w wyposażeniu LMA-1.

Wykrycie głównych składników analizowanych substancji nie jest na ogół problemem, nawet przy niskich energiach wzbudzenia laserowego czy substancjach trudno absorbujących promieniowanie laserowe i dających w efekcie bardzo małe krateru. Natomiast do wykrycia pierwiastków ubocznych i śladowych konieczne jest stosowanie wyższych energii, tak aby powstawały krateru o wymiarach  $50-100 \mu\text{m}$ . Istotnym czynnikiem podwyższającym wykrywalność poszczególnych pierwiastków jest więc zwiększenie masy odparowanej próbki. Napotyka się tu jednak dwa ograniczenia: 1) naturalna wielkość analizowanych mikroobjektów; 2) możliwości energetyczne generatora lasera i układu optycznego. Dalszym czynnikiem wpływającym na wykrywalność jest napięcie na pomocniczych elektrodach, które można zmieniać w zakresie  $2-5 \text{ kV}$  i którego wzrost podwyższa wykrywalność. Pozostałe zmienne parametry mają na ogół mniejszy wpływ na wykrywalność poszczególnych pierwiastków.

Granice wykrywalności poszczególnych pierwiastków podawane przez różnych autorów dla mikroanalizatorów laserowych są bardzo różne (tab. I). Różnice w ocenie granic wykrywalności mogą być spowodowane następującymi przyczynami:

- 1) stosowanie aparatów różnego typu;
- 2) stosowanie różnych układów oświetlających, projektujących obraz wyładowania na szczylnę spektrografu;
- 3) mogą odnosić się do substancji znacznie różniących się zdolnością absorpcji promieniowania laserowego.

Rozbieżności te świadczą, w pewnym stopniu, o dalszych możliwościach podwyższenia granicy wykrywalności wielu pierwiastków tą techniką. W klasycznej analizie spektralnej, stosującej wzbudzenie w łuku elektrycznym, w celu wykrycia pierwiastków w stężeniach  $1-10 \text{ ppm}$ , należy odparować próbkę o masie  $10^{-2}-10^{-3} \text{ g}$ . W mikroanalizie laserowej wykrywa się stężenie  $10-1000 \text{ ppm}$  z próbek o masie  $10^{-3}-10^{-4} \text{ g}$ ; względna wykrywalność jest więc lepsza w tej ostatniej.

W trakcie prowadzonych badań potwierdziły się również nasze wcześniejsze obserwacje o zależności zewnętrznego wyglądu krateru od własności fizycznych minerałów (połysku, twardości, łupliwości, temperatury topnienia). Kształt krateru, wygląd obtopionych krawędzi i ewentualnie dna krateru (jeśli jest ono obserwowane) oraz sieć charakterystycznych spektra otaczających niekiedy krater, a przypominających typowe figury nacisku, są cennym źródłem informacji o analizowanym mineralu.

Powyższe jest zgodne również z wnioskami A. K. Rusanowa (6), który zaobserwował wyraźną zależność między głębokością powstawania kraterów na powierzchni minerałów a ich twardością. Im twardszy jest minerał w skali Mohsa, tym mniejsza głębokość kraterów i co za tym idzie — mniejsza ilość

Tabela I  
GRANICE WYKRYWALNOŚCI NIEKTÓRYCH PIERWIASTKÓW  
(W PPM)

Pierwiastek	Snetsinger i Keill (1967)	Whitehead i Heady (1968)	Neuningger (1969)	Rusanow (1971)	Sohrön (1972)	Idzikowski, Sachambinski (1973)
Ag	10	—	10	10	100	10
Al	200	—	—	500	—	—
As	1000	—	—	—	3000	—
Ba	1000	—	—	—	100	—
Be	12	0,8	10	10	25	10
Ce	1000	—	—	10000	—	5000
Ca	700	24	100	500	65	500
Cr	60	11	100	500	15	—
Ge	1000	—	10	5000	300	100
La	—	—	—	7500	—	—
Mo	1000	21	100	500	1000	100
Sn	480	50	10	3000	1000	1000
Sr	1000	10	100	300000	100	—
Ti	280	20	100	750	—	500
V	830	—	100	750	90	—
Y	—	—	1000	—	—	100
Zr	1000	—	1000	750	1000	—

materiału ulega stopnieniu i wyparowaniu. Ponadto nasze obserwacje wykazały, że głębokość krateru zależy również od tego, pod jakim kątem w stosunku do głównych kierunków krystalograficznych minerału pada promień laserowy. Np. na kryształach berylu głębsze krateru powstają wtedy, gdy promień laserowy pada równoległe do osi Z. Większa głębokość krateru wpływa na lepszą jakość analizy (tab. II).

Jak już podkreślono, mikroanaliza laserowa jest, jak dotychczas, metodą analizy jakościowej, w najlepszym razie półilościowej. Natomiast rozwój tej techniki jako analizy ilościowej napotyka dwie istotne przeszkody. Pierwsza, natury raczej technicznej, to sporządzanie wzorców o jednorodności zagwarantowanej nawet w mikroobszarach. Z badań innych autorów (7) jak i naszych jeszcze nie publikowanych wynika, że zadanie to jest możliwe do rozwiązania. Druga przeszkoda, poważniejsza, związana jest z naturą badanego obiektu. Analizując bowiem kolejno poszczególne ziarna i wtrącenia nie wiemy z góry, z jakimi substancjami mamy do czynienia i jakie wzorce należałoby do nich dobrać. Rozwiązanie tego zagadnienia wydaje się możliwe tylko poprzez zastosowanie takiego rodzaju wzbudzenia laserowego, które dawałoby krateru o możliwie stałych wymiarach, bez względu na rodzaj analizowanej substancji. Zapewniłoby to w pewnym stopniu stałość masy wyparowanej materii. W takim przypadku można by nateżenie linii widmowych poszczególnych pierwiastków porównać z nateżeniami tychże we wzorcach przygotowanych dla dowolnych substancji. Te ostatnie trudności maleją w przypadku badania zmienności składu określonego minerału o znanym składzie podstawowym.

#### PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA MIKROANALIZY LASEROWEJ W NAUKACH GEOLOGICZNYCH

Opracowana około 12 lat temu metoda mikroanalizy laserowej, dla oznaczenia składu chemicznego w mikroobszarach, została najwcześniej wykorzystana w badaniach mineralogicznych. Pierwszą jakościową analizę minerałów z jej zastosowaniem wykonał w 1963 r. Maxwell na przyrzędzie firmy „Jarrell Ash” (3); pierwsze badania w Polsce rozpoczęto w 1972 r. i dotyczyły one mineralizacji kruszcowej lubińskiego złoża miedzi (1). Większość podanych w artykule przykładów dotyczących stosowania powyższej metody w naukach geologicznych zaczerpnięto z badań prowadzonych przez autorów, uzupełniając je niekiedy danymi z literatury. Mikroanaliza laserowa umożliwia m. in. rozwiązanie następujących problemów.

1. Określenie składu chemicznego minerałów (identyfikacja minerałów). Budowa i wyposażenie mikro-

Tabela II

SKŁAD CHEMICZNY MINERALÓW OKREŚLONY ZA POMOCĄ MIKROANALIZY LASEROWEJ (%)

Minerały	Si	Fe	Cr	Mg	Mn	Al	Ca	Ti	Cu	Ag	Y	P	Zn	V	Be	Na	B	Ni	Sr	Pb
Galena z Bogusowa	~1	0,01	—	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,001	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	>10
Apatyt z pegmatytu	10	0,1	—	>1	0,001	0,001	>10	—	0,1	—	0,01	>10	—	—	—	—	—	0,001	0,1	—
Góry Sowie	>10	0,1	—	0,1	0,1	>10	>1	—	0,001	0,01	—	—	—	—	>10	—	—	—	—	—
Beryl II Z	>10	0,1	—	0,1	—	>10	>1	—	—	—	—	—	—	—	>10	—	—	—	—	—
Beryl I Z	>10	0,1	—	0,1	—	>10	>1	—	—	—	—	—	—	—	>10	—	—	—	—	—
Góry Sowie	>10	>10	—	>10	0,1	>10	0,1	0,1	0,001	—	—	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—
Turmalin z pegmatytu	>10	>10	—	>10	0,1	>10	0,1	0,1	0,001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Góry Sowie	>10	0,001	—	0,001	—	0,01	0,1	—	0,001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Skaleń w gnejsie	>10	0,01	—	0,1	—	0,01	0,1	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Góry Sowie	>10	0,01	—	0,1	—	0,01	0,1	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kwarce w gnejsie	>10	0,01	—	0,1	—	0,01	0,1	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Góry Sowie	>10	>1	—	>10	>1	>1	>1	>1	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hornblenda z pegmatytu	>10	>1	—	>10	>1	>1	>1	>1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Góry Sowie	>10	>1	0,1	>10	>1	>1	>1	>1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Biotyty	>10	>1	—	>10	>1	>1	>1	>1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
w gnejsie	>10	>1	—	>10	>1	>1	>1	>1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Góry Sowie	>10	>1	—	>10	>1	>1	>1	>1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Muskowit	>10	>1	—	>10	>1	>1	>1	>1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
w gnejsie	>10	>1	—	>10	>1	>1	>1	>1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Góry Sowie	>10	0,1	—	>10	0,1	>1	>1	>1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ksenotym	>10	0,1	—	>10	0,1	>1	>1	>1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
w szelichu	—	—	—	0,01	—	0,01	0,01	—	—	—	>10	>10	—	—	—	—	—	—	—	—
Góry Sowie	—	—	—	0,01	—	0,01	0,01	—	—	—	>10	>10	—	—	—	—	—	—	—	—

analizatora laserowego umożliwiając określenie składu chemicznego minerału w dowolnym punkcie wybranym na jego powierzchni. W tab. II przedstawiono wyniki orientacyjnych analiz, otrzymanych za pomocą urządzenia LMA-1; obiektem badań były niektóre minerały z Dolnego Śląska.

Spektrografia laserowa w mikroobszarach otwiera nowe możliwości badań w zakresie mikroanalizy chemicznej minerałów. Niekiedy może ona zastąpić klasyczne metody spektralne, które wymagają zniszczenia badanej próbki (rozkruszenia, utarcia itp.). Można za jej pośrednictwem badać próbki skał i minerałów bezpośrednio pobranych w terenie, bez konieczności wstępnego przygotowania.

Połączenie rezonatora laserowego z mikroskopem pozwala wykonać analizę chemiczną małych ziarn minerałów (do kilku mikronów). Identyfikacja takich rozproszonych ziarn ma często istotne znaczenie dla określenia warunków powstawania niektórych minerałów (geneza złoża, warunki syntezy), a także pozwala na wyciąganie wniosków natury technologicznej.

Podobne usługi daje również mikrosonda elektronowa. Przewyższa ona technikę laserową pod dwoma względami: 1) jest techniką, która zupełnie nie niszczy analizowanego obiektu; 2) dostarcza wyników ilościowych lub ilościowych, wymaga natomiast próbek przewodzących prąd elektryczny lub odpowiednio spreparowanych i wykrywa tylko te pierwiastki, które są zawarte w stężeniach wyższych niż 5%.

Mikroanaliza laserowa, jak już wspomniano, nie wymaga żadnej wstępnej obróbki próbek, pozwala na wykrywanie pierwiastków występujących w ilościach dziesiątych i setnych, a niekiedy i tysięcznych procenta. Nie wymaga również specjalnie przeszkolonego personelu i — co nie jest najmniej ważne — aparatura laserowa jest wielokrotnie tańsza od mikrosondy elektronowej.

**2. Identyfikacja minerałów i badanie zespołów paragenetycznych w płytkach cienkich.** Duże możliwości otwierają się przed mikroanalizą laserową w badaniach mineralogicznych zespołów paragenetycznych, występujących w płytkach cienkich wykonanych ze skał i minerałów. Badania takie mogą być prowadzone jednocześnie z obserwacjami mikroskopowymi, mikroanalizatory laserowe mają bowiem wmontowane mikroskopy optyczne, pozwalające badać minerały zarówno w świetle przechodzącym, jak i odbitym. Mikroanaliza laserowa daje dodatkowe informacje o składzie chemicznym poszczególnych minerałów, ułatwiając ich rozpoznanie.

Dużą zaletą opisywanej metody jest możliwość jednoczesnego prowadzenia mikroskopowych badań

minerałów i wykonywania spektralnych analiz chemicznych wybranych obiektów. Do takich badań można używać normalnych płytek cienkich (grubość 0,02—0,03 mm) bez szkiełka nakrywkowego. Lepsze jednak wyniki uzyskuje się wykonując mikroanalizę laserową płytek (szlifów) nieco grubszych (do 0,05 mm); zapobiega się wówczas przebiciu przez promień laserowy obiektu badań. Należy jednak podkreślić, że analiza niektórych minerałów w płytkach cienkich jest trudna. Nie wszystkie minerały łatwo topią się i pękają. Z naszych badań wynika, że najlepsze wyniki osiąga się badając minerały rudne oraz krzemiany o barwie ciemnej. Wyniki analizy tych minerałów są stosunkowo dokładne i poza głównymi pierwiastkami dobrze udaje się oznaczyć w nich domieszki śladowe. Granice wykrywalności pierwiastków śladowych, np.: w galenie, hornblendzie, apatycie, biotycie, jak wynika z naszych badań, są o wiele większe niż w kwarcach, muskowitach, granatach lub skaleniech (tab. II). Dzięki zastosowaniu mikroanalizy laserowej można identyfikować w płytkach cienkich lub w zglądach te minerały, których cechy optyczne są niewystarczające do ich pełnego rozpoznania metodami optycznymi. Opisywana metoda jest szczególnie przydatna do oznaczania minerałów ciężkich w szlichach. Najlepsze rezultaty uzyskano analizując minerały ciężkie zatopione w organicznych tworzywach sztucznych. W czasie badań niektórych szlichów dolnośląskich stwierdzono np. że część minerałów, które były poprzednio oznaczone jako cyrkon, w rzeczywistości okazała się ksenotymami (tab. II).

**3. Badanie wrostków w minerałach oraz minerałów o budowie zonalnej.** Wiele minerałów ma różnego rodzaju wrostki rozmaitej wielkości od nieznacznie dostrzegalnych pod mikroskopem do widocznych makroskopowo. Niekiedy wewnątrz kryształów występują inkluzje wypełnione roztworami ciekło-gazowymi. Badanie tych odrębnych form znajdujących się w minerałach ma duże znaczenie dla wyjaśnienia ich genezy. I tu duże usługi oddaje mikroanaliza laserowa. O ile jednak wykonywanie analiz chemicznych wrostków (faz statycznych) nie jest żadnym problemem, to badanie inkluzji ciekło-gazowej, jak wynika z monografii Jefremowa, wymaga opracowania specjalnej metodyki (2). Natomiast doskonale nadaje się mikroanaliza laserowa do badania minerałów o budowie zonalnej: również otwierają się ciekawe

perspektywy wykorzystania opisywanej metody do badań przeobrażeń minerałów, szczególnie do śledzenia domieszek ziarn młodszych minerałów wtórnych.

**4. Badania geochemiczne.** W mikroanalizie laserowej z roku na rok, dzięki stosowaniu laserów sterowanej dobroci, zwiększa się granica wykrywalności poszczególnych pierwiastków. Otwierają się więc nowe możliwości badania i lokalizacji pierwiastków śladowych w różnych minerałach, na granicy ziarn, itp. Należy przypuszczać, że wiele zagadnień litochemicznych zostanie rozwiązanych dzięki stosowaniu mikroanalizy laserowej.

Jak widać z krótkiego przeglądu, przydatność spektralnej mikroanalizy ze wzbudzeniem laserowym w naukach geologicznych jest duża i jej wykorzystanie pozwoli z pewnością w wielu przypadkach na postęp w rozwiązywaniu licznych problemów naukowych i przemysłowych.

#### LITERATURA

1. Idzikowski A., Schrön W. — Spektralna mikroanaliza laserowa minerałów i rud miedzi. Pr. Naukowa Inst. Chem. Nieorg. i Mat. Pierw. Rzad. Polit. Wrocław, II Sympozjum — Pierwiastki Rzadkie i Metalurgia Chemiczna, cz. III, 3—14, 1973.
2. Jeramkow N. P. — Геохимические системы включения в минералах. Недра, Москва, 1972.
3. Maxwell J. A. — The laser as a tool in mineral identification. *Canad. Mineralogist*, 7, 1963.
4. Moenke H., Moenke L. — Einführung in die Laser — Mikroemissionsspektalanalyse. A.V. G. Leipzig, 1966.
5. Neuninger H. — Die Laser-Mikrospektalanalyse in der Kriminaltechnik. *Arch. Kriminologie*, 144, 1969.
6. Rusanov A. K. — Основы количественного спектрального анализа руд и минералов. Москва, 1971.
7. Schrön W. — Erfahrungen mit dem Laser-Mikrospektalanalysator LMA-1 in der Geochemie. *Z. Angew. Geol.*, 18, 1972.
8. Snetsinger K. G., Keil K. — Microspectrochemical analysis of minerals with the laser microprobe. *Amer. Mineralogist*, 52, 1967.
9. Whitehead A. B., Heady H. H. — Laser spark excitation of homogeneous powdered materials. *App. Spectroscopy*, 22, 1968.

#### SUMMARY

The paper presents the possibilities of use of laser microanalysis method in geological studies on the basis of some examples. The examples taken from the works of the present authors are sometimes supplemented by the data taken from the literature.

The laser microanalysis appears to be a useful tool for solving the following problems:

- 1) identification of chemical composition of minerals (identification of minerals), Table II;
- 2) identification of minerals and analysis of paragenetic assemblages in thin sections;
- 3) analysis of growths in minerals and of minerals with zonal structure;
- 4) geochemical studies.

#### РЕЗЮМЕ

В статье на соответствующих примерах обосновывается возможность использования метода лазерного микроанализа для разных геологических целей. Большинство приведенных примеров относится к исследованиям, осуществленным авторами, остальные же дополнены из литературы. Лазерный микроанализ позволяет решать м. пр. следующие проблемы:

- 1) определение химического состава минералов (табл. II),
- 2) определение минералов и изучение парагенетических комплексов в шлифах,
- 3) изучение включений в минералах и минералов с зональным строением,
- 4) геохимические проблемы.