

POMIARY TERMOLUMINESCENCJI MINERAŁÓW I SKAŁ METODĄ ANALIZATORA TERMOLUMINESCENCJI

UKD [550.84:535.377].002.54:549.08+552.08

Nowa metoda badawcza w geologii oparta na pomiarach termoluminescencji minerałów i skał, coraz częściej stosowana na świecie, doczekała się aparatury i wprowadzenia do prac polskich geologów. Dokładny opis aparatury zwanej analizatorem termoluminescencji znaleźć można w artykule M. Frydrychewicz, M. Heringa i M. Lipowskiego (4). Termoluminescencję minerałów i skał w zastosowaniu do badań geologicznych przedstawia artykuł J. Pawłowskiej (20). Podstawy teoretyczne stosowania termoluminescencji (3) nie są ostatecznie ugruntowane.

W wyniku coraz liczniejszych obserwacji termoluminescencji naturalnej (wzbudzonej w przyrodzie) i sztucznej (wzbudzonej w warunkach laboratoryjnych) zebrano materiał, który pozwoli kiedyś na pełne zrozumienie tego skomplikowanego zjawiska. Termoluminescencja minerałów i skał polega na emisji promieniowania widzialnego, czasem bliskiego nadfioletu i podczerwieni w trakcie ogrzewania pokruszonego materiału skalnego poniżej temperatury czerwonego żaru (400–450°C).

W efekcie pomiaru zjawiska termoluminescencji otrzymuje się wykres zmian natężenia promieniowania w funkcji temperatury — krzywą termoluminescencji, krzywą TL. Metodyka pomiarów termoluminescencji minerałów i skał nie opiera się na znormalizowanych urządzeniach, a warunki pomiarów zjawiska są różne u różnych autorów. Urządzenia do pomiaru termoluminescencji minerałów i skał w laboratoriach petrograficznych są prototypami. Zagadnienie standaryzacji założeń do aparatury TL stawiał R. A. McDiarmid już w 1965 r., jest to jednak wciąż otwarty problem. Stosowane w urządzeniach pomiarowych selektywne odbiorniki promieniowania pozwalają jedynie na jakościowe rejestrowanie zjawiska. Uniemożliwia to porównanie natężeń promieniowania uzyskiwanych w badaniach. Jedynie temperatury maksimów termoluminescencji można porównywać między sobą. W trakcie realizacji analizatora TL, dzięki zaopatrzeniu odbiornika w filtry korekcyjne, uzyskano ilościowe wyniki pomiarów (choć do tej pory rzędna świecenia nie jest wyskalowana w jednostkach energetycznych, ze względu na brak w CUMiW wzorców świeceń).

Jest to istotny krok naprzód w badaniach termoluminescencji. Wyniki pomiarów bowiem nie są obciążone błędnym założeniem o jednakowym charakterze widm emisyjnych termoluminescencji, i rzeczywiście są porównywalne. Na uzyskiwane w pomiarach krzywe TL zasadniczy wpływ mają parametry układu przetwornikowego urządzenia, tj. sprzężonego układu grzejnego z układem powielającym zjawisko. Dlatego obydwa układy w analizatorze TL postaram się szczegółowo scharakteryzować.

Przed przystąpieniem do pomiaru konieczna jest obserwacja wizualna analizowanych próbek, aby oce-

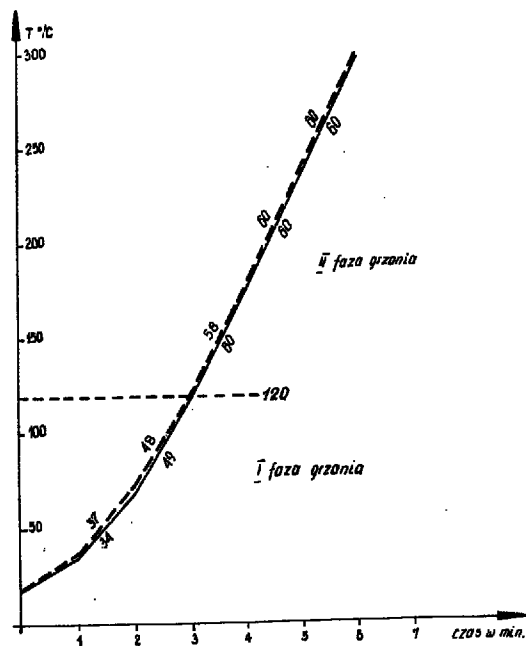
nić intensywność świecenia i barwy termoluminescencji. Najkorzystniejszy w takich obserwacjach byłby stały, sztuczny wzorzec intensywności do porównań. W dotychczasowych pomiarach stosowano wzorzec naturalny, świecenie pokruszonej próbki marmuru z Kowaru.

WPLYW PARAMETRÓW UKŁADU PRZETWORNIKOWEGO NA KRZYWE TL

Układ grzejny. W układzie grzejnym, na krzywe TL mają wpływ:

- 1) zmiany prędkości grzania,
- 2) granulacja pokruszonej skały czy minerału,
- 3) masa próbki,
- 4) równomierne rozłożenie próbki na powierzchni grzejnej tygla,
- 5) początkowa temperatura każdego pomiaru,
- 6) stosowanie membrany mikowej.

Ad 1. Szybkość nagrzewania próbek zgodnie z założeniem jest regulowana w sposób ciągły od 50 do



Ryc. 1. Krzywa rozgrzewu pieca dla $\beta = 60^\circ\text{C}/\text{min.}$;
 β — prędkość grzania.

MAKSIMA TERMOLUMINESCENCJI NATURALNEJ I SZTUCZNEJ OTRZYMANE W POMIARACH PRZEZ RÓŻNYCH AUTORÓW

Tabela I

Autor	Rodzaj próbki	Stosowane przyrosty grzania		Maksima termoluminescencji naturalnej temp. w °C			Maksima termoluminescencji sztucznej temp. w °C (w °K)			Uwagi
		w °C/s	w °C/min.	—	270	380—400	TL wzbudzona promieniami β	380—400	420	
M. L. Albissin, 1963	wapień	1	60	—	270	380—400	TL wzbudzona promieniami β 70	140 270	420	Temperatury maksimum są zawyżone z powodu niskiej grzeźnej w formie kubeczka
D.R. Lewis, 1956 1956	dolomit	1	60	—	—	300	TL wzbudzona promieniami γ	120 240	310	—
	kalcyt wapień	1	60 80	—	240 250	310 310	—	120 240 125 275	310 380	—
R.A. McDiarmid, 1963	wapień	1 3%/s 8	60 220 480	—	230 245 260	300 320 335 340	—	—	—	—
	wapień	1	60	—	—	325	TL wzbudzona promieniami γ	140 180	235	300
W.L. Medlin, 1961	dolomit	0,5	30	—	—	—	TL wzbudzona promieniami x* 67	127—110 237—247	327—347 —357	*w temperaturze ciekłego azotu
	kalcyt wapień	0,2	12	—	—	—	77 (350)	160 (430) 257 (530)	(500—620) —630 357 (630)	*w temperaturze ciekłego azotu
J.E. Vaz, E.J. Zeller, 1966	kalcyt wapień	1	60	—	240	300	TL wzbudzona promieniami x* 77	230 (500) 227—217 (500—490)	347 (620) 277—327 (500—800)	*w temperaturze ciekłego azotu 1964—nie wymie- nione β
	dolomit wapień	1	60	165—170 165—170	240 240 240 240 240—240 230—240	300 300 300	TL wzbudzona promieniami γ	110 — 110 110	280 320 320	—
Zakład Petro- grafii i Mineralo- logii	dolomit wapień	1	60	—	240	300	—	—	—	—

90°C/min. Założenie prostoliniowego programu grzania nie zostało w pełni zrealizowane, gdyż w programie grzania istnieją dwie fazy. W pierwszej fazie do 120°C, wzrost temperatury odbywa się ze zmienną prędkością. W drugiej fazie natomiast w obszarze świecenia przyrost temperatury jest liniowy; krzywą rozgrzewu pieca dla $\beta = 60^\circ\text{C}$ przedstawia ryc. 1. Taki program aktywacji termicznej nie ma jednak wpływu na wielkość temperatur maksimum termoluminescencji analizowanych próbek. Są one zgodne z wynikami otrzymywanymi przez innych autorów. Dokładna analiza stosowanych przyrostów temperatury w badaniach TL dowodzi, że w zależności od stosowanych prędkości nagrzewania próbki otrzymuje się różne wartości temperatur maksimum termoluminescencji T_m^x (D. Curie — 2). Zależności te dają się ująć w następujący sposób:

jeżeli $\beta_1 > \beta_2$ to $T_m^x > T_m^y$, T — temperatura (D. Curie — 2).

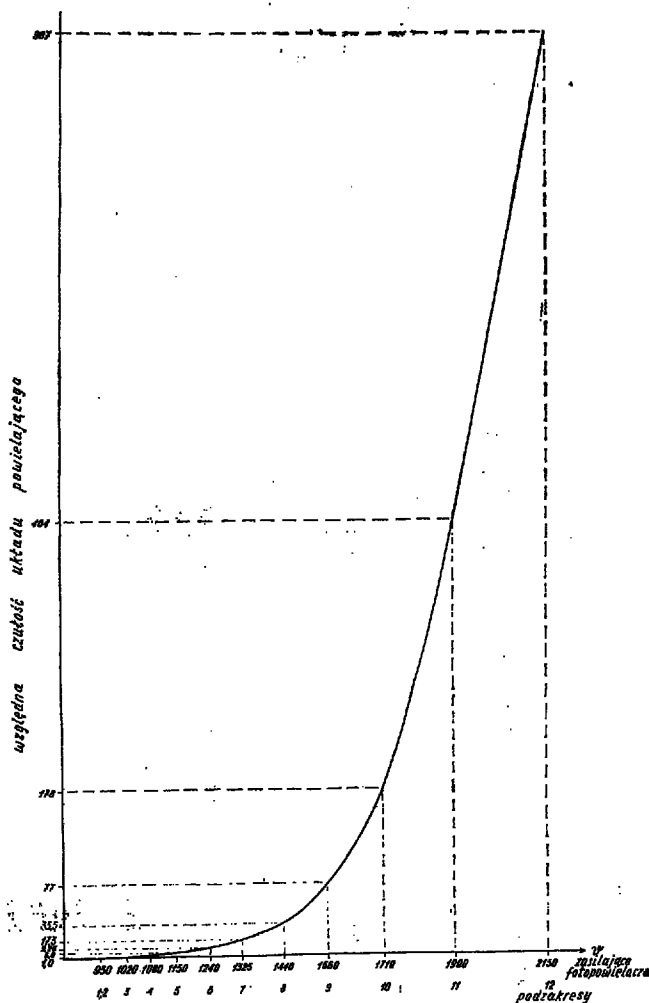
W tabeli I zestawiono temperatury maksimum termoluminescencji otrzymane przez różnych autorów, stosujących różne przyrosty temperatur, u których wyżej wymieniona zależność potwierdza się. W analizatorze TL powyższa zależność się nie spełnia:

jeżeli $\beta_1 > \beta_2$ to $T_m^x < T_m^y$

Tabela II zawiera wyniki pomiarów TL przy stosowaniu różnych wartości β . Być może, że takie wyniki spowodowane są wystąpieniem gradientów temperatur w ogrzewanej próbce podczas stosowania różnych wartości β . Ogólna wartość emitowanej energii wyrażonej w postaci pola zakreślonego krzywą TL, bez względu na stosowane przyrosty temperatur, pozostaje taka sama (D. R. Lewis i współautorzy, 10). Temperatura próbki jest mierzona pośrednio. Maksymalna redukcja odchyień między temperaturą rzeczywistą i rejestrowaną nagrzewanej próbki została rozwiązana następująco: termoelement Fe — Konstantan o znormalizowanej charakterystyce (PN/M-3854) został umieszczony w bezpośrednim sąsiedztwie miski grzejnej (dla łatwiejszych manipulacji pojemnikiem podczas wymiany próbki). Ze względu na brak srebra (materiał reglamentowany) miskę grzejną wykonano z grafitu, którego właściwości termiczne są bardzo dobre w porównaniu z innymi materiałami, takimi jak: aluminium, miedź, platyna i in. Grafit ma zbliżoną do srebra temperaturę początkową własnego świecenia termicznego (19).

Rozmiary miski grzejnej zostały dobrane eksperymentalnie dodatkowym termoelementem przez kontrolę rozkładu temperatur na misce. Miska grzejna ma kształt tygła o ϕ zewnętrznej 4 cm, wewnętrznej 3,3 cm i wysokości wewnętrznej ścianki osłaniającej 3 mm; grubość dna miski w każdym tyglu grafitowym musi być doborowana eksperymentalnie. Bezpośredniego pomiaru temperatury próbki dokonano dodatkowym termoelementem o bardzo małej bezwładności (ϕ termoelektrod 0,05 mm). Dzięki właściwemu doborowi kształtu i wymiarów miski przeznaczonej do umieszczenia próbki, temperatura próbki oraz temperatura mierzona termoelementem nie różnią się więcej niż o 1°C (5). Powierzchnia tygla (o skończonych wymiarach) z próbką skały lub minerału staje się podczas podgrzewania powierzchniowym źródłem promieniowania. Przed skalowaniem analizatora w jednostkach energetycznych promieniowania jest konieczna zmiana miski grafitowej na metalową, ponieważ czarna powierzchnia grafitu absorbuje część TL. Jedynie przy stosowaniu względnych jednostek świecenia, stały błąd wynikający z absorpcji pewnej części promieniowania nie ma znaczenia.

Ad 2. W bogatej bibliografii dotyczącej zagadnienia optymalnych warunków pomiaru TL, (m. in. D. R. Lewis — 10, J. M. McNellis — 18, L. N. Owczinnikow i W. G. Maksienkow — 19, N. M. Johnson — 6) kwestia granulacji materiału skalnego jest rozpatrywana bardzo szczegółowo i większość autorów zgod-



Ryc. 2. Wpływ napięcia zasilającego fotopowielacz K-14 FS 50 na wartość prądu wyjściowego na podzakresach 1—12.

nie twierdzi, że najkorzystniejsze do pomiaru TL frakcje pokruszonej skały są: 0,2—0,15 mm; 0,25—0,2 mm oraz 0,3—0,2 mm. Frakcje sproszkowanych próbek skał i minerałów najczęściej stosowane w pomiarach TL przedstawia tab. III.

Ad 3, 4 i 5. W stosowanym analizatorze TL najbardziej równomierne rozmieszczenie materiału i powtarzalne krzywe TL uzyskuje się stosując masę próbki 0,3—0,4 g. Korzystniejsze jest użycie próbki o masie 0,3 g, w związku z koniecznością wyrównywania początkowej temperatury próbki do temperatury grzejnika, która po pierwszym pomiarze (po 40 minutach chłodzenia grzejnika powietrzem) na początku następnego pomiaru wynosi 30—35°C. Wynika to z trudności wychłodzenia grzejnika do temperatury pokojowej.

Podwyższona temperatura początkowa ma znaczny wpływ na kolejne pomiary i w celu uniknięcia rozbieżności większych niż 1—3°C należy wstępnie (do 5 minut) przetrzymać próbkę w początkowej temperaturze grzejnika, nim rozpocznie się właściwy pomiar. Wpływ masy próbki na wielkości temperatur maksimum termoluminescencji przedstawia tab. IV. Wyższosc wagowego określenia ilości próbki nad objętościowym ustalono ze względu na różny ciężar właściwy i kształt pokruszonych ziaren, co w efekcie mogło spowodować rozbieżności w pomiarach.

Ad 6. Podgrzewana sproszkowana próbka źródło termoluminescencji — od zwoła fotopowielacza została dodatkowo ograniczona tzw. membraną mikową, tj. listkiem przezroczystej miki w oprawce. Membrana

Tabela II

WPŁYW PRĘDKOŚCI GRZANIA β NA TEMPERATURY MAKSYMÓW TERMOLUMINESCENCJI
Próbka wapienia z Szewców; masa 0,4 g; \varnothing 0,25—0,3 mm; skala temperatur 20 nV/250 mm

Stosowane β w °C/min.	Temperatury I maksimum w °C					Temperatury II maksimum w °C				
	50	60	70	80	89	50	60	70	80	89
Pomiary fotopowielaczem FEU 13A	162	162	165*	162	160	232	228	225	218	218
Pomiary fotopowielaczem K14FS50	—	162 160 160	—	—	158	—	230 228 220	—	—	215 215

* Niewyrównana temperatura początkowa próbki.

Tabela III

FRAKCJE SPROSZKOWANYCH PRÓBEK SKAŁ I MINERAŁÓW NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANE W POMIARACH

Autor	Wielkość oka sita w meshach	Wielkość oka sita przeliczona w mm	Prześwit stosowanych sit w mm
N.M. Johnson (1967)	100—120	0,149—0,125	0,15—0,1
R.A. McDiarmid (1963)	100—200	0,149—0,074	0,15—0,1
D.J. McDougall (1966)	60—100	0,246—0,149	0,25—0,15
J.M. McNellis (1963)	80—100	0,177—0,149	0,2—0,15
L.N. Owczinnikow (1968)	120—200	0,125—0,074	0,25—0,15 0,3—0,25

Tabela V

PARAMETRY ZASTOSOWANYCH W ANALIZATORZE TERMOLUMINESCENCJI FOTOPOWIELACZY — KROTKÓWKÓW FOTOELEKTRYCZNYCH

Typ krotki	Wymiary		Fotokatoda			Dynody typ+ ilość	Napięcie pracy V	Równoważnik prądu ciemnego	Czułość ogólna A/lm
	dł. mm	\varnothing mm	materiał	\varnothing mm	czułość ogólna μ A/lm				
FEU 13A	129	52	SbCs	4,5	55	żaluzjowa 12	nominalne 1700	$2 \cdot 10^{-8}$	300
K14 FS50	167	51,5	SbCs	4,5	115	liniowe 14	1800 2000 2200	$1,1 \cdot 10^{-10}$ $2,0 \cdot 10^{-10}$ $1,6 \cdot 10^{-10}$	450 1000 240

Tabela IV

WPŁYW MASY PRÓBKII NA WIELKOŚCI TEMPERATURY MAKSYMÓW TERMOLUMINESCENCJI

Masa w g	Temperatura I maksimum w °C	Temperatura II maksimum w °C
0,2	172	240
0,3	165	230*
0,4	172	240
0,5	182	255

Pomiary wykonane na próbce kredy piszącej z Kopolosów: \varnothing frakcji 0,3-0,2 mm; 9 stopień napięcia zasilającego; prędkość ogrzewania β —60°/61°C/min.; skala temperatur 30 mV/375 mm.

stanowi przegrodę kasującą niepożądane efekty na krzywych TL, spowodowane pękaniami inkluzji w sproszkowanej próbce i przemieszczaniem się rozrywanych cząstek w kierunku czoła fotopowielacza. Średnica przepuszczającej części przegrody mikowej wynosi 2,8 cm, co sprawia, że powierzchnia świecąca w analizatorze ma 6,15 cm². Drugim zadaniem membrany mikowej jest pełnienie roli filtra promieniowania cieplnego. Charakterystyka przepuszczalności widmowej membrany nie jest znana. Membrana mikowa podobnie jak i tygiel grafitowy wywołują absorpcję promieniowania TL i dlatego w zastosowaniu z filtrem korekcyjnym fotopowielacza — w przypadku skalowania analizatora w jednostkach natężenia świecenia — należałoby określić jej charakterystykę

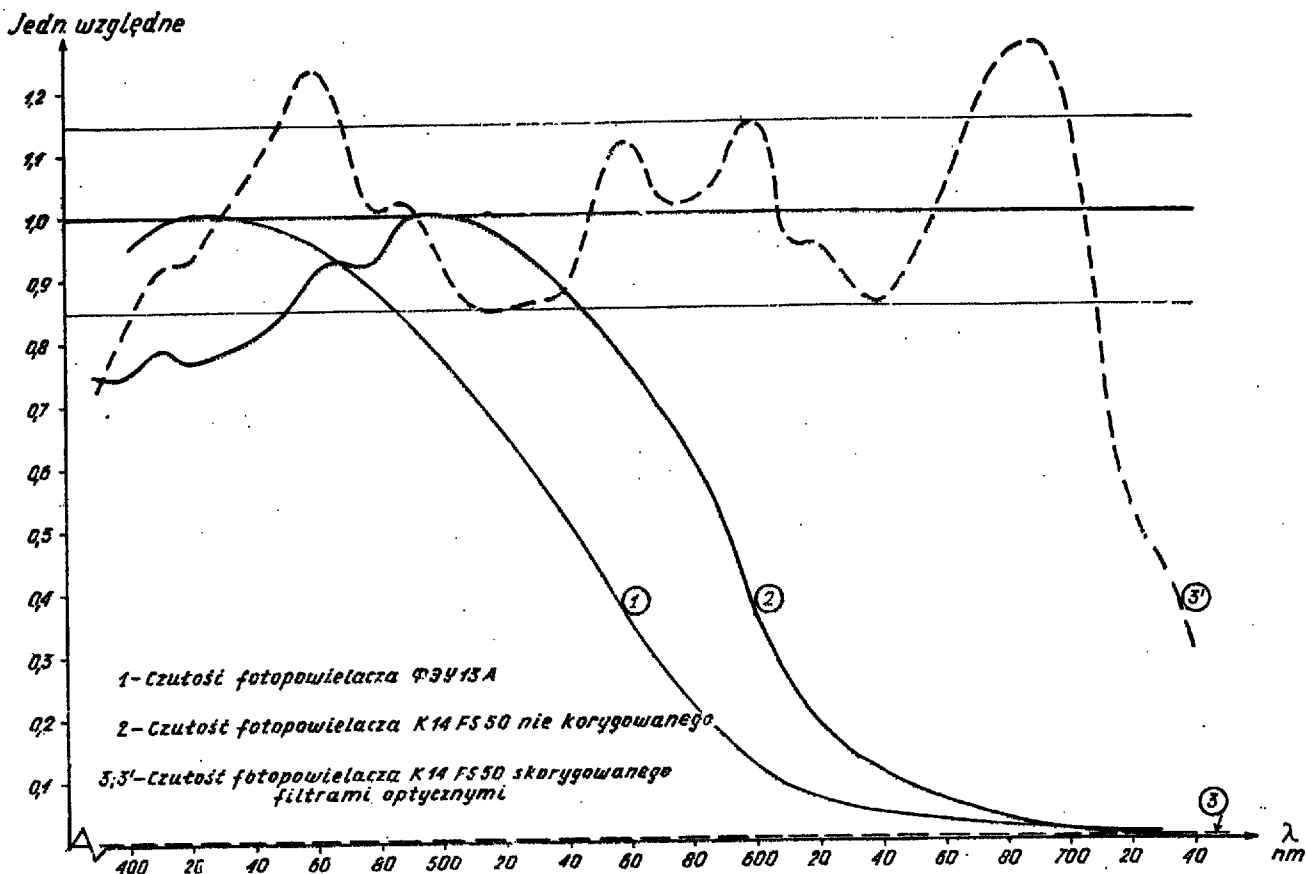
Tabela VI

ZESTAWIENIE WYSOKOŚCI NAPIĘĆ ZASILAJĄCYCH STOSOWANE FOTOPOWIELACZE NA 12 PODZAKRESACH CZUŁOŚCI ANALIZATORA TERMOLUMINESCENCJI

Stopień czułości — zakres	Napięcie zasilające FEU 13A	Pierwsze podwyższenie napięcia dla K14FS50	Drugie podwyższenie napięcia dla K14FS50
1	840	850	950
2	840	850	950
3	880	900	1020
4	925	950	1060
5	970	1010	1150
6	1060	1080	1240
7	1120	1150	1323
8	1200	1240	1440
9	1300	1340	1500
10	1400	1450	1710
11	1500	1500	1900
12	1650	1750	2150

przepuszczalności i wpływ na pomiar. W przypadku określenia względnych jednostek intensywności świecenia ten stały błąd nie ma znaczenia.

Układ powielający TL. Odbiornikiem promieniowania w analizatorze TL jest fotopowielacz. Jest to komórka fotoelektryczna, w której pierwotny prąd fotoelektryczny jest wzmacniany przez wielostopniowe zastosowanie emisji wtórnej. Strumień świetlny



Ryc. 3. Charakterystyki czułości widmowej fotopowielaczy stosowanych w analizatorze TL. Krzywa 3' stanowi powiększony zapis krzywej 3.

padając na fotokatodę wyzwala z niej elektrony, a te kierowane przez układ elektronowej optyki wejściowej padają na pierwszą dynodę, gdzie prawie każdy elektron powoduje emisję kilku elektronów wtórnych. Na następnych dynodach podobny proces powtarza się. W przypadku n dynod, z których każda ma współczynnik emisji wtórnej δ powstaje wzmocnienie prądu fotokatody I do wielkości:

$$I = I_0 \delta^n$$

Srednio-współczynnik emisji wtórnej wynosi 3,5—4, co pozwala uzyskiwać wzmocnienia rzędu 10^8 — 10^{10} . Oprócz dużego wzmocnienia, fotopowielacze cechuje liniowość wzmocnienia prądu fotoelektrycznego, mała bezwładność działania oraz mały poziom szumów własnych. Zastosowane w analizatorze TL fotopowielacze mają fotokatody antymonowoczerwone (SbCs). Pierwotnie wmontowany w analizatorze TL radziecki fotopowielacz FEU 13A został wymieniony na fotopowielacz zeissowski K14FS50, w celu uzyskania możliwości korekcji krzywej czułości widmowej do krzywej nieselektywnej. Parametry stosowanych w analizatorze TL fotopowielaczy przedstawia tab. V.

Napięcie zasilające fotopowielacz zmienia się skokowo. Analizator ma 12 stopni regulacji napięcia. Pierwotne wartości napięcia zasilającego na poszczególnych stopniach zostały podwyższone, w trakcie wymiany fotopowielacza FEU 13A na fotopowielacz K14FS50 z filtrem korekcyjnym (tab. VI). Brak miernika napięcia zasilającego fotopowielacz jest mankamentem, który dał znać o sobie w trakcie wymiany fotopowielaczy, ponieważ kontrola stałości napięcia jest warunkiem poprawnych pomiarów. Przeprowadzone pomiary kontrolne podwyższonego napięcia na poszczególnych stopniach dowiodły niestabilności je-

dynie na najwyższym stopniu napięcia zasilającego. Wykres wpływu zmienności napięcia zasilającego fotopowielacz K14FS50 na wartość prądu wyjściowego, przedstawia ryc. 2. W celu zabezpieczenia fotopowielacza przed zniszczeniem, w przypadku gdy fotopowielacz nie znajduje się w swoich normalnych warunkach eksploatacyjnych (brak szczelności świetlnej), napięcie zasilające jest automatycznie wyłączane. Służy do tego blokada elektryczna.

Wpływ selektywności charakterystyk widmowych fotopowielaczy na krzywe TL w badaniach geologicznych nie był uwzględniany. W dotychczasowych pracach opisujących zastosowanie termoluminescencji: problem ilościowego ujęcia intensywności TL sprowadzał się do podania tzw. arbitrary units — umownych jednostek, uzyskiwanych drogą mierzenia amplitudy maksimum TL w cm lub pola powierzchni opisanego przez krzywą w cm^2 — tzw. światłosumy. Takie pomiary obciążone są błędnym, nieuzasadnionym założeniem o jednolitym rozkładzie energii w widmie termoluminescencji badanych próbek i prowadzą do błędnych interpretacji.

W pracach poświęconych termoluminescencji naturalnej (tzn. wzbudzonej w przyrodzie) porównywalność zmienności maksimum intensywności świecenia TL, nie wchodząc w zależność energetyczne między rzeczywistym promieniowaniem (dla danych, stałych warunków doświadczenia) a zarejestrowanym po przejściu przez odbiornik promieniowania.

Zależność między strumieniem energetycznym padającym na powierzchnię światłoczułą fotopowielacza a prądem wyjściowym z odbiornika wg J. Kamlera (7) jest następująca:

$$I = \int \Phi e(\lambda) S(\lambda) d\lambda$$

gdzie:

I — prąd wyjściowy,

$\Phi_e(\lambda)$ — rozkład widmowy energii promieniowania światła,

$S(\lambda)$ — rozkład czułości widmowej odbiornika promieniowania.

Jeżeli charakterystyka widmowa odbiornika jest nieselektywna, a więc jeśli $S(\lambda) = \text{const.}$, wtedy: $I = S \int \Phi_e(\lambda) d\lambda = S \Phi_e$; czyli pomiar strumienia Φ_e sprowadza się do bezpośredniego pomiaru wartości prądu odbiornika.

Przy braku znajomości widm emisyjnych termoluminescencji badanych skał i minerałów należało skorygować filtrami selektywną charakterystykę widmową fotopowielacza do charakterystyki nieselektywnej i w efekcie otrzymać porównywalne ilościowo wyniki. Przez skalowanie takiego układu powielającego za pomocą wzorców, można uzyskać pomiar luminescencji badanych minerałów i skał w konkretnych jednostkach energetycznych luminancji ener-

getycznej, np. $\frac{W}{\text{m}^2 \text{sr}}$ (srd — steradian). Zaopatrzenie osłony aluminiowej fotopowielacza w oprawkę do montowania filtrów interferencyjnych lub optycznego filtra korygującego selektywną charakterystykę widmową fotopowielacza, rozszerzyło w zasadniczy sposób zakres pracy całego urządzenia. Wykonanie przez A. Mańka (12) optycznego filtra, likwidującego selektywność fotopowielacza K14FS50, pozwala otrzymywać ilościowo porównywalne pomiary TL. Charakterystykę widmową K14FS50 po korekcji przedstawia krzywa 3 i 3' (ryc. 3). Jej wahania w granicach $\pm 15\%$ są zgodne z przyjętymi przez Zakład Mineralogii i Petrografii oraz wykonawcę.

Kwestia fotometrycznych pomiarów luminancji TL (definiowanych z zachowaniem analogii do wielkości energetycznych) w układzie analizatora termoluminescencji nie była rozważana w związku z tym, że interpretację pomiarów termoluminescencji przeprowadza się zazwyczaj w aspekcie energetycznym. Dodać tylko można, że pomiar fotometryczny sprowadza się do odbioru promieniowania fotopowielaczem o zmienionej filtrami charakterystyce widmowej $S(\lambda)$ do krzywej światłoczułości oka $V(\lambda)$ oznaczonej:

$$V(\lambda) = K' S(\lambda)$$

gdzie: K' — współczynnik proporcjonalności.

Możliwość wymiany filtrów korekcyjnych na filtry interferencyjne (wydzielające związki pseudomonochromatyczne) w układzie powielającym sprawia, że za pomocą analizatora TL można uzyskiwać widma emisyjne termoluminescencji. Czyni to zespół przetwornikowy swego rodzaju spektrofotometrycznym filtrowym.

SUMMARY

The paper deals with some methodological details of accurate surveying of thermoluminescence effect and plotting thermoluminescence curves. The curve TL shows changes in luminescence radiation intensity as the function of temperature.

The effects of heating rate changes on: (1) the trend of curves TL, (2) granulation and mass of a sample and its distribution on the heated surface of crucible, and (3) the nature of quantitative measurements of the thermoluminescence phenomenon, were analysed. The curve of spectral sensitivity of photoduplicator was adjusted to a non-selective curve, which solved the problem of incomparability of qualitative measurements of this phenomenon. Moreover, it questioned the premise of uniformity of spectral distributions of thermoluminescence of the minerals and rocks studied, which was accepted in previous geological interpretations.

LITERATURA

1. D'Albissin M. — Les traces de la déformation dans les roches calcaires. *Revue Geogr. Phys. Geol. dyn.*, Deuxième série, 1963, vol. 5.
2. Curie D. — Luminescencja fosforów krystalicznych. PWN, Warszawa 1965.
3. Frydrychewicz M. — Podstawy teoretyczne stosowania termoluminescencji w geologii. *Prz. geol.*, 1974, nr 2/3.
4. Frydrychewicz M., Hering M., Lipowski M. — Urządzenie do ilościowych pomiarów termoluminescencji minerałów i skał. *Prz. geol.*, 1974, nr 4.
5. Hering M. — Instrukcja obsługi analizatora termoluminescencji. 1969 (nie publikowane).
6. Johnson N. M. — Radiation dosimetry from the natural thermoluminescence of fossil shells. *Amer. Miner.* 1967, vol. 52, nr 9, 10.
7. Kamler J. — Fotometria i kalorymetria ekranów luminescencyjnych. WNT, Warszawa, 1963.
8. Kamler J., Mańk A. — Odbiorniki fotoelektryczne i ich zastosowanie. WNT, Warszawa, 1966.
9. Lewis D. R. — The thermoluminescence of dolomite and calcite. *Phys. Chem.* 1956, vol. 60.
10. Lewis D. R., Whitaker T. N., Chapman C. W. — Thermoluminescence of rocks and minerals. I. Apparatus for quantitative measurement. *Amer. Miner.* 1959, vol. 44, no. 11/12.
11. Mc Diarmid R. A. — The application of thermoluminescence of geothermometry. *Econ. Geol.* 1963, vol. 58, no 8.
12. Mańk A. — Sprawozdanie z wykonania filtrów optycznych do korekcji krzywej czułości widmowej fotopowielacza. 1970 (nie publikowane).
13. Medlin W. L. — Thermoluminescence properties of calcite. *Jour. Chem. Phys.* 1959, vol. 30.
14. Medlin W. L. — Thermoluminescence in dolomite. *Ibidem*, 1961, vol. 34.
15. Medlin W. L. — Normalization of thermoluminescence data. *Amer. Miner.* 1964, vol. 49, no 1, 2.
16. Mc Dougall D. J. — Thermoluminescence of rocks as a prospecting tool. Equipment and methods. *Can. Mining and Metal. Bull.* 1965, vol. 58.
17. Mc Dougall D. J. — A study of the distribution of thermoluminescence around an ore deposit. *Econ. Geol.* 1966, vol. 61, no. 6.
18. Mc Nellis J. M. — Sources of error in thermoluminescence studies. *Kansas. Geol. Bull.* 1965, part 2, 1963.
19. Owczinnikow L. N., Maksienkow W. G. — Termoluminescencja minerałów i faktory wpływające na jej intensywność. *Magmatizm, metamorfizm, metalogeniza Urała*. Swierdłowski, 1968.
20. Pawłowska J. — Termoluminescencja minerałów i skał w zastosowaniu do badań geologicznych. *Kwart. geol.* 1971, nr 1.
21. Vaz J. E., Zeller E. J. — Thermoluminescence of calcite from high gamma radiation doses. *Amer. Miner.* 1966, vol. 51, no. 7.

РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрены методические данные по проведению термоллюминесцентных определений — кривых термоллюминесценции. Кривая такого типа представляет график изменений интенсивности люминесцентного излучения в зависимости от температуры. Анализируется влияние скорости нагревания на характер кривых, грануляцию образца, массу образца и его распределение по нагревательной поверхности тигля и на характер количественного определения явления термоллюминесценции. Путем коррекции кривой спектральной чувствительности фотоумножителя в неселективную была решена проблема несопоставимости качественных характеристик явления и исправлено ошибочное предположение об одинаковых спектральных распределений пород и минералов, принимаемое в геологических интерпретациях.