

WACŁAW RYKA  
Instytut Geologiczny

## METODA OPTYCZNEGO OZNACZANIA WIEKU BEZWZGLĘDNEGO SKAŁ

UKD 550.93:552.12:549.1:535.581:546:32.02.40+546.293

Metoda zrównania dyspersji dwójłomności minerałów jest nowym kierunkiem w dziedzinie badań mikroskopowych. Praktyczna strona metody wyłożona została przez J. A. Kuzniecowa (4, 5, 6), który próbował również stworzyć dla niej podstawy teoretyczne (7). Polega ona na pomiarze dwójłomności minerałów, a właściwie oznaczeniu wielkości odchylenia od wartości normalnych. Pomiar dwójłomności anizotropowych minerałów polega na ustaleniu różnicy między współczynnikami załamania dwóch fal świetlnych w kryształach, biegnących w tym samym kierunku. Szczególnie dogodnie do pomiarów są przekroje główne, w których krzywa otrzymana z pomiaru dwójłomności zależna jest od długości użytej w badaniach fali światła.

Zmianę kształtu powierzchni wyznaczonej przez normalne do czoła fali, uwarunkowaną długością użytego do badań światła, nazywamy dyspersją dwójłomności. Genezę tych efektów Kuzniecowa wyjaśnia własnościami wewnętrznymi kryształów, a mianowicie: ich budową, składem chemicznym, defektami sieci krystalicznej, a jak wykazały badania autora wpływają na nie również cechy dziedziczne minerałów. W wyniku stwierdzeń poczynionych przez Kuzniecowa dalszy rozwój metody nastąpił w dwóch kierunkach: 1 — badania natury wewnętrznej kryształów, ich symetrii i defektów sieci krystalicznej, 2 — badanie składu chemicznego, a w specyficznym przypadku oznaczenia wieku bezwzględne minerałów.

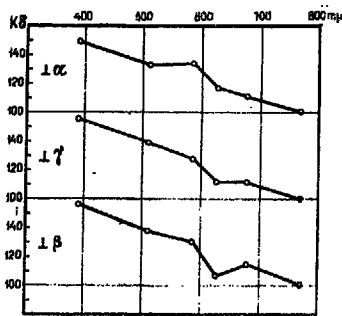
Technika pomiaru dyspersji dwójłomności, a zwłaszcza kierunków optycznych i przekrojów powierzchni dwupowłokowych, polega na pomiarze dwójłomności w określonych warunkach świetlnych. J. A. Kuzniecowa sporządził w tym celu komplet barwionych przez siebie filtrów i uznał ich działanie za równie skuteczne jak monochromatora. Mierzył on dwójłomność, stosując kolejno zmianę długości fali światła i dla wybranych kierunków optycznych wy-

kreślił krzywe maksymalnej dyspersji dwójłomności, charakterystyczne dla danej grupy minerałów, wykazujące jednocześnie odchylenia od linii wzorcowych, spowodowane specyficznymi własnościami badanych próbek.

Modelem podobnego pomiaru są krzywe dyspersji dwójłomności hiperstenu (ryc. 1). Bardziej złożony kształt wykazują krzywe pomiaru dyspersji dwójłomności przekrojów głównych (ryc. 2), a jeszcze bardziej skomplikowanym obrazem wyróżniają się rzuty poziome dwupowłokowych powierzchni dyspersji dwójłomności. Konstrukcje powierzchni powłokowych wymagają trzech zorientowanych płytek cienkich i najmniej 300 pomiarów dwójłomności dla jednej tylko długości fali światła. W metodzie Kuzniecowa nie stosuje się bezwzględnych wartości pomiaru dwójłomności, lecz przelicza się je na współczynnik zrównania dyspersji dwójłomności  $K_d$  według podanych przez niego wzorów: skalowanie kompensatora, wybranie wartości standardowej dla współczynnika  $K_d$  i przeliczenie pozostałych wartości pomiarów.

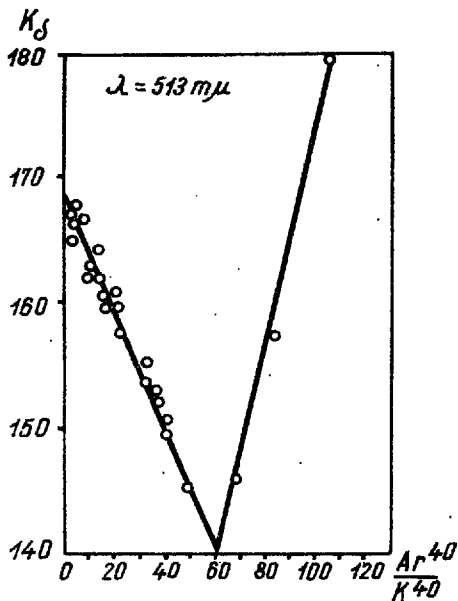
Zmiana współczynnika  $K_d$  przypisywana jest naturze składu chemicznego minerałów, a więc sposobu ułożenia i rodzaju jonów w kryształach, czyli (opierając się na wzorcach chemicznych oznaczeń składników badanych minerałów) można im podporządkować proporcjonalne wartości  $K_d$  zmierzone w odpowiednich warunkach świetlnych. Z grafików obrazujących stosunek  $K_d$  do procentowej zawartości różnych tlenków metali w minerałach można więc odczytać ich rzeczywistą zawartość w badanym okazie. J. A. Kuzniecowa twierdzi również, że szczególnie dokładne są oznaczenia składników występujących w ilościach akcesorycznych i śladowych, w przeciwieństwie do niezbyt dokładnie oznaczalnych składników głównych.

Dokładność oznaczeń małych ilości składników została wykorzystana do badań pierwiastków, sta-



Ryc. 1. Krzywe dyspersji dwójłomności hiperstenu dla trzech kierunków optycznych.

Fig. 1. Curves of birefringence dispersion of hypersthene for three optical directions.



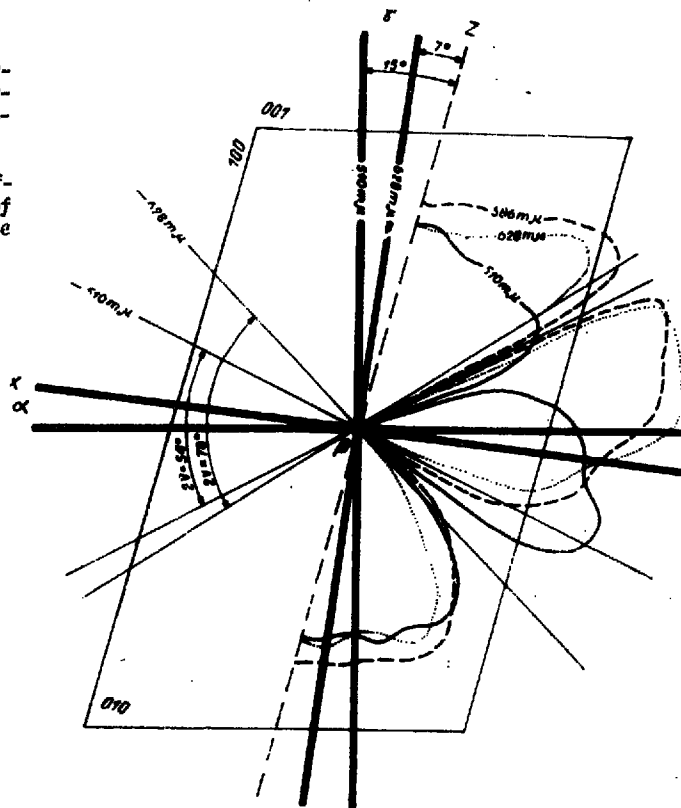
Ryc. 3. Diagram związku stosunku  $Ar^{40} : K^{40}$  z  $K_b$  w biotycie.

Fig. 3. Diagram of  $Ar^{40} : K^{40}$  ratio from  $K_b$  in biotite.

nowiących podstawę określenia wieku bezwzględnego minerałów. Dotychczas oznaczenia wieku bezwzględnego metodami optycznymi wykonano na biotycie, plagioklazie, mikroklinie, amfibolu, piroksenie przez określenie w nich zawartości  $K^{40}$  i  $Ar^{40}$  oraz na cyrkonach przez wyznaczenie ilości U i Th. Największą popularność zyskała metoda oznaczania wieku bezwzględnego biotytów. Istnienie dogodnych warunków dla pomiaru  $Ar^{40}$  stwierdzono na drodze doświadczalnej przez stosowanie światła o długości fali  $\lambda = 513 \text{ m}\mu$ , stąd łatwo jest już z wartości  $K_b$  oznaczyć stosunek  $Ar^{40}/K^{40}$  (ryc. 3), a następnie wiek bezwzględny (ryc. 4). Cechą przedstawionych diagramów jest zmiana kierunku krzywej stosunku  $K_b - \frac{Ar^{40}}{K^{40}}$ , a także  $K_b$  — wiek bezwzględny, na dwie części.

Pierwszy odcinek krzywej odpowiada minerałom młodszym od 900 mln lat, drugi zaś minerałom starszym. Wiąże się z tym możliwość popełnienia błędów w odczycie wieku biotytów grupujących się w punkcie zwrotnym diagramu. Kształt krzywych do odczytów wieku bezwzględnego oparty jest na datowaniu potasowo-argonowym, podobnie jak krzywych zawartości procentowej tlenków na oznaczeniach chemicznych.

Zaletą metody optycznego oznaczania wieku bezwzględnego minerałów jest możliwość wykonania dużej ilości oznaczeń, niwelujących w znacznym stopniu błędy pojedynczych pomiarów. Wadą natomiast są znaczne nieraz odchylenia wartości pomiarowych, związane z warunkami samej pracy. Utrudnienia



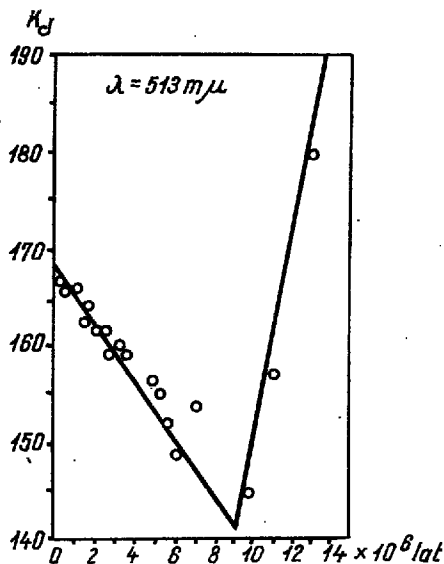
Ryc. 2. Orientacja optyczna i dyspersja kierunków optycznych i dwójłomności przekroju głównego hornblendy.

Fig. 2. Optical orientation and dispersion of optical directions and of birefringence of main hornblende section.

nastawień spowodowane są intensywną nieraz barwą biotyту tak, iż pomiary należy wykonywać na specjalnie sporządzonych do tego celu cienkich szlifach. Drugą przyczyną rozrzutu pomiarów jest pseudojednoskośność biotyту. Poważne trudności napotyka się również przy orientowaniu przekroju głównego i w związku z powyższym zalecane jest uprzednie sporządzenie kontrolnego diagramu zrównania dyspersji dwójłomności w przekroju (001).

Łatwość operacji w oznaczeniach współczynnika  $K_b$  sprzyja kompleksowym badaniom minerałów w tych samych płytkach cienkich: biotyту, plagioklaz, mikroklinu, amfibolu i piroksenu. Zawartość  $Ar^{40}$  w plagioklazie oznacza się w świetle o długości fali  $\lambda = 611 \text{ m}\mu$  i  $460 \text{ m}\mu$ , a  $K^{40} - \lambda = 718 \text{ m}\mu$  i  $450 \text{ m}\mu$  (pierwsze wartości standardowe, a drugie oznaczone). Na przykładzie badań wieku bezwzględnego plagioklazów z granitoidów Armenii okazało się, że stosunek  $Ar^{40}/K^{40}$  jest wartością zmieniającą się w sposób ciągły, sprzyjającą oznaczaniu jednej wartości  $K_b$  w wybranym doświadczalnie świetle o długości fal  $\lambda = 737 \text{ m}\mu$  i  $726 \text{ m}\mu$  (ryc. 5). Odchylenia w wynikach oznaczeń wieku bezwzględnego plagioklazów są zbliżone do rozrzutów otrzymanych w badaniach wieku bezwzględnego biotytów, w krańcowych przypadkach nie przekraczają one 4% błędu.

Pierwsze diagramy do oznaczeń wieku bezwzględnego plagioklazów sporządzono dla skał czwartorzędowych i trzeciorzędowych. Później dopiero metodę tę zastosowano dla skał starszych, w tym również i prekambryjskich (2). W podobnie doświadczalny sposób ze stosunku  $Ar^{40}/K^{40}$  oznacza się wiek bezwzględny mikroklinu, z tym iż pomiarów  $K_b$  dokonuje się w fali światła o długości  $427 \text{ m}\mu$ . Diagramy



Ryc. 4. Diagram związku wieku bezwzględnego z  $K_8$  w biotycie.

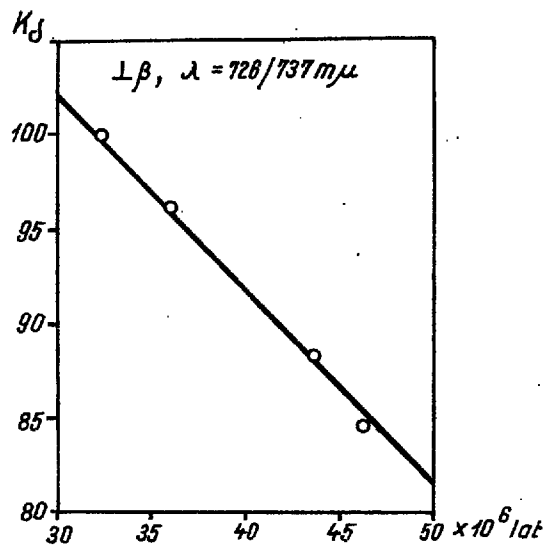
Fig. 4. Diagram of relation of absolute age from  $K_8$  in biotite.

dla stosunkowo łatwo oznaczalnego wieku bezwzględnego mikroklinu zostały obecnie dostosowane dla szerokiego interwału wiekowego, od okresów najmłodszych do archaicznych.

Próby oznaczenia wieku bezwzględnego piroksenów ze stosunku  $Ar^{40}/K^{40}$  przeprowadzono na zieleńcach z Uralu, wieku  $510 \div 370 \cdot 10^6$  lat. Dla piroksenów sporządzony został diagram oparty na pomiarach  $K_8$  w świetle  $\lambda = 473$  m $\mu$  i wykazał dużą dokładność wykonanych oznaczeń. Mniej wartościowym materiałem do oznaczeń wieku bezwzględnego są hornblendy (1) ze względu na intensywną nieraz barwę tych minerałów i ich małą dwójtomność, powodujących zwiększenie błędów w wyniku trudności związanych z ustaleniem momentu kompensacji. Podobnych błędów metodycznych pozbawione są badania wieku bezwzględnego cyrkonu. Pomiar  $K_8$  odzwierciedlające zawartość uranu wykonywane są w świetle o długości fali = 427 m $\mu$  (426,6 m $\mu$ , 427,7 m $\mu$ , 433,3 m $\mu$ ). Pomiar  $K_8$  cyrkonu wykazały również dużą dokładność pomiarów, wahającą się w granicach do 10% od krzywej standardowej.

Zaletami metody oznaczenia wieku minerałów sposobem zrównania dyspersji dwójtomności są: szybkość pomiarów, dostatecznie wysoka dokładność w przypadku badań biotyту, mikroklinu i cyrkonu, a nawet plagioklastu i piroksenu. Na przykładzie licznych oznaczeń wieku bezwzględnego minerałów granito-gnejsów z Uralu. Kuzniecowa (6) wykazał, iż zespoły skalne badanego kompleksu utworzyły się w czasie około  $1300 \div 1200 \cdot 10^6$  lat, przy czym 46 pomiarów biotyту starszej generacji wyznaczyło zakres  $1280 \div 950 \cdot 10^6$  lat, a mikroklin starszej generacji  $1310 \div 1120 \cdot 10^6$  lat. Młodsza generacja tych minerałów utworzyła się w wyniku częściowego skontaminowania kompleksu starszego w czasie  $300 \div 200 \cdot 10^6$  lat, a wyniki 65 oznaczeń biotyту zamknęły się w granicach  $750 \div 250 \cdot 10^6$  lat, mikroklinu  $330 \div 232 \cdot 10^6$  lat. Porównanie wieku bezwzględnego minerałów z różnych skał i obszarów określonego metodą optyczną i potasowo-argonową wskazuje na dużą zbieżność wyników. Przykładowo niektóre z nich, podane w milionach lat, przedstawiają się następująco (6) (tab.).

Zaletą oznaczenia wieku bezwzględnego minerałów metodą zrównania dyspersji dwójtomności jest także omińnięcie żmudnej drogi separacji i oczyszczania



Ryc. 5. Diagram związku wieku bezwzględnego z  $K_8$  w plagioklastach z granitoidów Armenii.

Fig. 5. Diagram of relation of absolute age from  $K_8$  in plagioclase from Armenian granitoids.

Nazwa skały	Występowanie	Metoda optyczna		Metoda Ar/K	
		biotyt	mikro-klin	biotyt	mikro-klin
sjenito-dio-ryt	masyw megrin-ski	23	35	26	—
sjenit alk.	masyw megrin-ski	50	47	45	—
granit	Kaukaz	200	206	200	—
granit	Kaukaz	1185	330	1120	—
granit	masyw Tasbulak	275	220	250	331?
granit	grzbiet Tarbagataj	290	220	202	267
granit	masyw Kizyl-Kajnar	255	260	362	369
granit	masyw Kizyl-Kajnar	285	324	260	271
granit	masyw Batpak	290	234	335	306

minerałów przed analizą, a zwłaszcza możliwość wykonania pomiarów na jednym kryształku i powtórzenie oznaczeń na tej samej próbce. Ma to wielkie znaczenie, szczególnie w przypadku tych skał, w których występują minerały różnych generacji, a ich rozdzielenie jest niemożliwe. Dlatego na uwagę zasługuje praca Kuzniecowa, który na podstawie badań dwóch generacji paragenes mikroklino-biotytowych kompleksu syserlskiego z Uralu udokumentował istnienie starszych i młodszych — zregenerowanych zespołów skalnych ( $1300 \div 1200 \cdot 10^6$  i  $300 \div 200 \cdot 10^6$  lat). Metoda optycznego oznaczenia wieku bezwzględnego minerałów ma znaczenie również wówczas, gdy skała nie zawiera większej ilości składników przydatnych do oznaczeń, ze względu na wysoki stopień rekrytalizacji, przerosty oraz przeobrażenia metasomatyczne i hipergeniczne. Przykładem trudnej do oznaczenia wieku bezwzględnego skały jest sjenit ecki, którego skalenie datowane metodą rubidowo-strontową wykazały wiek  $331 \cdot 10^6$  lat, a biotyту metodą potasowo-argonową  $600 \cdot 10^6$ ,  $550 \cdot 10^6$   $293 \cdot 10^6$

i  $285 \cdot 10^6$ . Oznaczenia metodą optyczną wykonane przez Kuzniecowa (3) wykazały wiek  $1200 \cdot 10^6$  dla mikroklinu i  $420 \cdot 10^6$  dla jednej generacji biotyту (około  $1100 \cdot 10^6$  lat na linii biotytów starszych).

#### LITERATURA

1. Alijew E. I. — Niektoryje danne opriedielenija sostawow rogowych obmanok mietodom sravnitelnoj dispersii dwuprełomlenija. Biul. Mosk. Obszcz. ispyt. prirody, Otd. geol. 42, nr 2, Moskwa, 1967.
2. Djalma G. — O novo método de determinação de idade absoluta. Bol. Depart. nac. prod. miner. Div. geol. e miner., nr 240, Lizbona, 1967.

#### SUMMARY

Development of methods of comparative dispersion of birefringence worked out by E. A. Kuznietsov is presented, and kinds of quantitative determination of  $K^{40}$ ,  $Ar^{40}$ , U and Th of biotite, microcline, plagioclase, amphibole, pyroxene and zircon for absolute age determination of these minerals are described.

Advantages and disadvantages of the methods of optical determining the absolute age of minerals are given, too.

3. Kardymowicz I. — Biotyt z niektórych skał podłoża krystalicznego północno-wschodniej Polski. Biul. Inst. Geol., 225, 1969.
4. Kuzniecowa J. A. — O dispersii dwuprełomlenija. Izw. wyssh. uczeb. zawied. Geologija i razwiedka, nr 1, 1959.
5. Kuzniecowa J. A. — Miedod sravnitelnoj dispersii dwuprełomlenija. Gosgeotiechizdat, Moskwa, 1962.
6. Kuzniecowa J. A. — Miedod sravnitelnoj dispersii dwuprełomlenija. Izd. Niedra, Moskwa, 1964.
7. Kuzniecowa J. A. — O fiziczeskich osnovanijach dla miedoda sravnitelnoj dispersii dwuprełomlenija. Biul. Mosk. obszcz. ispyt. prirody, Otd. geol., 42, nr 5, 1967.

#### РЕЗЮМЕ

В статье дается развитие разработанного Е. А. Кузнецовым метода сравнительной дисперсии двупреломления. Описан способ количественного определения  $K^{40}$ ,  $Ar^{40}$ , U, Th для вычисления абсолютного возраста биотита, полевого шпата, пироксена, роговой обманки и циркона. Рассмотрены недостатки и преимущества метода оптического определения абсолютного возраста этих минералов.