

Aleksander JELIŃSKI, Józef LIS

Próba zastosowania emulsji jądrowej do badań nad rozmieszczeniem uranu i toru w skałach magmowych na przykładzie granitoidów

WSTĘP

Znajomość rozmieszczenia pierwiastków chemicznych na tle struktury i tekstury skał umożliwia wyciąganie wniosków dotyczących genezy oraz procesów zachodzących w skale po jej utworzeniu się.

Uran i tor, pierwiastki bardzo rozpowszechnione w skorupie ziemskiej, zajmują szczególnie interesującą pozycję, ze względu na ich własności geochemiczne oraz promieniotwórczość, która rozszerza zakres metod badawczych.

Zagadnieniem rozmieszczenia pierwiastków promieniotwórczych w skałach zajmowali się liczni uczeni posługujący się w badaniach różnymi metodami: A. Hee, R. P. Derville, M. D. Jarovoy (1954), E. S. Larsen, G. Phair, D. Gottfried, W. S. Smith (1958), G. J. Neuerburg (1958); L. W. Tauson (1956), U. E. Starik (1959).

Stosunkowo wyczerpująco wypowiada się na ten temat G. J. Neuerburg (1958), wyróżniający sześć form występowania uranu w skałach magmowych.

Niewykluczone jest, że tor występuje w podobnych postaciach, jednakże ze względu na różnice we własnościach chemicznych jego ilościowy udział w poszczególnych formach jest prawdopodobnie inny.

Dokładne prześledzenie rozmieszczenia tych pierwiastków w skale napotyka na pewne trudności, przy czym żadnej ze znanych metod nie można uznać za tak wielostronną, aby umożliwiała wyczerpujące opracowanie problemu. Badania mikroskopowe, analiza chemiczna skały lub wyodrębnionych minerałów, ługowania itd. dają rozpoznanie raczej pośrednie, przy czym każda z tych metod rozwiązuje tylko część zagadnienia.

Metodą umożliwiającą wnikliwe i bezpośrednie obserwacje nad rozmieszczeniem uranu i toru, a będącą jednocześnie ważnym uzupełnieniem badań petrograficznych i geochemicznych, jest metoda mikroautoradiografii. Metoda ta, oparta na znanym zjawisku zaczerniania kliszy fotograficznej pod wpływem cząstek elementarnych wysyłanych przez pier-

wiastki promieniotwórcze, umożliwia zarejestrowanie nawet bardzo małych ilości substancji radioaktywnej.

Wspomniane zjawisko zaczerpnienia kliszy wykorzystywane było przez wiele lat w badaniach nad naturalną i sztuczną promieniotwórczością oraz promieniowaniem kosmicznym.

Metodę mikroautoradiografii do badań nad promieniotwórczością skał wprowadziła Irena Curie (1946), wykorzystując różnice w zasięgu cząstek alfa wysyłanych przez poszczególne pierwiastki promieniotwórcze. I. Curie opracowała metodę oraz matematyczną formę ilościowego oznaczania uranu i toru w skałach.

W wyniku udoskonaleń i modyfikacji wprowadzonych w latach następnych przez licznych badaczy (H. Yagoda, 1949; S. M. Tamburino, A. Stella, 1952; R. Coppens, 1950; E. E. Picciotto, 1950) omawiana metoda stała się jedną z ważniejszych metod geochemicznych do badań nad promieniotwórczością skał (A. Hee, R. P. Derville, M. D. Jarovoy, 1954), a nawet znalazła zastosowanie w pracach poszukiwawczych M. Roubault i René Coppens (1955).

Zasadniczym celem badań prowadzonych przez wymienionych autorów było wykorzystanie mikroautoradiografii do ilościowych oznaczeń zawartości uranu i toru w skałach. Jednakże pomimo wprowadzenia wielu ulepszeń metodycznych i obliczeniowych metoda ta nie dorównuje pod względem dokładności i szybkości oznaczeń analizie chemicznej, radiometrycznej i innym. Wynika to głównie z trudności związanych z określeniem średniego składu skały na podstawie obserwacji stosunkowo niewielkiej powierzchni preparatu (szlif, powierzchnia polerowana), bardzo długiego i zwiększającego się odwrotnie proporcjonalnie do zawartości pierwiastków promieniotwórczych czasu ekspozycji, komplikacji w rozróżnieniu torów cząstek alfa pochodzących od uranu lub toru i wielu innych czynników.

W Polsce badania nad radioaktywnością skał za pomocą mikroautoradiografii prowadzili S. Pieńkowski (1955) z grupą współpracowników, C. J. Szwaćka (1955), a ostatnio Z. Grygolewicz (1959). Zajmowali się oni głównie określeniem zawartości uranu i toru w granitach.

METODYKA BADAŃ

Badania opisane w niniejszej pracy przeprowadzono na próbkach granitoidów sudeckich, które K. Smulikowski (1959) zalicza do granitoidów pochodzenia magmowego. Próbkę pobrano z masywów Karkonoszy i Strzegomia — Sobótki.

Do badań używano płytek cienkich, grubości około 30 μ , pokrytych warstwą emulsji jądrowej typu M2, grubości około 50 μ .

Pokrycia płytek emulsją jądrową dokonał doc. W. Markocki w Zakładzie Fotografii Politechniki Wrocławskiej. Czas ekspozycji wynosił dla poszczególnych partii próbek 720 i 1072 godziny.

Płytki przeglądano pod mikroskopem polaryzacyjnym MIN-4 przy zastosowaniu obiektywu imersyjnego 90X i okularu 15X.

Przeglądu dokonywano pasami o szerokości pola widzenia mikroskopu 140 μ w odległościach co 0,5 mm. W związku z celem pracy badania nad radioaktywnością alfa ograniczono do wyznaczenia ogólnej radioak-

tywności granitów, minerałów głównych oraz niektórych minerałów pobocznych.

Przez określenie „radioaktywność alfa“ rozumie się liczbę torów cząstek alfa przypadającą na 1 cm^2 badanej skały w czasie 1 sek.

$$N = a \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$$

Obliczenia ogólnej radioaktywności skały dokonywano na podstawie wzoru:

$$N = \frac{a}{b \cdot t}$$

gdzie: a — liczba torów alfa zarejestrowanych podczas obserwacji,

b — zbadana powierzchnia szlifu w cm^2 ,

t — czas ekspozycji w sekundach.

Obliczenia radioaktywności poszczególnych minerałów głównych dokonywano na podstawie tego wzoru uzupełnionego współczynnikiem c , określającym udział danego minerału w powierzchni szlifu.

$$N_m = \frac{a}{b \cdot t \cdot c}$$

gdzie: N_m — alfa radioaktywność minerału.

a — liczba torów alfa pochodzących z badanego minerału,

b — zbadana powierzchnia szlifu w cm^2 ,

c — udział minerału w powierzchni szlifu.

Ponieważ wielkość współczynnika c wyznaczanego metodą analizy planimetrycznej wyrażona jest w procentach, przeto wzór przybierze ostatecznie postać:

$$N_m = \frac{a \cdot 100}{b \cdot c \cdot t}$$

Radioaktywność minerałów podrzędnych wyznaczano bezpośrednio mierząc powierzchnię minerału za pomocą siatki okularu i licząc tory przypadające na tę powierzchnię.

WYNIKI BADAŃ

Obliczenia ogólnej radioaktywności granitów w poszczególnych próbkach wykazały jej wahania w granicach od $0,55 \cdot 10^{-4}$ do $6,85 \cdot 10^{-4} a \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$ (tab. 1). Wahania te wynikają nie tylko z różnicy w faktycznej zawartości uranu i toru w poszczególnych próbkach, ale przede wszystkim związane są z nierównomiernym rozmieszczeniem minerałów silnie radioaktywnych w skale. Jak wykazały badania A. Hee i innych (1954), minerały takie, jak cyrkon, tytanit, rutył itp., decydujące o ogólnej radioaktywności skały, są w niej rozmieszczone w postaci skupień.

Z kolei omówimy wyniki badań nad radioaktywnością poszczególnych minerałów budujących skałę i rozmieszczeniem w nich pierwiastków promieniotwórczych.

KWARC

Radioaktywność kwarcu w zbadanych próbkach granitu waha się od $0,20 \cdot 10^{-5}$ do $5,0 \cdot 10^{-5} a \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$, średnio $2,12 \cdot 10^{-5} a \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$ (tab. 1).

Wyniki te należy uważać za nieco zawyżone, gdyż w toku obserwacji nie można było wyeliminować torów cząstek alfa pochodzących od pierwiastków promieniotwórczych zawartych w drobnych (ciekłych i stałych) mikrolitach. Poza tym część substancji radioaktywnej występuje w bardzo drobnych pęknięciach, których wymiary są mniejsze niż zdolność rozdzielcza mikroskopu, co oczywiście wyklucza możliwość obserwacji. Bardzo prawdopodobne jest, że pierwiastki promieniotwórcze występują w kwarcu przede wszystkim w takich formach.

Tabela 1
Alfa radioaktywność minerałów głównych granitów strzegomskich i karkonoskich

Nr próbki	Lokalizacja próbki	Opis skały	Radioaktywność $N = \alpha \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$				Proc. udział minerałów w pow. szlifu		
			Granit 10^{-4}	Kwarc 10^{-5}	Skaleń 10^{-6}	Biotyt 10^{-4}	Kwarc	Skalenie	Biotyt
1	Masyw Strzegom-Sobótka	granit szary drobnziarnisty	4,72	5,0	41,9	5,40	38,35	57,23	4,37
2	„ „	granit szary średnioziarnisty	1,31	2,39	16,58	3,00	33,02	61,28	5,23
3	„ „	„ „	5,55	—	—	—	—	—	—
4	„ „	„ „	2,09	1,92	6,40	5,27	41,07	52,97	4,74
5	„ „	„ „	1,75	1,12	1,21	5,15	32,27	59,84	6,64
6	„ „	„ „	0,55	—	—	—	—	—	—
7	„ „	„ „	2,57	1,32	5,95	1,62	36,79	53,92	8,87
8	„ „	„ „	4,64	2,46	9,25	1,36	30,24	61,75	7,18
9	Masyw Karkonoszy	granit różowy o strukturze porfirowej	6,85	—	—	—	—	—	—
10	„ „	„ „	3,00	1,67	13,45	6,66	23,93	70,43	5,43
11	„ „	„ „	1,65	0,20	2,58	2,61	27,04	61,29	9,09
12	„ „	„ „	2,12	4,40	18,80	5,91	35,63	56,71	6,71
13	„ „	„ „	2,96	1,35	10,75	1,64	35,54	56,00	8,43
		Średnio:	3,30	2,12	11,87	3,66			

U w a g a: Kreska = nie oznaczono radioaktywności.

SKALENIE

Radioaktywność skaleń, obliczona z pominięciem U i Th zawartych w minerałach wtórnych lub pęknięciach, waha się od $1,21 \cdot 10^{-6}$ do $41,9 \cdot 10^{-6} \alpha \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$. Średnio $11,87 \cdot 10^{-6} \alpha \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$ (tab. 1). Obniżona radioaktywność w stosunku do kwarcu wynika tu przede wszystkim z mniejszej ilości mikrolitów w skaleniach. Jest rzeczą interesującą, że skalenie potasowe, reprezentowane głównie przez mikropertyt ortoklazowy, wykazują niższą radioaktywność niż plagioklasy. Być może wynika to z większej skłonności tych ostatnich do przeobrażania się w minerały wtórne. Tory cząstek alfa w mikropertytach zlokalizowane są często w bardzo drobnych lamelkach odmieszanego albitu.

BIOTYT

Radioaktywność biotyту wynosi średnio $3,66 \cdot 10^{-4} \alpha \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$ (tab. 1). Wśród głównych składników skały biotyt jest najbardziej aktywny. Ze względu na to, że minerały silnie radioaktywne, jak cyrkon, ortyt, koncentrują się w skupieniach biotyту, można uważać te skupienia za centra radioaktywności skały. Większość obserwowanych torów alfa wychodzi spomiędzy płaszczyzn łupliwości biotyту. Niekiedy wokół punktu wyjścia cząstki alfa obserwowano bardzo drobne pola pleochroiczne.

Na podstawie obserwacji można stwierdzić, że pierwiastki radioaktywne w biotycie są:

a) zaadsorbowane na powierzchni spękań i płaszczyzn łupliwości, przy czym ten rodzaj występowania stanowi bardzo poważną część całkowitej radioaktywności minerału,

b) zawarte w drobnych mikrolitach, trudnych do zidentyfikowania pod mikroskopem.

Można również przypuszczać, że pewna ilość uranu i toru została podstawiona na miejsce jonów międzywarstwowych w strukturze biotyту.

HORNBLENDY

W badanych granitach spotyka się pojedyncze kryształy hornblendy. Na podstawie zbadania kilku kryształów tego minerału można przypuszczać, że zawartość pierwiastków promieniotwórczych w hornblendzie jest tego samego rzędu co w biotycie. Ze względu jednak na stosunkowo małą liczbę obserwacji bliższe spreycyzowanie tej wielkości byłoby bardzo nieścisłe.

TLENKI ŻELAZA

Tlenki żelaza występują w postaci magnetytu kształtu nieregularnych ziarn w rozłożonych biotytach i hornblendzie. Wykazują one niewielkie podwyższenie radioaktywności w stosunku do kwarcu i skaleni. Obserwacje torów alfa pochodzących od skupień tlenków żelaza są utrudnione wskutek nieprzezroczystości tych minerałów.

CYRKON

Cyrkon stanowi najczęstszy składnik akcesoryczny badanych granitów. Jego objętościowa zawartość w skale jest rzędu tysięcznych części procenta. Kryształy cyrkonu grupują się głównie w biotycie lub w jego pobliżu. Przeważnie jest wykształcony automorficznie i wykazuje ślady obtopienia. Nierzadkie są jednak pięknie wykształcone cyrkonie w postaci kombinacji słupa i dwóch piramid. Wielkość przekroju kryształów cyrkonu jest rzędu tysięcznych i dziesięciotysięcznych części milimetra kwadratowego.

Zbadano 184 ziarna cyrkonu z 14 próbek granitu. Z krzywej radioaktywności alfa dla cyrkonu (fig. 1) wynika, że radioaktywność waha się w szerokich granicach od $2 \cdot 10^{-2}$ do $90 \cdot 10^{-2} \alpha \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$.

Stwierdzono również obecność pojedynczych kryształów o radioaktywności alfa od $100 \cdot 10^{-2}$ do $230 \cdot 10^{-2} \alpha \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$. Tych ostatnich danych nie uwzględniono w wykresie. Jak widać z wykresu, przeciętna aktywność alfa cyrkonu w badanych granitach zawiera się w granicach od

$2 \cdot 10^{-2}$ do $30 \cdot 10^{-2} \alpha \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$, to znaczy w pobliżu górnej granicy czułości metody dla zastosowanego tu czasu ekspozycji oraz wielkości kryształów cyrkonu.

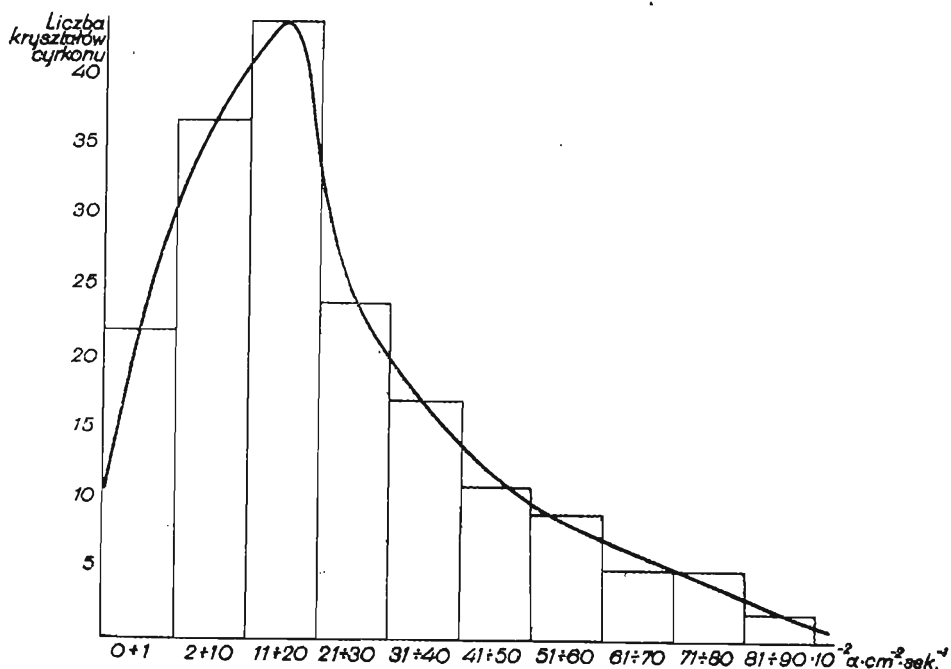


Fig. 1. Krzywa alfa radioaktywności cyrkonów z granitów strzegomskich i karkonoskich

Curves of alpha radioactivity of the zircons from the Strzegom and Karkonosze granites

W badaniach nad rozmieszczeniem pierwiastków promieniotwórczych w cyrkonach stwierdzono, że:

1) Tory cząstek alfa układają się przeważnie na brzegach kryształów (tabl. I, fig. 5), podczas gdy wewnętrzne części są ich prawie zupełnie pozbawione. Poza tym nie rozkładają się one równomiernie, lecz tworzą skupienia, np. w jednym końcu kryształu. Często tory cząstek alfa wychodzą wyraźnie z powierzchni kryształu.

2) Tory cząstek alfa są rozrzucone dość równomiernie na całej powierzchni przekroju cyrkonu (tabl. I, fig. 6). Nie widać wtedy wyraźnej strefowości w ich ułożeniu. Można jedynie zaobserwować, że niekiedy wychodzą one z licznych pęknięć minerału.

3) Tory cząstek alfa wychodzą wyraźnie z bardzo drobnych choć dobrze widocznych wrostków nieoznaczalnych pod mikroskopem.

Ustalenie form występowania pierwiastków radioaktywnych w cyrkonie jest dość trudne. Jednak na podstawie obserwacji oraz przesłanek teoretycznych należy się liczyć z następującymi możliwościami:

a) pierwiastki te mogą być zaadsorbowane na powierzchni spękań i powierzchni minerału;

b) istnieje pewna możliwość zastąpienia Zr^{+4} w siatce krystalicznej przez U^{+4} lub Th^{+4} , co jednak, ze względu na dość znaczne różnice wielkości promieni jonowych ($Zr^{+4} - 0,87 \text{ \AA}$, $U^{+4} - 1,05 \text{ \AA}$, $Th^{+4} - 1,10 \text{ \AA}$) jest utrudnione (L. W. Tauson, 1956);

c) uran i tor mogą zastępować itr w siatce krystalicznej ksenotymu, który ze względu na izotypię z cyrkonem jest w nim często obecny (L. W. Tauson, 1956);

d) pierwiastki promieniotwórcze mogą być sorbowane przez cyrtolity i malakon, powstające pod wpływem procesów metamiktyzacyjnych i zawierające pokaźne ilości wody;

e) cyrkon, oprócz znacznych zawartości itru w ksenotymie, zawierają zwykle pokaźne ilości innych ziem rzadkich oraz niob i tantal (A. G. Bietiechtin, 1955). Możemy więc mieć tu do czynienia z wrostkami minerałów tych pierwiastków, zawierającymi uran i tor. Niekiedy spotyka się w spękaniach, nieoznaczalne pod mikroskopem, anomalnie wysoko radioaktywne minerały. Możliwe, że mamy tu do czynienia z minerałami U i Th.

APATYT

Bardzo drobne automorficznie wykształcone kryształy tego minerału rozsiane są w całej skale, grupując się głównie w pobliżu minerałów ciemnych. Zawarte w biotycie nie mają wokół siebie tak charakterystycznych

Tabela 2

Alfa radioaktywność allanitu

Nr próbki	Masyw Strzegom-Sobótka		Nr próbki	Masyw Karkonoszy	
	Powierzchnia zbadana w mm ²	Radioaktywność $N = a \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1} \cdot 10^{-2}$		Powierzchnia zbadana w mm ²	Radioaktywność $N = a \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1} \cdot 10^{-1}$
2	0,0567	24,98	15	0,16194	20,96
4	0,01879	14,58	16	0,03915	5,95
4	0,0297	27,67	9	0,00456	11,87
3	0,02886	31,28	15	0,01125	6,90
3	0,00877	8,79	17	0,34931	1,61
3	0,03915	11,23	18	0,01896	60,24
3	0,03927	24,46	18	0,00197	5,88
3	0,05467	18,27	19	0,00889	41,67
14	0,05782	26,68	20	0,01249	19,46
14	0,03589	31,92	21	0,03312	34,04
14	0,07515	22,17	21	0,00489	29,65
14	0,02075	32,52	22	0,00169	57,15
			22	0,00703	5,48
			22	0,01941	6,36
			22	0,04494	10,21

dla cyrkonu czy allanitu pól pleochroicznych. W apatytach granitów badanych maszywów można było zaobserwować sporadycznie pojedyncze tory cząstek alfa. Nigdzie nie zaobserwowano centrów promieniotwórczości związanych z samym apatytem.

ALLANIT

Należy do stosunkowo rzadkich składników akcesorycznych badanych granitów, tworzy zwykle duże kryształy o powierzchniach przekroju rzędu dziesiątych i setnych części milimetra kwadratowego, sporadycznie nawet rzędu milimetrów kwadratowych. Kryształy wykształcone automorficznie mają wyraźną budowę pasową.

Występuje głównie w pobliżu skupień minerałów ciemnych, nierzadko można jednak spotkać pojedyncze kryształy występujące samodzielnie. Wykazuje dość wyraźny pleochroizm w barwach brunatnych. Niekiedy ulega częściowemu odbarwieniu, a pierwotna barwa zaznacza się w postaci nieregul-

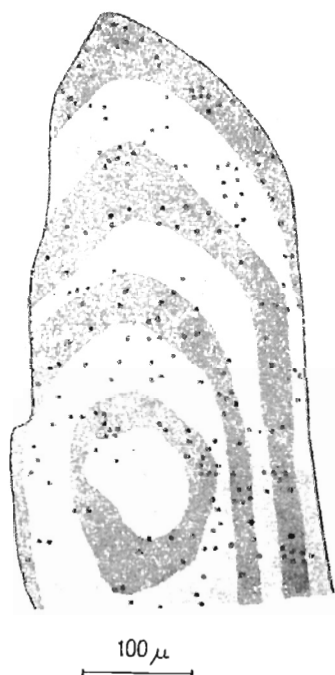


Fig. 2

Fig. 2. Allanit o budowie pasowej. Granit z Kostrzy. Masyw Strzegom — Sobótka. Kropki oznaczają miejsca, z których wychodzą cząstki alfa. Zaznacza się tendencja do nagromadzenia pierwiastków promieniotwórczych w ciemnych, bardziej żelazistych pasach

Allanite of zonal texture. Granite from Kostrza. Strzegom — Sobótka massif; the dots indicate points of start of trajectories of alpha particles. Visible is a tendency of accumulating radioactive elements in the dark, more ferrous bands

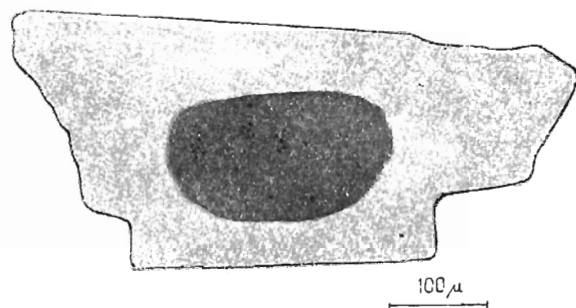


Fig. 3

Fig. 3. Plagioklaz z bardzo silnie zmienioną częścią środkową, wypełnioną wrostkami serycytu i epidotu. Granit ze Strzegomia. Kropki oznaczają miejsca, z których wychodzą tory cząstek alfa

Plagioclase with very strongly altered central part, which is filled by sericite and epidote inclusions. Granite from Strzegom. The dots indicate points of start of trajectories of alpha particles

larnych odizolowanych od siebie plam. Zwykle te odbarwione allanity są silnie zizotropizowane. Nie jest wykluczone, że odbarwienie oraz izotropizacja wywołane są przez promieniotwórcze działanie U i Th zawartych w allanicie.

Zmierzono radioaktywność alfa 27 kryształów allanitu z 13 próbek granitu (tab. 2). Z oznaczeń tych wynika, że allanity z granitów strzegomskich wykazują mniejsze wahania zawartości pierwiastków promieniotwórczych ($N = \text{od } 8,79 \text{ do } 32,53 \text{ a} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$) niż allanity z granitów karkonoskich ($N = \text{od } 1,61 \text{ do } 60,24 \text{ a} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$).

Punkty wyjścia torów cząstek alfa z powierzchni przekroju allanitów rozłożone są dość równomiernie (tabl. II, fig. 7, 8). Zaznacza się jednak pewna tendencja do grupowania w bardziej żelazistych, ciemniejszych pasach (fig. 2).

TYTANIT

Jest on jednym z najsilniej promieniotwórczych minerałów po cyrkonie i allanicie. Tworzy w skałe duże, przeważnie automorficzne ziarna. Na uwagę zasługuje fakt, że wahania zawartości pierwiastków promieniotwórczych są bardzo poważne. Zdarza się, że duże kryształy tytanitu, osiągające długość 1 mm, nie wykazują w ogóle promieniotwórczości alfa. Przeciętna radioaktywność badanych kryształów jest rzędu $n \cdot 10^{-3} \text{ a} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$.

Rozmieszczenie pierwiastków radioaktywnych jest dość równomierne w całej masie minerału. Można jednak zauważyć pewną tendencję do układania się ich wzdłuż drobnych szczelin i pęknięć. Tytanity zawierają zawsze pokazną zawartość pierwiastków ziem rzadkich i jak przypuszcza L. W. Tauson (1956) uran i tor zastępują te pierwiastki. Zaznacza się również pewna tendencja do adsorpcji tych pierwiastków na powierzchni minerału i jego spękań.

MINERAŁY U i Th

W około 30 szlifach pokrytych emulsją napotkano jedynie 2 bardzo drobne, wielkości kilku mikronów, czarne kryształy, wykazujące silną radioaktywność alfa. Mogły to być bardzo drobne kryształy uraninitu.

MINERAŁY WTÓRNE PO SKALENIACH

Skalenie badanych granitów są często silnie zmienione. Zmianom ulegają przede wszystkim centralne części plagioklazów (fig. 3; tabl. III, fig. 9), natomiast skałen potasowy, reprezentowany przez mikropertyt ortoklazowy, ulega im w mniejszym stopniu. Często przeobrażeniom ulegają skalenie wzdłuż drobnych pęknięć i płaszczyzn łupliwości. Mineralami wtórnymi powstałymi ze skałeni są: drobnoluseczkowy wysoko dwójłomny jasny łuszczyk i drobne nieprzezroczyste agregaty epidotu. W bardziej zmienionych skałeniach można zauważyć niewielkie skupienia kaolinitu.

Radioaktywność tych minerałów jest dość wysoka, jednak trudna do liczbowego ujęcia. Trudność ta wynika z niemożliwości ilościowego oznaczenia zawartości minerałów wtórnych, ze względu na ich bardzo małe wymiary i duże rozproszenie. Można jedynie określić w przybliżeniu, że około 10% torów cząstek alfa jest zlokalizowane w tych składnikach skały.

Wyjątkowo wysoką w tym przypadku aktywność serycytu, a w jeszcze większym stopniu epidotu, można tłumaczyć silnymi własnościami sorpcyjnymi tych minerałów, wynikającymi głównie z ich drobnokrystalicznej budowy.

Również i tu, podobnie jak w przypadku biotyту, istnieje pewna możliwość podstawiania jonów międzywarstwowych przez uran w odpowiednich warunkach.

SPEKANIA I GRANICE ZIARN

Drobne szczelinki, pęknięcia, szczeliny łupliwości oraz przestrzenie między ziarnami w badanych granitach (fig. 4; tabl. III, fig. 10) są bardzo często wypełnione minerałami wtórnymi: chlorytami, epidotem, serycytem itp., które ze względu na swą submikroskopową budowę są przeważnie nieoznaczalne.

Podobnie jak w przypadku minerałów wtórnych po skałeniach radioaktywność nie da się ująć liczbowo, a jedynie na podstawie obserwacji można oszacować, że stanowi dla spekań około 18% i dla granic ziarn około 5% całkowitej alfa radioaktywności skały.

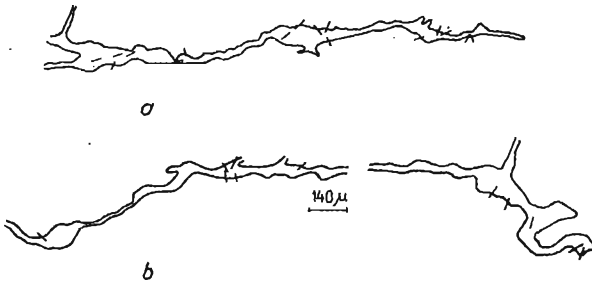


Fig. 4. a. Szczelina w kwarcu, wypełniona minerałami wtórnymi. Granit z Kraskowa. Masyw Strzegom — Sobótka

b. Szczelina w mikropertycie ortoklazowym, wypełniona minerałami wtórnymi. Granit ze Strzeblowa. Masyw Strzegom — Sobótka. Kreski oznaczają tory cząstek alfa

a. Fissure in quartz filled by secondary minerals. Granite from Krasków. Strzegom — Sobótka massif

b. Fissure in orthoclase micropertthite filled by secondary minerals. Granite from Strzeblów. Strzegom — Sobótka massif. Lines indicate trajectories of alpha particles

Radioaktywność alfa związana z minerałami wtórnymi wynosi na ogół około 30% całkowitej promieniotwórczości skały. Procesy prowadzące do nagromadzeń pierwiastków radioaktywnych są prawdopodobnie dwóch rodzajów: pierwszy związany z procesami typu hydrotermalnego lub metasomatycznego, które spowodowały serycytyzację i epidotyzację skały, drugi — z procesami wywołanymi przez wody descenzyjne.

Ze względu na małą ruchliwość toru w procesach pomagmowych, mamy tu prawdopodobnie do czynienia głównie z uranem wędrującym w postaci jonu uranylowego.

UWAGI KOŃCOWE

Reasumując obserwacje dokonane w powyższych badaniach należy stwierdzić, że pierwiastki radioaktywne rozmieszczone są w badanych granitach nierównomiernie. Większa ich część, wykrywalna w postaci centrów promieniotwórczości, występuje w pobliżu skupień biotyty i jest związana z takimi minerałami, jak allanit, tytanit, cyrkon.

Okolo 30% ogólnej zawartości substancji radioaktywnej w skale występuje w minerałach wtórnych, powstałych w wyniku przeobrażenia skałeni (serycyt, epidot) oraz w minerałach wypełniających spekania, szczeliny łupliwości i niekiedy przestrzenie międzyziarnowe (serycyt, epidot, chloryty i inne).

Główne minerały skałotwórcze: kwarc i skalenie wykazują bardzo niską aktywność alfa, rzędu $n \cdot 10^{-6}$ do $n \cdot 10^{-5} \alpha \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sek}^{-1}$. Również i w tym przypadku część pierwiastków promieniotwórczych może występować w bardzo drobnych szczelinkach i wrostkach.

W minerałach silnie radioaktywnych, jak cyrkon, allanit, tytanit, pierwiastki radioaktywne nie zawsze są rozłożone równomiernie w całej masie kryształu, lecz często wykazują tendencję do strefowego układania się, np. w jednym końcu kryształu, na brzegach, wzdłuż spękań itp. Niekiedy są one wyraźnie związane z powierzchniami kryształów niektórych minerałów lub powierzchniami ich spękań (cyrkon, tytanit, biotyt).

W cyrkonie i tytanicie można zauważyć tory cząstek alfa wychodzące z bliżej nieokreślonych wrostków w tych minerałach.

W przypadku allanitu o budowie pasowej przejawia się pewna tendencja do nagromadzenia się pierwiastków radioaktywnych w pasach o zwiększonej zawartości żelaza.

Wysnuwanie na podstawie przedstawionych tu wyników daleko idących wniosków dotyczących genezy substancji radioaktywnej w granicie byłoby przedwczesne. Jednakże wspomniane wyniki w zestawieniu z danymi zawartymi w wielu publikacjach rzucają pewne światło na to zagadnienie.

Przed wszystkim należy wyodrębnić dwa zasadnicze typy rozmieszczenia substancji radioaktywnej w skale.

1. Pierwiastki promieniotwórcze związane są z minerałami podrzędnymi krystalizującymi w etapie magmowym formowania się skały (cyrkon, allanit, tytanit).

2. Pierwiastki radioaktywne związane są z minerałami wtórnymi powstałymi w wyniku procesów pomagmowych (sercyt, epidot, chloryty itp.).

Skądinąd wiadomo, że w minerałach wymienionych w pierwszym typie zawartość toru przewyższa zawartość uranu wielokrotnie (kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt razy; M. Butschkowskyj, 1958). Biorąc natomiast pod uwagę minimalną ruchliwość toru w procesach pomagmowych niższych temperatur, należy przypuszczać, że radioaktywność alfa w minerałach wtórnych wywołana jest uranem.

Tak więc większa część (ponad 60%) ogólnej radioaktywności skały wywołana jest torem zawartym w niektórych akcesorycznych minerałach etapu magmowego, pozostała zaś część — uranem koncentrującym się prawdopodobnie w olbrzymiej większości w minerałach wtórnych.

Co się tyczy stosowanej tu metodyki badań należałoby jeszcze raz podkreślić, że bezpośrednie powlekanie emulsją jądrową badanych preparatów pozwala na bardziej wnikliwą obserwację niż to jest możliwe w przypadku stosowania klisz jądrowych. Metoda ta nadaje się do badań petrograficznych i geochemicznych nad różnymi typami skał i może być bardzo pomocna przy rozwiązywaniu zagadnień dotyczących wędrówki pierwiastków promieniotwórczych w procesie deferencjacji magmowej, w procesach egzogenicznych lub przy ustalaniu genezy złóż tych pierwiastków.

PIŚMIENNICTWO

- BIETIECHTIN A. G. (1955) — Mineralogia. Wyd. Geol. Warszawa.
- BUTSCHKOWSKYJ M. (1958) — Minerales Radioactivos. Establecimiento Grafico E.G.L.H. Buenos Aires.
- COPPENS R. (1950) — Sur l'emploi de l'émulsion photographique pour la détermination de la radioactivité des roches par l'examen des trajectoires des rayons α . *J. Phys. Rad.*, 11, p. 21—32. Paris.
- CURIE I. (1946) — Sur la possibilité d'étudier l'activité des trajectoires des rayons α dans l'émulsion photographique. *J. Phys. Rad.*, 7, p. 313—319. Paris.
- GRYGOLEWICZ Z. (1959) — Badania nad promieniotwórczością granitów ze Strzelina i Kudowy. *Acta geoph. pol.*, 7, nr 2, p. 50—53. Warszawa.
- HEE A., DERVILLE R. P., JAROVOY M. D. (1954) — Determination of the radioactivity of the Quincy granite by the photographic method. *Amer. J. Sci.*, 252, p. 736—744, nr 12. New Haven.
- ЛАРСЕН Э. С., ФЕР Г., ГОТТФРИД Д., СМИТ В. С. (1958) — Уран в магматической дифференциации. Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева [1955]. Гос. Науч.-тех. Изд. Лит. Геол. Охр. Недр, 6, стр. 288—294. Москва.
- НЕУЕРБУРГ Г. (1958) — Уран в изверженных породах Соединенных Штатов Америки. Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева [1955]. Гос. Науч.-тех. Изд. Лит. Геол. Охр. Недр, 6, стр. 284—294. Москва.
- PICCIOTTO E. E. (1950) — Distribution de la radioactivité dans les roches éruptives. *Bull. C.P.N.U.L.*, nr 16—16a. Bruxelles.
- PIENKOWSKI S., RIGIEROWA R., SZWACKA C. J. i inni (1955) — Typy rozmieszczenia substancji promieniotwórczych w skałach polskich. *Arch. min.*, 19, p. 1—7, nr 1. Warszawa.
- ROUBAULT M., COPPENS R. (1955) — Sur les relations entre certains gîtes filoniens d'uranium et la présence d'inclusions radioactives dans les roches encaissantes. *C.R.*, 240, p. 1248—1250. Paris.
- SMULIKOWSKI K. (1959) — Zagadnienie genetycznej klasyfikacji granitoidów. *Studia geol. pol.*, 1, nr 1. Warszawa.
- СТАРИК И. Е., ЛАЗАРЕВ К. Ф. (1959) — О форме нахождения атомов урана и тория в радиоактивных минералах. *Радиохимия*, 1, стр. 60—65, № 1, Москва.
- SZWACKA C. J. (1955) — Analiza promieniotwórczości granitu z Karkonoszy. *Arch. min.*, 19, p. 9—15, nr 1. Warszawa.
- TAMBURINO S. M., STELLA A. (1952) — Determinazione della radioattività di una pegmatite di Delianova mediante emulsioni nucleari esposte a strati di doccia polverizzata e compressa ed a sezioni sottili. *Nuovo Cimento*, 9, p. 255—268, nr 3. Bologna.
- ТАУСОН Л. В. (1956) — К геохимии урана в гранитоидах черновинского массива (горный Алтай). *Геохимия*, № 3, стр. 9—17. Москва.
- YAGODA H. (1949) — Radioactive measurements with nuclear emulsion. *John Wiley Sons. New York*.

Александр ЕЛИНЬСКИ, Юзеф ЛИС

**ПОПЫТКА ПРИМЕНЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ
РАЗМЕЩЕНИЯ УРАНА И ТОРИЯ В МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ НА ПРИ-
МЕРЕ ГРАНИТОИДОВ**

Резюме

В статье представлены результаты исследований по размещению урана и тория в гранитоидных массивах Карконошской и Стржегома-Собутки.

Исследования проведены методом микроавтрадиографии альфа, применяя шлифы покрытые ядерной эмульсией.

Наблюдения проводились под микроскопом МИН-4 с окуляром 15 X и иммерсионным объективом 90 X.

Исследовано 13 образцов гранита, взятых из разных мест упомянутых массивов.

Сопоставлено содержание радиоактивных элементов в породе и отдельных минералах.

Детальным наблюдениям подвергались кварц, полевые шпаты, биотит, роговая обманка, окиси железа, циркон, алланит, продукты распада полевых шпатов, трещины и границы зерен.

На основании исследований сделано следующие выводы:

1. Радиоактивные элементы размещены в исследуемых гранитах неравномерно.
2. Большая часть (свыше 60%) общей радиоактивности породы связана с минералами магматической фазы (циркон, алланит, титанит) и вероятнее всего вызвана главным образом торием.
3. Остальная часть радиоактивности породы связана с вторичными минералами, в которых концентрируется большая часть содержащегося в породе урана.

Aleksander JELIŃSKI, Józef LIS

**ATTEMPT AT APPLICATION OF NUCLEAR EMULSION FOR INVESTIGATION
OF URANIUM AND THORIUM IN MAGMATIC ROCKS, SUCH AS GRANITOIDS**

Summary

The authors have presented the results of their search of distribution of uranium and thorium in the granites of the Karkonosze and the Strzegom — Sobótka massifs in the Sudeten Mountains.

This research was undertaken by the method of alpha microautoradiography, using thin sections covered with nuclear emulsion.

The authors made their observations with a MIN-4 microscope equipped with a 15 X eyepiece and a 90 X immersion objective.

They examined 13 granite samples taken from various points of the massifs under discussion.

Their detailed observations comprised: quartz, feldspars, biotite, hornblende, iron oxides, zircon, allanite, secondary minerals from feldspars, as well as cracks and contours of grains.

The results of their observations the authors have presented in the following conclusions:

1. The radioactive elements are irregularly distributed within the investigated granites.

2. The major part (more than 60%) of the total radioactivity of the rock is connected with accessory minerals of the magmatic phase (zircon, allanite, titanite), and is probably chiefly caused by thorium.

3. The remaining share of radioactivity is produced by secondary minerals in which the major part of uranium content of the rock is concentrated.

TABLICA I

Fig. 5. Kryształ cyrkonu na granicy biotyту i kwarcu. Granit ze Strzeblowa. Masyw Strzegom — Sobótka. Tory cząstek alfa zgrupowane są na brzegu w jednym końcu kryształu

Zircon crystal on boundary of biotite and quartz. Granite from Strzeblów. Strzegom — Sobótka massif; trajectories of alpha particles grouped along rim at one end of crystal

Fig. 6. Kryształ cyrkonu w biotycie. Granit ze Strzeblowa. Masyw Strzegom — Sobótka. Tory cząstek alfa rozmieszczone równomiernie na całej powierzchni przekroju minerału

Zircon crystal in biotite. Granite from Strzeblów. Strzegom — Sobótka massif; trajectories of alpha particles evenly distributed over entire surface of mineral section

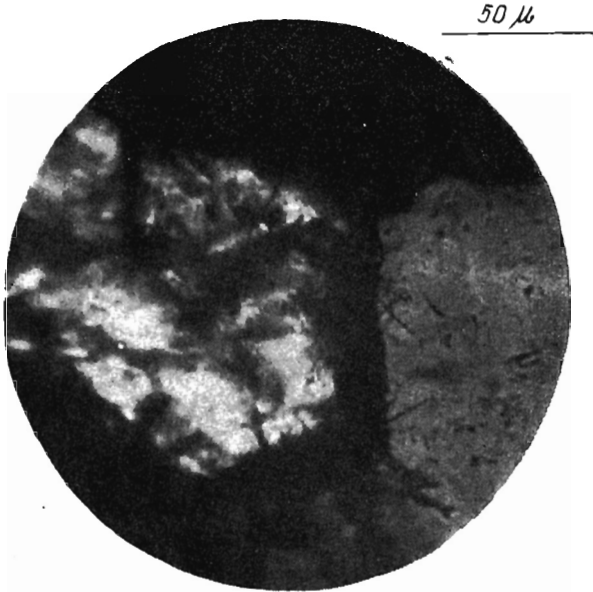


Fig. 5

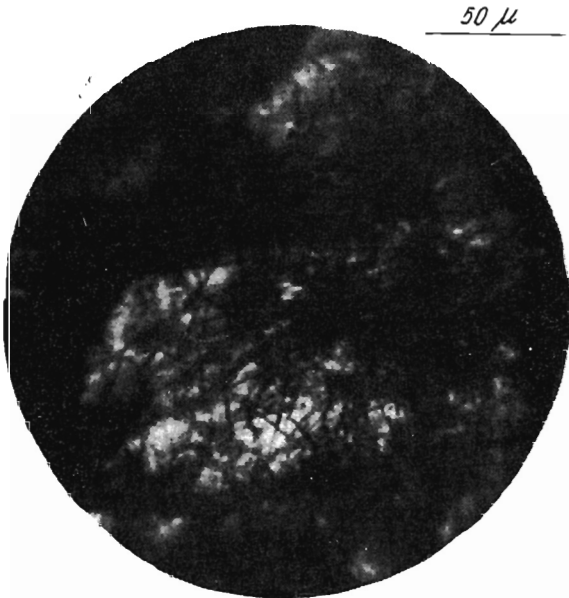


Fig. 6

TABLICA II

Fig. 7. Kryształ allanitu w skaleniu. Granit ze Szklarskiej Poręby, masyw Karkonoszy. Tory cząstek alfa rozmieszczone nierównomiernie na powierzchni przekroju minerału

Allanite crystal in feldspar. Granite from Szklarska Poręba. Karkonosze massif; trajectories of alpha particles evenly distributed over surface of mineral section

Fig. 8. Allanit o budowie pasowej w plagioklazie. Granit z Kostrzy. Masyw Strzegom — Sobótka. Tory cząstek alfa rozmieszczone dość równomiernie na całej powierzchni przekroju minerału

Allanite of zonal texture in plagioclase. Granite from Kostrza. Strzegom — Sobótka massif; trajectories of alpha particles fairly evenly distributed over entire surface of mineral section

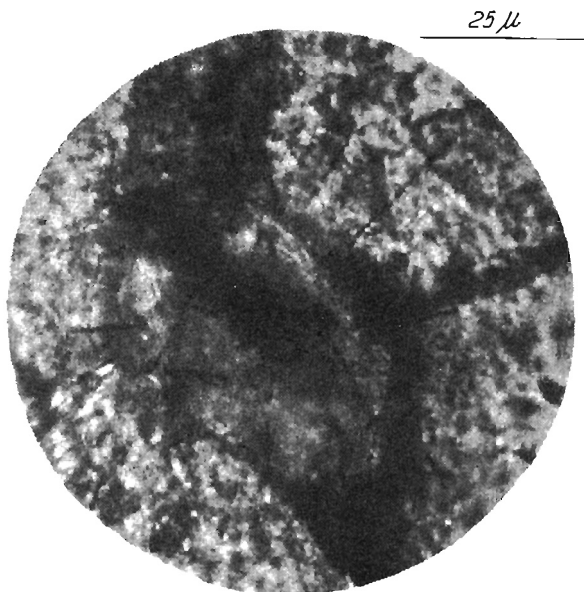


Fig. 7



Fig. 8

Aleksander JELIŃSKI, Józef LIS — Próba zastosowania emulsji jądrowej do badań nad rozmieszczeniem uranu i toru w skałach magmowych na przykładzie granitoidów

TABLICA III

Fig. 9. Plagioklaz z bardzo silnie zmienioną częścią środkową, wypełnioną wrostkami serycytu i epidotu. Granit z Michałowic. Masyw Karkonoszy. Nikole skrzyżowane

Plagioclase with wery strongly altered central part which is filled by sericite and epidote inclusions. Granite from Michałowice. Karkonosze massif. Crossed nicols

Fig. 10 Szczelina w kwarcu, wypełniona chlorytem. Granit z Michałowic. Masyw Karkonoszy. Największe nagromadzenie pierwiastków promieniotwórczych związane jest z rozszerzeniem szczeliny

Fissure in quartz filled by chlorite. Granite from Michałowice. Karkonosze massif; greatest accumulation of radioactive elements in widened part of fissure

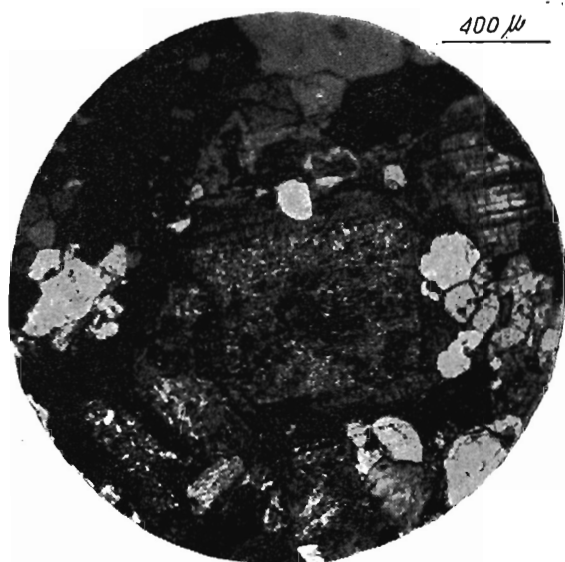


Fig. 9

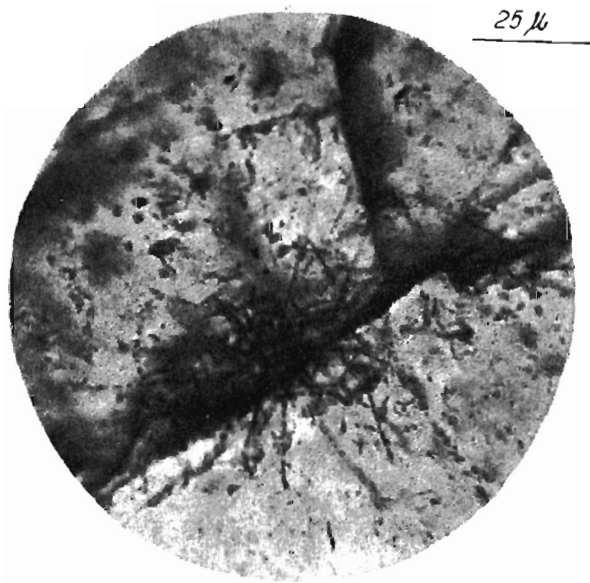


Fig. 10