

Jadwiga PAWŁOWSKA

Homogenizacja i dekrepitacja w badaniach temperatury powstawania minerałów i skał

WSTĘP

W Instytucie Geologicznym w Warszawie podjęte zostały ostatnio badania nad temperaturą powstawania minerałów i skał. Wyposażenie pracowni nie jest jeszcze kompletne, niemniej już obecnie można podejmować badanie problemów genetycznych w oparciu o dokładne pomiary na specjalnie skonstruowanej aparaturze. Dotyczy to zwłaszcza minerałów i skał hydrotermalnych oraz pneumatolitycznych. Minerale przejrzyste mogą być badane przy pomocy kamery ogrzewczej, połączonej z obserwacjami mikroskopowymi, natomiast minerale inne, nieprzejrzyste, mogą być seryjnie badane za pomocą dekrepitometru. Pierwsze prace doświadczalne są już ukończone, a niektóre wyniki tych eksperymentów są przedmiotem niniejszego artykułu. Głównym celem tych prac było ustalenie warunków technicznych pomiarów na kamerze ogrzewczej i na dekrepitometrze oraz określenie ewentualnego błędu i zgodności wyników.

Badanie homogenizacji inkluzji prowadzone było na stoliku ogrzewczym typu „Boetius” produkcji seryjnej NRD, którego zakres temperatury nie przekracza 500°C . Pomiar temperatury dokonywany był termoparą Fe-Konst, która została dodatkowo wmontowana do kamery. W zakresie od 20 — 200°C pomiary termoparą kontrolowane były fabrycznie zainstalowanym termometrem rtęciowym. Do obserwacji przebiegu procesu homogenizacji stosowany był mikroskop biologiczny produkcji PZO, typ MB-20. Najczęściej stosowane i najkorzystniejsze do tego typu badań powiększenie wynosiło około $100\times$. Stolik ogrzewczy jest łatwo i szybko montowany na stoliku obrotowym lupy po wywierceniu w nim dodatkowych otworków na uchwyty stolika ogrzewczego. Po zdjęciu stolika ogrzewczego z podstawy mikroskopu możliwe są również ogólne obserwacje przy powiększeniu 180 i $375\times$.

Pracownia dysponuje również kamerą ogrzewczą konstrukcji J. A. Dołgowa i L. S. Bazarowa (1965), której zakres stosowania jest dużo większy — od 50° do 1100°C .

Preparaty do badań homogenizacji wykonuje się dość prosto i łatwo przy użyciu normalnej techniki szlifierskiej. Z kryształów i skał prze-

rzystych wycina się płytki o grubości 2 do 3 mm. Płytki muszą być doskonale wypolerowane po obu stronach. Można je wycinać w dowolnym przekroju, równolegle lub prostopadle do dłuższej osi kryształu. Niektóre odłupki kryształów, np. kalcytu lub miki, nie wymagają żadnej obróbki wstępnej.

Aparatura do pomiarów dekrepitacji została zaprojektowana i zbudowana przez brygadę racjonalizatorską. Głównymi konstruktorami byli inżynierowie Janusz Brzęczkowski i Tomasz Janiszewski z Warszawy. Konsultacje naukowe odnośnie do teoretycznych podstaw badawczych oraz wskazówki metodyczne udzielała autorka, będąc jednocześnie organizatorem całości prac związanych z budową dekrepitometru. Aparatura ma charakter prototypu i wzoru użytkowego, a niektóre elementy techniczne będą zgłoszone w Urzędzie Patentowym PRL. Bliższy opis techniczny dekrepitometru jest przedstawiony w osobnym artykule (J. Brzęczkowski, T. Janiszewski, J. Pawłowska, 1971). Badania przy pomocy dekrepitometru prowadzi się na preparatach proszkowych, przy czym grubość frakcji jest zależna od wielkości inkluzji, wytrzymałości ziarn na rozrywanie, czułości wzmacniacza itp.

Całość badań tego typu należy do dziedziny naukowej zwanej geotermometrią, stosowanej od wielu lat w krajach produkujących. Artykuł wstępny na temat pełnego zakresu badań stosowanych w geotermometrii został opublikowany wcześniej (J. Pawłowska, 1969). W niniejszym artykule uwaga skoncentrowana będzie jedynie na metodyce badań inkluzji gazowo-ciekłych. Technika badań inkluzji metodą homogenizacji i dekrepitacji jest przedmiotem licznych prac badawczych naukowców zagranicznych, a wyniki podawane są sukcesywnie w wielu czasopismach naukowych oraz specjalnych wydawnictwach. Najwięcej wiadomości metodycznych znaleźć można w opracowaniach N. P. Jermakowa (1948, 1965), J. A. Dołgowa (1965a, b), W. A. Kaliuznego (1960) oraz F. G. Smitha (1968). Publikacje te są ogólnie dostępne w bibliotekach naukowych, toteż w niniejszym artykule podany zostanie jedynie zarys teorii stosowanych u nas metod, licząc na to, że zainteresowani rozszerzą wiadomości studiując literaturę źródłową. Dla czytelników polskich dziedzina ta jest na razie nowa, w związku z czym trudno jest przedstawić literaturę rodzimą i historię badań.

ZARYS TEORII HOMOGENIZACJI

Pomagmowe roztwory krystalizacyjne są mieszaniną różnego rodzaju gazów i cieczy znajdujących się w stanie jednorodnym, zhomogenizowanym. W roztworach hydrotermalnych głównym składnikiem fizycznym jest ciekłe i gazowe H_2O , w roztworach pneumatolitycznych obok pary wodnej występuje przewaga innych gazów, a szczególnie pospolity jest dwutlenek węgla. W roztworach wodnych rozpuszczona jest również duża ilość różnych kationów, takich jak Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Stan fizyczny zhomogenizowanego, wieloskładnikowego roztworu jest zależny od temperatury, ciśnienia i objętości molowej każdego indywiduum chemicznego. Zgodnie z kwantowo-mechaniczną teorią budowy cząsteczek obszar współistnienia faz ciekłych i gazowych zależny jest także od sił wiążących cząsteczki (elektrostatycznych, magnetycznych i dyspersyjnych). W pro-

cesie krystalizacji minerału krople takiego roztworu są zamykane w obrębie kryształu, stając się w ten sposób naturalnymi świadkami środowiska chemicznego i warunków krystalizacji. Prócz składu chemicznego można na ich podstawie odczytać temperaturę ich zamykania, a przy sprzyjającym składzie fazowym także ciśnienie. Metoda homogenizacji inkluzji służy do określania temperatury.

Zhomogenizowany roztwór zakonserwowany w inkluzji rozdziela się po ochłodzeniu na różne fazy. Część pary wodnej skrapla się i przechodzi w stan cieczy, składniki gazowe, których punkty krytyczne znajdują się zazwyczaj w niższych temperaturach, pozostaną w swoim pierwotnym stanie, natomiast podwyższona koncentracja soli spowoduje wykryształizowanie najprostszych związków krystalicznych, takich jak halit czy sylwin. Różne fazy roztworu oddzielone są od siebie granicą fazową. Udział poszczególnych faz w obrębie ostudzonej inkluzji jest również zależny od pierwotnego składu chemicznego, temperatury i ciśnienia panującego w czasie krystalizacji. Skład chemiczny ma duży wpływ na ustalanie się obszarów ekstremalnych, linii granicznych wrzenia roztworu, punktów krytycznych równej objętości gazów i cieczy itp. Jeśli roztwór w chwili zamykania znajdował się w stanie fizycznym cieczy (poniżej temperatury wrzenia), to inkluzja po ochłodzeniu będzie wypełniona tylko cieczą i przeciwnie — roztwór zakonserwowany w punkcie wysoko przekraczającym parametry krytyczne, gdzie wszystkie składniki występowały w stanie gazowym, pozostanie w temperaturze pokojowej nasycony gazem. Punkty krytyczne dla czystej wody wynoszą odpowiednio 374°C i 217 atm. W metodzie homogenizacji wykorzystuje się tylko te inkluzje, w których roztwór wodny zamykany był w warunkach fizycznych nasyconej lub przegrzanej pary.

W zależności od ilości faz ustalających się w temperaturze pokojowej inkluzje dzieli się na jedno- dwu- lub wielofazowe. Inkluzje ciekłe lub gazowe zaliczane są do inkluzji jednofazowych, w innych, gdzie obserwowany jest pęcherzyk pary i ciecz — do inkluzji dwufazowych, a jeśli obok pary i cieczy występuje kryształek soli — do inkluzji trójfazowych. Metoda homogenizacji polega na podniesieniu temperatury całej płytki wraz z badaną inkluzją do stanu jednorodnego, zhomogenizowanego roztworu. Przejście rozdzielonych uprzednio faz w stan jednorodny jest obserwowane pod mikroskopem, a temperatura, w której nastąpił moment homogenizacji — na rejestratorze lub termometrze. Może ona być w pewnych warunkach przyjmowana jako najniższa temperatura krystalizacji minerału. Inkluzje dwu- i więcej fazowe są łatwe do rozpoznania pod mikroskopem, bowiem skroplona ciecz otacza zazwyczaj pęcherzyk gazowy zamknięty w środku (tabl. III, fig. 11). Jeśli w roztworze wodnym znajdowała się pewna ilość ciekłego CO₂, to para wodna zajmie po ochłodzeniu środkową część pęcherzyka (jasny punkt w środku), natomiast dwutlenek węgla utworzy na nim kulistą obwódkę (czarny krąg), a dalej ku peryferiom całkowitą objętość inkluzji zajmie ciecz. Inkluzja ma zazwyczaj wczesionowatą formę, w związku z czym ciecze obserwowane pod mikroskopem wykazują bogate refleksy świetlne. Często zdarza się, że prócz pary wodnej istnieje inna faza gazowa lub też w inkluzji zamknięte są dwie niemieszalne ze sobą ciecze (np. woda i ropa naftowa) i wówczas granice fazowe pomiędzy tymi składnikami są również rozpo-

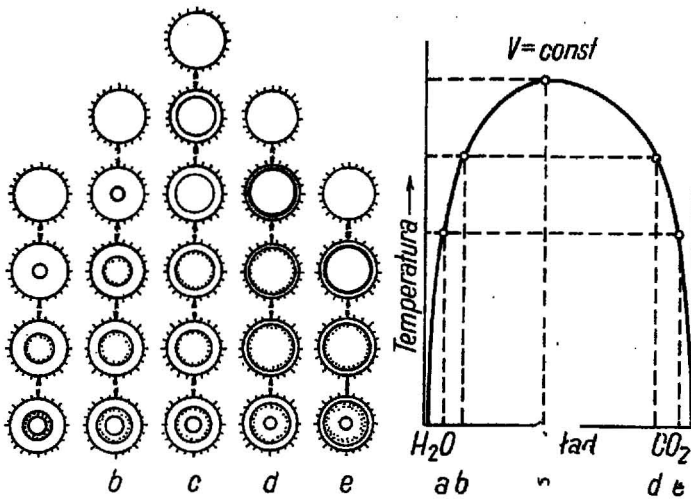


Fig. 1. Zmiany fazowe inkluzji przy ogrzewaniu (wg F. G. Smitha, 1968)

Phase transformations of inclusions during heating (after F. G. Smith, 1968)

a, b — przejście w fazę ciekłą; d, e — przejście w fazę gazową

a, b — transformation into liquid phase, d, e — transformation into gaseous phase

znawalne pod mikroskopem, przy czym gazy zajmują zawsze środkową część inkluzji.

W zależności od stosunku objętościowego pęcherzyka gazowego do objętości cieczy zamkniętej w inkluzji proces homogenizacji praktycznie polega bądź to na stopniowym zmniejszaniu się i zniknięciu pęcherzyka (I typ homogenizacji), bądź też na stopniowym powiększaniu tego pęcherzyka — aż do przejścia całego roztworu w stan gazowy (II typ homogenizacji). Stosunki objętościowe mogą być ustalone na drodze pomiarów przy pomocy okularu mikrometrycznego, ale w praktyce wystarcza po prostu obserwacja i wstępne określenie, z którym typem homogenizacji będzie się miało do czynienia. Jeśli w temperaturze pokojowej objętość pęcherzyka nie przekracza 30—35% całej inkluzji, to gaz będzie rozpuszczony w cieczy, jeżeli natomiast stosunek ten jest wyższy, to ciecz przejdzie w fazę gazową. Stosunki objętościowe w inkluzjach są podstawą metody wizualno-obliczeniowej, stosowanej także niekiedy w pomiarach temperatury. Schematyczny przebieg obydwu typów homogenizacji przedstawia fig. 1. Z uwagi na objętościowy stosunek gazu do cieczy wyróżnia się inkluzje gazowo-ciekłe ($G > C$) lub ciekło-gazowe ($G < C$).

Do oznaczenia temperatury wykorzystywana jest homogenizacja I typu, natomiast przemiana w fazę gazową ma duże znaczenie w barometrii. Przykładowo oznaczone ciśnienie w inkluzjach kwarcu pegmatytowego jednego z rejonów złożowych Związku Radzieckiego wynosiło od 610 do 680 atm, co pozwoliło stwierdzić, że temperatura homogenizacji była niższa od rzeczywistej temperatury powstawania o około 40°C. Wartość tę uwzględniono jako poprawkę do ciśnienia (A. M. Rachmanow, 1968). Me-

todyka badań geobarometrycznych jest przedstawiona w monografii W. A. Kaliuznego (1960), gdzie znaleźć można również bogatą bibliografię prac poświęconych temu problemowi. W jednym mineralu występują zazwyczaj obok siebie zarówno inkluzje gazowo-ciekłe, jak i ciekło-gazowe oraz tylko gazowe, toteż możliwe jest dokładne określenie poprawki na ciśnienie, pod warunkiem, że zostanie przeprowadzony cały komplet metod dostępnych badań. Ważna jest w takim przypadku kolejność badań, bowiem inkluzje homogenizujące według I typu wracają po następnym ochłodzeniu do pierwotnego stanu rozdziału na poszczególne fazy, natomiast te, które homogenizują w fazę gazową pozostają w stanie zhomogenizowanym, co zazwyczaj objawia się plamistym zaczernieniem płytki. Uniemożliwia to dalsze obserwacje, często bowiem gazy wykorzystują najmnijszą nieszczelność w skale, powodują lokalne rozsadzanie minerału i w efekcie zaciemniają nieraz dość duże partie płytki.

Poprawka na ciśnienie zmienia się w zależności od gęstości roztworu i koncentracji różnych soli. W literaturze znaleźć można wykresy służące do obliczania poprawki na ciśnienie dla 20 czy 30% roztworu NaCl lub KCl oraz inne. Dokładne zatem określenie poprawki wymaga prócz określenia poprawki na ciśnienie także ustalenia koncentracji soli. Określa się to różnymi metodami, ostatnio coraz częściej wprowadza się dla celów homogenizacji pomiary kryometryczne (zamrażanie). Jest to metoda szczególnie dogodna, uniwersalne kamery budowane seryjnie w niektórych krajach zachodnich pozwalają bowiem na uzyskiwanie temperatur od -50°C do $+600^{\circ}\text{C}$. Taki zakres temperatur umożliwia wykonanie pomiarów całego systemu czynników niezależnych, czyli temperatury, ciśnienia i składu chemicznego roztworu.

Poprawka na ciśnienie zmienia w sposób widoczny ustaloną temperaturę homogenizacji, jeśli ciśnienie rzeczywiste przekracza 200 atm. Poniżej tej wartości poprawka nie przekracza $5-7^{\circ}\text{C}$; co mieści się w zasadzie w granicach błędu i nie wpływa w sposób zasadniczy na rząd wielkości. Stwierdzenie to ma duże znaczenie w badaniach minerałów hydrotermalnych, które powstają zazwyczaj przy ciśnieniu dużo niższych niż 200 atm, dlatego też temperatura homogenizacji przyjmowana jest w tych przypadkach jako rzeczywista temperatura powstawania (najniższa).

Ze względu na pochodzenie wzrostki dzieli się na trzy grupy: pierwotne (syngenetyczne), pierwotno-wtórne i wtórne. W naturalnych procesach geologicznych rzadko zdarza się, aby minerał, który w swym rozwoju przechodził pewne ewolucje wiekowe, zawierał tylko jeden genetyczny rodzaj inkluzji. Obok wzrostków syngenetycznych występuje zazwyczaj kilka systemów wzrostków pierwotno-wtórnych, charakteryzujących okres narastania, regeneracji i rekrystalizacji minerałów. Zdarza się, że minerały powstające w złożach hipo- i mezotermalnych, a więc w temperaturach dość wysokich ($200-500^{\circ}\text{C}$) przechodzą również w końcowych stadiach krystalizacji przez niskie zakresy temperatur — rzędu $100-120^{\circ}\text{C}$. Tak dużą rozpiętość temperatur notuje się często w obrębie grupy inkluzji pierwotno-wtórnych. Duże znaczenie mają również inkluzje wtórne, których powstanie wiąże się nierzadko z procesami hipergenicznymi. Powstają one w szczelinach spękań dynamicznych, w interstycjach i innych strefach drożnych. Krążące roztwory przechodzą przez skały i minerały lite o zakończonym procesie konsolidacji, dlatego też ich wędrówka

możliwa jest tylko poprzez strefy uformowane wtórnie. Są to roztwory związane z młodszą pulsacją roztworów hydrotermalnych, ale częściej mamy tu do czynienia z roztworami descenzyjnymi, podgrzanyymi w procesach metamorficznych do pewnych temperatur, które również ustalić można przy pomocy homogenizacji. Czasami inkluzje wtórne zamykane były w temperaturach wyższych niż inkluzje pierwotno-wtórne lub nawet pierwotne.

Przykłady współwystępowania różnych typów genetycznych inkluzji są omówione w dalszej części tekstu, w rozdziale dotyczącym badań fluorytu i kwarcu. Niektóre przypadki są zilustrowane (tabl. I—V).

Dokładne rozróżnienie typu genetycznego inkluzji jest możliwe tylko w bezpośrednich obserwacjach pod mikroskopem, mają one jednak zasadnicze znaczenie dla prawidłowego ustalenia kolejności procesów. Są to badania trudne, łatwo w nich o pomyłki, ale prawidłowe określenie typu genetycznego inkluzji jest decydujące w całości badań i winno być niezwykle starannie przeprowadzone. Kryteria wyróżniające zależą niekiedy od indywidualnych cech badanego minerału i tylko poprzez odpowiednie porównanie i przy dokładnej znajomości morfologii kryształów można je z pożytkiem wykorzystać.

Fig. 2

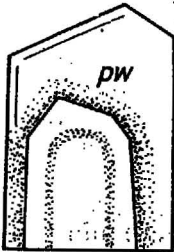
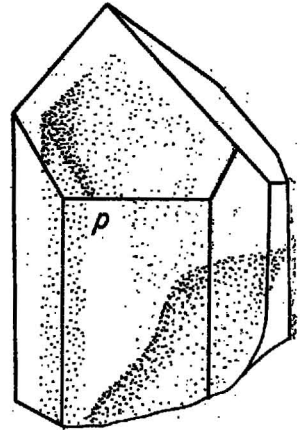
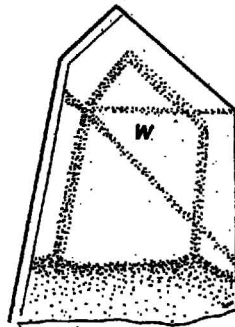
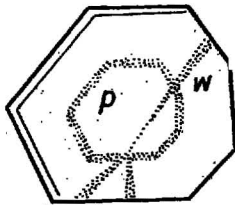


Fig. 3

Fig. 2. Rozmieszczenie inkluzji pierwotnych (p) oraz wtórnych (w) w kryształach
Distribution of primary (p) and secondary (w) inclusions within the crystals

Fig. 3. Rozmieszczenie inkluzji pierwotno-wtórnych (pw) w kryształach
Distribution of primary-secondary (pw) inclusions within the crystals

Wrostki pierwotne (syngenetyczne) występują najczęściej w kryształach powstających w bardzo przesyconym roztworze. Konserwacja kropelek roztworu uwarunkowana jest stopniowym, wielozarodkowym procesem wzrostu kryształu, toteż, jak twierdzi D. P. Grigoriew (1948), najbardziej dokładnym wskaźnikiem syngenetyczności inkluzji jest ich związek przestrzenny ze strefami wzrostu. Rozmieszczone są wówczas pasowo, przy czym strefy zagęszczonych inkluzji powtarzają nieraz wielokrotnie

ściany piramid, słupów, sześciątów itp. (fig. 2). Formy inkluzji pierwotnych są najczęściej prawidłowe, przypominające zarysy idiomorficznych kryształów, niekiedy roztwory wypełniają jednakowe w kształtach kawerny malejące w miarę oddalania się od zarodka krystalizacji. Pospolita jest w takich przypadkach strefowa zmiana temperatury homogenizacji, toteż właściwy zakres temperatury krystalizacji mieści się w dość dużym przedziale. Łatwiej jest w takich przypadkach operować rzędem wielkości temperatur niż dokładnymi danymi.

Inkluzje pierwotno-wtórne zgrupowane są zazwyczaj na płaszczyznach dorastania nowych generacji (fig. 3), w interstycjach regeneracyjnych (tabl. III, fig. 13) itp. Temperatura homogenizacji całej smugi regeneracyjnej jest zazwyczaj zbliżona, a różnice wynoszą kilka zaledwie stopni.

Wrostki wtórne mają zwykle zarysy nieregularne, wydłużone i izometryczne, sekrecyjne, postrzępione itp. Są najczęściej dużo większe niż wzrostki syngenetyczne i regeneracyjne. W jednym mineralu może występować również kilka systemów inkluzji wtórnych, różniących się między sobą kierunkami ułożenia oraz różną temperaturą homogenizacji.

Dokładność pomiarów temperatury homogenizacji wymaga również uwzględnienia ewentualnych błędów wynikających z konstrukcji kamery, izolacji i odpływu ciepła, oddalenia obserwowanej inkluzji od końcówki pomiarowej termopary czy termometru. Prace techniczne nad udoskonaleniem dokładności pomiarów i funkcjonalności kamery są w dalszym ciągu prowadzone w różnych laboratoriach światowych. Niemniej metoda homogenizacji oddaje już obecnie ogromne usługi w badaniach genetycznych i jest za granicą powszechnie stosowana. Ma ona tę przewagę nad innymi metodami termometrycznymi, że obiekty pomiarowe są dostępne do obserwacji, a sama technika pomiarów jest stosunkowo prosta. Przyjęcie roztworów inkluzji jako bezpośrednich świadków środowiska opiera się na stwierdzeniu braku wymiany składników chemicznych zamkniętych w inkluzji ze środowiskiem otaczającym. Pogląd ten jest przez niektórych badaczy krytykowany.

PODSTAWY TEORETYCZNE DEKREPITOMETRII

Metoda dekrepitacji bazuje na podobnych założeniach teoretycznych co i homogenizacja z tym, że nie prowadzi się tu żadnych obserwacji mikroskopowych, ale rejestruje się trzaski, które powstają przy rozrywaniu ziarna. Notowany przez aparaturę efekt „zrywu” jest wypadkową pomiędzy narastającym ciśnieniem wewnątrz inkluzji a wytrzymałością na rozrywanie badanych ziarn minerałów. Próbkę proszkową jest podgrzewana w odpowiednio skonstruowanym piecu, zawarte w ziarnach inkluzje dochodzą stopniowo do stanu pełnej homogenizacji, a po przekroczeniu temperatury homogenizacji ziarno jest rozrywane. Porównanie graficzne homogenizacji i dekrepitacji jest przedstawione na fig. 4.

Temperatura homogenizacji odpowiada na dekrepitogramie temperaturze pierwszych „zrywów” ziarn, osiągając następnie maksimum trzasków przy dalszym grzaniu. Jak to już wyżej powiedziano, ilość trzasków oraz ich nasilenie zależne są od stosunku objętości inkluzji do wielkości ziarna, ich rozmieszczenia w ziarnie, wytrzymałości ziarna na rozrywanie itp. Rzeczywiste efekty reguluje się wielkością frakcji używanych do

badania. Najczęściej stosowana grubość frakcji wynosi od 0,25 do 2 mm (W. B. Naumow, 1968). W wielu laboratoriach badano wpływ grubości ziarna na efekt dekrepitacji i stwierdzono, że najlepsze wyniki uzyskuje się przy rozmiarach ziarn przekraczających 8—10 razy objętość inkluzji. Sprawa komplikuje się w badaniach minerałów nieprzejrzystych, kiedy nic nie jest wiadomo o wielkości i ilości inkluzji. Pozostaje wówczas jedynie eksperymentalne dobranie wielkości frakcji w zależności od czułości i wzmocnienia aparatury. Należy dążyć do frakcji możliwie najdrobniejszych, bowiem zbyt duże przewyższenie stosunku frakcji do inkluzji wymaga automatycznie wyższych temperatur i zwiększa zakres błęd.

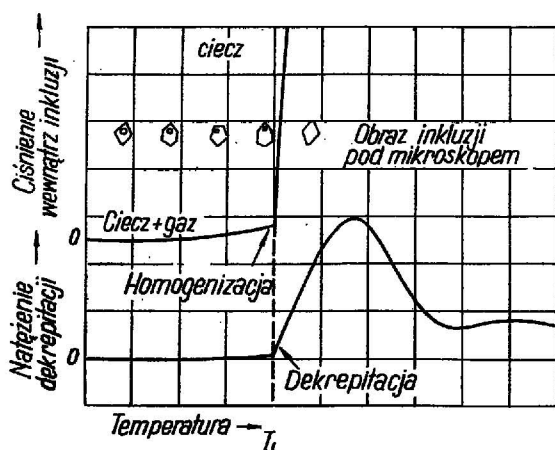


Fig. 4. Porównanie procesu homogenizacji i dekrepitacji inkluzji (wg F. G. Smitha, 1968)

Comparison of homogenization and decrepitation of the inclusions (after F. G. Smith, 1968)

Interpretacja dekrepitogramów nie jest zadaniem łatwym i tu kryje się również poważne źródło błędów. Aparatura odbierająca słabe trzaski próbek rejestruje również wszystkie inne dźwięki wprowadzone do mikrofonu, a szczególnie zbliżone częstotliwością do trzasków podstawowych. Do efektów zewnętrznych zaburzających tok analizy zaliczyć należy:

1. Efekty dźwiękowe wywołane pękaniem ziarna wzdłuż płaszczyzn łupliwości lub innych spękań i naprężeń wewnętrznych w ziarnie.
2. Trzaski zachodzące pod wpływem przemian polimorficznych w minerale.
3. Masowy rozpad ziarn wskutek utlenienia badanego materiału.
4. Zaburzenia i dźwięki zależne od właściwości konstrukcyjnych aparatury, takie jak nagrzewanie spirali grzejnej pieca, efekty dźwiękowe w sieci elektrycznej oraz inne odgłosy zewnętrzne w pomieszczeniu laboratoryjnym.

Pęknięcie ziarn spowodowane innymi przyczynami niż „zrywy” wskutek ciśnienia w inkluzjach mogą być częściowo usunięte poprzez wstępne prażenie frakcji przygotowanych do przesiania. Temperatura obróbki

przygotowawczej musi być oczywiście dużo niższa niż przewidywana homogenizacja inkluzji. Stwierdzono, że ziarna osłabione spękaniami pękają zazwyczaj w niższych temperaturach. Zdarzają się oczywiście mimo starannych przygotowań przypadki nakładania się efektów dźwiękowych, które podwyższają uzyskiwane anomalie właściwe. Duży kłopot sprawiają przy interpretacji pojedyncze silne trzaski, co powoduje, że obraz anomalii jest rozciągnięty w szerokim zakresie temperatury, zawiązując przez to możliwość szerszej interpretacji dotyczącej inkluzji wtórnych lub pierwotno-wtórnych. Dlatego też należy zawsze dążyć do wykorzystania wszystkich możliwości wykonania bezpośrednich obserwacji pod mikroskopem nie tylko samych inkluzji, ale także normalnych płytek cienkich lub zgładów. Jest to niezbędne zwłaszcza przy określaniu rodzaju badanego minerału, a szczególnie tych, które mogą ulegać przemianom monoi enantiotropowym oraz polimorficznym.

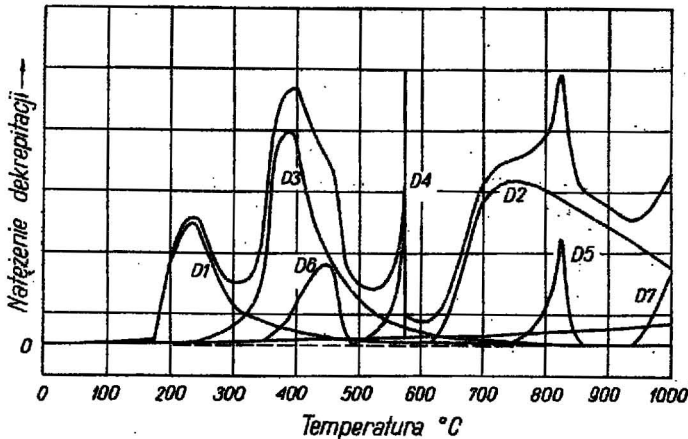


Fig. 5. Schematyczne dekrepitogramy wg F. G. Smitha (1968)

Schematic decrepigraphs after F. G. Smith (1968)

D1 — zrywy inkluzji gazowo-ciekłych; D2 — wzrostki krystaliczne; D3 — fałszywa dekrepitacja wskutek utlenienia minerałów hydrotermalnych; D4 — przemiana fazowa kwarcu; D5 — przekształcenie polimorficzne; D6 — demetamiktyzacja; D7 — topliwość minerału

D1 — break outs of gaseous-liquid inclusions; D2 — crystalline inclusions; D3 — anomalous decrepitation due to oxidation of hydrothermal minerals; D4 — phase transformation of quartz; D5 — polymorphic transformation; D6 — demetamiktization; D7 — melting point of the mineral

Wyraźnie wysokie anomalie i masowy rozpad ziarn zaznacza się przy utlenianiu. Częstotliwość i intensywność trzasków jest zupełnie zbliżona do właściwych efektów dekrepitacji i jest niekiedy mylnie przyjmowana przez badaczy za wskaźnik temperatury powstawania. Jest to tak zwana fałszywa dekrepitacja, a w ostatnich latach problemowi temu poświęca się wiele uwagi (W. B. Naumow, 1968). Fałszywa dekrepitacja wywołana utlenianiem barytu zachodzi w temperaturze powyżej 270–280°C, fluorytu — 290°C, galeny — 300°C, sfalerytu — 330°C i pirytu powyżej 400°C. Podobne wartości wykazują również inne minerały pochodzenia

hydrotermalnego. Badania nad fałszywą dekrepitacją innych minerałów są w dalszym ciągu prowadzone. W dekrepitacji należy zatem wykorzystywać wnioski uzyskane z badań całej asocjacji mineralnej, indywidualnie dla każdego złoża i w miarę możliwości porównywać uzyskiwane temperatury z wynikami bezpośrednich obserwacji mikroskopowych nad homogenizacją inkluzji. Jeśli badana asocjacja zawiera kwarc, który wykazuje przemiany polimorficzne w stosunkowo wysokich temperaturach, to korzystnie jest opierać wnioski genetyczne o badanie tego minerału.

Zwykle na jednym dekrepitogramie pojawia się kilka anomalii, a od właściwej ich interpretacji zależy dokładność ustalonych wniosków. Różne typy krzywych dekrepitacyjnych przedstawia fig. 5. Właściwe rozróżnienie anomalii wymaga dużo doświadczenia interpretatora. Duże znaczenie ma w tym przypadku praktyka i doskonała znajomość indywidualnych cech technicznych aparatury. Poprzez badanie ślepe można wyeliminować wiele nakładających się dźwięków wywołanych własnościami materiału konstrukcyjnego. Tak na przykład można dokładnie ustalić wartość anomalii oraz odpowiadające im temperatury wywołane trzaskami spirali pieca, samoczynnym włączaniem programowanego przyrostu temperatury itp.

Metoda dekrepitacji jest coraz powszechniej stosowana, mimo iż nie jest ona tak dokładna jak poprzednio omówiona homogenizacja. Popularność swą zawdzięcza głównie możliwości szybkiego oznaczania, dzięki czemu można w krótkim czasie zebrać dużą ilość analiz do interpretacji statystycznej. Jest ona ponadto przydatna do analizy minerałów i skał nieprzejrzyistych. Ostatnio coraz częściej stosuje się metodę dekrepitacji do poszukiwań ślepych złóż magmowych, pneumatolitycznych i hydrotermalnych. Szczególnie cenna jest ona w poszukiwaniach bezkruszcowych pegmatytów.

ANALIZA PORÓWNAWCZA WYNIKÓW BADAŃ

Badania porównawcze metodą homogenizacji i dekrepitacji przeprowadzono na przejrzystych minerałach żyłowych fluorytów oraz kwarcu. Z tych samych okazów wykonano płytki do badań mikroskopowych oraz próbki ziarnowe do badań na dekrepitometrze. W badaniach eksperymentalnych ustalono, że najkorzystniejsza była frakcja 0,30—0,75 mm.

Szczegółne bogactwo inkluzji zaobserwowano we fluorycie. Wśród inkluzji wyróżniono zarówno inkluzje gazowe i ciekłe, jak też ciekło-gazowe i gazowo-ciekłe. Reprezentowane były wszystkie typy genetyczne: wrostki pierwotne (tabl. I, fig. 9 i 10), pierwotno-wtórne (tabl. II, fig. 11 i 12; tabl. III, fig. 13 i 14) oraz wrostki wtórne (tabl. IV, fig. 15 i 16). Największy udział zajmowały inkluzje pierwotno-wtórne oraz wtórne. Wielkość inkluzji była różna — od dziesiątych części mikrona do dziesiątych części milimetra.

W obrębie wrostków pierwotnych i regeneracyjnych największy udział miały inkluzje homogenizujące według I typu, natomiast wśród wtórnych częściej spotykało się inkluzje homogenizujące w fazę gazową. Ustalone temperatury homogenizacji pozwoliły na wysunięcie niektórych wniosków co do etapów powstawania minerału i dopływu roztworów hydrotermalnych do żyły. Niewielka ilość inkluzji pierwotnych homoge-

nizujących w fazę gazową wskazuje, że ciśnienie w trakcie krystalizacji fluorytu nie przekraczało 200 atm, toteż oznaczona temperatura homogenizacji nie wymaga dodatkowej poprawki i może być przyjęta jako najniższa temperatura krystalizacji. Wykonano ponad 30 oznaczeń, przy czym najniższe temperatury wynosiły 202°C, a najwyższe 260°C. Temperatura krystalizacji głównej mieściła się zatem w zakresie 200—260°C.

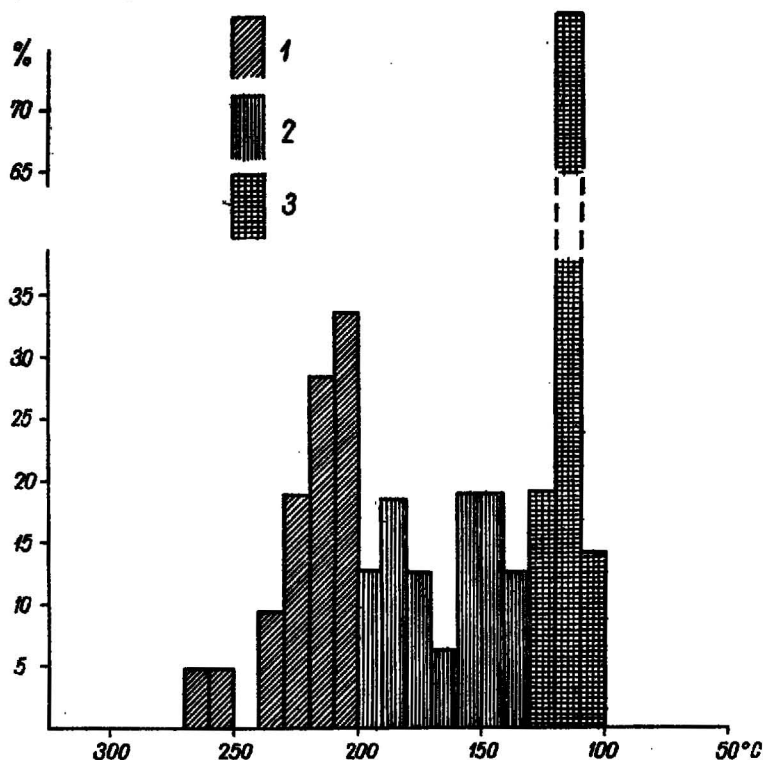


Fig. 6. Temperatura homogenizacji inkluzji we fluorycie
Homogenization temperature of inclusions in fluorite

1 — inkluzje pierwotne, 2 — inkluzje pierwotno-wtórne, 3 — inkluzje wtórne

1 — primary inclusions, 2 — primary-secondary inclusions, 3 — secondary inclusions

Etap regeneracyjny i rekryształacyjny rozpoczął się prawdopodobnie bezpośrednio po głównej fazie mineralizacji. Świadczą o tym wysokie temperatury homogenizacji inkluzji pierwotno-wtórnych. Proces rekryształizacji rozpoczyna się według N. P. Jermakowa (1948) narastaniem dendrytów krystalicznych w płaszczynach interstycyjnych minerałów. Kryształy fluorytu mają pokrój regularny, płaszczynny interstycyjny przebiegają więc wzdłuż linii prostych i taki też jest układ inkluzji regeneracyjnych (tabl. II, fig. 11 i 12). Obok nich rozwijają się również systemy drugiego i trzeciego rzędu. Krystalizujące w szczelinach dendryty przechodzą zmiany skierowane na zmniejszenie energii wewnętrznej, przy zachowaniu stałej objętości. W powstające w nich pustki i kawerny

wdzierają się następne porcje roztworów, mające również charakter regeneracyjny, niemniej wtórny w stosunku do głównego etapu krystalizacji i dendrytów zablizniających. Temperatura krystalizacji inkluzji regeneracyjnych rozciąga się zatem w dość szerokim przedziale. Oznaczenia temperatury homogenizacji wykazują, że fluoryt przechodził dwa etapy zablizniające, pierwszy w zakresie temperatur 200—175°C i drugi,

którego maksimum przypada na zakres 160—140°C (fig. 6).

W przeciwieństwie do inkluzji regeneracyjnych inkluzje wtórne nie mają charakteru zablizniającego, a często działają osłabiająco na zwieźłość kryształów. Powstawały one w szczelinach łupliwości, ślizgów, a roztwory cyrkulujące nie zawsze zapełniały całkowicie nowymi kryształami szczeliny, wzdłuż których krążyły. Drobne kryształki z inkluzjami wytrącały się zapewne z roztworów często już zupełnie chłodnych i o różnym składzie chemicznym. Inkluzje wtórne fluorytów homogenizowały w temperaturach od 100—130°C, przy czym ogólnie biorąc, inkluzji gazowo-ciekłych przydatnych do oznaczenia temperatury było wśród nich bardzo mało, większość była przesycona gazowym dwutlenkiem węgla.

Oznaczenia temperatur wykonane na dekrepitometrze pozwalają na usta-

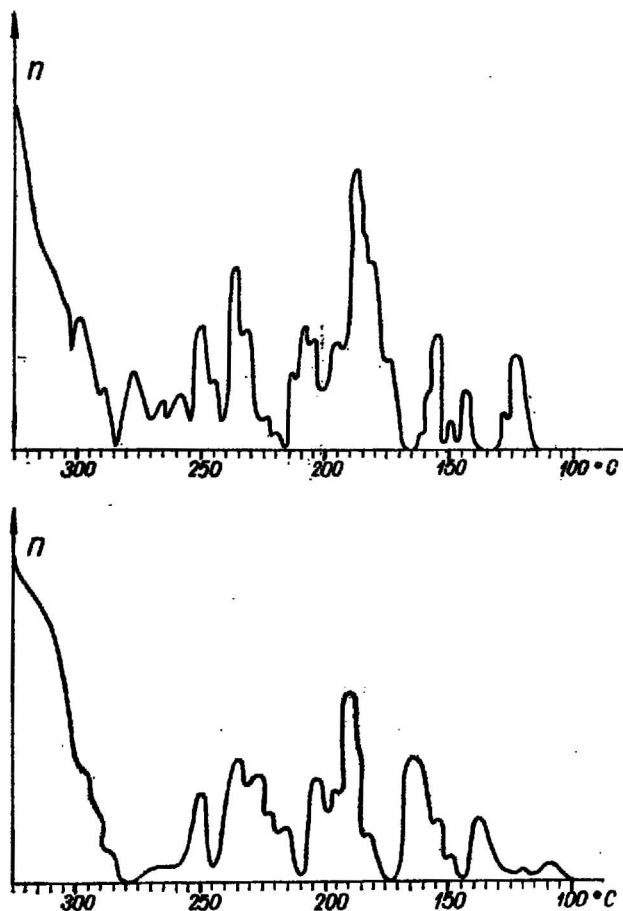


Fig. 7. Dekrepitogramy fluorytu
Decrepigraph of fluorite

lenie zbliżonych wniosków w porównaniu do uzyskanych metodą homogenizacji. Na wykresie (fig. 7) uzyskano kilka maksimumów, przy czym pierwsze niewielkie anomalie zaczynają narastać w temperaturze 105 i 120°C. Można je podporządkować inkluzjom wtórnym.

Inkluzje regeneracyjne wyznaczają dwie anomalie, pierwsza wzrasta przy temperaturze 140°C, a druga przy 170°C. Następne piki zaczynają wzrastać w zbliżonej temperaturze: 215 i 220°C. Te ostatnie odpowiadają głównemu etapowi krystalizacji fluorytu. Najwyższe maksima zaznaczają się w temperaturze początkowej 285°C. „Zrywy” te były masowe, co

wskazuje na rozpad ziarn pod wpływem utlenienia minerału. Jest to temperatura bardzo zbliżona do fałszywej dekrepitacji fluorytu, wykazanej przez W. B. Naumowa (1968).

Tabela 1

Temperatura powstawania fluorytu określona metodą homogenizacji i dekrepitacji

Rodzaj inkluzji	Temperatura homogenizacji °C	Temperatura powstawania wg dekrepitacji	Różnica °C
Pierwotne	202—261	215	+13
Pierwotno-wtórne (regeneracyjne)	130—160	140	+10
	165—195	170	+5
Wtórne (hipergeniczne)	102—123	110	+8

Wyniki badań temperatury uzyskane dwiema metodami przedstawiono w tab. 1. Z porównania wynika, że temperatury powstawania fluorytu określone metodą homogenizacji i dekrepitacji są bardzo zbliżone, a różnica od 5 do 13°C wynika jedynie z konieczności pewnego przegrzania cieczy w inkluzjach dla podniesienia ciśnienia wewnętrznego, które powoduje rozpad ziarna w dekrepitometrze. Mając na uwadze, że moment homogenizacji wskazuje najniższą temperaturę krystalizacji, można zatem uznać podwyższony nieco zakres temperatury uzyskany w dekrepitometrze jako bardziej zbliżony do warunków rzeczywistych. W przypadku analizowania procesów geologicznych, gdzie idzie zwykle o rząd wielkości, badania uzyskane za pomocą dekrepitometru dają więc wystarczającą dokładność.

Równie obiecujące wyniki uzyskano badając kwarc. Analizowane były okruchy kryształu górskiego oraz przejrzyste partie kwarcu żyłowego. Wśród inkluzji pierwotnych najczęściej spotykano inkluzje czysto gazowe. Znacznie mniej było innych typów, głównie były to inkluzje gazowo-ciekłe. W niektórych strefach spotykano także bardzo drobne inkluzje ciekłe. Przeważały zdecydowanie wrostki pierwotne oraz pierwotno-wtórne, nieliczne natomiast były wrostki wtórne, wypełniające wąskie spękania.

Inkluzje pierwotne i pierwotno-wtórne rozmieszczone były zazwyczaj strefowo, przy czym położenie przestrzenne tych stref wyznaczały zazwyczaj kierunki wzrostu i stopniowego narastania kryształu. Częste były również smugi inkluzji zgrupowane punktowo, a szczególne ich zagęszczenie obserwowano w partiach zarodkowych. Środkowa część kryształu była natomiast zazwyczaj zupełnie pozbawiona jakichkolwiek próżni czy inkluzji. Charakterystyczną cechą kryształów było tu współwystępowanie w jednej strefie inkluzji pierwotnych i pierwotno-wtórnych, przy czym forma oraz ułożenie dłuższych osi w obydwu typach były prawie jednakowe i nie do odróżnienia w normalnych badaniach mikroskopowych. Dopiero oznaczenie homogenizacji pokazywało znaczne różnice w temperaturach, co może świadczyć o znacznie chłodniejszych roztworach.

Temperatura homogenizacji inkluzji pierwotnych mieściła się w dość wąskim zakresie 250—275°C. Wyróżniono także dwa systemy wzrostków pierwotno-wtórnych, których temperatura homogenizacji występowała w zakresie 165—195°C oraz 120—140°C. Największy procentowy udział zajmowały inkluzje o temperaturze homogenizacji w przedziale 175—185°C. Homogenizacja inkluzji wtórnych również wyznaczała temperaturę w zakresie 120—140°C.

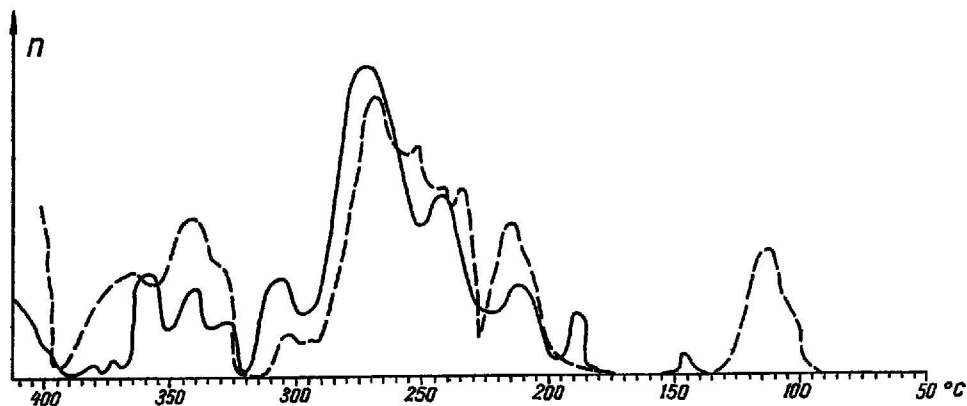


Fig. 8. Dekrepiogramy kwarcu
Decrepigraph of quartz

Wykresy uzyskane za pomocą dekrepitometru nie dają jednolitego obrazu, który można by jednoznacznie interpretować, wyróżniając temperatury powstawania inkluzji pierwotnych oraz etapów regeneracyjnych (fig. 8). Maksima nakładają się na siebie, a niewielkie tylko spadki intensywności trzasków pozwalają domyślać się, że mamy tu do czynienia z różnymi typami genetycznymi. Gdyby te wykresy rozpatrywało się niezależnie do obserwacji mikroskopowych, to ich interpretacja nastęczałaby dużo trudności.

Na wykresie widać kilka anomalii, jedną w przedziale 320—385°C oraz bardzo poczynowane w temperaturach 175—320°C. Dwa niewielkie maksima obserwuje się również w niskich temperaturach 90—135°C oraz 135—150°C. Z interpretacji dekrepitogramów wynika, że główny etap powstawania złoża charakteryzował się temperaturami około 320°C, natomiast etap regeneracyjny rozciągał się w dość szerokim przedziale temperaturowym, pierwszy starszy w przedziale 175—320°C nastąpił bezpośrednio po głównym etapie krystalizacji, a drugi — w przedziale 135—150°C. Późniejszy dopływ chłodnych roztworów cyrkulujących w spękaniach nastąpił już po dłuższej przerwie czasowej, a temperatura roztworów wynosiła około 100°C.

Przyczyną dużego rozmycia pików temperaturowych jest tu niewątpliwie duża ilość inkluzji gazowych, a także obecność drobnych inkluzji ciekłych. Określone na podstawie badań dekrepitometrycznych temperatury dopływu roztworów hydrotermalnych są, jak się wydaje, bardziej zbliżone do rzeczywistych niż określone na podstawie homogenizacji. Du-

za ilość inkluzji gazowych w kwarcu wymagałaby określenia poprawki na ciśnienie, która może sięgać 40° i więcej stopni. W warunkach niniejszego eksperymentu poprawki na ciśnienie nie oznaczono ze względu na trudności w uzyskaniu heterogenicznego rozdziału faz gazowych i brak uzupełniającej aparatury. Gdyby taka poprawka była uwzględniona w temperaturach homogenizacji, wyniki byłyby bardziej zbliżone. Biorąc te czynniki pod uwagę można sądzić, że dekrepitometr może oddać duże usługi również w przypadku badań kwarcu pegmatytowego. Za jego pomocą można w każdym razie ustalić rząd wielkości temperatury powstawania minerału.

*

Opisane wyżej metody badawcze mogą być stosowane w ustalaniu temperatury powstawania wszystkich minerałów hydrotermalnych i pneumatolitycznych, nie tylko fluorytu i kwarcu, które były omówione przykładowo w niniejszym artykule.

Charakteryzując metodę homogenizacji i dekrepitacji miałam przede wszystkim na celu zapoznanie geologów z nowymi możliwościami badawczymi, które mogą znacznie rozszerzyć i uściślić poglądy na rzeczywiste warunki powstawania minerałów. Krótki przegląd podstaw teoretycznych oraz zakresu badań przedstawiłam dla ogólnego zorientowania zainteresowanych co do rodzaju minerałów, które mogą być poddane badaniom, jakości i ilości niezbędnych prac przygotowawczych, a także spodziewanych efektów.

Stosunkowo krótki okres czasu poświęcony na adaptację metod, brak możliwości na bezpośrednie konsultacje i praktykę w ośrodkach wiodących wpływa niewątpliwie na skromność przedstawionych wniosków metodycznych i niewielki zakres prac porównawczych. Mimo to można już obecnie stwierdzić, że zgodność obydwu metod jest wystarczająca i, jak się wydaje, pomiary wykonane na zbudowanym w Polsce dekrepitetrze są porównywalne z wynikami przedstawionymi w literaturze przez badaczy zagranicznych. Konieczne są jednak dalsze badania nad różnymi minerałami, gromadzenie doświadczeń, a szczególnie cenna byłaby możliwość ich wymiany z ośrodkami naukowymi krajów socjalistycznych. We wszystkich bowiem krajach naszego obozu badania geotermometryczne prowadzone są od kilku lub kilkunastu lat.

Pomiary temperatury powstawania minerałów mogą być stosowane także w kompleksowych badaniach genetycznych złóż o dużym znaczeniu gospodarczym. Już obecnie w Zakładzie Złóż Surowców Skalnych prowadzi się badania dekrepitacyjne próbek barytowych z głównych złóż dońśląskich, a uzyskiwane wyniki są obiecujące. Wraz z rozwojem badań zwrócona będzie również uwaga na adoptowanie metody dekrepitacji do poszukiwania ślepych żył hydrotermalnych. Przewidywane uzupełnienie wyposażenia aparaturowego pracowni pozwoli na rozszerzenie zakresu prac oraz zwiększenie efektywności i dokładności wyników.

PIŚMIENICTWO

- BIRZĘCZKOWSKI J., JANISZEWSKI T., PAWŁOWSKA J. (1971) — Metoda dekrepitometrii i aparatura do badań temperatury powstawania minerałów i skał. *Prz. geol.*, 19, p. 395—398, nr 8/9. Warszawa.
- PAWŁOWSKA J. (1969) — Znaczenie i metody geotermometrii i geobarometrii w badaniach złóż endogenicznych. *Prz. geol.*, 17, p. 552—555, nr 11. Warszawa.
- ГРИГОРЬЕВ Д. П. (1948) — К вопросу о различии первичных и вторичных жидких включений в минералах. *Минер. Сборн. Льв. Геол. Об-ва*, № 2, стр. 75—81. Львов.
- ДОЛГОВ Ю. А. (1965 *a*) — Геологическая интерпретация температур и давлений при минералообразовании. В кн.: *Минералогическая термометрия и барометрия*, стр. 72—80. Изд. Наука.
- ДОЛГОВ Ю. А. (1965 *b*) — Термозвуковой метод, его развитие и применение. В кн.: *Материалы по генетической и экспериментальной минералогии*, 3. стр. 287—300. Изд. Наука.
- ДОЛГОВ Ю. А., БАЗАРОВ Л. Ш. (1965) — Камера для исследования включений минералообразующих растворов и расплавов при высоких температурах. В кн.: *Минералогическая термометрия и барометрия*, стр. 118—122. Изд. Наука.
- ЕРМАКОВ Н. П. (1948) — Происхождение и классификация жидких включений в минералах. *Минер. Сборн. Льв. Геол. Об-ва*, № 2, стр. 53—73.
- ЕРМАКОВ Н. П. (1965) — Термометрия глубинных процессов рудообразования. В кн.: *Минералогическая термометрия и барометрия*, стр. 7—23. Изд. Наука.
- КАЛЮЖНЫЙ В. А. (1960) — Метод выявления многофазовых включений у минералах. *Видавн. АН Укр. РСР*, Київ.
- НАУМОВ В. Б. (1968) — К вопросу об определении температур минералообразования методом декрепитации. В кн.: *Минералогическая термометрия и барометрия*, 2, стр. 37—43. Изд. Наука.
- РАХМАНОВ А. М. (1968) — Условия образования кристаллов кварца в полостях пегматитов междуречья Кафирияган—Барзов. В: *Минералогическая термометрия и барометрия*, 2, стр. 201—212. Изд. Наука.
- СМИТ Ф. Г. (1968) — *Физическая геохимия*. Изд. Недра. Москва.

Ядвига ПАВЛІВСКА

**ГОМОГЕНИЗАЦИЯ И ДЕКРЕПИТАЦИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ,
КАСАЮЩИХСЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ И ПОРОД**

Резюме

В Варшавском Геологическом институте были проведены работы над температурой образования минералов и пород. Гомогенизация включения исследовалась в переоборудованной нагревательной камере типа „Voëtius”, а декрепитация на аппаратуре, монтированной в Геологическом институте. Целью статьи является представление на теоретическом фоне опыта, накопленного при непосредственных исследовательских работах, а также результатов сравнительных исследований и их согласованности. Сравнительным материалом являлись кристаллы прозрачного флюорита и кварца.

В исследованных флюоритах выделены газовые жидкие и смешанные включения, т. е. жидко-газовые и газовой-жидкие. Включения являлись первичными, двумя первично-вторичными системами и вторичными. Температура гомогенизации включений во флюоритах представлена на фиг. 6 и в табл. 1. Из этих же образцов были приготовлены порошковые пробы для исследования на декрепитометре. Наиболее благоприятной для исследований оказалась фракция 0,30—0,75 мм. Примеры декрепитограмм флюоритов представлены на фиг. 7. Получено несколько максимумов температур, близких к температуре гомогенизации, а пункты начала их взроста представлены в табл. 1. Сравнение температуры гомогенизации с температурой декрепитации выглядит благоприятно, самое большое различие проявляют первичные включения, среди которых больше всего было газовых. Оно составляет около $+13^{\circ}\text{C}$. Исследованные флюориты образовались в температуре около 215°C , кроме того, максимумы обозначают два этапа регенерации при температурах 170 и 140°C , а также приплыв гипергенных растворов в температуре около 110°C .

Подобное сравнение сделано также для кварца. Исследованные образцы были отобраны из пегматитовых друз в гранитах. Во включениях преобладали газовые, было небольшое количество гомогенизирующих включений, согласно I типа. Температура гомогенизации первичных включений ограничивалась величиной $250-275^{\circ}\text{C}$. Выделено также две системы первично-вторичных включений, температура гомогенизации которых составляла $165-195^{\circ}\text{C}$, а также $120-140^{\circ}\text{C}$. Вторичные включения были немногочисленны, а температура их гомогенизации равнялась $120-140^{\circ}\text{C}$.

Исследования декрепитации образцов кварца не дали однозначной картины (фиг. 8), максимумы накладываются друг на друга, частыми являются спады интенсивности декрепитации, размывания пик и т. п. Интерпретируя декрепитограммы независимо от гомогенизации, можно выделять несколько диапазонов температур: 90, 135, 175, 320 и 390°C . Из этого можно сделать вывод, что главный этап кристаллизации происходил при температуре около 320°C , более низкие максимумы отражают регенерационные и гипергенные этапы. Не выяснено происхождение температуры, равной 390°C . Самое большое различие в обозначениях методом гомогенизации и декрепитации, также как во флюоритах, проявляют первичные включения. Среди них также было больше всего газовых включений и это, вероятно, является причиной имеющихся различий. Коэффициенты сжимаемости газов на много выше, чем жидкости, поэтому внутреннее давление увеличивается на много медленнее. Из этого следует, что к определенным температурам гомогенизации следует прибавить поправку, вытекающую из давления, господствовавшего в процессе кристаллизации.

Jadwiga PAWŁOWSKA

HOMOGENIZATION AND DECREPITATION IN STUDIES ON CRYSTALLIZATION TEMPERATURES OF MINERALS AND ROCKS

Summary

Studies on the crystallization temperatures of minerals and rocks have been initiated at the Geological Institute, Warsaw. The homogenization of the inclusions is examined by means of "Boetius" heating stage adapted for this purpose, the decrepitation by means of equipment constructed at the Geological Institute. The aim of the present paper is to present the experience gained in the course of

research work as well as the results of comparative studies and their agreement. Crystals of transparent fluorite and quartz served as comparative material:

In the fluorites examined gaseous, liquid, and mixed — liquid-gaseous and gaseous-liquid — have been distinguished. The inclusions are represented by primary, two systems of primary-secondary, and secondary inclusions. The homogenization temperature of the inclusions in fluorites is shown on fig. 6 and tab. 1. Powder samples from the same specimens have been examined in the decrepimeter and the grain size of 0.30–0.75 mm has been found to be the most suitable for the examinations. Examples of decrepigraphs for fluorite are presented on fig. 7. Several maxima close to the homogenization temperatures have been obtained and points marking the beginning of their rise are shown in tab. 1. A comparison between the homogenization and decrepitation temperatures yielded favourable results, the biggest difference — about + 13°C being found in the case of primary inclusions where gaseous inclusions predominate. The fluorites examined were formed at temperatures of about 215°C and the maxima mark two generation stages at the temperatures of 170 and 140°C and an influx of epigene solutions at the temperature of 110°C.

Similar comparative tests have been carried out for quartz. The samples were taken from pegmatitic druses in granites. The inclusions were clearly predominated by the gaseous type and those homogenizing according to I type were rather scarce. The homogenization temperature of primary inclusions falls within the 250–275°C range. Also two systems of primary-secondary inclusions have been distinguished, their homogenization temperature being 165–195°C and 120–140°C. The secondary inclusions are scarce and their homogenization temperature has been found to be 120–140°C.

The decrepitation studies of the quartz samples yielded ambiguous results (fig. 8), the maxima overlap each other, the intensity of pops often decreases, peaks are blurred. Interpreting the decrepigraphs irrespectively of homogenization several temperature ranges may be found — 90, 135, 175, 320 and 390°C — which may indicate the main crystallization phase to have occurred at a temperature of about 320°C. The lower maxima mark the regeneration and epigene stages. The origin of the 390°C anomaly is not clear. Similarly to the case of fluorites, the biggest differences in results obtained from homogenization and decrepitation tests on quartz exist in the case of primary inclusions. Among them gaseous inclusions predominate and this is the probable source of the inconsistencies mentioned above. The compressibility coefficient for gases exceed those for fluids and for this reason the internal pressure increases much slower. Thus a certain correlation resulting from pressure during crystallization should be added to the homogenization temperature values determined.

TABLICA I

Fig. 9 i 10. Inkluzje pierwotne, gazowo-ciekłe we fluorycie. Pow. ok. 120 ×
Primary gaseous-liquid inclusions in fluorite. Enl. × 120

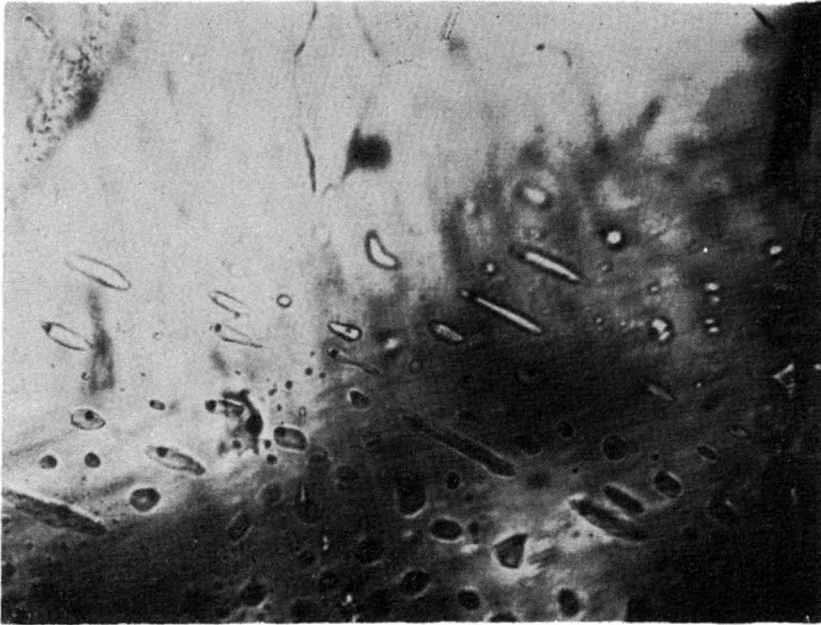


Fig. 9

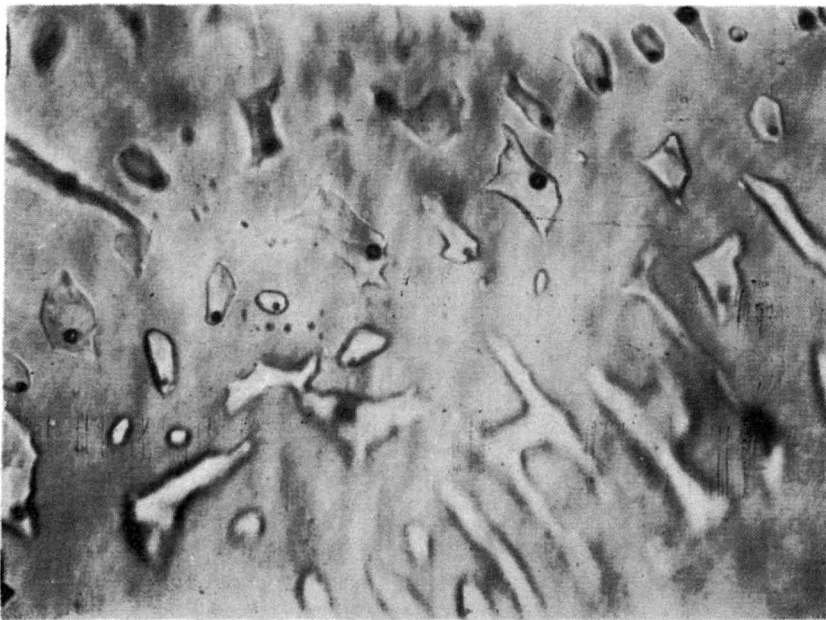


Fig. 10

TABLICA III

Fig. 11. Inkluzje pierwotne (p), pierwotno-wtórne (pw) oraz wtórne (w), głównie gazowo-ciekłe we fluorycie. Pow. ok. 120 ×
Primary (p), primary-secondary (pw) and secondary (w) mainly gaseous-liquid inclusions in fluorite. Enl. × 120

Fig. 12. Inkluzje pierwotne i pierwotno-wtórne we fluorycie
Primary and primary-secondary inclusions in fluorite

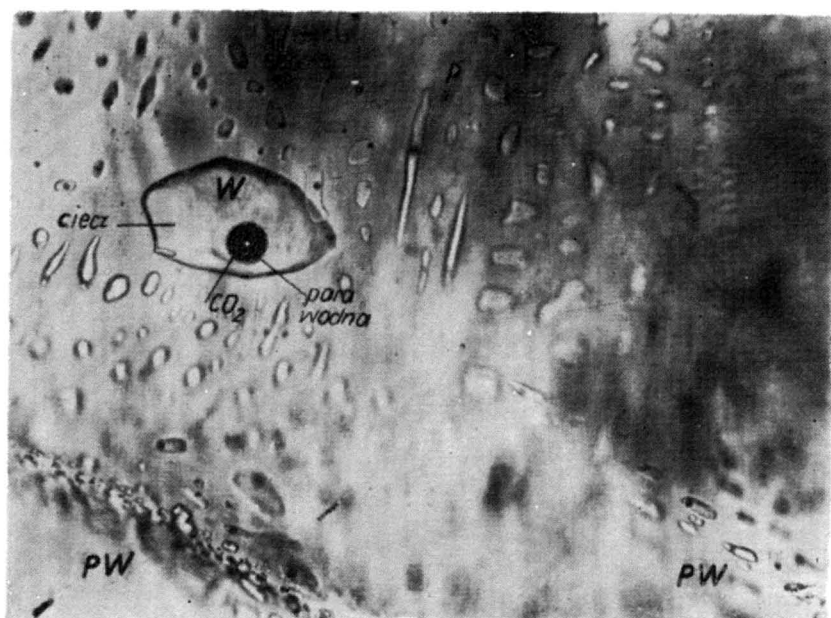


Fig. 11

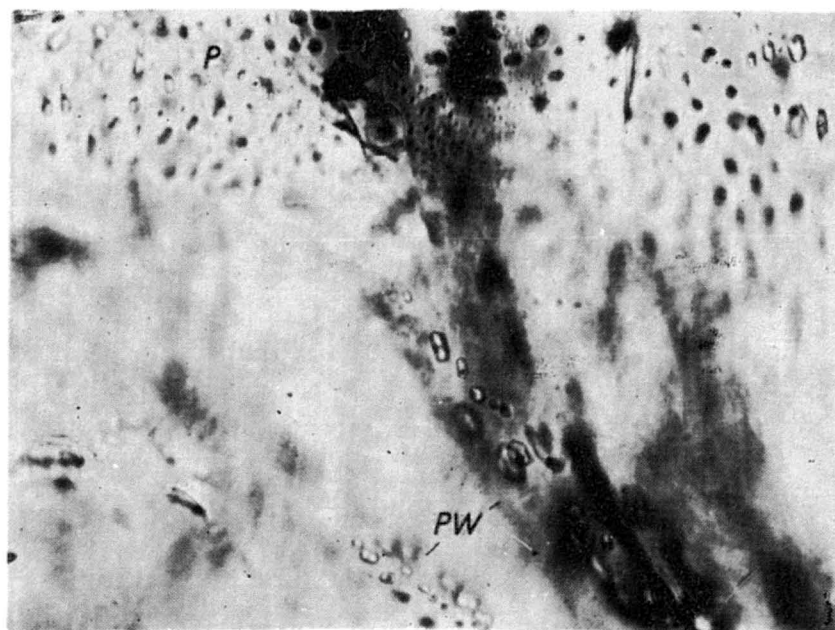


Fig. 12

TABLICA III

- Fig. 13. Inkluzje pierwotno-wtórne (rekrytalizacyjne i regeneracyjne) we fluorycie. Pow. ok. 120 ×**
Primary-secondary (recrystallization and regeneration) inclusions in fluorite. Enl. about × 120.
- Fig. 14. Szczeliny regeneracyjne z inkluzjami pierwotno-wtórnymi oraz spękania późniejsze z inkluzjami wtórnymi. Pow. ok. 120 ×**
Regeneration fissures with primary-secondary inclusions and later fractures with secondary inclusions. Enl. about × 120

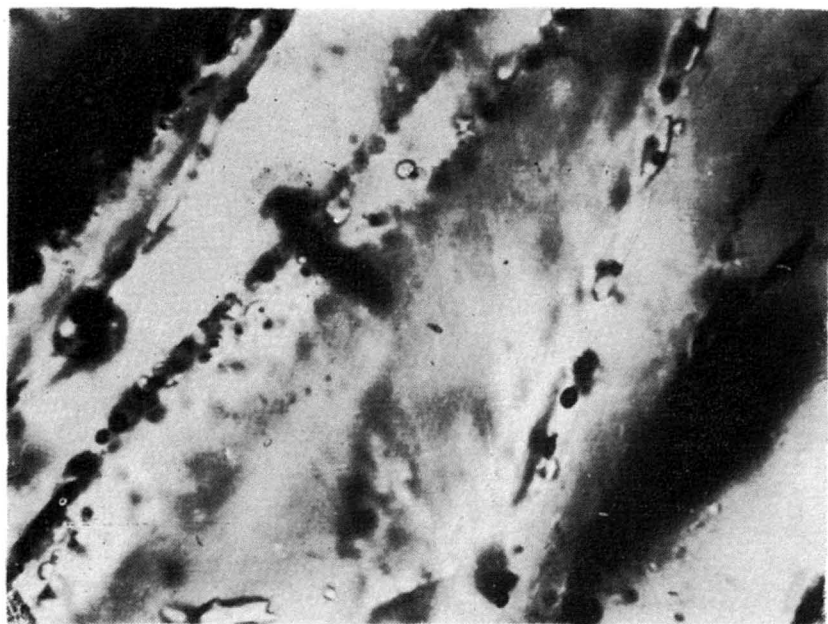


Fig. 13

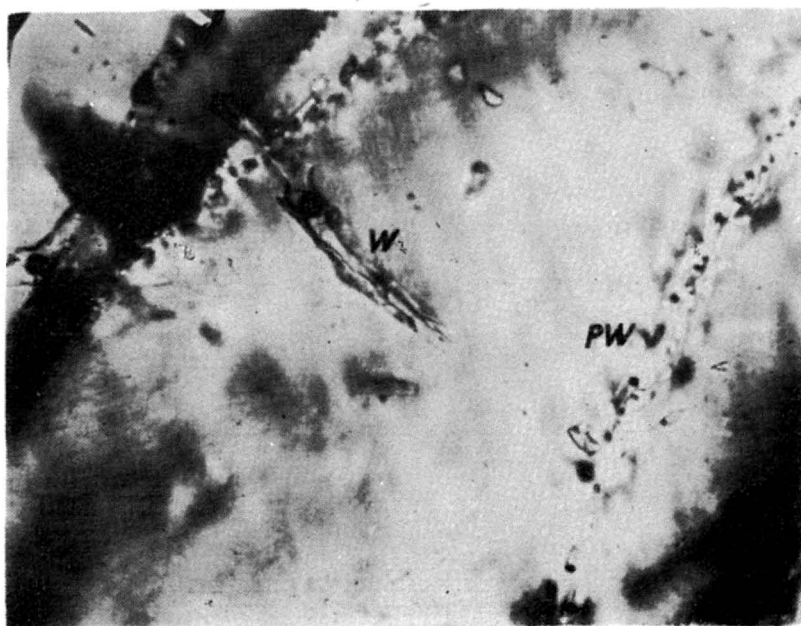


Fig. 14

TABLICA IV

Fig. 15 i 16. Strefy inkluzji pierwotnych oraz spękania nieuszczelne wypełnione kryształkami z inkluzjami wtórnymi. Pow. ok. 120 ×
Primary inclusion zones and fractures filled with fine crystals with secondary inclusions. Enl. about × 120

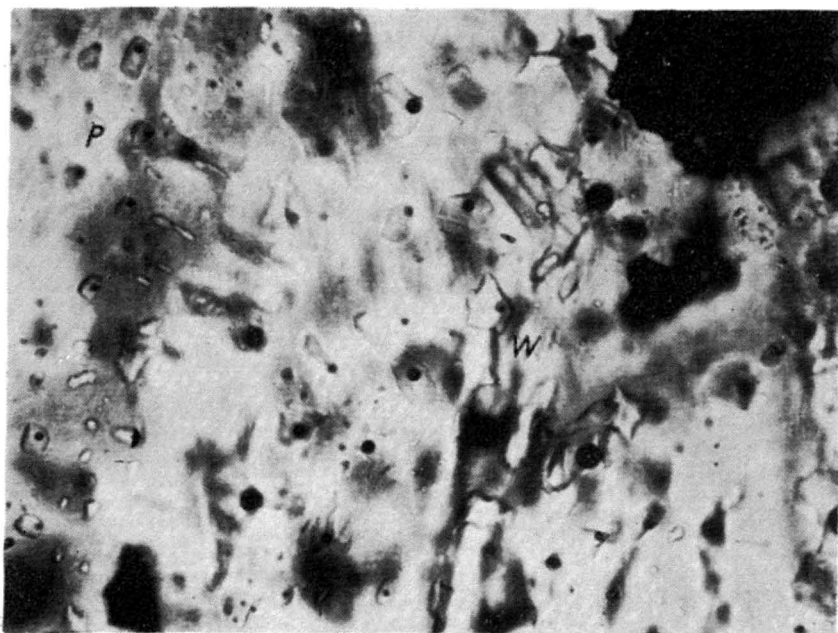


Fig. 15

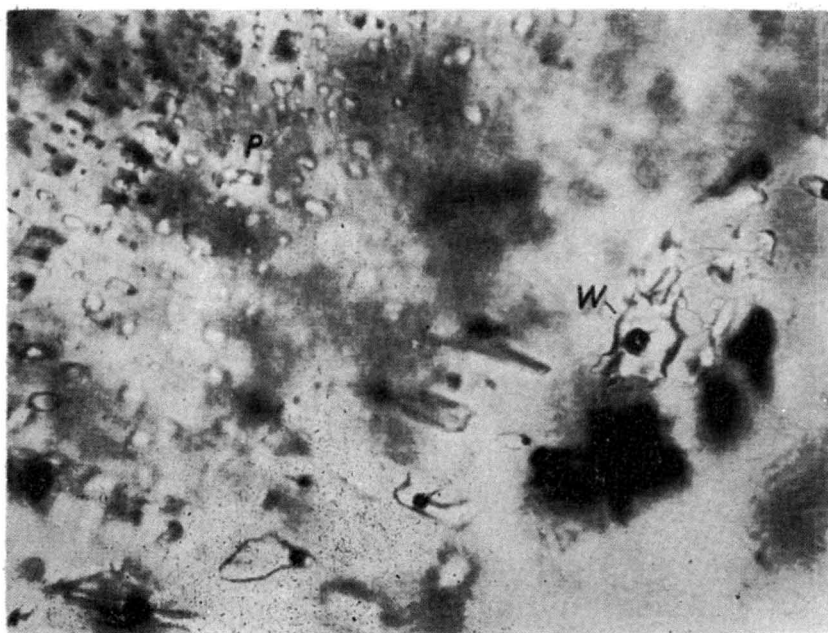


Fig. 16

TABLJCA V

Fig. 17 i 18. Różne rodzaje inkluzji pierwotnych i pierwotno-wtórných w kwarcu
(CG — ciekło-gazowe, G — gazowe)
Various types of primary and primary-secondary inclusions in quartz
(CG — liquid-gaseous, G — gaseous)

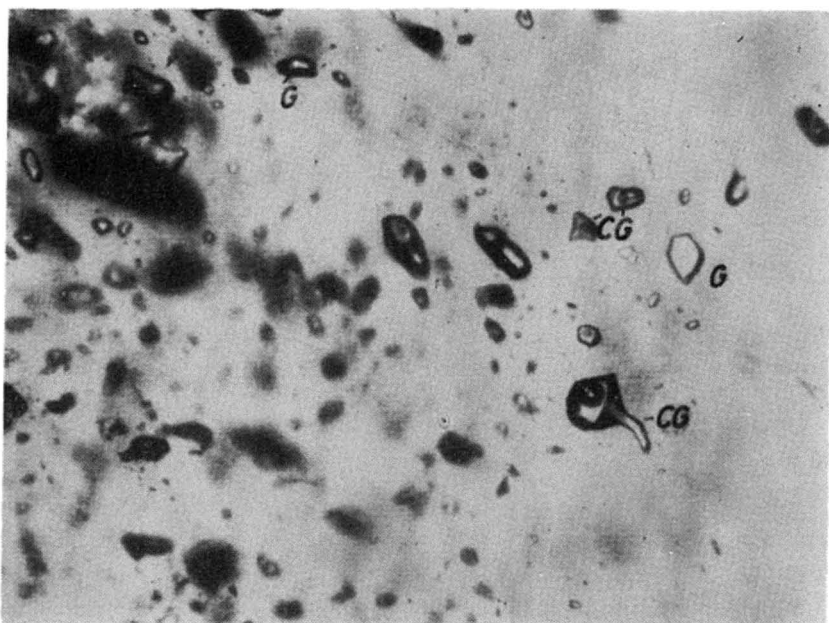


Fig. 17

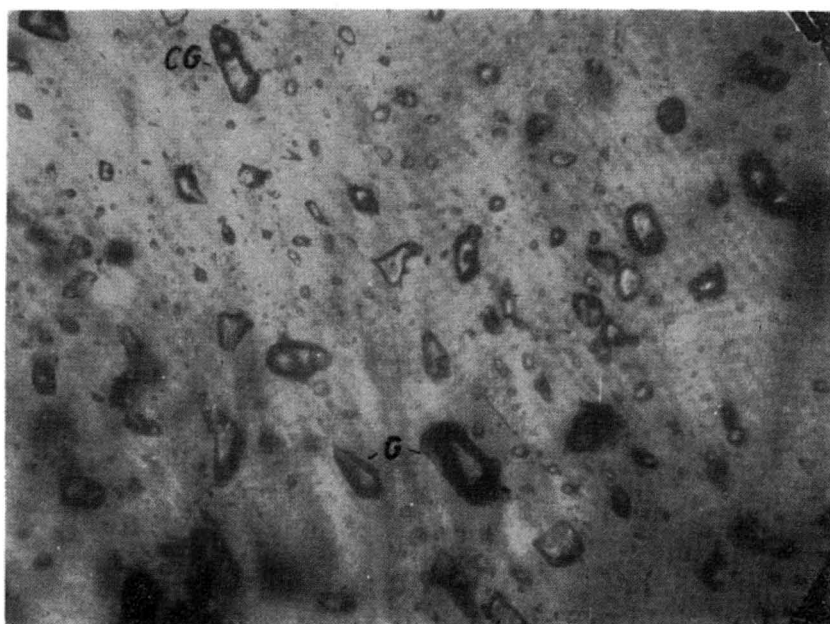


Fig. 18