

Jadwiga PAWŁOWSKA

Zastosowanie i metody badawcze termobarogeochemii

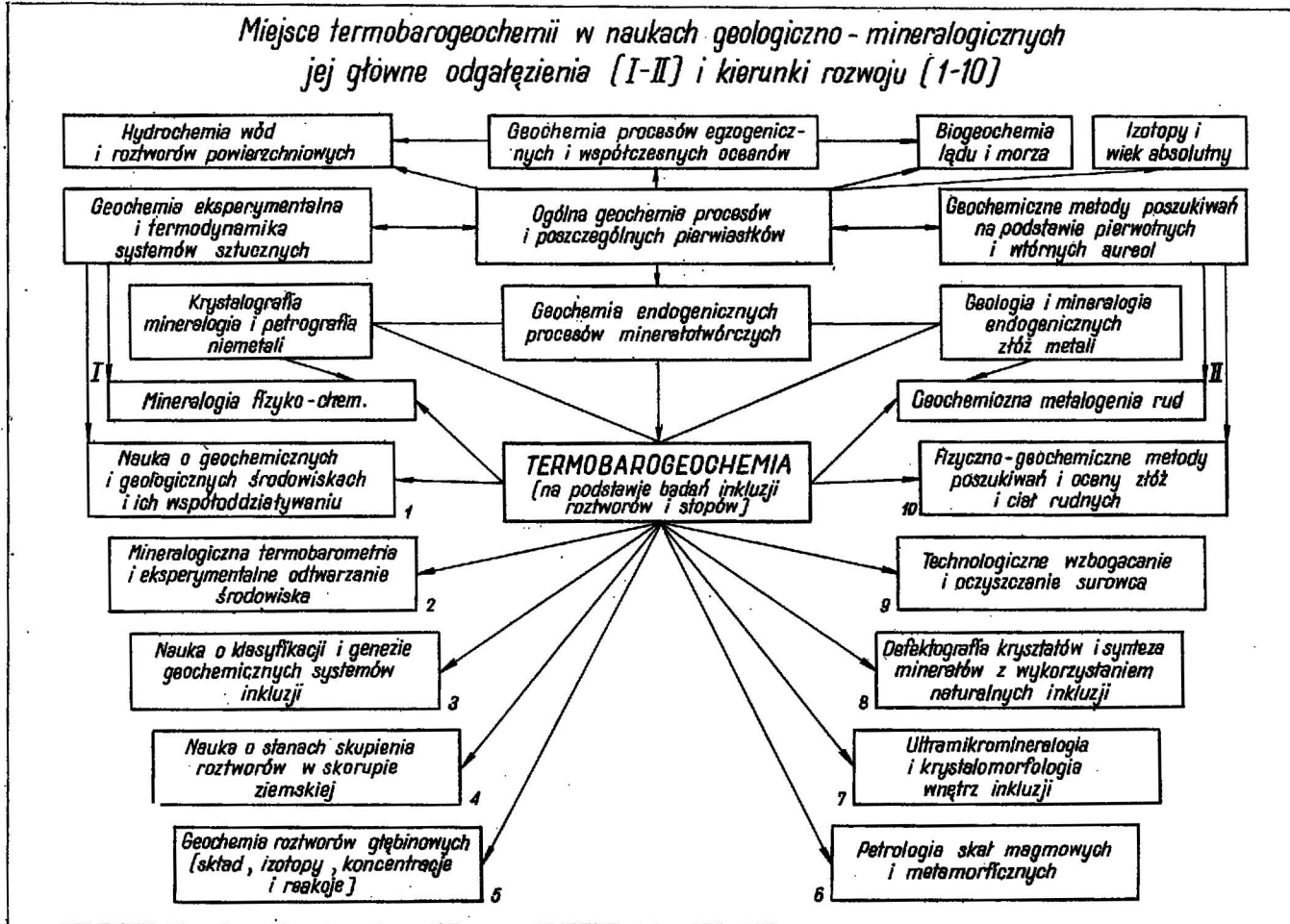
WSTĘP

Przedmiotem badań termobarogeochemii są inkluzje zamknięte w minerałach. Jakkolwiek pierwsze obserwacje dotyczące inkluzji czynione były już na początku XIX w., to jednak naukowe podstawy wykorzystania badań inkluzji w rozważaniach genetycznych datują się od 1858 r., kiedy to znany petrograf angielski H. C. Sorby po raz pierwszy zastosował metodę homogenizacji inkluzji heterogenicznych. Badacz ten dokonał szeregu obserwacji, pozwalających mu sformułować kilka reguł wykorzystania inkluzji, które są aktualne do dziś (F. G. Smith, 1956).

Badaniami inkluzji zajmowali się w XIX w. również inni znani mineralodzy, jak D. Brewster, F. Zirkel, A. P. Karpiński oraz wielu innych. Brak odpowiedniej aparatury badawczej i niska technika mikroskopów oraz błędnie interpretowane rezultaty doprowadziły na przełomie XIX i XX w. do osłabienia zainteresowania badaczy omawianymi problemami. Szeroki rozwój tej dziedziny nastąpił ponownie w latach czterdziestych, kiedy to systematycznymi badaniami zajął się N. P. Jermakow i skonstruował w 1943 r. mikrokamerę do badań temperatury homogenizacji roztworów zamkniętych w inkluzjach. Badania tego uczonego pozwoliły uściślić dotychczasowe poglądy na znaczenie genetyczne inkluzji i udowodnić, że kryją one w sobie ogromne możliwości poznawcze dla wyjaśnienia fizyczno-chemicznych warunków powstawania minerałów i skał.

W latach powojennych zainteresowanie inkluzjami ogromnie wzrosło, a nagromadzenie doświadczeń oraz stałe ulepszenia w nowokonstruowanej aparaturze pozwoliły na wyodrębnienie tej gałęzi nauki w osobną dziedzinę, zwaną termobarogeochemią. W ramach Międzynarodowego Towarzystwa do Badania Genezy Żłóż Kruszcowych (JAGOD) powołana została przez XXIII Kongres Geologiczny Specjalna Komisja do Badania Roztworów Mineralizacyjnych w Inkluzjach (COFFI), której członkami jest już 38 państw świata, a wśród nich Polska — przyjęta jako jeden z ostatnich krajów. Ta dziedzina badań jest szczególnie rozwinięta w krajach przodujących w nauce i technice, takich jak: USA, Związek Radziecki,

Miejsce termobarogeochemii w naukach geologiczno - mineralogicznych
jej główne odgałęzienia (I-II) i kierunki rozwoju (1-10)



Japonia, Francja i w innych. Szczególne osiągnięcia teoretyczne i praktyczne zanotowano w termometrii i oznaczaniu chemicznych właściwości roztworów mineralizacyjnych (E. Roedder, 1972). Zestawienie problemów, które można rozwiązywać przy pomocy teoretyczno-praktycznych zasad termobarogeochemii oraz jej miejsce w naukach geologiczno-mineralogicznych przedstawia tab. 1 (na podstawie N. P. Jermakowa i F. P. Mielnikowa, 1971).

PODSTAWY TEORETYCZNE BADAŃ I BUDOWA INKLUZJI

Wśród licznych problemów w badaniach genetycznych jednym z najważniejszych jest wyjaśnienie fizyczno-chemicznych warunków tworzenia się minerałów i złóż. Nie znając podstawowych parametrów fizyczno-chemicznych, warunkujących przebieg i ewolucję procesów mineralizacyjnych, trudno jest właściwie określić genezę minerałów. Współczesna nauka o złożach i procesach krystalizacyjnych nie może rozwijać się bez szerokiego stosowania metod badawczych środowiska, w którym procesy te zachodziły. Głównymi obiektami badań współczesnej nauki o złożach jest środowisko geologiczne, paragenazy mineralne oraz geochemiczno-fizyczne środowisko mineralizacji. Przez wiele lat nauka o Ziemi zajmowała się jedynie wyjaśnieniem aspektów dotyczących środowiska geologicznego i paragenez mineralnych. Trzecia dziedzina badań naukowych, obejmująca badanie stopów i roztworów mineralizacyjnych, zaczęła się natomiast rozwijać równoległe z badaniami inkluzji.

Stan skupienia poszczególnych roztworów uwarunkowany jest w środowisku naturalnym wielkością wzajemnie związanych parametrów stanu, czyli temperatury, ciśnienia i koncentracji składników chemicznych w roztworze. Ustalenie wartości poszczególnych parametrów jest podstawowym czynnikiem jakościowego i ilościowego określenia fizyczno-chemicznych warunków powstawania minerałów i skał. Wartości te można odczytać badając naturalne inkluzje zamknięte w minerałach. Stanowią one bowiem hermetycznie zamknięte porcje roztworów macierzystych, w których zachodził proces krystalizacji. Stosownie do warunków panujących w momencie powstawania złoża czy minerału, w inkluzjach może być zamknięta kropla stopu magmowego, porcja gazu roztworu ciekłego lub mieszanina tych składników. Jak więc widać, pojęciem ogólnym „inkluzja” należy rozumieć wszelkie ciała hermetycznie zamknięte w mineralu w procesie krystalizacji i tworzące z nim granicę fazową (N. P. Jermakow, 1950).

Zamykane w momencie krystalizacji roztwory znajdują się w stanie jednorodnym, zhomogenizowanym. Jeśli dla przykładu będziemy rozpatrywać wodny roztwór hydrotermalny, znajdujący się w warunkach podwyższonej temperatury, ale niższej od punktu krytycznego, to zamknięty w inkluzji roztwór wodny rozdzieli się po ochłodzeniu na ciecz oraz pęcherzyk gazowy, w którym głównym składnikiem będzie para wodna. Przy wyższych koncentracjach soli przy ochładzaniu mogą powstać

drobne mikrolity krystaliczne, tworzące różne fazy stałe. Jeśli w roztworze znajdował się dwutlenek węgla, to nierzadko już w temperaturze pokojowej część jego lub całość oddzieli się jako faza nie mieszalna w roztworze wodnym. W zależności od ilości faz inkluzje mogą być dwu- lub więcej fazowe, jakkolwiek częste są również inkluzje jednofazowe, napełnione tylko gazem lub cieczą.

KLASYFIKACJA INKLUZJI

Problemy dotyczące klasyfikacji inkluzji ogólnie nazywane są nauką o klasyfikacji i genezie geochemicznych systemów inkluzji. Rozwój tego kierunku, dokumentowany próbami przedstawiania nowej, coraz to bardziej uściślonej klasyfikacji, zachodził wraz z ogólnym rozwojem znajomości tych zagadnień. W miarę stwierdzania nowych faktów pojawiała się pełniejsza klasyfikacja, uwzględniająca najnowsze osiągnięcia. Np. w ostatnich latach, kiedy w 1970 r. E. Rodder i P. W. Weiblen (fide N. P. Jermakow, 1972b) stwierdzili różne inkluzje w skałach księżycowych, fakt ten znalazł również odbicie we wszechstronnej klasyfikacji. Opracowana przez N. P. Jermakowa w 1972 r. klasyfikacja inkluzji zawiera bardzo duży zestaw różnorodnych środowisk geochemicznych, charakteryzowanych przez inkluzje (tab. 2). W sumie obejmuje ona 21 typów inkluzji sklasyfikowanych tylko z punktu widzenia zakonserwowanego stopu i roztworu pierwotnego, bez uwzględnienia kształtów, formy, składu fazowego inkluzji w temperaturze pokojowej oraz okresu ich powstawania w minerale macierzystym.

Trudno jest w tak krótkim artykule wyjaśnić szczegółowo znaczenie genetyczne i metody rozpoznawania wszystkich rodzajów i typów inkluzji. Tylko niektóre z nich można już po pobieżnych obserwacjach zaliczyć do jednej z grup i ogólnie określić pochodzenie minerału. Większość jednak wymaga mniej lub bardziej dokładnych badań. Jeśli na przykład inkluzje są napełnione tylko cieczą bez pęcherzyka gazowego, to można z góry powiedzieć, że powstały one z chłodnych roztworów wodnych i w klasyfikacji genetycznej N. P. Jermakowa (tab. 2) znajdują się w klasie inkluzji geogzogenicznych. Minerale, w których przeważać będą jednofazowe inkluzje gazowe, będą pochodzenia pneumatolitycznego lub egzogenicznego (paleoatmosferyczne — rzadko spotykane, np. w bursztynach). Większość inkluzji wymaga jednak bardziej szczegółowych badań.

Istnieją również klasyfikacje zestawione przez N. P. Jermakowa i innych autorów na podstawie obrazu inkluzji w temperaturze pokojowej (fig. 1). Główne klasy dzielą się na mniejsze grupy, np. na inkluzje jedno-, dwu- i wielofazowe, lub też inkluzje roztworów wodnych i innych cieczy, jak ciekłego dwutlenku węgla lub ropy naftowej itp.

Krystalizacja minerałów rzadko zachodzi w jednym tylko krótkotrwałym akcie. Częściej jest ona wynikiem zmieniających się parametrów fizyczno-chemicznych środowiska. Kryształ w procesie powstawania inkluduje do swoich stref wzrostu cząsteczki tego środowiska, z którego powstaje. W związku z nierównomiernym narastaniem kryształu, na powierzchni wzrostu powstają nierówności i chropowatości i te właśnie

Tabela 2

Geokosmochemiczna klasyfikacja intruzji w minerałach według N. P. Jermakowa

I. Geoendogeniczne (i metamorficzne)			
Magmowe	Pneumatolityczne	Hydrotermalne	Metamorficzne
(twarde stopy) 1. Amorficzne (szkliwo krzemianów) 2. Przekryształizowane 3. Krystaliczno-fluidalne (reszkowych stopów i roz- tworów)	(mieszanka gazów) 4. Powietrzno-ekshalacyjne (jednofazowe — gazowe) 5. Gazowe (dwufazowe, nieznacznie zgęszczone, głębinyowe) 6. Gazowe — ciekłe (zgęszczonych gazów juvenil- nych, dwu- i wielofazowe)	(wodno-ciekłe roztwory) 7. Jonowo-molekularne (rzeczywiste roztwory nasy- cone solami) 8. Koloidalno-wodne (cieczy syneretycznych) 9. Wodne z CO ₂ (wrzących roztworów)	(w twardych środowiskach.) 10. Metamorfizowane (zgęszczonych cieczy i gazów ciekłych) 11. Metamorficzne (węglowodorów) 12. Zmetamorfizowane (przekryształizowane szkliwa)
II. Geogegzogeniczne (i biogeniczne)		III. Kosmogeniczne i selenogeniczne	
Chłodnych wód	Liptobiogeniczne	Selenomagmogeniczne	Kosmiczne
(w minerałach pochodzenia in- filtracyjnego) 13. Morskie autogeniczne (słono-wodne) 14. Halogeniczne (lagunowe i jeziorne) 15. Wodnych roztworów infiltra- cyjnych	(w smołach kopalnych) 16. Paleoaosferyczne (banieczki powietrza) 17. Zoofitogeniczne i paleohydro- geniczne (banieczki powietrza)	(w efuzywach księżycy) 18. Amorficzno-krystaliczno- -gazowe (szkliwo, mikrolity, gaz) 19. Gazowo-wulkanogeniczne (jednofazowe, gazy nienasy- cone)	(asteroidalne i kometogenne) 20. Meteorytowe (szkliwo, gazy i CO ₂) 21. Tektytowe (kulki szkliwa)

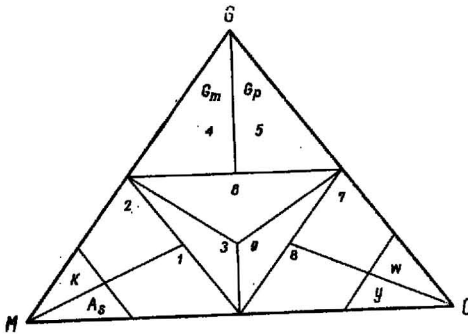


Fig. 1. Klasyfikacja inkluzji według N. P. Jermakowa

Inclusions classification after N. P. Ermakov

M — stopy magmowe: 1 — amorficzne (szkliwo), 2 — przekryształizowane, 3 — krystaliczno-fluidalne; G — gazy; 4 — inkluzje gazowe, 5 — inkluzje gazowo-wodne, 6 — inkluzje gazowe z CO₂; C — roztwory ciekłe: 7 — wodne, 8 — koloidalno-wodne, 9 — wodne z CO₂; A — faza amorficzna; K — faza krystaliczna; W — roztwory wodne, y — CO₂, s — szkliwo, p — para, m — gazy mieszane

M — igneous melts: 1 — amorphous (glass), 2 — recrystallized, 3 — crystalline-fluid; G — gas: 4 — gaseous inclusions, 5 — gaseous-aqueous inclusions, 6 — gaseous inclusions with CO₂; C — liquid solutions: 7 — aqueous, 8 — colloidal-aqueous, 9 — aqueous with CO₂; A — amorphous phase; K — crystalline phase; W — aqueous solutions; y — CO₂; s — glass; p — vapour; m — mixed gas

miejsca są pułapkami dla inkluzji syngenetycznych (pierwotnych). Dorastanie nowego kryształu do starszych osobników, zabliznianie porów i szczelin krystalizacyjnych jest dokumentowane nowymi inkluzjami, które ze względu na pewne przesunięcie w czasie, w stosunku do głównego etapu krystalizacji, są inkluzjami pierwotnymi dla tego etapu krystalizacji, wtórnymi natomiast dla etapu podstawowego. W niektórych minerałach można wyróżnić dwa lub więcej pierwotno-wtórných etapów regeneracyjnych. Jeśli minerały podlegają późniejszemu naciekowi krystalicznemu, to roztwory krążące w spękaniach mogą pozostawić również inkluzje, które nazywa się inkluzjami wtórnymi. Inkluzje wtórne, podobnie jak inkluzje pierwotno-wtórne, mogą pochodzić z różnych okresów. Odróżnienie inkluzji pierwotnych od inkluzji pierwotno-wtórných i wtórných jest niezwykle ważnym zadaniem badacza, stanowi bowiem podstawę prawidłowej interpretacji fizyczno-chemicznych warunków powstawania badanych skał.

METODY BADAŃ INKLUZJI

Termobarogeochemia dysponuje obecnie bardzo dużym arsenalem różnorodnych metod badawczych inkluzji. Prócz aparatury specjalnie skonstruowanej dla tych celów, w badaniach inkluzji wykorzystuje się obecnie niemal wszystkie typy podstawowej aparatury badawczej w naukach geologicznych (mikroskopy, lupy, mikroskopy i sondy elektronowe, lasery, spektrografy, aparaturę rentgenowską itp.). Niżej będą omówione podstawowe metody badawcze inkluzji, stosowane powszechnie na świecie tylko do tych celów.

Badania prowadzone są zarówno na minerałach przejrzystych, jak i nieprzejrzystych, zmienna jest tylko oczywiście technika badań i różne są efekty. Pełne wnioski genetyczne można osiągnąć badając minerały przejrzyste, dlatego w doborze materiału badawczego należy dążyć do uzyskania jak największej ilości ich odmian. Sposoby przygotowania próbek do badań zostały przedstawione w poprzednich artykułach autorki (J. Pawłowska, 1971, 1973).

WSTĘPNE BADANIA MIKROSKOPOWE

Badania mikroskopowe (lub przy użyciu lupy) prowadzi się w temperaturze pokojowej na preparatach polerowanych. Mają one na celu:

— określenie budowy wewnętrznej inkluzji (ilość i rodzaj faz, wymiary inkluzji, objętość pęcherzyka gazowego itp.) i w miarę możliwości typu genetycznego inkluzji;

— określenie położenia inkluzji w kryształach oraz dokonanie podziału na inkluzje pierwotne, pierwotno-wtórne i wtórne;

— określenie rozmiarów wszystkich rodzajów inkluzji, dokonanie obserwacji ich właściwości indywidualnych oraz wytypowanie inkluzji do dalszych badań (z podaniem ich rodzaju) itp.;

— sporządzenie dokumentacji fotograficznej lub rysunku inkluzji oraz określenie charakterystycznych właściwości uzasadniających dalsze wnioski itp.

Obserwacje przeprowadzać można w świetle przechodzącym, zwykłym i spolaryzowanym, przy użyciu specjalnego oświetlenia — przesłon, filtrów itp., ułatwiających diagnostykę. Problemowi badań inkluzji pod mikroskopem szereg prac poświęca W. G. Fekliczew (1965).

BADANIA TEMPERATURY POWSTAWANIA MINERAŁÓW

Istnieje kilka różnych metod oznaczania temperatury powstawania minerałów na podstawie inkluzji. Największe jednak znaczenie mają dwie główne metody, powszechnie stosowane na świecie: metoda homogenizacji i dekrepitacji inkluzji.

METODA HOMOGENIZACJI

Metoda homogenizacji polega na oznaczeniu temperatury, w której podczas powolnego ogrzewania inkluzji nastąpi moment pełnego zaniku pęcherzyka gazowego lub stopienie fazy stałej i przejście jej w stan ciekły. Dla określenia temperatury homogenizacji należy zatem przeprowadzić wielofazowy roztwór heterogeniczny w stan homogeniczny — jednofazowy. Temperaturę homogenizacji inkluzji przyjmuje się jako najniższą temperaturę krystalizacji — jeśli obiektem badań były inkluzje pierwotne, lub najniższą temperaturę rekrystalizacji i zablźnienia — w przypadku badań inkluzji późniejszych.

Nagrzewanie płytki polerowanej z inkluzjami przeprowadza się w termokamerze, umieszczonej na stoliku przedmiotowym lupy binokularnej lub jakiegokolwiek mikroskopu ze światłem przechodzącym. Ze względu na niewielkie zazwyczaj rozmiary inkluzji, dobrze jest posiadać w wyposażeniu obiektyw o długiej ogniskowej, tak aby można było uzyskiwać maksymalne powiększenia. Stolik ogrzewczy łatwo może być skonstruowany w każdym laboratorium badawczym. Budowa jego jest bowiem prosta (fig. 2). Składa się on z ceramicznego stolika ogrzewczego zasilanego prądem zmiennym poprzez autotransformator. Temperatura mierzona jest za pomocą termometrów lub też poprzez termoparę z odczytem na galwanometrze. Położenie termopary powinno być stałe, a dokładność

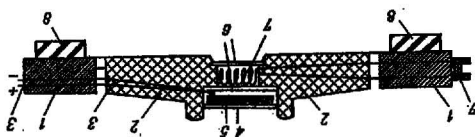


Fig. 2. Schematyczny przekrój termokamery do mikroskopu

Structural scheme of the heating camera for a microscope

1 — pierścień z ognioodpornej masy, utrzymujący stolik ceramiczny; 2 — stolik ceramiczny; 3 — termopara; 4 — płytka muskowitzowa przykrywająca preparat; 5 — preparat, płytka polerowana minerału; 6 — płytka kwarcowe; 7 — spirala ogrzewcza; 8 — podstawki termokamery

1 — heat-resistant ring supporting the ceramic stage; 2 — ceramic stage; 3 — thermocouple; 4 — muscovite plate covering the sample; 5 — polished mineral sample; 6 — quartz plates; 7 — heating coil; 8 — heating camera stands

zowy oraz mikrolity będą stopniowo malały i w końcu rozpuszczą się w fazie ciekłej, to mamy do czynienia z I typem homogenizacji, przydatnym do określenia temperatury. II typ homogenizacji zachodzi wówczas, kiedy ciecz przejdzie w momencie homogenizacji w stan gazowy, czyli przejdzie punkt inwersji. Ten typ nie pozwala na określenie temperatury homogenizacji ze względu na wysoki współczynnik ściśliwości gazów. Punkt inwersji oznacza temperaturę, kiedy wyparowywanie cieczy zaczyna przeważać nad jej rozpuszczalnością.

W procesie ochładzania powstanie ponownie w inkluzji zarówno faza gazowa, jak i ciekła. W roztworach silnie nasyconych solami temperatura homogenizacji roztworów wodnych może dochodzić aż do 800°C lub wyżej. Temperatura homogenizacji inkluzji pochodzenia magmowego może przekraczać 1000°C.

Na dokładność pomiaru temperatury krystalizacji metodą homogenizacji wpływają takie czynniki, jak: ciśnienie zewnętrzne, skład i koncentracja roztworów, zmiany objętości inkluzji w minerale oraz hermetyczność inkluzji. Stwierdzono, że jeśli minerały powstają w otwartych szczelinach (np. żyły hydrotermalne) lub na niewielkiej głębokości, to wpływ ciśnienia nie jest duży i temperatura homogenizacji może być przyjęta za najniższą temperaturę krystalizacji minerału. Jeśli jednak minerały powstają w układach zamkniętych, pod dużym nadkładem skał nadległych, to ciśnienie zewnętrzne może osiągać znaczne wartości. Stopień geobaryczny wynosi około 250 atm na 1 km głębokości. Poprawka na ciśnienie wynika ze znacznych zależności pomiędzy temperaturą, ciśnieniem i objętością właściwą roztworu. Mając oznaczoną temperaturę homogenizacji trzeba zatem znać dodatkową gęstość badanego roztworu, aby oznaczyć ciśnienie i w konsekwencji ustalić poprawkę temperaturową. Metody określania ciśnienia będą omówione niżej, tutaj zaś przykładowo podaje się jedynie wykres G. G. Lemleina i T. W. Klewcowy (fig. 3) wy-

odczytów galwanometru sprawdzana za pomocą różnych soli o oznaczonym punkcie topliwości. Na podstawie kilku lub kilkunastu oznaczonych punktów topliwości, mierzonych w różnej odległości i wysokości od termopary, można uzyskać wykres stałych poprawek do termopary. Płytka badanego materiału umieszczona jest w polu widzenia mikroskopu i powinna w zasadzie dotykać termopary. Podczas pomiarów przykrywa się ją płytką muskowitzową lub kwarcową.

Istnieje obecnie dość bogata literatura dotycząca budowy stolików ogrzewczych do badania temperatury homogenizacji. Wyróżnia się 2 typy homogenizacji. Jeśli podczas ogrzewania heterogenicznego roztworu pęcherzyk ga-

kazujący poprawkę na ciśnienie ($t^{\circ}\text{C}$) w 30% roztworze NaCl; podobne wykresy znaleźć można również w innej literaturze.

Naturalne roztwory mineralizacyjne zawierają zmienne ilości różnych soli, takich jak NaCl, CaCO_3 , itp. oraz wykazują różny stopień nasycenia. Wraz ze zwiększeniem koncentracji soli wzrasta również temperatura krytyczna roztworu, zwiększa się także jego gęstość w stanie krytycznym, zmniejsza się natomiast współczynnik rozszerzalności. Na przykład w przypadku 10% roztworu NaCl lub KCl temperatura krytyczna wzrasta do 438°C , podczas gdy dla czystej wody wynosi ona — jak wiadomo — 374°C . Najprostszy przykład uzyskiwania $\Delta t^{\circ}\text{C}$ w zależności od gęstości roztworów NaCl i KCl przedstawia fig. 4.

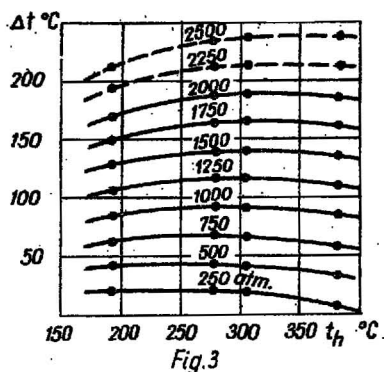


Fig. 3

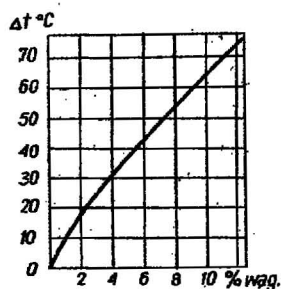


Fig. 4

Fig. 3. Poprawki temperatury (t°) do temperatury homogenizacji inkluzji w 30% roztworze NaCl, zależne od ciśnienia — według G. G. Lemleina i P. B. Klewcowy (W. F. Lesniak, 1964)

Temperature corrections (t°) for inclusions homogenization temperature in 30% NaCl solution — pressure dependent. After G. G. Lemlein and P. B. Klevtsov (V. F. Lesnyak, 1964)

Fig. 4. Przyrost krytycznej temperatury roztworów w zależności od wagowej zawartości KCl i NaCl (wg E. Ingersona)

Critical temperature increase in solutions dependent on the weight content of KCl and NaCl (after E. Ingerson)

Objętość wakuoli w temperaturze pokojowej jest nieco mniejsza niż w momencie powstawania w podwyższonej temperaturze. Spowodowane jest to ogólną kompresją kryształu, do której dochodzi po ochłodzeniu, oraz wykrystalizowaniem mikrolitów kryształu macierzystego na ściankach inkluzji. Poprawki spowodowane tymi czynnikami są na ogół niewielkie, a ponadto brak jest jeszcze dotychczas opracowanych metod ich wyznaczania.

Stwierdzono, że w temperaturze pokojowej hermetyczność inkluzji jest w zasadzie pełna, a cały szereg minerałów — szczególnie słabo rozpuszczalnych w wodzie, jak kwarc, fluoryt, topaz itp. — zachowuje hermetyczność inkluzji, aż do temperatury homogenizacji. Może się jednak zdarzyć, że wskutek podwyższonej szczelinowatości lub wtórnej porowatości może nastąpić ucieczka roztworów z inkluzji, co zmieni całkowicie przebieg eksperymentu. Dlatego badając temperaturę homogenizacji

należy obserwować inkluzję tak, aby mieć pewność, że nie nastąpiło prześcążenie roztworu. Zdarza się to często, jeśli inkluzja zawiera dużą ilość gazów.

DEKREPITACJA INKLUZJI

Dekrepiteacja inkluzji polega na rozerwaniu ziarna pod wpływem naprężeń wewnętrznych, które powstaną po przekroczeniu temperatury homogenizacji. Do momentu homogenizacji ciecz rozszerza się kosztem pęcherzyka gazowego, a dopiero po całkowitym zaniku pęcherzyka naprężenie wewnętrzne w roztworze nagle wzrośnie kilkakrotnie, przekraczając wytrzymałość ziarna na rozrywanie. Można wówczas zarejestrować kilka różnych efektów, które są wykorzystywane przy budowie aparatury badawczej, a mianowicie: 1 — rozrywane ziarno będzie nagle wyrzucane do góry (zryw); 2 — w trakcie pęknięcia ziarna nastąpi lekki trzask; 3 — do przestrzeni otaczającej zwolniona zostanie pewna ilość gazów zawartych w inkluzji; 4 — wskutek natychmiastowego wyparowania gazów nastąpi obniżenie ciężaru próbki.

Badania oparte na wykorzystaniu zjawiska zrywu mają charakter wizualny i mogą być rejestrowane pod mikroskopem przy użyciu opisanej już wyżej termokamery lub innego podobnego urządzenia. Sposób ten wykorzystywany był dawniej, obecnie jest już niemal całkowicie zrzucony.

W praktyce stosowany jest najczęściej akustyczny sposób rejestrowania trzasków. Metodę tę po raz pierwszy zastosował w 1948 r. H. S. Scott. Aparatura zbudowana przez niego była jeszcze dość prymitywna, dźwięki odbierane były przy pomocy słuchawek, a cały zapis wyników dokonywany był ręcznie. Budowę dekrepitometrów, w różnym stopniu zautomatyzowanych, rozpoczęto w kilka lat później, od momentu pojawienia się dekrepitometru dźwiękowego J. A. Dołgowa i L. D. Raichera (1953). W ciągu ostatnich 20 lat ilość dekrepitometrów wydatnie wzrosła. Budowane są one dotychczas jako prototypy w wielu laboratoriach świata. Mają różne rozwiązania poszczególnych elementów, niemniej ogólna koncepcja naukowa jest ta sama. W pełni zautomatyzowany dekrepitometr zbudowany został także w Instytucie Geologicznym w Warszawie (J. Brzęczkowski, T. Janiszewski, J. Pawłowska, 1971). Ogólny jego schemat przedstawia fig. 5.

W Związku Radzieckim pojawił się nowy typ aparatu, w którym rejestrowany jest przyrost ciśnienia gazów uwalnianych z inkluzji przy rozrywaniu ziarna. Jest to urządzenie, w którym dla zwiększenia czułości musi być utrzymywana dość wysoka próżnia (10^{-4} — 10^{-6} atm.). Sproszkowana próbka umieszczana jest w piecu połączonym z aparaturą próżniową, manometrem i samozapisującym rejestratorem. Mimo że aparatura oparta na zapisie termobarometrycznym ma w porównaniu z dekrepitometrem dźwiękowym wiele zalet, to jednak ze względu na kłopoty z utrzymaniem jej w stanie ciągłej przydatności nie znalazła dotychczas szerszego zastosowania. Może ona jednak oddać duże usługi w przypadkach masowego wykonywania analiz i ciągłej pracy aparatury, bowiem po każdej, nawet krótkiej przerwie wymaga kilku dni przygotowań do pracy (uzyskanie właściwej próżni).

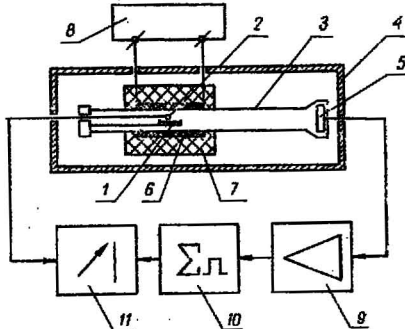
Do badania dekrepitacji stosuje się także derywatografy, które rejestrują zmiany masy próbki w czasie ogrzewania jako funkcji temperatury. Strata wagi próbki, jaką obserwuje się wskutek wyparowania cieczy i ulotnienia się gazów po rozpadzie inkluzji, zaznacza się na krzywej TG oraz na krzywej różniczkowej DTG. Metoda ta jest stosowana rzadko i tylko do kontroli innych metod. Może być ona użyta tylko do badania minerałów, które nie wykazują efektów na linii TG w zakresie niższych temperatur — charakterystycznych dla złóż hydrotermalnych — lub też w których temperatura nie pokrywa się z temperaturami charakterystycznymi dla danego minerału w analizie termicznej. Ważny jest przy tym sposób suszenia próbki oraz dobranie odpowiedniej próbki wzorcowej (Ł. Karwowski, A. Kozłowski, 1972).

Fig. 5. Schemat funkcjonalny dekrepitometru IG 1

Functional scheme of the decrepitemetr IG 1

1 — pojemnik z próbką; 2 — spójna termopary; 3 — rura pieca; 4 — izolacja akustyczna; 5 — mikrofon; 6 — grzejnik; 7 — izolacja termiczna; 8 — zasilacz programowy; 9 — wzmacniacz; 10 — przetwornik impulsów; 11 — rejestrator

1 — container with sample; 2 — thermocouple junction; 3 — furnace pipe; 4 — acoustic insulation; 5 — microphone; 6 — heater; 7 — thermal insulation; 8 — programme feeder; 9 — amplifier; 10 — impulse converter; 11 — recorder



Wszystkie metody dekrepitometryczne, jakkolwiek stosowane być mogą do badania minerałów nieprzejrystych, co znacznie rozszerza możliwości badawcze, mają jednak wiele mankamentów. Są to metody mało precyzyjne, nie pozwalają bowiem na odróżnienie inkluzji pierwotnych od wtórnych oraz na wyróżnienie rodzaju faz, dopuszczając przez to cały szereg błędów metodycznych, nie mówiąc już o błędach wynikających z konstrukcji aparatury, np. dekrepitometru. Mogą one być natomiast z powodzeniem stosowane, obok podstawowej metody homogenizacji, w badaniach masowych.

BADANIA CIŚNIENIA NA PODSTAWIE INKLUZJI

Oznaczanie ciśnienia panującego w procesie krystalizacji jest wykonywane o wiele rzadziej niż badania temperatury, dlatego też dużo jest jeszcze nie rozwiązanych problemów metodycznych. Badania tego parametru przeprowadza się w minerałach przejrzystych, a czynione próby oznaczania ciśnienia powstawania minerałów nieprzejrystych nie dały dotychczas pozytywnych rezultatów.

Większość złóż endogenicznych powstaje zazwyczaj na dużych głębokościach, tzn. w warunkach dużych lub podwyższonych ciśnień. Dzisiejsze, dostępne złoża występują zazwyczaj na niewielkich głębokościach, toteż przyjmowanie stopnia geobarycznego (250 atm na 1 km głęb.), bez

uwzględnienia znacznej zazwyczaj erozji skał nadkładowych, nie może dać wiarygodnych wyników.

Metodami oznaczania ciśnienia na podstawie inkluzji interesowało się już wielu badaczy zarówno z krajów zachodnich, jak i ze Związku Radzieckiego. Do tych celów wykorzystuje się obecnie inkluzje z dwutlenkiem węgla, homogeniczne inkluzje roztworów wodnych oraz inkluzje zawierające prawie czysty gaz. Najbardziej pospolite są inkluzje z dwutlenkiem węgla, szczególnie w złożach hydrotermalnych, toteż spośród kilku znanych i stosowanych w praktyce metod, metoda oparta na właściwościach CO_2 będzie służyła jako przykład oznaczania. Do badań wykorzystuje się inkluzje z dwutlenkiem węgla i H_2O pochodzenia homogenicznego i heterogenicznego. Oznaczenie ciśnienia w roztworach heterogenicznych jest bardziej skomplikowane i obarczone przez to większym błędem, dlatego częściej wykorzystuje się homogeniczny roztwór CO_2 i H_2O . Do homogenicznych roztworów CO_2 zalicza się takie, w których wodny roztwór nie przewyższa zwykle 2—3% ogólnej objętości, a do homogenicznych roztworów wodnych odpowiednio takie, w których ciekły dwutlenek węgla nie stanowi więcej niż 3% (jeśli ciśnienie i temperatura nie była w momencie inkluzji anomalnie wysoka).

Podstawowymi danymi, które wykorzystuje się dla oznaczania ciśnienia są: temperatura homogenizacji inkluzji wodnej oraz objętość właściwa (gęstość) dwutlenku węgla w momencie częściowej homogenizacji z CO_2 . Kolejność badań przy oznaczaniu ciśnienia jest następująca:

1. W płycie minerału przejrzystego znajdujemy pod mikroskopem pierwotną inkluzję wodną oraz syngenetyczną, homogeniczną inkluzję CO_2 .

2. Ochładzając płytkę z inkluzją CO_2 do temperatury co najmniej około 0°C , obserwujemy wydzielanie się pęcherzyka gazowego CO_2 dla potwierdzenia obecności homogenicznego roztworu CO_2 ; ochłodzenia można dokonać przy pomocy lodu umieszczonego wraz z płytką w płaskim naczyniu szklanym na stoliku przedmiotowym mikroskopu.

3. Dolewając powoli do naczynia z lodem ciepłej wody ogrzewamy płytkę do częściowej homogenizacji (zaniku pęcherzyka gazowego CO_2), po czym oznaczamy temperaturę homogenizacji zwykłym termometrem, zanurzonym w naczyniu, po uprzednim zamieszczeniu roztworu rozpuszczonego z lodu. W temperaturze homogenizacji mierzymy objętościowo stosunki faz — wodnej i CO_2 — i obliczamy procentową zawartość jednej i drugiej cieczy. Woda i dwutlenek węgla mają w stanie ciekłym ograniczoną wzajemną rozpuszczalność, toteż fazy te są łatwe do wyróżnienia pod mikroskopem.

4. Obliczamy gęstość dwutlenku węgla w momencie zamykania inkluzji stosując wzór W. A. Kaliużnego:

$$D_{\text{CO}_2} = \frac{L_2}{L_2 + \Delta L_1} d_{\text{CO}_2}$$

gdzie: D_{CO_2} — gęstość dwutlenku węgla w temperaturze częściowej homogenizacji zgodnie z krzywą nasycenia ciecz — gaz dla CO_2 (tablice fizyczno-chemiczne dla gazów);

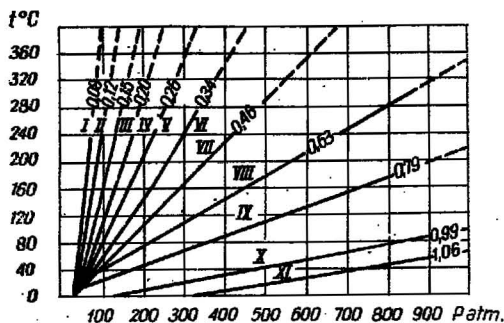
L_2 — procentowa zawartość dwutlenku węgla w inkluzji w temperaturze częściowej homogenizacji;

L_1 — procentowa ilość roztworu wodnego w inkluzji w temperaturze częściowej homogenizacji.

5. Przenosimy płytkę minerału do termokamery i oznaczamy na homogenicznych inkluzjach wodnych temperaturę homogenizacji.

6. Mając oznaczoną gęstość dwutlenku węgla (D_{CO_2}) oraz temperaturę homogenizacji odczytujemy na wykresie E. N. Amagata wartość ciśnienia P (fig. 6).

Fig. 6. Izolinie objętości właściwych CO_2 w układzie ciśnienie — temperatura (na podstawie danych E. N. Amagata)
Pressure versus temperature plot of isolines of CO_2 specific volume (based on data by E. N. Amagat)



7. Do znalezionej wartości ciśnienia dodajemy ciśnienie odpowiadające procentowej zawartości pary nasyconej nad roztworem wodnym, który był stwierdzony w inkluzji w temperaturze częściowej homogenizacji CO_2 (tablice fizyczno-chemiczne).

Z innych nowszych metod jednoczesnego oznaczenia temperatury i ciśnienia trzeba wspomnieć o doświadczeniach geologów radzieckich (J. A. Dołgow, 1968a).

SKŁAD CHEMICZNY ROZTWORÓW

Jak wiadomo, naturalne roztwory mineralizacyjne zawierają sole proste i złożone jony metali, zdysocjowane kwasy, różne rodzaje gazów itp. Wszystkie te składniki można znaleźć również w roztworach inkluzji, których przeanalizowanie da w konsekwencji charakterystykę chemiczną tych roztworów. W zależności od wielkości inkluzji oraz charakteru analizy w praktyce stosowane są różne metody ekstrakcji i metody analityczne.

Jeśli inkluzje są dostatecznie duże i są łatwo rozróżniane pod mikroskopem, to ekstrakcji dokonuje się przy pomocy strzykawek lekarskich. Są to jednak przypadki rzadkie. Ze względu na trudności metodyczne taki sposób przygotowania stosuje się tylko przy badaniach wyjątkowo cennych okazów.

Powszechnie natomiast stosuje się metodę ekstraktów wodnych, ze zmielonych, a następnie utartych próbek analizowanych skał lub wybranych minerałów. Utartą próbkę zalewa się bidestylem, a rozpuszczone

sole, znajdujące się w roztworach inkluzji, pozostają w przesączu, który poddaje się normalnej analizie, jak w powszechnie stosowanych badaniach roztworów wodnych. Najczęściej oznacza się kationy: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , a z anionów: Cl^- , F^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} . Ważnym zadaniem jest określenie pH roztworu i zawartości CO_2 . Ponadto coraz częściej oznacza się obecnie zawartość pierwiastków śladowych. Odpowiednio pobrana naważka próbki pozwala także na obliczenie koncentracji soli w litrze roztworu lub 100 g próbki. Metoda ta ma szereg niedoskonałości, ponieważ uzyskuje się tylko średnie, sumaryczne wyniki dla całej większej próbki bez uwzględnienia syngenetyczności inkluzji. Pozwala ona jednak scharakteryzować środowisko chemiczne i wnioskować o mechanizmie powstawania minerałów.

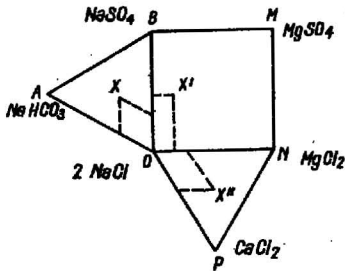


Fig. 7. Wykres pomocniczy do określenia typu roztworów mineralizacyjnych
Auxiliary graph to determine the type of mineralization solutions

Wyniki analizy przelicza się na gramoekwiwalenty w procentach, a obliczone indeksy nanosi się na specjalnie skonstruowany diagram (fig. 7), za pomocą którego określa się typ roztworu. Wyróżnia się następujące typy roztworów mineralizacyjnych: węglanowy ($\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$); chlorkowy ($\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$); siarczkowy ($\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-$) oraz sześć typów mieszanych, charakteryzujących zmienne stosunki jonów Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} ($\text{Cl}^- \geq \text{HCO}_3^- \geq \text{SO}_4^{2-}$). Znajomość składu chemicznego roztworów mineralizacyjnych w inkluzjach ma duże znaczenie dla ustalenia genezy badanych skał oraz przesłanek poszukiwawczych. Skład chemiczny roztworów na podstawie badań inkluzji jest opisany w licznych pracach autorów zagranicznych oraz polskich (A. Kozłowski, Ł. Karwowski, 1972).

Coraz częściej analizowane są także gazy zawarte w inkluzjach, które, podobnie jak w przypadku określenia składu chemicznego roztworów, mogą być analizowane w oddzielnych wrostkach (wolumetrią) oraz w całej masie próbki. Częściej stosowane są oczywiście analizy masowe. Rozwój tych metod ma duże znaczenie dla ustalenia prawidłowych wniosków genetycznych. Bogate doświadczenia w tej dziedzinie mają obecnie badacze radzieccy (J. A. Dołgów, N. A. Szugurova, 1966a, b, 1968; J. A. Dołgów, 1968a, b).

Na zakończenie należy wspomnieć także o nowym, rozwijającym się obecnie kierunku badań inkluzji, zwanym kryometrią. Wiąże się on z jednej strony z problemem określenia składu chemicznego oraz redukcji i koncentracji gazów w roztworze, z drugiej zaś pozwala podać pełną charakterystykę zmian fazowych, jakie zachodzą w okresie pow-

stawiania kryształów. Metoda polega na zamrażaniu inkluzji i obserwacji płytek polerowanych w trakcie spadania temperatury. Różne mogą być sposoby zamrażania, w związku z czym rozmaite są również stoliki zamrażające, umieszczane na stoliku podstawowym mikroskopu, a mianowicie:

- twarde mieszaniny — lód, śnieg, kilka stopni poniżej 0°C;
- ciecze chłodzące — aceton, spirytus, kilkadziesiąt stopni poniżej 0°C;
- gazy chłodzące — CO₂, azot, od -55° do -195°C;
- chłodnice termoelektryczne.

Twarde mieszaniny mogą być wraz z płytką umieszczane w płaskim naczyniu szklanym, ciecze chłodzące przepuszcza się przez tzw. stolik Köflera lub podobnego typu stolik biologiczny, gazy chłodzące przechodzą natomiast przez stolik z otworami, który łatwo może być skonstruowany we własnym zakresie. Chłodzenie termoelektryczne odbywa się przy pomocy specjalnych bimetałów.

W badaniach kriometrycznych wykorzystuje się temperatury krzepnięcia roztworów, temperaturę topnienia faz stałych oraz temperaturę punktu eutektycznego, która jest zależna od składu i koncentracji soli oraz gazów w roztworze.

W wyniku tych badań można odtworzyć zmienność własności chemicznych roztworu w procesie krystalizacji, zawartość niektórych soli i gazów w roztworze oraz zjawiska zachodzące w procesie ochładzania i topnienia minerałów.

Literatura dotycząca badań termobarogeochemicznych jest obecnie na świecie ogromna i nie sposób nawet w obszerniejszym artykule omówić wszystkie aspekty naukowe wynikające z tych badań. Artykuł niniejszy ma na celu jedynie zachęcenie geologów polskich do podjęcia tego typu studiów, bowiem dotychczasowe badania prowadzone przez Instytut Geologiczny i Uniwersytet Warszawski są dalece nie wystarczające.

Zakład Ziół Surowców Skalnych
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4
Nadesłano dnia 18 maja 1974 r.

PIŚMIENNICTWO

- BRZĘCZKOWSKI J., JANISZEWSKI T., PAWŁOWSKA J. (1971) — Metoda dekrepitacji i aparatura do badań temperatury powstawania minerałów i skał. *Prz. geol.*, 19, p. 395—398, nr 8/9. Warszawa.
- KARWOWSKI Ł., KOZŁOWSKI A. (1972) — Thermogravimetric Method of Determination of Decrepitation Temperature. *Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Sc. Terre*, 20, p. 11—17, nr 1. Varsovie.
- KOZŁOWSKI A., KARWOWSKI Ł. (1972) — Hydrothermal Origin of Quartz from Jęglowa (Lower Silesia). *Bull. Acad. Pol. Sc. Sér. Sc. Terre*, 20, p. 91—96, nr 2. Varsovie.

- PAWŁOWSKA J. (1971) — Homogenizacja i dekrepitacja w badaniach temperatury powstawania minerałów i skał. *Kwart. geol.*, 15, p. 837—854, nr 4. Warszawa.
- PAWŁOWSKA J. (1973) — Fizyczno-chemiczne warunki powstawania dolnośląskich złóż barytów. *Biul. Inst. Geol.*, 267, p. 5—113. Warszawa.
- ROEDDER E. (1972) — Data of Geochemistry. Sixth Edition. *Geol. Surv. Prof. Paper*, 440-JJ. Washington.
- SCOTT H. S. (1948) — The decrepitation method applied to minerals with fluid inclusions. *Econ. Geol.*, p. 637—654, nr 8. New Haven.
- ДОЛГОВ Ю. А. (1968a) — Давление и температура в процессе формирования камерных пегматитов. *Докл. АН СССР*, 178, стр. 1171—1174, № 5. Москва.
- ДОЛГОВ Ю. А. (1968b) — Состав газов в процессах эндогенного минералообразования. В: *Intern. Geol. Congress*, 23d, *Probl.*, 7, p. 101—111. Prague.
- ДОЛГОВ Ю. А., РАЙХЕР Л. Д. (1953) — Автоматический термозвукорегистратор. *Минер. Сборн. Львов. Геол. Об-ва*, №7, стр. 259—270. Львов.
- ДОЛГОВ Ю. А., ШУГУРОВА Н. А. (1966a) — О газах постмагматических процессов минералообразования. *Докл. АН СССР*, 170, стр. 1422—1425, № 6. Москва.
- ДОЛГОВ Ю. А., ШУГУРОВА Н. А. (1966b) — Исследования состава индивидуальных газовых включений. В: *Материалы по генетической и экспериментальной минералогии*, 4, стр. 173—181. Новосибирск.
- ДОЛГОВ Ю. А., ШУГУРОВА Н. А. (1968) — Состав газов из индивидуальных включений различных минералов. В: *Минералогическая термометрия и барометрия*, 1, стр. 290—298. Изд. Наука. Москва.
- ФЕКЛИЧЕВ В. Г. (1965) — Об оптических методах наблюдений газовой-жидких включений в кристаллах. В: *Минералогическая термометрия и барометрия*, стр. 107—115. Изд. Наука. Москва.
- ЕРМАКОВ Н. П. (1950) — Исследования минералообразующих растворов. Изд. Харьковский. Гос. Унив. Харьков.
- ЕРМАКОВ Н. П. (1972a) — Геохимические системы включений в минералах. Изд. Недра. Москва.
- ЕРМАКОВ Н. П. (1972b) — Геокосмохимическая классификация включений в минералах. В: *Геохимия*, стр. 145—153. Изд. Наука. Москва.
- ЕРМАКОВ Н. П., МЕЛЬНИКОВ Ф. П. (1971) — Физикохимическая сущность пневматолитовых и гидротермальных минералообразующих растворов по результатам исследований включений в минералах. В: *Международный Геохимический Конгресс. Тезисы докладов 1*, стр. 342—343. Москва.
- ЛЕСНЯК В. Ф. (1964) — Основа анализа физикохимических свойств минералообразующих растворов по включениям в минералах. Изд. Львов. Унив. Львов.
- СМИТ Ф. Г. (1956) — Геологическая термометрия по включениям в минералах. Перевод с англ. Изд. Иностран. Лит. Москва.

Ядвига ПАВЛОВСКА

МЕТОДЫ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Резюме

В статье кратко рассмотрены важнейшие проблемы и теоретические основы изучения включений и их значение для развития взглядов на генезис минералов и пород. Термобарогеохимия развивается во многих странах, особенно в Соединенных Штатах Америки, Советском Союзе, Японии, Франции и других. В таб. 1 представлен (согласно Н. П. Ермакова и Ф. П. Мельникова, 1971) обзор проблем, которые можно решать при помощи теоретико-методических принципов термобарогеохимии, а также место этой области исследований в геологической науке.

Учитывая физическое состояние среды минерализации, рассмотрено три состояния скоплений материи и их поведение в зависимости от температуры, давления и химического состава раствора. Эти исследования можно провести на основе включений. Ввиду разнообразия и повсеместной распространенности включений в минералах, классификация включений охватывает все большее число групп (фиг. 1, таб. 2). На фоне этих классификаций рассмотрены более обычные примеры формирования включений, их виды и признаки, свидетельствующие о происхождении первичного материала.

В описании метода изучения включений приведены основные принципы определения температуры, давления и химического состава раствора. Описаны способы определения температуры гомогенизации, а также основные проблемы, связанные с этими исследованиями и применяемая аппаратура. В качестве примера приведена схема нагревательной камеры и основные элементы конструкции (фиг. 2), с тем, чтобы склонить к постройке таких камер и применению их в практике. Много места посвящено в статье исследованиям декрепитации включений с поочередным описанием преимуществ применения акустических декрепитометров, термобарометров, регистрирующих нарастание давления газов, а также термогравиметрического метода. Сокращенно представлена схема автоматического декрепитометра, сконструированного в Геологическом институте в Варшаве.

Обозначение давления в процессе кристаллизации на основе включений рассмотрено на примере гомогенных растворов CO_2 и H_2O . Приведены простейшие способы определения состояния скопления CO_2 , очередность действий, формулы для подсчета и список основной литературы (фиг. 6).

При описании методов обозначения химического состава растворов, кратко описаны реже применяемые способы, главным образом обращено внимание на метод экстрактов из жидких и газовых включений из размолотых образцов. Приведено деление выделяемых типов растворов и формулы для их установления (фиг. 7). Рассматривая методы определения газовых компонентов, мы ограничились только приведением основной литературы.

В заключение описана простейшая аппаратура, применяемая в развивающейся в настоящее время области изучения включений — криометрии и дана ее краткая характеристика.

Jadwiga PAWŁOWSKA

THERMOBAROGEOCHEMISTRY: APPLICATIONS AND METHODS

Summary

The present paper briefly reviews the major problems and theoretical basis of inclusion studies and their contribution to the knowledge of the origin of minerals and rocks. Thermobarogeochemistry is developing in many countries, but chiefly in the USA, USSR, Japan, and France. Table 1 (after N. P. Ermakov and R. P. Melnikov, 1971) illustrates the problems that can be solved by thermobarogeochemical methods and the position of thermobarogeochemistry among the geological sciences.

Three states of aggregation and their behaviour dependent on temperature, pressure, and chemical composition of the solution have been discussed against the physical state of the mineralization environment. This type of information may be obtained from inclusion studies. Due to the variety and common occurrence of inclusions in minerals more and more numerous groups are being included in the classification (Fig. 1, Tab. 2). Common cases of inclusion formation, their types and features indicative of the primary mineral are discussed.

Along with the description of inclusion studies methods the fundamentals of determination of temperature, pressure, and chemical composition of the solutions are given. The basic problems, procedures, and equipment used to determine homogenization temperatures are discussed. As an example, the constructional scheme of a heating camera is given along with the principal constructional elements (Fig. 2). Other research centres are encouraged to construct and use such a camera in their routine practice. Due consideration is given to inclusion decrepitation, reviewing the advantages of the acoustic decrepimeters, thermobarometer recording the gas pressure increase, and the TGA. The constructional scheme of the automatic decrepimeter constructed at the Geological Institute in Warsaw (Fig. 5) is presented.

Less common analytical methods are only briefly mentioned, special emphasis being put on extraction procedures of liquid and gaseous inclusions from ground samples. The classification of solution types and formulas for their determination (Fig. 7) are given. Only the principal literature providing information on analytical methods for gaseous inclusions is listed.

Finally, cryometry, the developing branch of inclusion studies, is briefly discussed along with the simplest equipment now in use.