

ZASTOSOWANIE WYNIKÓW BADAŃ INKLUZJI GAZOWO-CIEKŁYCH W MINERAŁACH DO ODTWARZANIA WARUNKÓW KRYSZALIZACJI TYCH MINERAŁÓW

UKD 549.01:756.4:536.423].08:546.53

O warunkach krystalizacji minerałów można sądzić na podstawie badania ich cech fizycznych, chemicznych i strukturalnych. W tym przypadku badamy produkt, jaki powstał w środowisku, w którym składniki minerału były zawarte w zmiennych, niekiedy podrzędnych koncentracjach. Proces powstawania minerałów można odtwarzać w odpowiednich układach, składających się bądź z syntetycznych, bądź z naturalnych składników. Wtedy, otrzymując w wyniku eksperymentu minerał lub asocjację minerałów, odtwarzamy często jeden spośród możliwych procesów prowadzących do jego uformowania. Rekonstrukcji środowiska związanego ściśle z powstaniem i istnieniem badanego minerału można dokonać na podstawie zawartych w nim inkluzji fluidalnych, zarówno pierwotnych jak i wtórnych.

Wypełnienia inkluzji fluidalnych są relikdami środowiska macierzystego, stanowiąc jego mikropróbki, a jednocześnie są one samorejestrującymi termometrami i barometrami procesu powstawania minerału. Powrót w przybliżeniu do stanu środowiska, który istniał w czasie powstawania minerału, następuje przez doprowadzenie inkluzji do temperatury, w której wypełnienie staje się homogeniczne.

Z drugiej strony można rozpatrywać inkluzje jako naturalne mikroautoklawy, posiadające bardzo istotną zaletę, a mianowicie możliwość ciągłej i dokładnej obserwacji wizualnej procesów, zachodzących w czasie wzrostu temperatury, a zatem i przy wzroście ciśnienia.

PROBLEM ODDZIELANIA SIĘ OD MAGMY ROZTWORÓW WODNYCH

Badano granofirowe mikropegmatyty kwarcowo-pertytowe¹ z gór Elburs. W mikropegmatytach tych

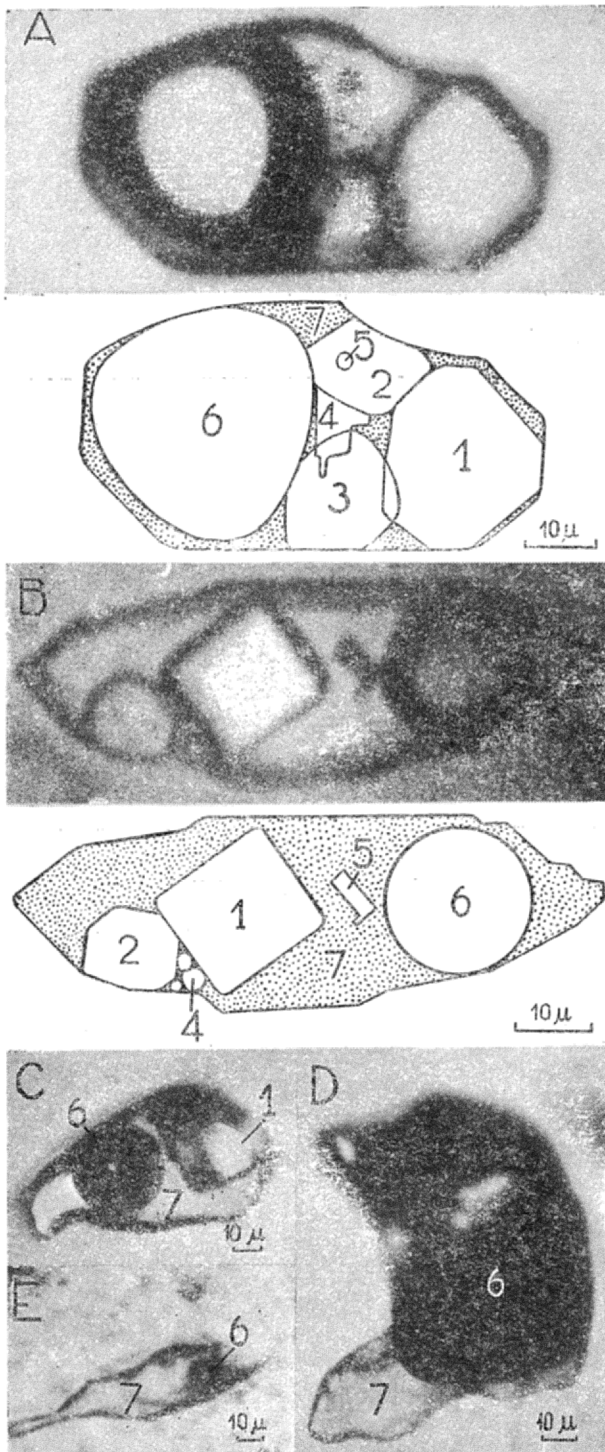
¹ Próbki pobrane przez mgr R. Wrone podczas Polskiej Ekspedycji, Iran 1971 Polskiego Klubu Wysokogórskiego.

występuje ponadto sporadycznie biotyt i zielony turmalin, a w zawartych w nich druzach kwarcowo-skalieniowych — fluoryt i brukit (14). Badania bardzo urozmaiconych i licznie występujących inkluzji przeprowadzono głównie w kwarcu (ryc. 1). Wydzielono 5 generacji inkluzji różniących się składem fazowym wypełnienia oraz temperaturami homogenizacji. Wyniki ich badań zestawiono w tabeli.

Obiektywnym kryterium następstwa czasowego zmian fizyczno-chemicznego stanu fluidu jest zjawisko wtórnego napełnienia inkluzji (9). Zjawisko to zachodzi wtedy, gdy inkluzje wcześniejszej generacji są otwierane przez szczelinę w minerałach. W wyniku tego wypełnienie inkluzji zostaje usunięte, a następnie wakuola wypełnia się fluidem syngenetycznym ze szczeliną. Zatem cechami wyróżniającymi inkluzje wtórnie napełnione są: morfologia inkluzji wcześniejszej generacji, a wypełnienie charakterystyczne dla inkluzji rozwiniętych na otwierającej się, a potem zabliźnionej szczelinie (10).

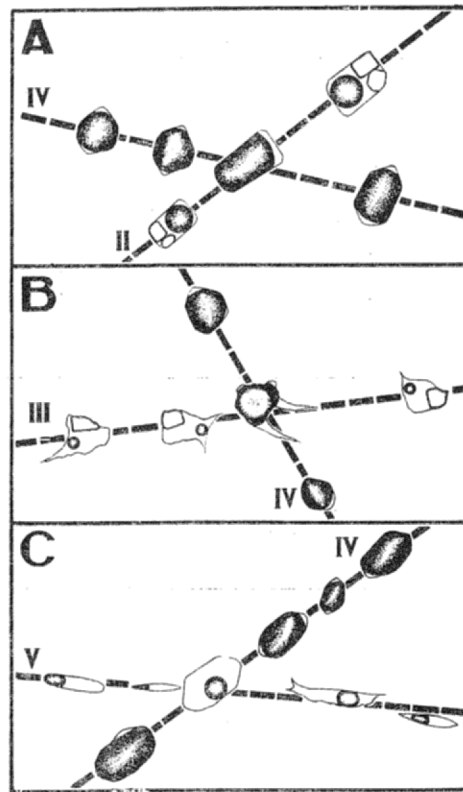
W badanych kwarcach inkluzje II i III generacji były wtórnie napełniane przez inkluzje IV generacji, te zaś z kolei w innych miejscach były wtórnie napełniane przez inkluzje V generacji (ryc. 2).

Analizy zawartości inkluzji fluidalnych (15, 25) wykazywały, że głównym składnikiem wypełnienia inkluzji, obok H₂O, jest NaCl. Zatem można porównywać wypełnienie inkluzji z modelem układu NaCl — H₂O w warunkach stałej objętości, przy pominięciu rozszerzalności termicznej minerału. Wpływ KCl nie ma zbyt dużego znaczenia z powodu podobieństwa układu KCl — H₂O (5). Wpływ innych jonów można pominąć, kiedy ich koncentracje w inkluzjach są niewielkie. Opierając się na uzyskanych danych temperatur rozpuszczania soli oraz homogenizacji inkluzji, możliwe było określenie stężeń soli w przeliczeniu na równoważnik NaCl. W tym celu dla odpowiednich inkluzji wykorzystano wykres rozpuszczalności NaCl w wodzie wzdłuż 3-fazowej granicznej



Ryc. 1. Inkluzje fluidalne w kwarcu z Alam Kuh. A — mikrofotografia i schemat inkluzji I generacji, B — mikrofotografia i schemat inkluzji II generacji, C — inkluzja III generacji, D — inkluzja IV generacji, E — inkluzja V generacji. Patrz także tabela: 1 — halit, 2 — sylwin, 3 — ? kalcyt, 4 — rozpuszczalna sól x, 5 — nieprzezroczysty minerał, 6 — pęcherzyk gazowy, 7 — roztwór wodny.

Fig. 1. Fluidal inclusion in quartz from Alam Kuh. A — microphotograph and scheme of inclusion of the Ist generation, B — microphotograph and scheme of inclusion of the IInd generation, C — inclusion of the IIIrd generation, D — inclusion of the IVth generation, E — inclusion of the Vth generation. See also Table: 1 — halite, 2 — sylvine, 3 — ? calcite, 4 — solvable salt x, 5 — opaque mineral, 6 — gaseous bubble, 7 — water solution.



Ryc. 2. Wtórne napełnienie inkluzji w kwarcu z Alam Kuh.

A — II generacja wtórnie napełniona przez IV generację, B — III generacja wtórnie napełniona przez IV generację, C — IV generacja wtórnie napełniona przez V generację.

Fig. 2. Secondary infilling of inclusions in quartz from Alam Kuh.

A — IInd generation secondarily infilled by the IVth generation, B — IIIrd generation secondarily infilled by the IVth generation, C — IVth generation secondarily infilled by the Vth generation.

izochory para-ciecz-kryształ (24). Stwierdzono stopniowy, konsekwentny spadek koncentracji soli we fluidach, od 80% wag. dla I generacji do 35% wag. równoważnika NaCl dla III generacji inkluzji.

Metodami spektralnymi, mikrochemicznymi w indywidualnych inkluzjach stwierdzono obecność potasu i wapnia obok dużych ilości sodu i jonu Cl^- , a także niewielkich ilości żelaza, prawdopodobnie Fe^{2+} . Nie stwierdzono SO_4^{2-} i faz zawierających CO_2 . Metodami mikroskopowymi zidentyfikowano główne fazy krystaliczne jako halit, sylwin i prawdopodobnie kalcyt (14). Metodą planimetrowania poszczególnych inkluzji określono objętościowy i wagowy udział faz w ich wypełnieniu, co dalej stanowiło podstawę do określenia gęstości tych fluidów (tabela), przy znanych ilościach soli rozpuszczonych w roztworze pozostającym w równowadze z fazami krystalicznymi (17).

W przypadkach jednoczesnej całkowitej homogenizacji inkluzji II i III generacji określono ciśnienia na podstawie wykresu ciśnień pary cieczy nasyconych w stosunku do NaCl w układzie NaCl — H_2O (24). Ciśnienia te mogą być minimalnymi, jakie musiały panować w czasie krystalizacji kwarcu. Dla I generacji ciśnienie określono jedynie w przybliżeniu na podstawie ciśnienia dekrepitacji inkluzji (19) położonych najbliżej powierzchni preparatu.

REZULTATY BADAŃ INKLUZJI FLUIDALNYCH W KWARCU Z ALAM KUH

		Generacja inkluzji				
		I-pierwotne, ryc. 1a	II-pierwotne i wtórne, ryc. 1b	III-pierwotne i wtórne, ryc. 1c	IV-wtórne ryc. 1d ⁵	V-wtórne ryc. 1e
Skład fazowy %obj. przy temp. +25°C	halit	20—30	15—20	10—15	(?)	—
	sylwin	8—10	5—10	—	(?)	—
	inne kryształy	0—13	0—5	—	(?)	—
	gaz	25—35	10—20	10—20	(90—100?)	5—10
	roztwór wodny	25—30	50—60	65—75	(0—10?)	90—95
Skład fazowy %wag przy temp. +25°C	halit	39	32			
	sylwin	12	11			
	?kalcyt	23	—			
	sól x nieprzezroczysty kryształ	3?	—			
	gaz roztwór ¹	0,1? (?) 23	3? (?) 54			
Skład chemiczny fluidu, % wag.	NaCl	44	43			
	KCl	14	17			
	?CaCO ₃	23	(?)			
	H ₂ O ¹	16	38			
Koncentracja soli, % wag. ²		70—80	55—68	35—40	(0,01—0,1?)	kilka % ⁴
Ogólna mineralizacja fluidu % wag. ¹		84	62			
Temperatura, °C i typ homo- genizacji		830—880 w ciecz	460—730 w ciecz	360—400 w ciecz	(310—360?) w gaz	270—360 w ciecz
Ciśnienie, bar ³		około 800	320—390	70—100		
Gęstość fluidu Hg/cm ³		1,32	1,28	1,2	(około 0,1?)	0,95—1,0
Wtórne napełnienie			napełnione przez IV ge- nerację	napełnione przez IV ge- nerację	napełniają II+III gene- rację napeł- nione przez V generację	napełniają IV generację

Uwagi: 1— obliczone na podstawie dokładnych pomiarów objętości faz; 2— obliczona na podstawie temperatury przemian fazowych, równoważnik NaCl 8— przy temperaturze homogenizacji; 4— temperatura zamarzania roztworu wodnego w inkluzji —5 do —10°C; 5— wyniki pomiarów przybliżone z powodu zaciemnienia głównej części inkluzji przez pęcherzyk gazowy.

W mikropegmatycie zostały stwierdzone niewielkie ilości biotyту. W skałach o składzie granitoidowym (dacytowym) minerały zawierające grupę OH pojawiają się przy ciśnieniu wody 500—1000 kg/cm², co odpowiada zawartości wody w stopie magmowym 2—4% wag. (2, 6). Można przyjąć, że oddzielenie się wody od kwaśnego stopu magmowego mogło rozpocząć się w temperaturze około lub nieco poniżej 1000°C. Przy średniej zawartości wody 3% odpowiada to oddzieleniu się wody na głębokości równej około 3 km (1). Sądząc z otrzymanych temperatur homogenizacji krystalizacja kwarcu zaczęła się w temperaturach rzędu 900°C. Podczas spadku temperatury od tej wartości do około 700—600°C mógł jeszcze istnieć stop krzemianowy, od którego woda oddzielała się w trakcie jego ruchu ku powierzchni Ziemi, aż do głębokości 1,5 km (8).

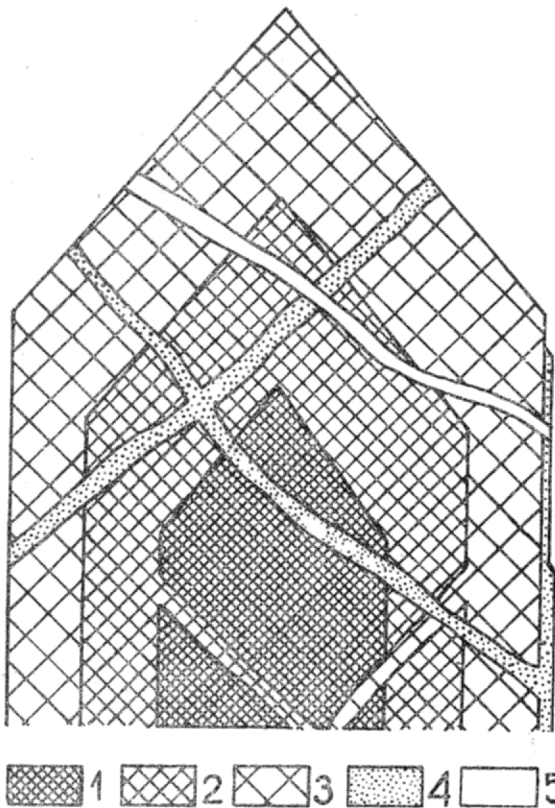
Eksperymentalne badania (13) dowiodły, że silnie stężone roztwory chlorkowe mogą powstać podczas oddzielenia H₂O od krystalizującej magmy. Uwodniony stop solny jest niemieszalny ze stopem krzemianowym i może istnieć z nim w postaci różnej wielkości skupień (22, 23), stając się środowiskiem krystalizacji minerałów druzowych. Problem podziału SiO₂ między stop krzemianowy a fazę solną wy-

kracza poza temat tego opracowania. Zawartość inkluzji jest aktywna chemicznie w stosunku do krzemionki, ponieważ uwalniająca się w procesie dekremitacji zawartość inkluzji silnie korodowała kwarcowe okienko mikrotermokamery.

W warunkach naturalnych możliwe jest istnienie fazy wodnej w stanie ciekłym w temperaturach bliskich temperaturom istnienia stopów magmowych wtedy, gdy posiada ona znaczną gęstość, spowodowaną dużą ilością rozpuszczonych w niej soli (tabela).

W badanym środowisku minerałotwórczym w uproszczeniu wydzielono 5 etapów jego istnienia. Jednak nie ulega wątpliwości, że od momentu pojawienia się fazy wodno-solnej jej ewolucja zachodziła w sposób ciągły aż do momentu pojawienia się środowiska gazowego („pneumatolitycznego”, inkluzje IV generacji). Zmiana ta mogła zająć w sposób skokowy. Poszczególne umownie wydzielone etapy odegrały w krystalizacji i rekrystalizacji kwarcu niejednokrotną rolę (ryc. 3).

Ewolucja stopniowo rozcieńczonego przez wodę, oddzielającą się od krystalizującego stopu krzemianowego, środowiska solno-hydrotermalnego przebiegała według schematu prawdopodobnie najbardziej



Ryc. 3. Schemat krystalizacji i zblężniania szczelin w kwarcu z Alam Kuh.

1 — krystalizacja przy udziale środowiska, którego relikty są zawarte w inkluzjach I generacji; 2 — II generacji, 3 — III generacji; 4 — IV generacji; 5 — V generacji.

Fig. 3. Scheme of crystallization and of healing fissures in quartz from Alam Kuh.

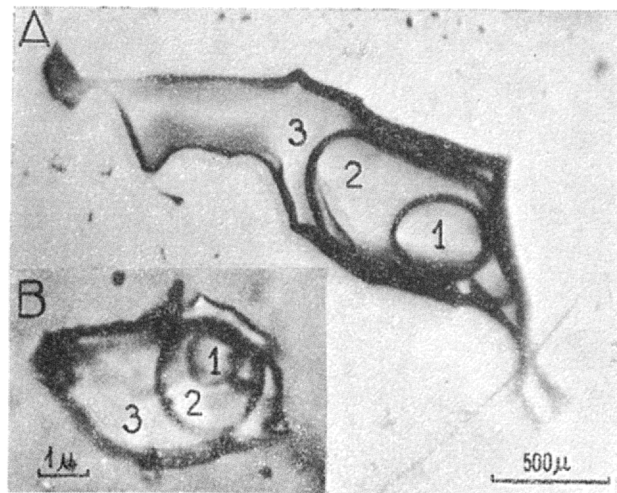
Crystallization with the contribution of environment, the relicts of which are entrapped in: 1 — 1st generation 2 — IInd generation, 3 — IIIrd generation, 4 — IVth generation, and 5 — Vth generation inclusions.

typowego w przyrodzie: resztkowy uwodniony stop solny — hydrotermalny silnie stężony roztwór — hydrotermalny umiarkowanie stężony roztwór — gazowy roztwór — hydrotermalny rozcieńczony roztwór (7).

DWUTLENEK WĘGLA W ŚRODOWISKU MINERAŁOTWÓRCZYM

Najpospolitszym i odgrywającym największą rolę środowiskiem powstawania minerałów niemagmowych są niewątpliwie roztwory wodne. Jednak badania inkluzji w minerałach z wielu wystąpień, a w Polsce zwłaszcza z leukogranitów i grejzenów z Pogórza Izerskiego (12) dowodzą istnienia środowisk o bardzo znacznym udziale CO₂. Większe jego ilości manifestują się jako oddzielna ciekła faza w inkluzji (ryc. 4a).

Częściowa homogenizacja inkluzji (fazy ciekłego CO₂ i gazowego pęcherzyka) może zachodzić z utworzeniem zarówno fazy ciekłej, jak i gazowej. Eksperymenty z nagrzewaniem nie zawsze prowadzą do pełnej homogenizacji inkluzji. Poza tym często w jednej generacji inkluzji w minerałach występuje zmienna zawartość ciekłego CO₂. Świadczyć to może o istnieniu w temperaturze powstawania minerału

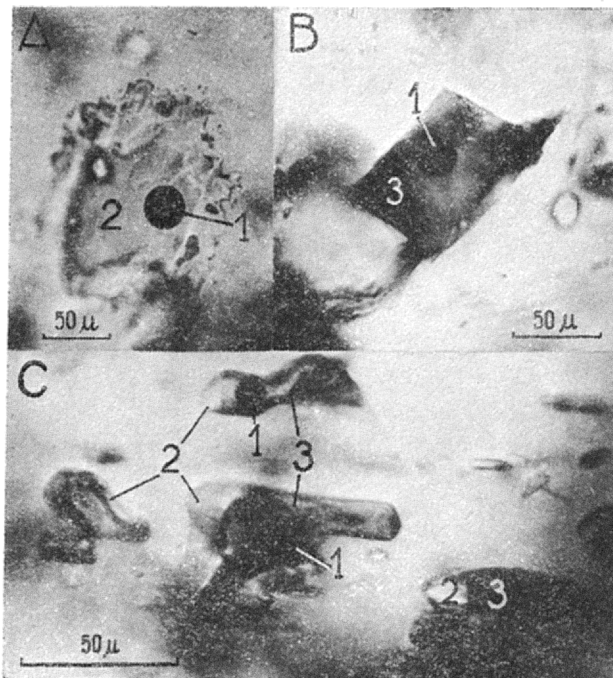


Ryc. 4. Inkluzje fluidalne zawierające ciekły CO₂.

A — w niebieskozielonym turmalinie, Boliwia; B — w topazie z grejzenu, Pobiedna, Pogórze Izerskie; 1 — pęcherzyk gazowy, 2 — ciekły CO₂, 3 — roztwór wodny.

Fig. 4. Fluidal inclusions yielding fluid CO₂.

A — in blue-green tourmaline from Bolivia, B — in topaz from graisen from Pobiedna, Pogórze Izerskie; 1 — gaseous bubble, 2 — fluid CO₂, 3 — water solution.



Ryc. 5. Inkluzje w brązowym kwarcu z Łagowa.

A — gazowo-(1) wodna (2); B — gazowo-(1) bitumiczna (3); C — gazowo-(1) wodno-(2) bitumiczna (3).

Fig. 5. Inclusions in brown quartz from Łagów.

A — gaseous-(1) water (2); B — gaseous-(1) bituminous (3); C — gaseous-(1) water-(2) bituminous-(3).

dwu nie mieszających się ciekłych fluidów: bogatego w wodę i w CO₂. W minerałach strefy grejzenowej Mładz — Kamień — Pobiedna (12) zawartość ciekłego CO₂ w inkluzjach sięga 30% obj. (ryc. 4b). Ciekły CO₂ występuje we wszystkich głównych minerałach grejzenów, a mianowicie: kwarcu (290—330°C)², topazie (300—390°C), fluorycie (240—320°C) i turmalinie (250—320°C); lyszczyk, jako nieodpowiedni do badań inkluzji pominięto. Tak pospolite i okazałe ilościowo wystąpienie ciekłego CO₂ w relikwach środowiska macierzystego grejzenów sugeruje jego istotną rolę w procesie grejzenizacji. Rola CO₂ jako środowiska transportu składników mineralnych nie jest w obecnej chwili dokładnie wyjaśniona z powodu nieznanego rozpuszczalności wielu związków w CO₂. Jego obecność powinna wywoływać kwaśne środowisko powstawania minerałów. Istotne jest, że przyczyną grejzenizacji na Pogórzu Izerskim były roztwory ciekłe, ponieważ pierwotne inkluzje w minerałach homogenizowały w ciecz.

Inkluzje zawierające ciekły CO₂ są szczególnie pospolite w niektórych turmalinach, a także w fenokryształach oliwinów z bazaltów (21). Na podstawie szerokiego rozprzestrzenienia inkluzji zawierających CO₂ Green (4) wysunął hipotezę o decydującej roli tego związku w określaniu własności głębokich horyzontów ziemi. Upatruje on źródła CO₂ w astenosferze, która miała być zbudowana ze skał z pęcherzykami wolnego CO₂ w ilości 1—6% obj., co według autora tej hipotezy, tłumaczyłoby także własności astenosfery.

POSTSEDIIMENTACYJNE ŚRODOWISKO W BITUMICZNYCH WAPIENIACH

Badano środowisko brunatnego automorficznego kwarcu i kalcytu, krystalizującego w prostopadłych do uławicenia szczelinach w bitumicznych wapieniach fameńskich z Łagowa (3, 11). W innych wystąpieniach kwarcowi i kalcytowi towarzyszą rozsiane w skale skupienia pirytu i galenitu.

W kwarcu i kalcycie stwierdzono 3 rodzaje inkluzji, różniące się składem fazowym wypełnienia:

- a) roztwór wodny + pęcherzyk gazowy (ryc. 5a),
- b) bitumina + pęcherzyk gazowy (ryc. 5b),
- c) roztwór wodny + bitumina + pęcherzyk gazowy (ryc. 5c).

Kolor kwarcu spowodowany jest obecnością inkluzji zawierających substancję bitumiczną, przy czym strefy lub kryształy jaśniejsze zawierają inkluzje z bituminami żółtymi, natomiast w ciemniejszych aż do czarnych przeważają inkluzje z bituminami brunatnymi i ciemnobrunatnymi. Stosunek bituminy do roztworu wodnego jest nieregularnie zmienny. Temperatury homogenizacji inkluzji wodnych w jasnym kwarcu wynosiły 48—72°C, a w ciemnym 160—190°C. Temperatury homogenizacji inkluzji bitumicznych nie mogą stanowić podstawy do określania temperatury krystalizacji minerału-gospodarza z powodu znacznej ściśliwości substancji organicznej (16). Pełna homogenizacja inkluzji wodno-bitumicznych była osiągnięta rzadko i w wysokich temperaturach (rzędu 500°C) z utworzeniem emulsji. W skałach otaczających nie znaleziono śladów oddziaływania tak wysokotemperaturowych roztworów.

Analiza ekstraktu chloroformowego zawartości inkluzji w kalcydzie syngenetycznym z kwarcem (o czym świadczą wrostki kalcytu w kwarcu) wykonana metodą spektrofotometrii absorpcyjnej w podczerwieni³ (11) wykazała, że bituminy składają się z węglowodorów nasyconych z niewielkim udziałem ich pochodnych typu eterów naftowych oraz węglowodorów aromatycznych.

² W nawiasach podano minimalne temperatury krystalizacji.

³ Analizy mgr A. Felc.

Kwarc i kalcyt krystalizowały z roztworu wodnego, w którym zawieszono były różnej wielkości krople bitumin, wyekstrahowane ze skał otaczających przez roztwór. Roztwory chłodniejsze, o minimalnych temperaturach 48—72°C, były zdolne do ekstrakcji i transportu głównie jasnych, lżejszych bitumin i powodowały krystalizację jasnobrunatnego kwarcu. Roztwory o wyższej temperaturze (co najmniej 160—190°C) ekstrahowały cięższe, ciemniejsze bituminy i dawały kwarc ciemnobrunatny i czarny. Do powierzchni rosnących kryształów przylegały krople bitumin, przerywając wzrost w punkcie zetknięcia. Krystalizujący wokół minerał zamykał, obrastając, kroplę bituminy, która stawała się inkluzją gazowo-bitumiczną. Jeśli zamknięta zostawała także porcja roztworu powstawała inkluzja wodno-bitumiczno-gazowa.

Skałom macierzystym w czasie powstawania kwarcu należy prawdopodobnie przypisać temperatury co najmniej 48—72°C. Okresowo pojawiające się wyżejtemperaturowe roztwory pochodziły z większej głębokości, skąd ogrzane w wyniku istnienia stopnia geotermicznego, przemieszczały się ku górze. Krzemionka i węgiel wapnia, z których powstały kwarc i kalcyt, pochodzą prawdopodobnie z poddanych naciskowi a zatem silniej rozpuszczanych przez przesączające się wody partii wapieni oraz z zawartego w nich detrytycznego kwarcu i minerałów ilastych. Rozpuszczona substancja krystalizowała w miejscach zniżień i mniejszego nacisku.

Zwraca uwagę fakt, że w badaniach laboratoryjnych woda i jej roztwory o niskiej zawartości soli, ogrzane do temperatury kilkuset stopni Celsjusza pod odpowiednim ciśnieniem, po ochłodzeniu posiadała podwyższoną, w porównaniu ze zwykłą wodą, zdolność rozpuszczania różnych substancji podczas przesączania się przez warstwę (18). Fakt ten ułatwia objaśnienie dość znacznej rozpuszczalności marglistych wapieni w stygnących wodach wstępujących, które mogły być w metastabilnym stanie aktywacji, a także krystalizację przy ustępowaniu stanu aktywności i spadku temperatury.

LITERATURA

1. Chitarow N. I., Kadik A. A., Lebiediew E. B. — Osnownyje zakonomiernosti diffierenciacji granitnych rasplawow s otdielenijem wody. *Gieochimija*, 1967, nr 11.
2. Chitarow N. I., Nagapietjan L. B., Lebiediew E. B. — Kristallizacja rasplawa dacitowego sostawa w usłowjach dawlenija wodjanogo para ot 500 do 3000 kg/sm². *Ibidem* 1969, nr 1.
3. Czermiński J. — The lithologic development of the carbonate series of the Devonian in the southern part of the Święty Krzyż Mountains. *Pr. Inst. Geol.* 1969, 30, 2.
4. Green H. W. — A CO₂ charged astenosphere. *Nature Phys. Sci.*, 1972, 238, 79.
5. Holland H. D. — Żilnyje minerały gidrotiermalnych miestorożdzenij. *Gieochimija gidrotiermalnych rudnych miestorożdzenij*. Mir, Moskwa, 1970.
6. Holland H. D. — Granites, solutions, and base metal deposits. *Econ. Geol.*, 1972, 67, 3.
7. Jermakow N. P. — Gieochimiczieskije sistie-my wkluczenij w minerałach. *Niedra*, Moskwa, 1972.
8. Kadik A. A., Lebiediew E. B., Chitarow N. I. — Woda w magmaticzeskich rasplawach. *Nauka*, Moskwa, 1971.
9. Kaliżnyj W. A., Wozniak D. K. — Tiermodinamiczeskaja i gieochimiczieskaja charakteristika minierałobrazujuszczich rastworow piegnatitow zanoryszewogo tipa (po židkim wkluczenijam w minerałach). *Minierał. sb. Lwow. un-ta*, 21, 1, 1967.

10. Kalużnyj W. A. — Pierienapótnienije židkikh wkluczenij w mineralach i jego gienietičeskoje značenieje. *Ibidem*, 1971, 25, 2.
11. Karwowski Ł., Kozłowski A. — Authigenic smoky quartz from Famennian limestones at Łagów. *Acta geol. pol.*, 1973, 23, 1.
12. Karwowski Ł. — Strefa grejzenowa Mładz — Kamień — Póbledna. *Ibidem*, 1973, 23, 2.
13. Kilinc I. A., Burnham C. W. — Partitioning of chloride between a silicate melt and coexisting aqueous phase from 2 do 8 kilobars. *Econ. Geol.*, 1972, 67, 2.
14. Kozłowski A., Karwowski Ł. — Physico-chemical conditions of drusy mineral crystallization from Alam Kuh (Iran). *Bull. Acad. Pol. Sci., Sér. de la Terre*, 1972, 20, 4.
15. Kozłowski A. — Kwarce pomagmowy masywu strzegomskiego i karkonoskiego; jego środowisko krystalizacji i pierwiastki śladowe. *Acta geol. pol.*, 1973, 23, 2.
16. Kvenvolden K. A., Roedder E. — Fluid inclusions in quartz crystals from South-West Africa. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1971, 35, 1209—1229.
17. Lemlein G. G., Kiewcow P. W. — Fiziko-chimiczeskij analiz židkikh wkluczenij w kwarce sodierzaszczich kristalliki galita i silwina. *Zap. Wsies. Min. o-wa*, 1955, 84, 1.
18. Letnikow F. A., Kaszcejewa T. W., Mincis A. S. — O metastabilnom sostojanii wody i wodnych rastworow posle nagriewa pri wysokich temperaturach i dawlenijach. *Dokl. AN SSSR*, 1972, 206, 4.
19. Naumow W. B., Balickij W. S., Chetczikow L. N. — O sootnoszenii temperatur obrazowanija, gomogienizacji i diekrieptacji gazowo-židkikh wkluczenij. *Ibidem*, 1966, 171, 1.
20. Pizniur A. W. — O teoreticzeskom modelirowanii postmagmaticzeskich mineraloobrazujuszczich sistiem. *Ibidem*, 1973, 208, 1.
21. Roedder E. — Liquid CO₂ inclusions in olivine-bearing nodules and phenocrysts from basalts. *Am. Miner.*, 1965, 50, 1746—1782.
22. Roedder E., Coombs D. S. — Immiscibility in granitic melts, indicated by fluid inclusions in ejected granitic blocks from Ascension Island. *J. Petrol.*, 1967, 8, 3.
23. Roedder E. — Laboratornyje issledowanija wkluczenij w mineralach granitnych blokow o-wa Wozniesenija i ich petrologičeskoje značenieje. *Problemy petrologii i gienietičeskoj mineralologii*, t. 2. Nauka, Moskwa, 1970.
24. Sourirajan S., Kennedy G. C. — The system H₂O — NaCl at elevated temperatures and pressures. *Am. J. Sci.*, 1962, 260, 2.
25. Zacharczenko A. I. — Mineralobrazujuszczije rastwory i gieniezis kwarcewych žil. *Materialy WSEGBI*, 1955, 6.

SUMMARY

The paper present methodology of reconstructing physico-chemical conditions of formation of post-magmatic, metasomatic, and post-sedimentary minerals on the basis of studies on their fluid inclusions. Results of determinations of temperatures of crystallization and of minimum pressures at which the studied minerals crystallized are given. In addition, chemical composition and density of fluids from which crystallization proceeded are reconstructed.

РЕЗЮМЕ

Описана методика определения физико-химических условий образования постмагматических, метасоматических и постседиментационных минералов на основании анализа жидких включений. Определялись температуры кристаллизации и минимальное давление необходимое для кристаллизации исследованных минералов. Реконструировался химический состав и вязкость растворов, в которых происходила кристаллизация.