

Badania mineralogiczno-gemmologiczne oraz mikrotermometryczne spodumenów z kopalni Nilaw (Laghman, NE Afganistan)

Lucyna Natkaniec-Nowak¹, Mirosław Słowakiewicz²



L. Natkaniec-Nowak

M. Słowakiewicz

Mineralogical-gemological and microthermometric studies of spodumenes from the Nilaw mine (Laghman Province, NE Afghanistan). *Prz. Geol.*, 58: 416–425.

Abstract. The aim of the study was mineralogical-gemological and microthermometric analysis of color types of spodumenes (green spodumenes, kunzite) from the Nilaw mine (Laghman Province, Afghanistan). These minerals contain numerous fluid inclusions, both primary and secondary, as well as mineral ones. The analyses of fluid inclusion assemblages (FIA) in green spodumenes showed of temperatures of homogenization (into vapor phase) of carbon dioxide (Th_{CO_2}) varying from 27.1 to 27.8°C and total homogenization temperatures (Th_{TOT}) of 252–271°C. Temperature of crystallization after correction varies from 370 to 430°C and pressure — from 1.16 to 1.44 kbar. Composition of brines (in mol%): $H_2O = 0.93–0.94$, $CO_2 = 0.027–0.038$, $NaCl = 0.029–0.032$, with salinities from 4.33 to 6.59 wt. % NaCl eq. was also calculated. For FIAs in kunzite, temperatures of homogenization of carbon dioxide (Th_{CO_2}) range

from 27.0 to 27.3°C, whereas total temperatures of homogenization (Th_{TOT}) is 238–250°C. Values of T_{cr} are 300–334°C and P_{cr} — 0.81–1.12 kbar. Composition of brines (in mol%) is: $H_2O = 0.57–0.75$, $CO_2 = 0.22–0.40$, $NaCl$ ca 0.02; and salinity 4.5–5.7 wt. % NaCl eq. The obtained results show that the studied minerals precipitated from medium-temperature and low-pressure hydrothermal solutions varying in chemical composition. New Polish terminology for English equivalents regarding petrography of fluid inclusions was also proposed

Keywords: green spodumene, kunzite, solid and fluid inclusions, Nilaw, Afghanistan

Spodumeny to grupa jednoskośnych piroksenów alikalicznych szeregu jadeitu, o symetrii przestrzennej C2. Nie tworzą z żadnym z przedstawicieli tej grupy kryształów mieszanych, łączy je jedynie podobieństwo krystalochemiczne. Pod względem strukturalnym należą do grupy krzemianów łańcuchowych. Podstawowym elementem takiej struktury jest pojedynczy łańcuch tetraedrów SiO_4 , które są powiązane ze sobą wzdłuż osi krystalograficznej Z. W pozycjach kationowych mogą występować zarówno kationy małe (M_1), np.: Mg i Fe, jak i duże (M_2), np.: Ca i Na.

Wzór chemiczny spodumenu to: $LiAlSiO_2$. Teoretyczne zawartości głównych jego składników wynoszą: Li_2O 8,03% wag., Al_2O_3 27,4% wag., SiO_2 64,57% wag. Minerale te są najczęściej bezbarwne lub szare (grec. *spodos* — popiół, kurz; *spodios* — szary), dopiero udział domieszek strukturalnych niektórych jonów metali przejściowych (tzw. chromoforów), tj. Fe, Cr, Mn lub V, powoduje pojawienie się barw w odcieniach żółci, zieleni, czerwieni i fioletu, zwykle jednak o niskim stopniu ich nasycenia.

Twardość tej grupy minerałów jest wysoka i wynosi od 6,5 do 7 w skali Mohsa. Gęstość zmienia się w granicach od 3,03–3,22 g/cm^3 (odmiany barwne około 3,16 g/cm^3). Charakteryzuje je łupliwość jednokierunkowa, doskonała, przełam nierówny do muszlowego. Spodumen to minerał przezroczysty do przeświecającego, o silnym połysku szklistym.

Pod względem optycznym należy do minerałów anizotropowych, dwuosiowych, dodatnich (+). W zależności od odmiany barwnej wykazuje zróżnicowany kolorystycznie,

silny do bardzo słabego pleochroizm. Również luminescencja jest zmienna i zależy od makroskopowo postrzeganego barwy i stopnia jej nasycenia.

Litowe pirokseny to rzadkie w przyrodzie minerały i nie odgrywają roli skałotwórczej. Ich występowanie wiąże się z litonośnymi pegmatytami granitowymi, skałami również rzadko spotykanymi na świecie, gdzie współwystępują z berylem, amblygonitem i turmalinem, rzadziej z kasyterytem.

Na pierwsze kryształy spodumenu natrafiono przypadkowo niespełna 210 lat temu (Mills, 1984), a jego barwne odmiany zostały znalezione dużo później — 130 lat temu. Żółte kryształy Fe-spodumenu napotkano w Brazylii w 1877 r. Dwa lata później w pobliżu Stoney Point w hrabstwie Alexander w Północnej Karolinie (USA) William E. Hidden, jeden z nadzorców działającej tam kopalni a jednocześnie zamiłowany kolekcjoner minerałów, znalazł zielony Cr-spodumen. Ta najrzadziej występująca, żółtozielona lub zielona, odmiana spodumenu, została nazwana od jego nazwiska **hiddenitem**. Do dnia dzisiejszego pozyskiwana jest głównie w kopalniach regionu Kings Mountain (Północna Karolina) oraz Pala Chief Mountain (Kalifornia), a także w Minas Noras w Brazylii i na Madagaskarze. Odmianę Mn-spodumenu (niebieskopurpurowa, fioletowa, fioletowoczerwona, fioletoworóżowa, różowa) znalazł w 1901 r. Frederick M. Sickler w rejonie Hircart Hill (Pala Pegmatite District, San Diego County, Kalifornia). Nazwano ją **kunzytem** (1906) na cześć dr. George'a F. Kunza, znanego amerykańskiego gemmologa. Pierwsze złożo kunzytu w górach Pala zostało udostępnione w 1902 r., a obecnie z działających tam kilku kopalń najlepszej jakości różowoniebieskie spodumeny (podobne do ametystu) dostarcza Vanderberg.

Literatura światowa, a zwłaszcza polska dotycząca charakterystyki mineralogicznej tej grupy piroksenów jest nadzwyczaj uboga. Dotyczy to również zagadnień petrogenetycznych z nimi związanych. Każda zatem publikacja z tego zakresu tematycznego jest niezwykle cenna i może

¹Katedra Mineralogii, Petrografii i Geochemii, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; email: natkan@agh.edu.pl

²Zakład Kartografii Geologicznej Struktur Wgłębnych, Państwowy Instytut Geologiczny — Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; email: mslo@pgi.gov.pl

stanowiąc swoisty przyczynek do wzbogacenia wiedzy na temat omawianej grupy minerałów.

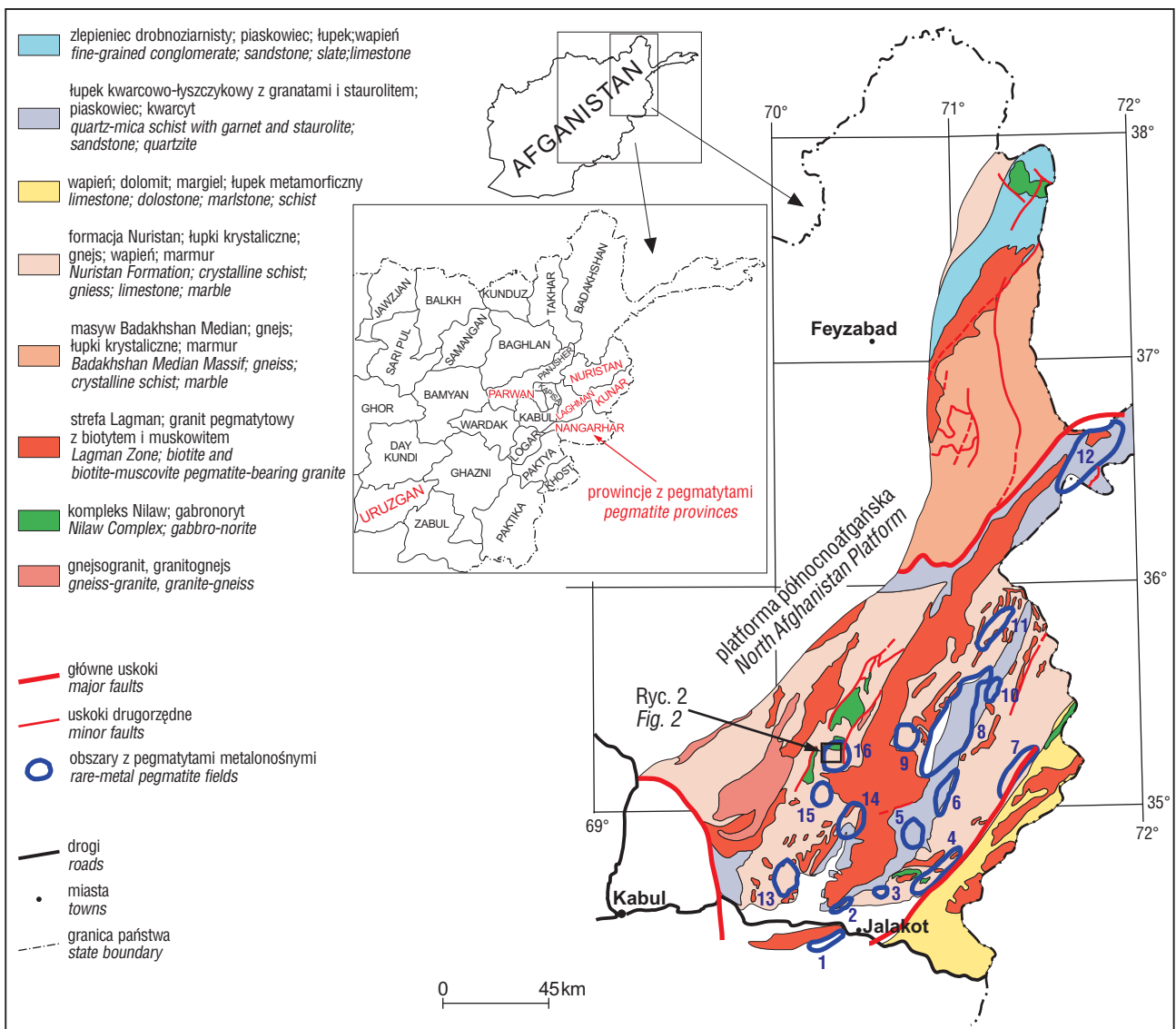
Celem pracy było zaprezentowanie wyników badań mineralogiczno-gemmologicznych oraz mikrotermometrycznych inkluzji fluidalnych spodumenów pochodzących z kopalni Nilaw położonej na terenie prowincji Laghman w NE części Afganistanu (Dunn, 1974; Bowersox, 1985). Dokonano też porównania otrzymanych danych analitycznych z wynikami badań Bazarowa & Motoriny (1973), Brookinsa i in. (1979), Taylora i in. (1979), Londona & Burta (1982) oraz Londona (1986). Przedstawiono również propozycję polskich terminów procesów rekrytalizacji, które prowadzą do zmiany składu płynów w inkluzjach oraz ich kształtów i rozmiarów.

Spodumeny afgańskie

W ostatnich trzydziestu latach na światowych giełdach mineralnych pojawiły się odmiany barwne spodumenów

(zielony spodumen, kunzyt) pochodzące z Afganistanu. Są one porównywane do najwyższej jakości spodumenów brazylijskich, a nawet są oceniane jako najlepsze w świecie. Wysoko cenione są zwłaszcza kunzyty z uwagi na ich ciekawe odcienie barwne, niekiedy zonalność przejawiająca się obecnością stref różowych, różowioletowych, fioletowych, fioletowoniebieskich, a przy tym duże rozmiary (nawet do 2 m długości). Najczęściej minerały te wykształcone są idiomorficznie, o ostrych krawędziach, w przeciwieństwie do spodumenów brazylijskich i kalifornijskich, które na brzegach są obłe, lekko zaokrąglone (Bariand & Poulen, 1978).

Według Afgańskiej Służby Geologicznej (AGS) największe nagromadzenia litowych piroksenów występują w żyłach miarolitycznych pegmatytów w NE części Afganistanu (Rossowski, 1981). Są to złoża (ryc. 1): Ishkasham, Shewa, Talbuzanak (prowincja Badakhshan); ok. Awraghal, Ghursalak oraz Konar Valley (prowincja Kunar);



Ryc. 1. Mapa geologiczna wschodniego Afganistanu wraz z kompleksem Nilaw oraz innymi kompleksami pegmatytowymi (wg materiałów Afgańskiej Służby Geologicznej, www.bgs.ac.uk/AfghanMinerals/mininfo.htm). 1 — Surkhud, 2 — Laghman, 3 — Darai-Nursk, 4 — Chabkin, 5 — Darai-Puck, 6 — Nangalam, 7 — Marig, 8 — Paron, 9 — Kantibai, 10 — Papruk, 11 — Pachigram, 12 — Ishkashim, 13 — Shamakant, 14 — Alingar, 15 — Kurgal, 16 — Nilaw

Fig. 1. Geological map of eastern Afghanistan with the Nilaw Complex and other pegmatite complexes (after Afghanistan Geological Survey, www.bgs.ac.uk/AfghanMinerals/mininfo.htm)

Alinghar, Darra-i-Nur, Mawi, Nilaw-Kolum, Shahidan, Shamakat (prowincja Nuristan); ok. Alma, Aranch, Boni, Darra-e-Pech, Ghash, Kantiway, Marid, Pachighram, Paprok, Surkh-Rod (prowincja Nangarhar); Taghawlor (prowincja Uruzgan); Hessa-e-Say oraz Panjshir Valley (prowincja Parwan) (Oris & Bliss, 2002). W regionie Nuristan (prowincje Laghman i Nuristan, NE Afganistan) napotkano unikatowy, szaroniebieski lub niebieski spodumen, niespotykany nigdzie indziej na świecie, stąd nazwa **nuristanit** (Bowersox & Chamberlin, 1995). Jest on bardzo rzadko spotykany; każde wystąpienie jest odnotowywane jako ciekawostka mineralogiczna i kolekcjonerska.

Literatura dotycząca charakterystyki mineralogicznej spodumenów i ich odmian barwnych do końca ubiegłego wieku była uboga, dopiero ostatnie lata zmieniają nieco tę statystykę. Na uwagę zasługują następujące prace: Dunn, 1974; Bariand & Poullen, 1978; Mills, 1984; Bowersox, 1985; Leckebusch i in., 1974; Delbasteh-Miandoab & Pense, 1988; Bowersox & Chamberlin, 1995; Natkaniec-Nowak, 2007 oraz Weselucha-Birczyńska i in., 2010.

Szczegółową charakterystykę mineralogiczną spodumenów z kopalni Nilaw przedstawia Natkaniec-Nowak (2007). Podane przez autorkę właściwości optyczne oraz udziały podstawowych chromoforów (Fe, Mn i Cr) są zgodne z danymi Leckebusch i in. (1974), którzy badali barwne odmiany spodumenów z niedaleko położonego od Nilaw złoża Kolum. Pochodzące z obu tych wystąpień pirokseny charakteryzuje podwyższona zawartość sodu (ok. 0,4–0,2% wag. Na_2O). Natkaniec-Nowak (2007) dowiodła jednocześnie, że barwę zielonego spodumenu kreują głównie jony Fe, a kunzytu kompleksy Mn+Fe.

Miarolityczne pegmatyty z Kolum i obecne w nich paragenezy mineralne kwarc+spodumen+beryl+turmalin badań London (1986) i porównywał je z minerałami pegmatytów z San Diego w Kalifornii (USA). W spodumenach afgańskich autor ten stwierdził kilka generacji inkluzji fluidalnych, z których większość zawierała fazy potomne. Na podstawie przeprowadzonych badań EDS zidentyfikował

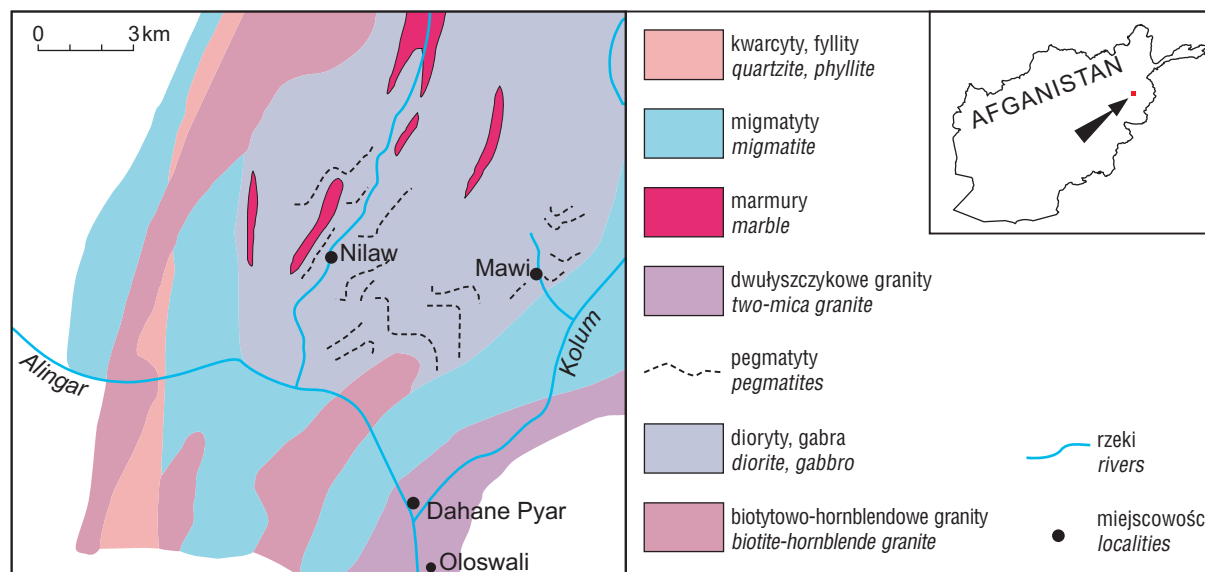
m.in. kwarc, albit, cookeit, pollucyt, kasyteryt, mikroklin i rynersonit (tlenki Ca-Ta).

Spodumeny z kopalni Nilaw charakteryzują się również bogactwem występowania inkluzji stałych (London, 1986; Delbasteh-Miandoaba & Pense, 1988; Weselucha-Birczyńska i in., 2010) oraz mineralnych (Natkaniec-Nowak, 2007; Weselucha-Birczyńska i in., 2010). Na podstawie obserwacji w świetle spolaryzowanym oraz elektronomikroskopowych (SEM), a także badań metodą mikrospektroskopii Ramana w minerałach tych stwierdzono bardzo liczne wrostki skaleni (zarówno K-skaleni, jak i plagioklazów) oraz apatyty, a także mniej liczne: kwarcu, mik, rozproszonych, drobnych ziaren cyrkonu, kasyterytu, związków (tlenki, siarczki) Fe oraz $\text{Fe}+\text{Ti}$ (?ilmnit), a przede wszystkim różnej wielkości skupienia substancji organicznej. Natkaniec-Nowak (materiały niepublikowane) udokumentowała też obecność wtrąceń bardzo rzadkich minerałów, tj. cookeitu i zubuyelitu, o których wspominają m.in. Anderson i in. (2001).

Badania mikrotermometryczne inkluzji fluidalnych w afgańskich spodumenach sięgają lat 70. ubiegłego wieku, kiedy to Bazarow & Motorina (1973), a następnie Brookins i in. (1979) oraz Taylor i in. (1979) podali przybliżone temperatury i ciśnienia ich krystalizacji. W kolejnych latach badania te kontynuowali London & Burt (1982) oraz London (1986), uzyskując bardziej wiarygodne i lepiej udokumentowane dane pomiarowe. Niniejsze opracowanie oraz wymieniona wcześniej pozycja Weseluchy-Birczyńskiej i inych (2010) to próba konfrontacji wcześniejszych wyników badań z nowszymi danymi autorów, a także chęć zaprezentowania polskim czytelnikom tej mało znanej ale jakże ciekawej grupy minerałów.

Zarys budowy geologicznej

Na terenie prowincji Laghman występuje rozległy kompleks Nilaw-Kolum z działającymi wyrobiskami: Mawi, Suraj, Nilaw, Kurghal (ryc. 1, 2). Kopalnia Nilaw



Ryc. 2. Mapa geologiczna rejonu Nilaw (Fuchs i in., 1974; Bariand & Poullen, 1978). Kopalnie Suraj i Kurghal znajdują się na południe od Oloswali

Fig. 2. Geological map of the Nilaw area (Fuchs et al., 1974; Bariand & Poullen, 1978). Suraj and Kurghal mines are situated south of Oloswali

należy do jednych z najzasobniejszych i dostarcza nie tylko spodumenu, ale też najwyższej jakości beryle oraz turmaliny (Bowersox, 1985).

Centralną część tej struktury tworzy masyw gabrowo-diorytowy (Rossowski i in., 1976a; Abdullah & Chmyriow, 1980). Przecinają go liczne żyły zalbityzowanych mikroklinowych REE-pegmatytów. Strefowość jest bardzo dobrze widoczna zarówno po szerokości, jak i długości żył (Rossowski i in., 1976b). W każdej zonie obecne są mniej lub bardziej liczne i różnych rozmiarów pustki wypełnione kryształami: kwarcu (kryształ górski), mikroklinu, lepidolitu, turmalinów, spodumenów, beryli (morganit), pollucytu, columbit-tantalitu, Mn-tantalitu, kasyterytu itd. Najwięcej „kieszeni” występuje w wewnętrznych partiach żył.

Znaczenie ekonomiczne mają dwie żyły, tzw. główna *Main* o długości ok. 3 km i miąższości 0,5–20 m oraz mniejsza *Kunzite* o długości 150 m i miąższości ok. 5 m. W obu tych żyłach rozmiary pustek są bardzo zróżnicowane; w żyłce głównej do 1,5×1,6 m (najczęściej 0,3×0,2×0,3 m), a w żyłce *Kunzite*: od 5×5×5 cm do 3,3×3,3×2–6 m. Największe „kieszenie” zawierają od 90 do 150 kg kryształów kunzytu. Są to jednak osobniki o niskiej jakości i małych rozmiarach. Zwykle ich wielkość waha się od 1×1×0,2 do 35×12×5 cm. Kunzyty te mają bardzo zróżnicowane zabarwienie: różowe, fioletowe, zielononiebieskie, niebieskie, bezbarwne, zielonożółte a nawet polichromatyczne (Abdullah & Chmyriow, 1980).

Przedmiot i metody badań

Badane spodumeny (zielony spodumen, kunzyt) stanowiły nieduże fragmenty większych osobników, niskiej czystości, a zatem słabej przezroczystości. W większości z nich makroskopowo widoczne były inkluzje fluidalne (gazowe i ciekło-gazowe) oraz inkluzje mineralne.

Pomiar podstawowych parametrów optycznych (współczynniki załamania, dwójłomność, charakter optyczny, efekt polaryskopowy, luminescencja) oraz obserwacje struktury wewnętrznej tych minerałów przeprowadzono przy użyciu specjalistycznego sprzętu gemmologicznego firmy Schneider, będącego na wyposażeniu Laboratorium Gemmologicznego Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii WGGiOŚ AGH. Obserwacje standardowych płytek cienkich wykonano przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego Olympus BX 51 wyposażonego w kamerę DP12 w Laboratorium Optycznym Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii WGGiOŚ AGH.

Obserwacje inkluzji oraz badania mikrotermometryczne przeprowadzono przy zastosowaniu mikroskopu polaryzacyjnego do światła przechodzącego Nikon ECLIPSE E600 sprzężonego ze stolikiem zamrażająco-grzewczym LINKAM THMSG600, który ma możliwość płynnej regulacji temperatury w zakresie od –195 do 600°C.

Pod uwagę wzięto tylko pierwotne inkluzje fluidalne, które analizowano jako zespoły inkluzji fluidalnych FIA (*fluid inclusion assemblage*), w których stosunek fazy ciekłej do gazowej (L/V) był stały (Jermakow, 1972; Goldstein & Reynolds, 1994). W badanych FIA różnice temperatur oraz wartości stężeń solanek zwykle nie powinny przekraczać odpowiednio 10–15°C oraz 10–15% wag. całkowitego składu soli (Goldstein & Reynolds, 1994; Bodnar, 2003). Inkluzje te najpierw ogrzewano, a następnie zamrażano, aby uniknąć następujących mechanizmów:

- ❑ zniszczenia inkluzji lub zmiany składu płynu w inkluzjach, które mogą być wywołane ich rozciąganiem (*stretching*; Larson i in., 1973; Bodnar & Bethke, 1984);
- ❑ wyciekania płynu lub wnikania nowego płynu podczas deformacji kryształu (*leakage*; Kaliuźny, 1971, 1982);
- ❑ procesów rekrystalizacji (*necking down*; Roedder, 1984) związanych z odkształceniami kryształu w obecności płynów, powodujących jego częściowe rozpuszczenie lub nadtrawienie, co prowadzi do powstania zabliznionych mikropęknięć, które w wyniku rozpuszczania i rekrystalizacji zmieniają kształt, tworząc szeregi drobnych inkluzji wtórnych (*secondary inclusions*).

Wymienione procesy wchodzą w skład grupy mechanizmów związanych z osiągnięciem równowagi wtórnej przez inkluzje w warunkach termicznych (*thermal reequilibration*; np. Goldstein, 2001; Bodnar, 2003).

Ogrzewanie powtarzano dwu- lub trzykrotnie w celu osiągnięcia zbliżonych wartości T_h , których błąd wahał się w granicach $\pm 1^\circ\text{C}$.

W trakcie kolejnego procesu ogrzewania i zamrażania stolik kalibrowano, wykorzystując standardową inkluzję CO_2 o znanej temperaturze topnienia $-56,6^\circ\text{C}$), jak również inkluzje ciekłej (H_2O). Szybkość zamrażania wynosiła $10^\circ\text{C}/\text{min}$, a bezpośrednio po zamrożeniu inkluzji, kiedy zbliżano się do punktu potrójnego (T_p), temperatury topnienia klatratu ($T_{m_{\text{cl}_a}}$) i lodu ($T_{m_{\text{ice}}}$) — $0,5^\circ\text{C}/\text{min}$. Podobnie postępowano w przypadku ogrzewania; standardową szybkość $10^\circ\text{C}/\text{min}$ zmniejszono do $0,5^\circ\text{C}/\text{min}$, kiedy zbliżano się do temperatury homogenizacji (T_h). Pomiary temperatur wykonywano trzykrotnie, z dokładnością ok. 1°C podczas ogrzewania i ok. $0,1^\circ\text{C}$ podczas zamrażania.

Stężenia solanek obliczono na podstawie $T_{m_{\text{ice}}}$ oraz $T_{m_{\text{cl}_a}}$ wykorzystując wzory i metodykę zaproponowaną przez Darlinga (1991), Bodnara & Vityka (1994) oraz Bodnara (2003). W celu obliczenia korekty na ciśnienie zastosowano wzory Zhanga & Frantza (1987) oraz Duana i in. (1992) i wykorzystano metodę skrzyżowanych izochor. Łącznie zmierzono 59 inkluzji.

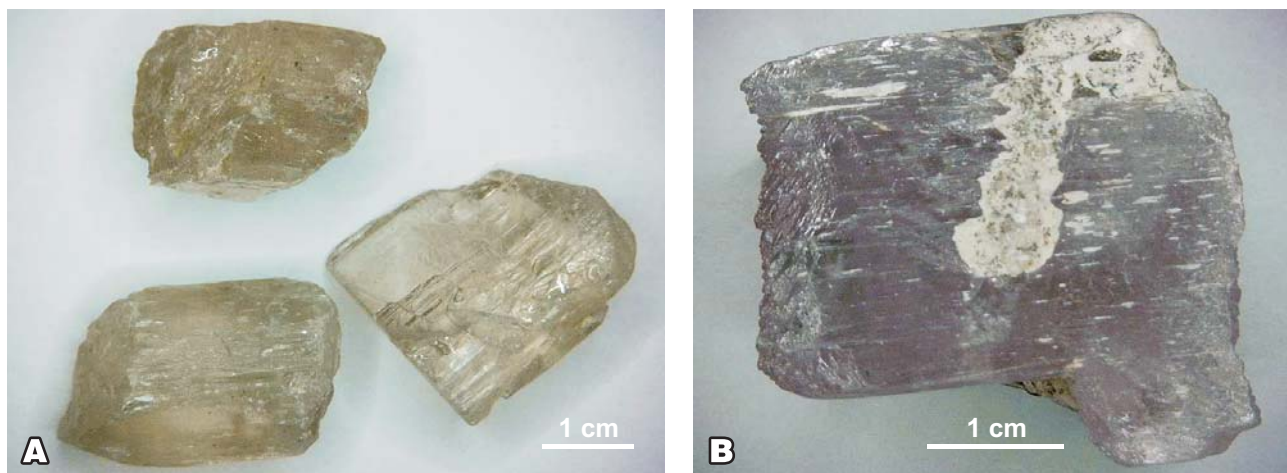
Opisane badania przeprowadzono w Pracowni Mikrotermometrii Katedry Geologii Żyłowej i Górniczej WGGiOŚ AGH.

Wyniki badań mineralogiczno-gemmologicznych

Przedmiotem analiz były trzy zielonkawożółte spodumeny oraz jeden kryształ fioletoworóżowego kunzytu zrośnięty z fragmentem skały macierzystej (ryc. 3). Wszystkie okazy mają częściowo zachowaną formę słupa, o nierównych, nadtrawionych powierzchniach ścian. Są niskiej jakości jubilerskiej.

Spodumeny zielone. Obecne w tych minerałach liczne inkluzje są dobrze widoczne, zwłaszcza przy większych powiększeniach (lupa binokularna, mikroskop polaryzacyjny). Oznaczone refraktometrem gemmologicznym wartości współczynników załamania światła wynoszą: $n = 1,659\text{--}1,670$; $\Delta = (+)0,011$. W polaryskopie spodumeny te wykazują barwy lekko zielonkawożółte, nie ulegające zmianie przy obrocie kryształu. Słabo dostrzegalne świecenie o odcieniu jasnopomarańczowym obserwuje się przy UVL, a przy UVS go brak.

W świetle spolaryzowanym minerały te są bezbarwne, o wyraźnym reliefie dodatnim. W przekroju $\parallel c$ wykazują



Ryc. 3. Zielone spodumeny (A) i kunzyt (B) z kopalni Nilaw (Laghman, Afganistan). Z kolekcji L. Natkaniec-Nowak. Fot. S. Konopacki

Fig. 3. Green spodumenes (A) and kunzite (B) from Nilaw mine (Laghman, Afghanistan). Collection of L. Natkaniec-Nowak. Phot. S. Konopacki

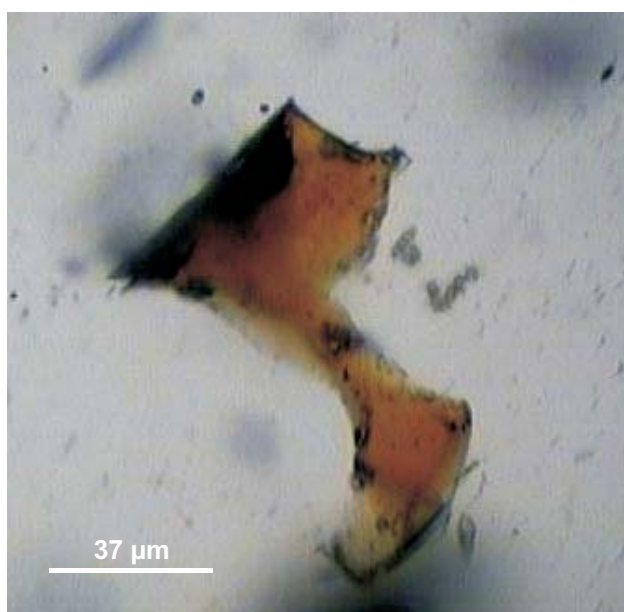
monotonne, żółtawozielone barwy interferencyjne II rzędu oraz dobrze zaznaczony jeden kierunek łupliwości. W niektórych szczelinach łupliwości obecne są submikroskopowe inkluzje, najprawdopodobniej skaleni i/lub kwarcu. Skośnie do kierunku łupliwości przebiegają natomiast mikrospeknięcia wypełnione wspomnianymi fazami mineralnymi, a także pojedynczymi, idiomorficznie wykształconymi osobnikami cyrkonu oraz minerałami nieprzezroczystymi. Te ostatnie tworzą niekiedy większe skupienia zabarwione na brunatno lub żółtobrunatno, co pozwala przypuszczać, że są to nagromadzenia związków Fe (ryc. 4). Występują też bardzo drobne, zaokrąglone ziarna minerałów, trudne do identyfikacji. Są słabo przeświecające, odznaczają się wysokim reliefem dodatnim i z trudem dostrzegalną dwójłomnością.

Oprócz wymienionych inkluzji mineralnych analizowane spodumeny zawierają liczne inkluzje, zarówno pierwotne, jak i wtórne. Te pierwsze, mniej liczne, posiadają

pokrój zbliżony do minerału gospodarza. Tworzą niekiedy szeregi bądź też różnych rozmiarów skupienia układające się zgodnie ze strefami wzrostu tego minerału. Z kolei inkluzje wtórne zwykle wypełniają szczeliny mikrospekkań lub tworzą zespoły, których przebieg jest nieuporządkowany, a niekiedy nawet wzajemnie się przecinają.

Rozmieszczenie tych inkluzji w obrębie danego kryształu jest bardzo nierównomierne. Obserwuje się obszary wolne od wszelkiego rodzaju defektów i takie, w których ich nagromadzenie jest znaczące. Obok bardzo drobnych (<1 mm) inkluzji 1- i 2-fazowych obecne są duże (>300 μm) inkluzje wielofazowe, którym towarzyszą wrostki stałe zbudowane z jednej bądź kilku faz stałych (mineralnych). Inkluzje wielofazowe tworzą pojedyncze obiekty lub izolowane skupienia, które niekiedy łączą się w większe zespoły o bardzo zróżnicowanym przebiegu (ryc. 5 i 6).

Fioletoworóżowy kunzyt jest słabo przezroczysty. Już nieuzbrojonym okiem można zaobserwować w nim liczne



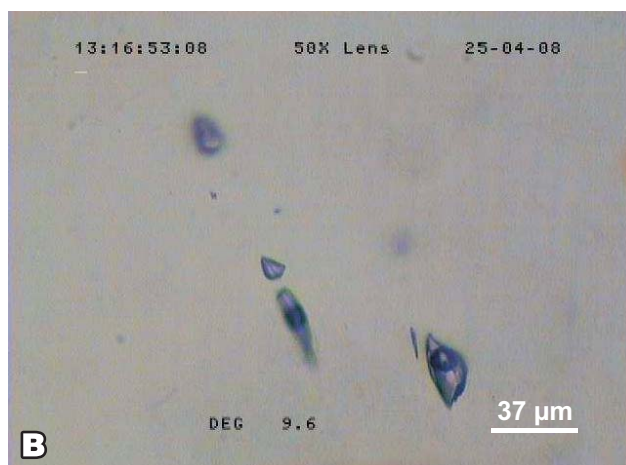
Ryc. 4. Wtrącenia związków Fe w zielonym spodumenie (skrzyżowane nikole)

Fig. 4. Fe-concentrations in green spodumene (crossed nicols)



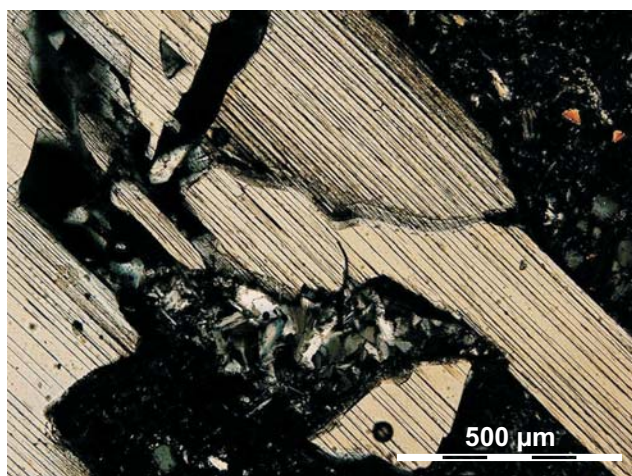
Ryc. 5. Pierwotne dwufazowe inkluzje fluidalne w zielonym spodumenie (**A** — FIA I; **B** — FIA II). Pęcherzyk gazowy jest wypełniony CO₂

Fig. 5. Primary two-phase fluid inclusions in green spodumene (**A** — FIA I; **B** — FIA II). Vapor bubble is CO₂



Ryc. 6. Pierwotne dwufazowe inkluzje fluidalne w zielonym spodumenie (**A** — FIA III; **B** — FIA VI). Pęcherzyk gazowy jest wypełniony CO₂

Fig. 6. Primary two-phase fluid inclusions in green spodumene (**A** — FIA III; **B** — FIA VI). Vapor bubble is CO₂

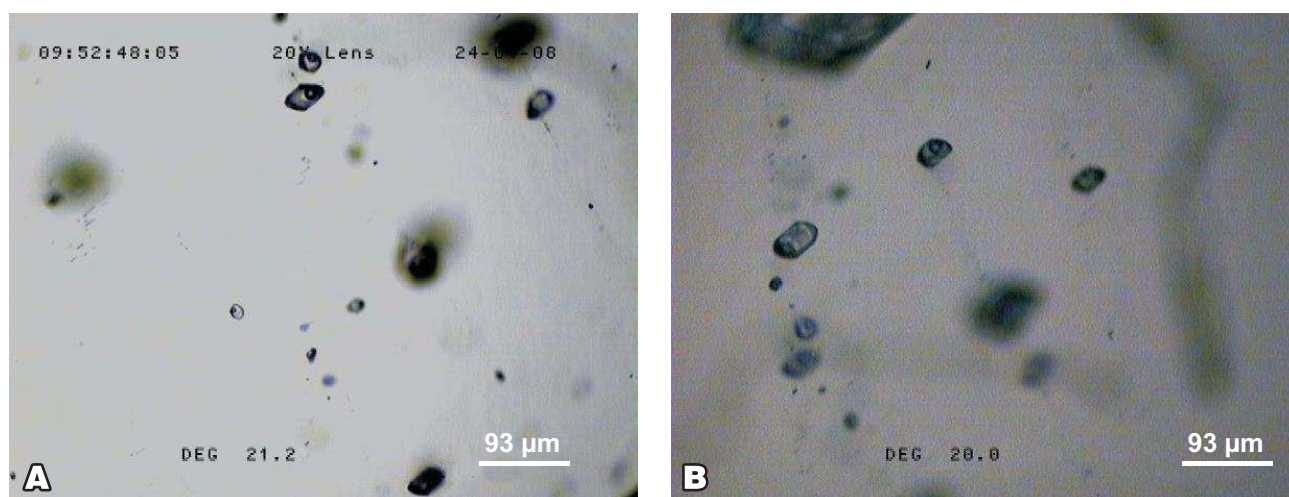


Ryc. 7. Kryształ kunzytu w skale macierzystej (pegmatyt), NX

Fig. 7. Kunzite crystal in rock matrix (pegmatite), NX

inkluzje. Wartości współczynników załamania światła wyznaczone refraktometrem gemmologicznym wynoszą: $n = 1,660 - 1,671$; $\Delta = (+)0,011$. Efekt polaryskopowy dla tej odmiany spodumenu jest wyraźny, w barwach różowoczerwonych. Również diagnostyczna jest fluorescencja: przy UVL — silna, pomarańczoworóżowa, a przy UVS — słaba, pomarańczowa.

W świetle spolaryzowanym kunzyt obserwowany w przekroju $\parallel c$ wykazuje 1-kierunkową łupliwość (ryc. 7). Obecne w nim liczne mikrospękania przebiegają skośnie do kierunku łupliwości. Niektóre szczeliny łupliwości zblizniają drobne osobniki skaleni, kwarcu bądź też ziarenka cyrkonu, inne znów są puste bądź częściowo wypełnione minerałami nieprzezroczystymi. Tych ostatnich w pewnych fragmentach badanego preparatu jest bardzo dużo. Poza wymienionymi fazami mineralnymi, stwierdzono także słupki apatytu oraz pojedyncze blaszki mik (muskowit). Największe koncentracje apatytu występują w szczelinach mikrospękań.



Ryc. 8. Pierwotne dwufazowe inkluzje fluidalne w kunzycie (A — FIA I; B — FIA II). Pęcherzyk gazowy jest reprezentowany przez CO₂
Fig. 8. Primary two-phase fluid inclusions in kunzite (A — FIA I; B — FIA II). Vapor bubble is CO₂

Badania potwierdziły wyjątkowe bogactwo i różnorodność inkluzji w tym spodumencie. Obok najdrobniejszych (ok. 1 mm) kulistych bądź owalnych inkluzji 1- lub 2-fazowych, występują duże, wydłużone (od ok. 250 μm do kilku mm długości) inkluzje wielofazowe (ryc. 8), a także inkluzje mineralne. Te ostatnie to głównie skalenie potasowe o charakterystycznych wydłużonych kształtach.

Inkluzje fluidalne (ciekłe, gazowe lub ciekło-gazowe) tworzą skupienia o zróżnicowanej geometrii i rozmiarach. Są to formy chmurek lub tzw. odcisków palca bądź skupienia liniowe, najczęściej układające się skośnie do płaszczyzn łupliwości minerału macierzystego. Liniowo ułożone inkluzje tworzą niekiedy szeregi, które wzajemnie się przecinają. Już na tej podstawie można wnioskować, że są to inkluzje pierwotne i wtórne różnych generacji. Największe trójfazowe inkluzje mają do 1,5 mm długości. Ich ułożenie, zgodne z płaszczyznami łupliwości spodumenu, wskazuje na pierwotny, syngenetyczny charakter. Obiekty te są szczególnie dobrze widoczne w przekroju ||c. Zawarte w nich drobne kryształki to przypuszczalnie halit (NaCl). Szczeliny mikrospektań w tym kunzycie są niekiedy rozwarne i puste lub częściowo bądź całkowicie wypełnione drobnymi, epigenetycznymi inkluzjami fluidalnymi.

Wyniki badań mikrotermometrycznych

Z wszystkich trzech okazów zielonych spodumenu oraz kunzytu wykonano płytki grube do badań mikrotermometrycznych, stosując preparatykę zaproponowaną przez Słowakiewicz (2003). Wielkość pierwotnych inkluzji fluidalnych dwufazowych (L-V) waha się od 10 do 50 μm w zielonych spodumenach oraz od 10–100 μm w kunzycie. W obu odmianach udział fazy gazowej w inkluzjach ciekło-gazowych wynosił powyżej 30% obj. w temperaturze pokojowej.

Ogrzewanie inkluzji fluidalnych w kryształach spodumenu i kunzytu powodowało stopniowe zmniejszanie się pęcherzyka gazu, a w momencie osiągnięcia temperatury homogenizacji (T_h) jego całkowity zanik.

Dla zielonych spodumenu wytypowano cztery FIA (FIA I-IV, tab. 1, ryc. 4 i 5), a dla kunzytu dwa (FIA I i II, tab. 2, ryc. 7). Zmierzone wartości T_h dla inkluzji zamkniętych przez zielone spodumeny wynoszą od 252 do 271 °C i odpowiednio dla kunzytu 238 do 250 °C.

Po wykonaniu pomiarów T_h przystąpiono do zamrażania inkluzji w celu zbadania temperatury punktu potrójnego (T_p), temperatury topnienia lodu (T_{m,ice}), klatratu (T_{m,cla}), ditlenku węgla (T_{m,CO₂}) oraz pozostałych gazów

Tab. 1. Wartości P-T dla FIA I-IV zielonego spodumenu zmierzone i skorygowane
 Table 1. Measured and corrected P-T values for particular FIA (I-VI) of green spodumenes

FIA (liczba inkluzji) (number of inclusions)	Inkluzje CO ₂ CO ₂ inclusions		Inkluzje ciekłe Liquid inclusions			T _{cr} [°C]	P _{cr} [kbar]
	T _h [°C]	D [g/cm ³]	T _h [°C]	NaCl [% wag.]	D [g/cm ³]		
I (10)	27,4	0,67	261	5,4	0,83	420	1,35
II (15)	27,1	0,68	252	5,8	0,85	370	1,23
III (2)	27,8	0,66	255	6,3	0,85	371	1,16
IV (17)	27,2	0,68	271	5,8	0,82	430	1,44

FIA — zespoły inkluzji fluidalnych, T_h — temperatura homogenizacji; d — gęstość roztworu; T_{cr} — temperatura krystalizacji (po korekcie); P_{cr} — ciśnienie (po korekcie)

FIA — fluid inclusion assemblages, T_h — temperature of homogenization, d — density of solution; T_{cr} — temperature of crystallization (after correction); P_{cr} — pressure (after correction)

tj. N_2 i CH_4 . Temperaturę stopniowo obniżano do $-160^\circ C$ (aby zidentyfikować obecność CO_2 , N_2 lub CH_4). Inkluzje dwufazowe całkowicie zamarzały w przedziale temperatur od -42 do $-48^\circ C$ w kryształach spodumenów i od -45 do $-52^\circ C$ w kunzycie. Po całkowitym zamrożeniu inkluzji rozpoczęto powolne ($0,5^\circ C/min$) ich ogrzewanie w celu zmierzenia wymienionych faz. Najpierw obserwowano nukleację gazowego i ciekłego CO_2 w temperaturach od -50 do $-52^\circ C$ w inkluzjach ciekło-gazowych w spodumenach oraz ok. $-49^\circ C$ w kunzycie. Ponadto zmierzono T_{mCO_2} w kierunku fazy ciekłej $Th_{CO_2 \rightarrow L} =$ od $-3,3$ do $-4,5^\circ C$ oraz w kierunku fazy gazowej $Th_{CO_2 \rightarrow V} =$ od $27,1$ do $27,8^\circ C$, $T_{m_{ice}} =$ od $-3,2$ do $-4,1^\circ C$ oraz $T_{m_{cla}} =$ od $3,5$ do $4,0^\circ C$ (klatrat typu I, Seitz & Pasteris, 1990) w zielonych spodumenach (tab. 3) oraz $T_{m_{ice}} =$ od $-2,7$ do $-3,3^\circ C$, $Th_{CO_2 \rightarrow V} =$ od $26,5$ do $27,5^\circ C$ w kunzycie (tab. 2 i 4).

Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 3 obliczono skład solanki (w mol %) dla inkluzji w zielonych spodumenach: $H_2O = 0,93-0,94$; $CO_2 = 0,027-0,038$; $NaCl = 0,029-0,032$, której stężenie waha się od 4,33 do 6,59% wag. równoważnika $NaCl$. Objętość molowa solanek wynosi ok. $30,5 \text{ cm}^3/mol$, a gęstość od 0,62 do $0,63 \text{ g/cm}^3$.

Skład solanki (w mol %) w inkluzjach obliczony dla FIA I w kunzycie wynosi $H_2O = 0,75$; $CO_2 = 0,22$; $NaCl = 0,02$ (tab. 4). Objętość molowa i gęstość solanki wynoszą odpowiednio $47,8 \text{ cm}^3/mol$ oraz $0,50 \text{ g/cm}^3$.

W celu obliczenia pierwotnych warunków krystalizacji zielonych spodumenów i kunzytu wymagane jest obliczenie tzw. poprawki na ciśnienie. Biorąc pod uwagę dane zamieszczone w tabeli 1, obliczono temperaturę i ciśnienie krystalizacji spodumenów, które wynoszą odpowiednio od

Tab. 2. Wartości P-T dla poszczególnych FIA kunzytu zmierzone i po korekcie
Table 2. Measured and corrected P-T values for particular FIA of kunzite

FIA (liczba inkluzji) (number of inclusions)	Inkluzje CO_2 CO_2 inclusions		Inkluzje ciekłe Liquid inclusions			T_{cr} [$^\circ C$]	P_{cr} [kbar]
	T_h [$^\circ C$]	d [g/cm^3]	T_h [$^\circ C$]	NaCl [% wag.]	d [g/cm^3]		
I (3)	27,0	0,69	240–250	4,9	0,85	323/334	1,08/1,12
II (12)	27,3	0,67	240–250 (minimalna 238)	4,7	0,85	300/312	0,81/0,86

FIA — zespoły inkluzji fluidalnych, T_h — temperatura homogenizacji; d — gęstość roztworu; T_{cr} — temperatura krystalizacji (po korekcie); P_{cr} — ciśnienie (po korekcie)

FIA — fluid inclusion assemblages, T_h — temperature of homogenization, d — density of solution; T_{cr} — temperature of crystallization (after correction); P_{cr} — pressure (after correction)

Tab. 3. Średni skład chemiczny solanek w poszczególnych FIA zielonego spodumenu
Table 3. Mean chemical composition for particular FIA of green spodumenes

FIA (liczba inkluzji) (number of inclusions)	V_m [cm^3/mol]	D [g/cm^3]	Udział danego składnika Component ratio [% mol]		
			H_2O	CO_2	NaCl
I (10)	30,5	0,62	0,939704	0,028376	0,03192
II (15)	30,5	0,62	0,940583	0,027355	0,032062
III (2)	30,5	0,63	0,933536	0,036936	0,029528
IV (17)	30,5	0,63	0,932863	0,037710	0,029428

FIA — zespoły inkluzji fluidalnych, V_m — objętość molowa roztworu, d — gęstość roztworu
FIA — fluid inclusion assemblages, V_m — molar volume, d — density of solution

Tab. 4. Średni skład chemiczny solanek w poszczególnych FIA kunzytu
Table 4. Mean chemical composition of brines for particular FIAs of kunzite

FIA (liczba inkluzji) (number of inclusions)	V_m [cm^3/mol]	d [g/cm^3]	Udział danego składnika Component ratio [% mol]		
			H_2O	CO_2	NaCl
I (3)	47,8	0,50	0,750731	0,225132	0,024138

FIA — zespoły inkluzji fluidalnych, V_m — objętość molowa roztworu, d — gęstość roztworu
FIA — fluid inclusion assemblages, V_m — molar volume, d — density of solution

370 do 430°C oraz 1,16 do 1,44 kbara (ryc. 9). Podobnie dla kunzytu temperatura krystalizacji wynosi 300–314°C, a ciśnienie 0,81–1,12 kbara (ryc. 10, tab. 2).

Dyskusja

Badane odmiany barwne spodumenu (zielony spodumen, kunzyt) z kopalni Nilaw (prowincja Laghman, NE Afganistan) stanowiły fragmenty większych kryształów o niskiej jakości jubilerskiej. Bogactwo i różnorodność obecnych w nich inkluzji fluidalnych, zwłaszcza w odmianie różowofioletowej (kunzyt), potwierdziły badania przeprowadzone przez autorów niniejszego opracowania. Kształtem, rozmiarami oraz charakterem wypełnień przypominają one badane przez Londona (1986) inkluzje w spodumenach Kolum, a także inkluzje ze spodumenów związanych z pegmatytami Tanco (Kanada, Manitoba), opisywane również przez Andersona i in. (2001).

Przedstawione wyniki badań mikrotermometrycznych zespołów inkluzji fluidalnych (FIA) wskazują, że analizowane spodumeny z kopalni Nilaw krystalizowały z roztworów o zmiennym składzie chemicznym, tj.: $H_2O+CO_2+NaCl+(CaCl_2?)$. Niektóre z tych fluidów były wzbogacone w CO_2 . Temperatura homogenizacji w przedziale 300–430°C i ciśnienie wynoszące ok. 0,80–1,44 kbara wskazują na warunki hydrotermalne średnich temperatur i niskich ciśnień.

Wyniki te są porównywalne do danych T-P uzyskanymi przez Bazarowa & Motorinę (1973), Brookinsa i in. (1979), Taylora i in. (1979) oraz Londona & Burta (1982),

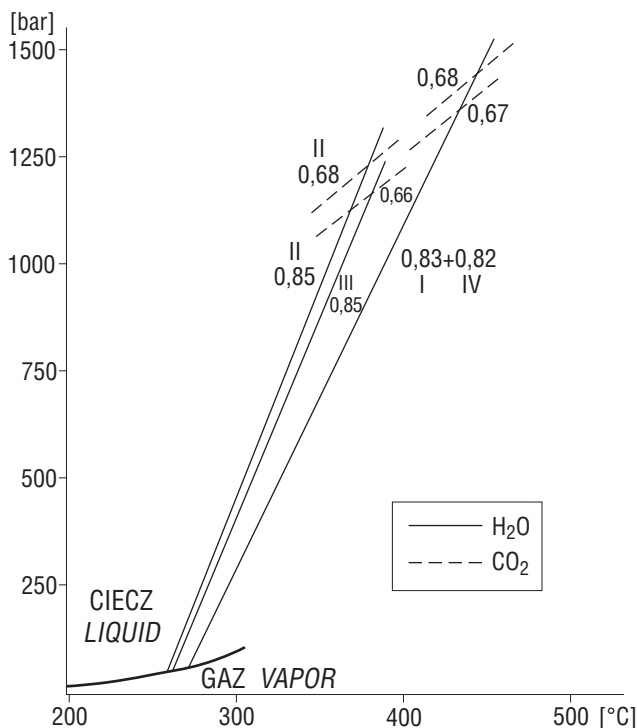
według których krystalizacja spodumenów w obrębie pegmatytów zachodzi w szerokim przedziale temperatur (300–650°C) i ciśnień (1,5–2,5 kbara). Zdaniem cytowanych autorów, minerały te tworzą się w dwóch etapach. Pierwsza generacja krystalizuje w interwale 500–650°C, a druga — 290–390°C (London & Burt, 1982).

London (1986) z kolei definiuje przybliżony interwał krystalizacji spodumenu (+beryłu) na 475–340°C i ciśnienie rzędu 2,4–2,8 kbar. Na podstawie wartości $T_{m_{ice}}$ wyznaczył też zasolenie fluidów, które jego zdaniem waha się w bardzo szerokim przedziale, od 0,9 do 7,9% wag. (średnio 3,7% wag.) równoważnika NaCl. Potwierdza też wzbogacenie fluidów w CO_2 . Uzyskane przez autorów wartości stężenia solanek (4,33–6,59% wag. równoważnika NaCl dla zielonego spodumenu oraz 4,5–5,7% wag. równoważnika NaCl dla kunzytu) mieszczą się w podanym wyżej zakresie zmienności tego parametru, chociaż są dużo wyższe od wartości średniej. Potwierdzają one fakt, że zamykanie wakuoli następowało w warunkach niskociśnieniowych (London, 1986).

Wnioski

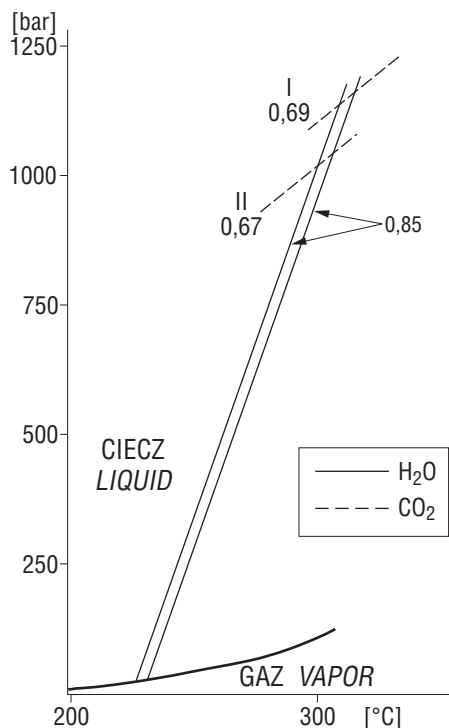
Badania gemmologiczno-mineralogiczne pozwoliły na identyfikację inkluzji stałych (mineralnych) oraz ciekło-gazowych w badanych spodumenach. Inkluzje mineralne są reprezentowane przez skalenie, kwarc, cyrkon, apatyt oraz muskowit.

Przedstawione w pracy wyniki badań mikrotermometrycznych zostały wykonane na pierwotnych inkluzjach fluidalnych zamkniętych w kryształach spodumenów, uży-



Ryc. 9. Isochory CO_2 oraz roztworów ciekłych (linia ciągła) dla badanych zespołów inkluzji fluidalnych (I–IV) w zielonym spodumencie z Afganistanu

Fig. 9. Isochores of carbon dioxide and aqueous solutions (solid line) for fluid inclusion assemblages (I–IV) in green spodumene from Afghanistan



Ryc. 10. Isochory CO_2 oraz roztworów ciekłych (linia ciągła) dla wybranych zespołów inkluzji fluidalnych (I, II) obecnych w kunzycie z Afganistanu

Fig. 10. Isochores of carbon dioxide and aqueous solutions (solid line) for selected fluid inclusion assemblages (I, II) entrapped by kunzite from Afghanistan

skanych z miarolitycznych pegmatytów granitowych wydobywanych w rejonie Nilaw, w NE Afganistanie. Na ich podstawie stwierdzono obecność pierwotnych inkluzji dwufazowych ciekło-gazowych w zielonych spodumenach i kunzycie, które krystalizowały z roztworów o składzie $H_2O+CO_2+NaCl+(CaCl_2?)$. Skład chemiczny solanki dla inkluzji z zielonych spodumenów wynosi: $H_2O = 0,93-0,94$; $CO_2 = 0,027-0,038$; $NaCl = 0,029-0,032$; a dla inkluzji z kunzytu — $H_2O = 0,75$; $CO_2 = 0,22$; $NaCl = 0,02$. Badania potwierdziły wzbogacenie fluidów w znaczne ilości CO_2 węgla. Stężenia solanek wahają się od 4,33–6,59 % wag. równoważnika NaCl w inkluzjach z zielonych spodumenów oraz odpowiednio od 4,5–5,7 % wag. równoważnika NaCl w inkluzjach z kunzytu. Skorygowane temperatury krystalizacji (300–430°C) i ciśnienia (0,81 to 1,44 kbara) wskazują, że spodumeny krystalizowały w warunkach hydrotermalnych średnich temperatur oraz niskiego ciśnienia.

Praca została wykonana w ramach prac własnych nr 10.10.140.699 oraz badań statutowych nr 11.11.140.158.

Literatura

- ABDULLAH S.W.M & CHMYRIOW W.M. 1980 — Geologia i polnyje iskopajemyje Afganistana. Cz. II. Nierda, Moskwa.
- ANDERSON A.J., CLARK A.H. & GRAY S. 2001 — The occurrence and origin of zubyelite (Li_2CO_3) in spodumene-hosted fluid inclusions: implications for the internal evolution of rare-element granitic pegmatites. *Can. Mineral.*, 39, 6: 1513–1527.
- BARIAND P. & POULLEN J.F. 1978 — Famous mineral localities: the pegmatities of Laghman, Nuristan, Afghanistan. *Mineral. Rec.*, 9, 5: 301–308.
- BAZAROW L.SH. & MOTORINA I.W. 1973 — Fiziko-chimiczeskie uslowia ormirowania rjedkometalnych pegmatitow natro-litewowo tipa. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 188, 1.
- BODNAR R.J. 2003 — Re-equilibration of fluid inclusions. [W:] I. Samson, A. Anderson, D. Marshall (red.) *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Mineralogical Association of Canada Short Course, 32: 213–230.
- BODNAR R.J. & BETHKE P.M. 1984 — Systematics of stretching of fluid inclusions. I. Fluorite and sphalerite at 1 atmosphere confining pressure. *Econom. Geol.*, 79: 141–161.
- BODNAR R.J. & VITYK M.O. 1994 — Interpretation of microthermometric data for H_2O -NaCl fluid inclusions. [W:] B. De Vivo, M.L. Frezzotti (red.) *Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications*. Virginia Tech, Blacksburg: 117–130.
- BOWERSOX G.W. 1985 — A status report on gemstones from Afghanistan. *Gems & Gemol.*, 21, 4: 192–204.
- BOWERSOX G.W. & CHAMBERLIN B.E. 1995 — Gemstones of Afghanistan. Geoscience Press, Tucson, Arizona.
- BROOKINS D.G., CHAKOUMAKOS B.C., COOK C.W., EWING R.C., LANDIS G.P. & REGISTER M.E. 1979 — The Harding pegmatite — summary of recent research, in Santa Fe country. New Mexico Geological Society. Guidebook 30th field conference: 127–133.
- DARLING R.S. 1991 — An extended equation to calculate NaCl contents from final clathrate melting temperatures in H_2O - CO_2 -NaCl fluid inclusions: Implications for P-T isochore location. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55: 3869–3871.
- DELBASTEH-MIANDOAB R. & PENSE J. 1988 — Comparative studies of Brazilian and Afghani Spodumene. *Fortsch. Miner.*, 66, 1: 22.
- DUAN Z., MILLER N. & WEARE J.H. 1992 — An equation of state for the CH_4 - CO_2 - H_2O system: I. Pure systems from 0 to 1000°C and 0 to 8000 bar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 2605–2617.
- DUNN P.J. 1974 — Gem spodumene and achroite tourmaline from Afghanistan. *J. Gemmol.*, 14, 4: 170–174.
- FUCHS G., MATURA A. & SCHERMAN O. 1974 — Verbericht über geologische und Lagerstättenkundliche Untersuchungen in Nurestan, Afghanistan. *Verh. Geol. Bundesanst., Österreich*, 1: 9–23.
- GOLDSTEIN R.H. & REYNOLDS T.J. 1994 — Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *SEPM Short Course*, 31: 1–199.
- GOLDSTEIN R.H. 2001 — Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems. *Lithos*, 55: 159–193.
- JERMAKOW N.P. 1972 — Geochemiczeskie systemy wkljuczenij w mineralach. Nierda, Moskwa.
- KALIUŻNY W.A. 1971 — Pierienapolienie żydkich wkljuczenij w mineralach i jewo geneticzeskoje znaczenie. *Mineralogiczeski sbornik Lwivskij uniwersitet*, 25: 124–131.
- KALIUŻNY W.A. 1982 — Osnowy uczenia o mineraloobrazujuszczich fluidach. *Naukowa dumka*, Kijów.
- LARSON L.T., MILLER J.D., NADEAU J.E. & ROEDDER E. 1973 — Two sources of error in low temperature inclusion homogenization determination and corrections on published temperatures for the East Tennessee and Laisvall deposits. *Econom. Geol.*, 68: 113–116.
- LECKEBUSCH R., RECKER K. & TRICHÉ C. 1974 — Relation entre couleur et luminescence des spodumènes d'Afghanistan et teneurs en chrome, manganèse et fer. *C.R. Acad. Sc., Paris, Série D-102*: 278, 12: 1541–1544.
- LONDON D. 1986 — Formation of tourmaline-rich gem pockets in miarolitic pegmatites. *Am. Mineral.*, 71: 396–405.
- LONDON D. & BURT D.M. 1982 — Lithium aluminosilicate occurrences in pegmatites and the lithium aluminosilicate phase diagram. *Am. Mineral.*, 67: 483–493.
- MILLS M. 1984 — Kunzite. *Lap. J.*, 38, 4: 546–552.
- NATKANIEC-NOWAK L. 2007 — Spodumenes from Nuristan, Afghanistan. *Australian Gemmol.*, 23, 2: 51–57.
- ORRIS G.J. & BLISS J.D. 2002 — Mines and mineral occurrences of Afghanistan. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-110.
- ROEDDER E. 1984 — Fluid inclusions. *Reviews in mineralogy*, 12: 1–646.
- ROSSOWSKI L.N., CHMYRIOW V.M., EREMENKO G.K. & AKBAR M. 1976a — Geologia i uslowia formirowania spodumienowych miestorożdzi Hindukusza (Afganistan). *Geol. Rud. Miestoroż.*, 43, 6: 19–33.
- ROSSOWSKI L.N., CHMYRIOW V.M. & SALAKH A.S. 1976b — Vertical range and zoning of spodumene pegmatite deposits in Afghanistan. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 226, 1–6: 85–87.
- ROSSOWSKI L.N. 1981 — Rare-metal pegmatites with precious stones and conditions of their formation (Hindu Kush). *Internation. Geol. Rev.*, 23, 11: 1312–1320.
- SEITZ J.C. & PASTERIS J.D. 1990 — Theoretical and practical aspects of differential partitioning of gases by clathrate hydrates in fluid inclusions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54: 631–639.
- SŁOWAKIEWICZ M. 2003 — Fluid inclusion data in calcite from the Upper Triassic hot-spring travertines in southern Poland. *J. Geochem. Explor.*, 78–79: 123–126.
- TAYLOR B.E., FOORD E.E. & FRIEDRICHSEN H. 1979 — Stable isotope and fluid inclusion studies of gem-bearing granitic pegmatite-aplite dikes. San Diego Country, California. *Contrib. Miner. Petrol.*, 68: 187–205.
- WESELUCHA-BIRCZYŃSKA A., SŁOWAKIEWICZ M., NATKANIEC-NOWAK L., & PRONIEWICZ L.M. 2010 — Raman microspectroscopy of organic inclusions in spodumenes from Nilaw (Laghman, Afghanistan). *Spectrochim. Acta (w druku)*. www.bgs.ac.uk/AfghanMinerals/mininfo.htm
- ZHANG Y.-H. & FRANTZ J.D. 1987 — Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions. *Chem. Geol.*, 64: 335–350.

Praca wpłynęła do redakcji 19.05.2009 r.

Po recenzji akceptowano do druku 17.12.2009 r.