

**KORDIERYT
W GRANITOIDACH HERCYŃSKICH
MASYWÓW SYSTEMU CENTRALNEGO
(ESTREMADURA, HISZPANIA)
I STRZELIŃSKIEGO (DOLNY ŚLĄSK)
— WSTĘPNE STUDIUM PORÓWNAWCZE**

Marek W. Lorenc

*Pracownia Geologii Sudetów, Instytut Nauk Geologicznych, Polska Akademia Nauk, ul. Podwale 75,
50-449 Wrocław*

Lorenc, M. W., 1987. Kordieryt w granitoidach hercyńskich masywów Systemu Centralnego (Extremadura, Hiszpania) i strzelińskiego (Dolny Śląsk) — wstępne studium porównawcze. Cordierite in granitoid rocks of Hercynian massifs of the Central System (Extremadura, Spain) and Strzelin (Lower Silesia) — a preliminary comparative study. (In Polish, English summary). *Ann. Soc. Geol. Polon.*, 57: 89-106.

Abstract: A comparative study of cordierite origin was carried out for granitoid massifs of western Spain and Strzelin massif in Lower Silesia. It was found that cordierite occurs within the rocks of granite and granodiorite type, whereas more basic varieties of rocks are devoid of it. In the study areas, this mineral was encountered both, in autochthonous granites (associated with sillimanite and andalusite) as well as in the intrusive granites and granodiorites (associated with garnet and tourmaline). The origin of cordierite was presumably different for these two granitoid types. As regards autochthonous granites it is assumed that it constitutes remnants after granitization of aluminum-rich shales. In the intrusive rocks it crystallized most probably directly from the melt at temperature 700–750°C and pressure 5–6 kbar.

Key words: Autochthonous granites, cordierite crystallization, intrusive granites, leucogranites, pinitic nodules, Extremadura, Lower Silesia.

Manuscript received July 1985, accepted May 1986

Abstrakt: Przeprowadzono studium porównawcze pochodzenia kordierytu w niektórych granitoidach zachodniej Hiszpanii oraz masywu strzelińskiego na Dolnym Śląsku. Stwierdzono, że kordieryt występuje w skałach typu granitu i granodiorytu, natomiast brak go w odmianach bardziej zasadowych. Na badanych terenach, minerał ten znajdowano zarówno w granitach autochtonicznych w towarzystwie syllimanitu i andaluzytu, jak również w granitach i granodiorytach intruzywnych razem z granatem i turmalinem. W obu rodzajach granitoidów pochodzenie kordierytu tłumaczone jest na różne sposoby. W przypadku granitów autochtonicznych przyjmuje się, że stanowi on pozostałości po granityzacji bogatych w glin łupków ilastych. W skałach intruzywnych krystalizował on przypuszczalnie bezpośrednio ze stopu przy temperaturze 700–750°C i ciśnieniu 5–6 kbar.

WSTĘP

W prezentowanej pracy przedstawiona jest próba wyjaśnienia obecności i pochodzenia kordierytu w niektórych skałach granitoidowych, a omówione wyniki badań mają charakter porównawczy i obejmują wybrane granitoidy Systemu Centralnego Hiszpanii oraz niektóre odmiany takich skał pochodzące z masywu strzelińskiego na Dolnym Śląsku. Wprawdzie problem obecności kordierytu w niektórych granitoidach hiszpańskich był już poruszany w tamtejszej literaturze, to jednak własne badania autora prowadzone tam na przełomie lat 1983/1984 dały nieco inne efekty, niż wynikałoby to z danych opublikowanych przez niektórych autorów (m. in. Ugidos, 1973, 1974 a, b, c, 1976; Ugidos & Bea, 1976). Jednocześnie ani obecność, ani też geneza kordierytu w granitoidach masywu strzelińskiego nie były dotąd omawiane. Jeżeli więc weźmiemy pod uwagę wyraźne podobieństwo (petrograficzne, geochemiczne, wiekowe itp.) skał obu omawianych regionów, to uzasadniona wydaje się próba porównania korelacji zjawisk prowadzących do powstania w nich kordierytu.

WYSTĘPOWANIE KORDIERYTU W SKAŁACH GRANITOIDOWYCH NW CZĘŚCI SYSTEMU CENTRALNEGO HISZPANII

Na objętym badaniami terenie występują zarówno granitoidy intruzywne, jak i autochtoniczne, przy czym oba typy różnią się między sobą bardzo wyraźnie. Odmiany autochtoniczne reprezentują skały na ogół jasne o składzie granitu i alaskitu, wykazujące bardzo często wyraźną teksturę kierunkową wyznaczoną przez blaszki biotytu i muskowitu oraz agregaty kwarcowo-skaleninowe. Ponadto dość charakterystyczną cechą tych skał jest obecność dużej liczby jednakowo zorientowanych enklaw (skialitów) łupków łyszczykowych w strefach marginalnych tych ciał oraz nodul kordierytowo-pinitowych w części centralnej.

Zasadniczą część granitoidów Systemu Centralnego stanowią jednak typowo intruzywne granodiority (oraz podrzędnie współwystępujące z nimi tonality, diority, gabra i noryty). Skały te, poza lokalnymi partiami wykazującymi równoległe ułożenie blaszek biotytu, są w zasadzie bezkierunkowe, często porfirowate, bardzo ostro kontaktujące z metamorficzną osłoną (Lorenc & Saavedra, 1985). Typowymi enklawami w granodiorycie są autolity, rozmieszczone nieregularnie w obrębie całej jego masy. Frekwencja ich jest podobna zarówno w strefach przykontaktowych z osłoną, gdzie towarzyszą im odpowiadające tejże osłonie ksenolity, jak i w partiach odległych od kontaktu, w których takie ksenolity nie występują (Lorenc, 1981; Lorenc & Saavedra — w druku).

Jak wykazały obserwacje prowadzone przez autora w granitoidach prowincji Salamanca i Avila, kordieryt występuje stosunkowo rzadko, chociaż spotyka się go zarówno w granitach autochtonicznych, jak i w intruzywnym granodiorycie. Dość charakterystyczny jest ponadto zespół minerałów towarzyszących kordierytowi, różny w obu typach omawianych skał. Jak wykazały badania mikroskopowe,

w leukokratycznych odmianach granitów autochtonicznych zespół taki tworzą andaluzyt i syllibanit, podczas gdy w granicie i granodiorycie intruzywnym kordieryt występuje w sąsiedztwie granatu i turmalinu.

GRANITOIDY AUTOCHTONICZNE

Jeden z lepiej poznanych i dobrze odsłoniętych masywów tego typu występuje w obrębie łupków łyszczykowych na południe od miejscowości Salamanca, w rejonie Martinamor (Fig. 1). Jak już wspomniano wcześniej, granit ten odznacza się jasną barwą, wyraźną teksturą kierunkową oraz dużą liczbą nie zrotowanych skia-litów łupkowych. W pewnych partiach spotyka się również migmatyty oraz dużą liczbę segregacyjnych żył kwarcu grubości do 1 m. Bardziej szczegółowe obserwacje pozwalają stwierdzić w obrębie omawianego granitu nieznaczłą liczbę drobnych (1 cm) nodul kordierytowo-pinitowych. Nodule takie stwierdzili w tym rejonie i opisali już wcześniej Gonzalo *et al.* (1975).

Podobny granit odsłania się również w okolicach Collegos de Sobrinos w odległości około 40 km na SE od Martinamor (Fig. 1). Jest to także granit jasny, o wyraźnej teksturze kierunkowej i zawierający większą niż wcześniej wspomniany liczbę nodul kordierytowo-pinitowych.

Kolejne odsłonięcia autochtonicznego granitu znajdują się w południowej części prowincji Salamanca, na wschód od miejscowości Béjar (Fig. 1). Można tu obserwować między innymi bezpośredni kontakt ciemnej odmiany tegoż gatunku z łupkami łyszczykowymi, wzdłuż dużej dyslokacji hercyńskiej o biegu NE-SW (jest to charakterystyczny kierunek wszystkich głównych uskoku hercyńskich na terenie Płw. Iberyjskiego). Należy w tym miejscu zaznaczyć, że nietypowe, ciemne zabarwienie omawianego granitu jest cechą wyłącznie lokalną i pochodzi od bardzo dużej ilości drobnych fragmentów łupków łyszczykowych oraz minerałów ciemnych pozostających po częściowej granityzacji tych skał. Bardziej leukokratyczna, a zarazem i bardziej typowa odmiana tego samego granitu pojawia się nieco dalej na południe od poprzedniego wystąpienia. Jest to leukogranit albitowo-mikroklinowy z dużą liczbą nodul kordierytowo-pinitowych z syllibanitem i andaluzytem. W kilku zaledwie miejscach obserwować można wzajemne zazębienie się odmiany jasnej i ciemnej omawianego granitu.

Godny odnotowania jest fakt, że bezpośredni kontakt autochtonicznego leukogranitu z intruzywnym granodioritem widoczny jest na wschód od Béjar w okolicach wsi Palomares. Kontakt ten jest bardzo ostry i podkreślony wąską strefą koncentracji minerałów ciemnych w obrębie leukogranitu.

GRANITOIDY INTRUZYWNE

Drugim rodzajem skał, w których już tylko lokalnie stwierdza się obecność kordierytu, są typowo intruzywne granodioryty oraz podrzędnie granity. W tym przypadku nie ma żadnych widocznych granic między odmianami zawierającymi kordieryt a pozbawionymi tego minerału; są to wyłącznie lokalne strefy, zarówno

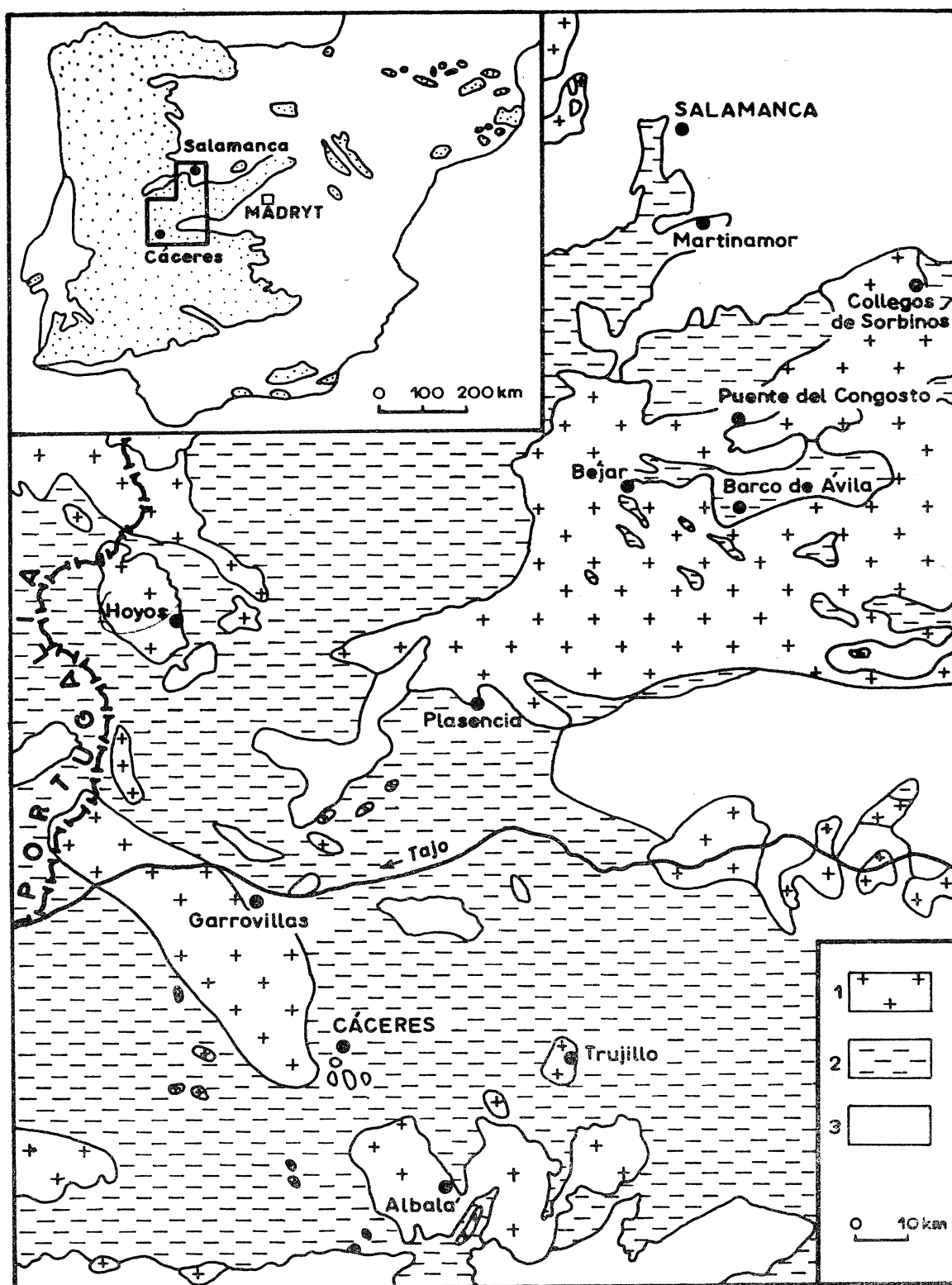


Fig. 1. Lokalizacja utworów hercyńskich (kropki) na obszarze Płw. Iberyjskiego (rysunek górny) oraz zgeneralizowany szkic geologiczny obszaru badań (na podstawie: Mapa Geológico de la Peninsula Ibérica, Baleares y Canarias, 1966). 1 — hercyńskie granitoidy; 2 — utwory paleozoiczne i starsze; 3 — utwory kenozoiczne

Fig. 1. Localization of Hercynian formations (dotts) on the Iberian Peninsula (inset sketch) and generalized geological map of the investigated area (after Mapa Geológico de la Peninsula Ibérica, Baleares y Canarias, 1966). 1 — Hercynian granitoids; 2 — Palaeozoic and older formations; 3 — Cainozoic deposits

w brzeżnych jak i centralnych partiach intruzji, nie różniące się makroskopowo od pozostałych części.

Jednym z takich obszarów jest masyw Cabeza de Araya w prowincji Cáceres, a ściślej okolice miejscowości Garrovillas (Fig. 1), gdzie często spinityzowany kordieryt tworzy, podobnie jak granat, pojedyncze ziarna w gruboziarnistym, porfirowatym granicie (Pl. I: 1, 2). Dość istotną cechą tego granitu wydaje się także obecność licznych, drobnoziarnistych enklaw o składzie diorytu kwarcowego.

Drugim obszarem, w którym stwierdzono obecność kordierytu, jest południowo-wschodnia część prowincji Salamanca. Tutaj w granodiorycie minerał ten występuje razem z turmalinem i granatem, tworząc spinityzowane ziarna wielkości około 5 mm (Pl. I: 3, 4). Warto również wspomnieć, że w rejonie tym granodioryt odsłaniający się w okolicach Santibañez de Béjar i Puente del Congosto (Fig. 1) stanowi wraz z tonalitem, diorytem, gabrem i norytem fragment typowej intruzji mieszanej (Lorenc, 1981; Lorenc & Saavedra, 1985).

Jak wynika z przedstawionych powyżej bardzo zwięzłych opisów, kordieryt występuje w dwu różnych genetycznie odmianach granitoidów, przy czym w każdej z nich odmienne są zespoły minerałów towarzyszących. W takiej sytuacji nasuwa się przypuszczenie, że pochodzenie tego minerału we wspomnianych odmianach skał jest najprawdopodobniej różne, a zarazem sama jego obecność może ewentualnie wskazywać na warunki tworzenia się odpowiednich granitoidów.

KORDIERYT W GRANITOIDACH STRZELIŃSKICH

W obrębie granitoidów masywu strzelińskiego, kordieryt spotykany jest bardzo rzadko i to jedynie w rejonie Gębczyc, Romanowa i Nowolesia (Fig. 2). Poza czynnym kamieniołomem w Gębczycach, na pozostałym obszarze minerał ten obecny jest tylko w niektórych odmianach granitu, tworzących głębsze poziomy masywu. Uzyskanie tego typu skał do badań było możliwe dopiero po wykonaniu na omawianym terenie wierceń prowadzonych przez Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu. Po dokładniejszych badaniach materiałów wiertniczych okazało się, że jasna odmiana granitu zawierającego kordieryt nie tworzy jednolitego poziomu, lecz w poszczególnych otworach wiertniczych pojawia się na bardzo różnych głębokościach (często kilkakrotnie w jednym otworze).

W analizowanych skałach kordieryt najczęściej bywa spinityzowany, a stwierdzenie jego obecności nie następuje większych trudności, gdyż w jasnym, drobnoziarnistym tle granitowym tworzy on pojedyncze, ciemne ziarna, których wielkość w skrajnych przypadkach dochodzi nawet do 2 cm (Pl. II: 1—4; Pl. III: 1, 2). Ponadto dość charakterystyczna wydaje się obecność w tych samych skałach niewielkich skupień syllimanitu (Pl. III: 3, 4).

Podobnie wykształcony kordieryt stwierdzono także w niektórych próbkach granitu pochodzących z otworu wiertniczego zlokalizowanego na wschód od wzgórza Gromnik (Fig. 2).

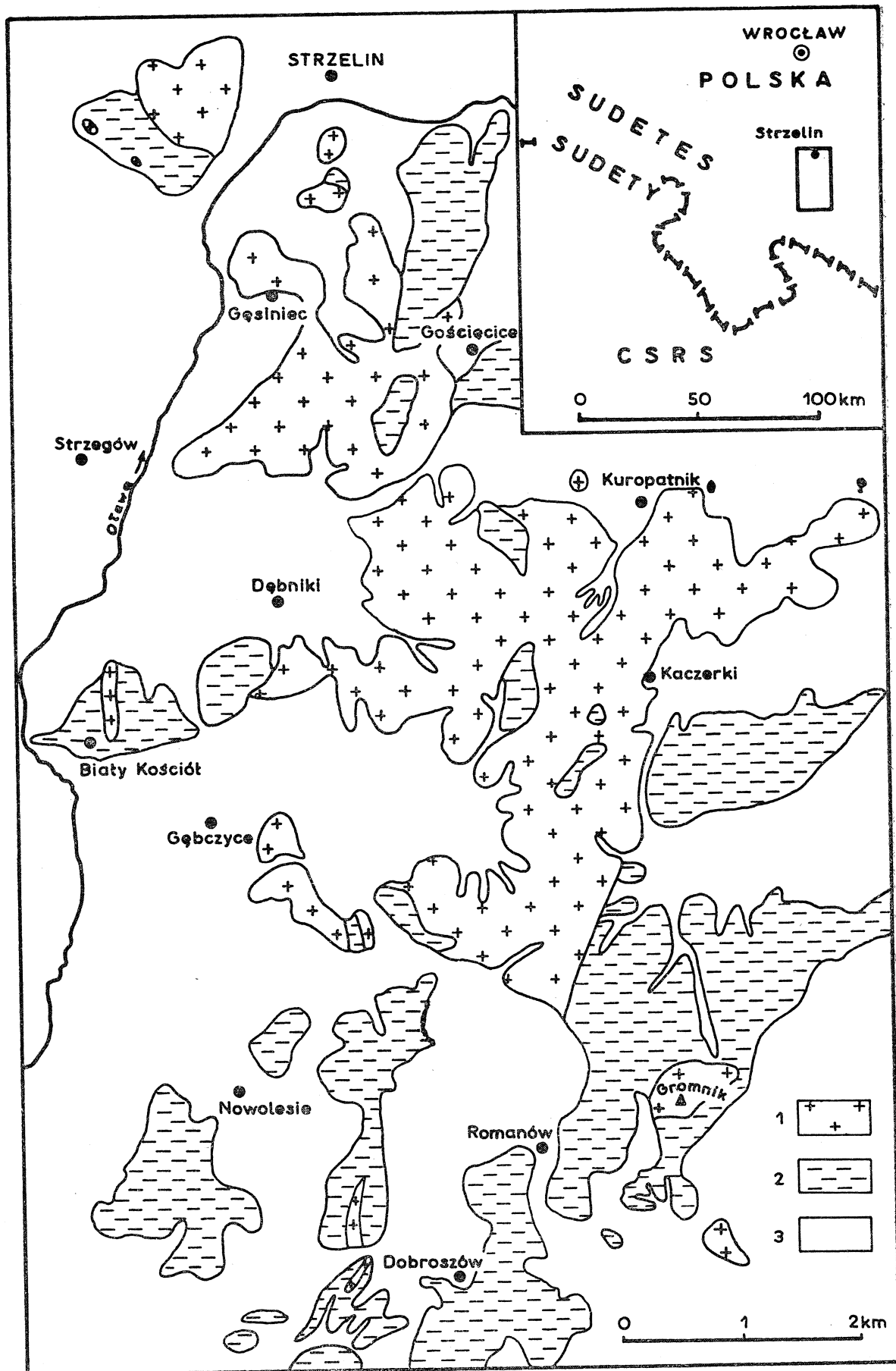


Fig. 2. Zgeneralizowany szkic geologiczny masywu strzeńskiego (na podstawie mapy geologicznej Beresia, 1969). 1 — hercyńskie granitoidy; 2 — utwory paleozoiczne i starsze; 3 — utwory kenozoiczne

Fig. 2. Generalized geological map of the Strzelin massif (after Bereś, 1969). 1 — Hercynian granitoids; 2 — Palaeozoic formations; 3 — Cainozoic deposits

Inaczej z kolei wygląda kordieryt oznaczony w leukogranicie z czynnego kamieniołomu w Gębczycach. Leukogranit ten jest odmianą dwułyszczkową (równy udział biotyty i muskowitu nie przekracza 1%) i pewna jego część charakteryzuje się obecnością sferycznych, ciemnych nodul o średnicy do kilku centymetrów, otoczonych jasną obwódką (Pl. IV: 1). Nodule te zbudowane są głównie z kwarcu i plagioklazu (An_{28}) oraz dużej liczby strzępiastych blaszek muskowitu, biotyty, chlorytu i serycytu. Dość charakterystycznym minerałem jest tutaj biotyt, który — w odróżnieniu od występującego w pozostałej masie skały (brunatne barwy pleochroiczne) — wykazuje barwy pleochroiczne wyraźnie zielone. Istotną cechą jest również brak w omawianych nodulach mikroklinu, którego udział w samym granicie przekracza 30%. Z kolei jasne obwódki, nie różniące się strukturalnie od pozostałej masy skały, zupełnie pozbawione są biotyty. Interesujący wydaje się także fakt, że w zewnętrznych partiach tych obwódek można stwierdzić także obecność drobnych ziarenek andaluzytu, który — zdaniem Beresia (1969) — wzrastał przypuszczalnie kosztem muskowitu.

Skład mineralny opisanych powyżej nodul może nasuwać przypuszczenie, że zbudowane są one z produktów rozpadu obecnego poprzednio w tych miejscach kordierytu (pinit). Tezę taką zdaje się potwierdzać właśnie obecność andaluzytu, a także znaczne podobieństwo tej odmiany granitu do opisanych wcześniej z terenu Hiszpanii.

Należy tu jeszcze wspomnieć, że w omawianym kamieniołomie w Gębczycach, oprócz granitu z nodulami, odsłonięty jest również średnioziarnisty granit biotytowy, nie wykazujący śladów obecności kordierytu czy andaluzytu. Jest to granit, którego charakter petrograficzny odpowiada odmianie budującej zasadniczą część całego masywu strzelińskiego (Bereś, 1969; Lorenc, 1981, 1984). Bezpośredni kontakt obu odmian granitu (obserwowany tylko w luźnych blokach) jest zawsze bardzo ostry i podkreślony strefą wzbogacenia w minerały ciemne (Pl. IV: 2). Sytuacja taka jest, jak się wydaje, również podobna do stwierdzonej w okolicach Béjar w Hiszpanii (Fig. 1).

Obecność kordierytu stwierdził autor także w granitoidach odsłaniających się w okolicach Jarnołtowa, Nadziejowa i Kamiennej Góry, które to rejony stanowią, jego zdaniem, przypuszczalnie północne przedłużenie masywu Žulovej (Czechosłowacja), a nie prolongację masywu strzelińskiego. W żadnej z przebadanych próbek pochodzących z rejonu Jarnołtowa kordieryt nie zachował się w stanie świeżym; pozostały po nim jedynie pseudomorfozy pinitowe, rozmieszczone w skale nieregularnie i to zawsze w ilościach śladowych. Znacznie bardziej świeży jest kordieryt oznaczony w granitoidach z Nadziejowa i Kamiennej Góry. Tutaj minerał ten tworzy względnie duże ziarna, prawie automorficzne, z wyraźną niekiedy łupliwością wg (010). Proces pinityzacji ziarn kordierytu zaawansowany jest tu w zmiennym stopniu i przebiega zawsze w sposób typowy, czyli wzdłuż brzegów ziarn, mikroszczelin łupliwości i różnokierunkowych pęknięć (Pl. IV: 3, 4). W przypadku znacznie posuniętego procesu pinityzacji zauważa się miejscami krystalizację większych blaszek muskowitu, a wokół ziarn przeobrażonego kordierytu obwódkę zbudowaną z nieprzezroczystych związków żelaza (Pl. II: 3, 4; Pl. III: 1, 2; Pl. IV: 3, 4).

POGLĄDY NA POCHODZENIE KORDIERYTU W SKAŁACH GRANITOIDOWYCH

Problem obecności kordierytu w granitoidach był już niejednokrotnie przedstawiany w literaturze i najczęściej tłumaczony kontaminacją magmy skałami ilastymi. Zgodnie z takim założeniem, kordieryt może być rozpatrywany jako ksenokryształ lub też jako krystalizujący z magmy przesyconej glinem na skutek tej kontaminacji (Borkowska & Smulikowski, 1973). Według niektórych autorów rozpatrywana jest też możliwość interpretacji obecności kordierytu w granitoidach jako pozostałości po niestrawionych i trudno topliwych resztkach krystalicznych skał osłony, wchłoniętych przez magmę (Ugidos, 1973, 1974a, b, c; Ugidos & Bea, 1976; Corretgé *et al.*, 1977).

Obecność w granitach bogatego w Al muskowitu, almandynu i kordierytu jest dobrym wskaźnikiem pozwalającym zaliczyć tego typu skały do grupy peraluminowej, tzn. takich skał, w których stosunek $Al_2O_3 : CaO + Na_2O + K_2O > 1$ (Hughes, 1982). Pod względem mineralogicznym skały tej grupy oprócz kwarcu i skaleni wykazują obecność jednego lub więcej tak charakterystycznych minerałów, jak: biotyt, muskowit, granat, kordieryt, glinokrzemiany Al_2SiO_5 , mullit, topaz, turmalin, spinel i korund (Clarke, 1981). Należy jednak zaznaczyć, że geneza kordierytu nie została jednoznacznie określona, gdyż — jak podaje Clarke (*op. cit.*) — może on być pochodzenia zarówno egzogenicznego (restyt albo ksenokrystały z wyższych poziomów skał otoczenia) lub endogenicznego, co znaczy, że minerał ten krystalizował bezpośrednio ze stopu krzemianowego.

Pochodzenie egzogeniczne zdają się potwierdzać badania eksperymentalne, prowadzone dla pewnej grupy australijskich granitoidów, a polegające na stapianiu sproszkowanych próbek ($\varnothing 10 \mu m$) przy ciśnieniu 1–7 kbarów i temperaturze 700–900°C w czasie 100–500 godzin (Clemens & Wall, 1981). Interpretując wyniki eksperymentu, autorzy (*op. cit.*) twierdzą, że magma typu S (*sensu* Chappell & White, 1974) powstała przez wchłanianie mniej lub bardziej peraluminowych skał pochodzenia osadowego. Równocześnie stwierdzono, że kordieryt jest ważnym wskaźnikiem krystalizacji przy ciśnieniach niższych niż 5 kbarów, podczas gdy pojawienie się granatu następuje przy ciśnieniach wyższych i większym stosunku $Fe/(Fe+Mg)$ stopu.

Problem pochodzenia kordierytu w granitoidach australijskich rozpatrywali bardzo szczegółowo Flood i Shaw (1975). Rozważając wiele różnych możliwości, autorzy ci dochodzą do wniosku, że brak przekonujących dowodów na przyjęcie możliwości kontaminacji magmy czy też reakcji stopu rezydualnego z trudno topliwymi pozostałościami po intruzji magmy w wyższe poziomy skorupy. Równocześnie trudno jest jednoznacznie wybrać, która z dwu pozostałych interpretacji jest bardziej prawdopodobna, chociaż bliższe prawdy wydaje się cytowanym autorom (Flood & Shaw, 1975) uznanie kordierytu za minerał przyniesiony ze strefy częściowego topienia, niż przyjęcie możliwości krystalizacji fenokryształów z magmy. Ponadto, odpowiednie wyliczenia wykazały, że obecność kordierytu przy częstym braku granatu sugeruje, że zawierający go granitoid powstał na skutek stosun-

kowo płytkiego przetapiania skał skorupy (około 22 km) przy temperaturze 750°C i ciśnieniu 6 kbarów (Flood & Shaw, 1975, 1977).

Istnieje także interpretacja przyjmująca kontrastowo różne pochodzenie granatu i kordierytu występujących razem w tym samym granicie (Allen & Barr, 1983). Zdaniem tych autorek, skład chemiczny kordierytu, wielkość jego ziarn (około 2 mm) i ich forma, a także brak wrostków wskazują na wyraźnie magmowe pochodzenie tego minerału. Z kolei małe, euhedralne ziarna granatu, którego skład chemiczny nie odpowiada pochodzeniu magmowemu, są najprawdopodobniej ksenokrystałami pochodzenia metamorficznego.

Jak wynika z przedstawionych dotąd interpretacji, pochodzenie granatu i kordierytu w skałach granitoidowych jest tłumaczone na różne sposoby i właściwie problem ten nadal pozostaje dyskusyjny.

INTERPRETACJA POCHODZENIA KORDIERYTU W GRANITOIDACH SYSTEMU CENTRALNEGO HISZPANII

W obrębie hercyńskich granitoidów Systemu Centralnego Hiszpanii istnieje kilka obszarów, w których stwierdzono obecność kordierytu (często obok granatu i turmalinu). Obszary te zostały już omówione na początku niniejszego artykułu. Próby interpretacji pochodzenia tego minerału były już kilkakrotnie podejmowane w odniesieniu do granitoidów występujących na terenie prowincji Cáceres, Avila i Salamanca (Corretgé *et al.*, 1977; Gonzalo *et al.*, 1975; Saavedra, 1979a, b; Saavedra & Garcia, 1976; Ugidos, 1973, 1974a, b, c, 1976; Ugidos & Bea, 1976). Hipotezy wysuwane na ten temat przez poszczególnych autorów są jednak rozbieżne i problem nie został jednoznacznie wyjaśniony.

Jednym z dyskutowanych obszarów jest fragment batolitu Cabeza de Araya na południe od Garrovillas (Fig. 1), gdzie pewna część porfirowatego granitu zawiera idiomorficzne lub subidiomorficzne ziarna kordierytu wielkości do 25 mm, najczęściej zmienione w pseudomorfozy pinitowe (Pl. I: 2). Obok kordierytu występuje również granat (5–10 mm), miejscami ulegający wtórnym przeobrażeniom z wydzieleniem biotytu i chlorytu. Liczne bywają w nim też wrostki apatytu, cyrkonu i minerałów nieprzezroczystych. Zdaniem Corretgé (1972), bardzo charakterystyczna petrograficznie jest obecność wrostków euhedralnego kordierytu w centrum ziarn granatu, powstających przy zastępowaniu granatu przez mieszaninę kordieryt + biotyt (Pl. I: 1) podczas reakcji granatu ze stopem magmowym w nowych warunkach ciśnienia i temperatury. Tak więc zgodnie z opinią Corretgé (*op. cit.*), krystalizacja zespołu almandyn + kordieryt jest pirogenetyczna i odbywała się w czasie krystalizacji kwarcu i plagioklazu pierwszej generacji (kwarc I, plagioklaz I), czyli w czasie fazy ortomagmowej. Równocześnie, głębokość powstania tego granitu szacuje się na 13–20 km z zaznaczeniem, że jest to magma utworzona przez melanz magmy infrakrustalnej i materiału anatektycznego, gdzie spinityzowane ziarna kordierytu reprezentują niestrawione resztki materiału krystalicznego, wchłoniętego przez magmę (Corretgé *et al.*, 1977).

Drugim obszarem występowania granitów z kordierytom jest rejon Béjar—Barco de Avila—Plasencia (Fig. 1), skąd interpretację pochodzenia tego minerału przedstawił Ugidos (1973, 1974a, b, c, 1976). W rejonie tym występują zarówno intruzywne granity biotytowe, jak i autochtoniczne leukogranity o charakterze nebulitu z licznymi skialitami skał metamorficznej osłony oraz nodułami pinitowymi. Zdaniem Ugidos (1976) kordieryt występuje w omawianych skałach jako minerał odporny na procesy anatektyczne lub w formie ksenokryształów. Zgodnie z takim założeniem, w autochtonicznych leukogranitach kordieryt reprezentuje minerał „rezydualny”, odporny na procesy paligenetyczne prowadzące do powstania tychże granitów. Z kolei w intruzywnych granitach biotytowych ma on charakter ksenokryształów, które zostały wchłonięte przez magmę zmieszana z produktami synteksis skał ościennych, gdzie kordieryt stanowił rezydium krystaliczne. Generalnie zaś, w odniesieniu do obu odmian skał granitoidowych, Ugidos (1974b) przyjmuje, że powstanie kordierytu w dużej części jest możliwe na skutek braku potasu w skałach objętych warunkami anatektycznymi, przy równoczesnym nasyceniu glinem w warunkach względnie bezwodnych. W odniesieniu zaś do facji marginalnych, gdzie skały podobne są do nebulitów, obecność kordierytu wiąże się (*op. cit.*) z procesem asymilacji skał otoczenia. Równocześnie przyjmuje się także (Ugidos & Bea, 1976), że istnieje pewna zależność między obecnością tego minerału a procentową zawartością CaO w skale i anorytu w plagioklazie. Tak więc kordieryt, jako trudno topliwe rezydium, występuje w autochtonicznych granitach z syllimanitem, gdzie zawartość CaO jest mniejsza niż 1%, a plagioklaz wykazuje skład $23 \pm 2\%$ An. Z kolei jako ksenokryształy kordieryt pojawia się w intruzywnych granitach biotytowych bez syllimanitu, o zawartości CaO powyżej 1% i przy plagioklazie $30 \pm 2\%$ An.

Wielu interesujących danych dostarczyły badania granitoidów wchodzących w skład masywu Albalá (Fig. 1) w prowincji Cáceres (Saavedra & Garcia, 1976), gdzie występowanie kordierytu związane jest z granitem gruboziarnistym, porfirowatym. W związku z tym, że facja ta nie zawsze jest marginalna, kordieryt pojawia się także w centrum plutonu. Ten właśnie fakt, jak również obecność andaluzytu typowego dla facji centralnej, obfitującej w enklawy bardziej zasadowych skał magmowych, jest nie do pogodzenia z ogólnie przyjmowaną teorią o powstawaniu kordierytu poprzez asymilację skał otoczenia. Przyjmuje się tu bowiem (*op. cit.*), że zarówno kordieryt, jak i andaluzyt reprezentują nieprzetopione rezydium, pochodzące z okresu intruzji magmy zasadowej, remobilizacji magmy wtórnej i jej hybrydyzacji przez zmieszanie z niewielką ilością materiału granitowego. Ponadto, jak wiadomo, kordieryt metamorfizmu kontaktowego ma charakter blastyczny oraz ma liczne wrostki kwarcu, biotytu i minerałów nieprzezroczystych, czego nie obserwuje się w przypadku skał z masywu Albalá.

W omawianym masywie obok kordierytu często występują pojedyncze, autochtoniczne ziarna granatu. W skałach tych (podobnie jak w ryolitach czy ryodacytach) granat należący do almandynu jest ubogi w Ca i Mn, ale bogaty w Fe; podobnie bogate w Fe są występujące razem z nim biotyt i kordieryt. W takim przypadku określenie granatu jako minerału pochodzenia metamorficznego wydawałoby się

niesłuszne. Z kolei w położonym bardziej na wschód batolicie Trujillo (Fig. 1), obok wspomnianych wcześniej minerałów, występuje także idiomorficzny, spinityzowany kordieryt, wzrastający po andaluzycie (zjawisko bardzo rzadkie). W takim przypadku, zdaniem Saavedry i Garcii (1976), trudno byłoby przyjąć, że jeden relikty metamorficzny zawiera w sobie inny relikty metamorficzny, gdy całość występuje w ośrodku magmowym, połączonym z innymi facjami obecnością samego kordierytu.

Przedstawione powyżej sugestie potwierdziły także późniejsze badania prowadzone w innych masywach granitoidowych Centralnej Estremadury (Saavedra, 1979b). Wykazano bowiem, że obecność omawianych minerałów związana jest z ewolucją warunków ciśnienia i temperatury oraz stopniowym nasyceniem magmy H_2O . Z kolei wtórny rozkład tych minerałów rozpoczyna się przy ciśnieniach niższych niż 2 kbar. Przedstawiony przez autora (*op. cit.*) rozwój zjawisk magmowych przedstawiałby się następująco:

- 700°C i 5 kbar — krystalizacja almandynu;
- 5 kbar — przy większym nasyceniu H_2O pojawia się kordieryt w towarzystwie skalenia potasowego i kwarcu;
- 3,5 kbar — wzrost andaluzytu, miejscami syllibimanitu, dalsze nasycenie magmy H_2O ;
- 610°C i 2 kbar — przy postępującym dalej nasyceniu magmy H_2O następuje rozkład kordierytu i muskowityzacja;
 - w finalnym okresie etapu magmowego zaczyna się mikroklinizacja (bardziej alkaliczna niż albityzacja) w konsekwencji aktywności jonów K^+ . Proces ten prowadzi również do powstania łyszczyków i chlorytów. Późniejszym procesem jest muskowityzacja bardziej kwaśna, związana z aktywnością jonów Na^+ .

W nawiązaniu do przedstawionych powyżej danych oraz opierając się na wynikach własnych analiz mikroskopowych autor przyjmuje następującą sekwencję krystalizacji poszczególnych składników omawianych skał (z uwzględnieniem warunków ciśnienia i temperatury oraz aktywności poszczególnych jonów):

- | | |
|--|--|
| 1) plagioklaz + biotyt I + kwarc I, | |
| 2) almandyn (+ kordieryt) | } 700°C, 6–5 kbar, |
| 3) kordieryt | |
| 4) kwarc II | |
| | } jony: Mg^{++} , Fe^{++} , Al^{+++} , SiO_2 , |
| 5) andaluzyt (+ syllibimanit) — 3,5 kbar, jony: Al^{+++} , | |
| 6) mikroklin + biotyt II + chloryt | |
| 7) serycyt + muskowit | } 610°C, 2 kbar, jony: K^+ , Na^+ . |

Przedstawione powyżej warunki ciśnienia i temperatury tworzenia się kordierytu mieszczą się w granicach wartości 700–750°C i 6–5 kbar, które przedstawili dla skał pochodzących z innych rejonów Hess (1971), Flood & Shaw (1975) oraz Clemens & Wall (1981).

WNIOSKI

Podsumowując zebrany własny materiał obserwacyjny oraz interpretacje pochodzenia kordierytu w omawianych skałach przedstawione w literaturze można przyjąć, że minerał ten i jego spinityzowane nodule występują najczęściej w jasnych odmianach granitu, przy czym w zależności od tego, czy jest to granit autochtoniczny czy też intruzywny, należałoby przyjąć dwie różne drogi prowadzące do krystalizacji tego minerału.

W przypadku granitów autochtonicznych, odznaczających się wyraźną teksturą kierunkową oraz obecnością skialitów skał metamorficznych, pochodzenie kordierytu można wytłumaczyć jako efekt skomplikowanych przemian metamorficznych sprzed etapu granityzacji, takie bowiem procesy prowadziły do powstania omawianego typu granitów.

W świetle przedstawionych uprzednio danych, problem pochodzenia kordierytu w granitoidach intruzywnych jest znacznie bardziej dyskusyjny, a tłumaczących go hipotez istnieje kilka. Ustosunkowując się do różnych wersji przedstawionych w literaturze oraz interpretując wyniki własnych badań prowadzonych w Hiszpanii i na terenie masywu strzelińskiego autor przyjmuje, że krystalizacja kordierytu w omawianych skałach następowała bezpośrednio z magmy (w tym także anatektycznego pochodzenia). Za hipotezą taką przemawiać może sama obecność kordierytu w towarzystwie granatu, a także fakt, że świeże ziarna kordierytu (nie spinityzowane) często bezpośrednio kontaktują z biotytem czy skaleniem potasowym. Automorficzny pokrój kordierytu (często wielokrotne zbliżniaczenia) i jego stosunek do również automorficznych blaszek biotyту wskazują, że w omawianej odmianie granitu jest on jednym z wcześniej krystalizujących minerałów. Z kolei bezpośrednie sąsiedztwo skalenia potasowego (mikrolin) zaprzecza przyjmowanym poglądom (Ugidos, 1974b) o niemożności występowania kordierytu w obecności minerałów potasowych. Ponadto, współwystępowanie takich minerałów, jak granat i kordieryt wskazuje, że zawierająca je magma musiała być stosunkowo bogata w glin.

Z przedstawionych wcześniej obserwacji (Saavedra, 1979b) wynika, że w przypadku granitoidu intruzywnego (typu I lub S) kordieryt i granat krystalizowały bezpośrednio z magmy, niezależnie od tego, czy powstała ona pod skorupą kontynentalną (I) czy też była pochodzenia anatektycznego (S). Poza tym, nie wydaje się słuszne wiązanie obecności tych minerałów z procesami kontaminacji magmy materiałem ilastym w przypadku tak charakterystycznych granitoidów typu I, jakimi są niewątpliwie granitoidy Systemu Centralnego z okolic Garrovillas, Santibañez de Béjar czy Puente del Congosto (Saavedra & Garcia, 1976; Saavedra, 1979b; Lorenc, 1981; Lorenc & Saavedra, 1985), czy też niektóre odmiany granitoidów strzelińskich (Lorenc, 1981; Lorenc & Lewczuk, 1981; Lorenc, 1984; Lorenc & Saavedra, w druku).

W takiej sytuacji należałoby, zdaniem autora, przyjąć, że obecność omawianych minerałów w granitoidach intruzywnych związana jest ze zmianami warunków ciśnienia i temperatury oraz stopniowym nasyceniem magmy H_2O . Jak wykazały badania Saavedry (1979a, b, inf. ustna), początkowo przy ciśnieniach wyższych

niż 6 kbar jony żelazowe i magnezowe wiązane są w biotyt, który obok plagioklazu, kwarcu i apatyty krystalizuje w pierwszym etapie. Później, przy ciśnieniach 6–5 kbar krystalizuje almandyn. W przypadku leukogranitów niższych temperatur i późnego etapu dyferencjacji magmy okres ten jest pierwszym okresem krystalizacji i wówczas także kordieryt krystalizuje w zakresie stabilności almandynu przy tych samych ciśnieniach. Generalnie zaś, w typowych granitach, a także w odmianach bardziej leukokratycznych, kordieryt krystalizuje przed skaleniem potasowym przy ciśnieniu poniżej 5 kbar, wskazując równocześnie na większe nasycenie magmy H_2O . Przy dalszym uwodnieniu magmy może krystalizować andaluzyt lub czasem syllimanit przy ciśnieniu około 3,5 kbar. W efekcie dalszego spadku ciśnienia poniżej 2 kbar zostaje przekroczona granica trwałości wymienionych wyżej minerałów i następuje stopniowa biotytyzacja czy chlorytyzacja granatu oraz rozkład kordierytu z wydzieleniem minerałów pinitowych (sercyt, chloryt). Proces ten nie jest oczywiście regułą, ponieważ spotyka się skały, w których minerały te są zachowane w stanie zupełnie świeżym i prawie nie wykazują wtórnych przeobrażeń. Jeżeli jednak przeobrażenia te zachodzą, to są one spowodowane większą aktywnością potasu aż do etapu muskowityzacji włącznie.

W szlifach mikroskopowych genetyczne zależności między poszczególnymi minerałami są bardzo wyraźne i pierwotna krystalizacja granatu oraz kordierytu (często w zmiennym stopniu zastępowanych odpowiednio przez chloryt i pinit) jest, jak wydaje się, oczywista, tym bardziej że w przypadku niektórych rejonów ma się do czynienia z granitem lub granodioritem typowo intruzywnym (typu I), zawierającym liczne autolity diorytowe, gabrowe czy też norytowe (Lorenc, 1981, 1984; Lorenc & Lewczuk, 1981; Lorenc & Saavedra, 1985, w druku).

PODZIĘKOWANIA

Praca została napisana na podstawie danych bibliograficznych i materiałów własnych autora, zebranych na terenie masywu strzelińskiego w latach 1982–1984 w ramach problemu międzyresortowego I–16 oraz na terenie prowincji Avila, Cáceres i Salamanca w Hiszpanii w latach 1983–1984 w ramach porozumienia między Polską Akademię Nauk i Consejo Superior de Investigaciones Cientificas.

Autor dziękuje Dr. Julio Saavedra Alonso za udostępnienie wyników własnych badań oraz za cenne dyskusje nad poruszonymi w pracy problemami.

LITERATURA CYTOWANA – REFERENCES

- Allen, P. L. & Barr, S. M., 1983. The Ellison Lake Pluton: a cordierite-bearing monzogranitic intrusive body in Southwestern Nova Scotia. *Can. Miner.*, 21: 583–590.
- Bereś, B., 1969. Petrografia granitu Strzelina i okolicy. Petrography of granite of the environments of Strzelin. *Arch. Miner.*, 28 (2): 5–105.
- Borkowska, M. & Smulikowski, K., 1973. *Minerały skalotwórcze*. Wyd. Geol., Warszawa, 477 pp.
- Chappell, B. W. & White, A. J. R., 1974. Two contrasting granite types. *Pac. Geol.*, 8: 173–174.
- Clarke, D. B., 1981. The mineralogy of peraluminous granites: a review. *Can. Miner.*, 19: 3–17.

- Clemens, J. D. & Wall, V. J., 1981. Origin and crystallization of some peraluminous (S-type) granitic magmas. *Gen. Miner.*, 19: 111–131.
- Corretgé, L. G., 1972. Contribucion para el concimiento del batolito de Cabeza de Araya (Cáceres — España): el microgranito granatífero-cordierítico con megacristales feldspáticos. *Stv. Geol.*, 3: 43–65.
- Corretgé, L. G., Ugidos, J. M. & Martinez, F. J., 1977. Les series granitiques varisques du secteur Centro-Occidental Espagnol. *Coll. Intern. CNRS, Rennes*, 243: 453–461.
- Flood, R. H. & Shaw, S. E., 1975. A cordierite-bearing granite suite from the New England Batholith, N. S. W., Australia. *Contrib. Miner. Petrol.*, 52: 157–164.
- Flood R. H. & Shaw, S. E., 1977. Two „S-type” granite suites with low initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios from the New England Batholith, Australia. *Contrib. Miner. Petrol.*, 61: 163–173.
- Gonzalo, F. J., Saavedra, J., Garcia, A., Pellitero, E., Arribas, A. & Rodriguez, S., 1975. Las rocas graníticas de la antiforma de Martinamor (Salamanca, Espana Central). II Congr. Ibero-Am. *Geol. Econ.*, 4: 181–207.
- Hess, P. C., 1971. Prograde and retrograde equilibria in garnet-cordierite gneisses in South-Central Massachusetts. *Contrib. Miner. Petrol.*, 30: 177–195.
- Hughes, C. J., 1982. *Igneous petrology*. Developments in Petrology 7, Elsevier, Amsterdam, 551 pp.
- Lorenc, M. 1981. *Petrogeneza enklaw w masywie granitoidowym Strzelina*. Archiwum Instytutu Nauk Geologicznych PAN, Warszawa (praca doktorska, nie publikowana — unpublished), 168 pp.
- Lorenc, M., 1984. Enklawy homeogeniczne (autolity) jako wskaźnik magmowego pochodzenia granitoidów strzelińskich. Endogenous enclosures (autholiths) as evidence of magmatic origin of the Strzelin granitoids. *Geol. Sudetica*, 19 (1): 75–95.
- Lorenc, M. & Lewczuk, L., 1981. On the occurrence of quartz diorites in the northern part of the Strzelin granitoid massif, Lower Silesia. *Bull. Acad. Pol. Sci., Ser. Sci. Terre*, 29 (3): 199–209.
- Lorenc, M. & Saavedra, J., 1985. Estudio geológico del plutonismo ácido-básico y su entrono metamórfico en el área de Guijuelo — Bercimuelle (SE de Salamanca). *Bol. Geol. Min.*, 96 (1): 62–73.
- Lorenc, M. & Saavedra, J. Granite enclaves from a sector of the Iberian Peninsula. Their comparison with the autoliths of some Hercynian granitoids of SW Poland. *Krystalinikum* (w druku — in press).
- Mapa Geológico de la Peninsula Ibérica, Baleares y Canarias*, 1 : 1 000 000, bajo la direccion del Felix Sabas. Inst. Geol. Min., España, Madrid, 1960.
- Saavedra, J., 1979a. Aspecto geológico del plutonismo geoquímicamente especializado en Extremadura Central (Oeste de España). *Bol. Geol. Min.*, 90 (3): 253–274.
- Saavedra, J., 1979b. Sobre la presencia de silicatos aluminicos (cordierita, andalucita y granate) en granitos de Extremadura Central. *Acta Geol. Hisp.*, 12 (4–6): 108–112.
- Saavedra, J. & Garcia, A., 1976. Geologia del granito de Albalá (Extremadura Central, España). *Tecniterrae*, 14: 10–23.
- Ugidos, J. M., 1973. Los granitos aplíticos de nodulos en el área Béjar — Barco de Avila (Salamanca — Avila). *Stv. Geol.*, 6: 85–93.
- Ugidos, J. M., 1974a. Granitos de dos micas y moscovíticos en la region de Barco de Avila — Plasencia y áreas adyacentes (Avila — Cáceres). *Stv. Geol.*, 7: 63–86.
- Ugidos, J. M., 1974b. Metasomatismo y granitización en el complejo metamórfico de Béjar — Barco de Avila — Plasencia. Petrogénesis de los granitos de tendencia alcalina. *Stv. Geol.*, 8: 27–44.
- Ugidos, J. M., 1974c. Los granitos biotíticos $\pm$ cordierita de Béjar y áreas adyacentes. *Bol. Geol. Min.*, 85 (2): 214–222.
- Ugidos, J. M., 1976. Significado petrológico de cordierita, sillimanita y andalucita en migmatitas y granitos de Plasencia — Béjar y áreas adyacentes (Salamanca — Cáceres). *Stv. Geol.*, 10: 31–43.
- Ugidos, J. M. & Bea, F., 1976. Analisis comparativo de los granitos del área Béjar — Plasencia con otros granitos “younger” centro peninsulares: precisiones sobre la serie mixta. *Stv. Geol.*, 10: 45–59.

Summary

**CORDIERITE IN GRANITOID ROCKS
OF HERCYNIAN MASSIFS OF THE CENTRAL SYSTEM
(EXTREMADURA, SPAIN)
AND STRZELIN (LOWER SILESIA)
— A PRELIMINARY COMPARATIVE STUDY**

Marek W. Lorenc

The data collected in this study and those published elsewhere, point to considerable similarities of cordierite occurrence in certain varieties of granitoids of the Central System in Spain (Fig. 1) and in some granites of the southern part of the Strzelin massif in Lower Silesia (Fig. 2). Available data allowed the author to conclude that cordierite and its pinitized nodules occur most frequently in the bright varieties of granitoids and that there are two possible modes of their formation, depending on whether the granite is autochthonous or intrusive.

In case autochthonous granitoids which reveal distinct directional structure and presence of skialiths of metamorphic rocks, the origin of cordierite may be explained as resulting from metamorphic and metasomatic alteration of sedimentary rocks rich in aluminum, which alteration took place before the onset of granitization. Such processes are thought to produce the discussed granites.

The problem of cordierite formation in the intrusive granitoids (granite, granodiorite) is disputable and there are several concepts concerning its origin (Allen & Baar, 1983; Clarke, 1981; Corretgé, 1972; Corretgé *et al.*, 1977; Flood & Shaw, 1975, 1977; Gonzalo *et al.*, 1975; Saavedra, 1979a, b; Saavedra & Garcia, 1976; Ugidos, 1973, 1974a, b, c, 1976; Ugidos & Bea, 1976).

The present author discusses the above concepts basing on his own research in Spain and Lower Silesia and concludes that cordierite crystallized in the studied rocks directly from magma (also of an anatectic origin). This hypothesis is corroborated among others by the association of cordierite with garnet ($\pm$ tourmaline), (Pl. I: 1), and by the fact that fresh grains of this mineral contact directly with biotite, plagioclase or potassium feldspar. This situation in the rock indicates that in the studied granitoids cordierite belongs to the early-crystallizing minerals. Moreover, direct association with potassium feldspar (microcline) contradicts the accepted opinions (Ugidos, 1974b) of cordierite not co-occurring with potassium minerals. Simultaneously, the presence of such minerals as cordierite and garnet indicates that the parent magma must have been relatively enriched in aluminum.

The above opinion is in accord with the concepts of Saavedra (1979b) which state that in case of intrusive granitoid (of I or S type), cordierite and garnet crystallized directly from magma, independently of whether the latter was of infracrustal (type I) or anatectic (type S) origin. Hence, one should not bind these processes solely with magma contamination by clayey material. This is particularly true for the type I granitoids, as for instance granodiorites of the Central System in the

area of Garrovillas (Pl. I: 1), Puente del Congosto (Pl. I: 2—4) or Santibañez de Béjar (Saavedra & Garcia, 1976; Saavedra, 1976b; Lorenc, 1981; Lorenc & Saavedra, 1985), or some varieties of the Strzelin granitoids (Pl. II: 1—4; Pl. III: 1—4; Pl. IV: 1—4) which contain numerous diorite, gabbro and norite autoliths (Lorenc, 1981, 1984; Lorenc & Lewczuk, 1981; Lorenc Saavedra, in press).

This suggests that the presence of the discussed minerals in the intrusive granitoids is related with the changing pressure and temperature as well as gradual saturation with water of magmas rich in magnesium, aluminum and iron. As it was shown by Saavedra (1979a, b), initially, by undersaturation of magma with water, and pressures higher than 6 kbar, iron and magnesium ions are bound in biotite which crystallizes in the first stage along with plagioclase, quartz and apatite. Then, almandine crystallizes at the pressures of an order of 6—5 kbar under persisting undersaturation of magma with respect to water. As regards leucogranites of lower temperatures and of later stages of magma differentiation, this period is the first stage of crystallization, and thus cordierite may also crystallize within the range of almandine stability, at the same pressures.

In general, in typical granites and their leucocratic varieties, cordierite crystallizes before the potassium feldspar at the pressure below 5 kbar. During the proceeding saturation of magma with water, andalusite and occasionally sillimanite may crystallize at the pressure of an order of 3.5 kbar. After pressure decreases below 2 kbar, the stability limit of the above-mentioned phases is exceeded, which leads to gradual biotitization of garnets and decay of cordierite with precipitation of pinite minerals (sericite, chlorite). This process, however, is not a rule, since one finds also rocks where cordierite and garnet are preserved virtually unchanged. Nevertheless, if alteration occurs, it is triggered by higher activity of potassium which occasionally leads even to muscovitization.

Basing on the present data and those drawn from literature (Saavedra, 1979b), the author suggests the following sequence of crystallization of the individual components of the studied rocks (taking account of pressure, temperature and ionic species activities):

- | | | |
|--|--|--|
| (1) plagioclase + biotite I + quartz I, | | |
| (2) almandine (+ cordierite) | } 700°C, 5—6 kbar, | |
| (3) cordierite | | |
| (4) quartz II | | |
| | } Mg ⁺⁺ , Fe ⁺⁺ , Al ⁺⁺⁺ , SiO ₂ , | |
| (5) andalusite (+ sillimanite) — 3.5 kbar, Al ⁺⁺⁺ , | | |
| (6) microcline + biotite II + chlorite | } 610°C, 2 kbar, | |
| (7) sericite + muscovite | | |
| | } K ⁺ , Na ⁺ . | |

In thin sections, genetic relationships between these individual minerals are evident and the primary crystallization of cordierite seems straightforward. This is further supported by the fact that one deals in some of the areas under study with typically intrusive granites or granodiorites which include diagnostic (for the origin of magmas): diorite, gabbro and norite autoliths (Lorenc, 1981, 1984; Lorenc & Lewczuk, 1981; Lorenc & Saavedra, 1985 and in press).

OBJAŚNIENIA DO PLANSZ — EXPLANATIONS OF PLATES

Plansza — Plate I

- 1 — Granit porfirowaty z granatem zastępowanym przez kordieryt (strzałki). Okolice Garrovillas, Hiszpania
Porphyritic granite with garnet crystals replaced by cordierite (arrows). Vicinity of Garrovillas, Spain
- 2 — Spinityzowane ziarno kordierytu w granicie z Garrovillas (Hiszpania). Pow. 65×. Nikole skrzyżowane
Pinitized cordierite in granite from Garrovillas (Spain). 65×. Crossed nicols
- 3 — Częściowo spinityzowane ziarno kordierytu w granodiorycie z Puente del Congosto (Hiszpania). Pow. 65×. Nikole skrzyżowane
Partially pinitized cordierite in granodiorite from Puente del Congosto (Spain). 65×. Crossed nicols
- 4 — Wrostki apatyty w spinityzowanym ziarnie kordierytu (granodioryt z Puente del Congosto, Hiszpania). Pow. 65×. Nikole skrzyżowane
Apatite inclusions in the pinitized cordierite (granodiorite from Puente del Congosto, Spain). 65×. Crossed nicols

Plansza — Plate II

- 1 — Granit biotytowy z kordierytem (okolice Romanowa, próbka z wiercenia, głęb. 36 m)
Biotitic granite with cordierite (vicinity of Romanów, borehole sample, depth 36 m)
- 2 — Leukogranit z kordierytem (okolice Romanowa próbka z wiercenia, głęb. 63 m)
Leucogranite with cordierite (vicinity of Romanów, borehole sample, depth 63 m)
- 3 — Ziarno kordierytu w granicie z Nowolesia. Widoczna pinityzacja postępująca od brzegów ziarna i wzdłuż pęknięć. Pow. 65×. Nikole skrzyżowane
Cordierite in granite from Nowolesie. Note partial pinitization along grain surface and fractures. 65×. Crossed nicols
- 4 — Jak wyżej. Jeden nikol
The same. Single nicol

Plansza — Plate III

- 1 — Pinityzacja kordierytu w granicie z Nowolesia. Pow. 65×. Nikole skrzyżowane
Pinitization of cordierite in granite from Nowolesie. 65×. Crossed nicols
- 2 — Kordieryt w granicie z Nowolesia. Widoczna intensywna pinityzacja oraz wtórna krystalizacja muskowitu w brzeżnych częściach ziarna. Pow. 65×. Nikole skrzyżowane
Cordierite in granite from Nowolesie. Note an intensive pinitization and crystallization of the secondary muscovite in the outer parts of grain. 65×. Crossed nicols
- 3 — Granit z Witosławic zawierający spinityzowane ziarna kordierytu (Cd) i skupienia syllimanitu (Sill). Próbką z wiercenia, głęb. 63 m
Granite from Witosławice with pinitized cordierite (Cd) and aggregates of sillimanite (Sill). Borehole sample, depth 63 m
- 4 — Syllimanit (fibrolit) w granicie z Witosławic. Pow. 65×. Nikole skrzyżowane
Sillimanite (fibrolite) in granite from Witosławice. 65×. Crossed nicols

Plansza — Plate IV

- 1 — Granit z nodułami pinitowymi otoczonymi obwódką kwarcowo-skaleniovą (kamieniółom w Gębczycach)

Granite with pinitic nodules surrounded by quartz-feldspatic rims, Gębczyce quarry

- 2 – Kontakt granitu zawierającego nodule pinitowe (ciemniejszy) z granitem biotytowym typu strzeńskiego (jaśniejszy). Wzdłuż kontaktu widoczna strefa wzbogacona w minerały ciemne. Próbkę z kamieniołomu w Gębczycach

Contact between granite with pinitic nodules (darker) and biotitic granite of the Strzelin type (lighter). Note dark mineral's concentration along the contact zone. Sample from the Gębczyce quarry

- 3,4 – Pinityzacja kordierytu postępująca wzdłuż mikroszczelin łupliwości (granit z Kamiennej Góry). Pow. 65×. Nikiel skrzyżowane

Pinitization of cordierite developed along microfracture planes (granite from Kamienna Góra). 65×. Crossed nicols

