

SKALENIE JAKO WSKAŹNIKI WARUNKÓW KRYSZTALIZACJI NIEKTÓRYCH GRANITOIDÓW SUDECKICH

UKD 549.051:552.321.1/.4(438.261—13:234.382.61):548.52:548.73+548.3

Skalenie należą do najważniejszych minerałów skałotwórczych. W ostatnim dwudziestolecu stały się przedmiotem bardzo wyspecjalizowanych badań mineralogicznych, które z kolei wykorzystywane są przez petrologów w rozwiązywaniu zagadnień genetycznych różnych skał magmowych i metamorficznych. Szczególnie chętnie wykorzystuje się badania strukturalne i chemiczne skałeni przy ustalaniu genezy granitoidów. Badania strukturalne zmierzają do stwierdzenia tzw. stanu strukturalnego skałeni, który zależy od ich temperatury krystalizacji i dalszej termicznej historii. Skalenie wysokotemperaturowe mają struktury nieuporządkowane, skałenie niskotemperaturowe — struktury uporządkowane. Wysokotemperaturowymi skałeniami jest większość skałeni skał wulkanicznych, niskotemperaturowe są np. skałenie skał plutonicznych. Pomiędzy skałeniami wysoko- i niskotemperaturowymi istnieje jeszcze cała gama skałeni pośredniotemperaturowych, o strukturach częściowo uporządkowanych.

Stopień uporządkowania skałeni potasowych wyrażamy za pomocą tzw. trójskośności w liczbach: od 0 do 1 lub procentu trójskośności (0—100) na podstawie pomiaru na proszkowych diagramach rentgenowskich odstepu pomiędzy refleksami (131) i (131) i przy założeniu, że odstęp ten dla mikroklinu o trójskośności maksymalnej (1 lub 100%) wynosi 0,08 kX.

Określenie stanu strukturalnego plagioklazów jest z uwagi na ich bardziej złożony skład i nieciągłość serii niskotemperaturowej bardziej skomplikowane i mniej jednoznaczne. Niemniej badania rentgenowskie plagioklazów pozwalają przy znajomości ich składu chemicznego na szacunkowe oznaczenie stopnia uporządkowania struktury. Ostatnio coraz częściej spotyka się w literaturze określanie stanu strukturalnego plagioklazów za pomocą tzw. wskaźnika uporządkowania (O. I. = ordering index) lub pośredniości (I. I. = intermediacy index), wprowadzonego przez D. B. Slemmons-a (12). Wskaźnik pośredniości jest w tej chwili tylko jakościową miarą stopnia uporządkowania; formy najbardziej uporządkowane oznaczają się wskaźnikiem 100 (I. I. = 100); formy całkowicie nieuporządkowane wskaźnikiem 0 (I. I. = 0). Plagioklasy pośrednie pomiędzy formami całkowicie uporządkowanymi i całkowicie nieuporządkowanymi oznaczają się wskaźnikami pośrednimi pomiędzy 100 i 0: 90, 80, 70, 60 itd.

Znajomość stanu strukturalnego skałeni jest dużą pomocą przy ustalaniu genezy skał, głównie takich, w których minerały te odgrywają dominującą rolę. Stopień uporządkowania struktury zależy w pierwszym rzędzie od temperatury krystalizacji, choć byłoby dużym uproszczeniem uważać, że jest on prostą funkcją temperatury. Bardzo ważnym czynnikiem jest szybkość samego procesu krystalizacji, zawartość sodu w skałeniach potasowych i potasu w plagioklazach, a także obecność wody w skałeni. Niewątpliwie pewną rolę odgrywa też obecność pierwiastków śladowych. Nie bez znaczenia są wszelkie procesy deformacyjne, których wynikiem może być np. wzrost trójskośności skałeni potasowego.

Zależność stopnia uporządkowania struktury skałeni od temperatury ich krystalizacji została przez mineralogów wykorzystana m.in. jako tzw. termometr geologiczny. Bazując na pracach J. V. Smitha (1956) i W. S. MacKenziego (1957) O. H. J. Christie (9) skonstruował diagram zależności różnicy w odstepie sieciowym pomiędzy (131) i (131) plagioklazów od temperatury. Termometr ten nie znalazł do tej pory szerszego zastosowania, gdyż rejestrowane nim temperatury w przypadku np. niejednołitego stopnia uporządkowania struktury w plagioklazie są wyraźnie niższe od temperatur wykazywanych tzw. termometrem dwuskaleniowym (1, 2), znacznie od plagioklazowego wcześniejszym i chętnie przez petrografów stosowanym. Dwuskaleniowy termometr Bartha opiera się na zmienności składu chemicznego skałeni w zależności od temperatury. Chodzi tu mianowicie o rozdział sodu pomiędzy plagioklasy i skałenie alkaliczne, który w warunkach równowagi jest dla danej temperatury wielkością stałą:

$$\frac{\% \text{ mol. Alb w skał. alk.}}{\% \text{ mol. Alb. w plagiokl.}} = k_T$$

Termometr dwuskaleniowy ma przede wszystkim zastosowanie do skał o genezie magmowej lub metamorficznej bez późniejszego dopływu metasomatycznego alkaliów.

W celu sprawdzenia wysuniętych na podstawie badań petrograficznych hipotez o genezie niektórych granitoidów sudeckich (13, 4) zbadano stan strukturalny i skład chemiczny skałeni wyseparowanych przy użyciu odpowiednio rozcieńzanego alkoholu bromoformu i separatora izodynamicznego ze skał granitowych masywów: karkonoskiego, kudowskiego i strzegomskiego. Wyniki badań skałeni granitoidów karkonoskich i kudowskich omówione zostały w poprzednich pracach autorki (5, 6, 7, 8), a wyniki ostatnio analizowanych skałeni granitoidów masywu Strzegom — Sobótka przedstawiają poniższe tabele. Skład chemiczny skałeni potasowych (% mol. Or i Alb) oznaczono rentgenograficznie (10) po uprzedniej ich homogenizacji przeprowadzonej w temperaturze ~1040°C w ciągu 50 godzin. Zawartość An i Ab w plagioklazach obliczono z analiz chemicznych, zaś Or w ich strukturze z analiz rentgenowskich. Przy oznaczaniu procentu trójskośności w próbkach, gdzie refleksy (131) i (131) nie były dobrze rozdzielone, posługiwano się metodą i krzywą G. Sabatiera (11). W celu ustalenia „wskaźnika pośredniości” (I. I.) plagioklazów zmierzono w poszczególnych próbkach odległość pomiędzy refleksami (131) i (131) w stopniach 2 θ i posłużono się odpowiednimi wykresami Slemmons-a (12). Temperatury krystalizacji skałeni ustalono za pomocą krzywych T. F. W. Bartha (2, 3).

Skalenie, których wyniki badań przedstawia tab. I, wyseparowane zostały z głównej masy skalnej granitoidów. Niezależnie od tego zbadano skład i trój-

Tabela I

SKŁAD, STAN STRUKTURALNY ORAZ TEMPERATURY KRYSZTAŁIZACJI SKALENI GRANITOIDÓW MASYWU STRZEGOM - SOBÓTKA

| Lp. | Skaleń potasowy | | | Plagioklaz | | | | | Temp. kryształ. wg term. dwuskał. °C | |
|-----|-----------------|------|------------------|------------|------|------|----------|----------|--------------------------------------|------|
| | % Or | % Ab | % trój-skośności | % Ab | % Or | % An | 2θ (131) | 2θ (181) | | I.I. |
| 1 | 88,8 | 11,2 | 89 | 88,4 | 2,8 | 8,8 | 1,169 | | 108 | 390 |
| 2 | 82,8 | 17,2 | 76,5 | 76,9 | 4,1 | 17,0 | 1,317 | | 106 | 490 |
| 2a | | | | 76,3 | n.o. | 23,7 | | | | 510 |
| 3 | 85,0 | 15,0 | 78 | 84,8 | 3,3 | 11,9 | 1,373 | | 93 | 450 |
| 4 | 78,5 | 21,5 | 75 | 81,1 | 3,0 | 15,9 | 1,473 | | 87 | 590 |
| 4a | | | | 69,1 | n.o. | 30,9 | | | | 580 |
| 5 | 73,8 | 26,2 | 59 | 92,5 | 2,5 | 5,0 | 1,300 | | 87,5 | 550 |
| 6 | 88,0 | 12,0 | 80 | 87,0 | 2,5 | 10,5 | 1,330 | | 94 | 410 |
| 7 | 91,7 | 8,3 | 72 | 76,9 | 4,0 | 19,1 | 1,593 | | 72 | 370 |
| 7a | | | | 72,6 | n.o. | 27,4 | | | | 380 |
| 8 | 83,8 | 16,2 | 78 | 84,3 | 3,0 | 12,7 | 1,379 | | 94 | 460 |
| 9 | 85,7 | 14,3 | 82 | 79,5 | 3,7 | 16,8 | 1,490 | | 84,5 | 450 |
| 10 | 89,3 | 10,7 | 94 | 89,3 | 2,3 | 8,4 | 1,254 | | 99 | 490 |

Uwaga. W próbkach 2, 4 i 7 wyseparowano 2 rodzaje plagioklazu różniące się gęstością i składem. Diagramy rentgenowskie plagioklazów o większej zawartości amorfizmu wykazywały rozmyte refleksy (131) i (181), wobec czego nie oznaczono dla tych plagioklazów wskaźnika pośredniości. Uwzględniono jednakże ich skład przy ustalaniu temperatury krystalizacji (2 i 2a, 4 i 4a, 7 i 7a).
1 — Paszowice, stary kamieniołom, granit drobnoziarnisty; 2 — okolice Żimnika, młeczny kamieniołom, drobnoziarnisty granit z pojedynczymi megakryształami skale-

nia potasowego; 3 — Żimnik, czynny kamieniołom, granit porfirowaty; 4 — Strzegom — Grabina, kamieniołom, granit porfirowaty; 5 — Strzegom — Grabina, ten sam kamieniołom, apłit; 6 — Bagieniec koło Świdnicy, granit dwumikowy; 7 — Gola Świdnicka, kamieniołom, granodioryt; 8 — Gogolów, stary kamieniołom granitu dwumikowego; 9 — Strzeblów, kamieniołom, granit średnioziarnisty; 10 — okolice Sobótki, ok. 1,5 km na W od wsi, stary kamieniołom granitu dwumikowego w pobliżu kontaktu z gabrem.

skośność skaleni potasowych tworzących megakryształy w porfirowatych granitach okolic Strzegomia i Żimnika. Oznaczono również temperatury ich krystalizacji. Wyniki przedstawia tab. III.

Uderzająca jest przede wszystkim różnica w trój-skośności megakryształów (11,5% — 25%) i kryształów drobnych (72% — 94%), występujących w głównej masie skalnej. Różnica w temperaturze krystalizacji jest mniej wyraźna, choć widoczna. Nie ulega wątpliwości, że porfirowate granity masywu strzegomskiego zawierają dwie generacje skałenia potasowego powstałe w różnych warunkach fizyczno-chemicznych. Wydaje się bezsporne, że kryształy duże są starsze od głównej masy skalnej; ich krystalizacja odbywała się najprawdopodobniej w temperaturze wyższej od temperatury trwałości mikroklina (skaleń potasowy o strukturze uporządkowanej). Krystalizacja głównej masy skalnej przebiegała natomiast w temperaturze nieco niższej, przypuszczalnie już poniżej temperatury, w jakiej struktura skałenia potasowego pozostaje nieuporządkowana. W takim przypadku czynnikiem decydującym o modyfikacji skałenia staje się czas. Gdyby wzrost kryształów skałeni głównej masy skalnej granitoidów strzegomskich był stosunkowo prędko, stopień uporządkowania ich struktury mógłby być bardzo słaby. Ponieważ jednak krystalizacja przebiegała w warunkach plutonicznych, a zatem powoli, powstały skałenie potasowe o stosunkowo wysokiej trój-skośności, stowarzyszone z plagioklazami o uporządkowaniu strukturalnym bliskim maksymalnemu.

Oznaczone metodą termometru dwuskałeniowego Bartha temperatury krystalizacji skałeni granitowego masywu strzegomskiego są niskie (średnio około 510°) jak na granity pochodzenia magmowego, które w tym przypadku zdają się nie ulegać wątpliwości. Próba oznaczenia temperatur metodą termometru plagioklazowego dała wyniki jeszcze niższe (< 450°C).

Interesująco wypada porównanie dotychczasowych wyników badań mineralogicznych skałeni w trzech granitowych masywach sudeckich: karkonoskim, kudowskim i strzegomskim. Wyraźna jest, np. różnica w stopniu uporządkowania struktury skałeni potasowych. Najniższa trój-skośność (w większości przypadków poniżej 50%) wykazują skałenie granitoidów

Tabela II

SKŁAD, TRÓJSKOŚNOŚĆ I TEMPERATURY KRYSZTAŁIZACJI MEGAKRYSTAŁÓW SKALENI POTASOWYCH GRANITOIDÓW STRZEGOMSKICH

| Lp. | % Or | % Ab | % trój-skośności | temp. krystalizacji °C |
|-----|------|------|------------------|------------------------|
| 1 | 71,5 | 28,5 | 12 | 610 |
| 2 | 76,3 | 23,7 | 11,5 | 560 |
| 3 | 71,5 | 28,5 | 13 | 610 |
| 4 | 73,5 | 26,5 | 25 | 565 |
| 5 | 74,4 | 25,6 | 17 | 575 |
| 6 | 71,7 | 28,3 | 23 | 610 |
| 7 | 76,1 | 23,9 | 25 | 565 |
| 8 | 72,3 | 27,7 | 24 | 565 |

1-6 Strzegom Grabina, megakryształy skałenia potasowego z próbki 4, tab. I; 7 — okolice Żimnika, megakryształy skałenia potasowego z próbki 2, tab. I; 8 — Żimnik, megakryształy skałenia potasowego z próbki 3, tab. I.

karkonoskich, najwyższą (średnio 81,5%) skałenie granitoidów kudowskich. Pod tym względem granitoidy strzegomskie zbliżają się do granitoidów kudowskich, jeśli idzie o skałenie potasowe tej skalnego. Fenokryształy porfirowatych odmian granitów strzegomskich mają jednak trój-skośność bardzo niską i — jak się okazuje — podobną do fenokryształów z granitów karkonoskich, w których również duże skałenie są słabiej od skałeni tej skalnego uporządkowane, choć różnica nie jest tak duża jak w granitach masywu strzegomskiego.

Stan strukturalny plagioklazów we wszystkich trzech masywach granitowych zbliża się do stanu niskotemperaturowego, niemniej plagioklasy granitów kudowskich charakteryzują się nieco niższymi „wskaźnikami pośredniości” od plagioklazów dwóch pozostałych masywów, co mogłoby wskazywać na ich tworzenie się w nieco płytszej strefie, np. w warunkach mezozonealnych. Uporządkowanie strukturalne skałeni, głównie potasowych, idzie w parze z temperaturą krystalizacji granitoidów, choć zależność ta jest skomplikowana i nie w każdym przypadku jed-

noznaczna. Niemniej na uwagę zasługuje fakt, że najwyższe temperatury krystalizacji zarejestrowano w granitoidach karkonoskich (średnio ~ 620°C), których skalenie potasowe odznaczają się najmniejszym stopniem uporządkowania, najniższe zaś w granitoidach kudowskich (średnio ~ 460°C), zawierających skalenie o najwyższym stopniu trójskości. Pośrednie temperatury krystalizacji granitów strzegomskich (~ 510°C) znajdują również w ogólnych zarysach swe odbicie w stanie strukturalnym ich skaleni potasowych, w sumarycznym efekcie pośrednim, choć bardzo różnym w dwóch generacjach skałeni, jakie tu wyróżniono.

Jeśli otrzymane z badań mineralogicznych wyniki skonfrontujemy z badaniami petrograficznymi oraz obserwacjami polowymi nad wymienionymi granitami sudeckimi, dochodzimy do wniosku, że szczegółowe badania skałeni uzupełniły dotychczasowe nasze wiadomości o genezie tych skał. Pozwoliły na ustalenie temperatur ich krystalizacji, na wyróżnienie różnych generacji skałeni potasowych ze wskazaniem, która z tych generacji jest starsza, wreszcie na stwierdzenie, w jakiej strefie — głębszej czy płytszej — skały te się tworzyły. Potwierdziły uprzednio wysunięte hipotezy o magmowym pochodzeniu granitoidów karkonoskich i strzegomskich oraz o reomorficznej genezie granitoidów kudowskich.

LITERATURA

1. Barth T. F. W. — *Température de formation de certains granites précambriens de Norvège Méridionale. Colloque International de Pétrographie. Nancy, 1965.*
2. Barth T. F. W. — *Studies in gneiss and granite I/II. Norske Vidensk. Akad. Skr. I. Mat. Nat. vidensk. Kl. nr 1, 1959.*

SUMMARY

Both X-ray and chemical analyses aiming at establishing the structural stage and crystallization temperature of potassium feldspars and of plagioclases are, among others, applied also in solution of the problems related to the genesis of granitoids. The article presents the results of the mineralogical examinations of feldspars from the granitoids of the Strzegom-Sobótka massif, in the light of similar examinations made for two other Sudetic granitoid massifs, i.e. for the Karkonosze and the Kudowa massifs. The Karkonosze granitoids with potassium feldspars, characterized by scarcely arranged structure, have crystallized at the highest temperature, whereas the Kudowa granitoids with the potassium feldspars characterized by the highest triclinic system — at the lowest temperature. As concerns the crystallization temperature and the degree of the triclinic system of feldspars, the Strzegom granitoids take an intermediate position here. It has also been demonstrated that the macrocrystals of the Strzegom granitoids, like those of the Karkonosze granitoids, are older than the feldspars in the main rock body. The structural phase of the plagioclases seems to prove that the crystallization of the Karkonosze and the Strzegom granitoids has taken place in the zones deeper than that of the Kudowa granitoids.

3. Barth T. F. W. — *The feldspar geologic thermometers. Norsk geol. Tidsskr. 42 (Feldspar volume), 1962.*
4. Borkowska M. — *Granitoidy kudowskie na tle petrografii głównych typów kwaśnych intruzji Sudetów i ich przedpola. Arch. miner. t. 21, z. 2 (1957), 1959.*
5. Borkowska M. — *Étude des feldspaths potassiques du massif granitique de Karkonosze (Sudètes, Pologne). Bull. Soc. franç. Minér. Crist., t. 86, nr 2, 1963.*
6. Borkowska M. — *Petrografia granitu Karkonoszy. Geologia Sudectica, vol. III, 1966.*
7. Borkowska M. — *Order-disorder relations in the plagioclases of the Karkonosze granites. Bull. Acad. Pol. Sci., Sér. sci. géol. géogr., t. 15, nr 4, 1967.*
8. Borkowska M. — *Feldspars of the Kudowa granitoids as indicators of their crystallization temperatures. Bull. Acad. Pol. Sci., Sér. sci. géol. géogr. 17, 1969, nr 2.*
9. Christie O. H. J. — *Observations on natural feldspars: randomly disordered structures and a preliminary suggestion to a plagioclase thermometer. Norsk geol. Tidsskr., vol. 42 (Feldspar volume), 1962.*
10. Orville Ph. M. — *Unit-cell parameters of the microcline — low albite and the sanidine — high albite solid solution series. Amer. Miner., vol. 52, nr 1—2, 1967.*
11. Sabatier G. — *A propos de la mesure du pourcentage de triclinisme des feldspaths potassiques. Bull. Soc. franç. Minér. Crist., t. 86, nr 1, 1963.*
12. Siemmons D. B. — *Observation on order-disorder relations of natural plagioclase. Norsk geol. Tidsskr., vol. 42 (Feldspar volume), 1962.*
13. Smulikowski K. — *Zagadnienie genetycznej klasyfikacji granitoidów. Studia geol. pol., t. 1, 1958.*

РЕЗЮМЕ

Рентгенографические и химические методы определения структурного состояния (триклинности) и температуры кристаллизации калиевых полевых шпатов и плагиоклазов могут применяться также и в решении проблемы происхождения гранитоидов. В работе даются результаты минералогических исследований полевых шпатов гранитоидного массива Стшегом-Собутка и их сравнение с полевыми шпатами Карконошского и Кудовского гранитоидных массивов. Доказано, что самой высокой температурой застывания магмы характеризуются гранитоиды Карконошского массива, содержащие полевые шпаты с наименее упорядоченной структурой, а самой низкой — гранитоиды Кудовского массива, полевые шпаты которых отличаются самой высокой триклинностью. Стшегомские гранитоиды занимают промежуточное место как по температуре кристаллизации, так и по степени триклинности. Выявлено, что вкраплениями в Карконошских и Стшегомских гранитоидах древнее полевых шпатов основной породообразующей массы. Структурное состояние плагиоклазов показывает, что кристаллизация Карконошских и Стшегомских гранитоидов происходила в более глубокой зоне по сравнению с гранитоидами Кудовского массива.

Перевод автора