

Charakterystyka morfologiczna i geochemiczna kryształów cyrkonu z migmatytu ze Smreczyńskiego Wierchu (Tatry Zachodnie)

Jolanta Burda*



Morphological and geochemical characteristics of zircon crystals from Smreczyński Wierch migmatite (Western Tatra Mts.). *Prz. Geol.*, 53: 127–133.

Summary. In the Polish part of the metamorphic envelope of the granitoid Rohače pluton, migmatites are the predominant component. Migmatitisation took place in the amphibolite facies conditions ($T = 690\text{--}780^\circ\text{C}$; $P = 7.5\text{--}11$ kbar). To observe the response of zircon crystals to the melt formation, zircon from the anatectic group of migmatites was investigated (both from leucosome and mesosome of stromatitic migmatite). Different generations of zircon present in leuco- and mesosome reflect different geological processes acting during the rock formation. Zircon from leucosome represent mainly the euhedral varieties, with two typological maxima: S_{1-2} (I generation) and S_{21-22} (II generation). Zircon from mesosome represents the anhedral varieties with one maximum at S_1 (I generation). In CL images the first generation (S_{1-2}) comprises an inherited core surrounded by younger metamorphic and magmatic rims. The microchemical analyses showed that the inherited cores have higher Zr/Hf ratios than the overgrowing rims. The second generation (S_{21-22}) revealed only oscillatory zonation. The zones with strong luminescence are characterized by a decrease of Hf and U content. Zircon showing polyphase internal structure might represent a component of mesosome which survived the dissolution in granitic melt, while zircon with oscillatory zonation might have crystallized from anatectic melt.

Key words: zircon morphology, cathodoluminescence, migmatites, Tatra Mountains

Od wielu lat przy rozwiązywaniu zagadnień petrogenetycznych wykorzystuje się analizę różnych cech kryształów cyrkonu. Jednak do tej pory nie przeprowadzono szczegółowej analizy cyrkonu, pochodzącego ze skał stanowiących metamorficzną osłonę tatrzańskiego plutonu granitoidowego. W niniejszej pracy przedstawiono wstępne wyniki badań mających na celu porównanie wybranych cech kryształów cyrkonu, występujących w skałach metamorficznych Tatr Zachodnich. W celu zaobserwowania reakcji tego minerału na pojawienie się stopu cząstkowego porównano morfologię, budowę wewnętrzną oraz skład chemiczny kryształów cyrkonu pochodzących z leukosomu i mezosomu migmatytu warstewkowego, powstałego w wyniku częściowego topienia (Burda & Gawęda, 1997, 1999). Badania cech morfologicznych cyrkonu, połączone z badaniami katodoluminescencyjnymi, a także badaniami składu chemicznego, były źródłem informacji na temat zachowania się tego minerału w warunkach migmatytyzacji.

Zarys petrologii trzonu krystalicznego Tatr Zachodnich

Skały metamorficzne polskich Tatr Zachodnich stanowią północną okrywą poligenetycznej intruzji granitoidowej wieku waryscyjskiego (Kohut & Janak, 1994; Broska, 2000; Poller i in., 2000). Prowadzone na tym obszarze badania petrograficzno-strukturalne pozwoliły wyróżnić dwie jednostki różniące się warunkami metamorfizmu oraz cechami tektonicznymi (Gawęda i in., 1998; Kozłowski & Gawęda, 1999). Dolną Jednostkę Strukturalną (DJS) tworzy monotony kompleks łupków i gnejsów łyszczykowych nie wykazujących cech migmatytyzacji. Metamorfizm tej serii przebiegał w warunkach górnej facji zielenicowej do dolnej facji amfibolitowej. Warunki temperatury i ciśnienia (P – T) oszacowano na $550\text{--}600^\circ\text{C}$ i $6\text{--}8$ kbar (Gawęda i in., 2000).

Górna Jednostka Strukturalna (GJS) stanowi kompleks migmatyczny. Występują tu zarówno migmatyty heterofa-

niczne, wśród których dominują odmiany warstewkowe, jak i migmatyty homofaniczne (odmiana szlirowata). Paragenezy mineralne badanych skał wskazują, iż procesy tworzenia migmatytów zachodziły w warunkach facji amfibolitowej. Charakterystyczny dla tych skał zespół minerałów stanowią: plagioklaz (An_{18-23}) + kwarc + biotyt + muskowit + granat + syllimanit \pm skałen potasowy \pm dysten \pm Gph (grafit) \pm staurolit.

Z obliczeń termobarometrycznych wynika, że maksimum metamorfizmu przypada na $T = 690\text{--}780^\circ\text{C}$ oraz $P = 7.5\text{--}11$ kbar (Burda & Gawęda, 1997, 1999; Gawęda i in., 2000).

Lokalizacja i opis próbek

Badaniom poddano kryształy cyrkonu wyseparowane z migmatytu warstewkowego pochodzącego z kompleksu skał Górnej Jednostki Strukturalnej. Próbkę pobrano z Uplazu Smreczyńskiego — ok. 100 m w kierunku NNW od szczytu Smreczyńskiego Wierchu (ryc. 1). Migmatyt warstewkowy odznacza się naprzemiennym ułożeniem cienkich (do 1 cm) warstewek średnioziarnistego, tonalitowego leukosomu oraz mezosomu o typie gnejsu smużystego. Głównymi składnikami leukosomu są plagioklasy reprezentowane przez oligoklaz (An_{21-23}) oraz kwarc, które stanowią $\sim 98\%$ obj. całej skały. Niewielki udział mają biotyt, chloryt, apatyt, syllimanit oraz występujący jako wrostki w minerałach głównych — cyrkon. Mezosom jest zbudowany z oligoklazu (An_{21-23}), biotyту ($fm = Fe/(Fe+Mg) = 0,604\text{--}0,612$, $TiO_2 = 2,75\text{--}3,3\%$ wag.), kwarcu, apatyту, syllimanitu oraz cyrkonu. Jako minerały wtórne występują: chloryt, epidot oraz drobnoluseczkowy muskowit. Migmatyt wykazuje silne peraluminowe cechy $A/CNK = 2,37$ ($A/CNK = Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$). Średni skład chemiczny migmatytu warstewkowego przedstawiono w tab. 1.

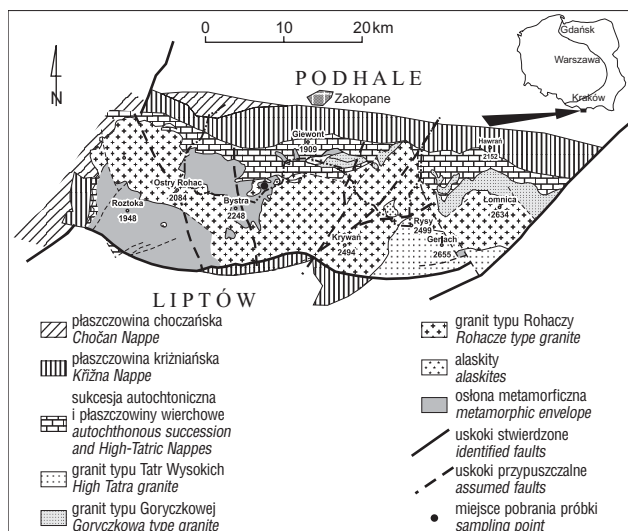
Metody analityczne

Do analizy pobrano próbkę migmatytu o wadze ok. 25 kg. Obserwacje petrograficzne przeprowadzono przy uży-

*Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; jburda@ultra.cto.us.edu.pl

ciu mikroskopu Olympus BX-60. Koncentraty minerałów ciężkich uzyskano oddzielnie dla leukosomu i mezosomu stosując następującą procedurę: dezintegrację skał metodą abrazji hydrodynamicznej, separację minerałów z wykorzystaniem stołu Wilfleya, separatora magnetycznego i magneto-

hydrostatycznego. Separację minerałów wykonano w ING PAN w Krakowie. Morfologię oraz budowę wewnętrzną kryształów cyrkonu określono za pomocą mikroskopu skaningowego FET Philips XL 30 — napięcie przyspieszające 15 kV, na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego. Do określenia morfologii kryształów zastosowano diagram klasyfikacyjny postaci kryształów cyrkonu (Pupin, 1980). Skład chemiczny wybranych w wyniku obserwacji obrazu CL kryształów cyrkonu, określono przy użyciu mikrosondy elektronowej CAMECA SX 100 — napięcie przyspieszające 15 kV, 20 nA, 15s. Analizy w mikroobszarze przeprowadzono w Międzyinstytutowym Laboratorium Mikroanalizy Minerałów i Substancji Syntetycznych w Warszawie.



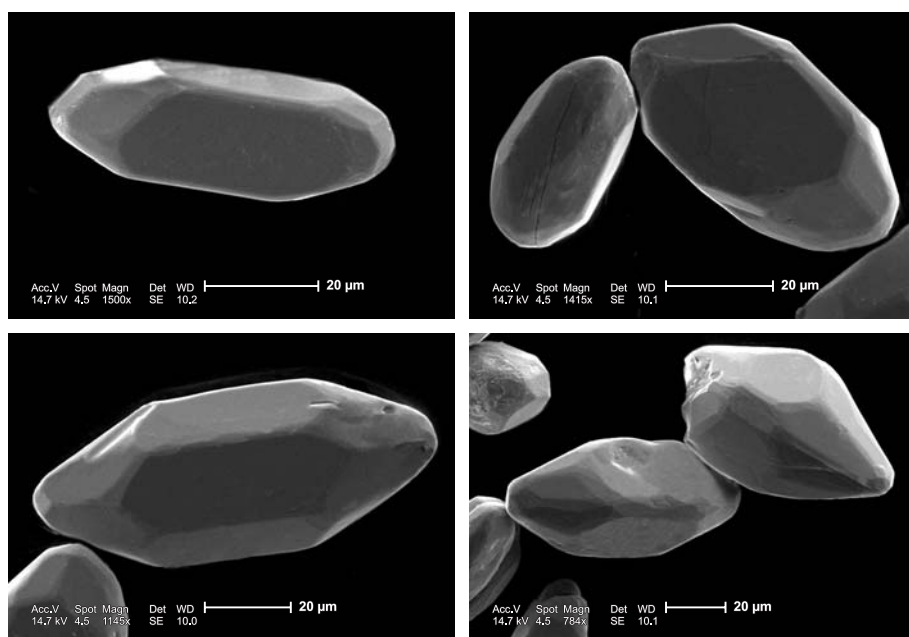
Ryc. 1. Schematyczna mapa tektoniczna Tatr; kompilacja wg Kohuta i Janaka (1994) — trzon krystaliczny oraz Bac-Moszaszwili (1996) — serie osadowe i tektonika

Fig. 1. Schematic tectonic map of the Tatra Mts. according to Kohut & Janak (1994) and Bac-Moszaszwili (1996)

Morfologia kryształów cyrkonu

W celu określenia morfologii kryształów cyrkonu przeanalizowano po 200 ziaren pochodzących z leukosomu oraz mezosomu migmatytu warstewkowego. Stwierdzono, że w leukosomie dominują kryształy euhedralne, przezroczyste o jasnych barwach. Elongacja waha się w granicach 1 : 1 do 5 : 1, jednak obserwuje się wyraźną przewagę kryształów normalnopryzmatycznych i znacznie większy w porównaniu z mezosomem udział kryształów długopryzmatycznych (tab. 2). Długość analizowanych ziaren wynosi od 30 do 140 μm (ryc. 2). Na diagramie Pupina (1980) kryształy cyrkonu pochodzące z leukosomu należą do typów: S₂, S₁, S₂₁, S₂₂ (ryc. 3). Najczęściej występują kryształy będące kombinacją postaci {110} i {211} z podporządkowanymi postaciami {100} i {101} należące do typu S₂ (>20%). Kryształy należące do typu S₂₁, będące kombinacją postaci {100} i {211} z podporządkowanymi postaciami {101} i {110} występują nieco rzadziej (15–20%).

W mezosomie dominują kryształy cyrkonu o jasnych barwach (bezbarwne, szare, żółtoszare), w mniejszej ilości występują ziarna o ciemnym zabarwieniu (ciemnoszare i brązowe w różnych odcieniach). Elongacja waha się od 1 : 1 do 4 : 1, przy czym w porównaniu z leukosomem ziarna o elongacji >3 występują sporadycznie (tab. 2). Długość analizowanych kryształów wynosi od 20 do 70 μm. Trudno jest określić procentowy udział ziaren zaokrąglonych (anhedralnych), gdyż obserwuje się wszystkie przejścia pomiędzy tymi ziarnami a kryształami euhedralnymi. Ziar-



Ryc. 2. Morfologia kryształów cyrkonu z leukosomu migmatytu warstewkowego. Zdjęcia z mikroskopu elektronowego (SEM)

Fig. 2. Morphology of zircon crystals from leucosome of stromatolitic migmatite. Scanning electron photomicrographs (SEM)

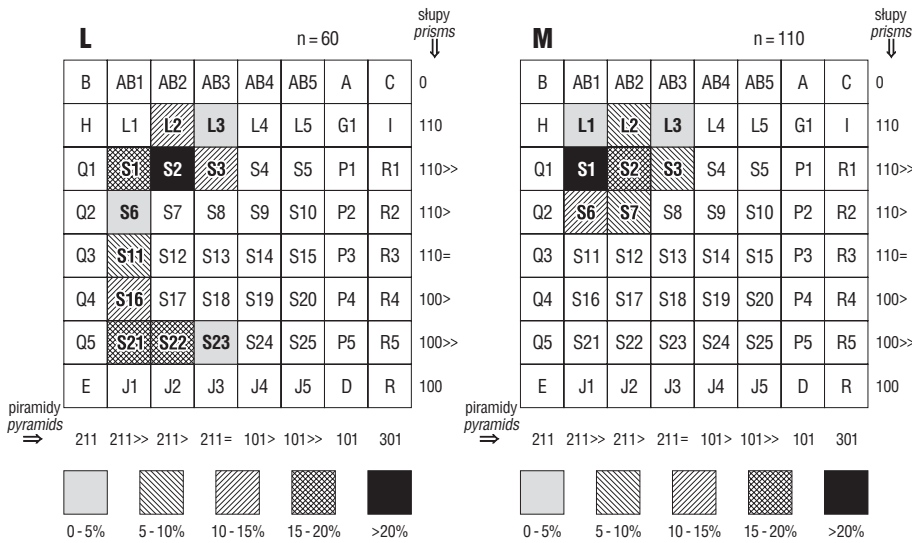
Tab. 1. Średnia zawartość głównych składników chemicznych w migmatycie warstewkowym (% wag.)

Table 1. Average concentration of main chemical components of stromatolitic migmatite (wt. %)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Strata prażenia Lost of ignition	Suma Total
70,87	0,54	14,38	4,29	0,05	1,52	0,82	3,02	2,21	0,07	1,49	99,26

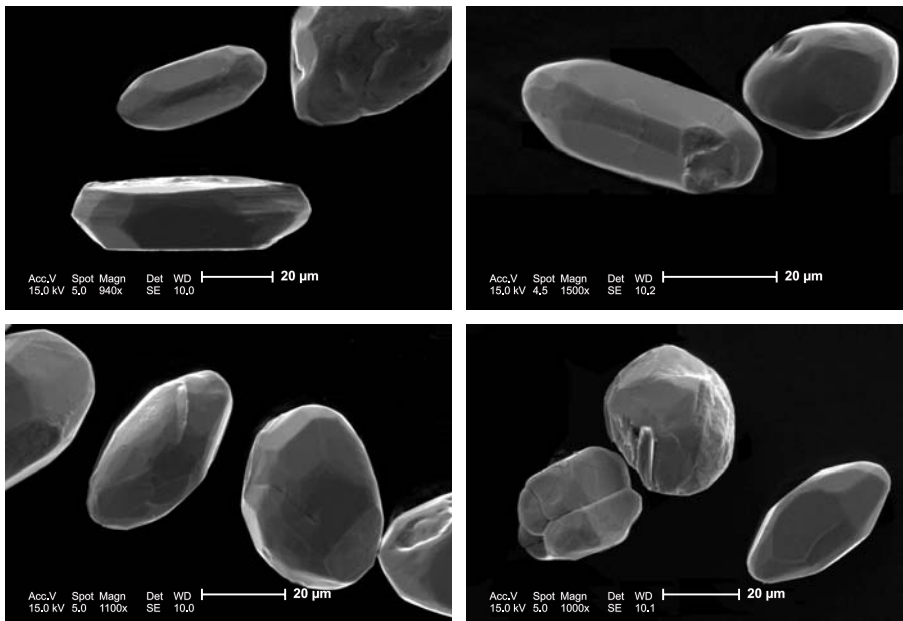
na o bardziej zaokrąglonych krawędziach występują głównie jako wrostki w biotycie, natomiast ziarna euhedralne są spotykane jako wrostki w skaleniach. Stwierdzono także obecność różnych form korozji cyrkonu oraz licznych agregatów ziarn (ryc. 4). Powszechnie występują różnorodnie zbliżnienia.

Mezosom zawiera kryształy cyrkonu o małej zmienności morfologicznej, będące najczęściej kombinacją postaci $\{110\}$ i $\{211\}$ z podporządkowanymi postaciami $\{100\}$ i $\{101\}$. Na diagramie Pupina (1980) należą one do typów: S_1 , S_2 , S_6 , S_7 , L_1 , L_2 , przy czym najliczniej reprezentowany jest typ S_1 (ryc. 3).



Ryc. 3. Rozkład form kryształów cyrkonu z leukosomu (L) i mezosomu (M) migmatytu warstewkowego na diagramie Pupina (1980). Liczba przebadanych kryształów — 200, n — liczba kryształów nierozpoznanych

Fig. 3. Distribution of morphological types of zircon crystals from leucosome (L) and mesosome (M) in the Pupin's diagram (1980). Crystals investigated — 200, n — unidentified crystals



Ryc. 4. Morfologia kryształów cyrkonu z mezosomu migmatytu warstewkowego. Zdjęcia z mikroskopu elektronowego (SEM)

Fig. 4. Morphology of zircon from mesosome of stromatitic migmatite. Scanning electron photomicrographs (SEM)

Analiza katodoluminescencji (CL)

Wśród kryształów cyrkonu, wyseparowanych z leukosomu wyróżniono dwie grupy, różniące się budową wewnętrzną. Ziarna zaliczone do grupy pierwszej wykazują typową strefowość oscylacyjną, reprezentującą heterogeniczną dystrybucję pierwiastków śladowych podczas wzrostu kryształu. Zmiany intensywności CL pokrywają się ze zmianami koncentracji niektórych pierwiastków śladowych (ryc. 5, 6). Zdecydowana większość tych kryształów należy do typu S_{21} (ryc. 3).

Druga grupa kryształów cyrkonu charakteryzuje się występowaniem odziedziczonych jąder (ryc. 5). Czasami są widoczne ścieżki stref w jądrze, wskazujące na to, że zostało ono złamane lub jest zabradowanym fragmentem pierwotnego, znacznie większego ziarna (ryc. 5a). Zaokrąglone jądra często wykazują granice zatokowe. Czasami wewnątrz tego samego jądra występują różne domeny wskazujące na jego polifazową ewolucję (ryc. 5h). Na zewnątrz jąder często występują nieregularne obwódki, odznaczające się homogeniczną, silną luminescencją (ryc. 5). Niekiedy wykazują one relikty budowy strefowej. W wielu kryształach, obwódki te występują pomiędzy dwoma obszarami o wyraźnej strefowości. Zewnętrzne obwódki, wykazujące euhedralną, oscylacyjną strefowość charakteryzują się zwykle słabą luminescencją (ryc. 5). Pod względem morfologii kryształy te należą głównie do typu S_2 i S_1 (ryc. 3).

Kryształy cyrkonu pochodzące z mezosomu, pod względem budowy wewnętrznej również można podzielić na dwie grupy. W kryształach euhedralnych występują trzy strefy, analogiczne do stref wyróżnionych we wcześniej opisanych kryształach wyseparowanych z leukosomu. Natomiast kryształy anhedralne odznaczają się jedynie dwiema strefami tj. jądrem oraz otaczającą je obwódką o silnej luminescencji (ryc. 5 k). W tym przypadku jądra stanowią nawet >90% średnicy całego ziarna.

Skład chemiczny kryształów cyrkonu

Analizy chemiczne w mikroobszarze miały na celu określenie zmienności składu chemicznego w kryształach cyrkonu pochodzących zarówno z leukosomu jak i mezosomu. W związku z tym wykonano 244 analizy punktowe

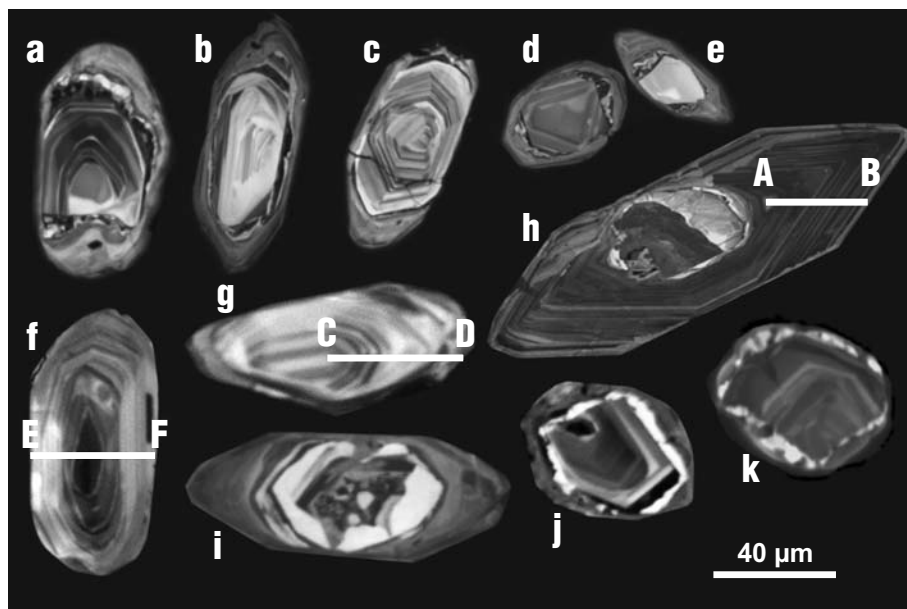
zawartości: Hf, Yb, Y, P, U, Th, Si, Zr w obrębie 26 reprezentatywnych kryształów pochodzących z leukosomu i 20 kryształów pochodzących z mezosomu. Większość analiz wykonano w przekrojach prostopadłych do osi z kryształów cyrkonu. W wielu przypadkach zawartość pierwiastków śladowych była zbliżona do granicy wykrywalności, co uniemożliwiło ich analizę.

W kryształach cyrkonu o polifazowej budowie zaobserwowano, że jądra charakteryzują się wyższym stosunkiem Zr/Hf niż strefy zewnętrzne kryształów (tab. 3). W przypadku jąder stosunek Zr/Hf najczęściej waha się w granicach 51–54, natomiast w strefach zewnętrznych kryształów cyrkonu — 37–41 (tab. 2). Stwierdzono również, że jądra kryształów cyrkonu (c) oraz strefy zewnętrzne (r₂) charakteryzują się wyższymi proporcjami Th/U (>0,1) niż nieregularne strefy o silnej luminescencji (r₁), w których stosunek Th/U <0,1 (tab. 3). Analizy chemiczne

Tab. 2. Wybrane cechy morfologiczne kryształów cyrkonu z leukosomu i mezosomu

Table 2. Selected morphological features of zircon grains from leucosome and mesosome

	Leucosom <i>Leucosome</i>	Mezosom <i>Mesosome</i>
Liczba kryształów cyrkonu <i>number of zircon crystals</i>	200	200
Wymiary (µm) <i>dimensions</i>		
Śred. długość <i>average length</i>	73	61
Śred. szerokość <i>average width</i>	29	31
Elongacja (%) <i>elongation</i>		
Długość/szerokość >3 <i>length/width</i>	24,6	3,3
Długość/szerokość 2–3 <i>length/width</i>	62,1	54,8
Długość/szerokość <2 <i>length/width</i>	13,3	41,9



Ryc. 5. Obraz katodoluminescencyjny wybranych kryształów cyrkonu z leukosomu (a–h) oraz mezosomu (i–k) migmatytu warstwowego (opisy w tekście). Białymi liniami zaznaczono przebieg wykonanych profili analitycznych. Analizy poszczególnych pierwiastków na profilach wykonano w odstępach 2 µm (stężenia pierwiastków w % wagowych)

Fig. 5. Cathodoluminescence images of selected zircon crystals from leucosome (a–h) and mesosome (i–k) of stromatolitic migmatite (descriptions in the text). Position of chemical profiles are indicated by white lines. Analyses taken in 2 µm intervals (concentrations in wt. %)

wykonane w przekrojach prostopadłych do stref o różnym natężeniu CL wykazały spadek zawartości Hf i U w strefach o silnej luminescencji (ryc. 6, 7). Obszary o słabej luminescencji mają znacznie wyższą zawartość U (1000–5000 ppm) w porównaniu z obszarami o intensywnej luminescencji (<1000 ppm). Istnieje negatywna korelacja pomiędzy natężeniem luminescencji a zawartością Hf i U (ryc. 7). Nie stwierdzono natomiast związku pomiędzy intensywnością luminescencji a zawartością Y, Th i P. Zawartość Y waha się w granicach 110–3500 ppm, Th od 0 do 900 ppm, natomiast P od 40 do 930 ppm, zarówno w strefach o słabej jak i silnej luminescencji (ryc. 7). Poszczególne domeny (c, r₁, r₂) wyróżnione w kryształach cyrkonu na podstawie obrazu CL, różnią się średnią zawartością analizowanych pierwiastków (tab. 4). Zewnętrzna obwódka (r₂) odznacza się wyższą zawartością Y, Yb, P oraz U w porównaniu z jądrem (c) i otaczającą go obwódką r₁ (tab. 4). Kryształy euhedralne odznaczające się oscylacyjną strefowością mają podobne, średnie zawartości wymienionych pierwiastków.

Dyskusja i wnioski

W leukosomie i mezosomie migmatytu powstałego w wyniku częściowego topienia wyróżniono różne generacje cyrkonu. W leukosomie stwierdzono wyraźną przewagę kryształów euhedralnych (70%), z których większość należy do typu S₂ i S₁ oraz S₂₁ i S₂₂. W porównaniu z mezosomem wśród ziaren cyrkonu z leukosomu obserwuje się większą różnorodność pod względem ich rozmiarów oraz większy udział kryształów długosłupowych o elongacji >4 (tab. 2). Zjawisko to może być związane z rozrastaniem kryształów w procesie dojrzewania Ostwalda (Ostwald ripening; Vavra i in., 1999; Nemchin i in., 2001; Villaseca i in., 2003).

W mezosomie natomiast dominują kryształy anhedralne (55%). W porównaniu z leukosomem obserwuje się znacznie większy udział kryształów o elongacji <2 (tab. 2). Występujące w mniejszej ilości kryształy euhedralne — należą głównie do typu S₁. Obecność różnych form korozji cyrkonu oraz licznych agregatów ziarn może być efektem oddziaływania stopu anatektycznego na wcześniejsze kryształy (Gupta & Johannes, 1985).

W obrazie katodoluminescencyjnym euhedralne kryształy cyrkonu z mezosomu wykazują najczęściej trzy etapy wzrostu, odpowiadające trzem zdarzeniom geologicznym (ryc. 5). Podobnymi cechami charakteryzują się ziarna cyrkonu z leukosomu (S₁, S₂), grupujące się w górnej części diagramu (ryc. 3). Pierwszy etap jest reprezentowany przez jądra, często wykazujące dobrze rozwiniętą strefowość, zwykle o średniej luminescencji. Najprawdopodobniej jest to pozostałość po protolocie osadowym.

Tab. 3. Analizy w mikroobszarze wybranych kryształów cyrkonu (w % wag.)

Table 3. Microprobe analyses of selected zircon crystals (in wt % oxides)

Symbol próbki Sample symbol	SiO ₂	ZrO ₂	HfO ₂	Y ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	P ₂ O ₅	ThO ₂	UO ₂	Suma Total	Zr/Hf	Th/U
JB01MI (c)	31,853	65,864	1,09	0,114	0,045	0,071	0	0,024	99,06	52,75	0
JB01MI (c)	31,969	65,485	1,366	0,091	0,034	0,133	0,18	0,321	99,58	41,85	0,558
JB01MI (c)	31,803	66,15	1,315	0,146	0,074	0,119	0,094	0,205	99,91	43,92	0,459
JB01MI (r ₁)	32,155	65,778	1,255	0,583	0,133	0,295	0,038	0,395	100,06	45,76	0,096
JB01MI (r ₂)	32,112	65,77	1,657	0,071	0,048	0,081	0	0,253	99,99	34,65	0
JB01MI (r ₂)	32,014	65,48	1,686	0,07	0,055	0,17	0	0,047	99,52	33,9	0
JB01M2 (c)	31,884	65,798	1,047	0,114	0	0,041	0,09	0,321	99,3	54,86	0,28
JB01M2 (c)	31,814	65,402	1,137	0,273	0,118	0	0	0	98,74	50,22	0
JB01M2 (r ₂)	31,859	65,779	1,523	0,106	0,03	0,099	0	0,092	99,49	37,71	0
JB01LI (c)	32,433	66,089	1,219	0,035	0	0,018	0,019	0,073	99,89	47,33	0,266
JB01LI (r ₂)	31,98	65,924	1,314	0,251	0,11	0,31	0,04	0,09	100,2	43,8	0,443
JB01LI (r ₂)	31,824	65,342	1,48	0,09	0,151	0,676	0,043	0,28	99,89	38,54	0,154
JB01LI (r ₂)	31,621	65,357	1,427	0,364	0,204	0,578	0,057	0,445	100,05	39,99	0,128
JB01LI (r ₂)	31,94	64,943	1,415	0,297	0,229	0,75	0	0,521	100,09	40,06	0
JB01LI (r ₂)	31,75	64,989	1,401	0,149	0,206	0,95	0,068	0,512	100,02	40,5	0,133
JB01LI (r ₂)	31,998	64,567	1,531	0,368	0,157	0,699	0,053	0,352	99,72	36,83	0,15
JB01LI (r ₂)	32,56	64,567	1,63	0,214	0,108	0,548	0,049	0,305	99,98	34,59	0,16
JB01LI2(c)	32,122	65,281	1,13	0,2	0,139	0,08	0,022	0,068	99,04	50,43	0,317
JB01L2 (r ₁)	31,897	65,982	1,188	0,905	0,181	0,465	0,016	0,451	100,02	48,49	0,035
JB01L2 (r ₂)	31,718	66,396	1,534	0,025	0,113	0,163	0	0,083	100,03	37,79	0
JB01L3 (c)	32,121	66,446	1,015	0,136	0,038	0,066	0,049	0,06	99,93	57,15	0,813
JB01L3 (c)	32,345	65,968	1,01	0,14	0,041	0,057	0,047	0,094	99,7	57,02	0,498
JB01L3 (r ₁)	31,944	65,485	1,298	0,526	0,138	0,305	0,029	0,31	100,04	44,04	0,093
JB01L3 (r ₂)	32,457	64,87	1,349	0,391	0,106	0,577	0,116	0,284	100,15	41,98	0,408
JB01L4 (c)	32,349	64,995	1,298	0,308	0,075	0,14	0	0,04	99,2	43,71	0
JB01L4 (r ₁)	31,241	66,781	1,382	0,405	0,095	0,239	0,026	0,269	99,85	42,18	0,096
JB01L4 (r ₂)	32,131	66,187	1,474	0,115	0,015	0,144	0,066	0,04	100,17	39,2	1,657

M — mezosom, *mesosome*; L — leukosom, *leucosome*; c — detrytyczne jądra, *detrital cores*; r₁ — obwódki o silnej luminescencji, *strongly luminescent second zones without zonation*, r₂ — obwódka zewnętrzna o słabej luminescencji, *overgrowths with weak luminescent*

Granica pomiędzy jądrem a zewnętrzną strefą zwykle jest zatokowa, co świadczy o tym, że jądra musiały być częściowo rozpuszczane.

W wielu kryształach cyrkonu jądra otoczone są nieregularnymi strefami o silnej luminescencji, w których stosunek Th/U <0,1. Występowanie tych obwódek pomiędzy

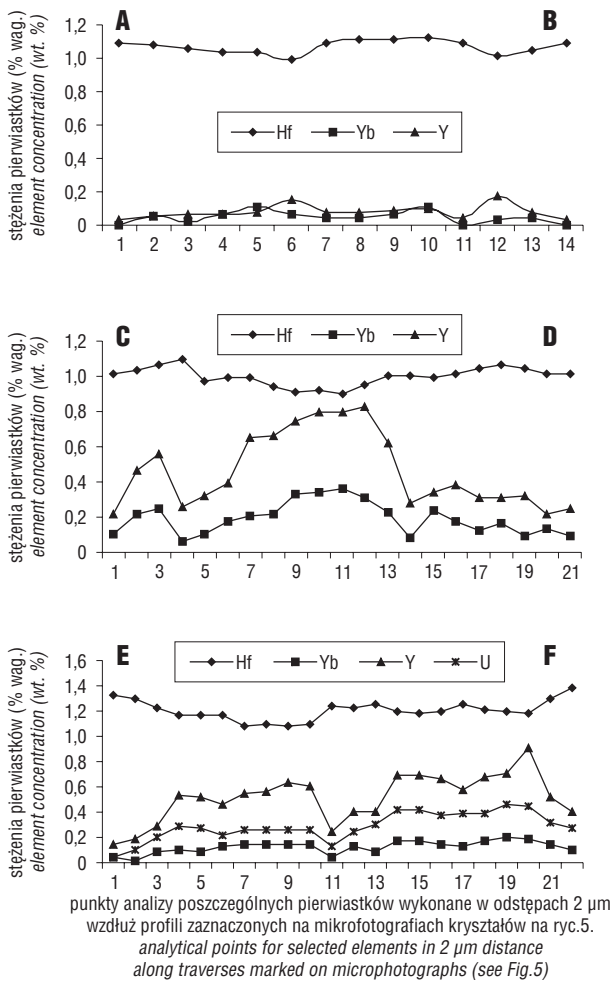
Tab. 4. Średnie zawartości analizowanych pierwiastków śladowych (w % wagowych) w wyróżnionych strefach cyrkonu
Table 4. Average concentrations of the analysed trace elements (in wt %) in different part of zircon grains

Pierwiastek Element	c	r ₁	r ₂
Hf	1,158	1,42	1,27
Y	0,11	0,12	0,38
Yb	0,04	0,05	0,09
P	0,03	0,03	0,19
Th	0,018	0,02	0,017
U	0,12	0,15	0,21

c — detrytyczne jądra, *detrital cores*; r₁ — strefy o silnej luminescencji otaczające jądra, *strongly luminescent zones without zonation*; r₂ — zewnętrzne obwódki o słabej luminescencji, *overgrowths with weak luminescent*

dwoma obszarami o oscylacyjnej strefowości może świadczyć o tym, że uformowały się one w warunkach subsolidus (Rubatto & Gebauer, 2000). Charakterystyczny dla tych stref niski stosunek Th/U może być spowodowany równoczesnym wzrostem metamorficznych faz mineralnych bogatych w Th lub niską rozpuszczalnością Th we fluidzie metamorficznym (Schaltegger i in., 1999). Najbardziej zewnętrzne strefy kryształów odznaczające się koncentryczną euhedralną strefowością można interpretować jako efekt wzrostu ze stopu anatektycznego (Hanchar & Miller, 1993). Różnica w zawartości U, Hf, Y oraz Th w wyróżnionych strefach (c, r₁, r₂) może być spowodowana redystrybucją tych pierwiastków wzdłuż granic kryształów podczas ich rekrytalizacji w warunkach metamorfizmu wysokiego stopnia (Hanchar & Miller, 1993).

Euhedralne kryształy cyrkonu o polifazowej budowie wewnętrznej mogą pochodzić z wchłoniętego przez stop mezosomu. Minerale te pierwotnie występowały jako wrostki w skaleniach. Podczas wzrostu temperatury i topienia cząstkowego, w którym uczestniczyła faza skaleniowa, wrostki cyrkonu mogły zostać uwolnione i zachowywały się jak minerały relikto- we. Pospolite w mezosomie kryształy anhedralne, otoczone biotytem były izolowane od powstającego stopu cząstkowego. Ostonowe działanie biotyty ograniczyło procesy rozpuszcza-

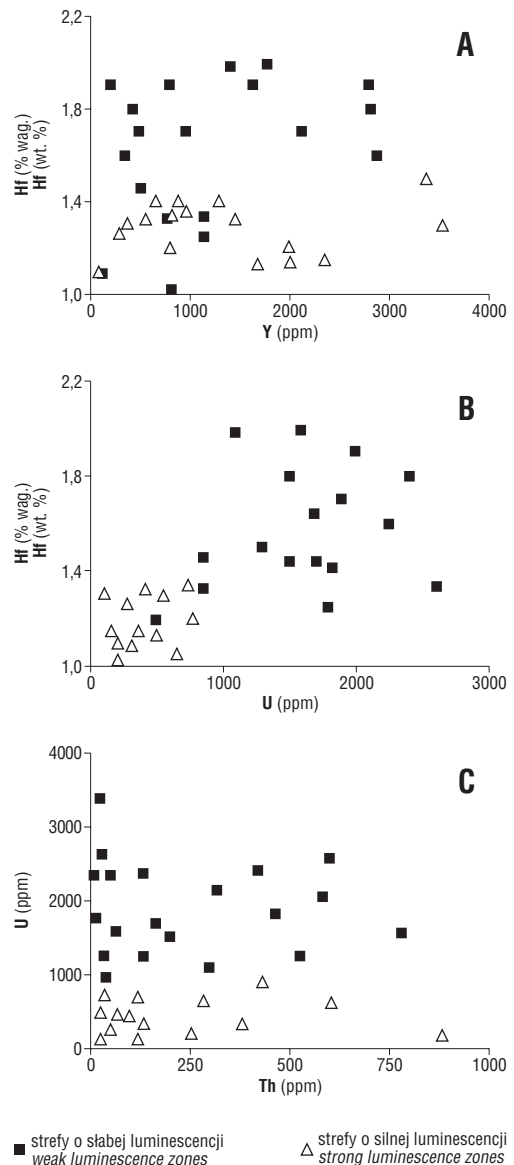


Ryc. 6. Profile analityczne dla pierwiastków śladowych wykonane za pomocą mikrosondy elektronicznej w wybranych kryształach cyrkonu
Fig. 6. Electron microprobe trace element traverses of selected zircon crystals

nia cyrkonu, co spowodowało utworzenie się stosunkowo wąskich stref zewnętrznych, charakteryzujących się oscylacyjną strefowością. Z tego powodu również kryształy cyrkonu z mezosomu mają mniejsze rozmiary niż kryształy wyseparowane z leukosomu.

Druga grupa kryształów cyrkonu, wyróżniona w leukosomie, lokująca się w dolnej części diagramu Pupina (S₂₁ oraz S₂₂) charakteryzuje się występowaniem wyraźnej oscylacyjnej strefowości, świadczącej o powstaniu tych ziaren podczas jednego epizodu magmowego (ryc. 5). Wysokie tempo przyrostu ściany {110}, mogło być spowodowane podwyższoną (w stosunku do Zr) zawartością U, Th, Y oraz P (Benisek & Finger, 1993). Taki wzrost zawartości wspomnianych pierwiastków mógł być skutkiem frakcjonacji powstającego stopu anatektycznego, z którego następowała krystalizacja nowych ziaren cyrkonu.

Autorka składa serdeczne podziękowania Pani Lidii Jeżak, mgr Ewie Teper oraz dr Piotrowi Dzierżanowskiemu za pomoc przy wykonaniu analiz w mikroobszarze oraz zdjęć CL. Dziękuję dr Aleksandrze Gawędzie za dyskusję przy opracowaniu zebrałego materiału. Podziękowania składam również anonimowym Recenzentom za wszelkie uwagi, które wpłynęły na ostateczny kształt publikacji.



Ryc. 7. Diagramy ilustrujące zależności pomiędzy natężeniem luminescencji a zawartością Hf, Y oraz U
Fig. 7. Diagram showing relations between the CL intensity and Hf, Y and Th concentrations

Badania były finansowane z funduszy Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego nr BW-24/WNoZ/2001, BW-23/WNoZ/2002.

Literatura

BAC-MOSZASZWILI M. 1996 — Podnoszenie masywu Tatr w trzecio- i czwartorzędzie. [W:] Mater. I Ogólnopol. Konf., Zakopane 6–9.10.1995: 68–71.
 BENISEK A. & FINGER F. 1993 — Factors controlling the development of prism faces in granite zircons: a microprobe study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 114: 441–451.
 BROSKA I. 2000 — Accessory mineral phases as a petrologic tool of the West Carpathian granite typology. *Polskie Towarzystwo Miner. Pr. Spec.*, 17: 125–127.
 BURDA J. & GAWĘDA A. 1997 — Mass-balance calculations in migmatites from the Upper Kościeliska Valley (The Western Tatra Mts., S Poland). *Miner. Pol.*, 28: 53–68.
 BURDA J. & GAWĘDA A. 1999 — Petrogeneza migmatytów z górnej części Doliny Kościeliskiej w Tatrach Zachodnich. *Arch. Miner.*, 52: 163–194.
 GAWĘDA A., KOZŁOWSKI K. & PIOTROWSKA K. 1998 — Tectonic development of the crystalline basement of the Polish part of the

- Western Tatra Mts. *Acta Universitatis Carolinae — Geologica*, 42: 252–253.
- GAWĘDA A., KOZŁOWSKI K. & PIOTROWSKA K. 2000 — Early Variscan collision and generation of leucogranite melts in the Western Tatra Mountains (SPoland, W Carpathians). *Jour. Czech. Geol. Soc., Abstr.*, 45: 230.
- GUPTA L. N. & JOHANNES W. 1985 — Effect of metamorphism and partial melting of host rocks on zircons. *Jour. Metam. Geol.*, 3: 311–323.
- HANCHAR J.M. & MILLER C.F. 1993 — Zircon zonation patterns as revealed by cathodoluminescence and backscattered electron images: Implication for interpretation of complex crustal histories. *Chem. Geol.*, 110: 1–13.
- KOHUT M. & JANAK M. 1994 — Granitoids of the Tatra Mts., Western Carpathians: Field relations and petrogenetic implications. *Geol. Carpath.*, 45: 301–311.
- KOZŁOWSKI K. & GAWĘDA A. 1999 — Prewaryscyjska ewolucja metamorficzna kompleksu krystalicznego polskiej części Tatr Zachodnich. *Pr. Uniw. Śl., Sosnowiec*: 91–99.
- NEMCHIN A.A., GIANNINI L.M., BODORKOS S. & OLIVER N.H.S. 2001 — Ostwald ripening as a possible mechanism for zircon overgrowth formation during anatexis: Theoretical constraints, a numerical model, and its application to pelitic migmatites of the Tickalara Metamorphics, northwestern Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65/16: 2771–2787.
- POLLER U., JANAK M., KOHUT M. & TODT W. 2000 — Early Variscan magmatism in the Western Carpathians: U-Pb zircon data from granitoids and orthogneisses of the Tatra Mountains (Slovakia). *Inter. Jour. Earth Sc.*, 89: 336–349.
- PUPIN J. P. 1980 — Zircon and granite petrology. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 73: 207–220.
- RUBATTO D. & GEBAUER D. 2000 — Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by ion microprobe: some examples from the Western Alps. [W:] Pagel M., Barbin V., Blanc P., Ohnenstetter D. (ed.), *Cathodoluminescence in geosciences*: 373–400.
- SCHALTEGGER U., FANNING C.M., GÜNTER D., MAURIN J.C., SCHULMANN K. & GEBAUER D. 1999 — Growth, annealing and recrystallization of zircon and preservation of monazite in high-grade metamorphism: conventional and in-situ U-Pb isotope, cathodoluminescence and microchemical evidence. *Contrib. Miner. Petrol.*, 134: 186–201.
- VAVRA G., SCHMID R. & GEBAUER D. 1999 — Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps) 134: 380–404.
- VILLASECA C., MARTIN ROMERA C., DE LA ROSA J. & BARBERO L. 2003 — Residence and redistribution of REE, Y, Zr, Th and U during granulite-facies metamorphism: behaviour of accessory and major phases in peraluminous granulites of central Spain. *Chem. Geol.*, 200: 293–323.