

ZOFIA GUMOWSKA

Muzeum Ziemi

## PLAGIOKLAZY

UKD 549.651.2:552.11

Można bez przesady stwierdzić, że spośród minerałów skałenie pod wieloma względami wzbudzały i wzbudzają największe zainteresowanie. Badania tej grupy minerałów trwają od wielu dziesiątków lat i nadal są przedmiotem wnikliwych studiów morfologicznych, fizyczno-chemicznych, strukturalnych. Dotychczas opublikowano wiele dziesiątków prac, napisano szereg monografii poświęconych skałeniom, jednakże nie wyczerpują one wiedzy o tej grupie minerałów.

Zainteresowanie skałeniami, a zwłaszcza plagioklazami wynika z dwóch podstawowych źródeł: po pierwsze cechuje je szereg właściwości, które wyka-

zują (nie spotykaną wśród innych minerałów) zmienność zależną od składu chemicznego i warunków krystalizacji, po drugie są głównymi minerałami skałotwórczymi i wiedza o nich w znacznej mierze gwarantuje powodzenie w badaniach petrograficznych. Znajomość budowy pasowej, zrostów bliźniaczych, składu chemicznego plagioklazów umożliwia wykrycie związku genetycznego badanych skał. Określenie własności temperaturowych i rozpowszechnienia praw bliźniaczych przydatne są w przypadkach rozróżnienia skał wulkanicznych od głębinowych i metamorficznych oraz magmowych od metamorficznych. Jeżeli jeszcze uwzględnimy procesy przeobrażeń pla-

gioklazów pod wpływem różnych czynników, oddziaływujących na skałę po jej utworzeniu, można z całym przekonaniem stwierdzić, że plagioklasy są minerałami, które najlepiej zarejestrowały dzieje geologiczne skały od chwili jej powstania.

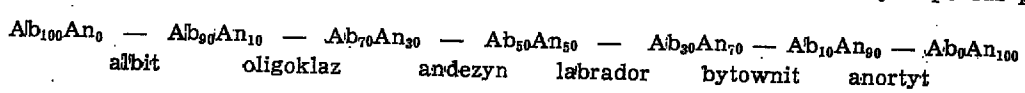
Artykuł ten nie ma na celu zaznajomienia czytelnika z obecnym stanem wiedzy o plagioklazach ani z metodami badań, lecz zwrócenia bacniejszej uwagi na tę grupę minerałów, tak ważną w poznaniu natury i pochodzenia skał.

Autorka ogranicza się do podstawowych wiadomości dotyczących: własności chemicznych, morfologicznych, krystalochemicznych i optycznych oraz w nawiązaniu do nich rozważa własności temperaturowe, budowę bliźniacza i pasową.

Plagioklasy należą do grupy glinokrzemianów sodu i wapnia o ogólnym wzorze:  $\text{Na, Ca} [\text{Al} (\text{Si, Al}) \text{Si}_2\text{O}_6]$ . Krystalizują w układzie trójskośnym w klasie dwuścianu (C). Najczęściej wykształconymi postaciami są: (010), (001), (021), (021), (110), (130), (130). Kąty pomiędzy osiami krystalograficznymi  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  dla różnych składów chemicznych waha się w niewielkich granicach, odpowiednio zmieniają się także parametry sieciowe  $a$ ,  $b$  i  $c$ . Z punktu widzenia krystalochemicznego zalicza się je do grupy glinokrzemianów przestrzennych. Tetraedry glinowo-krzemowe są tu powiązane ze sobą w trzech wymiarach. Tego rodzaju struktura odznacza się znaczną tolerancją sieciową, tzn. sprzyja diadochowemu podstawianiu jonów sodu i wapnia.

W innych sieciach krystalochemicznych podstawianie tych jonów byłoby niemożliwe. Stąd pojawia się izomorficzny charakter plagioklazów, jedna z wcześniej poznanych właściwości chemicznych tej grupy minerałów. Początkowo uważano je za równopostaciową mieszaninę izomorficzną albitu (Ab) —  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  i anortytu (An) —  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . Jednakże występujące trudności w powiązaniu wyników analiz chemicznych z koncepcją wzoru stechiometrycznego podważyły ideę dowolnej mieszalności plagioklazów i spowodowały rewizję tych poglądów na podstawie badań rentgenostrukturalnych.

H. Sarum (13) wykazał, że w plagioklazach istnieje 5 różnych typów strukturalnych. W przedziale 0—30% An wyróżnił on 2 odcinki: jeden — 0—15% An o strukturze czystego albitu, drugi — 15—30% An o strukturze mieszanej dwóch faz z obrazem dyfrakcyjnym typu albitowego. W przedziale 72—100% An także dwa odcinki: odcinek 85—100% An o strukturze czystego anortytu z prostą komórką elementarną i odcinek 72—85% An z komórką przestrzennie centrowaną. Model przestrzenny przedziału 30—85% An według Saruma jest zbudowany z „płytek” typu albitowego i anortytowego wzajemnie się przenikających i tworzących uporządkowaną nadstrukturę. Badania te wykazały zatem, że prawdziwie izomorficzne są tylko przedziały 0—15% An i 85—100% An. W praktyce mineralogiczno-petrograficznej nie ma to większego znaczenia i plagioklasy nadal traktujemy jako szereg izomorficzny z konwencjonalnym podziałem na 6 ogniw. Są one następujące:



Skład chemiczny plagioklazów najczęściej wyrażamy stosunkiem albitu do anortytu i oznaczamy go metodami optycznymi. Wykorzystujemy tu zmiany własności optycznych, jak: współczynnika załamania, kąta osi optycznych i orientacji optycznej (indykatory współczynnika), które w całej serii plagioklazowej na ogół uzależnione są od składu chemicznego. Dzięki licznym pracom poświęconym badaniom własności optycznych i chemicznych plagioklazów są one najlepiej poznana seria pod względem zależności pomiędzy składem chemicznym a właściwościami op-

tycznymi. Dlatego też chętnie i z dużą pewnością posługujemy się różnymi metodami optycznymi, choć należy pamiętać, że ścisłość oznaczenia składu chemicznego metodami optycznymi pomniejsza fakt występowania w zmiennym procesie składnika potasowego ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ).

Jedną z ważnych właściwości plagioklazów jest ich wyjątkowa skłonność do tworzenia zrostów bliźniaczych. Są one prawidłowymi (lecz nierównoległymi) zrostami dwóch lub więcej osobników. Prawidłowość ta wyraża się symetrią względem osi dwukrotnej lub płaszczyzny. Znaczy to, że jeden osobnik w stosunku do drugiego obrócony jest wokół pewnego kierunku o  $180^\circ$  i zrosnięty z nim wspólną płaszczyzną. Zależnie od położenia osi obrotu względem krysztalu i rodzaju płaszczyzny zrostu rozróżnia się wiele praw bliźniaczych. Kryształy bliźniacze można rozpoznać makroskopowo (lecz nie zawsze) po wklęsłych kątach i szwie bliźniaczym, które powstają na granicy między osobnikami. Najłatwiej jednak rozpoznać je pod mikroskopem dzięki odmiennej orientacji optycznej poszczególnych osobników. Wyjątkowo piękny obraz zrostów bliźniaczych można spotkać w szlifach skał intruzyjnych. Bywa on często bardzo złożony wskutek pojawienia się kilku różnych praw bliźniaczych. Przykłady obrazów mikroskopowych zrostów bliźniaczych podane są na ryc. 1, 2, 4 i 5.

Prawa bliźniacze określamy osią bliźniacza, płaszczyzną bliźniacza i płaszczyzną zrostu. Definiujemy je następująco:

a) oś bliźniacza tj. kierunek, wokół którego obrócony o  $180^\circ$  osobnik znajdzie się w położeniu bliźniaczym;

b) płaszczyzna bliźniacza tj. płaszczyzna symetrii, której działanie odbija osobnik w położeniu bliźniacze; jest ona prostopadła do osi bliźniaczej;

c) płaszczyzna zrostu, to płaszczyzna wspólna dla obu osobników; może się ona pokrywać z płaszczyzną bliźniacza lub być do niej prostopadła. W przypadku przenikających się osobników lub niestycznych nie można mówić o płaszczyźnie zrostu.

Prawa bliźniacze definiujemy osią bliźniacza, czasem podając także płaszczyznę zrostu. Oś bliźniacza może być: normalna do ściany kryształu, krawędź kryształu i normalna do krawędzi kryształu w jednej z płaszczyzn krystalograficznych równoległych do tej krawędzi. Odpowiednio wyróżniamy 3 rodzaje praw bliźniaczych: pierwszego rodzaju — prawa normalnej do ściany, np.  $\perp (010)$  — prawo albitowe; drugiego rodzaju — prawa krawędzi np.  $\{001\}$  — prawo karlsbadzkie; trzeciego rodzaju — prawa kompleksowe, np.  $\perp \{001\}$

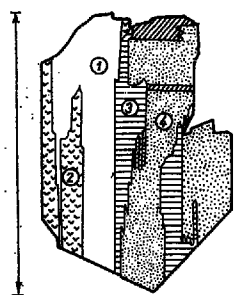
— prawo Roc Tourné. Oś bliźniacza praw pierwszego rodzaju już jest prostopadła do płaszczyzny zrostu, drugiego i trzeciego rodzaju leży w płaszczyźnie zrostu.

Obecnie znamy dwadzieścia kilka praw bliźniaczych. Nadane im nazwy pochodzą na ogół od miejscowości, z których po raz pierwszy zostały opisane.

W tab. I przytoczono najważniejsze z nich. Osobniki zrastające się według tych praw mogą tworzyć dwójki, trójki itp. częściej jednak bliźniaki wielokrotne, których płaszczyzny zrostu według tej samej ściany powtarzają się w położeniu równoległym. Odróżniamy tu zrosty polisyntetyczne i kompleksowe. Poza tym mogą tworzyć się bliźniaki blokowe, tzn. z krzyżującymi się płaszczyznami zrostu. Bliźniaki mogą być styczne lub przerosłe. W tych ostatnich rzadko pojawia się płaszczyzna zrostu; szew graniczny jest nieregularny.

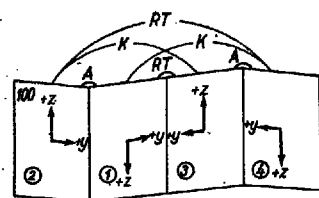
**ZNANE PRAWA BLIŹNIACZE  
WYSTĘPUJĄCE W PLAGIOKLAZACH**

Lp	Prawo	Oś. bl.	Pł. bl.	Pł. zr.	Skrót
1	Albitowe	$\perp(010)$	(010)	(010)	A
2	Manebachskie	$\perp(001)$	(001)	(001)	M
3	Baweńskie prawe	$\perp(021)$	(021)	(021)	B-p
4	Baweńskie lewe	$\perp(0\bar{2}1)$	(0 $\bar{2}$ 1)	(0 $\bar{2}$ 1)	B-l
5	Słupa prawego (130)	$\perp(130)$	(130)	(130)	
6	Słupa lewego (1 $\bar{3}$ 0)	$\perp(1\bar{3}0)$	(1 $\bar{3}$ 0)	(1 $\bar{3}$ 0)	
7	Peryklinowe	$\perp[010]$	$\perp[010]$	(1 $\bar{3}$ 0) przekrój rombowy równoległy do Y	P
8	Esterel (Ala)	[100]	$\perp[100]$	(010) cza- sem (001)	E
9	Karlsbadzkie	[001]	$\perp[001]$	(010) cza- sem (100)	K
10	Manebachskie-Ala = aklin	$\perp[100]$ (001)	$\perp$ oś. bl.	(001)	Ak
11	Albitowe- Ala	$\perp[100]$ (010)	$\perp$ oś. bl.	(010)	A-A
12	Manebach- peryklin = Scopi	$\perp[010]$ (001)	$\perp$ oś. bl.	(001)	Sc
13	Roc Tourné	$\perp[001]$ (010)	$\perp$ oś. bl.	(010)	RT
14	Zbliżone do karls- badzkiego	$\perp[010]$ (100)	$\perp$ oś. bl.	(100)	z.K



Ryc. 2. Przykład triady bliźniaczej typu albit-Roc Tourné-Karlsbad plagioklazau andezytu amfibolowego z p. Grywałd. Objasnienia w tekście.

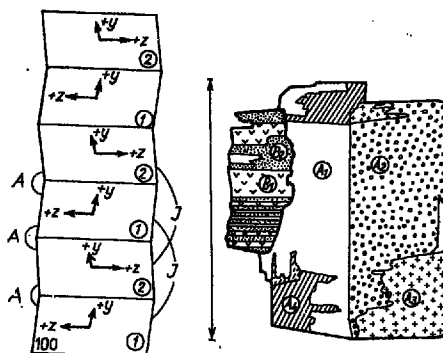
Fig. 2. Example of a twin triad of the type albite — Roc Tourné — Karlsbad of plagioclase of amphibole andesite from Grywałd. Explanations in text.



Ryc. 2a. Schemat triady bliźniaczej z ryc. 2.

Fig. 2a. Scheme of a twin triad of the Figure 2.

Jako przykłady rozpatrzmy kilka zrostów bliźniaczych plagioklazów ze skał wulkanicznych okolic Pienin, których rysunki mikroskopowe przedstawione są na ryc. 1, 2, 4 i 5. Warto tu nadmienić, że andezyty pienińskie przedstawiają wyjątkowo cenny materiał do studiów budowy bliźniaczej. Są to skały typowo porfirowe z zachowanymi w świeżym stanie fenokryształami plagioklazów o różnym składzie chemicznym, a ponadto z wykształconą dobrze budową pasową, co w wielu przypadkach ułatwia analizę praw bliźniaczych. Prócz osobników z typową budową polisyntetyczną można tu spotkać wszystkie możliwe przykłady praw bliźniaczych i ich kombinacji. Ziarna mniejsze przedstawiają pojedyncze osobniki zbliżone stycznie, większe — składają się z kilku



Ryc. 1a. Schemat zrostu osobników  $A_1, A_2, A_3$  i  $A_4$  z ryc. 1.

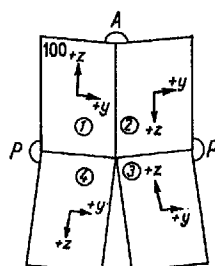


Fig. 1a. Scheme of twinning of the individuals  $A_1, A_2, A_3$  and  $A_4$  of the Figure 1.

Ryc. 1. Przykład bliźniaka złożonego plagioklazau andezytu augitowo-amfibolowego z Jarmuty. Objasnienia w tekście.

Fig. 1. Example of a multiple twin of plagioclase of augite-amphibole andesite from Jarmuta. Explanations in text.

Ryc. 1b. Schemat zrostu polisyntetycznego osobników B z ryc. 1.

Fig. 1b. Scheme of polysynthetic twinning of the individuals B of the Figure 1.

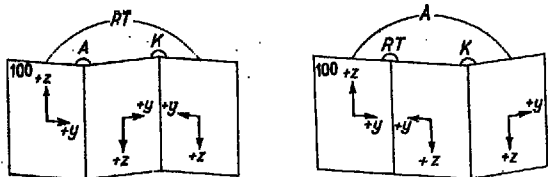
osobników częściowo lub całkowicie przerośniętych. Na przykładach częściowo przerastających się osobników widać z ich budowy pasowej, że w początkowej fazie krystalizacji kryształy te rozwijały się samodzielnie.

Na ryc. 1 przedstawiony jest zrost dwóch ziarn A i B, przy czym B wrasta w A. Ziarno A jest przykładem blokowego zrostu albitowo-peryklinowego; składa się ono z czterech osobników ( $A_1$ ), ( $A_2$ ), ( $A_3$ ) i ( $A_4$ ). Osobniki ( $A_1$ ) — ( $A_2$ ) należą do prawa albitowego  $\perp(010)$ ; ( $A_1$ ) — ( $A_2$ ) — ( $A_3$ ) — ( $A_4$ ) do peryklinowego  $[001]$ . Ziarno B może być przykładem zrostu polisyntetycznego wg prawa albitowego, a poza tym prążki ( $B_2$ ) znajdują się z osobnikiem ( $A_2$ ) w położeniu wg prawa baweńskiego lewego  $\perp(021)$ . Ryc. 1a przedstawia schemat bliźniaka A w płaszczyźnie (100), ryc. 1b — schemat bliźniaka B.

Na ryc. 2 mamy przykład typowego zrostu kompleksowego wg triady bliźniaczej: albit — Roc Tourné — Karlsbad. Ziarno składa się tu z czterech osobników (1), (2), (3) i (4). Osobniki (1) — (2) należą tu do

prawa albitowego  $\perp(010)$ , (1) — (3) do Roc Tourné  $\perp[001]$  (010)

zaś (2) — (3) i (1) — (4) do karlsbadzkiego  $[001]$ . Te ostatnie nie są zrosnięte bezpośrednio podobnie jak osobniki (2) — (4), które należą do prawa Roc Tourné. Na ryc. 2a zrost ten przedstawiony jest schematycznie. Dwie dalsze kombinacje w kolejności występowania praw tej triady bliźniaczej obrazuje ryc. 3 i 3a. Ryc. 4 ilustruje przykład zrostu trzech ziarn A, B i C. Ziarno A zbliżone jest wg prawa peryklinowego — osobniki ( $A_1$ ) — ( $A_2$ ); ziarno B tworzy triadę bliźniaczą Karlsbad — albit — Roc Tourné: ( $B_1$ ) — ( $B_2$ ) — prawo karlsbadzkie, ( $B_2$ ) — ( $B_3$ ) — albitowe i ( $B_1$ ) — ( $B_3$ ) — Roc Tourné. Ziarno C zbli-

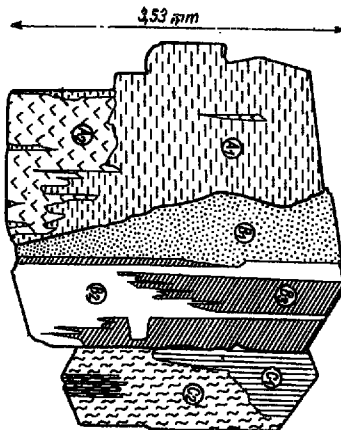


Ryc. 3. Schemat triady bliźniaczej według praw: albit-Karlsbad-Roc Tourné.

Fig. 3. Scheme of a twin triad according to the laws: albite — Karlsbad — Roc Tourné.

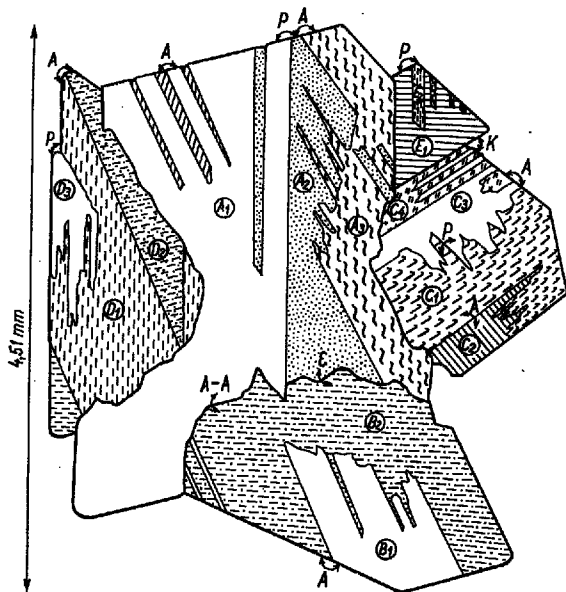
Ryc. 3a. Schemat triady bliźniaczej według praw: Roc Tourné-Karlsbad-albit.

Fig. 3a. Scheme of a twin triad according to the laws: Roc Tourné — Karlsbad — albite.



Ryc. 4. Przykład bliźniaczego zrostu trzech ziarn plagioklazu andezytu amfibolowego z p. Sztolnia. Objasnienia w tekście.

Fig. 4. Example of a twin intergrowth of three grains of plagioclase of amphibolite andesite from Sztolnia. Explanations in text.



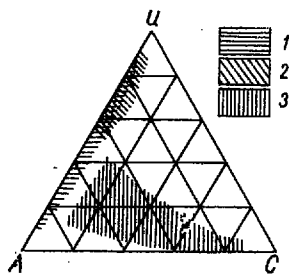
Ryc. 5. Przykład przerosłego zblizniaczenia ziarn A, B, C, D i E plagioklazu andezytu amfibolowego z p. Sztolnia. Poszczególne zblizniaczenia oznaczone skrótami według tab. I.

Fig. 5. Example of intergrowth twinning of the grains A, B, C, D and E of plagioclase of amphibole andesite from Sztolnia. The individual twinings are marked by abbreviation according to Table I.

niaczone jest wg prawa Roc Rourné i zrosnięte jest z ziarnem B płaszczyzną (010), w związku z czym powstała nowa triada (B<sub>2</sub>) — (C<sub>1</sub>), (C<sub>1</sub>) — (C<sub>2</sub>), (B<sub>2</sub>) — (C<sub>2</sub>) wg praw: albit — Roc Tourné — Karlsbad. Ziarno A z ziarnem B zrosnięte jest wg prawa bawenńskiego prawego ⊥(021).

Ryc. 5 obrazuje piękny przykład przerosłego bliźniaka składającego się z 5 ziarn. Na każdym ziarnie pojawia się prawo albitowe lub peryklinowe; niezależnie od tego ziarna między sobą zrosnięte są wg rzadkich praw bliźniaczych, co zaznaczono na rycinie.

Zrosty polisyntetyczne (ryc. 1b) różnią się od zrostów wielokrotnych znacznie większą liczbą osobników, z których co drugi wykazuje tę samą orientację optyczną, tzn. znajduje się w położeniu identyczności (równoległym). Są one charakterystyczne dla prawa albitowego i peryklinowego. Płaszczyzną zrostu prawa albitowego jest ściana (010), dla prawa peryklinowego jest to pewien przekrój równoległy do osi Y.



Ryc. 6. Rozpowszechnienie bliźniaków grupy A (albit, peryklin, aklin), grupy C (Karlsbad, Roc Tourné, Manebach, Baweno, Esterel) i osobników niezblizniaczonych (U) w skałach wulkanicznych i metamorficznych. Według M. Gorai (1951).

1 — łupki i gnejsy, 2 — rogowce, 3 — wulkaniczne.

Fig. 6. Distribution of twins of the group A (albite, periclinal, acclinal), the group C (Karlsbad, Roc Tourné, Manebach, Baweno, Esterel) and the untwinned individuals (U) in volcanic and metamorphic rocks. According to M. Gorai (1951).

1 — schists and gneisses, 2 — hornstones, 3 — volcanic.

Przekrój ten zwany „rombowym” przyjmuje różne położenie dla różnych plagioklazów, zależnie od ich składu chemicznego. Zmienia się ono w granicach ok. 60°, dla An<sub>0</sub> do An<sub>100</sub>, a tylko dla andezynu (An<sub>42</sub>), którego kąt  $\gamma = 90^\circ$ , przekrój rombowy pokrywa się z (001).

Zrosty kompleksowe, tzw. triady bliźniacze wykazują obecność trzech lub co najwyżej czterech osobników o odmiennej orientacji optycznej (ryc. 2a). Zbliźniaczone są one według trzech praw związanych ze sobą zależnością geometryczną wynikającą z twierdzenia Eulera. Z twierdzenia tego także wynika, że tworzące triadę bliźniaczą prawa muszą spełnić warunek prostokątności osi bliźniaczych i wykazać tę samą płaszczyznę zrostu. Z przykładem takiej triady bliźniaczej spotykaliśmy się na ryc. 2 i 4.

Występowanie praw bliźniaczych, których płaszczyzny zrostu krzyżują się prowadzi do wykształcenia tzw. „bliźniaków blokowych” (ryc. 1). Ten rodzaj zrostu pojawia się w kryształach o pokroju tablicowym, dając niekiedy bardzo złożony obraz zrostów bliźniaczych typu kompleksowego. Z prac opisujących różne przykłady zrostów bliźniaczych plagioklazów skał wulkanicznych Polski warto przytoczyć prace M. Kołaczekowskiej (5) i T. Wiesera (16).

Prawa bliźniacze są również tematem badań statystycznych pod względem rozpowszechnienia i czę-



Ryc. 7a. Wykres wahań składu chemicznego plagioklazów z ryc. 7 wzdłuż wyrysowanej tam prostej. Liczba pasów 53, zawartość przeciętna An % 47,44

Fig. 7a. Diagram of changing chemical compositions of plagioclase from the Figure 7 along the straight line drawn on this figure. Number of bands — 53, average contents of An equal to 47,44%.

stotliwości występowania. Już dziś sugerują one kryteria przydatne w ocenie pochodzenia magmowego czy metamorficznego skał granitowych. Jedno z nich podaje M. Gorai (3) po zbadaniu 1500 plagioklazów skał europtywnych i metamorficznych. Podzielił on prawa bliźniacze na dwie grupy, z których grupa «C» (Karlsbad, Roc Tourné, Manebach, Baweno, Esterel, Manebach-aklin) ogranicza się lub jest charakterystyczna dla skał wulkanicznych i plutonicznych, zaś grupa «A» (albit, peryklin i czasem aklin) występuje zarówno w skałach erupcyjnych, jak i metamorficznych (ryc. 6). Częstotliwość występowania różnych praw bliźniaczych według Gorai'a zależy od charakteru chemicznego skał, a zatem od procentowej zawartości anortytu w plagioklazach. Osobniki niezblźniane i zblźniane wg praw grupy «A» są charakterystyczne dla kwaśnych, gdy zblźniane wg praw grupy «C» — dla zasadowych członów serii plagioklazowej.

Należałoby jeszcze wspomnieć o ogromnym znaczeniu zrostów bliźniaczych w praktyce mineralogiczno-petrograficznej, szczególnie dla określenia składu chemicznego. Elementy bliźniacze odgrywają tu bowiem rolę krystalograficznych kierunków odniesienia. Najczęściej stosowaną metodą jest metoda E. Fiodorowa (2) oparta na określeniu orientacji optycznej przy użyciu stołika, umożliwiającego obrót preparatu w kilku kierunkach. W metodzie tej wykorzystana jest największa i najbardziej konsekwentna zależność orientacji optycznej od składu chemicznego. Znaczące jej zmiany pozwalają z dużą dokładnością zmierzyć położenie głównych kierunków optycznych (wektorów  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ ). Pomiaru te dokonane na dwóch osobnikach bliźniaczych nanosimy na siatkę Wulfa i konstrukcyjnie wyznaczamy położenie osi bliźniaczej (krystalograficzny kierunek odniesienia). Sprawdzamy jego poprawność pod mikroskopem oraz określamy położenie osi bliźniaczej względem płaszczyzny zrostu. Następnie wyznaczamy odległości katowe pomiędzy wektorami  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ , a osią bliźniaczą. Skład chemiczny odczytujemy z diagramów krzywych migracji osi bliźniaczych, a zatem określamy prawo bliźniacze. Opis powyższej metody znajdujemy w wielu podręcznikach i pracach specjalistycznych, np. R. C. Emmons (1), W. Sobolew (12), M. Kołaczkowska (5).

Wykorzystanie zrostów bliźniaczych dla określenia składu chemicznego było okolicznością wielce sprzyjającą rozpoznawaniu praw bliźniaczych, zwłaszcza z chwilą wprowadzenia do badań metody Fiodorowa. Od tego czasu wielokrotnie ukazywały się opracowania praw bliźniaczych, przedstawiające aktualny stan ich znajomości.

Z krzywymi zmienności położenia osi bliźniaczych wiąże się historia odkrycia temperaturowych własności plagioklazów. Warto zaznaczyć, że pierwsze krzywe zostały opracowane na podstawie plagioklazów skał plutonicznych. Wybór ten był celowy, gdyż plagioklazы tych skał odznaczają się na ogół jednorodnym składem chemicznym, co jest niezmiernie ważne dla dokonania dokładnych pomiarów optycznych z jednej strony, z drugiej zaś — uzyskania jednorodnego materiału do analizy chemicznej.

Wkrótce po opracowaniu tych krzywych (10, 11), które z powodzeniem służyły do oznaczania plagioklazów skał plutonicznych, okazało się, że zawodzią w przypadku plagioklazów skał wulkanicznych. Mia-

nowicie rzuty osi bliźniaczych tych plagioklazów nie padały po obu stronach krzywych, jak to wynika z ich konstrukcji, lecz tworzyły pasma po jednej stronie krzywych, przy czym najbardziej odchyłały się one dla plagioklazów pośrednich. Początkowo sądzono, że przyczyną tego zjawiska jest domieszka składnika potasowego, jednakże z wielką strannością wykonane przez A. Köhlera (6) badania wykazały odmienne ustawienie optyczne plagioklazów skał wulkanicznych.

Okazało się ponadto, że plagioklazы pochodzenia plutonicznego poddawane ogrzewaniu zmieniają swoją orientację optyczną na podobną jak w plagioklazach skał wylewnych. Tak samo zachowywały się plagioklazы otrzymane na drodze syntetycznej. Na podstawie tych doświadczeń Köhler (7) sformułował następujące twierdzenie: „Wysoka temperatura krystalizacji plagioklazów skał wulkanicznych powoduje ustawienie optyczne, które w sposób dający się zmierzyć różni się od ustawienia optycznego plagioklazów o tym samym składzie chemicznym skał metamorficznych i plutonicznych”. Odtąd plagioklazы skał wylewnych zaczęto nazywać „wysokotemperaturowymi” w odróżnieniu od plutonicznych i metamorficznych, które nazwano „niskotemperaturowymi”.

Na podstawie dalszych badań orientacji optycznej plagioklazów różnego pochodzenia, czasami poddawanych ogrzewaniu w różnych temperaturach i czasie (plagioklazы skał plutonicznych) można było stwierdzić, że istnieją stany pośrednie pomiędzy prawdziwie niskotemperaturowym ustawieniem optycznym. Te odmienne własności optyczne modyfikacji wysokotemperaturowych na zdjęciach rentgenograficznych (13) ujawniły się częściowym lub całkowitym zanikiem dodatkowych refleksów charakterystycznych dla uporządkowanych nadstruktur, co świadczyło o powstaniu zaburzeń w sieci krystalicznej badanych plagioklazów. Wskutek tego, iż tworzenie się struktur nieuporządkowanych tłumaczy się szybkim procesem ostygnięcia można więc ogólnie stwierdzić, że własności wysokotemperaturowe plagioklazów zależą od warunków fizyko-chemicznych w czasie ich krystalizacji, a według Köhlera także od wieku skał. Uważa on, że pierwotnie wysokotemperaturowe ustawienie optyczne plagioklazów ulega powolnej przemianie w niskotemperaturowe.

Na tej podstawie i w oparciu o wyniki własnych badań M. S. Marfunin (8) sformułował nowe twierdzenie, że własności optyczne plagioklazów są funkcją składu chemicznego i stopnia uporządkowania ich struktury krystalicznej i w tym aspekcie opracował on (9) nowe krzywe zmienności położenia osi bliźniaczych dla kwaśnych i pośrednich plagioklazów, uwzględniając stopień uporządkowania ich struktur. Dotychczasowe krzywe A. N. Zawarickiego (16) i innych autorów nie uwzględniały bowiem zmienności własności wysokotemperaturowych. Omówione tu pokrótce różnice we własnościach wysokotemperaturowych plagioklazów znalazły swe odbicie w przeprowadzonych badaniach plagioklazów pienińskiej serii wulkanicznej (4).

Inną ważną właściwością plagioklazów jest występowanie w nich budowy pasowej. Ilustruje ona zmiany składu chemicznego i jest zjawiskiem częstym wśród minerałów tworzących szeregi izomorficzne, np. u amfiboli i piroksenów, jednak najbardziej

znamienna jest dla serii plagioklazowej. Kryształ składa się z współśrodkowych warstw o różnym składzie chemicznym. Budowa pasowa może być: normalna — gdy proces krystalizacji plagioklazów jest stopniowy i zachodzi wraz ze spadkiem temperatury, tzn. krystalizują człony coraz uboższe w anortyt (zgodnie z regułą Bowena), a powstałe kryształy nie wchodzi w reakcję ze stopem lub oscylacyjna — gdy proces krystalizacji stopu zachodzi w złożonych i zmiennych warunkach fizyczno-chemicznych.

Budowa oscylacyjna albo wykazuje inwersyjną (odwrotną) pasowość, tzn. jądro kryształu jest kwaśne a powłoka zasadowa, albo rekurencyjną — gdy zespół pasów obrazujących każdorazowo wzrost i spadek zawartości anortytu powtarza się cyklicznie. Dotychczas nie ma jednolitego poglądu na genezę budowy oscylacyjnej i różni badacze różnie ją tłumaczą. Do najbardziej zadowalających należy hipoteza dyfuzyjno-przesyceniowa E. S. Hilla (vide — 14), według której pasowość oscylacyjna jest wynikiem braku równowagi w procesie krystalizacji, polegającej na zmianach pomiędzy procesem krystalizacji i dyfuzji, co prowadzi do rekurencyjnego przesycenia w składnik anortytowy stopu bezpośrednio przylegającego do kryształu.

Skład chemiczny magmy, spadek temperatury związany z ostyganiem środowiska magmatycznego, spadek ciśnienia wywołany podnoszeniem lub przemieszczaniem się magmy, nasycenia stopu w parę i wtórne jej przegrzanie wskutek postępującej krystalizacji lub spadku ciśnienia są głównymi czynnikami magmatycznymi, odzwierciedlającymi się w budowie pasowej plagioklazów. Pewne jest więc, że pasowość jest jedynym stratygraficznym wskaźnikiem rejestrującym zmiany środowiska magmatycznego.

Normalna budowa pasowa występuje na ogół w skałach głębinowych i metamorficznych, rekurencyjna natomiast przede wszystkim w plagioklazach skał wylewnych. Przykładem mogą być tu skały wulkaniczne okolic Piennin. Fenokryształy plagioklazów tych skał odznaczają się nadzwyczaj pięknie wykształconą i bogatą pasowością rekurencyjną (ryc. 7). Budowę pasową można przedstawić w postaci wykresu odkładając na osi rzędnych szerokość i liczbę pasów poczynając od jądra ku peryferiom ziarna, na osi odciętych zaś — odpowiednią zawartość anortytu (ryc. 7a, ryc. 7 znajduje się na 1 str. okł.).

Posługując się tego rodzaju wykresami z jednej strony można obliczyć przeciętny skład chemiczny ziarna, z drugiej — wykryć korelacje pasowe między ziarnami. Jest to możliwe wtedy, gdy ziarna nie są zbyt duże, a budowa pasowa słabo rozwinięta. We wszystkich innych przypadkach wykrycie korelacji pasowej natrafia na duże trudności lub wręcz jest niemożliwe. Można wówczas (4) badać cechy budowy pasowej (liczbę pasów, cykli rekurencyjnych, wahanía An% itp.), które umożliwiają wyodrębnienie pewnych jej typów, dających się przedstawić w postaci wykresów. Są one charakterystyczne dla różnych skał i porównywalne, a tym samym stają się cennym dowodem magmatycznych związków pewnej grupy skał. Um wnikiwiej jest przeprowadzony do-

bór badanych ziarn plagioklazów pod względem wielkości, zachowania i cech morfologicznych, tym wykresy te lepiej nadają się do celów porównawczych, a oparte na nich wnioski są pewniejsze.

Widzimy więc, że posługując się wykresami wahań składu chemicznego plagioklazów można obliczyć ich przeciętną zawartość anortytu bez uciekania się do czasochłonnej analizy chemicznej z jednej strony, z drugiej — przeprowadzić analizę związków petrogenetycznych skał. Gdyby powiązać te wyniki ze znajomością czynników magmatycznych powodujących powstawanie budowy pasowej stałaby się ona kluczem do interpretacji rozwoju zjawisk magmatycznych.

## LITERATURA

1. Emmons R. S. — The universal stage. Geol. Soc. Am. Mem. 8 1943.
2. Fiodorow E. — Methode in der Mineralogie und Petrographie. Teil II, Universal geometrische Untersuchungen. Zscht. Kryst. 21, 1893.
3. Gorai M. — Petrological studies on plagioclase twins. Am. Miner. 1951, nr 36.
4. Gumowska Z. — Nowe dane o plagioklazach wysokotemperaturowych andezytów okolic Piennin. Pr. Muzeum Ziemi, 1964, nr 7.
5. Kołaczowska M. — Badania mikroskopowe skałeni występujących w andezytach z Wzaru pod Czorsztynem, z uwzględnieniem nowych metod badań. Arch. Miner. TNW, 1926, nr 2.
6. Köhler A. — Abhängigkeit der plagioklasoptik von vorangegangenen Wärmererhalten. Min. petr. Mitt. 1941, v. 53.
7. Köhler A. — Recent results of investigations of the feldspars. Jour. Geol. 1949, v. 57.
8. Marfunin M. S. — O petrograficzesskom znaczenii strukturnych priewraszczenij w polewch szpatach. Sow. geol. 1956, sb. 51.
9. Marfunin M. S. — Nowaja diagramma optičeskoj orientirowki kisijch i sriednich plagioklazow. Dokl. AN SSSR, 1958, t. 118.
10. Nikitin W. W. — Nowyje diagrammy dla opriedelenija polewch szpatow uniwersalnym metodom Fiodorowa. Leningrad, 1929.
11. Reinhard M. — Universal Drehtischmethoden. Basel, 1931.
12. Sobolew W. S. — Fiodorowski metodom. Moskwa, 1954.
13. Sørum H. — Studies on the structures of plagioclase feldspars. Det. kgl. Norske. Vid. Sel. Skif. 1951, nr 3.
14. Vance J. A. — Zoning in igneous plagioclase, normal and oscillatory zoning. Am. Journ. of Sci. 1962, vol. 260.
15. Wieser T. — Pochodzenie budowy pasowej i wtórnych zbliźniczeń na przykładzie plagioklazów skał magmowych Mrzygłodu. Roczn. PT Geol. 1957, t. 27, z. 1—4.
16. Zawarickij A. N. — Nowyje diagrammy dla opriedelenija sostawa wysokotemperaturnych plagioklazow. Zap. Wsies. Min. Obszcz. 1958, t. 87, wyp. 5.

## SUMMARY

The paper deals with the inclination of plagioclases to form twins. The most important twinning laws are discussed, and the frequency of their occurrence and distribution in rocks of various origin are given. Similarly, there are discussed also temperature properties of plagioclases, and the history of discovering and studying these phenomena. Moreover, the author presents zoning in plagioclases, origin of both oscillatory and normal zonings, and gives the methods of investigating the phenomena considered. All the properties are discussed from the viewpoint their usefulness in studying petrogenetics.

## РЕЗЮМЕ

В статье описано свойство плагиоклазов образовывать двойники разного типа. Дана характеристика законов двойникования и частоты появления двойников в породах разного происхождения. Рассматриваются температурные свойства плагиоклазов, история их открытия и исследований явления двойникования. Описывается зональное строение плагиоклазов, его возникновение и способы исследования. Все эти свойства рассматриваются с точки зрения их пригодности для петрогенетического изучения пород.