

Maria WICHROWSKA

## Wpływ procesów fizycznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w oparciu o analizę w mikroskopie elektronowym

Przeprowadzono obserwacje morfologii powierzchni ziarn osadów piaszczystych z różnych środowisk sedymentacyjnych w elektronowych mikroskopach: transmisyjnym i skanującym. Omówiono wpływ różnych procesów fizycznych i chemicznych na rodzaj urzeźbienia powierzchni ziarn kwarcu w powiązaniu z krystalograficznymi własnościami tego minerału.

### WSTĘP

Jedną z najpospolitszych odmian polimorficznych krzemionki jest niskotemperaturowy kwarc — minerał termodynamicznie trwały w normalnych warunkach ciśnienia i temperatury. Należy on do najbardziej rozpowszechnionych minerałów kontynentalnej skorupy ziemskiej i jest głównym składnikiem większości skał magmowych, osadowych i metamorficznych. Ze względu na swoją odporność na wietrzenie mechaniczne i chemiczne podczas procesów erozji, transportu i sedymentacji w różnych środowiskach dominuje nad innymi minerałami. Ta jego odporność i trwałość predystynuje kwarc do roli minerału — rejestratora procesów oraz wskaźnika środowisk transportu i sedymentacji. Jego powierzchnia jest kliszą, na której został zarejestrowany zapis tych procesów w formie różnokształtnych znaków, wgłębień lub wybrzuszeń, szczelin i rys. Niektóre ślady są zatarte, inne nakładają się na siebie, utrudniając lub wręcz uniemożliwiając odtworzenie historii ziarna. Pomimo tych trudności obserwacje ukształtowania powierzchni ziarn kwarcu okazały się przydatne nie tylko w sedymentologii, lecz także w innych dziedzinach nauki, gdzie niezbędna jest analiza materiałów krzemionkowych.

Przegląd powierzchni ziarn kwarcowych z różnych środowisk sedymentacyjnych z uwzględnieniem charakterystycznych cech genetycznych przedstawili w atlasach D. H. Krinsley i J. C. Doornkamp (1973) oraz

L. Le Ribault (1975). Obserwacje morfologii ziarn osadów piaszczystych próbowano wykorzystać do określenia przeszłości kwarców detrytycznych. L. Le Ribault (1975) dokonał próby odtworzenia kolejnych etapów ewolucji ziarn kwarców pochodzących z różnych środowisk sedymentacyjnych<sup>1</sup>. Prace tego typu na mniejszą skalę podejmowane były w Polsce przez S. Kozarskiego (1972), E. Mycielską-Dowgiałło, R. Krzywobłocką-Laurow (1974, 1976).

Niniejsza praca ma na celu przedstawienie wpływu różnych czynników mechanicznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w zależności od środowiska transportu i sedymentacji oraz krystalograficznych właściwości tego minerału. Zdjęcia replik i fragmentów powierzchni ziarn kwarcu wykonane zostały w Zakładzie Petrografii, Mineralogii i Geochemii IG na materiale dostarczonym przez mgr K. Kenig.

Obserwacje powierzchni ziarn kwarcu przeprowadzono przy użyciu mikroskopu elektronowego transmisyjnego D2 f-my ZEISS — JENA i mikroskopu skanującego P-15 f-my JEOL. Próbkę do analizy w mikroskopie skanującym pokrywano w próżni cienką błonką węglowo-platynową. Preparaty do mikroskopu transmisyjnego wykonano metodą replik bezpośrednich, napylając je uprzednio węglem i platyną. Z metodą wykonywania replik autorka zetknęła się w laboratorium mikroskopii elektronowej ZGI w Berlinie.

## OBSERWACJE MIKROSKOPOWE POWIERZCHNI ZIARN KWARCU

Luźne ziarna piasku rzadko są wykształcone w takiej postaci, która odpowiada ich formie krystalograficznej. Zazwyczaj są to dobrze obtoczone (tabl. I, fig. 1) lub częściowo obtoczone odłamki (tabl. I, fig. 2). Ziarna kwarcu rozpadają się pod wpływem uderzenia na odłamki ograniczone nierównymi, często wklęsłymi powierzchniami. Kształt tego przełamu przypomina czasem rozległą misę, która wewnątrz rzadko bywa idealnie gładka. Najczęściej jest ona spękana, pomarszczona, porysowana i występują na niej prostoliniowe stopnie lub łukowate grzbiety (tabl. II, fig. 3). Te dodatkowe formy powstają podczas uderzeń lub tarcia ziarn. Kształt i rozmiar przełamu zależy od rodzaju uderzenia, np. przełam koncentrycznie rozległy powstaje przy jednolitym, punktowo skierowanym nacisku, jak to ma miejsce w przypadku ziarn pochodzenia eolicznego pustynnego. W środowisku glacialnym, charakteryzującym się wysoką energią transportu, gdzie występuje znaczne zróżnicowanie wielkości przenoszonego materiału, morfologia przełamu jest zwykle bardzo urozmaicona (tabl. II, fig. 4); przyczynia się do tego duża częstotliwość kolizji ziarn podczas toczenia i saltacji (S. V. Margolis, D. H. Krinsley, 1974).

<sup>1</sup> Wyczerpujące opracowanie na ten temat (L. Le Ribault, 1977) zamieszczone zostało w *Kwartalniku Geologicznym* (t. 21, z. 1). Z pracą tą zapoznałam się już po napisaniu niniejszego artykułu.

Łupliwość, tzn. zdolność rozpadania się kryształu na części ograniczone ścianami płaskimi pod wpływem uderzenia lub nacisku jest rzadko obserwowana w kwarcu. Niemniej jednak zauważa się czasami ślady spękań ułożone równolegle do romboedrycznej płaszczyzny sieciowej kryształu. Kierunek ten jest w kwarcu uprzywilejowany, ponieważ wzdłuż tej płaszczyzny przyrastają płytki bliźniacze a także następuje wzrost kryształu. Łupliwość słupową wywołać można przy pomocy nagłych zmian temperatury. Podobnie łupliwość zgodną z płaszczyzną dwuścianu otrzymać można tylko sztucznie, poddając kryształ oddziaływaniu pola elektrycznego w wysokiej temperaturze (J. D. Dana, E. S. Dana, 1962).

Efekty działania procesów mechanicznych wpływające w dużym stopniu na ukształtowanie powierzchni widoczne są najwyraźniej na ziarnach pochodzenia eolicznego, glacialnego i częściowo litoralnego. W warunkach pustynnych podczas intensywnej abrazji ziarn tworzy się powierzchnia „ospowata” (tabl. III, fig. 5). W środowisku litoralnym, szczególnie w strefie przybrzeżnej, gdzie energia falowania jest duża, obserwuje się na powierzchni ziarn kwarcu V-kształtne znaki niewielkich (mikronowych) rozmiarów (tabl. III, fig. 6; tabl. IV, fig. 7). Gęstość rozmieszczenia i głębokość wcięć tych form zależy od energii środowiska. Ich kształt, stopień orientacji — od wielkości ziarn, morfologii powierzchni, wygładzenia oraz od przekroju krystalograficznego i wewnętrznych deformacji kryształu.

Mechaniczne a także chemiczne procesy, które często się ze sobą zębiają, powodują dezintegrację ziarn i tworzą różnorodne figury spękań i figury wytrawień. W ten sposób powierzchnia staje się bardziej urzeźbiona. Elementy tej rzeźby odzwierciedlają tendencje rozwojowe kryształu i nazwane zostały przez V. Goldschidta akcesoriami wzrostu kryształu (A. Łaszkiwicz, 1957). Akcesoria na ścianach kryształu mogą wytwarzać się zarówno podczas wzrostu, jak również podczas rozpuszczania się (tabl. IV, fig. 8; tabl. V, fig. 9). Akcesoria pojawiają się na morfologicznie ważnych ścianach kryształu i są ograniczone schodkowatymi tarasami kończąc się narożem lub płaszczyzną równoległą do podstawy, zwaną tabulatem. Mają one kształty o zarysach prosto- lub krzywoliniowych (tabl. V, fig. 10). Akcesoria w kwarcu przybierają różne formy w zależności od przekroju krystalograficznego, na którym występują. Na przekrojach romboedrycznych przyjmują one formy tarasowato-schodkowate (tabl. VI, fig. 12). Na przekrojach pryzmatycznych wyglądają jak piramidy lub stożki ułożone schodkowato (tabl. VII, fig. 13 i 14).

Procesy chemicznego trawienia wykorzystują te kierunki krystalograficzne, wzdłuż których istnieje największa szybkość rozpuszczania kryształu. Powstają wtedy charakterystyczne, różne w zależności od przekroju, figury wytrawień. Na ścianach słupowych mają one wygląd trójkątnych form wklęsłych lub wypukłych krystalograficznie zorientowanych (W. E. Soniuszkin, 1974) — tabl. VIII, fig. 15.

Powierzchnia bogato urzeźbiona jest w dużym stopniu rozwinięta i jako taka stwarza możliwości powstawania na niej „zarodków” krystalicznych, które zapoczątkowują wzrost kryształu (tabl. VIII, fig. 16). Krzemionka do budowy kryształu pochodzić może z różnych źródeł: roztrawienia chemicznego powierzchni ziarna, rozpuszczenia i powtórnego strące-

nia pyłu kwarcowego, przekształcania krzemionki bezpostaciowej pochodzenia organicznego i krzemionki koloidalnej.

Badania eksperymentalne wykazały, że na postać wzrastających kryształów ma wpływ głównie temperatura i stopień przesylenia roztworu. Przy silnym nasyceniu tworzy się jednocześnie dużo zarodków krystalicznych, które szybko krystalizując dają kryształy w formie igieł lub dendrytów albo krzewiastych rozgałęzień przypominających kształty roślin (tabl. IX, fig. 17). Podobne formy przedstawiające wzrost kryształów kwarcu w środowisku litoralnym (strefa pływów) zamieścił w swej pracy L. Le Ribualt (1975). Czasami figury wzrostowe kryształów kwarcu mają wygląd romboedrycznych wybrzuszeń, które sprawiają wrażenie zaawansowanego idiomorficznego pokroju (tabl. IX, fig. 18).

\*

Metoda analizy ukształtowania powierzchni ziarn kwarcu znalazła szerokie zastosowanie w geologii i w dziedzinach jej pokrewnych. Najwięcej uwagi poświęcono jej badając materiały sypkie z różnych środowisk sedymentacyjnych czwartorzędu i trzeciorzęd. Rodzaj urzeźbienia, wielkość samych ziarn, sposób obtoczenia wykorzystywano jako wskaźniki środowiska erozji, transportu, sedymentacji, a nawet diagenety.

W skałach kwarcytowych w niewielkim stopniu scementowanych obserwowano sposób wiązania okruchów przez krzemionkę w zależności od źródeł jej pochodzenia. Zwracano przy tym uwagę na rodzaj kontaktów międzyziarnowych, sposób wypełniania próżni oraz narastania kryształów.

Problemy te są niezmiernie istotne w odniesieniu do staropaleozoicznych osadów kwarcytowych z uwagi na ich ewentualne możliwości kolektorskie, co z kolei może być wskaźnikiem roponośności skał.

Badania ukształtowania powierzchni kwarcu wykonywano również w kwarcach ze skał metamorficznych stref tektonicznie zaangażowanych. Rejestrowano topografię powierzchni kwarcu, która odzwierciedlała odkształcenia wewnątrzstrukturalne, płaszczyzny poślizgu, powstałe w wyniku procesów deformacji pod wpływem zewnętrznych nacisków.

Zakład Petrografii, Mineralogii i Geochemii  
Instytutu Geologicznego  
Warszawa, ul. Rakowiecka 4

Nadesłano dnia 21 sierpnia 1976 r.

## PIŚMIENNICTWO

DANA J. D., DANA E. S. (1962) — The system of mineralogy. Silica minerals, 3. New York, London.

KOZARSKI S. (1972) — Mikroskopia elektronowa w badaniu morfologicznych cech powierzchni kwarcowych ziarn piasku wybranych środowisk sedymentacyjnych. Stud. Geogr. fiz. Poz. Tow. Przyj. Nauk., 13, p. 179—289, nr 1. Poznań.

- KRINSLEY D. H., DOORNKAMP P. C. (1973) — Atlas of quartz sand surface texture. Cambridge.
- LE RIBAULT L. (1975) — L'exoscope méthode et applications. Notes et memoires, 12. Paris.
- ŁASZKIEWICZ A. (1957) — Akcesoria wzrostu. Kosmos, [B], p. 155—161, nr 2. Warszawa.
- MARGOLIS S. V., KRINSLEY D. H. (1974) — Processes of formation and environmental occurrence of microfeatures on detrital quartz grains. Am. Journ. Science, 274, p. 449—464, nr 5. Nev Haven, Connecticut.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., KRZYWOBŁOCKA-LAUROW R. (1974) — Typy urzeźbienia powierzchni ziarn kwarcowych piasków Puszczy Kampinoskiej w oparciu o analizę w prześwietleniowym i analizującym mikroskopie elektronowym. Roczn. Pol. Tow. Geol., 44, p. 227—246, nr 2/3. Kraków.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., KRZYWOBŁOCKA-LAUROW R. (1976) — Cechy morfologiczne powierzchni ziarn kwarcowych piasku w badaniach za pomocą mikroskopii elektronowej. Post. Nauk Geol., 7, p. 47—66. Warszawa.
- СОНЮШКИН В. Е. (1974) — Электронно-микроскопическое изучение дофинейских двойников кварца. Изв. АН СССР, сер. геол., 7. Москва.

Мария ВИХРОВСКА

## ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРЕН КВАРЦА ИСХОДЯ ИЗ АНАЛИЗА ПОД ЭЛЕКТРОННЫМ МИКРОСКОПОМ

### Резюме

Настоящая статья является попыткой анализа воздействия различных физических и химических процессов на вид изрезанности поверхности зерен кварца во взаимосвязи с кристаллографическими свойствами этого минерала. Наблюдение морфологии поверхности зерен песчаных пород, седиментация которых происходила в различной среде, проводилось под электронным сканирующим микроскопом Р-15 фирмы Еоль, а также под трансмиссионным электронным микроскопом D 2 фирмы Цейсс.

Свободные зерна песка редко имеют правильное строение (облик). Обычно они хорошо окатаны или остросребристы (обломки) и носят следы механических ударов (табл. I, фиг. 1, 2). Поверхность разлома часто имеет форму широкой воронки и редко бывает идеально гладкой (таб. II, фиг. 3). На ней имеются трещинки, рябь, бороздки, прямые или слегка изогнутые уступы или дугообразные гребни (табл. II, фиг. 4). В ледниковой среде, где переносимый материал весьма дифференцирован по величине, морфология зерен весьма разнообразна.

Механические процессы, которые очень интенсивно действуют в воздушной пустынной среде, приводят к образованию характерной „основатой” поверхности (табл. III, фиг. 5). В литоральной среде, особенно в прибрежной зоне, наблюдается небольшие V-образные углубления на поверхности зерен, которые расположены хаотически (или в некоторой степени направленно) (табл. III, фиг. 6; табл. IV, фиг. 7). Различные элементы рельефа повер-

хности кварцевых зерен отражают тенденции развития кристалла (табл. IV, фиг. 8; Табл. V, фиг. 9). Аксессуары роста имеют различные формы в зависимости от кристаллографического разреза (табл. V, фиг. 10; табл. VI, фиг. 11). Чаще всего они имеют ступенчатую, пирамидальную или конусообразную форму (табл. VI, фиг. 12; табл. VII, фиг. 13, 14). Во время процесса химического травления образуются разнообразные фигуры вытравливания. Они представляют собой треугольные, пирамидальные кристаллографически ориентированные формы (табл. VIII, фиг. 15). Сильно изрезанная поверхность хорошо развита и создает условия для образования на ней кристаллических „зародышей”, с которых начинается рост кристаллов кварца (табл. VIII, фиг. 16). При быстрой кристаллизации нуклеидов происходит дендритовый рост и образуются кристаллы в форме игл или ромбоэдрических выпуклостей, создающих впечатление развитого идиоморфного облика (табл. IX, фиг. 17, 18).

Maria WICHROWSKA

## INFLUENCE OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES ON MORPHOLOGY OF QUARTZ GRAIN SURFACE AS REVEALED BY ELECTRON MICROSCOPY

### Summary

The paper presents an attempt to evaluate the influence of various physical and chemical processes on the type of quartz grains textures with the reference to crystallographic properties of this mineral. Morphology of quartz grain surface was studied with the use of scanning electron microscope JEOL P-15 and Zeiss D 2. The studies covered samples of quartz grains from various environments.

Single sand grains have rarely euhedral habit but they are rather well-rounded or angular, with traces of mechanical impacts (Table I, Figs. 1-2). The surface of fracture is often large, dish-shaped or, rarely, ideally smooth (Table III, Fig. 3). It often displays cracks, ripple marks, grooves and straight to somewhat arcuate step-like forms or arc ridges (Table II, Fig. 4). In the glacial environment characterized by a high variability in size of transported material the morphology of quartz grains is especially diverse.

Mechanical processes which are very intense in deserts contribute to the origin of characteristic pitted surface (Table III, Fig. 5). Grains from littoral and especially beach environments are characterized by small irregular random or somewhat oriented V-shaped depressions (Table III, Fig. 6; Table IV, Fig. 7). Textural elements of quartz grain surface reflect trends in growth of crystals (Table IV, Fig. 8; Table V, Fig. 9). Quartz overgrowths differ in shape depending on crystallographic section (Table V, Fig. 10; Table VI, Fig. 11), being usually step-like, pyramidal or conical in shape (Table VI, Fig. 12; Table VII, Fig. 13, 14). The processes of chemical etching result in origin of various morphological forms; these are triangular, pyramidal, crystallographically oriented forms (Table VIII, Fig. 15). The wealth of the textural forms on surface of grains facilitates origin of nuclei initiating growth of quartz crystals (Table VIII, Fig. 16). Rapid crystallization results in growth of needle-like or rhombohedral projections with apparently euhedral habitus (Table IX, Figs. 17, 18).

## TABLICA I

- Fig. 1. Dobrze obtoczone ziarno kwarcu. Powierzchnia zniszczona z dużą ilością wgłębień, rowków i rys mechanicznego pochodzenia  
Well-rounded quartz grain. Worn-out surface with numerous depressions, grooves and scratches of mechanical origin
- Fig. 2. Ziarno kwarcu o słabo obtoczonych krawędziach. Powierzchnia częściowo wygładzona, widoczne rysy, smugi i wgłębienia pochodzenia mechanicznego  
Quartz grain with poorly rounded margins. Surface partly smoothed; noticeable scratches, streaks and depressions of mechanical origin

## TABLICA II

- Fig. 3. Powierzchnia przełomu muszlowego w kształcie rozległej misy. Równoległe, wydłużone rysy ujawniają kierunki spękań  
Large dish-shaped surface of conchoidal fracture. Elongate parallel crack reveal fracture directions
- Fig. 4. Powierzchnia przełomu muszlowego. Wydłużone schodkowate tabulaty, drobne zmarszczki i łukowate prążki  
Surface of conchoidal breakage. Elongate step-like forms, small ripple marks and arc striae

## TABLICA III

- Fig. 5. Replika powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia litoralnego. Blokowo strzaskanane większe formy z dużą ilością V-kształtnych wgłębień kierunkowo zorientowanych  
Replica of quartz grain surface of littoral origin. Large conchoidal breakage blocks with numerous oriented V-shaped depressions
- Fig. 6. Fragment powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia litoralnego. Powierzchnia falista z dużą ilością V-kształtnych znaków w niewielkim stopniu ukierunkowanych  
Fragment of quartz grain surface of littoral origin. Undulating surface with numerous weakly oriented V-shaped indentations

## TABLICA IV

- Fig. 7. Replika powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia eolicznego. Procesy intensywnej abrazyj wytworzyły powierzchnię „ospowata”  
Replica of quartz grain surface of eolian origin. Intensive abrasion resulted in origin of pitted surface
- Fig. 8. Replika powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia eolicznego, wydmowego. Figury spękań i akcesoria wzrostu kryształu  
Replica of quartz grain surface of eolian, dune origin. Types of cracks and crystal overgrowths

## TABLICA V

- Fig. 9. Replika powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia litoralnego. Ślady spękań, akcesoria wzrostu i figury wytrawień  
Replica of quartz grain surface of littoral origin. Traces of cracks, overgrowths and etching forms
- Fig. 10. Replika powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia glacialnego. Ślady spękań w formie łukowatych prążków, tarasowate płaszczyzny oddzielności

Replica of quartz grain surface of glacial origin. Traces of cracks in the form of arc striate and terrace-like cleavage planes

#### TABLICA VI

Fig. 11. Replika powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia glacialnego. Schodkowate akcesoria wzrostu ograniczone tabulatami

Replica of quartz grain surface of glacial origin. Step-like overgrowths

Fig. 12. Fragment powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia glacialnego. Tarasowate tabulaty, ślady spękań

Fragment of quartz grain surface of glacial origin. Terrace-like forms, traces of cracks

#### TABLICA VII

Fig. 13. Fragment powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia eolicznego, pustynnego.

Figura wytrawień w formie wklęsłej piramidy ze śladami równoległych spękań  
Fragment of quartz grain surface of eolian desert origin. Etching resulted in origin of concave pyramidal form, traces of parallel cracks

Fig. 14. Replika powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia litoralnego. Stożkowate formy o ściętych wierzchołkach, narastające schodkowato, ślady spękań, V-kształtne wgłębienia w niewielkim stopniu ukierunkowane

Replica of quartz grain surface of littoral origin. Conical forms with truncated apex growing in step-like manner, traces of fractures, poorly oriented V-shaped indentations

#### TABLICA VIII

Fig. 15. Replika powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia litoralnego. Piramidalne figury wytrawień narastające schodkowato

Replica of quartz grain surface of littoral origin. Pyramidal forms from etching arranged in the step-like manner

Fig. 16. Fragment powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia eolicznego. Powierzchnia z dobrze rozwiniętą rzeźbą

Fragment of quartz grain surface of eolian origin. Surface with prominent relief

#### TABLICA IX

Fig. 17. Fragment powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia litoralnego. Dwukierunkowy dendrytyczno-igielkowy wzrost kryształów kwarcu

Fragment of quartz grain surface of littoral origin. Two-directional branch- or needle-like overgrowths of quartz crystals

Fig. 18. Replika powierzchni ziarna kwarcu pochodzenia litoralnego. Romboedryczne wybrzuszenia wzrastające kierunkowo

Replica of quartz grain surface of littoral origin. Rhombohedral projections with oriented growth



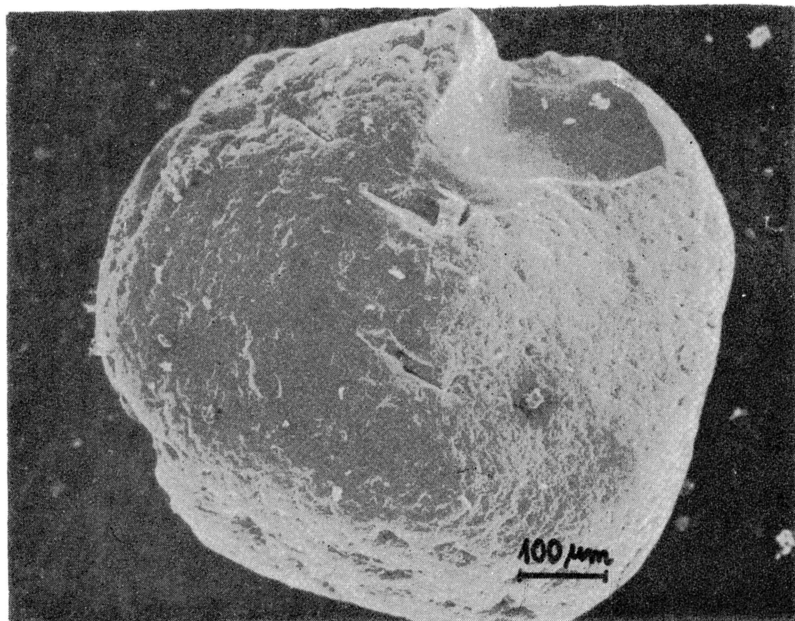


Fig. 1

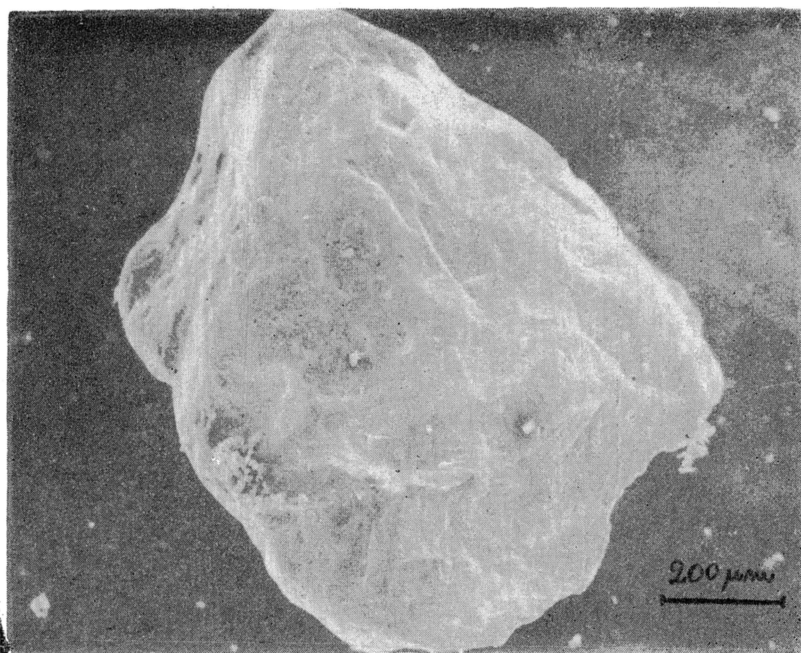


Fig. 2

Maria WICHROWSKA — Wpływ procesów fizycznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w oparciu o analizę w mikroskopie elektronowym

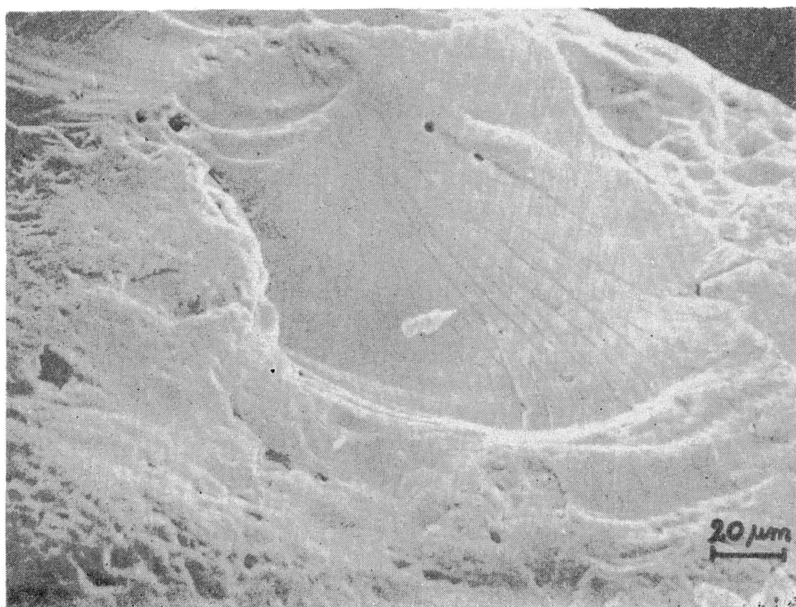


Fig. 3

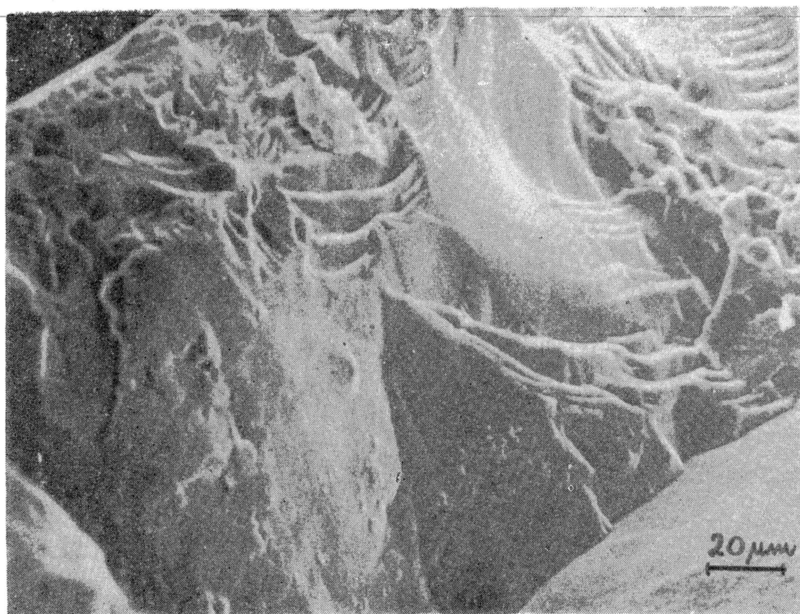


Fig. 4

Maria WICHROWSKA — Wpływ procesów fizycznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w oparciu o analizę w mikroskopie elektronowym

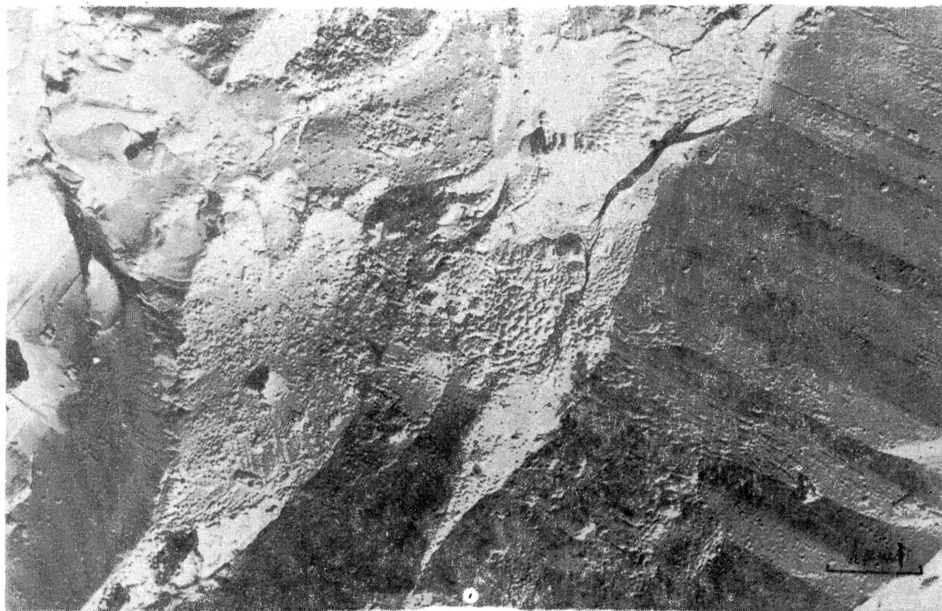


Fig. 5

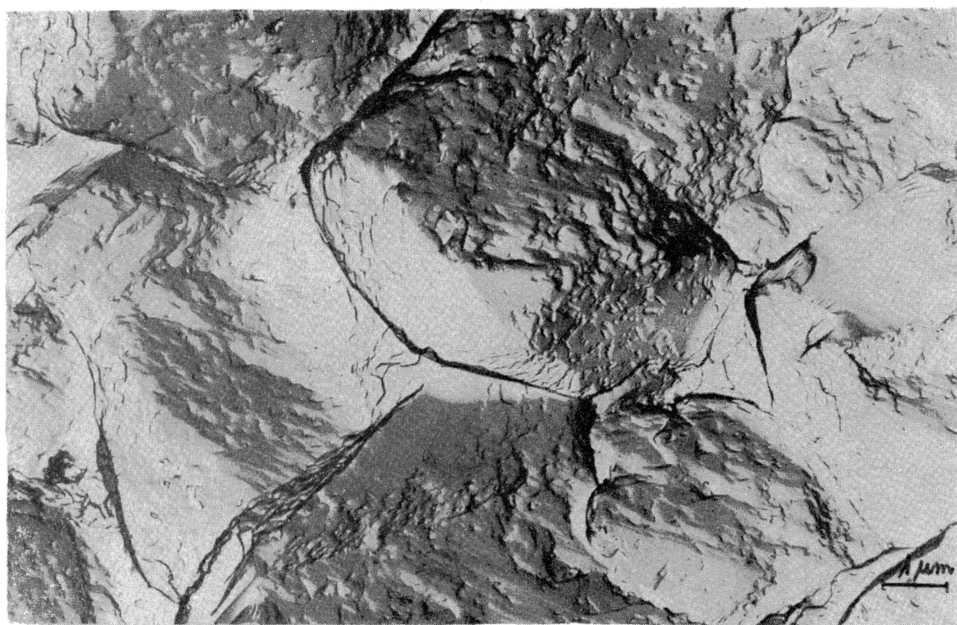


Fig. 6

Maria WICHROWSKA — Wpływ procesów fizycznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w oparciu o analizę w mikroskopie elektronowym

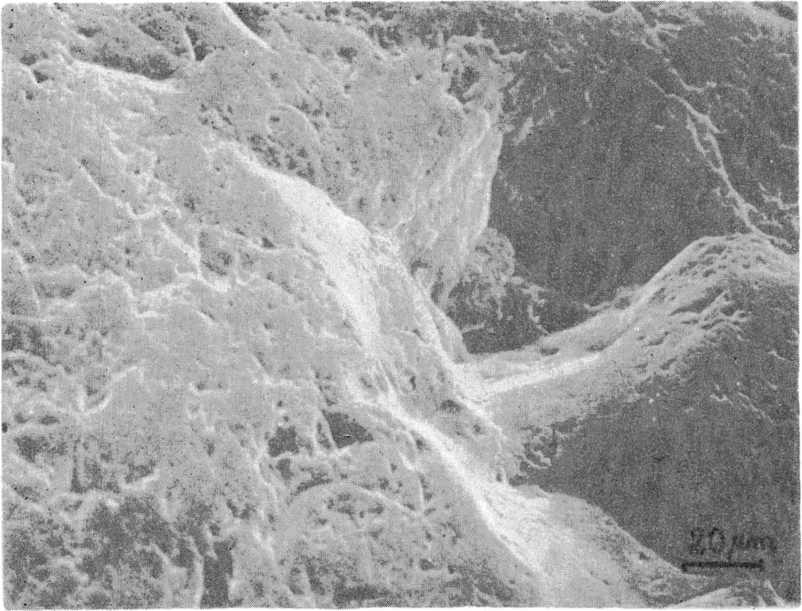


Fig. 7

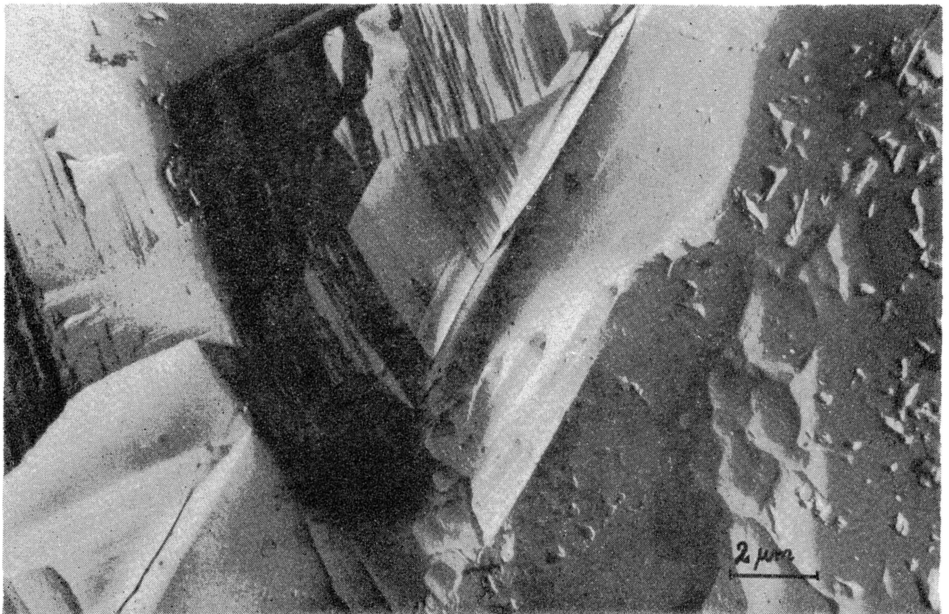


Fig. 8

Maria WICHROWSKA — Wpływ procesów fizycznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w oparciu o analizę w mikroskopie elektronowym

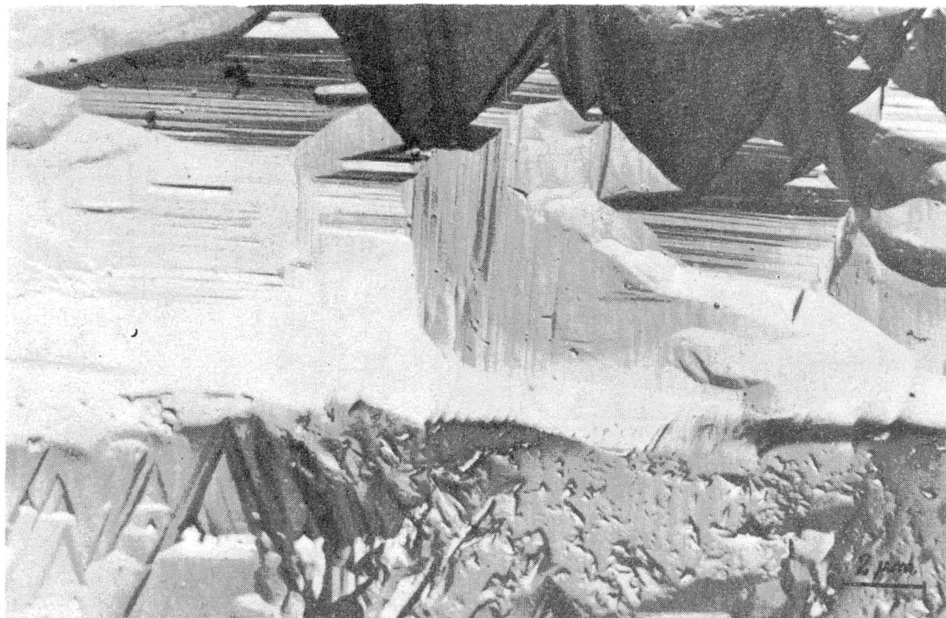


Fig. 9

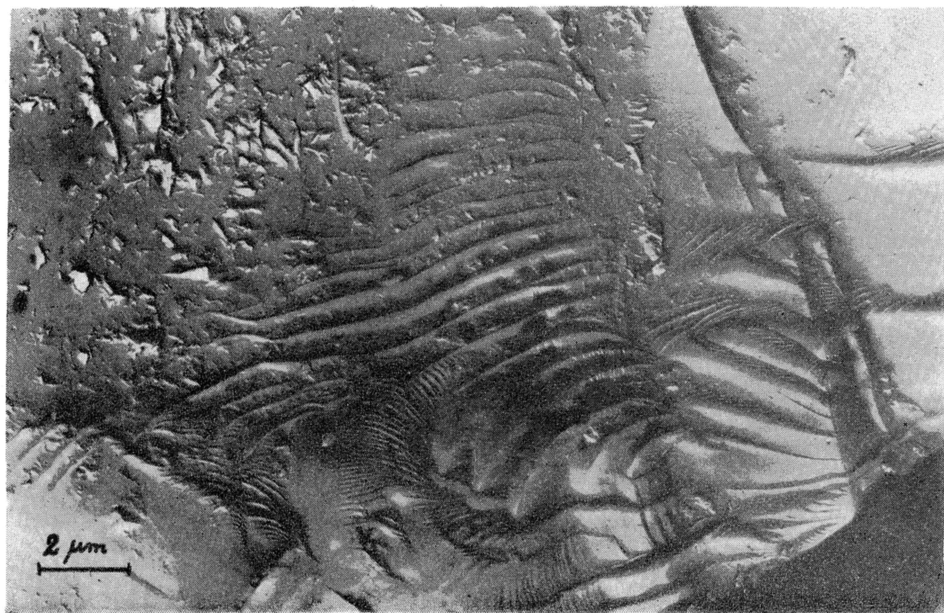


Fig. 10

Maria WICHROWSKA — Wpływ procesów fizycznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w oparciu o analizę w mikroskopie elektronowym

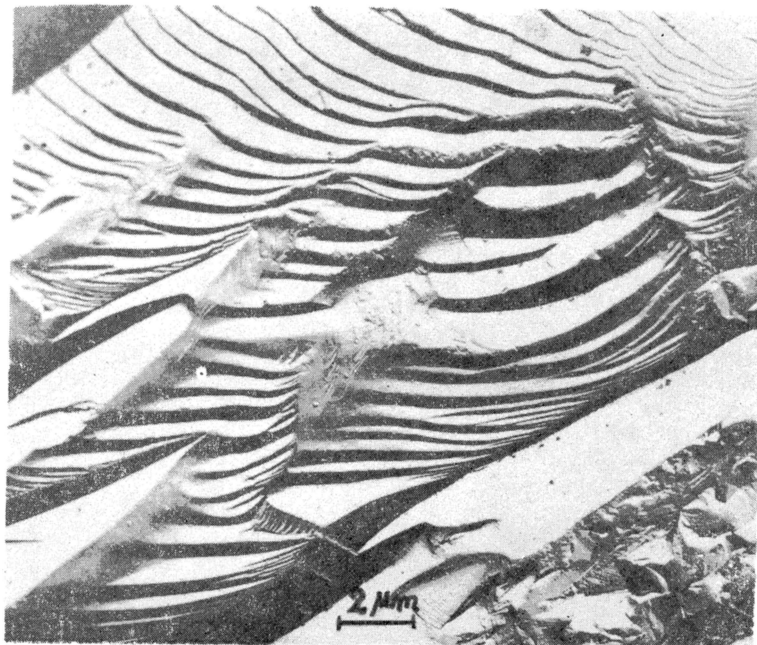


Fig. 11

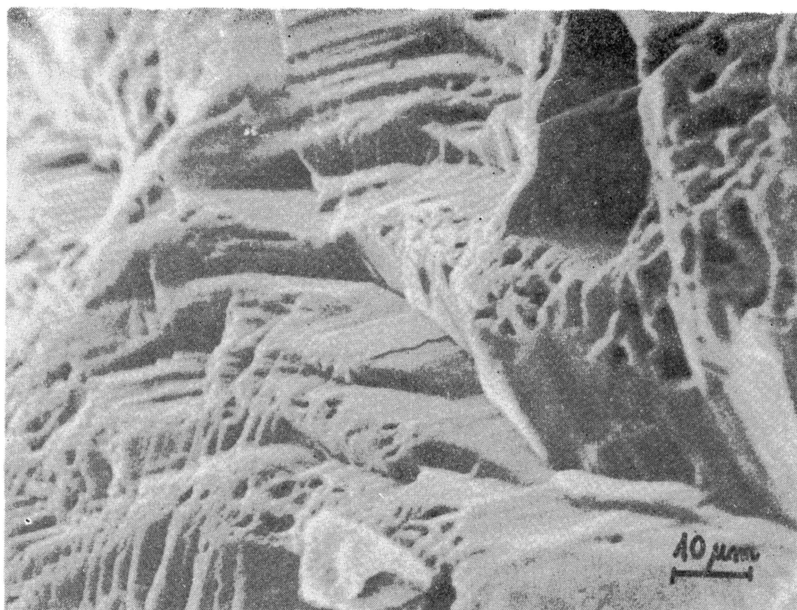


Fig. 12

Maria WICHROWSKA — Wpływ procesów fizycznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w oparciu o analizę w mikroskopie elektronowym

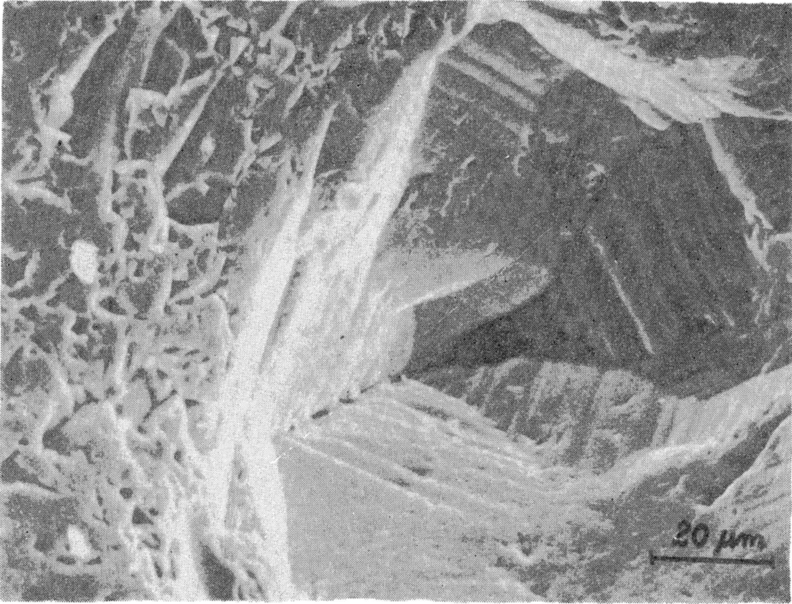


Fig. 13

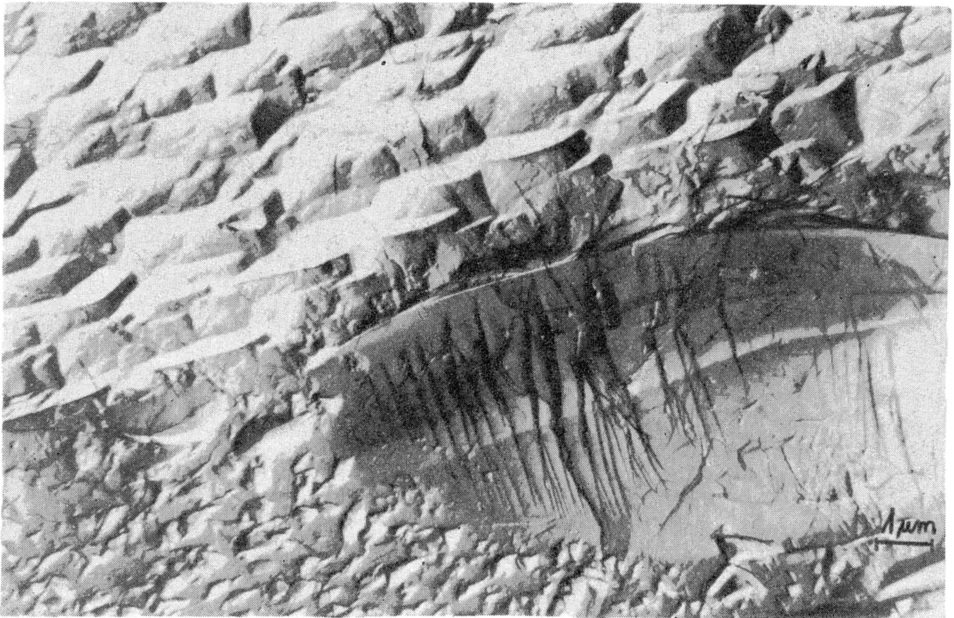


Fig. 14

Maria WICHROWSKA — Wpływ procesów fizycznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w oparciu o analizę w mikroskopie elektronowym

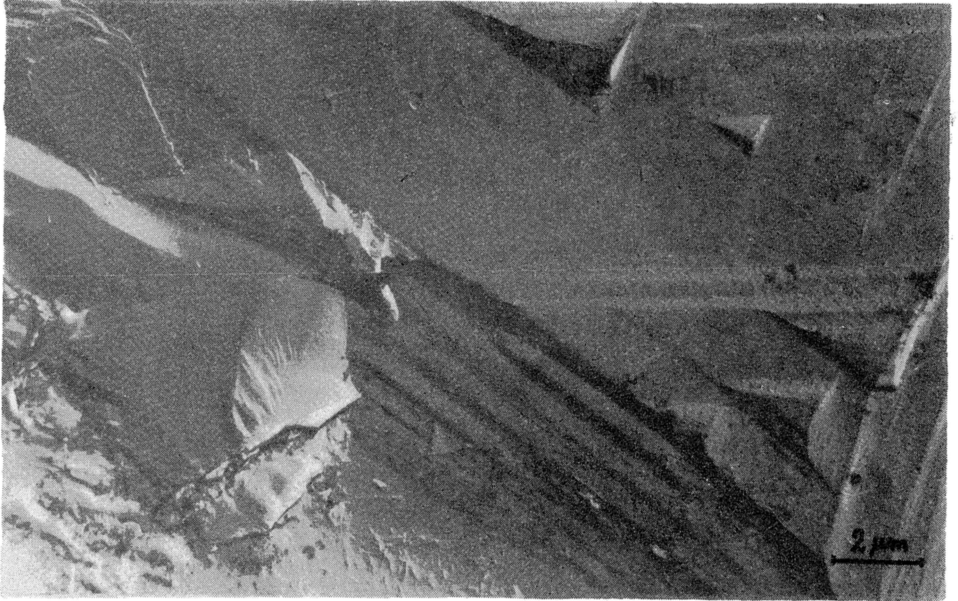


Fig. 15

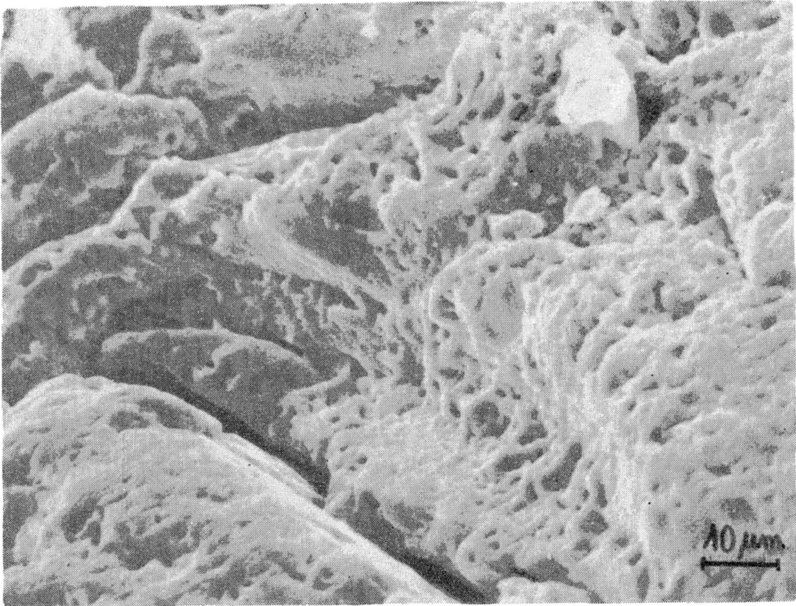


Fig. 16

Maria WICHROWSKA — Wpływ procesów fizycznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w oparciu o analizę w mikroskopie elektronowym



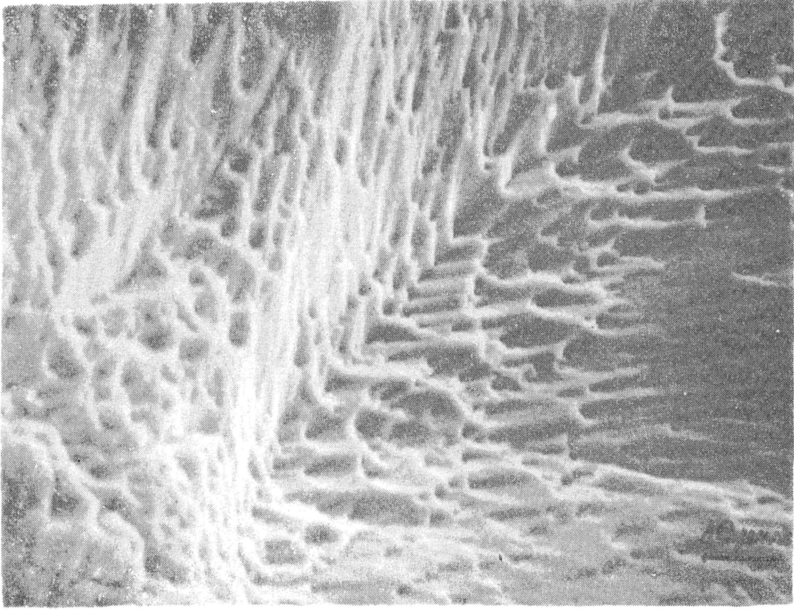


Fig. 17

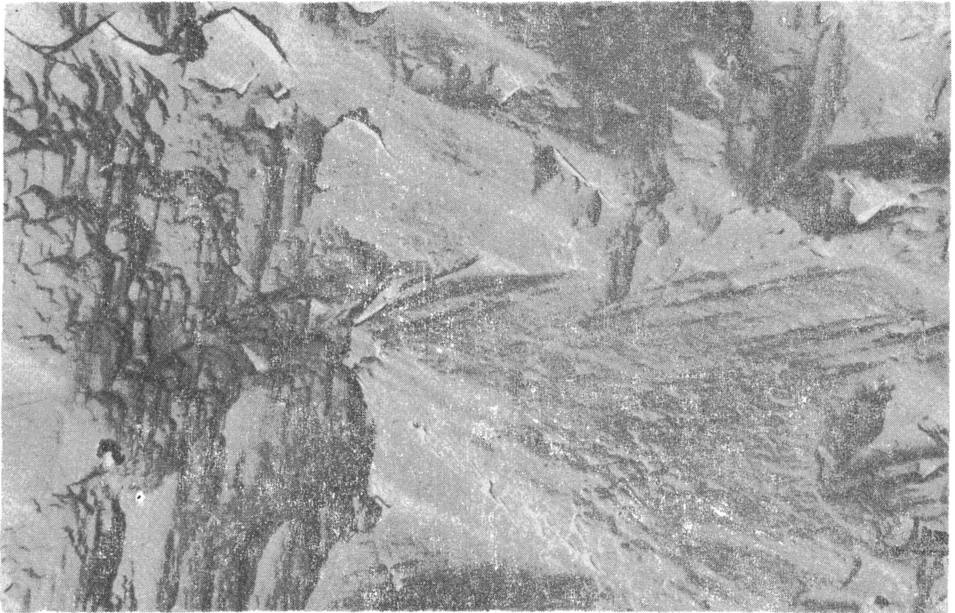


Fig. 18

Maria WICHROWSKA — Wpływ procesów fizycznych i chemicznych na ukształtowanie powierzchni ziarn kwarcu w oparciu o analizę w mikroskopie elektronowym