

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE - SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. X. 4

SECTIO B

1955

Z Zakładu Geologii Wydz. Biol. i Nauk o Ziemi U. M. C. S.
Kierownik: Doc. dr Czesław Pachucki

Jan MORAWSKI

**Metoda badania morfologii ziarn piasku za pomocą
powiększalnika fotograficznego**

**Метод исследования морфологии зерен песка
при использовании фотоувеличителя**

**Morphological Analysis of Sand Grains by a Photo-
graphic Enlarger**

Osady klastyczne o strukturze psamitowej, a więc głównie piaski, są bardzo ważne dla badań sedymentologicznych. Osady te pospolite zwłaszcza w utworach czwartorzędowych, wśród których występują w większych lub mniejszych skupieniach tworząc łącznie z innymi frakcjami osadów pochodzenia mechanicznego, mniej lub bardziej regularne formy a więc: zandry, ozy, kemy, terasy, wydmy itd. Jeśli wymienione formy akumulacji osadu występują w terenie w postaci dobrze zachowanej, wtedy nie trzeba się specjalnie zastanawiać nad genezą utworu. W przeciwnym przypadku dopiero zbadanie cech fizjograficznych osadu oraz ustalenie jego składu granulometrycznego rozstrzygnąć może z jakiego rodzaju piaskiem mamy do czynienia (np. zandrowym, terasowym czy wydmowym).

Na zagadnienie, z jakich skał powstały piaski, występujące w różnych facjach geologicznych, rzucić może pewne światło ich skład mineralny, a zwłaszcza obecność akcesorycznych składników skał osadowych tzw. minerałów ciężkich o gęstości większej od 3. Stanowią one zwykle w tym typie osadów nieznaczny odsetek przeważnie mniej niż 1% (15 str. 363).

Poza składem mineralnym, na środowisko, w którym gromadził się piasek, wskazuje przede wszystkim: a) stopień obtoczenia ziarn, b) charakter powierzchni ziarn, c) skład granulometryczny osadu (krzywa rozsiewu).

Podane wyżej trzy cechy psamitów okazały się zmienne dla piasków pochodzących z różnych środowisk sedymentacyjnych (14, str. 171). Na podstawie badań stwierdzono, że w zależności od środowiska, w jakim akumulował piasek, zmieniał się zarówno stopień obtoczenia ziarn, jak i charakter ich powierzchni, a poza tym ulegał zmianie także skład granulometryczny osadu. Skład granulometryczny odzwierciedla nam w pewnym stopniu siłę transportu (prędkość wody lub wiatru) toczącego ziarna po powierzchni naszego globu; im siła ta jest większa, tym grubsze frakcje przeważają w osadzie.

Badanie składu mineralnego piasków ma też i znaczenie praktyczne, bowiem w przypadkach, gdy w piaskach występuje duża koncentracja ziarn mineralów kruszczowych, takich, jak np. cyrkon, kasyteryt, magnetyt, monacyt itd., można go eksploatować dla celów przemysłowych. Także duży procent glaukonitu może być wyzyskany dla potrzeb rolniczych (sztuczny nawóz). Piaski nie zawierające lub prawie pozbawione mineralów ciężkich mogą być używane do wyrobów szklarskich (15, str. 364).

Przy analizie piasków czwartorzędowych, z obszarów dawniej zlodowaconych lub ze strefy marginalnej lądolodów, dla określenia ich środowiska sedymentacji skład mineralny jest mniej ważny, ponieważ pierwotnym źródłem piasków plejstocenijskich są przeważnie wszystkie rodzaje skał (magmaowe, osadowe i metamorficzne). Skały te lodowiec przytransportował z obszaru Skandynawii lub oderwał od podłoża, na które transgredował, a następnie osadził na przedpolu lądolodu; głównie w postaci płaskich, szerokich zandrów. Po recesji lądolodów powstały jeszcze inne skupienia osadów piaszczysto-żwirowych, tworzące wydłużone ozy oraz kopulaste kemy i drumliny. Także różnego rodzaju moreny zawierają zawsze większą lub mniejszą ilość piasku, który dominuje nawet w tzw. „morenach spiaszczonych”. Z piasków plejstocenijskich powstały ponadto terasy rzeczne i wydmy.

Znając genezę piasków plejstocenijskich należy się spodziewać, że będą one miały niezależnie od tego, jakie tworzą formy w terenie, podobny skład mineralny. Różnice mogą polegać głównie na obec-

ności lub braku minerałów bardzo łatwo ulegających niszczeniu mechanicznemu lub chemicznemu, takich np. jak łyszczyki, które mają niewielką twardość, a równocześnie doskonałą łupliwość, które szybko ulegają rozdrobnieniu na maleńkie okruchy, i które podczas transportu łatwo są unoszone przez wodę lub wywiewane z osadu piaszczystego. Nic też dziwnego, że analizy piasków morenowych, plażowych i wydmych z okolicy Puław wykazały (12, str. 73), iż posiadają one niemal identyczny zespół minerałów ciężkich. W wymienionych osadach z minerałów ciężkich przeważa granat, obok którego występują: rutil, cyrkon, turmalin, staurolit, dysten, piroksen, amfibol. Różnice w składzie mineralnym polegają na tym, że w badanych próbkach piasku nie stwierdzono korundu w piaskach morenowych, cjanitu w wydmych i morenowych, oraz biotyту w piasku plażowym i wydmych. Oczywiście nie oznacza to wcale, że wymienione minerały z niektórymi może tylko wyjątkami są zawsze nieobecne w badanych utworach zbudowanych z piasków czwartorzędowych. Brak biotyту w piaskach plażowych można łatwo wytłumaczyć nie tylko tym, że minerał ten szybko wietrzeje, ale także jego doskonałą łupliwością i małą twardością. Ze względu na lekkość drobniutkich blaszek biotyту, które są łatwiej unoszone przez wody płynące niż ziarna innych minerałów, należy go raczej szukać we frakcjach drobniejszych — mułkowych o strukturze pelitycznej. Podobnie też piaski wydmy sortowane eolicznie ubogie są w ten minerał, ponieważ ulega on także tutaj szybkiemu rozdrobnieniu a wiatr unosi drobne blaszki łyszczyku na większe odległości.

Ponieważ piaski czwartorzędowe niezależnie od tego, jakie na powierzchni ziemi tworzą utwory, zawierają niemal zawsze stosunkowo dużo większy procent podobnych minerałów akcesorycznych, ze skał magmowych, (wykazujących różną odporność zarówno na procesy wietrzenia, jak i transport), niż piaski pochodzące ze starszych okresów geologicznych, dlatego minerały akcesoryczne wśród piasków czwartorzędowych nie mogą być najważniejszym wskaźnikiem środowiska ich sedymentacji.

Nie odnosi się to do piasków starszych — przedczwartorzędowych, a zwłaszcza takich, które ulegały kilkakrotnej przeróbce, przechodząc przez dwa, trzy a czasem i więcej środowisk sedymentacyjnych. Jako przykład można by podać przemianę piasków morskich, które w późniejszej epoce geologicznej zostały osadzone na wtórnym złożu w po-

staci piasków terasowych, a następnie wskutek procesów eolicznych utworzyły się z nich wydmy. W takim przypadku należy się liczyć, że w piaskach wydmowych zachowają się oprócz ziarn kwarcu wyłącznie minerały najbardziej odporne na wietrzenie i transport, takie jak: cyrkon, rutyl i turmalin.

Mimo, że w literaturze naukowej właściwie do dnia dzisiejszego nie ma zgodnego poglądu odnośnie roli i zachowania się w procesach sedymentacji minerałów ciężkich, a to jest ważne dla rozwiązywania zagadnień paleogeograficznych, sedymentologicznych i stratygraficznych, to jednak na podstawie zestawienia i porównania szeregu prac M. Turnau-Morawska (15, str. 369 i 370) dochodzi do następujących wniosków dotyczących się tego zagadnienia:

1° Cyrkon, rutyl i turmalin należą do minerałów odpornych zarówno na wietrzenie i transport, jak i na przemiany diagenetyczne tak, że z samej ich obecności w osadach nie uzyskujemy danych co do charakteru petrograficznego skały macierzystej; skałą tą może być zarówno skała krystaliczna, jak i osadowa, nawet kilkakrotnie przerebiona. Natomiast morfologia, szczególne cechy optyczne i stopień obróbki mechanicznej pozwalają niejednokrotnie na wnioski petrogenetyczne.

2° Oliwiny, pirokseny i amfibole są mało odporne na czynniki wietrzenia chemicznego, obecność ich zatem w skale osadowej przemawia za pochodzeniem materiału bezpośrednio ze skały nagmowej lub metamorficznej. Fakt stwierdzony przez Russela w r. 1935, że pirokseny i amfibole są odporne na czynniki transportowe, wskazuje, że źródło materiału może być odległe od basenu sedymentacji. Jest natomiast mało prawdopodobne, by minerały te pochodziły ze starszych skał osadowych.

Brak minerałów z grupy oliwinu, piroksenu i amfibolu nie rozstrzyga jednak, czy materiał detrytyczny pochodził ze skały osadowej, czy też ze skał krystalicznych wietrzejących w takich warunkach, że te minerały uległy przeobrażeniu na różnego typu uwodnione krzemiany oraz tlenki i wodorotlenki żelaza.

3° Inne minerały ciężkie, wymieniane przez większość petrografów wśród odpornych na czynniki procesów sedymentacyjnych, lub takie minerały, których trwałość nie została dotąd jednoznacznie ustalona, często nie mają żadnego znaczenia w wysuwaniu wniosków geologicznych; w pewnych jednak konkretnych przypadkach mogą

być wskaźnikami źródła materiału, nadto pozwalają niekiedy na rozstrzygnięcie, który z odsłoniętych dzisiaj kompleksów skalnych dostarczył w przeszłości materiału budującego analizowany osad. Taki konkretny przypadek zachodzi np. wówczas, gdy frakcja ciężka jest zespołem mineralów genetycznie spokrewnionych i charakteryzujących pewną skałę magnową lub metamorficzną określonej facji. Zespół: cjanit-staurolit świadczy, że materiału dostarczyła skała metamorficzna, czy też — wobec przypuszczalnej trwałości tych mineralów — skała osadowa, nie mogła go natomiast dostarczyć skała magmowa. Obecność topazu i monacytu we frakcji ciężkiej wskazuje, że materiału dostarczył teren granitowy lub starsze skały osadowe, nie mógł to być natomiast kompleks skał zmienionych wśród metamorfozy termodynamicznej.

Ponieważ wnioski geologiczne uzyskać można także na podstawie cech morfologicznych ziarn piasku (8), a cechy te zależą od stopnia ich obróbki mechanicznej, dlatego dalsza część artykułu omawia nową metodę badania morfologii ziarn piasku.

Badanie morfologii ziarn piasku poprzedzone jest zawsze ustaleniem składu granulometrycznego osadu, przynajmniej w obrębie struktury psamitowej, a następnie wyodrębnieniem jednej z frakcji do dalszych badań.

Samo pojęcie psamitów, a więc wyodrębnienie pewnych granic wielkości ziarn określających osad jako piasek, nie jest jeszcze uzgodnione i przytoczyć by można cały szereg prac i podręczników petrografii różnych autorów np.: K. Keila (5), M. S. Szwecowa (11), F. H. Hatcher, R. H. Rastalla i Maurice Blacka (4), a z polskich M. Turnau-Morańskiej (14), J. Gołąba (3) itd., gdzie podane są zestawienia klasyfikacji skał klastycznych według różnych autorów. Podobną tabelę, ale bardziej obszerną, klasyfikacji ziarn wg. wielkości w ujęciu różnych autorów i źródeł zamieścił także w swoim artykule Wł. Bobrowski (1).

W Polsce przyjmuje się najczęściej za dolną granicę osadu tworzącego piasek frakcję 0,1 mm, za górną zaś 2,0 mm. Byłoby dlatego pożądanym wprowadzenie zalecenia, by wszyscy badacze; geologowie, petrografowie, gleboznawcy itd. konsekwentnie, przy wykonywaniu analiz, trzymali się wyżej podanego wymiaru frakcji, określającego wielkość psamitów, i problem klasyfikacji dla piasków zostałyby wreszcie uzgodnione.

Podział osadu na frakcje wiąże się w pewnym stopniu także z koniecznością zakupu z importu zagranicznego, dla niektórych zakładów naukowych i instytutów, sit kalibrowych przede wszystkim typu DIN 4022, a to głównie dlatego, ponieważ szereg zakładów naukowych posiada już takie komplety sit.

Posługując się sitami typu DIN 4022 można by wyodrębnić dla przedstawienia składu granulometrycznego psamitów następujące frakcje, dla których proponuję niżej podane terminy, zbliżone do nazw frakcji jakie używa J. Gołąb (3, str. 150):

- 1) 0,1 — 0,6 mm piasek pylasty,
- 2) 0,6 — 1,0 mm „ drobnoziarnisty,
- 3) 1,0 — 1,5 mm „ średnioziarnisty,
- 4) 1,5 — 2,0 mm „ gruboziarnisty.

Taki podział na frakcje jest o tyle konsekwentny, że każda frakcja w obrębie psamitów, z wyjątkiem tylko frakcji 2, różni się od poprzedniej o stałą wielkość wynoszącą 0,5 mm.

Badania przeprowadzane nad morfologią ziarn piasku w celu określenia środowiska ich akumulacji polegały głównie na analizie stopnia obróbki mechanicznej ziarn i ustalenia w osadzie procentowego stosunku ziarn różnie obtoczonych. Dla tego celu poddawano badaniom ziarna różnych rozmiarów, np. J. Syniewska (10) brała pod uwagę ziarna piasku wielkości poniżej 0,3 mm, J. Krygowski (5) rozpatrywał ziarna większe od 0,8—1,0 mm, A. Cailleux (2) ziarna do 1,6 mm, ale główne zestawienia tabelaryczne opiera na ziarnach wielkości 0,7 mm. Autor niniejszego artykułu prowadzi badania nad ziarnami frakcji 0,6—1,0 mm, co wynika zresztą z użycia do analizy granulometrycznej sit typu DIN 4022.

Ponieważ niemal każdy autor używał do badań ziarn odmiennej wielkości, uzyskane wyniki w większości przypadków nie mogą być porównywane, co w rezultacie uniemożliwia wyciąganie bardziej ogólnych wniosków.

W pracach nad morfologią ziarn piasku posługiwano się dotychczas w Polsce głównie dwiema metodami:

- 1) metoda pierwsza stosowana przez większość badaczy polega na bezpośrednim oglądaniu próbek piasku pod lupą binokularną lub mikroskopem i obliczaniu ilości ziarn kanciastych, częściowo obtoczonych i obtoczonych, a następnie zestawieniu uzyskanych wyników tabelarycznie lub za pomocą diagramów. Metoda ta jest żmudna, czę-

sto mało dokładna, zwłaszcza, gdy stosuje się więcej niż trzystopniową (8) skalę obróbki ziarn, a poza tym absorbuje ona bardzo dużo czasu;

2) metoda druga uproszczona, polegająca na użyciu specjalnie do tego celu zbudowanego segregatora, opracowana przez B. Krygowskiego (6) opiera segregację ziarn piasku mających różną obróbkę mechaniczną na zastosowaniu pochyłej płaszczyzny (płytki) przy założeniu, że ziarna im mniej są obtoczone, tym staczać się będą później, w miarę jak wzrastać będzie kąt nachylenia płaszczyzny do poziomu.

B. Krygowski wydziela na tej podstawie trzy grupy ziarn:
a) ziarna dobrze obtoczone, które staczać się będą po płaszczyźnie już przy jej nachyleniu wynoszącym od $0-10^\circ$ w stosunku do płaszczyzny horyzontalnej,

b) ziarna słabiej obtoczone staczają się przy nachyleniu $10-15^\circ$,

c) ziarna kanciaste (najsłabiej obtoczone), gdy kąt nachylenia jest większy od 15° .

Uzyskane wyniki B. Krygowski ilustruje diagramami.

Obie metody, zresztą jak każde metody badawcze mają swoje zalety i wady. Metoda B. Krygowskiego jest bardziej prosta i zajmuje stosunkowo mało czasu. Ujemną jej stroną jest konieczność wykonywania uzupełniających badań przy pomocy lupy binokularnej lub mikroskopu w przypadku, gdy chcemy obliczyć np. w obrębie ziarn obtoczonych stosunek procentowy ziarn matowych, półmatowych i błyszczących, a te właśnie cechy w dużym stopniu umożliwiają także rozpoznanie środowiska sedymentacyjnego. Poza tym w razie pomyłki niedostrzeżonej od razu przy obliczaniu stosunku ilościowego poszczególnych typów ziarn, sprawdzenie wyników liczbowych uzyskać można dopiero na podstawie ponownej analizy tego samego osadu.

Przypuszczam, że opracowany przeze mnie sposób badania morfologii ziarn piasku może usunąć wymienione już ujemne strony dotychczas stosowanych metod. Ponieważ, jak już podkreślił Wł. Bobrowski (1, str. 33) dla określenia stopnia obtoczenia ziarn skalnych w technice, nie bez znaczenia jest wielkość tych ziarn. Łatwiej jest bowiem dokonywać makroskopowych obserwacji na ziarnach grubszych niż na drobniejszych, dlatego koniecznym staje się powiększanie konturów ziarn piasku za pomocą powiększalnika fotograficz-

nego, a następnie utrwalanie ich kształtu na papierze fotograficznym; — i na tym właśnie polega zaproponowana przeze mnie metoda badania morfologii ziarn piasku.

W metodzie tej, przy opracowywaniu materiału, stosuję następującą kolejność:

1) odważenie 200 g próbki osadu i przygotowanie jej do rozdzielania na frakcje za pomocą sit kalibrowych,

2) ustalenie składu granulometrycznego w obrębie psamitów w stosunkach ciężarowych i w procentach,

3) próbkę piasku drobnoziarnistego (frakcja 0,6—1,0 mm) kilkakrotnie przemywamy wodą i suszymy w celu usunięcia z niej części mułkowych i ilastych, przylepionych do powierzchni ziarn. W przypadkach koniecznych należy stosować także słaby roztwór HCl,

4) część nieprzesianej próbki piasku oglądamy pod lupą binokularną, podając dla charakterystyki osadu jej krótki opis, w którym uwzględniamy: a) kształt i charakter powierzchni ziarn piasku, b) obecność agregatów mineralnych (np. kwarc + skałen, kwarc + mika) lub drobnych ziarn skalnych (np. granitów), c) stopień obróbki krzemianów, d) obecność lub brak łyszczyków, e) występowanie okruców opoki (lub wapieni), f) obecność glaukonitu,

5) następnie z badanej próbki piasku frakcji 0,6—1,0 mm nasypujemy na specjalnie oklejone tekturką płytki szklane lub celofanowe z wyciętym okrągłym „oczkiem” przeciętnie po 20 ziarn. Po czym płytki umieszczamy kolejno w powiększalniku fotograficznym, zupełnie w taki sam sposób, jakbyśmy zakładali błonę filmową. Rzutujemy na papier fotograficzny kontury ziarn, stosując dziesięciokrotne powiększenie. Cała czynność przebiega zupełnie analogicznie do procesu wykonywania powiększeń fotograficznych. Po naświetleniu papier fotograficzny wywołujemy, a następnie utrwalamy zdjęcia, po czym ziarna z płytek zsypujemy z powrotem do próbówki. Najwygodniej jest po ustaleniu czasu naświetlania wykonać od razu kolejno z badanej próbki osadu 50—100 zdjęć, a później je dopiero wywoływać i utrwaląć.

6) ilość ziarn kanciastych, częściowo obtoczonych i obtoczonych obliczamy z wykonanych zdjęć fotograficznych ziarn piasku, następnie ustalamy ich wzajemny stosunek procentowy (porównaj ryc. 4, 5 i 6),

7) w taki sam sposób obliczamy stosunki procentowe wśród ziarn obtoczonych na podstawie charakteru ich powierzchni, wyodrębniając trzy grupy ziarn: a) ziarna matowe, b) półmatowe i c) o szklistej

powierzchni przezroczyste. Jak widać na zamieszczonym zdjęciu (ryc. 2) te trzy rodzaje ziarn można łatwo odróżnić,

8) końcowym etapem opracowania materiału jest liczbowe lub graficzne zestawienie wyników badań oraz wyciągnięcie odpowiednich wniosków.

Nowością w stosowanej przeze mnie metodzie opracowania morfologii ziarn piasku jest wykorzystanie do tego celu powiększalnika i papieru fotograficznego, na którym utrwała się kształt i charakter powierzchni ziarn. W taki sposób uzyskujemy fotografie ziarn piasku w dowolnym powiększeniu. Zdjęcia takie można łącznie z opisami próbek osadu zamieszczać w pracach drukowanych, charakteryzując one dokładniej rodzaj osadu, aniżeli podawane dotychczas opisy morfologii ziarn. A często w pracach publikowanych nie ma nawet opisu morfologii ziarn, a są tylko same zestawienia liczbowe, odnoszące się procentowego udziału ziarn wykazujących różny stopień obróbki mechanicznej w badanym osadzie. Wiadomo bowiem, że nawet najdokładniejszy opis nie zastąpi fotografii ziarn piasku, które wykonujemy w powiększeniu. Dobrą stroną tej metody jest także to, że wyniki badań przedstawione za pomocą liczb mogą być zawsze sprawdzone na podstawie załączonych zdjęć, nawet w przypadku, gdy zajdzie pomyłka przy ustalaniu procentowego udziału ziarn, wykazujących różny stopień obróbki mechanicznej.

Do wykonania analizy stopnia obróbki mechanicznej ziarn piasku przy pomocy metody, którą nazwać można by „powiększalnikową” potrzebne są następujące przedmioty:

1) powiększalnik fotograficzny, najwygodniejszy w użyciu „Krokus”, produkcji polskiej W.Z.F.O.,

2) oklejone tekturką płytki szklane lub celofanowe z wyciętym „oczkiem” o średnicy 0,6 mm (można także wyciąć w tekturkach oczka większe np. o średnicy 1 cm),

3) próbki szklane na próbki piasku,

4) penseta oraz pędzelek do równomiernego rozłożenia ziarn na „oczku”,

5) papier fotograficzny (np.: Brom 34°, twardy, niebiesko-biały, błyszczący, gładki) oraz wywoływacz drobnoziarnisty i utrwalacz.

Do sposobu opracowywania materiału, który został opisany pod punktem 5-ym należy dodać tylko to, że czas naświetlania oczywiście trzeba dostosować do czułości używanego papieru fotograficznego. Na-

stępnie wywołujemy i utrwalamy zdjęcia, które są jak gdyby negatywem 10-krotnie powiększonego obrazu ziarn piasku.

W przypadku, gdy robimy jednego dnia zdjęcia różnych próbek piasku, należy uprzednio wpisać na papierze fotograficznym po stronie nie pokrytej emulsją, w ciemni, przy czerwonym świetle numery próbek, które będą fotografowane.

Obrazy ziarn kwarcu, których powierzchnia jest matowa, na zdjęciu są prawie białe, natomiast ziarna o powierzchni szklistej (przeźroczyste) są niemal czarne, i wyraźnie widać ich kontury, (porównaj ryc. 2 i ryc. 3).

Minerały akcesoryczne, nieprzeźroczyste i drobne okruchy skal, glaukonit, okruchy opoki, tlenki żelaza itd. dają na zdjęciu fotograficznym obrazy zupełnie białych plam. Ponieważ występują one w piaskach zwykle w niewielkiej ilości, obliczenie liczby ziarn matowych w badanej próbce osadu nie jest obdarzone dużym błędem.

Rozpatrując charakter powierzchni ziarn, wystarczy brać pod uwagę tylko ziarna dobrze obtoczone i wśród nich ustalić procentowy stosunek między ziarnami matowymi, półmatowymi i ziarnami o szklistej powierzchni (przeźroczystymi).

Ponieważ stosunki procentowe pomiędzy ziarnami wykazującymi różną obróbkę mechaniczną, ustalamy na podstawie ich fotografii (w 10-krotnym powiększeniu), obliczanie ilości poszczególnych rodzajów ziarn nie jest zupełnie męczące, bowiem wielkość ziarn na fotografiach odpowiada rozmiarom żwiru o wymiarach 0,6—1,0 cm. Ze zdjęć łatwiej można analizować kształt ziarn, a poza tym czynność tę możemy wykonywać w każdej dogodnej dla nas pozycji a nie w pozycji pochylonej, co było bardzo męczące, w szczególności gdy opracowywano dużą ilość próbek piasku.

Ilości ziarn o różnym stopniu obtoczenia ustalamy w ten sposób, że obliczamy najpierw ziarna dobrze obtoczone i na każdym zdjęciu zwykłym miękkim ołówkiem zaznaczamy kreską ziarna tego typu. Następnie obliczamy ilość ziarn kanciastych, i w podobny sposób oznaczamy je na zdjęciach np. krzyżykami. Ilość ziarn o obróbce pośredniej otrzymujemy w ten sposób, że od ogólnej liczby ziarn zamieszczonych na zdjęciach odejmujemy sumę ziarn kanciastych i obtoczonych. Podobne obliczenia wykonujemy przy wydzielaniu ziarn matowych, przeźroczystych i półmatowych.

Ustalając stosunki procentowe pomiędzy ziarnami różnie obtoczonymi można dla ułatwienia sobie pracy posługiwać się na przykład specjalnie do tego celu zestawioną trzystopniową skalą obróbki mechanicznej ziarn (ryc. 1). Można by też dla ustalenia stopnia obtoczenia ziarn zastosować metodę bardziej dokładną, np. metodę A. C a i l l e u x (2 str. 12), za pomocą której ustala on stopień zaokrąglenia otoczków. Można by również posłużyć się sposobem W a d e l l a (1932), który stopień obtoczenia okruchów skalnych wyraża stosunkiem średniej wielkości promienia koła, wpisanego w zaobserwowane na rozpatrywanym przekroju naroże do największego promienia koła wpisanego w badany przekrój.

Uważam jednak, że w badaniach nad morfologią ziarn piasku wystarczy zupełnie posługiwać się tylko trzystopniową skalą obtoczenia ziarn, jak również trzystopniową skalą odzwierciedlającą charakter powierzchni ziarn dobrze obtoczonych.

Natomiast pięciostopniowa skala L. B. R u c h i n a (9, str. 408) w praktyce do tego rodzaju badań nie nadaje się, ponieważ wyróżnione przez niego pośrednie typy ziarn w istocie tak mało między sobą się różnią, że przy jej zastosowaniu uzyskane wyniki obarczone będą większym błędem niż przy użyciu skali trzystopniowej.

Ostatni wreszcie aspekt opracowanej przeze mnie metody badania morfologii ziarn piasku, to niewielki koszt badań w stosunku do możliwości uzyskania wyników, np. dla wykonania dokładnej analizy próbki z jednego typu osadu wystarczy wykonać od 50 do 100 zdjęć — a więc sfotografować 1000 do 2000 ziarn, co trwa przy dobrze zorganizowanej pracy najwyżej 2—3 godziny, przy czym koszt zużytego materiału fotograficznego nie przekracza w zasadzie 20 zł.

Na zakończenie chciałbym podkreślić, że metodą tą można wykonywać zdjęcia także i z osadu piaszczystego, który nie został rozdzielony na frakcje (ryc. 3), i że zdjęcia tego typu są również korzystne dla rozwiązywania zagadnień sedymentologicznych.

L I T E R A T U R A

- 1 Bobrowski W. — Ocena wielkości i stopnia otoczenia ziarn skalnych. Przegląd Geologiczny. Z. 8, listopad 1953.
- 2 Cailleux A. — Morphoskopische Analyse der Geschiebe und Sandkörner und ihre Bedeutung für die Paläoklimatologie. Geologische Rundschau. H. 1, B. 40. Stuttgart 1952.

3. Gołąb J. — Zasady zdjęć geologicznych. Katowice 1951.
4. Hatch, F. H., Rastall, Maurice Black. — The Petrology of the Sedimentary Rocks. London 1950.
5. Keil K. — Ingenieurgeologie und Geotechnik. Halle (Saale) 1951.
6. Krygowski B. — Bericht über eine neue Methode der Selektion der Sandkörner nach ihrem Rundungsgrade. (O nowej metodzie rozdzielania ziarn piasku według stopnia ich zaokrąglenia). Arch. Prac. Min. TNW. T. 13. Warszawa 1937.
7. Krygowski B. — Badania nad czwartorzędowym materiałem klastycznym przy pomocy metod geologiczno-petrograficznych. — Untersuchungen klastischer quartärer Materiale mittels geologisch-petrographischer Methoden. Bull. de l'Ac. Pol., de Sc. et Lett. cl. Sc. Math. et Nat. S: A' Cracovie 1938.
8. Morawski J. — Znaczenie morfologii ziarn kwarcu dla badań terenowych. Przegląd Geologiczny. Z. 2. Luty 1956.
9. Ruchin L. B. — Osnovy litologii. Leningrad—Moskwa 1948.
10. Syniewska J. — Próba analizy piasków środowiska wodnego i eolicznego. Kosmos A. T. 54. Lwów 1929.
11. Szwecow M. S. — Petrografija osadoczných porod. Moskwa 1948.
12. Trembaczowski J. — Próba wyjaśnienia pochodzenia piasków plaży i wydmi w Puławach. Ann. Univ. M. Curie Skłodowska. Sectio B. T. III. Lublin 1948.
13. Trembaczowski J. — Profil dyluwialny w Klementowicach k. Puław. Ann. Univ. M. Curie Skłodowska. Sectio B. T. VII. Lublin 1952.
14. Turnau-Morawska M. — Petrografia skał osadowych. Warszawa 1954.
15. Turnau-Morawska M. — Znaczenie analizy minerałów ciężkich w rozwiązywaniu zagadnień geologicznych. Acta. Geol. Vol. V/3. Warszawa 1955.

Р Е З Ю М Е

Анализ морфологии зерен песка, происходящего из разных четвертичных отложений, имеет для общих геологических заключений большее значение, чем минеральный состав песка.

Исследования (12) показали, что моренные, пляжевые и дюнные пески имеют почти идентичный комплекс тяжелых минералов, среди которых доминирует гранат, а рядом с ним выступают: рутил, циркон, турмалин, ставролит, дистен, пироксен и амфибол.

Так как геологические заключения можно делать на основании морфологических признаков зерен песка, а эти признаки зависят от степени их механической обработки, поэтому автором разработан простой метод обследования зерен песка при помощи фото-увеличения.

В работах по морфологии зерен песка применялись в Польше до настоящего времени преимущественно два метода:

1) первый метод, применяемый большинством исследователей, основан на непосредственном осмотре образцов песка под бинокулярной лупой или под микроскопом и на подсчитывании числа зерен частично окатанных, а затем на сопоставлении полученных результатов при помощи таблиц или диаграмм.

2) второй упрощенный метод, основанный на использовании специально сконструированного для этой цели распределителя, разработан Б. Крыговским (6). Для распределения зерен песка с разной степенью механической обработки применяется наклонная плоскость (плитка), исходя из предпосылки, что, чем менее окатаны механически зерна, тем позднее они будут скатываться по мере того, как будет увеличиваться угол наклона плоскости к горизонту.

Б. Крыговский на этом основании выделяет три группы зерен:

- а) хорошо окатанные зерна, которые будут скатываться по плоскости уже при ее наклонности от $0-10^\circ$ по отношению к горизонтальной плоскости,
- б) менее окатанные зерна скатываются при наклоне $10-15^\circ$,
- в) угловатые зерна (наиболее слабо окатанные) скагывающиеся, когда угол наклона превышает 15° .

Полученные результаты иллюстрирует Крыговский при помощи диаграмм.

Эти методы, как впрочем и все методы исследовательские, имеют свои достоинства и недостатки. Метод Б. Крыговского более простой и требует менее времени. Его отрицательной чертой является необходимость дополнительных исследований при помощи бинокулярной лупы или микроскопа в случае, если хотим подсчитать например среди окатанных зерен процентное соотношение зерен матовых, полуматовых и полированных, а ведь эти признаки в большой степени позволяют разузнать седиментационный режим. Кроме того, в случае ошибки незамеченной сразу же при подсчитывании количественного соотношения отдельных типов зерен, проверку числовых данных можно получить лишь на основании повторного анализа того же образца.

Так как в технике для определения степени окатанности зерен большую роль играет их величина, легче производить макроскопические наблюдения на больших зернах, чем на малых и поэтому возникает необходимость увеличить контуры зерен песка при помощи фото-увеличителя, а затем закрепить их

форму на фотографической бумаге; — именно на этом основывается новый метод исследования морфологии зерен песка.

В этом методе при разработке материала следует соблюдать следующую последовательность:

1) отвешивание 200 г. пробы осадка и приготовление ее для разделения на фракции при помощи калиберных сит (грохот),

2) определение гранулометрического состава в пределах псамитов в весовых соотношениях и в процентах,

3) пробу мелкозернистого песка (0,6 — 1,0 мм) несколько раз перебивают водою и сушат с целью удалить из него илистые частицы, прилипшие к поверхности зерен. В случае необходимости следует применять также слабый раствор HCl,

4) часть непросеянной пробы песка осматривают под бинокулярной лупой, отмечая для характеристики осадка ее короткое описание, в котором следует учесть: а) форму и характер поверхности зерен песка, б) наличие минеральных агрегатов (например кварц + полевой шпат, кварц + слюда), или мелких обломков пород (например гранитов), в) степень обработки силикатов, г) наличие или отсутствие слюд, д) наличие обломков „опоки” или известняков, е) наличие глауконита.

5) затем из исследуемой пробы песка фракции 0,6—1,0 мм берем по 20 зерен (вереднем) и помещаем их на стеклянные или целлофановые плитки оклеенные картоном с вырезанным круглым „глазком”. Эти плитки в определенном порядке помещаем в фото-увеличителе таким же образом как закладываются фотопленки. Контуры зерен проектируем на фотобумагу увеличив их десятикратно. Весь процесс проходит аналогично процессу фотографических увеличений. После освещения, фотобумагу подвергаем действию фиксажной соли, а затем закрепителя. Зерна из плиток ссыпаются обратно в пробирку. После определения времени освещения выгоднее всего сразу-же сделать по очереди из исследуемой пробы осадка 50—100 снимков, и потом лишь фиксировать и закреплять,

6) количество угловатых зерен, частично окатанных и хорошо окатанных, подсчитываем на фотоснимках, затем определяем их взаимное процентное соотношение (смотри рис. 4, 5 и 6),

7) таким-же образом вычисляем процентные соотношения среди окатанных зерен на основании характера их поверхности, выделяя три группы зерен: а) зерна матовые, б) полуматовые и в) со стекловидной поверхностью (прозрачные). Как видно на

приложенном снимке (рис. 2) эти три рода зерен можно легко отличить друг от друга,

8) конечным этапом разработки материала является численное или графическое сопоставление результатов исследований, а также геологические заключения.

Новостью применяемого мною метода исследования морфологии зерен песка является использование для этой цели фотоувеличителя и фотобумаги, на которой закрепляется форма и характер поверхности зерен. Таким образом получаем фотографию зерен песка в любом увеличении. Такие снимки можно вместе с описаниями образцов осадка помещать в научных трудах, они характеризуют род осадка лучше, чем применяемые до настоящего времени описания морфологии зерен. Часто в научных трудах нет даже описания морфологии зерен — лишь самые численные сопоставления, относящиеся к процентному участию зерен с разной степенью механической обработки в исследуемом осадке. Общеизвестно, что даже наиболее подробные описания зерен не заместят фотографий зерен песка, которые мы можем увеличить. Положительной стороной этого метода является также и то, что результаты исследований, представленные при помощи чисел, всегда могут быть проверены на снимках, даже в случае ошибки при определении процентного участия зерен с разной степенью механической обработки.

Для произведения анализа степени механической обработки зерен при помощи метода, который может быть назван „увеличительным” нужны следующие предметы:

1) фотографический увеличитель; наиболее выгодным в работе является „Krokus” польского производства.

2) оклеенные картоном стеклянные или целлофановые прозрачные плитки с вырезанным „глазком” диаметром в 6 мм (можно также вырезать в картоне глазки больших размеров напр. диаметром в 1 см),

3) стеклянные пробирки для образцов песка,

4) пинцет а также кисть для равномерного размещения зерен на „глазке”,

5) фотографическая бумага (например Бром 34°, твердый, сине-белый, блестящий, гладкий) а также фиксажная соль и закрепитель.

К 5-му пункту следует добавить лишь то, что время освещения, конечно, зависит от чувствительности данной фотобумаги.

Далее фиксируем и закрепляем снимки, которые являются как будто негативом 10-кратно увеличенного изображения зерен песка.

В случае если одного и того же дня делаются снимки разных образцов песка следует предварительно отметить на фотографической бумаге на стороне непокрытой эмульсией в темноте, при красном свете, номера образцов, которые будем фотографировать.

Изображения зерен кварца с матовой поверхностью на снимке будут почти белые, зерна же со стекловидной поверхностью (прозрачные) будут на снимке почти черные с хорошо видимыми контурами (смотри рисунок 2 и рис. 3).

Акцессорные непрозрачные минералы и мелкие обломки пород, глауконит, обломки опоки, окиси железа и т. д. дают на фотоснимке изображения совершенно белых пятен. Так как они имеются в песках обычно в ничтожном количестве, то подсчет матовых зерен в исследуемом образце осадка не будет обременен большой погрешностью.

Рассматривая характер поверхности зерен, достаточно обращать внимание лишь на зерна хорошо окатанные и среди них определить процентное соотношение между зернами матовыми, полуматовыми и зернами со стекловидной поверхностью (прозрачными).

Так как процентные соотношения между зернами, имеющими разную механическую обработку, определяем на основании их фотографии (в 10-кратном увеличении), подсчет количества отдельных видов зерен не является мучительным потому, что величина зерен на фотоснимках соответствует размерам 0,6—1,0 см. Из фотоснимков можно анализировать форму зерен, причем работать можно во всякой удобной для нас позиции. Избегаем мучительной (особенно при большом количестве образцов песка) усидчивой работы в согнутой позиции над бинокулярной лупой.

Количество зерен с разной степенью окатанности определяем таким образом, что подсчитываем сперва зерна хорошо окатанные и на каждом снимке отмечаем мягким карандашом зерна этого типа, обозначая их при помощи черточек. Затем подсчитываем количество зерен угловатых и подобным образом отмечаем их на снимках (например при помощи крестиков). Количество зерен со средней окатанностью получим в виде разницы между количеством окатанных и угловатых зерен и суммой всех

зерен, подсчитанных на снимке. Подобный подсчет применяем для выделения зерен матовых, прозрачных и полуматовых.

Несмотря на существование методов очень детального определения степени механической обработки зерен например: метод A. Cailleux 1952 г. (2), Wedell 1932 г., в практике для этой цели достаточно использовать составленную трехстепенную шкалу механической обработки зерен (рис 1).

По отношению к возможности получения результатов для произведения анализа образца одного типа осадка достаточно лишь 50 — 100 снимков — стало быть — сфотографировать 1000 до 2000 зерен, что требует при хорошо организованном труде, по крайней мере 2—3 часа, причем стоимость использованного фотографического материала не превысит 20 злотых.

В заключении мне хочется подчеркнуть, что при помощи этого метода можно производить снимки из песчанистого осадка, который не был разделен на фракции (рис. 3), а снимки такого типа имеют свою ценность при седиментологических проблемах, так как они хорошо отражают характер осадка.

СПИСОК РИСУНКОВ

- Рис. 1. Трехстепенная шкала механической обработки зерен
 А — зерна угловатые
 — „ частично окатанные
 — „ хорошо окатанные.
- Рис. 2. Зерна матовые, полуматовые и зерна со стекловидной (прозрачной) поверхностью из нижнеолигоценовых песков окрестности г. Любартова.
- Рис. 3. Фотографии зерен песка сделанные при помощи фотоувеличителя:
 А — песок морской—нижний олигоцен окрестности г. Любартова,
 В — „ дюнный—неоген окрестности г. Реёвец,
 С — „ речной—голоцен из реки Выжницы, окрестности гор. Юзефув,
 D — „ дюнный из пущи Кампиносской.
- Рис. 4. Зерна песка из моренной глины из окрестности деревни Вулька Ключковицна Фракция 0,6 — 1,0 мм. 10-кратное увеличение.
- Рис. 5. Песок из надпойменной террасы р. Выжницы из окрестности деревни Бур. Фракция 0,6—1,0 мм. 10-кратное увеличение.
- Рис. 6. Дюнный песок из окрестности деревни Италин, фракция 0,0—1,0 мм 10-кратное увеличение.

SUMMARY

Morphological analysis of sand grains derived from various deposits belonging to Quarternary times is a matter of greater importance for drawing general geological conclusions than a mineral composition of sand itself.

On the basis of a number of investigations moraine sands, beach sands and dune sands have been stated to be almost identical in composition of heavy minerals. The most abundant of them is garnet, and other minerals as identified are rutile, zircon, tourmaline, staurolite, disthene, pyroxene and amphibole (13).

Since geological conclusions may be obtained on the basis of some morphological features of sand grains and these features are dependent on the degree of the rounding of grains, the author of this paper worked out a simple method of investigating them by a photographic enlarger.

In tests of the morphology of sand grains two methods have been applied by Polish investigators.

1. The first one applied by a number of investigators involves direct examination of sand grains with the help of a binocular magnifying glass or a microscope. The next step is that of reckoning the discerned grains among which are angular and fairly rounded ones. The quantitative results thus obtained are compared and presented in tables or on diagrams. This is a tedious operation and not quite exact as far as the results of determining the size of sand grains are concerned, especially if one takes into consideration more than a threefold degree of rounding (8). Moreover it takes much time.

2. The second method is simpler. It is worked out by B. Krygowski (6). B. Krygowski based his method on the use of a specially built segregator which is sorting grains of sand with various degree of rounding. The segregator operates similarly to an inclined plane by means of which sand grains variously rounded are sorted. Krygowski assumes that sand grains the less they are rounded the later roll down the plane. The grains with an insignificant degree

of rounding will roll down relatively later accordingly to the increase of the inclination angle. On this evidence B. K r y g o w s k i distinguishes three fractions of sand grains.

- a) sand grains with a pronounced degree of rounding which will already roll down if the inclination angle is 0° — 10° .
- b) sand grains with a moderate degree of rounding which are rolling down if the inclination angle is 10° — 15° .
- c) sand grains angular in shape which are rolling down if the inclination angle is more than 15° .

The results thus obtained are compared by B. K r y g o w s k i by means of diagrams. Both methods are open to criticism on several grounds. Both of them have drawbacks as well as advantages. B. K r y g o w s k i's method is simple and it takes little time. Its most objectionable feature is the necessity of making tests with a binocular magnifying glass or a microscope in case an experimentator wants to know the percentage of lustrous grains, fairly lustrous and dull ones, all of them being detected among the rounded grains. These last features of sands grains are very important because they help much in the recognition of the sedimentary medium.

Another disadvantage of the method is the following one. If an experimentator fails in an immediate detection of an error in calculating the percentage of the particular kinds of sand grains, then he has to repeat the experiment with the same sediment in order to check up quantitative results. Since the size of sand grains is very important for determining the degree of their rounding, and it is easier to make a macroscopic examination of grains larger in size, therefore it is necessary, in the author's opinion, to enlarge the contours of grains by an enlarger and to photograph them. This is, a rough scheme of a new method of morphological analysis of sand grains.

In this method the author discerns the following stages in the process of preparation the material needed for examination:

1. He weighs out 200 g of a sediment and divides it into fractions by sifting.
2. He ascertains himself in regard to the granulimetric composition of psammites as far as their weight and quantity percentage are concerned.
3. He takes a sample of a very fine grained sand (belonging to the fraction 0,6—1,0 mm), washes it several times and dries it up

in order to release it of all silty and slimy material glued to its surface. Sometimes he uses for this purpose a solution of HCl in a very low concentration.

4. Next with the help of a binocular magnifying glass the author examines scrupulously the part of the sample which is not sifted. In the description of the results of this examination he records especially: a) shape and kind of the surface of grains, b) the presence of aggregates, (e. g. quartz + orthoclase, quartz + mica) or possible occurrence of small rocky grains (e. g. granite), c) degree of rounding silicates, d) presence or absence of mica, e) possible appearance of particles of chalk rocks, f) presence of glauconite.

5. Next the experimentator takes some quantity of grains belonging to the fraction 0,6—1,0 mm, puts them on glass plates (plates of cellophane may be used as well) specially framed with cardboard. Each plate has an aperture which may contain about 20 grains. Afterwards the plates are successively put in an enlarger. This procedure resembles much loading a camera. Next comes the operation of projecting the contours of grains on a sensitized paper in tenfold enlargement. The whole process takes place in the way analogous to enlarging in photography. The act of exposure is followed by developing and fixing. After that the grains are put into the glass tube again. This method may be improved by the following indication. In order to facilitate the tedious procedure of making enlargements, any experimentator is advised to take 50—100 pictures at a time and next to develop and fix them.

6. The amount of grains angular in shape, fairly rounded and rounded may be calculated on the basis of the enlarged pictures of sand grains. The next stage in reckoning concerns their mutual comparison calculated in percentage. (Compare figs. 4, 5 and 6).

7. The analogous way of reckoning may be applied to grains with dull, fairly lustrous and lustrous surface within the range of rounded grains. As the picture shows (fig. 2) these three kinds of grains may be easily distinguished.

8. The final stage of the whole process is to compare the quantitative or graphical results in order to draw some geological conclusions.

In the morphological analysis of sand grains the author introduces a modification which includes the use of an enlarger and a bromide

paper. With the help of both of them one gets pictures of sand grains including shape and kind of their surface. This is the best way of getting pictures of grains freely enlarged. The photographs may be inserted in scientific papers with respective descriptions of sedimentary samples. They characterize more accurately the kind of the concerned sediment than any descriptions of morphological analysis included in literature till now. It often happens that scientific papers lack even descriptions of this kind, giving instead some quantitative data concerning the percentage of grains varying in the degree of rounding. It is well known that even the most exact descriptions cannot be replaced by enlarged pictures of sand grains. Moreover the advantage of this method lies in the possibility of checking up at any time the quantitative data presented in diagrams from enlargements, even then, if the percentage of grains in regard to the varied degree of rounding will be vitiated. In order to put into effect the author's method which may be termed an „enlargement method” the following equipment is needed:

1. An enlarger, the best in practice is „Krokus”.
2. Plates of cellophane or glass plates, framed with cardboard, with apertures 0,6 mm in diameter (or with apertures 1 cm in diameter).
3. Glass tubes for keeping sand samples.
4. Pincette and a brush needed for even putting sand grains on the surface of the aperture.
5. Bromide paper 34°, hard, blue-white, smooth, glossy. Fine grain developer and fixing solution.

To the item Nr. 5 must be added the author's advice of the necessity of suiting the exposure time to the degree of the sensitivity of the paper used, to prevent under development or over development. Next comes the process of developing and fixing prints that are quasi negatives of tenfold enlarged pictures of sand grains. In case different samples of sand grains are taken all the same day, an experimentator should put down the numbers of the samples on this side of the paper which is not coated with emulsion. This must be done in a dark room, in a red safelight.

Sand grains with a lustreless surface appear on the negatives white, while lustrous grains are on the negatives almost black and have distinct contours. (Compare figs. 2 and 3).

Accessory minerals with a dull surface and particles of rocks, giauconite and iron oxide appear on the negatives as white places. Since they appear in sand in small quantities, counting them in a sedimentary sample is not tedious and the result obtained is fairly precise.

While examining the surface of grains it suffices to take into consideration only well rounded grains, and to calculate among them the percentage of lustreless, fairly lustrous and lustrous ones. Since the percentage of grains with a varied degree of rounding may be calculated on the basis of prints in tenfold enlargement, the process of fixing the amount of the particular kinds of grains is not tedious. This is due to the fact that the size of grains on the prints corresponds to the actual size of grains belonging to the fraction 0,6–1,0 mm. The negatives of grains help much in the examination of their shape and while doing that one may be comfortably seated. Previous investigation with binocular magnifying glasses requiring a bent position of the person performing them were very tedious especially if a lot of samples were worked upon.

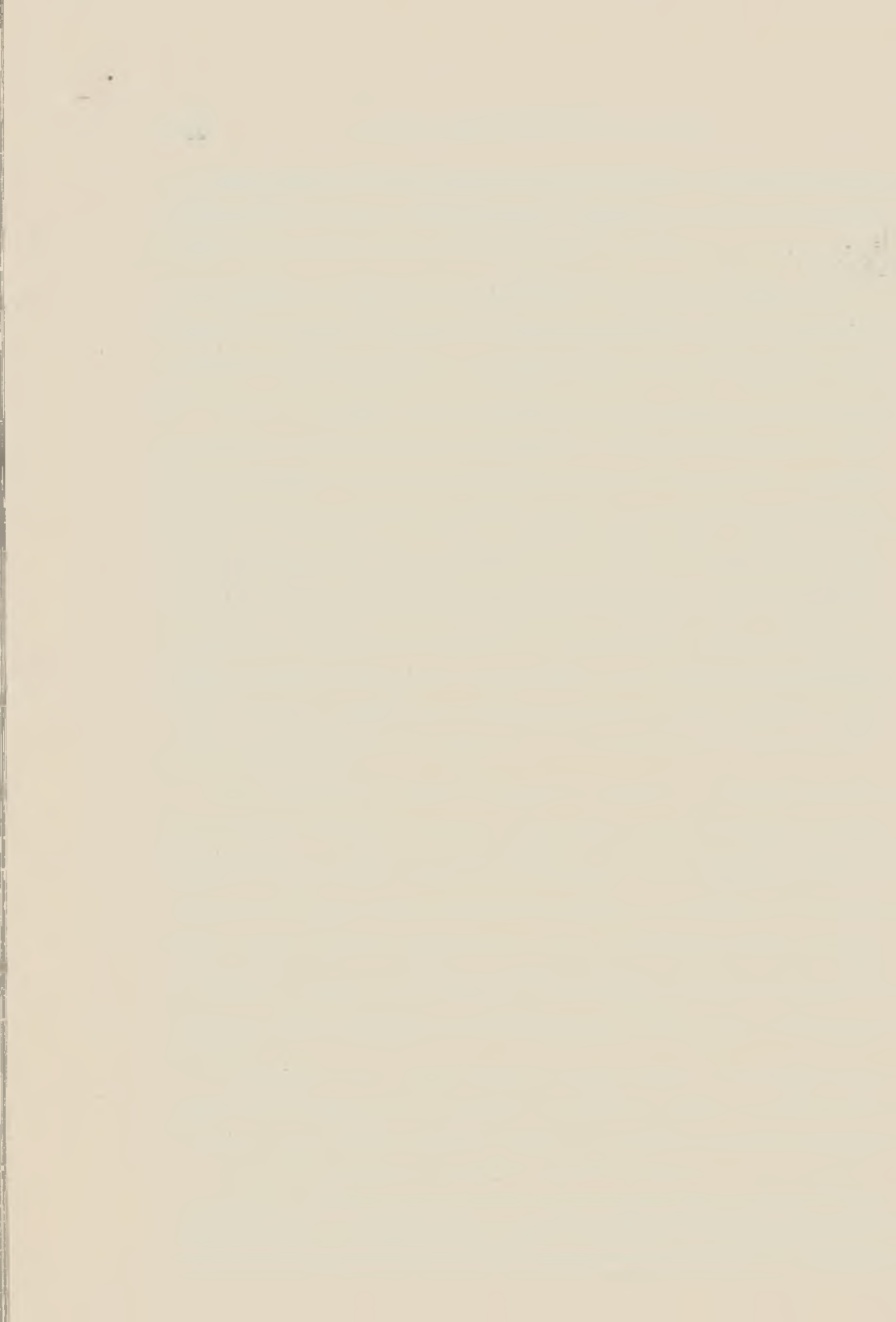
The quantity of grains varying in degree of rounding may be calculated in the following way. First grains with a pronounced degree of rounding are counted. On each print grains of this type are designated with a soft pencil by a mark — for instance. Next angular grains are counted and they are designated on prints by a mark +. If of the total sum of grains those angular and well rounded ones are subtracted then the remaining part will include only the grains with a moderate degree of rounding. The analogous method, simple in practice, may be applied to counting grains dull, fairly lustrous and lustrous.

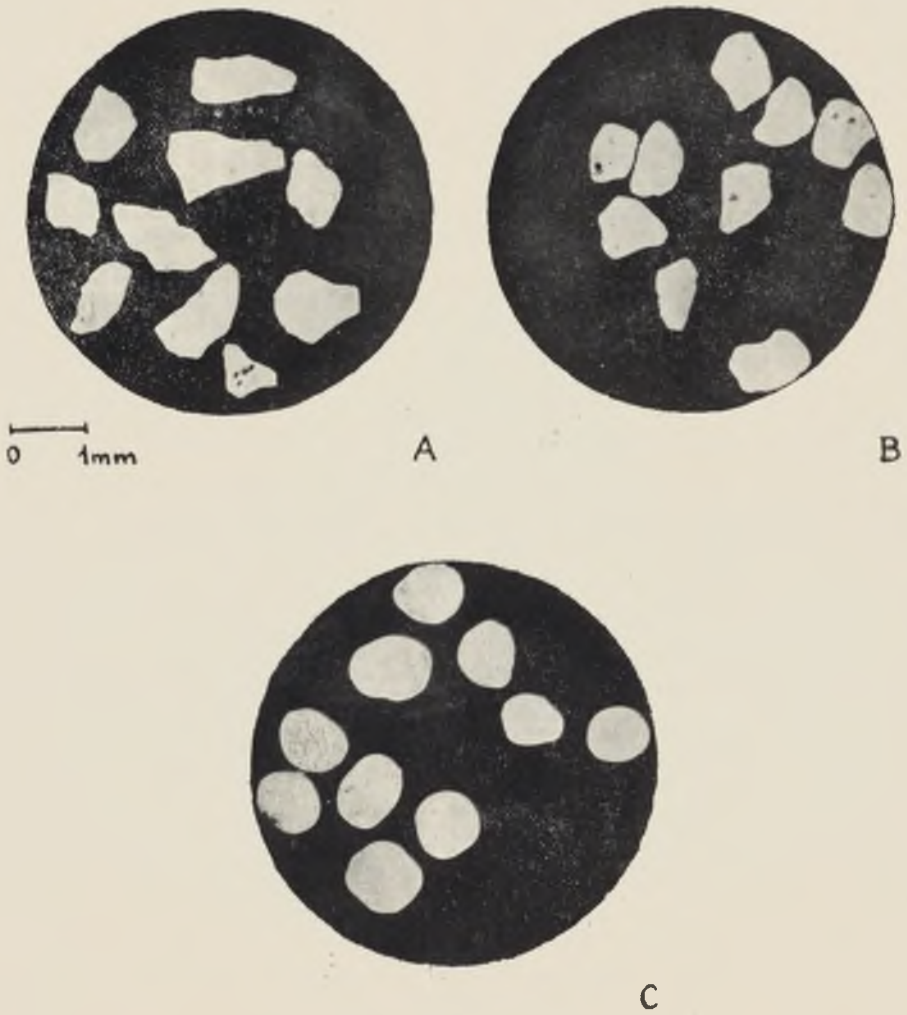
Although there exist systems which enable to designate the degree of rounding very exactly, the author means the method of A. C a i l l e u x 1952 (2) and of W a d e l l (1932), in practice profiting by a threefold degree of rounding suffices. (fig. 1).

In this method good results are obtained by taking 50–100 pictures within the range of the same sediment. This means that the total sum of grains taken ranges between 1.000 and 2.000. Taking

pictures of grains in such amount requires two or three hours of work on the part of a skilful experimentator. The whole procedure is not expensive because the cost of the material does not surpass 20 zlotys.

Concluding the author stresses the fact, that this method may be applied also to taking pictures of a sediment which is not divided into fractions (fig. 3). Such pictures play a considerable role in solving many problems concerning the conditions of sedimentation and sediments because they reflect a character of the latter.





Ryc. 1. Trzystopniowa skala obróbki mechanicznej ziarn.

- A — ziarna kanciaste,
- B — ziarna częściowo obtoczone,
- C — ziarna dobrze obtoczone.

Fot. autor

Fig. 1. Threefold degree of rounding of sand grains.

- A — angular grains
- B — grains fairly rounded.
- C — grains well rounded.

Jan Morawski

Phot. by the author

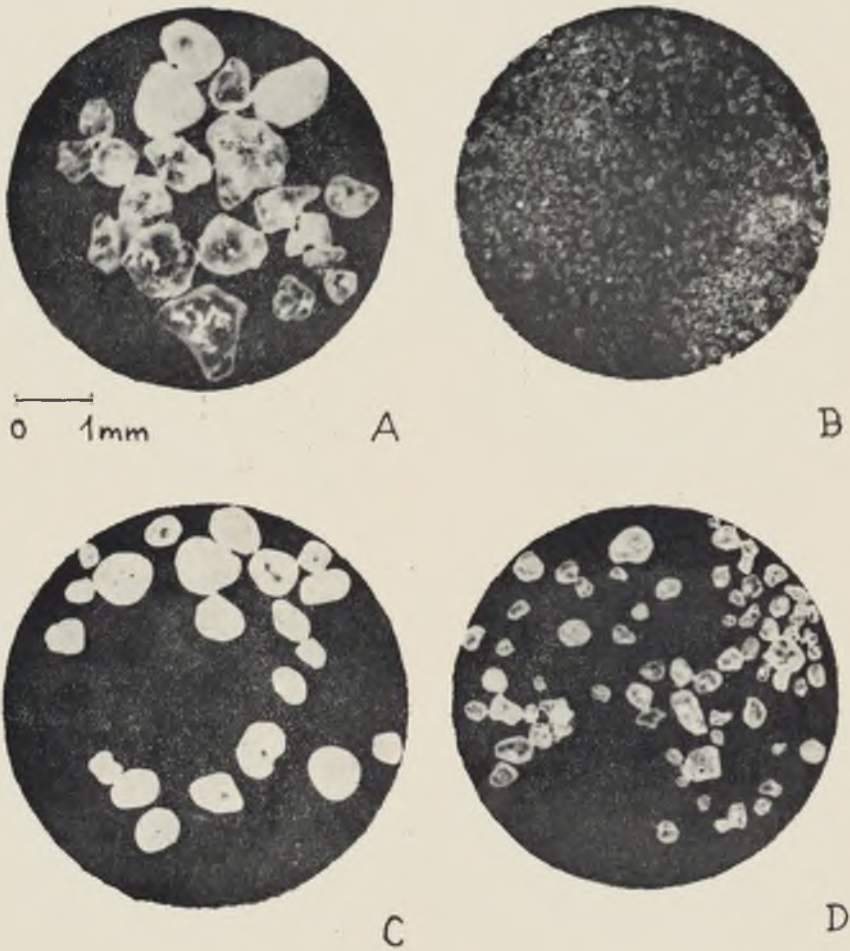


Ryc. 2. Ziarna matowe, półmatowe i ziarna o powierzchni szklistej (przezroczyste) z piasków dolno-oligocenijskich okolicy Lubartowa.

Fot. autor

Fig. 2. Lustreless grains, fairly lustrous and lustrous ones derived from lower oligocene sands in the environs of Lubartów.

Phot. by the author



Ryc. 3. Fotografie ziarn piasku wykonane za pomocą powiększalnika fotograficznego
 A — piasek morski dolno-oligoceniński z okolicy Lubartowa,
 B — piasek wydmy górny trzeciorzęd okolicy Rejowca,
 C — piasek rzeczny holoceniński z rzeki Wyżnicy okolicy Józefowa,
 D — piasek wydmy holoceniński z Puszczy Kampinoskiej.

Fot. autor

Fig. 3. Pictures of sand grains taken by an enlarger.

- A — marine sand — lower oligocene — from the environs of Lubartów.
 B — dune sand — upper tertiary — from the environs of Rejowiec.
 C — fluvial sand — holocene — from the river Wyżnica, in the environs of Józefów.
 D — dune sand — holocene — from the forest Puszcza Kampinowska, near Warsaw.

Phot. by the author



Ryc. 4. Ziarna piasku z gliny morenowej z okolicy Wólki Kluczkowickiej.
Frakcja 0,6—1,0 mm. Powiększenie 10-krotne.

Fot. autor

Fig. 4. Sand grains derived from morainic clay in the environs of Wólka Kluczkowicka. Fraction 0,6—1,0 mm. Tenfold enlargement.

Phot. by the author

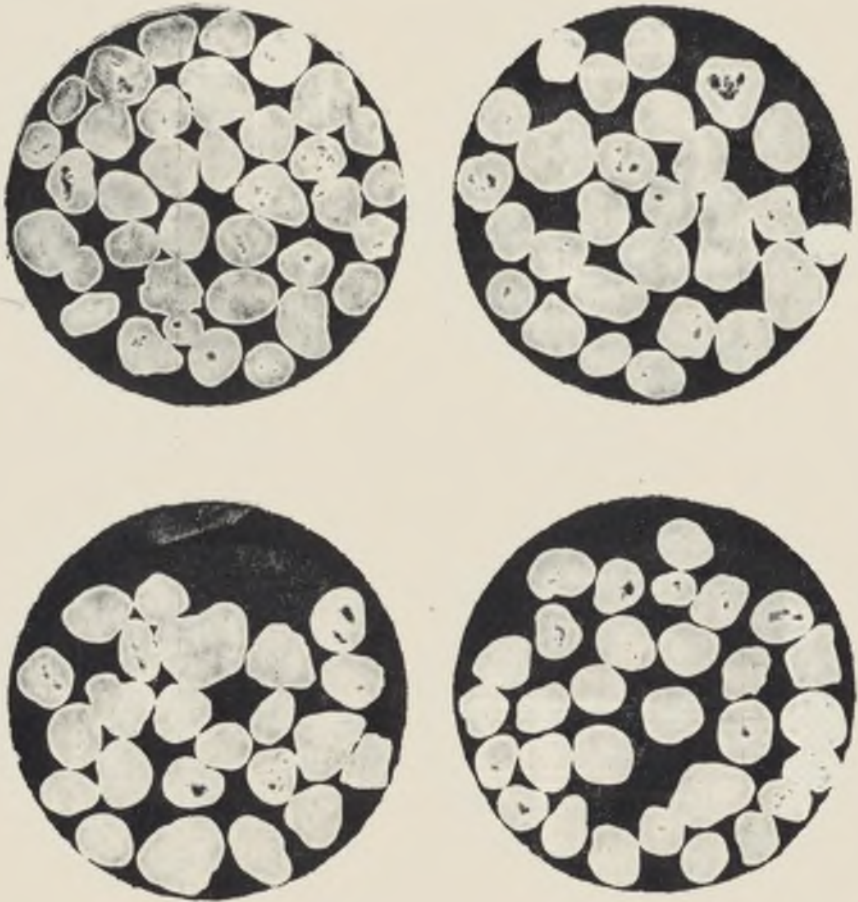


Ryc. 5. Piasek z terasy nadzalewnej Wyżnicy z okolicy wsi Bór.
Frakcja 0,6—1 mm. Powiększenie 10-krotne.

Fot. autor

Fig. 5. Sand derived from the terrace situated above flood horizon of the river
Wyżnica in the environs of the village Bór.
Fraction 0,6—1,0 mm. Tenfold enlargement.

Phot. by the author



Ryc. 6. Piasek wydmy z okolicy wsi Idalin.
Fracja 0,6–1 mm. Powiększenie 10-krotne.

Fot. autor

Fig. 6. Dune sand in the environs of Idalin village.
Fraction 0,6–1,0 mm. Tenfold enlargement.

Phot. by the author