

UKD 552.513:551.732.022 mikrofacje:552.12+549.086:[552.2:681.3(438)

Magdalena SIKORSKA

## Wydzielanie mikrolitofacji w piaskowcach kambru przy użyciu jednej z metod taksonomii numerycznej

Przedstawiono próbę zastosowania jednej z metod taksonomii numerycznej do wydzielenia mikrolitofacji w monotonnym kompleksie piaskowców kambryjskich na przykładzie osadów z otworu wiertniczego Terebiń IG 5. Za podstawę do obliczeń posłużyły wyniki mikroskopowych badań składu mineralnego, cech strukturalnych i teksturalnych. W pracy niezbędne było zastosowanie elektronicznej techniki obliczeniowej. Otrzymane tą drogą wyniki pozwoliły na wydzielenie ośmiu mikrolitofacji.

Osady kambryjskie w polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej reprezentowane są głównie przez piaskowce kwarcowe (arenity), często typu ortokwarcytów, rzadko przez waki kwarcowe. Ich monotonna skład mineralny oraz wysoki stopień dojrzałości teksturalnej i mineralnej stwarzają trudności w klasycznej analizie mikrolitofacjalnej. Termin „mikrolitofacja”<sup>1</sup> oznacza tu zespół cech litologicznych skały opisanych na podstawie badań mikroskopowych. Wobec wzajemnego podobieństwa piaskowców konieczne jest jednoczesne uwzględnienie kilku lub kilkunastu nieznacznie zróżnicowanych parametrów petrograficznych. Wtedy dopiero istnieje szansa, że próbki (w tym przypadku płytki cienkie) reprezentujące podobne typy skał dadzą się sklasyfikować w oddzielne mikrolitofacje. Dla osiągnięcia tego celu, w trakcie badań petrograficznych osadów kambryjskich, postanowiono zastosować jedną z metod taksonomii numerycznej. Wybrano metodę, określaną w literaturze anglosaskiej terminem *cluster analysis*, w której uwzględnia się dane ilościowe i jakościowe. Szczegółowe omówienie tej właśnie metody oraz jej zastosowanie w geologii znaleźć można w pracach G.F. Bonham-Cartera (1965, 1967).

W celu sprawdzenia przydatności opisywanej metody do analizy mikrolitofacjalnej piaskowców kambryjskich postanowiono wykorzystać wyniki dotychczasowych badań petrograficznych osadów kambru z profilu Terebiń IG 5 (M. Sikorska, 1978). Ogólna zasada tej metody polega na doborze próbek o największym

<sup>1</sup> Według Słownika petrograficznego (w druku). Wyd. Geol. Warszawa.

wzajemnym pokrewieństwie, określanym za pomocą współczynników podobieństwa. Wartość ich waha się od 1,0 przy całkowitym podobieństwie do 0,0 przy całkowitym braku podobieństwa między dwiema próbkami. Zdaniem G.F. Bonham-Cartera (1965, 1967) szczególnie użytecznymi miarami podobieństwa dla omawianej tu metody są współczynniki Sokala i Michenera ( $S_{sm}$ ) oraz Jaccarda ( $S_j$ ):

$$S_{sm} = \frac{p+n}{p+n+u}; \quad S_j = \frac{p}{p+u}$$

gdzie:  $p$  – ilość pozytywnych podobieństw pomiędzy dwiema próbkami;  $n$  – ilość negatywnych podobieństw pomiędzy dwiema próbkami;  $u$  – ilość różnic pomiędzy dwiema próbkami.

Przez pozytywne podobieństwo dwóch próbek rozumie się występowanie w nich danej cechy, np.: obecność w obu próbkach okruchów skał. Natomiast gdy w obu brak jest okruchów, mówimy o podobieństwie negatywnym. Współczynnik Sokala i Michenera ( $S_{sm}$ ) uwzględnia ilość podobieństw pozytywnych, negatywnych i różnic pomiędzy próbkami, natomiast współczynnik Jaccarda ( $S_j$ ) nie bierze pod uwagę podobieństw negatywnych. A więc przy obliczaniu wartości współczynnika Jaccarda ( $S_j$ ) wyeliminowane są przypadki, w których pokrewieństwo dwóch próbek wynika z braku w nich danej cechy. Natomiast posługując się wzorem Sokala i Michenera ( $S_{sm}$ ) może się zdarzyć, że przy wyjątkowo dużej ilości negatywnych podobieństw pomiędzy dwiema próbkami, ich współczynnik podobieństwa będzie bardzo wysoki. Dlatego też w badaniach mikrolitofacjalnych piaszczowców kambryjskich postanowiono stosować wzór Jaccarda ( $S_j$ ). Znalezione w ten sposób pary najbardziej podobnych do siebie próbek są następnie łączone między sobą, zgodnie z wzorem:

$$S_{ab,cd} = \frac{S_{ac} + S_{ad} + S_{bc} + S_{bd}}{4}$$

gdzie:  $S$  – współczynnik podobieństwa;  $ab, cd$  – symbole dwóch par próbek:  $a, b, c, d$ .

Ponadto pary podobnych do siebie próbek łączone są z podobnymi do tych par pojedynczymi próbkami według wzoru:

$$S_{ab,e} = \frac{S_{ae} + S_{be}}{2}$$

gdzie:  $e$  – symbol pojedynczej próbki.

W wyniku procedury, której opis wykracza poza ramy niniejszego artykułu otrzymuje się wykres – dendrogram ukazujący wzajemne powiązania analizowanych próbek składających się na szereg wiązek (ang. *cluster*). Każda wiązka skupia próbki podobne do siebie. Natomiast poszczególne wiązki, choć także wykazują mniejsze lub większe podobieństwo, różnią się między sobą.

Sklasyfikowanie wielu próbek w przedstawiony tu sposób wymaga ogromnej ilości żmudnych obliczeń. Z tego powodu omawiana metoda może być stosowana jedynie przy użyciu elektronicznej techniki obliczeniowej. W jednej ze swych prac G.F. Bonham-Carter (1967) podał gotowy program obliczeń w języku FORTRAN IV. Program ten okazał się jednak nieprzydatny w zestawieniu z technicznymi możliwościami obliczeniowymi w Instytucie Geologicznym. Opracowania całkiem nowego programu na maszynę liczącą typu PDP 11/45 podjął się dr P. Stenzel z Zakładu Informatyki IG. Napisany przez niego komputerowy program CLUSTJ można wykorzystywać do różnego typu badań geologicznych. Program ten z przy-

czyn obiektywnych ograniczył ilość jednorazowo rozpatrywanych próbek do 89.

W pracy wykorzystano materiał petrograficzny obejmujący wyniki badań piaskowców kambryjskich, reprezentowanych przez 86 płytek cienkich. W każdej z nich określono 14 cech w oparciu o badania składu mineralnego, struktury i tekstury skały na podstawie obserwacji mikroskopowych z zastosowaniem punktowej analizy planimetrycznej. Niektóre cechy określone są ilościowo (procentowy udział sześciu składników mineralnych, wielkość maksymalnego i najczęstszego ziarna kwarcu oraz różnica między nimi wyrażona w mm) lub półilościowo (obecność spoiwa regeneracyjnego), a niektóre opisowo (zawartość okruchów skał, obtoczenie i kulistość ziarn oraz rodzaj inwersji teksturalnej). Wszystkie obserwacje petrograficzne opisuje się numerycznie systemem jedyńkowo-dwójkowym, przy czym „1” oznacza brak danej cechy w próbce, a „2” jej obecność. W najprostszym przypadku, gdy ograniczamy się do stwierdzenia czy dana cecha (np. obecność okruchów skalnych) występuje czy nie, do jej opisania wystarczy dwa stopnie, a mianowicie: jedynka oznacza brak cechy, a dwójka jej obecność w badanej próbce (tab. 1). Jeżeli natomiast dana cecha jest bardzo zróżnicowana, charakteryzujemy ją kilkoma stopniami, tj. różnymi kombinacjami jedynek i dwójek. Zachodzą wówczas dwa różne przypadki: a) gdy stopnie danej cechy układają się w logicznym porządku, b) gdy tego porządku nie ma.

Tabela 1

Schemat kodowania danych petrograficznych

Cecha skały	Stopnie cechy	Kod	Nr pozycji na karcie
Zawartość kwarcu (%)	nb 0,0	1 1	1
	ob 0,0–95,0	2 1	2
	l >95,0	2 2	
Zawartość skaleni (%)	nb 0,0	1 1	3
	ob 0,0–0,3	2 1	4
	l >0,3	2 2	
Zawartość łyszczyków (%)	nb 0,0	1 1	5
	ob 0,0–1,0	2 1	6
	l >1,0	2 2	
Zawartość glaukonitu (%)	nb 0,0	1 1	7
	ob 0,0–2,0	2 1	8
	l >2,0	2 2	
Zawartość min. ilastych (%)	nb 0,0–0,3	1 1	9
	ob 0,3–10,0	2 1	10
	l >10,0	2 2	
Zawartość węglanów (%)	nb 0,0–0,3	1 1	11
	ob 0,3–10,0	2 1	12
	l >10,0	2 2	

Zawartość okruchów skał (%)	nb ob	0,0 >0,0	1 2	13
Wielkość maksymalnego ziarna kwarcu (mm)		<0,06	111	14
		0,06 – 0,30	211	15
		0,30 – 0,80	221	16
		>0,80	222	
Wielkość najczęstszego ziarna kwarcu (mm)		<0,06	111	17
		0,06 – 0,12	211	18
		0,12 – 0,24	221	19
		>0,24	222	
Różnica: max – najcz. ziarno kwarcu (mm)		0,00 – 0,03	111	20
		0,03 – 0,20	211	21
		0,20 – 0,70	221	22
		>0,70	222	
Stopień obtoczenia ziarn		ostrokrawędziste	112	23
		półobtroczone	121	24
		obtroczone	211	25
Kulistość ziarn		niekuliste	12	26
		kuliste	21	27
Rodzaj inwersji teksturalnej		drugi	211	28
		piąty	121	29
		brak	112	30
Obecność spoiwa regeneracyjnego		regeneracyjne	22	31
		regeneracyjne + inne	21	32
		brak spoiwa reg.	11	

Uwagi: nb – nieobecny, ob – obecny, l – liczny.

Pierwsza z tych możliwości zachodzi podczas kodowania zawartości procentowej składników mineralnych, udziału spoiwa regeneracyjnego oraz parametrów uziarnienia. Dla określenia ilości poszczególnych minerałów w próbce przyjęto trzy stopnie (zakresy) ich występowania: liczne, obecne i nieobecne, przypisując im jednocześnie przedziały wielkościowe (w %). Ich rozpiętość uzależniona jest od ilości danego minerału w badanych skałach. I tak np. kwarc uznany został za licznie występujący, gdy stanowi powyżej 95% skały, natomiast, bardzo rzadkie w tych piaskowcach, skalenie już w ilości ponad 0,3% uważane są za liczne. Poszczególne stopnie zakodowano w następujący sposób: nieobecny 11, obecny 21, liczny 22. W przypadku uziarnienia skał także utworzono stopnie, a mianowicie: dla najczęściej pojawiającego się ziarna kwarcu ustalono przedziały w oparciu o ogólnie stosowany podział skał okruchowych na frakcje: <0,06 mm; 0,06 – 0,12 mm; 0,12 – 0,24 mm i >0,24 mm. Zostały one odpowiednio zakodowane: 111, 211, 221 i 222. Przedziały dla wielkości maksymalnego ziarna kwarcu i dla różnicy pomiędzy maksymalnym a najczęstszym ziarnem kwarcu utworzono arbitralnie, biorąc jedynie pod uwagę zakres, w jakim te wartości zwykle występują w badanych piaskowcach.

W omawianych powyżej przypadkach istnieje zasada, że jeżeli dana cecha posiada  $x$  stopni, to do zakodowania każdego z nich potrzeba  $(x-1)$  dwójek, jedynek lub ich kombinacji. Przy pięciu stopniach zapis będzie miał postać: 2222, 2221, 2211, 2111, 1111.

Inaczej przebiega kodowanie, gdy stopnie dla poszczególnych cech nie tworzą logicznego porządku, jak to ma miejsce przy opisowym określaniu typów inwersji teksturalnej (wg R. Folka, 1968), kulistości czy stopnia obtoczenia. W tym przypadku poszczególne stopnie dla danej cechy wykluczają się, a ich znaki kodowe mogą zawierać tylko jedną dwójkę i to za każdym razem na innym miejscu np.: próbka, w której stwierdzono występowanie inwersji teksturalnej typu drugiego będzie zakodowana jako 211, próbka z inwersją typu piątego jako 121, a w przypadku braku inwersji jako 112. Obtoczenie zostało celowo wymienione w tej grupie cech, choć stanowi w niej nietypowy przypadek. W sposobie kodowania danych, z uwagi na specyfikę analizowanych cech, istnieje pewien margines swobody, z którego tu skorzystano. Wydzielone trzy stopnie obtoczenia, wskazujące kolejno na przewagę ziarn obtoczonych, półobtoczonych lub ostrokrawędzistych, dają się ułożyć w logicznym porządku. Jednak w trakcie kodowania potraktowano je tak, jakby wymieniona możliwość nie istniała. W ten sposób poszczególne stopnie wykluczają się wzajemnie, co podkreśla zmiany w obtoczeniu ziarn badanych piaskowców.

Przy ustalaniu stopni dla danej cechy należy zawsze pamiętać, że ich ilość ma wpływ na wagę tej cechy, tzn. że im więcej ma ona stopni, tym większy będzie miała wpływ na wartość współczynnika podobieństwa.

W tabeli 1 przedstawiono zastosowany schemat kodowania poszczególnych cech z uwzględnieniem podziału na stopnie. W kolumnie czwartej znajdują się numery wskazujące kolejne miejsce na karcie perforowanej. Każdej próbce, tj. płytce cienkiej odpowiada jedna karta. Jak wynika z tabeli 1 całkowita charakterystyka petrograficzna pojedynczej próbki, w przyjętym tu jedyńkowo-dwójkowym systemie kodowania, zajmuje 32 kolumny.

Rezultaty obliczeń wykonanych przez elektroniczną maszynę liczącą otrzymano w postaci macierzy podobieństw liczonych według wzoru Jaccarda oraz wartości współczynników podobieństwa ( $S_j$ ) dla poszczególnych par próbek pogrupowanych w wiązki. Wyniki zostały przedstawione również graficznie w formie wydrukowanego dendrogramu, na którym najlepiej widać podobieństwo poszczególnych próbek, ich par i całych wiązek między sobą. Na fig. 1 umieszczono fragment dendrogramu otrzymany dla piaskowców kambru z profilu Terebin IG 5. Na osi poziomej odczytuje się wartość współczynnika podobieństwa pomiędzy połączonymi próbkami. Dokładne wartości dla danej próbki umieszczone są z prawej strony, obok jej numeru. Jak widać na zamieszczonym dendrogramie, największe podobieństwo (wartość współczynnika równa 1,0000) istnieje między próbkami 74 i 82 oraz 78 i 83. Wiązki próbek wykazują natomiast dużo mniejsze pokrewieństwo między sobą. Wartość współczynnika podobieństwa dla wiązek obejmujących próbki 10, 24, 74, 82 oraz 17, 63, 62 wynosi tylko 0,7942. W poszczególnych wiązkach lub ich zespołach zgrupowane są próbki o bardzo podobnych cechach mineralnych, teksturalnych i strukturalnych, a więc należy przypuszczać, że osady przez nie reprezentowane tworzyły się w zbliżonych warunkach. Każdą wyodrębniającą się grupę próbek można więc traktować jako mikrolitofację. Należy tylko przyjąć dowolną wartość współczynnika podobieństwa, powyżej której będzie następował podział na oddzielne zespoły próbek. Wartość ta nie powinna być niższa niż 0,5, aby wydzielone mikrolitofacje w widoczny sposób różniły się między sobą, a jednocześnie, aby w obrębie jednej mikrolitofacji znajdowały się próbki o bardzo podobnych cechach.

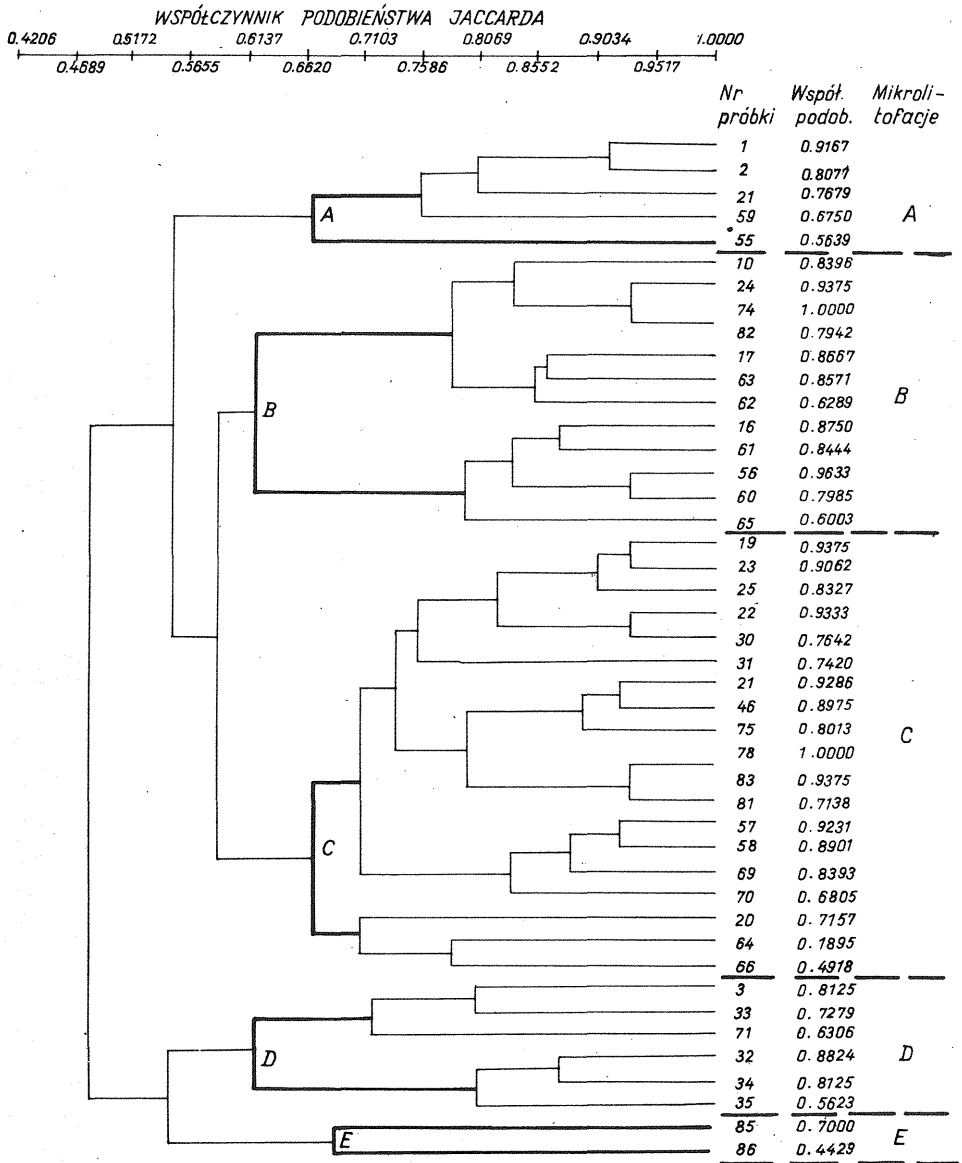


Fig. 1. Fragment dendrogramu dla piaskowców kambryjskich z otworu wiertniczego Terebiń, IG 5  
 Fragment of dendrogramme for Cambrian sandstones from the borehole Terebiń IG 5

W analizowanym przez autorkę przykładzie, jako kryterium wydzielenia mikrolitofacji przyjęto wartość współczynnika podobieństwa równą 0,62. Na przedstawionym fragmencie dendrogramu (fig. 1), po wyeliminowaniu wartości niższych od 0,62, pozostałe próbki zgrupowały się w pięciu wiązkach, nazwanych kolejno mikrolitofacjami A, B, C, D i E. Pełny dendrogram zawiera ponadto mikrolitofacje F1, F2 i G. Problem charakterystyki i interpretacji wydzielonych mikrolitofacji jest obecnie przedmiotem dalszych rozważań.

Przedstawiona metoda uwzględniająca nieilościowe dane petrograficzne w przypadku piaskowców kambryjskich okazała się bardzo użyteczna. Dzięki niej zaistniała możliwość wyodrębnienia mikrolitofacji w monotonnym kompleksie piaskowcowym. Należy podkreślić niewątpliwe zalety tej metody. Pozwala ona na uwzględnienie w analizie podobieństwa cech ujętych opisowo (np. obtoczenie, kolor) oraz na wykorzystanie szacunkowych oznaczeń składu mineralnego skał, co w zasadniczy sposób skraca czas badań mikroskopowych. Innym ważnym atutem tej metody jest możliwość uwzględnienia w analizie składników akcesorycznych, które w zależności od celu badań mogą mieć takie samo znaczenie, jak składniki główne. Zasadniczą zaletę w stosowaniu opisanej techniki stanowi możliwość bardzo szybkiego porównania dużej ilości próbek przy uwzględnieniu na raz kilkunastu i więcej cech, co tradycyjnymi metodami jest niewykonalne.

\*

Kończąc składam podziękowanie Panu dr P. Stenzlowi oraz wszystkim innym pracownikom Zakładu Informatyki IG, którzy przyczynili się do wdrożenia omówionej wyżej metody.

Pani doc. dr hab. A. Maliszewskiej oraz Panu prof. dr hab. W. Ryce serdecznie dziękuję za cenne wskazówki i pomoc w przygotowaniu pracy.

Zakład Petrografii, Mineralogii i Geochemii  
Instytutu Geologicznego  
Warszawa, ul. Rakowiecka 4  
Nadesłano dnia 10 grudnia 1979 r.

#### PIŚMIENNICTWO

- BONHAM-CARTER G.F. (1965) – A numerical method of classification using qualitative and semi-quantitative data, as applied to the facies analysis of limestones. *Bull. Can. Petrol. Geol.*, **13**, p. 503–508, nr 4.
- BONHAM-CARTER G.F. (1967) – FORTRAN IV Program for Q-mode cluster analysis of nonquantitative data using IBM 7090/7094 computers. *Computer Contribution 17*, State Geological Survey, The University of Kansas, Lawrence.
- FOLK R.L. (1968) – *Petrology of sedimentary rocks*. The University of Texas. Austin.
- SIKORSKA M. (1978) – Opracowanie struktury Terebinia. Charakterystyka petrograficzna kambru. *Arch. Inst. Geol. Warszawa*.

Магдалена СИКОРСКА

## ВЫДЕЛЕНИЕ МИКРОЛИТОФАЦИЙ В ПЕСЧАНИКАХ КЕМБРИЯ ОДНИМ ИЗ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ТАКСОНОМИИ

### Резюме

В статье приводится попытка применения математического метода классификации песчаников на примере кембрийских песчаников из скважины Теребин ИГ 5. Эти породы представлены в основном кварцевыми аренитами, часто ортокварцитового типа, реже типа кварцевой вакки. Их похожесть, минеральная и текстурная зрелость создают такие условия, при которых для выделения в них микрофаций приходится анализировать и сравнивать одновременно более десятка петрографических свойств. А это в свою очередь создаёт необходимость использования электронно-вычислительной техники. В работе использовался один из методов цифровой таксономии, называемый в западной литературе *cluster analysis*, в котором при расчётах учитываются полуколичественные и качественные данные. Общий принцип этого метода заключается в подборе максимально родственных образцов, что достигается путём использования коэффициента сходства Jaccard. Наиболее сходные образцы объединяются в пары, а затем в группы образцов, близких по минеральным, структурным и текстурным свойствам. Таким образом каждую группу образцов можно считать отдельной микролиитофацией.

Петрографические данные предварительно были описаны цифрами по системе один-два (таб. 1), где „1” означает отсутствие данного свойства в образце, а „2” наличие его. В том случае, если описываемое свойство очень многообразно, его характеризуют несколькими степенями, каждая из которых является соответствующей комбинацией единиц и двоек.

Результаты расчёта, выполненного на вычислительной машине типа PDP 11/45, представлены в форме дендрограммы (фиг. 1), где в группы собраны наиболее схожие образцы и пары образцов. В изучаемых кембрийских песчаниках выделено 8 групп, представляющих отдельные микрофации.

Magdalena SIKORSKA

## IDENTIFICATION OF MICROLITHOFACIES IN CAMBRIAN SANDSTONES WITH THE USE OF Q-MODE CLUSTER ANALYSIS

### Summary

The paper presents an attempt to use mathematic method of classification of sandstones with reference to Cambrian sandstones on the basis of core material from the borehole Terebin IG 5. The rocks are mainly represented by quartz arenites (often of the orthoquartzite type) or, sometimes, quartz wackes. The rocks are very similar to one another and characterized by mineralogical and textural maturity which makes it necessary to analyse and compare simultaneously about a dozen petrographic characters and, therefore, the use of computer. The studies were carried out with the use of Q-mode cluster analysis of semi-quantitative and qualitative data. In general, the method involves selection of samples with the maximum mutual similarity, determined with the use of the Jaccard's coefficient of association ( $S_j$ ). The most similar samples are joined in pairs and, thereafter, in clusters of samples displaying similar mineralogical, structural and textural characters. This makes it possible to treat each of the clusters as a separate microlithofacies.



For the purposes of the analysis, petrographic data were coded as follows (Table 1): "1" means the lack of a given character in a given sample and "2" — its presence. When a given character is highly varying, it is coded in a few steps, each of them representing an appropriate combination of 1's and 2's.

The results of calculations made with the use of the PDP 11/45 computer were obtained in the form of dendrogram (Fig. 1). The dendrogram shows samples most close to one another and their pairs grouped in clusters. For the studied Cambrian sandstones there were obtained 8 clusters representing different microlithofacies.