

## GENEZA SKAŁ KAMBRU ŚRODKOWEGO W POLSKIEJ CZĘŚCI PLATFORMY WSCHODNIOEUROPEJSKIEJ W ŚWIETLE BADAŃ PETROGRAFICZNYCH\*

UKD 552.513.1.086:551.732.3.022.4:551.466+551.465.15:519.2(084.3):551.242.5(4-11)(438-18)

Na obszarze polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej, w utworach kambru środkowego, dominującym typem skał są piaskowce, powstałe w czasie regresywnej fazy zbiornika sedymentacji i uznawane za rezultat sedymentacji w środowisku płytkiego szelfu (9). Wspomniane piaskowce odznaczają się wysokim stopniem dojrzałości mineralogicznej i teksturalnej. Te dwie cechy sprawiły, że w analizie wyników badań mikroskopowych konieczne okazało się sięgnięcie do metod matematycznych. Zastosowano półilościową analizę grup – sposób Q (ang. Q-mode cluster analysis). Dzięki niej w bardzo monotonicznych petrograficznie piaskowcach udało się wyodrębnić 10 mikrolitofacji. W trakcie wspomnianej analizy uwzględniono 14 cech petrograficznych każdej z 587 próbek (płytek cienkich). Badano następujące parametry: procentową zawartość kwarcu, skaleni, łuszczaków, glaukonitu, węglanów, spoiwa ilastego, okruchów skał oraz wielkość maksymalnego i najczęstszego ziarna kwarcu, różnicę między nimi, obtoczenie i kulistość ziarn, inwersję teksturalną i obecność kwarcowego spoiwa regeneracyjnego. Dokładny opis zastosowanej techniki wydzielenia mikrolitofacji zawiera wcześniejsza praca (12). Pozostałe typy skał, badanych utworów kambru środkowego, zaliczono (na podstawie obserwacji mikroskopowych) do dwóch mikrolitofacji: pyłowcowej i iłowcowej.

Rozpatrując warunki sedymentacji opisywanych osadów, podjęto próbę określenia względnej energii wód zbiornika, w miejscu tworzenia się utworów piaszczystych. Jej zmienność, na omawianym obszarze, można szacować na podstawie stopnia dojrzałości teksturalnej poszczególnych mikrolitofacji piaskowcowych i ich rozprzestrzenienia. Nawiązując do poglądów R.L. Folka (2, 4) wydzielono 4 stopnie dojrzałości teksturalnej zgodnie z zasadą, że wzrost dojrzałości teksturalnej piaskowców manifestuje się ubytkiem substancji ilastej oraz wzrostem wysortowania i obtoczenia ziarn. Wyróżnione w zbadanych osadach mikrolitofacje piaskowcowe podzielono zatem na 4 grupy: 1) bardzo dojrzałe; 2) dojrzałe; 3) prawie dojrzałe; 4) niedojrzałe.

Dojrzałość teksturalna stanowi odbicie energii wód w środowisku gromadzenia się osadu. Jest ona tym większa im większa była ta energia. Kierując się tą prostą zasadą mikrolitofacje należące do grup 1 i 2 uznano umownie za „wysokoenergetyczne”, a należące do grup 3 i 4 za „niskoenergetyczne”. Tę energetyczną interpretację komplikuje zjawisko inwersji teksturalnej. Rzecz objaśnia schemat (ryc. 1), który skonstruowano przez połączenie dwóch wykresów przedstawionych w pracach R.L. Folka (2, 3). W schemacie tym ostatnie ogniwo stanowią osady, w których występuje inwersja teksturalna. Wynika to z faktu, że bardzo wysoka energia wód powoduje zniszczenie dojrzałości teksturalnej. W skrajnych przypadkach dochodzi wówczas do kruszenia obtoczonych ziarn, a przede

wszystkim do zmieszania osadów różnych frakcji, złożonych w odmiennych, choć sąsiadujących ze sobą, środowiskach sedymentacji.

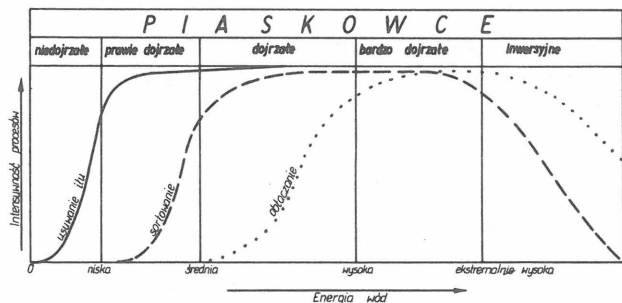
Wśród mikrolitofacji wyróżnionych w badanych piaskowcach stwierdzono trzy odznaczające się inwersją teksturalną. Według klasyfikacji R.L. Folka (4) były to typy inwersji: drugi, piąty i szósty. Typ drugi wyraża się obecnością materiału okruchowego dobrze obtoczonego, lecz źle wysortowanego. Typ piąty to osad uziarniony bimodalnie, przy czym każda z dwóch współwystępujących frakcji jest dobrze wysortowana. W typie szóstym obserwuje się ziarna dobrze wysortowane (słabo obtoczone), tkwiące w ilastym tle skalnym.

Uwzględniając fakt występowania inwersji teksturalnej, we wspomnianych trzech mikrolitofacjach piaskowcowych, umieszczono je (niezależnie od stopnia dojrzałości teksturalnej) w grupie mikrolitofacji określonych umownie jako wysokoenergetyczne.

Dla zrozumienia warunków sedymentacji badanych osadów szczególnie istotne jest rozprzestrzenienie grup mikrolitofacji wyróżnionych w opisany wyżej sposób. Na mapach (ryc. 2, 3) przedstawiono miąższościowy udział mikrolitofacji wysoko- i niskoenergetycznych w poszczególnych otworach wiertniczych. Mapy (ryc. 4, 5) ilustrują udział mikrolitofacji pyłowcowej i iłowcowej na badanym obszarze. Widoczny na wymienionych mapach układ izolinii świadczy o przebiegu linii brzegowej zbiornika w ogólnym kierunku SE–NW, z odchyleniem w północnej części badanego terenu ku NE i E (jest to, oczywiście, tylko zasadniczy trend rozciągłości linii brzegowej). W rejonie obniżenia podlaskiego i lubelskiego skłonu platformy prekambryjskiej, dzięki większej liczbie wierceń, można było dokładniej rozpoznać poziomą zmienność udziału grup mikrolitofacyjnych. Izolinie udziału piaskowców mikrolitofacji wysokoenergetycznych (ryc. 2) wyginają się tu ku SW, tworząc zwiężające się w tym kierunku „półwyspy”. Może być to związane ze specyficznymi warunkami sedymentacji piasków, które w tym rejonie miały postać jeziorów piaszczystych („sand tongues” (7, 8).

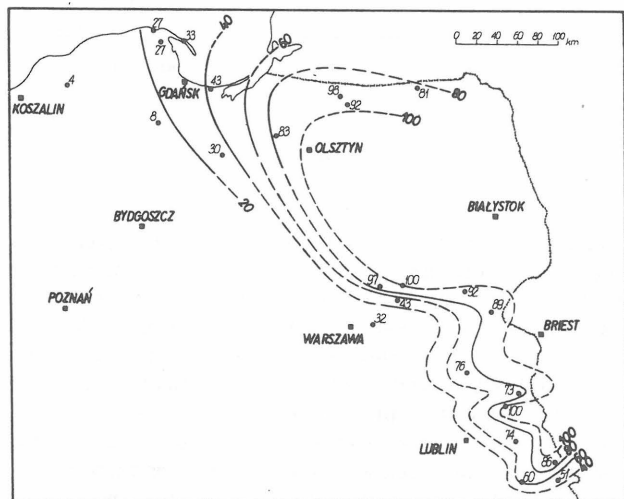
Regionalne rozprzestrzenienie mikrolitofacji w kambrze środkowym przedstawiono na trójskładnikowej mapie uśrednionego składu mikrolitofacyjnego (ryc. 6). Mapa ta powstała przez nałożenie na siebie izolinii reprezentujących zmienność dwóch wskaźników: piaszczystości (WP) i energetyczności piaskowców (WEP). Wzory definiujące podano na omawianej mapie (ryc. 6). Widać na niej wyraźnie przejście od wysokoenergetycznych mikrolitofacji piaskowcowych we wschodniej części badanego obszaru, poprzez niskoenergetyczne z coraz większym udziałem mikrolitofacji pyłowcowej i iłowcowej, aż do zdecydowanej przewagi tych ostatnich w zachodnim krańcu synekliny perybałtyckiej. Obszar pomiędzy izoliniami WP = 1 i WP = 8 (ukośne kreski na mapie) odpowiada peryferycznej strefie akumulacji piasków i jednocześnie stanowi (w pobliżu izolinii WP = 1) strefę przejściową między piaskami, a osadami pyłowcowo-iłowcowymi. Nazwano ją: „strefą Helu – Okuniewa – Łopiennika”. Interesujące jest także regionalne rozprzestrzenienie grupy mikrolitofacji określo-

\* Niniejszy artykuł stanowi krótką prezentację niektórych tez rozprawy doktorskiej autorki, ukończoną w 1981 r. Tematyka tu zarysowana będzie przedstawiona w formie obszerniejszej publikacji.



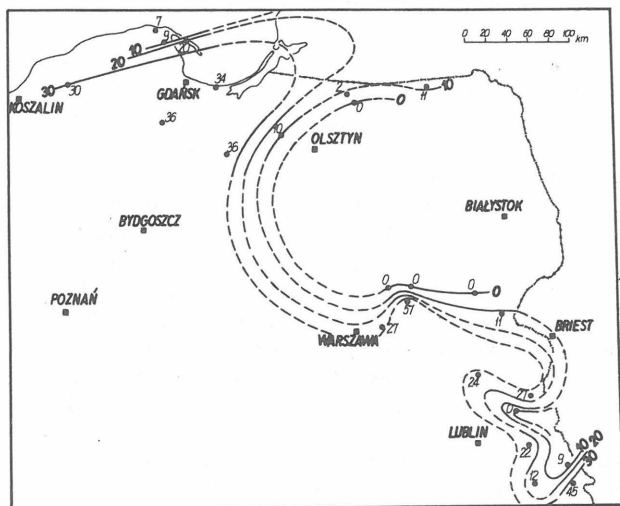
Ryc. 1. Schemat obrazujący wpływ energii wód na cechy teksturalne piaskowców (według R.L. Folk - 2, 3)

Fig. 1. Scheme illustrating influence of water energy on textural features of sandstones (after R.L. Folk - 2, 3)



Ryc. 2. Mapa miąższościowego udziału mikrolitofacji piaskowców wysokoenergetycznych (w %)

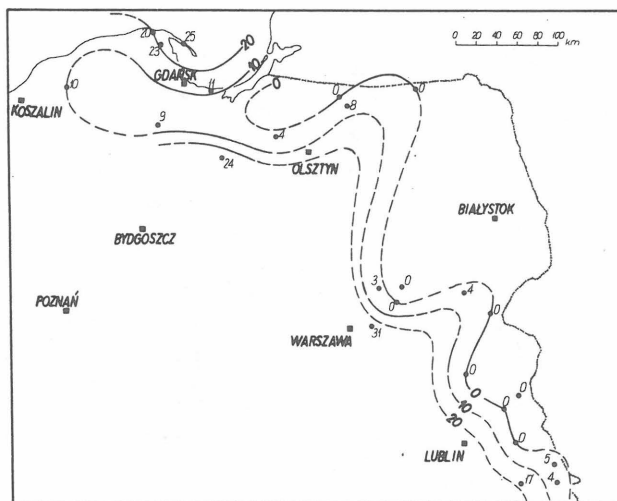
Fig. 2. Map of thickness share (in %) of high-energy sandstone microlithofacies



Ryc. 3. Mapa miąższościowego udziału mikrolitofacji piaskowców niskoenergetycznych (w %)

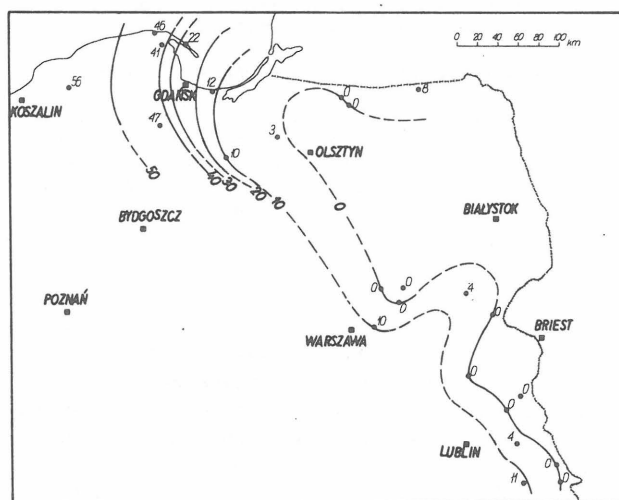
Fig. 3. Map of thickness share (in %) of low-energy sandstone microlithofacies

ných parametrami:  $WP > 8$  oraz  $WEP < 1/8$  (na mapie duże kropki). Jest to obszar maksymalnej energii wód na zbadanym terenie. Charakterystyczna jest SW granica tego obszaru na terenie lubelskiego skłonu platformy



Ryc. 4. Mapa miąższościowego udziału mikrolitofacji pyłkowej (w %)

Fig. 4. Map of thickness share (in %) of siltstone microlithofacies

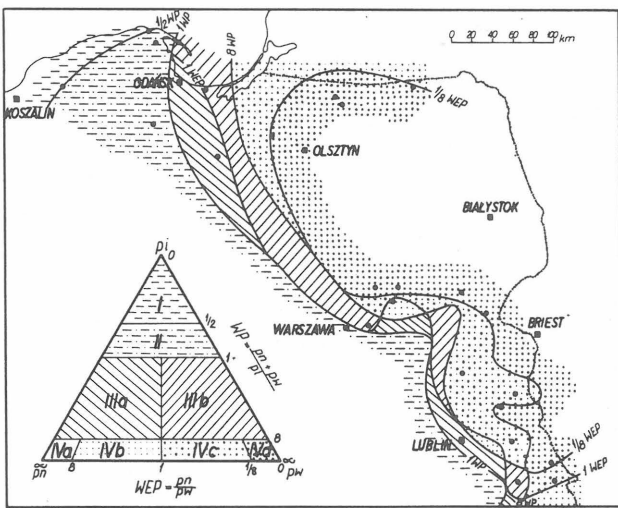


Ryc. 5. Mapa miąższościowego udziału mikrolitofacji iłowcowej (w %)

Fig. 5. Map of thickness share (in %) of claystone microlithofacies

prekambryjskiej, mająca wspomniany uprzednio „półwyspowy” zarys. Należy przy tym podkreślić, że obszar wysokoenergetycznych warunków sedymentacji jest bardzo rozległy. Wynika to z faktu, że w grupie mikrolitofacji wysokoenergetycznych znalazły się mikrolitofacie pochodzące z różnych środowisk sedymentacji, połączonych jedną cechą: częstą, jeśli nie ciągłą, i bardzo intensywną ruchliwością wód.

Nawiązując do sedymentologicznego schematu obszaru akumulacji badanych osadów (7) można przypuszczać, że w grupie mikrolitofacji wysokoenergetycznych znalazły się utwory powstałe z piasków strefy międzyżyłkowej, lub niżepływowowej nad podstawą falowania oraz z piasków kanałów pływowych. Piaski należące do mikrolitofacji niskoenergetycznych powstawały w obszarach bardziej odległych od brzegu. Osady mikrolitofacji pyłkowej i iłowcowej tworzyły się w znacznym oddaleniu od linii brzegowej, w warunkach długotrwałych okresów spokoju wód przydennych i powolnej sedymentacji. Zdaniem K. Jaworowskiego (7, 8) skały te stanowią odpowiednik dzisiejszych mułów szelfu („shelf muds”). Nawiązując do poglądów H.E. Reinecka i I.B. Singha (10) piaskowce



Ryc. 6. Mapa uśrednionego składu mikrolitofacjalnego

pn – łączna miąższość mikrolitofacji piaskowców niskoenergetycznych, pw – łączna miąższość mikrolitofacji piaskowców wysokoenergetycznych, pi – łączna miąższość mikrolitofacji pyłowcowej i iltowcowej, WP – wskaźnik piaszczystości, WEP – wskaźnik energetyczności piaskowców

Fig. 6. Map of mean microlithofacies composition

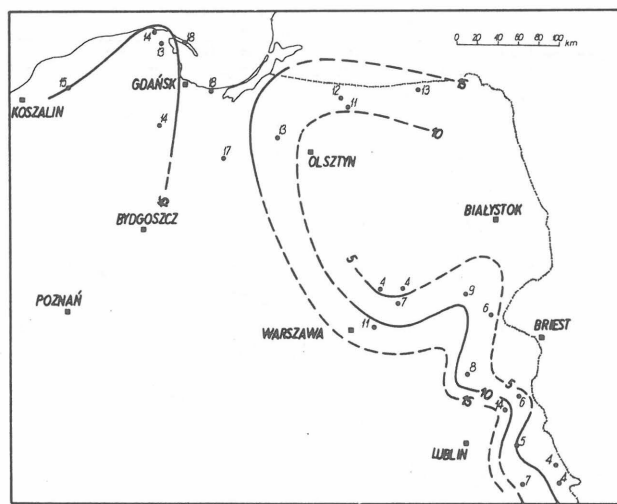
pn – summative thickness of low-energy sandstone microlithofacies, pw – summative thickness of high-energy sandstone microlithofacies, pi – total thickness of siltstone and claystone microlithofacies, WP – index of sand content, WEP – index of energy of sedimentary environment of sandstones

można uznać za odpowiednik współczesnych szelfowych piasków brzeżnych („coastal sands”), a mianowicie tej ich odmiany, która tworzy jezory piaszczyste.

Interesującej informacji o pionowej zmienności badanych osadów dostarcza analiza zmienności wskaźnika ilości kontaktów pomiędzy odmiennymi mikrolitofacjami (WIK). Wskaźnik ten, oznacza ilość wspomnianych kontaktów w 1 metrze rdzenia wiertniczego, pomnożoną przez 100. Obszar największej liczby kontaktów (WIK > 15) odpowiada największej zmienności pionowej osadów. Jak wynika z mapy (ryc. 7) obszar, gdzie WIK > 15 zgadza się doskonale z zasięgiem przejściowej strefy Helu – Okuniewa – Łopiennika, wyznaczonej uprzednio na podstawie mapy uśrednionego składu mikrolitofacjalnego (ryc. 6, ukośne kreski). Te wysokie wartości wskaźnika WIK są rezultatem ząbienia się wspomnianych uprzednio osadów o charakterze piasków brzeżnych z mułami szelfu, w których ponadto bardzo często pojawiają się tzw. przekładnice iltowcowo-pyłowcowo-piaskowcowe.

Analizując następstwo wyróżnionych mikrolitofacji posłużono się metodą opartą na modelu Markowa i opisaną przez D.K. Hobdaya i in. (6). Rozpatrywano trzy oddzielne obszary wyznaczone na podstawie mapy uśrednionego składu mikrolitofacjalnego i mapy wskaźnika WIK (ryc. 6, 7): obszar piaskowcowy (WIK ≤ 15), strefę przejściową Helu – Okuniewa – Łopiennika (WIK > 15) i obszar pyłowcowo-iltowcowy (tu także WIK ≤ 15). Z przeprowadzonych testów wynika, że w obszarach piaskowcowym i pyłowcowo-iltowcowym w następstwie mikrolitofacji zaznaczają się prawidłowości, natomiast w strefie Helu – Okuniewa – Łopiennika następstwa te są przypadkowe.

Stwierdzono także, że w obszarze piaskowcowym, wśród istotnych statystycznie, dominują następstwa rosnące, świadczące o wzroście energii wód zbiornika, a w ob-



Ryc. 7. Mapa wskaźnika ilości kontaktów mikrolitofacjalnych (WIK)

Fig. 7. Map of index of a number of microlithofacies contacts (WIK)

szarze pyłowcowo-iltowcowym malejące – świadczące o jej spadku. Odnotowane zmiany energii wód we wspomnianych obszarach najłatwiej objaśnić przyjmując, że badane osady powstały w płytkim morzu szelfowym poddanym działaniu pływów (zarówno w strefie między- jak i niżepływowej). Właśnie takie środowisko sedimentacji uważane jest za szczególnie prawdopodobne dla, obejmujących bardzo duże obszary, grubych kompleksów piaskowców kwarcowych, które charakteryzują się następstwami rosnącymi, a jednocześnie poziomym przejściem w utwory pyłowcowo-iltowcowe z wkładkami piaskowcowymi o następstwach malejących (1). Te ostatnie stanowią rezultat gwałtownego zwiększania energii wód na skutek sztormów i powolnego jej spadku po ich ustaniu.

Podobną interpretację badanych osadów, na podstawie badań litofacji wydzielonych makroskopowo, wspartych analizą struktur sedimentacyjnych, przedstawił K. Jaworowski (8). W tym miejscu należy dodać, że fakt stwierdzenia mikrolitofacji piaskowców z inwersją teksturalną, także przemawia na rzecz poglądu o udziale sztormów w procesach tworzenia się badanych osadów. Potwierdza się więc pogląd R. Andertona (1), że genezę wielu kopalnych osadów, powstałych na szelfach poddanych działaniu pływów, należy określić jako pływowo-sztormową.

Dla pełniejszego zbadania genezy skał kambru środkowego należy poruszyć problem obszaru źródłowego, dostarczającego materiał do ich powstania. Jednak niewiele faktów udało się jednoznacznie ustalić. Jedno jest pewne, że obszar alimentacyjny znajdował się na E i NE od badanego terenu, w zachodniej części Białorusi i Ukrainy. Natomiast trudno jest stwierdzić czy materiał dostarczany do zbiornika pochodził ze skał krystalicznych czy osadowych, z uwagi na wyjątkową dojrzałość mineralogiczną badanych skał. Jest ona, m.in., wynikiem powstawania tych osadów w wysokoenergetycznym środowisku pływowym. Analiza frakcji ciężkiej niewiele wniosła, gdyż ona także charakteryzuje się wysokim stopniem dojrzałości mineralogicznej. Słuszny wydaje się być pogląd badaczy radzieckich (5, 11), zdaniem których materiał okrucowy dostarczany do basenu środkowokambryjskiego, pochodził ze zniszczenia starszych skał osadowych (kambru dolnego, niekiedy wendu oraz ryfeju), a także podłoża krystalicznego.

## LITERATURA

1. Anderton R. — Tidal shelf sedimentation: an example from the Scottish Dalradion. *Sedimentology*. 1976 no. 4.
2. Folk R.L. — Stages of textural maturity in sedimentary rocks. *J. Sed. Petrology* 1951 no. 3.
3. Folk R.L. — Spectral subdivision of limestone types. *Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 1962 vol. 1.
4. Folk R.L. — Petrology of sedimentary rocks. The University of Texas. Austin 1968.
5. Gołubcew W.K., Machnacz A.S. — Facji terytorii Białorusii w paleozoje i ranniem mezozoje. Minsk 1961.
6. Hobday D.K., Tavener et al. — Markov analysis and the recognition of palaeoenvironments in the Ecca Group near Vryheid, Natal. *Trans. Geol. Soc. S. Afr.* 1975 vol. 78 part 1.
7. Jaworowski K. — Rejonizacja środowiskowa kopalnych osadów okruchowych. *Konf. Naukowa: „Współczesne i kopalne środowiska sedymentacji skał okruchowych”*. Streszcz. referatów, cz. 1. *Inst. Geol. Podst. UW* 1980.
8. Jaworowski K. — Warunki sedymentacji osadów prekambriu i kambriu w północnej Polsce. *Prz. Geol.* 1982 nr 5.
9. Lendzion K. — Kambr dolny. Kambr środkowy i górny. [In:] *Atlas litologiczno-paleogeograficzny obszarów platformowych w Polsce. Cz. 1 — Proterozoik i paleozoik*. Wyd. Geol. 1974.
10. Reineck H.E., Singh I.B. — *Depositional sedimentary environments*. Springer — Verlag 1980.
11. Sakalauskas W.F., Machnacz A.S. et al. — Kiembriskij pieriod. *Trudy WNIGRI* 1973 wyp. 347.
12. Sikorska M. — Wydzielanie mikrolitofacji w piaskowcach kambriu przy użyciu jednej z metod taksonomii numerycznej. *Kwart. Geol.* 1980 nr 3.

## SUMMARY

The studied rocks are characterized by predominance of sandstones (quartz arenites), monotonous in petrography. The results of microscopic studies were interpreted with the use of mathematic methods (cluster analysis and Markov model). The identified microlithofacies were arbitrarily subdivided into high- and low-energy ones. Three-component quantitative map (Fig. 6) shows regional distribution of groups of microlithofacies. Vertical microlithofacies sequences indicative of repeated temporary increase of water energy in sedimentary environment were found to be statistically important in areas where sandstones predominate in thickness. In turn, vertical microlithofacies sequences indicative of decreasing water energy were found in areas characterized by predominance of mudstones. The results of studies give support for the hypothesis of tidal-storm origin of sediments of that type (cf. Anderton — 1).

## РЕЗЮМЕ

Среди исследованных пород преобладают петрографически однообразные песчаники (кварцевые аргилиты). Интерпретируя результаты микроскопических исследований автор пользовался математическими методами (кластерный анализ и модель Маркова). Выделяется ряд микролитофаций, которые условно разделены на: высокоэнергетические и низкоэнергетические. Местное распространение групп микролитофаций представлено в форме трёхкомпонентной количественной карты (рис. 6). В районе мощностного перевеса песчаников статистически существенными оказались вертикальные последствия микролитофаций свидетельствующие о многократном периодическом увеличении энергии вод седиментационной среды. В районе перевеса алевролитов наблюдаются вертикальные последствия микролитофаций свидетельствующие о слабеющей энергии вод. Результаты исследований подтверждают мнение о приливно-штормовом генезисе осадков этого типа (срав. Андертон — 1).