

Antoni Marian ŻELICHOWSKI

Sporządzanie map litofacjalnych na podstawie metod statystycznych

Opracowanie niniejsze stanowi próbę dokonania przeglądu metod sporządzania map litofacjalnych w oparciu o wskaźniki statystyczne na przykładzie map wizeny z lubelskiego basenu karbońskiego. W literaturze polskiej w większości opracowań mapy „litofacjalne“ traktowane są zazwyczaj jakościowo.

W Atlasie geologicznym Polski (Zagadnienia stratygraficzno-facjalne, z. 2—3, 1957—1965) stosowane wydzielienia dają jedynie ogólny obraz litologii na tle facji. Podobnie przedstawiają się mapy „litofacjalne“ zawarte w publikacjach dotyczących budowy geologicznej Nizy Polskiego. Najczęściej stosowane są określenia opisowe (np. piaskowce, mułowce i iłowce, mułowce i iłowce z wkładkami piaskowców), tylko na niektórych mapach podane są dane ilościowe (np. mułowce i iłowce z piaskowcami poniżej 10%).

Według podobnej metody opracowywane są mapy litofacjalne w Związku Radzieckim. W opracowaniu E. A. Zawiałowej (1964) istnieje szereg grup litofacjalnych, które omawiane są tylko opisowo. Autorka ta podaje jedynie, że nie uwzględniane są te skały, których udział w danej jednostce obliczeniowej wynosi poniżej 10%. Z ustnej informacji dowiedziałem się, że przedstawiona na mapach litologia ma pewne uzasadnienie w procentowym składzie, inaczej znaczono są składniki do 50 i powyżej 50%.

Stosowanie właściwych wydzielen na mapach litofacjalnych jest niewątpliwie dyskusyjne i przysparza wiele kłopotów. Niekiedy zaznacza się tylko te utwory, których udział przekracza 50%, nie uwzględniając pozostałych. Przykładem mogą być mapy litofacjalne górnej kredy w NW Polsce przedstawione przez M. Jaskowiak na posiedzeniu naukowym Zakładu Geologii Nizu IG. Do jednej grupy litofacjalnej autorka zalicza profile, w których dany składnik przekracza 50%, pomijając fakt występowania zupełnie innych skał w pozostałych częściach profilów.

Rozwiązanie zagadnień litofacjalnych przy zastosowaniu metod statystycznych uzyskano w opracowaniu A. Czekaja, Z. Dembowskiego i in. (1964) dotyczącym karbonu górnośląskiego. Zestawiono tam mapy zawartości materiału gruboklastycznego i fitogenicznego na tle izopachyt

dla różnych jednostek obliczeniowych. Podstawą dla ich sporządzania był procentowy udział tych składników w całości serii, a więc nie całkiem odpowiada to mapom litofacjalnym w ujęciu geologów amerykańskich; są to raczej „*lithologic percentage and thickness map*” wg W. C. Krumbein, L. L. Sloss (1951). Sporządzanie map litofacjalnych (litologicznych wg terminologii radzieckiej — M. Pajchłowa, 1960) przy zastosowaniu metod statystycznych jest szeroko stosowane przez geologów amerykańskich. (W. C. Krumbein, L. L. Sloss, 1951; C. R. Peltó, 1954; W. J. Schram, 1964; J. M. Forgotson, 1960 i in.).

Próbie zastosowania tych metod dla osadów na Niziu Polskim podjęła J. Królicka, (1966), która wykonała mapę litofacjalną jury środkowej w oparciu o wskaźniki klastyczności i zapiaszczenia. Porównanie tej mapy z mapą wykonaną przez K. Dayczak-Calikowską wskazuje, że ilościowe przedstawienie materiałów litologicznych wzbogaciło treść mapy wykonanej przez J. Królicką.

Aby wyeliminować zniekształcenia powstałe na skutek różnego rozprzestrzenienia poszczególnych serii, należy przyjąć właściwe jednostki obliczeniowe (jednostki operacyjne — W. C. Krumbein, L. L. Sloss, 1951). Na problem ten zwrócił uwagę J. Znosko przy dyskusji nad powyższymi mapami jury środkowej. Na to samo zagadnienie zwrócili uwagę A. Czekaj, Z. Dembowski i in. (1964), piszą oni „... wykonanie powyższych map wymagało przede wszystkim wyróżnienia we właściwy sposób jednostek obliczeniowych, cechujących się możliwym jednolitym rozwojem litologicznym, odpowiadającym pewnym etapom rozwoju basenu...” Mowa tu o zawartości materiału gruboklastycznego i fitogenicznego.

Na przykładzie utworów wizeńskich lubelskiego basenu karbońskie-go przeanalizowano szereg metod sporządzania map litofacjalnych. Mapy te obrazują jedynie zróżnicowanie litologii w podziale na trzy główne składniki. Potraktowano razem serie mułowców i iłowców bez względu na to, czy są one pochodzenia morskiego, czy bagienne. Jest to celowe, ponieważ w przyszłości duże odcinki wierceń nie będą rdzeniowane i profil oparty będzie na materiałach uzyskanych z profilowania elektrycznego.

Przy wykonywaniu przedstawionych map (fig. 4 — 9) wykorzystano profile opisowe wierceń, sporządzone na podstawie materiału rdzeniowego, częściowo tylko uzupełnionego danymi karotażowymi. Uwzględniono 15 wierceń. Odpowiednie wyliczenia dla 8 wierceń opracował autor, dla pozostałych otworów przyjęto tabele składu litologicznego wizenu, zamieszczone w opracowaniu budowy geologicznej Niziu Polskiego.

W wizenie basenu lubelskiego mamy do czynienia zarówno z wapieniami, mułowcami i iłowcami, jak i piaskowcami. Te ostatnie występują zwykle podrzędnie.

Przed przystąpieniem do przeglądu map litologicznych chciałbym tutaj pokrótce scharakteryzować miąższość tych utworów. Zmienia się ona dość znacznie — od około 20 m do 446 m w skrajnych przypadkach, średnio jednak wynosi 100÷250 m. Izolinie miąższości układają się w kierunku NW-SE. Minimalne miąższości obserwuje się na obszarze północno-wschodnim, w rejonie Łuków — Kaplonosy, wzrastają one ku SW,

aby na linii Dorohucza — Kosmów osiągnąć wartość około 110 m. Na wzrost miąższości w kierunku SW wpływa jeszcze fakt występowania środkowego wizenu, którego brak jest w NE części badanego obszaru.

PRZEGLĄD MAP LITOFACJALNYCH I SPOSOBY ICH KONSTRUOWANIA

W artykule uwzględniono cztery rodzaje map litofacjalnych: wskaźnikową, funkcji klasyfikującej D i dwie mapy wykonywane w oparciu o funkcję entropii. Niżej przedstawiono skrócony opis konstrukcji poszczególnych map i omówienie wyników, jakie otrzymano dla wizenu lubelskiego basenu karbońskiego.

MAPY LITOFACJALNE WYKONYWANE W OPARCIU O WSKAŹNIKI KLASTYCZNOŚCI I ZAPIASZCZENIA (LITHOLOGIC RATIO MAPS)

Jest to jedna z pierwszych konstrukcji map litofacjalnych zaproponowana przez W. C. Krumbeina, L. L. Slossa (1951). Punktem wyjścia dla jej konstrukcji są wskaźniki klastyczności (*clastic ratio*) i zapiaszczenia (*sand — shale ratio*). Wskaźnik klastyczności jest odzwierciedleniem stosunku skał klastycznych do nieklastycznych. Za składniki klastyczne traktowane są zarówno zlepieńce, piaskowce i mułowce, jak i iłowce. Za nieklastyczne — ewaporyty, dolomity, wapienie.

Zaliczenie iłowców do grupy klastycznych może wzbudzać wątpliwości, jednakże ze względów praktycznych jest to celowe, ponieważ w przypadku posługiwania się wykresami profilowania elektrycznego nie ma możliwości oddzielenia ich od skał mułowcowych. Eliminację tego błędu przeprowadza się częściowo przez uwzględnienie drugiego ze wskaźników, a mianowicie wskaźnika zapiaszczenia. Obrazuje on stosunek piaskowców i zlepieńców do mułowców i iłowców.

W. C. Krumbein i L. L. Sloss (1951) zaproponowali wydzielenie szeregu klas współczynników klastyczności i zapiaszczenia, które odpowiednio zestawione dają grupy litofacjalne. Metoda ta jest prosta i posiada dużo zalet. Pozwala ona na ekstrapolację posiadanych materiałów i wyróżnianie prawdopodobnych grup litofacjalnych na obszarach nie posiadających żadnych profili. W. C. Krumbein i L. L. Sloss (1951) zaproponowali podział (tab. 1), w którym wyróżnia się 9 grup litofacjalnych (stosunki procentowe podano na fig. 1a).

J. M. Fongotson (1960) podał zmodyfikowany obraz diagramu (por. fig. 1b). Dla obliczeń stosowanych w artykule zastosowano schemat autora podany na fig. 1 c.

W proponowanym układzie wyróżniono trzy zasadnicze grupy: 1 — wapieni, zawierającą do 50% piaskowców i mułowców; 2 — piaskowców, zawierającą do 50% wapieni i mułowców; 3 — mułowców, zawierającą do 50% wapieni i piaskowców. W obrębie grup wydzielono szereg podgrup z dokładniejszą charakterystyką. Zmiany w stosunku do układu W. C. Krumbeina, L. L. Slossa sprowadzają się do grup o wskaźniku klastyczności od 1,0 do 8,0. Każda z tych grup podzielona została na dwie w zależności od udziału wapieni. Zgeneralizowano natomiast grupy skał wapiennych, gdzie zlikwidowano podział na piaszczyste i mu-

Tabela 1

Podział na grupy litofacjalne według W. C. Krumbeina i L. L. Slossa (1951)

Grupa litofacjalna	Wskaźnik klastyczności	Wskaźnik zapiaszczenia	Charakterystyka litologiczna
piaskowce	> 8	> 8	ponad 79 % piaskowców
piaskowce — — mułowce	> 8	8—1	więcej piaskowców niż mułowców, poniżej 11 % wapieni
mułowce — — piaskowce	> 8	1—0,125	więcej mułowców niż piaskowców, poniżej 11 % wapieni
mułowce	> 8	< 0,125	ponad 79 % mułowców
piaskowce — — wapienie	1—8	> 1	więcej piaskowców niż mułowców, 11—50 % wapieni
mułowce — — wapienie	1—8	< 1	więcej mułowców niż piaskowców, 11 do 50 % wapieni
wapienie — — piaskowce	0,25—1,0	> 1	50—80 % wapieni, więcej piaskowców niż mułowców
wapienie — — mułowce	0,25—1,0	< 1	50—80 % wapieni, więcej mułowców niż piaskowców
wapienie	< 0,25	nie uwzględniono	ponad 80 % wapieni

łowcowe. Białe pola nie zakresłone oznaczają brak danej grupy w omawianym obszarze. Stosunki procentowe w przyjętym układzie przedstawiono w tab. 2.

Jak z powyższego widać, wskaźnikowe mapy litofacjalne powstają z nałożenia dwu wskaźników: zapiaszczenia i klastyczności. Zatem dla wykonania takiej mapy należy wykonać uprzednio mapy klastyczności i zapiaszczenia. Jest to niewątpliwie dużym utrudnieniem. Metoda ta przedstawia jednak dobrze stosunki między wyróżnionymi składnikami. Dla zobrazowania zmian w obrębie pewnych składników, np. nieklastycznych, należy wykonać dodatkowe mapy. Mogą być one konstruowane w układzie wapienie — dolomity — anhydryty lub wapienie oolitowe — wapienie rafowe — wapienie pelityczne.

Niżej omówione będą wyniki obliczeń wskaźników zapiaszczenia i klastyczności osadów oraz mapy litofacjalnej wizenu w lubelskim basenie karbońskim w oparciu o obydwa te wskaźniki.

Dane dotyczące zapiaszczenia osadów wizenu zestawione w tabl. 3 namiesiono na mapę (fig. 4), z której wynika, że w dużej części

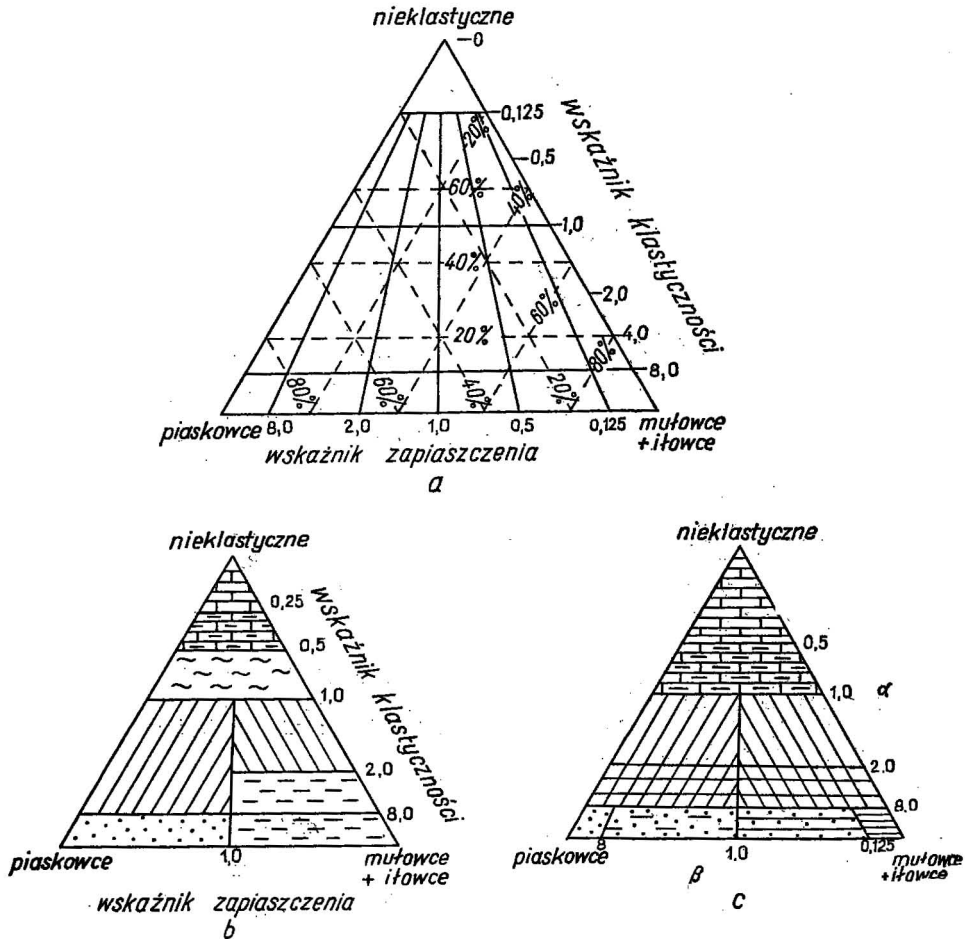


Fig. 1. Diagramy wyznaczania grup litofacialnych w oparciu o wskaźniki zapiaszczenia i klastyczności

Diagrams of determining the lithofacial groups on the basis of sand — shale ratio, clastic ratio

a — według W. C. Krumbeina i L. L. Slossa (1951); b — według J. M. Fergotsona (1960); c — według A. M. Zelichowskiego; α — wskaźnik klastyczności; β — wskaźnik zapiaszczenia

a — according to W. C. Krumbein and L. L. Sloss (1951); b — according to J. M. R. Fergotson (1960); c — according to A. M. Zelichowski; α — clastic ratio; β — sand — shale ratio

basenu lubelskiego, poza obszarem Radzyna, przeważają osady drobno-klastyczne (mułowce — iłowce). Minimalne wartości zapiaszczenia cechują osady występujące we wschodniej części basenu w strefie ciągnącej się od Kapłonosów przez Dorohuczę, Chełm 1, Strzyżów, Husynne, Korczmin 1, Tyszowce do Jarczowa 4. Wartości te wynoszą poniżej 0,125, nieco przekraczają tę liczbę w Teptuikowie. Wyższą wartość zapiaszczenia otrzymano w Niedrzwicy, gdzie wynosi ona 0,70. Wnioskując z dotychczasowych materiałów zbliżone wartości otrzymano w Komarowie 1

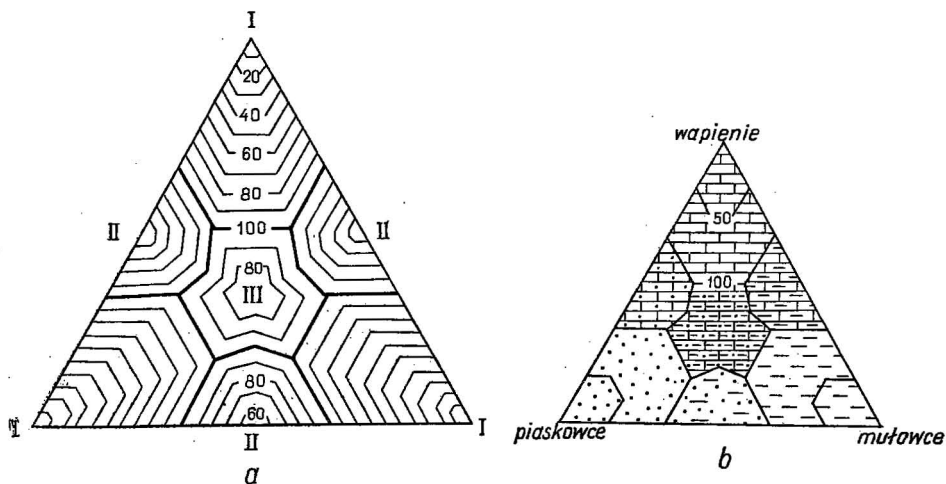


Fig. 2a. Diagram funkcji klasyfikującej $D = 100 [1 - (\Delta p/m / - \Delta p/m - 1/)]$ i wyznaczenia klas w układzie trójskładnikowym wg C. R. Peltó (1954)
Diagram of classifying function $D = 100 [1 - (\Delta p/m / - \Delta p/m - 1/)]$ and of determining the classes in ternary system, according to C. R. Peltó (1954)

Fig. 2b. Podział na grupy litofacjalne w oparciu o funkcję klasyfikującą D wg J. M. Forgotsona (1960)
Subdivision into lithofacial groups on the basis of classifying function D , according to J. M. Forgotson (1960)

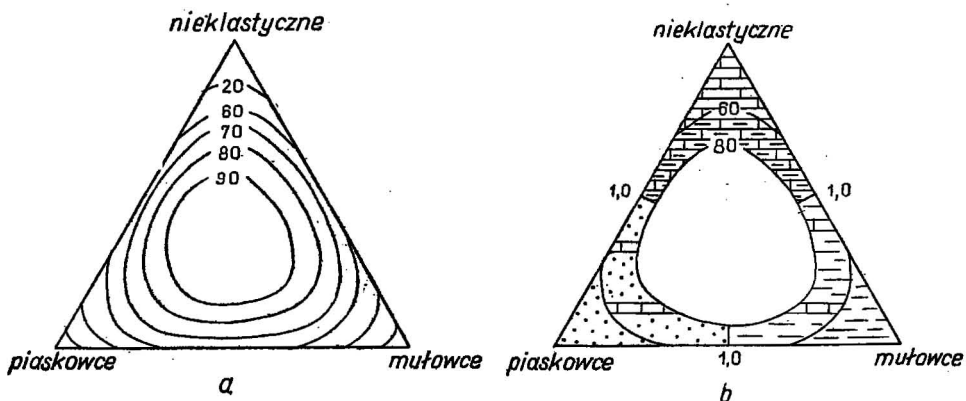


Fig. 3a. Diagram rozkładu funkcji $100 Hr$ w układzie trójskładnikowym według C. R. Peltó (1954)
Diagram of distribution of function $100 Hr$ in ternary system, according to C. R. Peltó (1954)

Fig. 3b. Podział na grupy litofacjalne według J. M. Forgotsona (1960), zmodyfikowany przez autora
Subdivision into lithofacial groups, according to J. M. Forgotson (1960), modified by the present author

Tabela 2

Proponowane grupy litofacjalne

Grupa litofacjalna	Wskaźnik klastyczności (α)	Wskaźnik zapiaszczenia (β)	Charakterystyka litologiczna
piaskowce	> 8	> 8	ponad 79% piaskowców*
piaskowce — — mułowce	> 8	8—1	więcej piaskowców niż mułowców, wapieni mniej niż 11%
mułowce — — piaskowce	> 8	1—0,125	więcej mułowców niż piaskowców, wapieni mniej niż 11%
mułowce	> 8	< 0,125	ponad 79% mułowców*
piaskowce z wapieniami	8—2	> 1,0	więcej piaskowców niż mułowców, 11—32% wapieni
mułowce z wapieniami	8—2	< 1,0	więcej mułowców niż piaskowców, 11—32% wapieni
wapienie z piaskowcami	2—1	> 1,0	więcej piaskowców niż mułowców, 33—50% wapieni
wapienie z mułowcami	2—1	< 1,0	więcej mułowców niż piaskowców, 33—50% wapieni
wapienie — — klastyczne	1,0—0,5	nie uwzględniono	50—67% wapieni
wapienie	< 0,5	nie uwzględniono	powyżej 67% wapieni*

* Grupa piaskowców obejmuje zlepińce i piaskowce, grupa mułowców — mułowce i ilowce. grupa wapieni — ewaporyty, dolomity i wapienie.

(wiercenie w tołku; obecnie przebito ponad 200 m wizenu, w którym stwierdza się znaczne zapiaszczenie osadu). Najwyższe wartości (2,10) zapiaszczenia osiągają osady wizenu w rejonie Radzyna, jest to zjawisko lokalne, ponieważ w położonym nieco na NW profilu Łukowa 1 spada ono do 0,58.

Z powyższego przeglądu wynika, że w północno-wschodniej strefie basenu, poza lokalną anomalią Radzyna, osady wizenu cechuje minimalna ilość materiału gruboklastycznego. Wzrost zapiaszczenia obser-

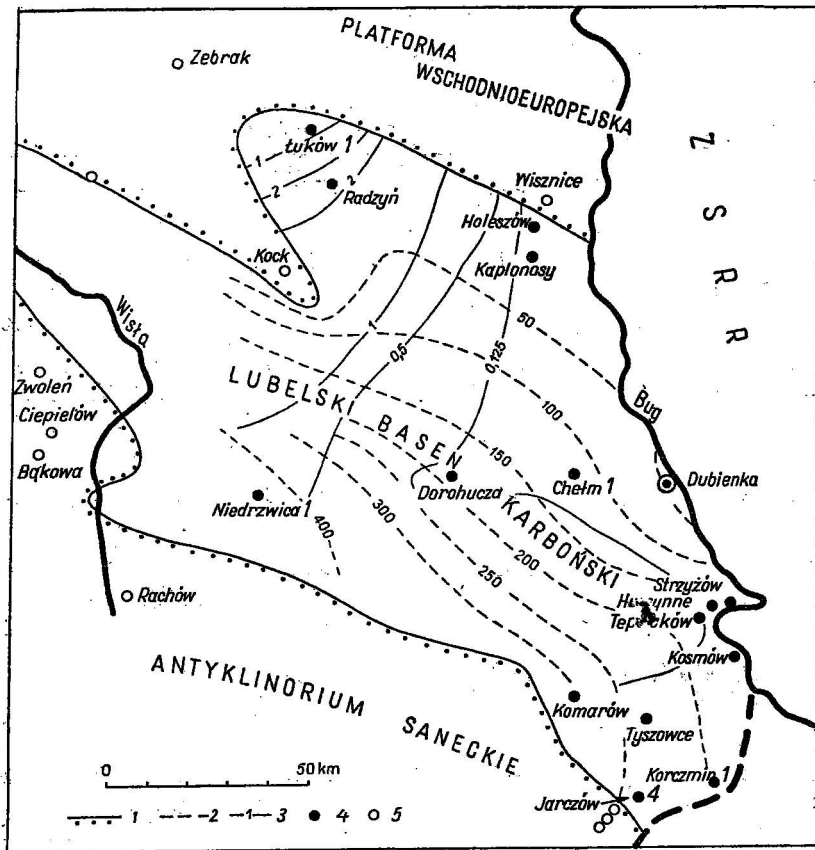


Fig. 4. Mapa wskaźnika zapiaszczenia wizenu w lubelskim basenie karbońskim

Map of sand — shale ratio of Visean in the light of isopachytes within the Lublin Carboniferous basin

1 — zasięg wizenu; 2 — izolnie miąższości; 3 — izolnie wskaźnika zapiaszczenia; 4 — wiercenia, w których stwierdzono utwory wizenu; 5 — wiercenia, które nie stwierdziły utworów wizenu

1 — extent of Visean; 2 — isopachytes; 3 — isometric lines of sand — shale ratio; 4 — bore holes that have proved the Visean deposits; 5 — bore holes that have not proved the Visean deposits

wuje się natomiast w części zachodniej basenu. Taki rozkład zapiaszczenia sugeruje, że głównego źródła materiału klastycznego dla wizenu należy szukać nie na północnym wschodzie, a na obszarze południowo-zachodnim, prawdopodobnie w antyklinorium saneckim. Platforma wschodnioeuropejska była tylko drugorzędym źródłem materiału klastycznego. Jednym ze źródeł materiału klastycznego na tym obszarze był niewątpliwie rejon Kocka. Potwierdzeniem tego poglądu może być obecny, a być może pierwotny, brak karbonu w okolicy Kocka. Drugim takim regionem mogą być okolice Dubienki. Jednakże główne masy materiału gruboklastycznego pochodzą z południowego zachodu.

Charakterystyka litologiczna osadów wżenu lubelskiego basenu karbońskiego

Nazwa otworu	Łączna miąższość osadów wżenu	Miąższość						Wskaźniki			
		wapieni w m	w %	piaskowców w m	w %	mułowców w m	w %	kla- stycz- ności α	zapia- szcze- nia β	klasa D	Hr
Łuków 1	18,4	7,4	40	4,0	22	7,0	38	1,5	0,58	III/94	0,93
Radzyń	19,4	1,2	6	12,4	63	5,8	31	18,2	2,10	I p/93	0,76
Holeszów	9,0	3,0	32	—	—	6,0	68	2,0	—	Im/96	0,57
Kaplonosy	18,0	11,8	67	—	—	6,2	33	0,55	—	Iw/99	0,58
Chełm 1	108,5	34,5	32	7,7	7	66,3	61	2,15	0,11	In/96	0,78
Dorohucza	190,0	36,0	19	6,0	3	148,0	78	4,25	0,04	Im/57	0,50
Niedrzwica	446,0	86,0	19	160,0	36	200,0	45	3,95	0,70	III/98	0,99
Strzyżów	151,3	58,3	38	6,8	5	86,2	57	1,6	0,08	II/m-w86	0,81
Husynne	250,0	63,0	42	9,0	6	78,0	52	1,22	0,11	II/m-w74	0,79
Teptiuków	160,0	45,0	28	15,0	10	100,0	62	2,55	0,15	Im/84	0,80
Kosmów	180,0	48,0	26	7,0	4	125,0	70	2,75	0,05	Im/88	0,53
Korcmin 1	211,0	83,3	40	6,5	3	121,2	57	1,54	0,06	II/m-w80	0,72
Jarczów 4	242,0	83,0	34,5	1,0	0,5	153,0	65	1,91	—	IIIm-w95	0,65
Tyszowce	249,0	98,4	40,0	13,4	5	137,2	55	1,55	0,10	IIIm-w 60	0,76

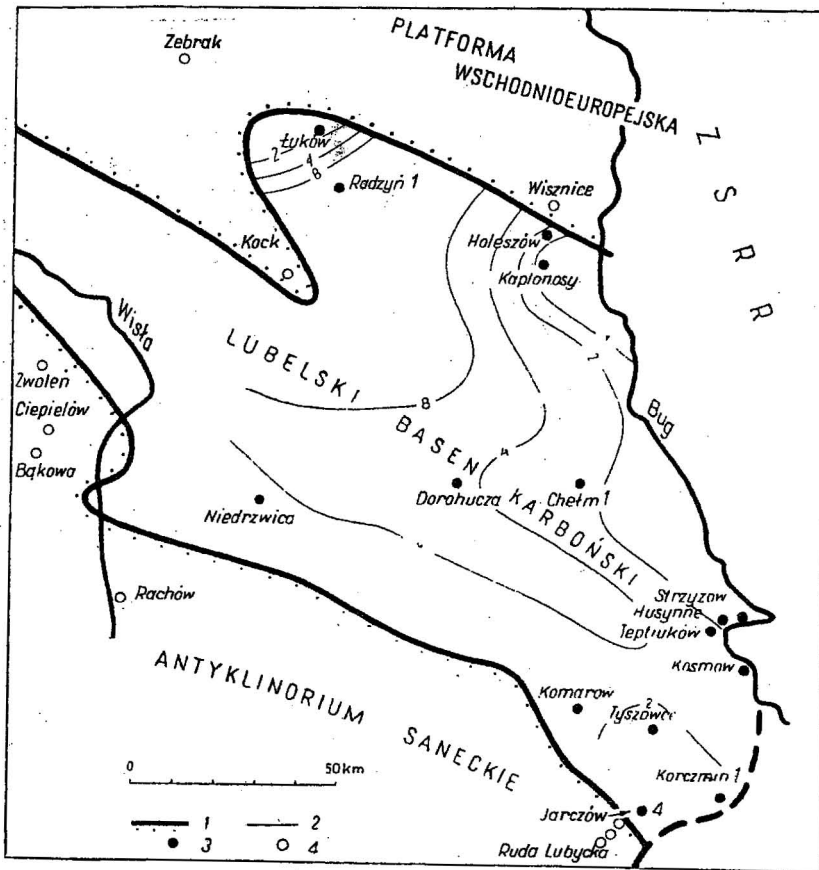


Fig. 5. Mapa wskaźnika klastyczności wizeniu w lubelskim basenie karbońskim

Map of clastic ratio of the Visean within the Lublin Carboniferous basin

1 — zasięg wizeniu; 2 — izolinie wskaźnika klastyczności; 3 — wiercenia, które stwierdziły utwory wizeniu; 4 — wiercenia, które nie stwierdziły utworów wizeniu

1 — extent of Visean; 2 — isometric lines of clastic ratio; 3 — bore holes that have proved the Visean deposits; 4 — bore holes that have not proved the Visean deposits

Klastyczność obrazuje stosunek osadów klastycznych (o grubym i drobnym ziarnie) do utworów nieklastycznych, w tym przypadku wapieni (fig. 5). Otrzymujemy tutaj podobny obraz jak przy wskaźniku zapiaszczenia (fig. 4). Wiercenia położone w najbardziej wschodniej części basenu posiadają wskaźnik klastyczności (α) poniżej 2,0 (tzn. nie mniej niż 1/3 wapieni). Nad górnym Bugiem, w otworach Kosmów i Teptiuków, obserwuje się wzrost wskaźnika klastyczności do 2,75, jednakże już w otworach Tyszowce, Jarczów 4 i Korczmin 1 wskaźnik ten spada ponownie poniżej 2,0. Istnieje więc tutaj bruzda o zmniejszonej sedymentacji wapiennej (wzrost klastyczności). Przedłuża się ona ku pół-

W przyjętym podziale litofacjalnym w oparciu o wskaźniki zapiaszczenia i klastyczności wyróżniono 10 grup litofacjalnych. Okazuje się, że na badanym terenie nie mamy wszystkich grup, brak jest bowiem litofacji, w których dominują pojedyncze składniki (fig. 6).

Nie stwierdzono dotychczas grupy mułowców o wskaźniku $\alpha > 8$, $\beta < 0,125$, piaskowców $\alpha > 8$, $\beta > 8$ i wapieni $\alpha < 0,5$. Największy obszar zajmują grupy litofacjalne odznaczające się stosunkowo małym udziałem wapieni (poniżej 33%).

We wschodniej części basenu wąską strefą rozprzestrzenia się litofacja mułowcowo-wapienna (wapienie z mułowcami) $\alpha 1-2$, $\beta < 1$ i tylko w jej północnej części (wiercenie Kaplonosy) wskaźnik klastyczności (α) wynosi 0,55, jest to zresztą najniższa wartość tego wskaźnika w wizenie basenu lubelskiego. Od zachodu przylega strefa litofacji mułowców z wkładkami wapieni ($\alpha 2-8$, $\beta < 1$), która w swej południowej części zastąpiona jest litofacją mułowcowo-wapienną. Wąska strefa tej litofacji występuje również między Łukowem i Radzyniem (fig. 6).

Obszar radzyński wypełniają osady o przewodzie materiału gruboklastycznego. Zatem i w tym zestawieniu zaznacza się odrębność sedimentacji tego regionu. Z uwagi na jego położenie oraz małą miąższość osadów posiada on charakter lokalny, nie wpływający na ogólny obraz. Analiza mapy litofacjalnej (fig. 6) potwierdza poprzednio wysunięty wniosek, że główne źródło materiału klastycznego w okresie sedimentacji wizeny znajdowało się na zachodzie lub południowym zachodzie.

MAPY LITOFACJALNE WYKONYWANE W OPARCIU O FUNKCJE
KLASYFIKUJĄCĄ (CLASSIFYING FUNCTION — C. R. PELTO, 1954)

Opisywana metoda w pewnym stopniu usuwa niedogodności poprzedniej, a mianowicie konieczność wykreślenia dodatkowych map, jednakże wymaga stosowania szeregu kłopotliwych wyliczeń. Przy tej metodzie nie otrzymujemy informacji o ilości wartości bezwzględnej poszczególnych składników osadu. Metodę tę opracował C. R. Peltó (1954). Polega ona na wydzieleniu siedmiu klas; trzy z nich są jednoskładnikowe, trzy dwuskładnikowe i jedna — trójskładnikowa. Klasy charakteryzują się następująco: przewaga jednego składnika, równe proporcje dwu składników, różne proporcje wszystkich trzech składników. Na fig. 2a zaznaczone są linie konturowe o wartościach D od 10 do 100. Linie konturujące 100 (grube) wyznaczają granice klas. W każdej klasie jest punkt minimalny, nazwany przez C. R. Pelto punktem końcowym wymieszania klasy (*the „end — mixture“ of the class*).

Numer klasy, do której należy dany punkt i wartość D wyznacza się następująco:

Oznaczamy sumę (i) składników przez (p_i). Do ilości (n) składników dodaje się jeszcze jeden składnik zerowy, którego suma jest zawsze równa zero. Wtedy:

$$\sum_{i=0}^n p_i = 1$$

Ustawiamy $n+1p_i$ w kolejności wzrastającej od lewej do prawej i wyznaczamy różnice (dodatnie) pomiędzy nimi — p

$$0 < p_a < p_b < p_c$$

$$\Delta p_a \Delta p_b \Delta p_c$$

Skrajną z prawej oznaczamy jako Δp_1 i dalej kolejno Δp_2 , Δp_3 . Klasa wyznaczona jest przez największą wartość Δp . Największą Δp oznaczamy jako $\Delta p/m$, następną z kolei jako $\Delta p/m-1/$.

Wartość D wyznaczamy z wzoru:

$$D = 100 [1 - (\Delta p/m - \Delta p/m-1/)]$$

Jeżeli dwie wartości Δp są równe i gdy $\Delta p/m = \Delta p/m-1/$, to $D = 100$ i punkt ten leży na granicy dwóch klas. Np. w serii o składzie: wapień 10%, mułowce 30%, piaskowce 60%, czyli $p_1 = 0,1$, $p_2 = 0,3$, $p_3 = 0,6$, $p_i = 1$.

Po dodaniu czwartego składnika zerowego otrzymujemy:

0	0,1	0,3	0,6
$\Delta p_a = 0,1$	$\Delta p_b = 0,2$	$\Delta p_c = 0,3$	
$\Delta p/m = \Delta p_1$, czyli jest to klasa Ia, a			
$\Delta p/m-1/ = \Delta p_a$			

Minimalne wartości D w każdej klasie określone są wzorem:

$$D_{\min} = 100 - \frac{100}{\text{nr klasy}}$$

Sporządzanie map litofacjalnych tą metodą, przy stosunkowo małej ilości punktów pomiarowych, jest utrudnione, zwłaszcza że nie zachodzą tutaj proste proporcje. Jeżeli w dwu sąsiednich punktach występuje litofacja I klasy, ale różna (wapień i mułowce), trzeba interpolować zasięg litofacji klasy II, mieszanej (wapień + mułowce), co utrudnia wykonanie map.

W oparciu o tę metodę skonstruowano mapę litofacjalną przedstawioną na fig. 7. Wyniki uzyskane na podstawie tej mapy są zbieżne z wynikami uzyskanymi z mapy poprzedniej (fig. 6). Jedynie wiercenie Radzyń znalazło się w I klasie — piaskowców. Wartość $D = 93$ wskazuje na to, że mamy do czynienia z graniczną wartością tej klasy. Na czoło wysuwa się część centralna basenu wypełniona osadami mułowcowymi I klasy. Wartości D w Dorohuczycy zbliżają się do podklasy wewnętrznej ($= 57$). W rejonie Kapłonosów stwierdzono występowanie (o małym zasięgu) I klasy wapieni. Jednakże wartość $D = 99$ wskazuje na graniczny charakter z II klasą mułowców—wapieni.

Strefa wschodnia i rejon Tyszowce — Korczmin — to obszar występowania II klasy mułowców—wapieni. Wiercenie Niedrzwica znalazło się na skraju III klasy, gdzie wszystkie składniki są wymieszane w podobnym stosunku.

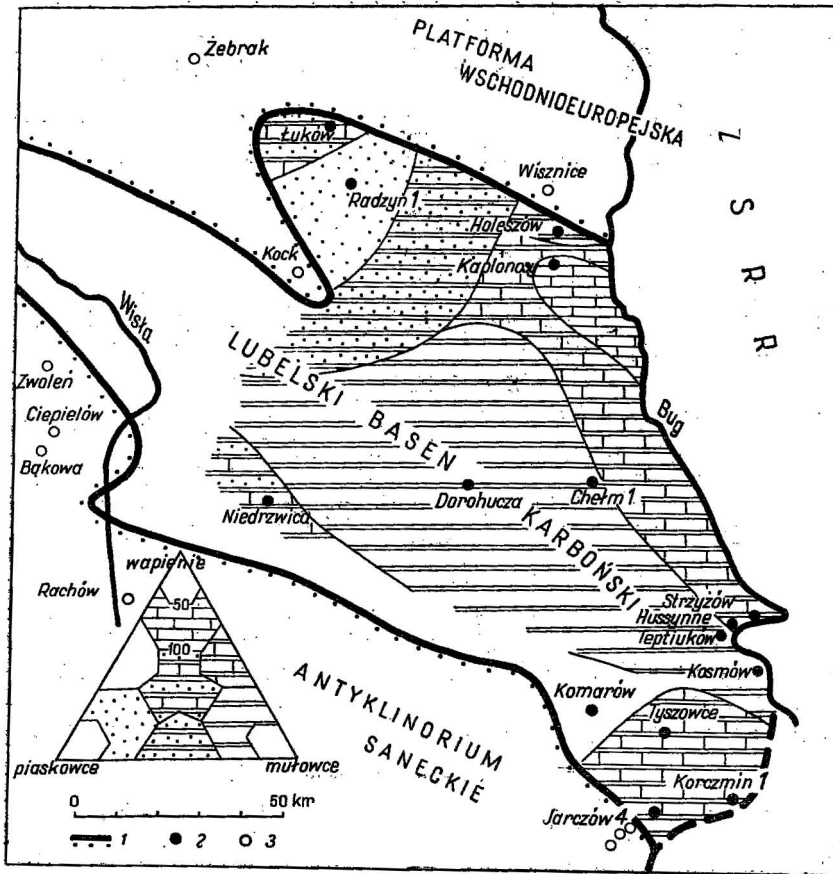


Fig. 7. Mapa litofacjalna wizeniu lubelskiego basenu karbońskiego sporządzona na podstawie funkcji klasyfikującej D
Lithofacial map of the Visean within the Lublin Carboniferous basin, made on the basis of classifying function D

- 1 — zasięg wizeniu; 2 — wiercenia, w których stwierdzono wizeniu; 3 — wiercenia, w których nie stwierdzono wizeniu
1 — extent of Visean; 2 — bore holes in which Visean deposits have been ascertained; 3 — bore holes in which no Visean deposits have been ascertained

MAPY LITOFACJALNE WYKONYWANE W OPARCIU O FUNKCJĘ ENTROPII
(ENTROPY FUNCTIONS LITHOFACIES MAP — C. R. PELTO, 1954, p. 507)

Metoda ta opracowana przez C. R. Pelto (1954) dla trzyskładnikowych lub czteroskładnikowych serii osadów pozwala również na wydzielenie facji i ich granic. Termin „entropia“ C. R. Pelto użył w odniesieniu do stopnia wymieszania oraz niepewności składników osadów. Wysokie wartości entropii wskazywać mają na prawie równe proporcje, natomiast niskie wartości wskazują na przewagę jednego ze składników osadu. Wydzielone zostały obszary o entropii niskiej — do 0,60 — i entropii wysokiej — ponad 0,70.

Mapy tego typu dają tylko wskaźniki stopnia zróżnicowania składników osadu, nie precyzując ich litologii. Dopiero dodatkowe czynności przy wyznaczaniu niskiej entropii pozwolą na ustalenie cech litologicznych składników.

Metoda ta oparta jest o funkcję H. W mechanice klasycznej entropia określona jest wzorem (Slater, 1939, p. 33, in C. R. Pelto, 1954)

$$S = k \sum_i f_i \ln f_i$$

gdzie k — stała Boltzmanna, f_i — prawdopodobieństwo systemu w przedziale i fazy przestrzeni.

W mechanice kwantowej — opartej na wzorze Mayer'a (Mayer, 1940, p. 92, in C. R. Pelto, 1954)

$$S = k \ln W$$

gdzie W jest całkowitą liczbą kwantową stanu osiągalną dla systemu, a zatem oba powyższe równania sobie odpowiadają.

C. R. Pelto przyjął do obliczeń wzór Shanona, który definiuje entropię jako prawdopodobieństwo układu $p_1, p_2 \dots p_n$

Dla układu trójskładnikowego ma on postać:

$$- \sum_{i=1}^3 p_i \ln p_i$$

Jak podaje C. R. Pelto (1954), entropia osiąga więc maksimum, gdy $p_1 = p_2 = p_3 = 0,33 \dots$, a minimum, gdy jedno z p jest równe 1, a pozostałe dwa równe 0.

Gdy $p_1 = p_2 = p_3 = 0,33 \dots$ maksymalna entropia wynosi:

$$H_{\max} = -3 (0,33 \dots \ln 0,33 \dots) = 1,0986$$

Do wykreslania map C. R. Pelto (1954, p. 50⁷) proponuje następującą funkcję:

$$100 \text{ Hr} = \frac{-100 \sum_i p_i \ln p_i}{H_{\max}}$$

Na fig. 3a przedstawiono za C. R. Peltem obraz tej funkcji w układzie trójskładnikowym.

Dla przykładowego wyliczenia użyto tych samych wartości co przy wyliczaniu funkcji klasyfikującej D — wapień 10%, mułowce 30% i piaszkowce 60%.

$$\begin{aligned} 100 \text{ Hr} &= \frac{-100 [(0,1 \ln 0,1) + (0,3 \ln 0,3) - (0,6 \ln 0,6)]}{1,0986} \approx \\ &\approx \frac{-100 [(-0,230) + (-0,361) + (-0,300)]}{1,0986} \end{aligned}$$

$$\text{Hr} \approx 0,810$$

Mapy tego typu są użyteczne dla regionów, gdzie mamy do czynienia z trzema zasadniczymi typami litologicznymi, częściowo odrębnymi, i gdzie należy wskazać obszary ich zazębiania się.

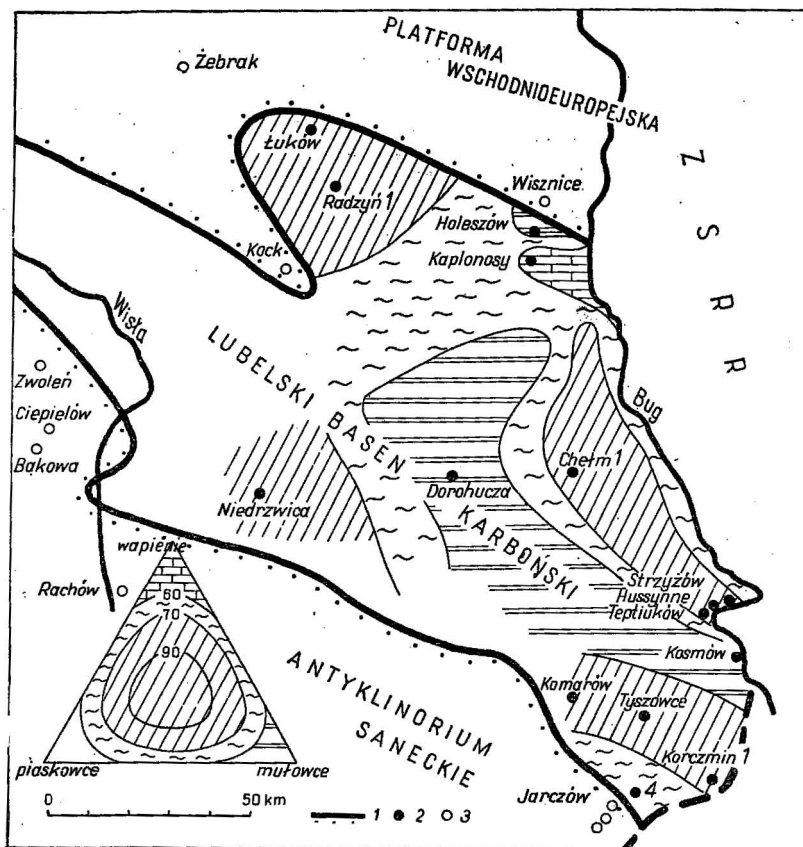


Fig. 8. Mapa litofacjalna wizenu lubelskiego basenu karbońskiego skonstruowana na podstawie funkcji entropii (H_r)

Lithofacial map of the Visean within the Lublin Carboniferous basin, constructed on the basis of entropy function (H_r)

1 — zasięg wizenu; 2 — wiercenia, w których stwierdzono wizenu; 3 — wiercenia, w których nie stwierdzono wizenu

1 — extent of Visean, 2 — bore holes in which Visean deposits have been ascertained, 3 — bore holes in which no Visean deposits have been ascertained

Odmianą tych map jest mapa litofacjalna wskaźnikowa entropii (*Entropy ratio*). Strefy o wartości pośredniej funkcji entropii podzielone są na szereg klas w zależności od wskaźników piaszczystości (stosunek wapieni do piaskowców), zapiaszczenia (piaskowców do mułowców) i wapnistości (wapieni do mułowców) — fig. 3b. J. M. Forgo-tson (1960) — autor tej metody — stwierdza, że pozwala ona na uzyskiwanie dobrych wyników przy małej liczbie danych. Słabą stroną tej metody jest trudność w wydzieleniu klas o średniej wartości funkcji entropii, którą J. M. Forgo-tson zaleca wyznaczać przy użyciu maszyn liczących.

Mapa litofacjalna wizenu skonstruowana w oparciu o funkcję entropii przedstawiona jest na fig. 8. Podobnie jak w poprzednich mapach

W przypadku wizenu lubelskiego mapa ta podkreśla mieszany charakter składników. Wydziela się tu klasa wapieni w rejonie Kapłomów, podobnie jak poprzednio. Przy rozpatrywaniu funkcji entropii nową informacją jest występowanie klasy wapieni na południe od Jarczowa 4. Otwór ten znalazł się bowiem w strefie o pośredniej entropii. Osady w Tyszowcach mają natomiast wyższą entropię, w związku z czym można teoretycznie przewidywać istnienie klasy wapieni na południu.

Z porównania tej mapy litofacjalnej z mapami skonstruowanymi przy pomocy poprzednio opisanych metod (fig. 6, 7, 8) widoczne jest, że wyeliminowany został rejon Radzyna cechujący się podwyższoną piaskistością osadów, która zdaniem autora w obrębie lubelskiego basenu karbońskiego jest zjawiskiem lokalnym.

Ostatnia ze skonstruowanych map litofacjalnych wizenu (fig. 9) stanowi odmianę poprzednio omówionej. Różnica polega na wyróżnieniu podklas o średniej entropii, przy czym strefę tę poszerzono do wartości 0,80. Stąd zbliżony charakter map przedstawionych na fig. 8 i 9.

WNIOSKI

Przegląd wykonanych map litofacjalnych potwierdza celowość tych prac. Uzyskano ważne dane o stosunku ilościowym wyróżnionych składników. Obraz uzyskiwany przy zastosowaniu omówionych metod jest bardzo zbliżony, różni się tylko w szczegółach.

Na podstawie opracowanych map litofacjalnych można stwierdzić, że w SE części Niżu Polskiego wizen rozwinięty jest w litofacji mułowcowej. Na jego wschodniej peryferii występuje wzrost wapnistości osadów, w kierunku zachodnim natomiast obserwuje się silny wzrost zapiaszczenia. Pozwala to na wyciągnięcie wniosku, że nie obszar platformy wschodnioeuropejskiej, a masywy położone na południowym zachodzie stanowiły główne źródło materiału klastycznego. W związku z powyższym należy traktować lubelski basen karboński jako rów przedgórski.

Mapy litofacjalne sporządzane przy zastosowaniu różnych metod podanych w artykule wskazują na zbieżność otrzymywanych wyników, dlatego też wydaje się celowe seryjne wykonywanie takich map w oparciu o zunifikowane grupy litofacjalne. Dla bardziej szczegółowych analiz dotyczących jednej jednostki obliczeniowej celowe wydaje się stosowanie odrębnych wydzielen dla podkreślenia różnic lokalnych.

Najkorzystniejszą metodą konstruowania map litofacjalnych jest według autora metoda oparta o wskaźniki klastyczności, zapiaszczenia i funkcję entropii.

Zakład Złóż Ropy i Gazu
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4
Nadesłano dnia 2 marca 1966 r.

PIŚMIENNICTWO

ATLAS GEOLOGICZNY POLSKI. Zagadnienia stratygraficzno-facjalne, z. 2—13, 1957—1965. Warszawa.

- BOJKOWSKI K. (1960). — Zagadnienia stratygraficzno-facjalne — Karbon. Atlas Geologiczny Polski. Warszawa.
- CZEKAJ A., DEMBOWSKI Z., MOSZCZYŃSKA U., KUCHCIŃSKI J., SIEWINIĄK A. (1964) — Region górnośląski — utwory karbonu górnego. W. G. Warszawa.
- FORGOTSON J. M. jr. (1960) — Review and classification of quantitative mapping technique. Bull. Am. Assoc. Petr. Geol., 44, p. 83—100. Tulsa.
- JASKOWIAK M. (1966) — Zagadnienia facjalne kredy górnej i albu górnego w obrębie synklinorium szczecińskiego i monokliny przedsudeckiej. Kwart. geol., 10, p. 531, nr 2. Warszawa.
- KOREJWO K. (1958) — Karbon Strzówowa nad Bugiem. Biul. Inst. Geol., 153, Warszawa.
- KOREJWO K. (1960) — Wyniki wiercenia Chełm IG 1 — karbon. Biul. Inst. Geol., 165, p. 23—42. Warszawa.
- KRÓLICKA J. (1966) — Wstępna charakterystyka prognoz ropo- i gazonośności doggeru na Niżu Polskim. Kwart. geol., 10, p. 548, nr 2. Warszawa.
- KRUMBEIN W. C., SLOSS L. L. (1951) — Stratigraphy and Sedimentation. Freeman and Co. San Francisco.
- PAJCHŁOWA M. (1960) — Kartograficzne metody rozwiązywania zagadnień paleogeograficznych w Związku Radzieckim. Geologia za Granicą, 1, p. 3—18. Warszawa.
- PELTO C. R. (1954) — Mapping of multicomponent systems. Jour. Geol., 62, p. 501—511, nr 5. Chicago.
- SCHRAM W. J. jr. (1964) — Paleogeologic and quantitative lithofacies analysis, Simpson Group, Oklahoma. Bull. Am. Assoc. Petr. Geol., 48, p. 1164—1195. Tulsa.
- ŻELICHOWSKI A. M. (1964) — Problemy litologii i sedymentacji dolnego karbonu w Polsce. Kwart. geol., 8, p. 524—641, nr 3. Warszawa.
- ЗАВЯЛОВА Е. А. (1964) — Фаціальная характеристика каменноугольных отложений Львовской мульды. Тр. Укр. НИГРИ, вып. 9, стр. 60—72. Ленинград.
- ФЕОФИЛОВА А. П., ЛЕВЕНШТЕЙН М. Л. (1963) — Особенности осадко- и угленакопления в нижнем и среднем карбоне Донецкого Бассейна. АН СССР, Тр. Геол. Ин-та, 73. Москва.

Антони Мариан ЖЕЛИХОВСКИ

СОСТАВЛЕНИЕ ЛИТОФАЦИАЛЬНЫХ КАРТ НА ОСНОВАНИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Резюме

В статье дается обзор методов составления литофациальных карт, применяемых американскими геологами. Обсуждаются литофациальные карты визейского яруса Люблинского каменноугольного бассейна, составленные на основании анализа коэффициентов песчаности и кластичности (Lithologic Ratio Maps — В. Ц. Крумбейн, Л. Л. Слосс, 1951), классифицирующей функции (Classifying function — Ц. Р. Пельто, 1954), функции энтропии

(Entropy function — Ц. Р. Пельто, 1954) и показательной функции энтропия (Entropy function ratio — И. М. Форготсон, 1960).

На составленных картах были получены сходные результаты. В северо-восточной части бассейна преобладает толща пород с повышенным содержанием известняков. Центральная часть, по направлению Дорохуча — Корчмин (фиг. 4—9), характеризуется преобладанием алевролитоглинистого материала. В юго-западной зоне (Недзвица — Комарув) отмечается резкое увеличение песчаности в визейских отложениях.

Анализ распределения литофаций визейского яруса в пределах бассейна указывает на то, что основным источником кластического материала являлись приподнятые Свентокшпские горы или их юговосточное продолжение, т.е. Санокский массив.

Наиболее пригодными автор считает карты построенные на основании методов использующих коэффициенты кластичности и песчаности и функцию энтропии.

Antoni Marian ŻELICHOWSKI

USE OF STATISTICAL METHODS IN DRAWING UP LITHOFACIAL MAPS

Summary

The paper gives a review of the methods used during elaboration of lithofacial maps by American geologists. In addition, the author discusses lithofacial maps of the Visean occurring in the Lublin Carboniferous basin, elaborated on the basis of the analysis of sand — shale ratio, clastic ratio (Lithologic Ratio Maps — W. C. Crumbein, L. L. Sloss, 1951), classifying function (C. R. Pelto, 1954), entropy functions (C. R. Pelto, 1954) and entropy function ratio (J. M. Forgotson, 1960).

The obtained maps have shown approximate results. The north-eastern part of the basin is characterized by a predominance of the deposits revealing an increased content of limestones. The central portion occurring at the axial line Dorohucz — Korczmin (Figs. 4—9) reveals a prevalence of mudstone-claystone material. The south-western area (Niedrzwica — Komarów) of the region considered is characterized in turn by a considerable increase of sand contents of the Visean deposits.

The analysis of distribution of the Visean deposit lithofacies occurring within the basin demonstrates that the elevated Święty Krzyż Mts., or their south-eastern continuation, i.e. the Sanok massif, were the main source of clastic material.

According to the present author the most useful maps are those constructed by means of the method based on the sand — shale ratio, clastic ratio and on the entropy function.