

KRZYSZTOF BIRKENMAJER

Orientowane hieroglify spływowe we fliszu karpackim i ich stosunek do hieroglifów prądowych i wleczeniowych

STRESZCZENIE: Podany jest opis orientowanych hieroglifów spływowych z dolnych i górnych powierzchni ławic piaskowców fliszu karpackiego. Autor podkreśla ich znaczenie przy rekonstrukcjach paleogeograficznych, gdyż kierunki tych hieroglifów wskazują na nachylenie dna zbiornika sedymentacyjnego. W licznych obserwacjach zostało stwierdzone, że kierunki orientowanych hieroglifów spływowych i rozpiwowych mogą się różnić od kierunków prądów zawieszinowych określonych przez hieroglify prądowe i wleczeniowe, co autor, po przedyskutowaniu innych możliwości, tłumaczy działaniem siły Coriolisa, odchylającej początkowe kierunki prądów zawieszinowych

WSTĘP

W osadach frakcjonalnie warstwowanych o typie fliszu, których genezę wiąże się z działalnością prądów zawieszinowych, spotyka się często, zwłaszcza na dolnych powierzchniach ławic, struktury pochodzenia nieorganicznego, których powstawanie uzależnione jest od deformacji miękkiego jeszcze osadu w czasie lub bezpośrednio po jego depozycji.

Th. Fuchs (1895) opisuje na dolnych powierzchniach ławic piaskowców fliszowych struktury powstałe na drodze mechanicznej (Fliesswülste), które wiąże z płynięciem miękkiego osadu piaszczystego po niezdiagenezowanym ilastym podłożu. Autor ten wnioskował, że struktury takie, które otrzymał on także eksperymentalnie, mogą powstawać w głębszej partii basenu sedymentacyjnego.

Inaczej do zagadnienia powstawania hieroglifów określonych jako spływowe (Fliesswülste) podchodzi W. Häntzschel (1935), który zwraca uwagę, że bardzo zbliżone do nich formy (zapfenförmige „Fliesswülste“) powstają współcześnie na drodze erozji górnej powierzchni ławicy luźnego sedymentu przez prądy związane z przyływami i odpływami w strefie płytkiego morza (Wattmeer). Opisane przez Häntzschela struktury, zdaniem autora, wykazują jednak podobieństwo raczej do hieroglifów prą-

dowych związanych ze spągami ławicy piaszczystej (Strömungs-Marken H. Rücklina, 1938; flow-markings J. L. Richa, 1950) niż do struktur spływowych Fuchsa (1895).

R. Richter (1935) opisuje z powierzchni ławic piaskowców dolnego dewonu Nadrenii struktury spływowe o kształcie półkolistym, podkółkowym (halbkreisförmige Gefliess-Marken) oraz sopłowym, języczkowym (zapfenförmige Gefliess-Marken). Porównuje on je z współczesnymi spływami powierzchniowymi zachodzącymi na małą skalę w ilastych i piaszczystych osadach wattu okolic Wangeroog i wiąże je z górnymi powierzchniami niezdiagnozowanymi, świeżo osadzonych i nieprzykrytych ławic osadu. Na powierzchniach tych tworzyły się małe osuwiska, które dawały początek strukturom spływowym. Jak można jednak wnosić z fotografii (Abb. 2, 3), niektóre z „zapfenförmige Gefliess-Marken“ tego autora odpowiadają raczej dzisiejszemu pojęciu hieroglifów prądowych, które jako odlewy żłobków wyerodowanych przez prąd w warstwie ilastej występują na dolnych powierzchniach ławic piaskowców (patrz niżej).

H. Rücklin (1938) omawia struktury opisywane pod nazwą „Fließwülste“ i „Gefliess-Marken“ podając równocześnie nową formę hieroglifów spągowych w ławicach psammitowych, które na podstawie dociekań teoretycznych i eksperymentalnych uważa za powstałe na drodze rozmywania miękkiego osadu ilastego przez linearny i częściowo turbulentny prąd (Strömungs-Marken), a następnie wypełnienie materiałem piaszczystym powstałych wydrzeń.

R. R. Shrock (1948, pp. 156-161) a za nim Ph. H. Kuenen (1952a) opisują pod nazwą „flow casts“ struktury powstałe przez rozplywanie się miękkiego osadu mulastego czy ilastego pod nierównomiernym obciążeniem piasku lub żwiru. Część z opisanych przez Shrocka deformacji ma charakter wielokierunkowy (fig. 117) i odpowiada przyjętej definicji, część natomiast wykazuje orientację jednokierunkową (fig. 118, B, C), której Shrock nie wyjaśnia. Dla analogicznych struktur Kuenen (1953a, b) proponuje następnie nazwę „load casts“ dla odróżnienia od „flow markings“¹, które według Richa (1950) tworzą się przy erozji i równoczesnym wypełnianiu powstających w miękkim podłożu nierówności przez ziarna piasku niesionego prądem. Na przytoczonych przez Kuenena przykładach niektóre hieroglify rozplywowe mają kształt guzków czy słupków pozbawionych orientacji (Kuenen 1953a, fig. 13), inne natomiast wykazują pochylenie jednokierunkowe (fig. 11, 12). Zdaje się to sugerować, że oprócz rozplywania się miękkiego osadu pewną rolę w ich tworzeniu się mógł odegrać ruch spływowy po pochyłym dnie, jak na to wskazują eksperymentalnie badania Kuenena (Kuenen & Menard 1952, fig. 5, 6). Na analo-

¹ „Flow markings“ Richa (1950) są dokładnym odpowiednikiem wcześniej wyróżnionych i wyjaśnionych przez Rücklina (1938) „Strömungs-Marken“.

giczne zjawiska zwraca uwagę we fliszu Karpat M. Książkiewicz (1954, pp. 418-419), podnosząc, że jeżeli hieroglify rozplywowe (flow casts) wykazują orientację, wówczas mogą kwalifikować się jako hieroglify spływowe dolne.

F. P. Kopstein (1954, p. 40) opisując hieroglify rozplywowe (load casts) z kambru Walii wyraża przekonanie, że nie posiadają one orientacji, co pozostaje w zgodności z wcześniejszymi spostrzeżeniami M. L. Natlanda i Ph. H. Kuenena (1951, p. 98). Jednak przeczą temu obserwacje J. C. Crowella (1955), który opisuje wydłużone jednokierunkowo hieroglify rozplywowe (load casts lineation), a także pewną odmianę jeszcze wyraźniej zorientowanych jednokierunkowo hieroglifów rozplywowych, nabrzmiewających w węzły i cieniejących wzdłuż osi, pod nazwą „torose load casts“.

Ostatnio J. E. Prentice (1956) zwraca specjalną uwagę na orientację jednokierunkową w strukturach rozplywowych, dla których reaktywuje zaniechaną przez Kuenena, Kopsteina i Crowella nazwę „flow casts“. Powodem tej zmiany jest zastąpienie przez Crowella (1955) dawniej stosowanego terminu „flow markings“ (Rich 1950, 1951; Kuenen 1953a) przez określenie „flute casts“ w odniesieniu do struktur hieroglifowych dolnej powierzchni ławic piaskowców i szarogłazów, powstałych pod wpływem żłobienia dna ilastego ziarnami piasku niesionego przez prąd zawieszinowy².

Przedstawiona powyżej terminologia hieroglifów wiąże się z rozpoznaną genezą omawianych struktur prądowych i rozplywowych oraz spływowych w przeciwieństwie do klasyfikacji opartej wyłącznie na kryteriach morfologicznych, proponowanej ostatnio przez V. A. Grossgejma (1955).

W czasie badań sedymentologicznych przeprowadzonych w latach 1954-1956 w pienińskim pasie skałkowym z ramienia Polskiej Akademii Nauk oraz w roku 1956 w słowackich Karpatach, dzięki uprzejmości Instytutu Geologicznego w Bratysławie i Słowackiej Akademii Nauk miałem możliwość poczynienia pewnych obserwacji nad deformacjami spągu i stropu ławic piaskowców w utworach fliszowych. Zająłem się specjalnie strukturami spływowymi i rozplywowymi. Wyróżnione zostały podłużne, poprzeczne i wielokierunkowe hieroglify spływowe dolne (flowage casts) oraz górne (flowage marks — patrz niżej). Wydaje się jednak celowe pozostawienie nazwy hieroglifów rozplywowych (load casts) dla struktur spągu ławicy pozbawionych orientacji, które powstają tylko pod wpływem

² Do typu „flute casts“ należą też „zapfenartige Gefliess-Marken“ opisane przez A. Kleslingera (1937, Abb. 1), „Strömungs-Marken“ Rücklina (1938) i prawdopodobnie „zapfenformige Gefliess-Marken“ R. Richtera (1935, Abb. 2, 3).

rozpływania się miękkiego osadu ilastego pod nierównomiernym przykryciem ławicą piasku, dając nieregularne guzki i nabrznięcia na spągowej powierzchni ławic piaskowców (por. np. Fuchs 1895, Taf. I, fig. 1-4; Carozzi 1952, fig. 2 D; Kuenen 1953a, fig. 13; Natland & Kuenen 1951, fig. 16, 17). Dla struktur pośrednich między typowymi hieroglifami rozpływowymi (load casts) a strukturami spływowymi (flowage casts), wymagającymi do swego powstania pewnej pierwotnej nierówności dna, autor proponuje stosowanie określenia: hieroglify rozpływowe orientowane (oriented load casts)³ (por. Crowell, 1955, pl. 1, fig. 4; pl. 2, fig. 4). W przypadkach trudnych do ścisłego zakwalifikowania do którejś z powyżej omawianych ekstremalnych grup należałoby stosować określenie: hieroglify spływowo-rozpływowe (flowage-load casts).

Doc. drowi S. Dżułyńskiemu chciałbym na tym miejscu podziękować za rzeczową dyskusję nad omawianymi w niniejszej pracy zagadnieniami.

DEFORMACJE POWIERZCHNI SPĄGOWYCH ŁAWIC PIASKOWCÓW

Hieroglify spływowe dolne poprzeczne

Na dolnych powierzchniach ławic piaskowców można niejednokrotnie zaobserwować równoległe zmarszczki najczęściej drobnych rozmiarów, które na przekroju prostym do ich osi wykazują charakterystyczne pozawijania i obalenia „antyklin”. Pozawijanie to jest poprzeczne do biegu zmarszczek (fig. 1, pl. XXII, fig. 2) i zwykle większa część jego wskazuje na jeden kierunek ruchu. W innych przypadkach zawijanie ma dwa kierunki przeciwne. Powstawanie takich hieroglifów można wytłumaczyć kierunkowym ruchem świeżo osadzonej, czy właśnie osadzonej przez prąd zawieszinowy ławicy przepojonej wodą piasku, który spływa po nierównościach dna zbiornika w kierunku jego nachylenia (fig. 2). Podobne zawinięcia otrzymał też na drodze eksperymentalnej Ph. H. Kuenen (Kuenen & Menard 1952, fig. 5, 6).

Na spągu ławicy piaskowej, gdzie ruch jest najsłabszy wskutek ciśnienia i tarcia o podłoże, deformująca się ławica piasku wciąga w obręb swego ruchu leżący niżej il. Struktury zaburzeniowe w ile, wskutek późniejszej kompaktacji, zwykle się nie zachowują, cementacja zaś piasku utrwala w piaskowcu powstałe deformacje.

Hieroglify spływowe dolne poprzeczne mogą dostarczyć dobrych wskazówek co do nachylenia dna basenu, o ile zawinięcia na dużej przestrzeni będą wykazywały stałą orientację. Pojawienie się kierunków obróconych o 180° względem kierunku przeważającego może być wywołane dodatkowymi nierównościami dna małego rzędu.

³ Tutaj należą też „torose load casts” Crowella (1955).

Do typu hieroglifów spływowych poprzecznych należą opisane przez Prentice'a (1956, fig. 2, 3) hieroglify spągowe (flow casts) w ławicach szarogłazów kulmu północnego Devonu (W. Brytania). Autor ten zwraca uwagę, że kierunek transportu materiału wynikający z pomiarów ripplemarków prądowych jest w tym przypadku prostopadły do dłuższych osi hieroglifów, a zgodny z kierunkiem obalenia „antyklin” spływowych. Autor ten przyjmuje dwie alternatywy możliwości genezy tych hieroglifów. Uważa on, że mogą się one tworzyć pod wpływem wolno płynącego prądu zawieszinowego deponującego materiał, czy też pod wpływem spełzywania materiału po pochylonym dnie. W tym drugim przypadku skłonny

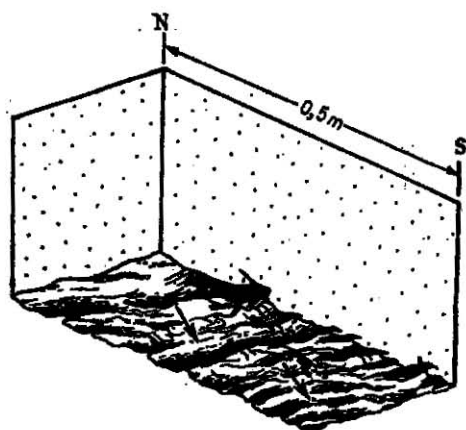


Fig. 1

Hieroglify spływowe dolne poprzeczne. Krasno nad Kýsucą (CSR), warstwy zlińskie (eocen) serii magurskiej. Strzałki wskazują kierunek spływu

Transversal flowage casts. Locality: Krasno on Kýsucá (Czechoslovakia), Zlín beds (Eocene) of the Magura series. Arrows indicate the flowage direction

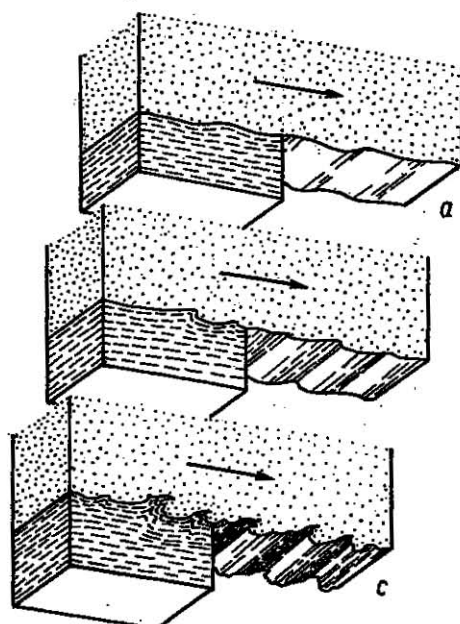


Fig. 2

Powstawanie hieroglifów spływowych poprzecznych na pochylonym dnie ilastym. Strzałki wskazują kierunek spływu

Origin of transversal flowage casts on inclined lutite bottom. Arrows indicate the flowage direction

jest on uważać, że niezaburzona struktura osadu piaszczystego leżącego ponad strukturą spływową wywołana jest tym, że w czasie spływu pewna część poprzednio zdeponowanego luźnego materiału piaszczystego utwo-

rzyła gęstą chmurę zawiesinową, która opadła dopiero po zakończeniu ruchu.

Pierwsze z omawianych tłumaczeń Prentice'a wydaje się słuszne w przypadku hieroglifów spływowych spągowych podłużnych. Odnosnie do drugiego tłumaczenia jestem zdania, że ze względu na małą skalę deformacji spagu ławicy piasku mogła ona ulec zaburzeniom tylko w dolnej części bez naruszenia struktury części górnej, która nie zmieniła w praktyce swojej budowy.

Duże analogie do struktur spływowych poprzecznych we fliszu wykazują opisane przez H. Lipperta (1937, Abb. 2, 4) pod nazwą „subaquatische Gleit-Faltung“ ześlizgi podwodne w górnodewońskich tufowych utworach Niemiec. Wykazują one jedno-, a czasem dwukierunkowy ruch.

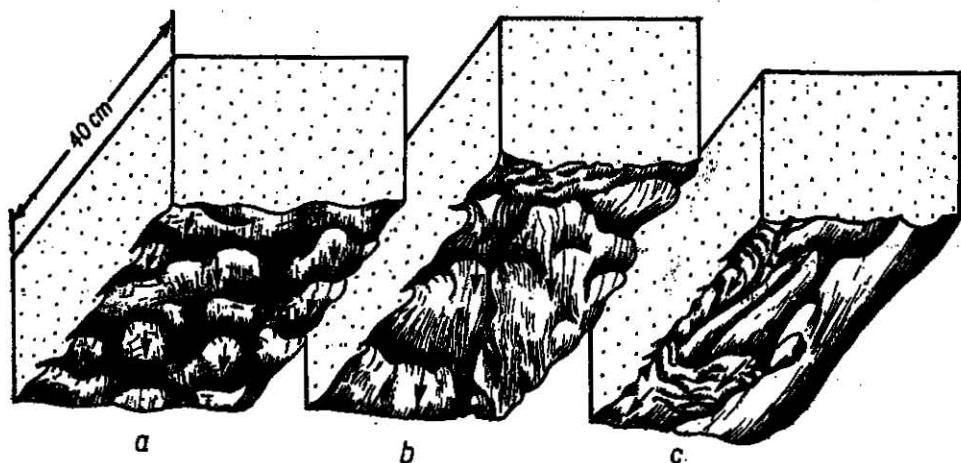


Fig. 3

Hieroglify spływowe dolne podłużne. Strzałki wskazują kierunki spływu. a Nosice koło Púchova (ČSR), warstwy orłowskie serii manińskiej (cenoman), b, c Kolarovice koło m. Velká Bytča (ČSR), w-wy zlińskie (eocen) serii magurskiej

Longitudinal flow casts. Arrows indicate the flowage direction. a Locality: Nosice near Púchov (Czechoslovakia), Orlové beds of the Manín series (Cenomanian). b, c Locality: Kolarovice near Velká Bytča (Czechoslovakia), Zlín beds (Eocene) of the Magura series

Do hieroglifów dolnych spływowych poprzecznych należy też część „Fließwülste“ Fuchsa (1895, Taf. I, fig. 6) oraz niektóre z opisanych przez I. V. Chorovą (1955) hieroglifów spągowych z grupy „jazykoobraznyje gieroglify“ (tabl. V, fig. 15), „rebristyje gieroglify“ (tabl. V, fig. 17, 18; tabl. VI, fig. 19, 20) oraz „znaki vnedrenija“ (tabl. VII, fig. 24, 25). Eksperymentalnie uzyskane hieroglify spływowe poprzeczne na spagu ławicy (gipsu czy cementu) opisał Fuchs (1895, Taf. II, fig. 2, 4) pod nazwą „Fließwülste“.

Hieroglify spływowe dolne podłużne

Oprócz hieroglifów spływowych poprzecznych spotykamy na spągowych powierzchniach ławic piaskowców także hieroglify spływowe podłużne. Różnią się one od powyżej opisanych tym, że nie łączą się w prostopadłe do kierunku ruchu zmarszczki, ale dają pojedyncze, równoległe do kierunku spływu języczki, czy twory soplowate długości do kilku centymetrów (fig. 3). Hieroglify te zarazem dokładniej precyzują kierunek pochyłości dna, gdyż rozsiew ich osi jest znacznie mniejszy od rozsiewu kierunków płynięcia hieroglifów spływowych poprzecznych.

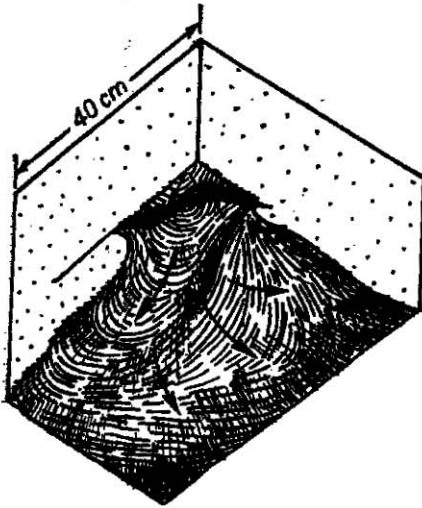


Fig. 4

Hieroglify spływowe dolne wielokierunkowe wykazujące nakładanie się spływów podłużnych i poprzecznych. Kolarovice koło m. Velká Bytča (ČSR), warstwy zlińskie (eocen) serii magurskiej. Strzałki wskazują kierunki spływu

Multidirectional flowage casts. Locality: Kolarovice near Velká Bytča (Czechoslovakia), Zlín beds (Eocene) of the Magura series. Arrows indicate the flowage direction

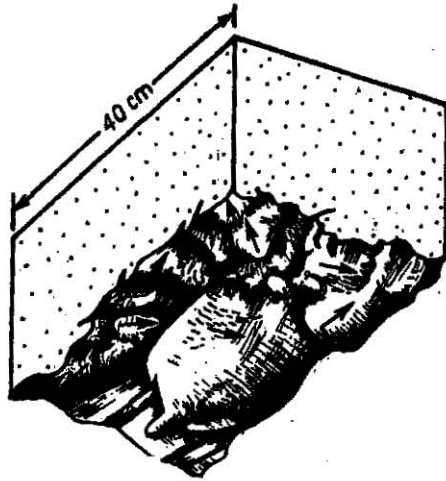


Fig. 5

Hieroglify spływowe dolne wielokierunkowe. Kolarovice koło m. Velká Bytča (ČSR), warstwy zlińskie (eocen) serii magurskiej. Strzałki wskazują kierunki spływu

Multidirectional flowage casts. Locality: Kolarovice near Velká Bytča (Czechoslovakia), Zlín beds (Eocene) of the Magura series. Arrows indicate the flowage direction

Wydaje się, że omawiane hieroglify powstają w sposób analogiczny jak hieroglify spływowe poprzeczne, ale przy większej szybkości ruchu spływowego ławicy piasku, która nadaje strukturze wyraźniejszą lineację podłużną. Do grupy hieroglifów spływowych podłużnych dolnych należy

część opisanych przez I. V. Chvorovą (1955) hieroglifów spagowych pod nazwą „языкообразные гироглифы“ (tabl. V, fig. 16).

Hieroglify spływowe dolne wielokierunkowe.

Niekiedy można zaobserwować formy pośrednie między hieroglifami spływowymi podłużnymi i poprzecznymi. Na fig. 4 widoczny jest duży hieroglif o typie podłużnym, na którego powierzchni zaznacza się pierścieniowo-błazkowa struktura poprzeczna wywołana drobnymi zawinięciami łupku w obręb piaskowca. W innych przypadkach kierunki zawinięcia są

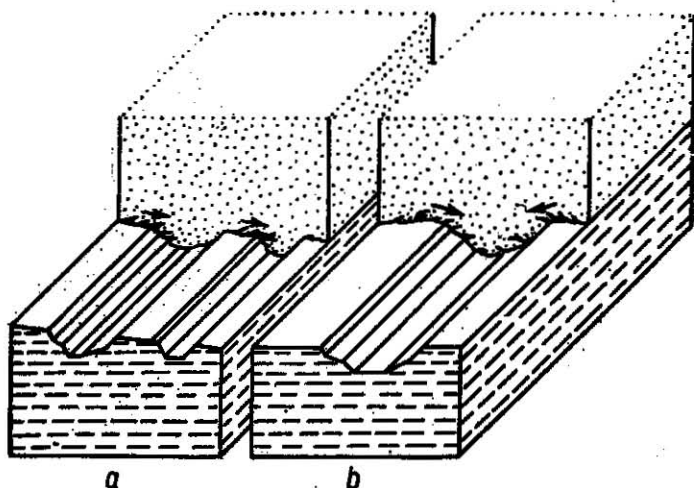


Fig. 6

Powstawanie deformacji spływowych wywołanych hieroglifami wleczeniowymi. Strzałki wskazują kierunki spływu

Origin of deltoidal casts by flowage of hydroplastic sand
Arrows indicate the flowage direction

rozbieżne (fig. 5), co może się wiązać z obecnością pierwotnych wgłębień i wypukłości na dnie ilastym. Omawiane hieroglify wykazują duże analogie do niektórych z opisanych przez Shrocka (1948, fig. 117) „flow casts“ oraz przez Chvorovą (1955, tabl. VIII, fig. 27) jako „znaki vnedrenija“.

Omówione powyżej deformacje (hieroglify) spływowe podłużne, poprzeczne i wielokierunkowe wiążą się, zdaniem autora, z pierwotnym pochYLENIEM dna na pewnej przestrzeni, które może być albo izoklinalne, albo nieckowate. Jeżeli pochYLENIE dna utrzymuje stały kierunek na znacznej przestrzeni, wówczas na dolnych powierzchniach ławic piaskowców, szarogłazów czy mułowców widzimy stały kierunek deformacji. Defor-

macje spływowe mogą jednak zachodzić także na małą skalę w obrębie lokalnych erozyjnych nierówności wytworzonych przed lub w czasie depozycji ławicy psammitu. Poniżej zostaną opisane niektóre przypadki deformacji małego rzędu związanych z takimi nierównościami.

Hieroglify dolne spływowo-rozplływowe wywołane obecnością hieroglifów erozyjnych

Ważną grupę spagowych hieroglifów w ławicach piaskowców, zwłaszcza dla określenia kierunku transportu materiałów klastycznych przez prąd zawiesinowy, stanowią hieroglify prądowe i wleczeniowe. Pierwsze z nich powstają, jak wiemy, z prac H. Rücklina (1938), J. L. Richa (1950,

1951) i innych autorów, głównie przez erozję dna ziarnami piasku niesionymi przez prąd zawiesinowy. Drugie tworzą się według S. Dzułyńskiego i R. Radomskiego (1955) przede wszystkim w wyniku erozji dna ilastego okruchami zdiagenezowanych łupków, wleczonych w spagowej partii prądu zawiesinowego. Jeżeli rynna erozyjna zostanie wypełniona przez ławicę piasku równocześnie z jej wytworzeniem się, wówczas będzie ona stanowiła nierówność, do której będzie spływał hydroplastyczny piasek wytwarzając podwinięte hieroglify spływowe (fig. 6). Słabszy, czy silniejszy rozwój tych hieroglifów (fig. 7a, b), może pozostawać w związku z konsystencją iłu podścielającego piasek czy też ze składem ławicy piaszczystej.

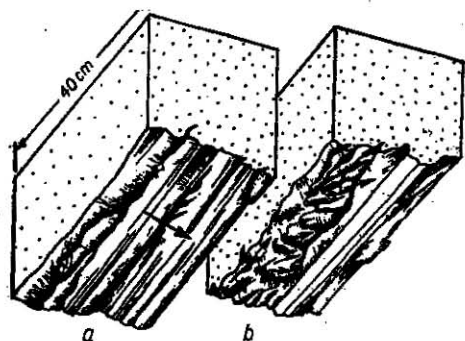


Fig. 7

a, b Hieroglify spływowe dolne podłużne i poprzeczne wywołane hieroglifami wleczeniowymi. Kolarovice koło m. Velká Bytča (ČSR), warstwy zlińskie (eocen) serii magurskiej. Strzałki wskazują kierunki spływu

a, b Longitudinal and transversal flowage casts caused by grooves. Locality: Kolarovice near Velká Bytča (Czechoslovakia), Zlín beds (Eocene) of the Magura series. Arrows indicate direction of flowage

które obserwowałem zwłaszcza w piaskowcach warstw chochołowskich (górnym eocen) fliszu podhalańskiego okolic Szaflar i Cichego oraz w warstwach zlińskich (eocen) serii magurskiej w miejscowości Krasno nad Kýsucu (ČSR). W podanym na fig. 8 przypadku widać wśród struktury „deltowej“ resztki hieroglifów wleczeniowych.

Do omawianej kategorii hieroglifów można zaliczyć również bardzo niekiedy pięknie rozwinięte hieroglify deltoidalne (pl. XXI, fig 1),

Powstawanie struktur deltowych, które są szczególnie dobrze rozwiniętą odmianą hieroglifów spływowych dolnych, można wytłumaczyć następująco: ławica piasku osadzona przez prąd zawiesinowy pokrywa pewną powierzchnię dna, wypełniając nierówności wyłobione wleczonymi fragmentami łupków. Jeżeli istnieje odpowiednia konsystencja łu, a równocześnie ruchliwość piasku (w danym przypadku, fig. 8, ziarno ma

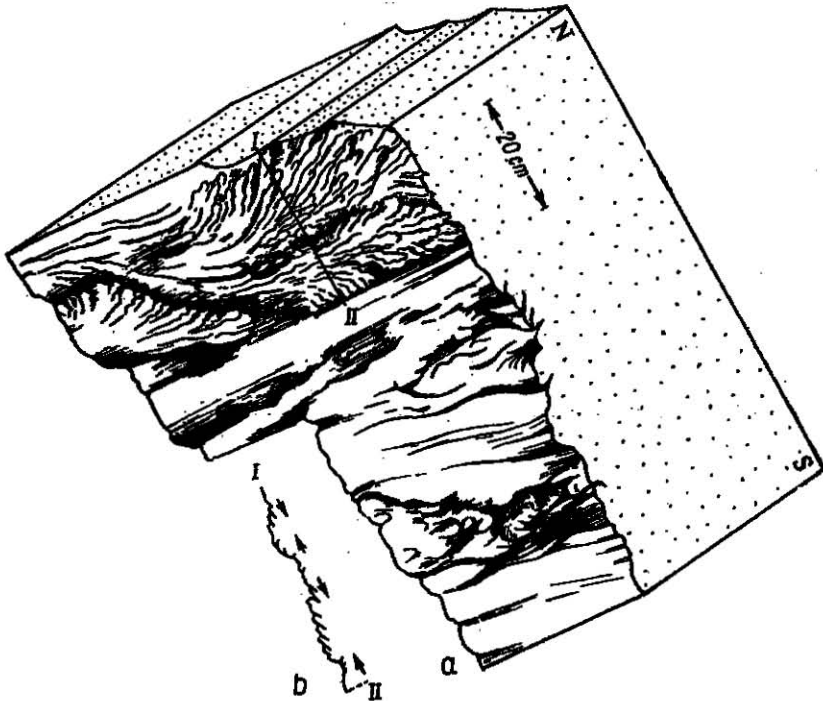


Fig. 8

a Hieroglify deltowe wywołane hieroglifami erozyjnymi na spągu ławicy piaskowca. Krasno nad Kýsucą (CSR), warstwy zlińskie (eocen) serii magurskiej.
b Przekrój powierzchni spągowej ławicy piaskowca (fig. 8a) wzdłuż linii I-II

a Deltoidal casts caused by grooves. Locality: Krasno on Kýsuca (Czechoslovakia), Zlín beds (Eocene) of the Magura series. b Transversal section along the I-II line (compare fig. 8a)

średnicę ok. 0,5 mm, przy grubości ławicy około 0,7-1,0 m), wówczas słup piasku będzie wgniatał w łu dno rowka, powodując rozplywanie się łu na boki i zawijanie się jego na bokach rynny. Jeśli przy tym rynna erozyjna

będzie wygasła w jednym kierunku, wówczas na spągowej powierzchni ławicy piaszczystej powstaną struktury wachlarzowe, „deltowe“ (fig. 9), które są wynikiem nakładania się hieroglifów podłużnych i poprzecznych względem rynny.

Powstawanie hieroglifów deltowych w poznanych przypadkach wiąże się w wyraźny sposób z hieroglifami wleczeniowymi. Teoretycznie mogą one być związane z każdą, odpowiednio dużą nierównością w dnie zbiornika. Wydaje się, że nie są one wiele młodsze od śladów erozyjnych, które wypełniają. Nie obserwowano ich na hieroglifach wleczeniowych wypeł-

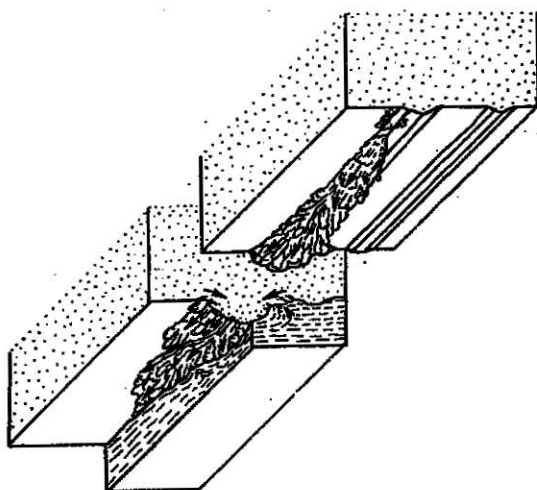


Fig. 9

Powstawanie hieroglifów deltowych na drodze spływania osadu piaszczystego do nierówności erozyjnej w dnie ilastym. Strzałki wskazują kierunek spływu

Origin of deltaoidal casts by flowage of hydroplastic sand to erosional grooves. Arrows indicate the flowage direction

nionych piaskiem gruboziarnistym, czy też hieroglifach wleczeniowych słabo rozwiniętych. Hieroglify prądowe prawdopodobnie nie dają im początku, ze względu na swe małe rozmiary. W hieroglifach tych obserwuje się również podwinięcia, które Dżułyński i Radomski (1955, fig. 6, 10) uważają za objaw deformacji pod wpływem kompaktacji, bez wpływu lub tylko z minimalnym wpływem przemieszczenia bocznego. W świetle przytoczonych wywodów, powyższa deformacja może być częściowo tłumaczona spływaniem i rozplywaniem się miękkiego osadu spowodowanym istnieniem erozyjnej nierówności w podłożu ilastym. Kompaktacja pio-

nowa dąży raczej do spłaszczenia hieroglify i wyrównania jego brzegów, gdy przeciwnie — sypywanie materiału bezpośrednio po zasypaniu piaskiem hieroglify będzie powodowało zaostrenie kontrastów jego rzeźby (fig. 10).

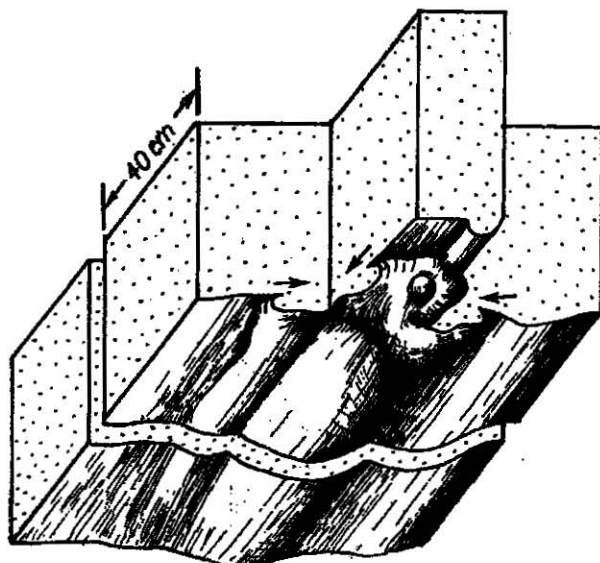


Fig. 10

Deformacje sypawo-rozplywowe na spagu ławicy piaskowca wywołane obecnością hieroglify prądowego. Zjarský Potok koło m. Považská Bystrica (ČSR), warstwy orłowskie serii manińskiej (cenoman). Strzałki wskazują kierunek sypywania

Flowage-and-load casts caused by flute gouge. Locality: Zjarský Stream near Považská Bystrica (Czechoslovakia), Orlové beds (Cenomanian) of the Manín series. Arrows indicate the flowage direction

DEFORMACJE POWIERZCHNI STROPOWYCH ŁAWIC PIASKOWCÓW

Hieroglify sypawowe górne podłużne

Na górnych powierzchniach ławic piaskowców można niejednokrotnie zaobserwować równoległe względem siebie, języczkowate lub soplowate, albo też kropłowate wałki i nabrzmienia. Grubszy ich koniec zwrócony jest w jednym kierunku, wskazując kierunek spływanego (fig. 11a). Równocześnie często górna powierzchnia ławicy piaskowca nabrzmiewa wówczas w równoległe względem siebie, a poprzeczne do kierunku ruchu spły-

wowego „synkliny“ i „antykliny“. Struktury takie obserwowano w piaskowcach drobnoziarnistych (o średnicy ziarna poniżej 1 mm) z często zaznaczoną laminacją w stropie. Przewieszenie struktur spływowych w partiach czołowych w przypadku ilustrowanym na fig. 11 zdaje się wskazy-

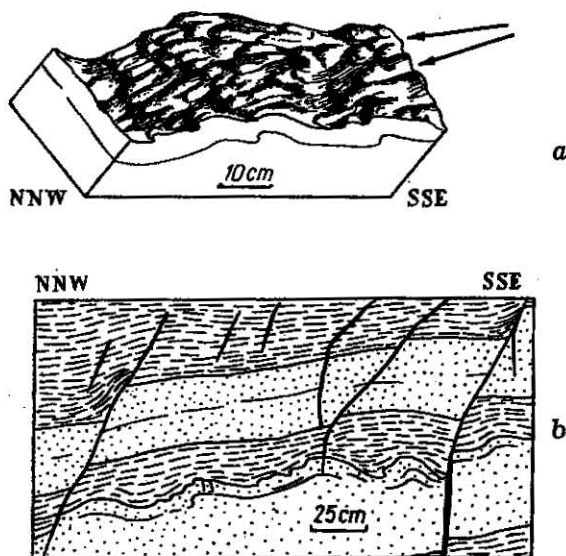


Fig. 11

Hieroglify spływowe górne podłużne. Niedzica (Polska), turon fliszowy serii czorsztyńskiej. Strzałki wskazują kierunek spłyzywania. *a* stereogram górnej powierzchni ławicy piaskowca. *b* przekrój pionowy odsłonięcia, w którym widać dwie ławice piaskowca (dolna z hieroglifami spływowymi górnymi) przedzielone marglami.

Longitudinal flowage marks. Locality: Niedzica (Poland), Flysch Turonian of the Czorsztyń series. Arrows indicate direction of flowage. *a* a stereogram of upper surface of the sandstone layer. *b* transversal section of the same outcrop. Two sandstone layers are interbedded by marls (the lower sandstone layer with flowage marks)

wać, że spłyzywanie górnej części laminowanego piaskowca odbywało się pod przykryciem miękkiego, niezdiagenezowanego mułu marglistego. Struktury spływowe w marglu się nie zachowały, górna zaś jego powierzchnia uległa wyrównaniu (fig. 11b)

Tabela (Chart) 1

Kierunki hieroglifów w odsłonięciu warstw orłowskich
koło m. Považská Bystrica (ČSR)

Trends of casts and marks in an outcrop of Orlové beds (Cenomanian of the Manín series) in the vicinity of Považská Bystrica (Czechoslovakia)

		średnio (average)
hieroglify spływowe dolne podłużne: (longitudinal flowage casts)	110, 115	} 164°
hieroglify rozplływowe orientowane: (oriented load casts)	104, 130, 140, 140, 140, 140, 144	
hieroglify spływowe górne podłużne: (longitudinal flowage marks)	210, 210	
hieroglify spływowe dolne poprzeczne: (transversal flowage casts)	200, 200, 205, 210, 210, 215	
hieroglify prądowe: (flute casts)	140, 180, 220, 230, 230, 255, 255, 255, 255, 255, 260, 260, 260, 260, 260, 260, 260, 260, 260, 265, 265, 265, 265, 265, 265, 270, 270, 270, 270, 270, 270, 270, 270, 270, 270, 270, 270, 270, 275, 275, 275, 275, 275, 275, 280, 280, 290, 290, 295	} 261°
hieroglify wlezeniowe łupków: (angular fragments groove casts)	224, 226, 228, 240, 245, 249, 250, 250, 252, 260, 260, 260, 260, 265, 265, 275, 290, 290, 290, 295	
hieroglify wlezeniowe ziarn piasku: (grain groove casts)	110	} 252°

Tabela (Chart) 2

Kierunki hieroglifów w odsłonięciu warstw orłowskich koło Púchova (ČSR)

Trends of casts in an outcrop of Orlové beds (Cenomanian of the Manín series) in the vicinity of Púchov (Czechoslovakia)

		średnio (average)
hieroglify spływowe dolne podłużne: (longitudinal flowage casts)	150, 155, 160, 160, 160, 165, 170, 170, 170, 175, 180, 180, 180, 180, 185, 185, 185, 200, 200, 205, 205, 210, 215	180°
hieroglify prądowe: (flute casts)	220, 220, 220, 225, 225, 225, 225, 230, 230, 235, 240, 240	228°

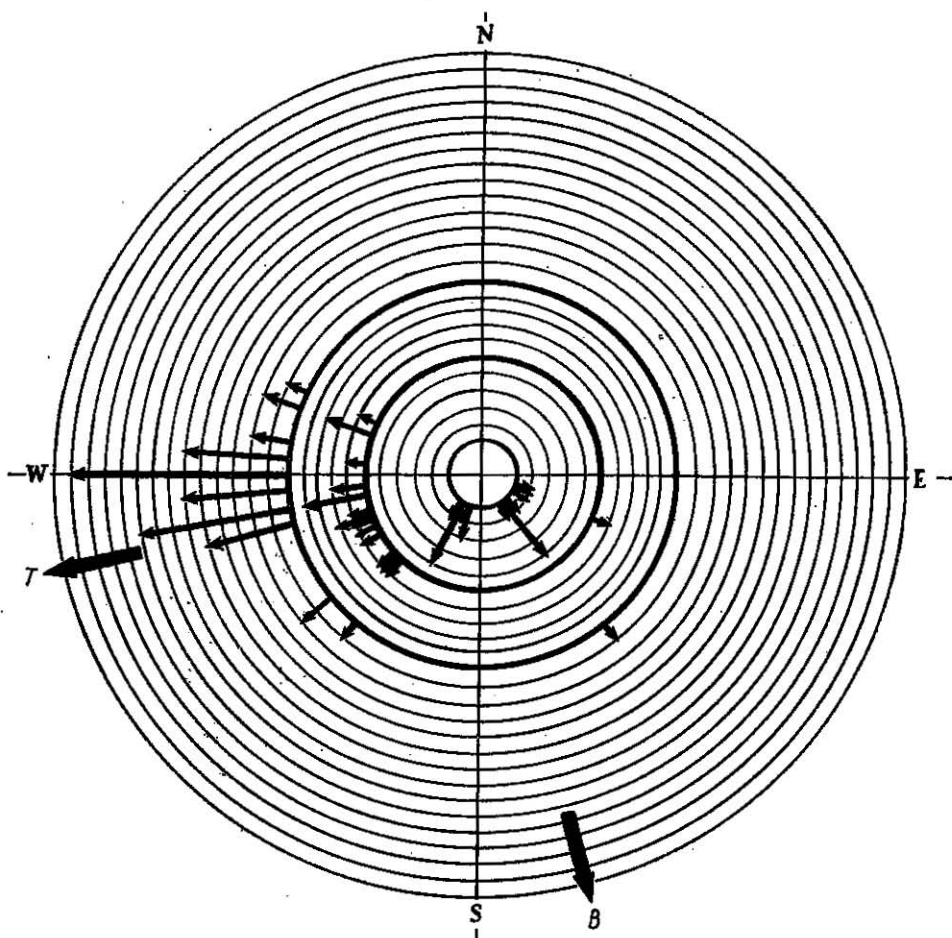


Fig. 13

Diagram kierunków sedymentacyjnych w warstwach orłowskich (cenoman) serii manińskiej. Zjarský Potok koło m. Považská Bystrica (ČSR). Por. tabela 1 w tekście. W pierścieniu wewnętrznym zaznaczono kierunki hieroglify spływowych dolnych podłużnych i poprzecznych, orientowanych hieroglify rozpywowych i hieroglify spływowych górnych podłużnych. W pierścieniu środkowym zaznaczono kierunki hieroglify wleczeniowych. W pierścieniu zewnętrznym zaznaczono kierunki hieroglify prądowych. Odstęp między dwoma sąsiednimi pierścieniami odpowiada jednemu pomiarowi. *T* średni kierunek prądu zawieszinowego wyliczony z kierunków hieroglify prądowych i wleczeniowych. *B* średnie pochylenie dna wyliczone z hieroglify spływowych i rozpywowych orientowanych

Diagram of sedimentational trends in the Orlové beds (Cenomanian) of the Mánin series. Locality: Zjarský Stream near Považská Bystrica (Czechoslovakia). Compare also chart 1 in the Polish text

w wycinku 220° - 240° wskazując na transport materiału klastycznego z NE ku SW, średnio 228° (fig. 14), w stosunku do hieroglifów spływowych, które w rozsiewie 150° - 215° wskazują na pochylenie dna ku południowi, średnio 180° (tab. 2 i fig. 14).

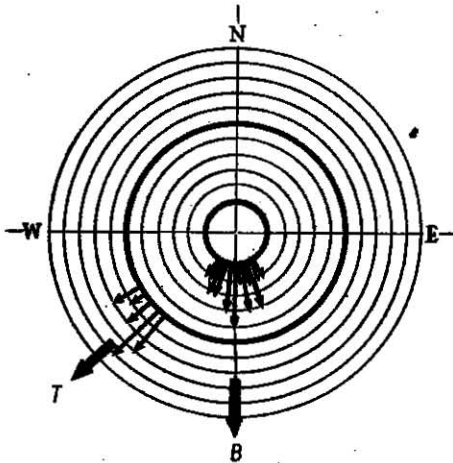


Fig. 14

Diagram kierunków sedymentacyjnych w warstwach orłowskich (cenoman) serii manińskiej. Nosice koło Púchova (CSR). Por. tabela 2 w tekście

W pierścieniu wewnętrznym zaznaczono kierunki hieroglifów spływowych dolnych podłużnych. W pierścieniu zewnętrznym zaznaczono kierunki hieroglifów prądowych. Odstęp między dwoma sąsiednimi pierścieniami odpowiada jednemu pomiarowi. T, B jak na fig. 13

Diagram of sedimentational trends in the Orlové beds (Cenomanian) of the Manín series. Locality: Nosice near Púchov (Czechoslovakia). Compare also chart 2 in the Polish text

Directions of the longitudinal flowage casts indicated in the inner ring. Those of flute casts indicated in the outer ring. The space between two adjacent rings corresponds to one measurement. For T and B see fig. 13

WNIOSKI PALEOGEOGRAFICZNE

Wyniki przeprowadzonych pomiarów wskazują na rozbieżności kierunków otrzymanych z pomiarów hieroglifów, powstających w czasie ruchu prądu zawieszinowego (hieroglify wleczeniowe i prądowe) w stosunku do hieroglifów deformacyjnych, powstających na spągu, czy stropie ławicy już po jej osadzeniu. Wydaje się, że duża stałość kierunków spływów wskazuje na to, że hieroglify spływowe i orientowane hieroglify rozplywowe dają nam kierunek pochylenia dna basenu, w danym przypadku (warstwy orłowskie cenomanu serii manińskiej) od N ku S. W basenie tym rozchodzące się z dużą prędkością prądy zawieszinowe mogły zmieniać kierunek z prostopadłego do kordyliery na równoległy do niej (por. Birkenmajer 1956). Można wyróżnić następujące przyczyny, które mogły spowodować tak znaczną zmianę kierunku:

1. pochylenie podłużnej osi basenu
2. zmiana kierunku podmorskiego kanionu
3. stałe prądy oceaniczne
4. siła Coriolisa.

W każdym przypadku pochylenie osi podłużnej basenu w jego partii osowej wpływa na zmianę kierunku rozchodzenia się prądów zawiesinowych (por. Birkenmajer 1956, Książkiewicz 1956), które zmieniają swój b^z z prostopadłego (od kordyliery) do równoległego względem kordyliery stanowiącej źródło materiału klastycznego. W takim przypadku potrzebne są dość znaczne kąty pochylenia dna w osi basenu. Prądy zawiesinowe poruszają się wówczas konsekwentnie po maksymalnym gradientcie i dają hieroglify wleczeniowe i prądowe oraz warstwowanie przekane równoległe do spływów (hieroglifów spływowych). Taka zgodność została jednak zaobserwowana w warstwach orłowskich.

W przypadku drugim zmianę kierunku prądu zawiesinowego może wywoływać kręty przebieg podmorskiego kanionu, którym ten prąd płynie (por. Menard 1955, Crowell 1955). U ujścia tego kanionu do głębokiej, płaskiej partii dna zbiornika, prąd zawiesinowy rozprzestrzenia się w postaci wachlarza o promieniach dostosowanych do aktualnego pochylenia dna nadbudowanego stożkiem materiału klastycznego. I tutaj na danym promieniu będzie następowało pokrywanie się kierunków hieroglifów wleczeniowych i prądowych z hieroglifami spływowymi. Ta przyczyna zatem również nie może być tutaj brana pod uwagę.

W przypadku trzecim stałe prądy oceaniczne, o ile sięgają dostatecznie głęboko, mogą powodować pewne odchylenia kierunków płynącego prądu zawiesinowego. Zjawisko takie zachodzić jednak będzie przede wszystkim w płytszych partiach zbiornika, gdyż — jak wiadomo — wielkie prądy oceaniczne zaburzają stagnującą wodę morską do głębokości zwykle nie przekraczającej kilkuset metrów (np. prąd Kalifornijski do 500 m), a poza tym tylko w płytszych partiach prąd oceaniczny ma na tyle dużą szybkość, że mógłby wpływać na zmianę kierunku wolnych prądów zawiesinowych. Prądy zawiesinowe, jak wiemy z obserwacji nad współczesnymi prądami zawiesinowymi Grand Banks (Heezen & Ewing 1952, Kuenen 1952) i Orléansville (Heezen & Ewing 1955), rozchodzą się w płytszych partiach zbiornika, gdzie istnieje znaczne pochylenie stoku, z szybkościami znacznie większymi od prądów oceanicznych, które w średnich szerokościach geograficznych rzadko osiągają szybkość powyżej 3,6 km/godz. (Sverdrup & Johnson & Fleming 1946, p. 391), a wynoszącymi dla prądów zawiesinowych od powyżej 100 km/godz. do 9 km/godz. W przypadku warstw orłowskich doliny Wagu nie mamy ewidencji działania prądu oceanicznego, charakter zaś osadu (flisz) i występujące hieroglify erozyjne wskazują na znaczne głębokości, rzędu co najmniej kilkuset metrów⁴.

⁴ Głębokomorski charakter utworów fliszowych jest ostatnio uznawany przez wszystkich badaczy zajmujących się zagadnieniami związanymi z działalnością prądów zawiesinowych (por. literatura).

Wreszcie czwarty przypadek, wiążący zmianę kierunku płynięcia prądu zawiesinowego z siłą Coriolisa, brany jest ostatnio pod uwagę przez H. W. Menarda (1955) i J. C. Crowella (1955). Na półkuli północnej siła Coriolisa powoduje zmianę drogi ciała poruszającego się ruchem postępowym równoległe do powierzchni geoidu, w prawo w stosunku do kierunku ruchu. Taki przypadek mógł mieć miejsce w odniesieniu do prądu zawiesinowego Orléansville opisanego przez B. C. Heezena i M. Ewinga (1955), gdzie skręt zaznaczył się przy gradiencie dna wynoszącym za ledwie 1 : 753 w abysalnym plateau Morza Śródziemnego na głębokości około 2600 m, dając zmianę toru w prawo. W przypadku piaskowców orłowskich rozbieżność torów prądów zawiesinowych otrzymanych z pomiarów hieroglifów prądowych i wleczeniowych w stosunku do kierunku gradientu dna zbiornika otrzymanego z analizy struktur spływowych, wskazująca na odchylenie się toru prądów zawiesinowych w prawo od kierunku stoku, zdaje się sugerować możliwość wpływu siły Coriolisa.

W dotychczasowych pracach pomiary kierunków ułożenia ziarn, hieroglifów wleczeniowych, prądowych, warstwowania przekątnego i konwolutnych deformacji prądowych uważano za wystarczające dane do definicji kierunku pochylenia dna zbiornika i źródła materiału klastycznego (Kuenen & Carozzi 1953, p. 364; Książkiewicz 1954, Kopstein 1954, Crowell 1955, Dżułyński & Radomski 1955, Kuenen & Sanders 1956, Ten Haaf 1956, 1957 i in.). Przedstawione powyżej badania autora zdają się wskazywać, że do ustalenia konfiguracji dna zbiornika, a pośrednio i kierunku źródła materiału klastycznego nie wystarczą same pomiary struktur wytwarzanych w czasie akcji prądu zawiesinowego, lecz niemniejszą, a w niektórych przypadkach decydującą wręcz rolę mogą odegrać pomiary kierunków spływów zarejestrowanych w hieroglifach spagowych i stropowych oraz wewnętrznych zaburzeniach laminacji w ławicach. Prąd zawiesinowy, który początkowo jako prąd grawitacyjny uzależniony jest od kąta i kierunku pochylenia dna (skłonu) zbiornika, po pewnym czasie nabывая odpowiednich szybkości może się od tych czynników uniezależnić, a równocześnie doznając bodźców kierunkowych nie związanych z morfologią dna zmienić tor płynięcia i kierunek depozycji materiału klastycznego.

*Pracownia Geologiczno-Stratygraficzna
Polskiej Akademii Nauk w Krakowie
Kraków, w lutym 1957 r.*

LITERATURA CYTOWANA

- BIRKENMAJER K. 1956. Sedimentary characteristics of the Jarmuta beds (Maestrichtian) of the Pieniny Klippen belt (Central Carpathians). — Bull. Acad. Pol. Sci., Cl. III, vol. IV, no. 10, pp. 729-735. Varsovie.
- CAROZZI A. 1952. Tectonique, courants de turbidité et sédimentation. Application au Jurassique supérieur des chaînes subalpines de Haute Savoie. — Rev. Générale Sci., t. LIX, no. 7, 8, pp. 229-245. Paris.
- CHVOROVA I. V. 1955. O nekotorych poverchnostnykh teksturach v kamennougolnom i nižneperskom flíše južnogo Urala. — Trudy Inst. Geol. Nauk. Akad. Nauk SSSR, vol. 155, Geol. Ser., no. 66. Moskva.
- CROWELL J. C. 1955. Directional current structures from the Prealpine Flysch, Switzerland. — Bull. Geol. Soc. Amer., 66, no. 11, pp. 1351-1384. Baltimore.
- DZUŁYŃSKI S. & RADOMSKI A. 1955. Pochodzenie śladów wleczenia na tle teorii prądów zawieszinowych (Origin of groove casts in the light of the turbidity currents hypothesis). — Acta. Geol. Pol., vol. V/1. Warszawa.
- FUCHS TH. 1895. Studien über Fucoiden und Hieroglyphen. — Denkschr. Akad. Wiss. Math.-Naturw. Cl., B. LXII, pp. 369-448. Wien.
- GROSSGEJM V. A. 1955. Opyt sozdanija terminologii dla morfologičeskogo opisanija gieroglifov. — Geol. Sborn. Vses. Neft. Nauč. Issled. Geol. Razv. Inst., vol. III (VI), pp. 314-325. Leningrad.
- HAAF E. TEN 1956. Significance of convolute lamination. — Geol. en Mijnbouw, N. S., vol. 18, no. 6, pp. 188-194. The Hague.
- 1957. Tectonic utility of oriented resedimentation structures. — Ibidem, vol. 19, no. 2, pp. 33-35.
- HÄNTZSCHEL W. 1935. Fossile Schrägschichtungsbogen, „Fließwülste“ und Rieselmarmen aus dem Nama-Transvaal System (Südafrika) und ihre rezenten Gegenstücke. — Senckenbergiana, vol. 17, pp. 167-177. Frankfurt a.M.
- HEEZEN B. C. & EWING M. 1952. Turbidity currents and submarine slumps and the 1929 Grand Banks earthquake. — Amer. J. Sci., vol. 250, no. 12, pp. 849-873.
- 1955. Orléansville earthquake and turbidity currents. — Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., vol. 39, no. 12, pp. 2505-2514.
- KIESLINGER A. 1937. Eine Boden-physikalische Betrachtung der Gefliessmarken (Fließwülste). — Senckenbergiana, vol. 19, no. 3-4, pp. 127-138. Frankfurt a. M.
- KOPSTEIN F. P. W. H. 1954. Graded bedding of the Harlech dome. Thesis presented to University of Groningen, Netherlands. — Publ. Geol. Inst. Groningen, no. 81.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1954. Warstwowanie frakcjonalne i laminowane we fliszu karpackim (Graded and laminated bedding in the Carpathian Flysch). — Roczn. P. T. Geol. (Ann. Soc. Géol. Pol.), t. XXII. Kraków.
- 1956a. Zagadnienie stratygrafii Karpat na tle paleogeografii (Problem of the Carpathian stratigraphy against the paleogeographic background). — Przegl. Geol., z. 10. Warszawa.
- 1956b. Geology of the Northern Carpathians. — Geol. Rdsch., Bd. 45, H. 2, pp. 369-411. Stuttgart.
- KUENEN PH. H. 1952a. Paleogeographic significance of graded bedding and associated features. — Proc. Kon. Akad. Wetensch., Ser. B, vol. 55, no. 1. Amsterdam.
- 1952b. Estimated size of the Grand Banks turbidity current. — Amer. Jour. Sci., vol. 250, pp. 874-884.
- 1953a. Significant features of graded bedding. — Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., vol. 37, no. 5. Tulsa.

- 1953b. Graded bedding with observations on Lower Paleozoic rocks of Britain.— Verh. Kon. Ned. Akad. Wetensch., Aft. Nat., Eerste Reeks, Deel XX, No. 3. Amsterdam.
- KUENEN PH. H. & CAROZZI A. 1953. Turbidity currents and sliding in geosynclinal basins of the Alps. — J. Geol., vol. 61, no. 4, pp. 363-373.
- KUENEN PH. H. & MENARD H. W. 1952. Turbidity currents, graded and non-graded deposits. — J. Sedim. Petrol., vol. 22, no. 2, pp. 83-96.
- KUENEN PH. H. & SANDERS J. E. 1956. Sedimentation phenomena in Kulm and Flözleeres graywackes, Sauerland and Oberharz, Germany. — Amer. J. Sci., vol. 254, pp. 649-671.
- LIPPERT H. 1937. Gleit-Faltung in subaquatischem und subaerischem Gestein. — Senckenbergiana, vol. 19, pp. 355-375. Frankfurt a. M.
- MENARD H. W. 1955. Deep-sea channels, topography and sedimentation. — Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., vol. 39, no. 2, pp. 236-255. Tulsa.
- NATLAND M. L. & KUENEN PH. H. 1951. Sedimentary history of the Ventura Basin, California and the action of turbidity currents. — Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Min., no. 2, pp. 76-107.
- PRENTICE J. E. 1956. The interpretation of flow markings and load casts. — Geol. Mag., vol. XCIII, no. 5, pp. 393-400.
- RICH J. L. 1950. Flow markings, groovings and intrastratal crumplings as criteria for recognition of slope deposits, with illustrations from Silurian rocks of Wales. — Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., vol. 34, no. 4. Tulsa.
- 1951. Three critical environments of deposition and criteria for recognition of rocks deposited in each of them. — Bull. Geol. Soc. Amer., 62. Baltimore.
- RICHTER R. 1935. Marken und Spuren im Hunsrückschiefer, I. Gefliess-Marken. — Senckenbergiana, vol. 17, no. 5-6, pp. 244-263. Frankfurt a. M.
- RÜCKLIN H. 1938. Strömungs-Marken im unteren Muschelkalk des Saarlandes. — Ibidem, vol. 20, no. 1-2, pp. 94-114. Frankfurt a. M.
- SHROCK R. R. 1948. Sequence in layered rocks I-st Ed., McGraw-Hill. N. York-London.
- SVERDRUP H. U., JOHNSON M. W. & FLEMING R. H. 1948. The oceans. Their physics, chemistry and general biology. N. York.
- VASSOEVIČ N. B. 1948. Fliš i metodika ego izučeniija. — Vses. Neft. Geol. Razv. Nauč. Issled. Inst. Leningrad-Moskva.

Ж. БИРКЕНМАЙЕР

**ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОПОЛЗНЕВЫЕ ГИЕРОГЛИФЫ В КАРПАТСКОМ
ФЛИШЕ И ИХ ОТНОШЕНИЕ К ГИЕРОГЛИФАМ, ОБРАЗОВАННЫМ
ТЕЧЕНИЕМ И ВОЛОЧЕНИЕМ**

(Резюме)

Автор описывает ориентированные оползневые гиероглифы (flowage casts) на нижних поверхностях песчаниковых слоев в карпатском флише (сеноманский орловский песчаник манинской серии на реке Ваге в Словакии), а также ориентированные гиероглифы расплывания (flowage marks) на верхней поверхности слоев. Подчеркивается их значение для палеогеографических реконструкций, поскольку их направление указывает наклон дна в седиментационном бассейне. В многочисленных местах было замечено, что направление оползневых гиероглифов может отличаться от направлений суспензионных течений, обозначенных гиероглифами течения (flute casts) и волочения (groove casts). По мнению автора это явление вызвано действием силы Кориолиса.

Ж. BIRKENMAJER

**ORIENTED FLOWAGE CASTS AND MARKS IN THE CARPATHIAN
FLYSCH AND THEIR RELATION TO FLUTE AND GROOVE CASTS**

(Summary)

ABSTRACT: Description is here given of oriented flowage casts on the under sides of the sandstone beds from Carpathian Flysch and oriented flowage marks on the upper sides. The author stresses their significance for palaeogeographic reconstruction since their trends indicate the bottom slope in sedimentary reservoirs. It has been noted in numerous observations that trends of oriented flowage and load casts may be different to the direction of turbidity currents given by flute and groove casts. An attempt of solving these anomalies is given.

Introduction

Th. Fuchs (1895) describes "Fließwülste" on the under side of Flysch sandstones and refers them to flowage of soft, unconsolidated sand on the surface of clay or silt. His views are opposed by those held

by W. Häntzschel (1935) who describes "zapfenförmige Fließwülste" recently formed by tidal currents in the Wattenmeer of Northern Germany during erosion of the upper surface of unconsolidated sediments. In the present author's opinion the structures described by W. Häntzschel show greater resemblance to casts on the under sides of sandstones and greywacke layers formed by current on the surface of soft bottom (Strömungs-Marken of H. Rücklin 1938, flow-markings of J. L. Rich 1950) than to the flow casts (Fließwülste) of Fuchs. R. Richter, 1935, describes "halbkreisförmige Gefliess-Marken" and "zapfenförmige Gefliess-Marken" from sandstone surfaces of the Lower Devonian of Western Germany. He compares them against contemporaneously formed small-scale surface slides in unconsolidated littoral deposits of Wattenmeer near Wangeroog. But some casts figured by Richter (figs. 2, 3) from Lower Devonian sandstones, and determined by him as „zapfenförmige Gefliess-Marken“ more closely correspond to recent flute casts (see below). Rücklin (1938) discusses structures described as „Fließwülste“ and „Gefliess-Marken“, at the same time mentioning a new form of the under side hieroglyphs, determined as „Strömungs-Marken“. On theoretical and experimental evidence he regards these forms as originating by way of surface erosion of soft deposit by linear and turbulent currents. R. R. Shrock (1948, p. 156-161) and later Ph. H. Kuenen (1952a) described as flow casts structures formed by flowage of soft sediment unequally loaded with sand or gravel. A part of the flow casts described by Shrock shows various directions (fig. 117) and corresponds to the definition accepted by him, another part, however, displays uni-directional orientation (fig. 118, B, C) which he does not explain. For analogous structures Kuenen (1953, a, b) subsequently suggests the name of load casts to distinguish them from "flow markings"¹, which, according to Rich (1950) are scour-and-fill structures formed by current. As figured by Kuenen, part of the load casts are bulbous without orientation (1953a, fig. 13), while others display a uni-directional inclination (1953a, figs. 11-12). This may suggest that, besides undirected flowage of soft sediment, a directional slump movement had acted here on an inclined bottom (compare Kuenen and Menard, 1952, figs. 5-6). Analogous phenomena are recorded by M. Książkiewicz (1954) from the Carpathian Flysch. F. P. Kopstein (1954, p. 40) when describing load casts from the Cambrian of Wales expresses his belief that they are unoriented, this being in agreement with the earlier observations of Natland and Kuenen (1951, p. 98). These assertions, however, are contradicted by the observations of J. C. Crowell (1955), who notes load casts

¹ The flow markings of Rich (1950) are an exact equivalent of the "Strömungs-Marken" recorded and described by Rücklin (1938) at an earlier date.

lineation and oriented torose load cast in the Pre-alpine Flysch of Switzerland. Recently, J. E. Prentice (1956) lays special stress on uni-directional orientation in structures formed by flowage under unequal load, for which he restores the term of flow casts rejected by Kuenen, Kopstein and Crowell. The reason for this modification is the replacement by Crowell (1955) of the formerly used term of flow markings (Rich 1950, Kuenen 1953a) by the term of "flute casts" ².

The terminology of hieroglyphs, as given above, is linked to their recognised origin, contrary to classification based solely on morphological criteria, as recently proposed by V. A. Grossgejm (1955).

The present author has undertaken special studies on the deformation of the under and upper surfaces of psammitic layers in the Flysch Carpathians. In the course of 1954 to 1956 he investigated these problems in the Pieniny Klippen-belt of Poland on behalf of the Polish Academy of Sciences. In 1956, at the kind invitation of the Geological Survey in Bratislava and of the Slovakian Academy of Sciences, he continued his sedimentological investigations in the Carpathians of Western Slovakia.

A description of structures formed by flowage of soft sediment is given in the following chapters. These structures correspond to some "flow casts" of Shrock (1948) and, if oriented, are here referred to as flowage casts and flowage marks. It is, however, thought useful by the writer to retain the name of load casts for under side structures without orientation, formed by flowage of soft underlying sediment unequally loaded with hydroplastic sand or gravel, which produce irregular nodes and swellings on the under-surface of sandstone and greywacke layers (compare Fuchs 1895, Tab. I, figs. 1-4; Carozzi 1952, fig. 2 D; Kuenen 1953a, fig. 13; Natland & Kuenen 1951, figs. 16-17). For structures intermediate between the typically developed load casts and flow casts the use of the definition "load-and-flowage casts" (compare Crowell 1955, pl. I, fig. 4, pl. 2, fig. 4) or that of "oriented load casts" is suggested by the writer.

Deformation on the under-sides of sandstone layers

Transversal flowage casts.

On the under surfaces of sandstone layers, parallel ripples may often be observed, mostly of minute dimensions, showing characteristic anticlinal twisting and overturning in section transversal to their axis. The twisting is transversal to the ripples and in its greater part indicates uni-directional movement (fig. 1 and pl. XXII, fig. 2). In some cases the

² To the flute casts type also belong "zapfenartige Gefliess-Marken" of A. Kieslinger (1937, fig. 1), "Strömungs-Marken" of Rücklin (1938), and probably "zapfenförmige Gefliess-Marken" of Richter (1938, figs. 2-3).

twisting shows two opposite directions. The formation of transversal flowage casts may be explained by directional movement of recently deposited or just being deposited — by turbidity current — layer of mobile, hydroplastic sand, flowing over the uneven bottom of the reservoir in the direction of its dip (fig. 2). Similar structures were obtained experimentally by Ph. H. Kuenen (Kuenen & Menard 1952, figs. 5-6).

Flow casts described by Prentice (1956, figs 2-3) belong to the type of transversal flowage casts. Close analogies are also displayed by the "subaquatische Gleit-Faltung" of H. Lippert (1937, figs. 2, 4) produced by one- or two-directional movement. Some "Fließwülste" of Fuchs (1895, Tab. I, fig. 6) and some mechanical hieroglyphs described by I. V. Chvorova (1955, tab. V, figs. 15, 17, 18, tab. VII, figs. 24-25) also belong to this group. Experimentally obtained transversal flowage casts have been described by Fuchs (1895, tabl. II, figs. 2, 4) as "Fließwülste".

Longitudinal flowage casts

Besides transversal flowage casts, longitudinal flowage casts are also encountered on the under sides of sandstone layers. They differ from those described above in that they do not unite into ripples parallel to the direction of flowage, but produce single tongue-like or icicle-like offshoots, parallel to the direction of flowage and up to a few centimeters long (fig. 3). It seems that the mentioned longitudinal flowage casts are formed in a manner analogous to the transversal ones, but at higher velocity of flowage of the hydroplastic sandstone layer which imparts to the structure a more distinct longitudinal lineation.

Some mechanical hieroglyphs described by Chvorova (1955, tab. V, fig. 16) are also referable to this group.

Multidirectional flowage casts

Forms intermediate between longitudinal and transversal flowage casts are sometimes observable. Fig. 4 shows a large flowage cast of the longitudinal type, whose surface is ornamented by a crescent-like-lamellar-transversal structure produced by minute twistings of the shale within the sandstone. At other times the directions of twisting are divergent (fig. 5). These casts show close analogies to some flow casts of Shrock (1948, fig. 117) and to some unorganic hieroglyphs described by Chvorova (1955, tab. VIII, fig. 27).

Flowage-and-load casts caused by erosional grooves

The flute and groove casts constitute an important group of casts developing on the under sides of sandstone layers which determine the

direction of transportation of clastics by turbidity currents. According to Rücklin (1938), Rich (1950, 1951) and others, the first ones are formed by erosional action of sand grains transported by turbidity currents. The latter, according to S. Dżułyński & A. Radomski (1955), originate along the path of the turbidity current, gouged in the soft, unconsolidated bottom by angular fragments of diagenesed shales carried in the lower part of the current. If the grooves were filled up by the sand layer soon after their formation, they will cause unevenness in the clay bottom into which the hydroplastic sand will flow, producing twisted flowage casts (fig. 6). The degree of development of these casts (fig. 7a, b), may be connected with the consistency of the clay underlying the sand, or with the granular composition of the sandstone layer.

To the casts under discussion we may also refer "deltoidal casts" (pl. XXI, fig. 1), well developed within the sandstones of the Chochołów beds (Upper Eocene) of the Podhale Flysch in Poland and of the Zlin beds (Eocene) of the Magura series in Western Slovakia. Traces of groove casts are to be seen in deltoidal structure shown in fig. 8.

The formation of "deltoidal casts" may be explained as follows: a sandy hydroplastic layer deposited by a turbidity current covers a part of the reservoir bottom gouged by groovings. If there occurs a suitable (closely still undetermined) consistency of lutite and mobility of sand, the weight of sand will press the bottom of grooves into the lutite causing lateral flowage of the lutite and the upturning of the groove sides. (In the discussed case shown in fig. 8 the average grain diameter is ca. 0.5 mm, the thickness of the sandstone layers being ca. 0.7 to 1.0 m).

If the system of grooves will deepen in one direction, fan-like, deltoidal casts (fig. 9) will be formed on the under surface of the sandstone layer. They are due to the superposition of transversal and longitudinal flowage casts in relation to the direction of the groove-dip.

Deltoidal casts have not been noted in association with flute casts. The latter do not, probably, give rise to deltoidal casts, owing to their small dimensions. Upturnings caused by flowage (fig. 10) are observable in larger, better developed flute casts. Similar upturnings have, by Dżułyński and Radomski, been mostly referred to vertical compaction (1955, figs. 6, 10).

Deformation of the upper sides of sandstone layers *Longitudinal flowage marks*

Tongue-, icicle- and drop-like ridges and swellings, in a parallel arrangement, may often be encountered on the upper sides of sandstone layers. Their thicker end is turned in one direction, conformable with

that of the flowage (fig. 11). At the same time, the upper side of the sandstone layer often swells up into "synclines and anticlines", arranged parallel to each other but transversal to the direction of flowage. Such structures have been observed in fine-grained and often laminated sandstones. Steep dips in the head parts of these flowage marks (see fig. 11) suggest that in the case under discussion the flowage of hydroplastic, laminated sandstone was formed under a cover of soft, non-diagenesed marly silt. Then followed the deposition of the next sand layer, on the even upper surface of pelite (fig. 11 b).

Longitudinal and transversal flowage marks, described below, belong together to the class of epiglyphs ascertained by N. B. Vassoevič (1948). The "halbkreisförmige Gefliess-Marken" of Richter (1935, fig. 1) may be included into the longitudinal flowage marks group.

Transversal flowage marks

Another type of flowage marks in the Carpathian Flysch are the transversal ones. They have been noted mostly in fine grained sandstones with laminated upper portion of beds. The undulation of the top portion of beds, corresponding with the disturbed, undulated or slump structure in lamination in the discussed case results in small elongated or crescentic ripples inclined in one direction (fig. 12 and pl. XXI, fig. 2). The slip movement here occurred transversally to the elongation of the small folds. The dips are slower than in the case of transversal flowage casts. Gravitational slides in laminated Flysch sandstones, figured by Dżułyński & Radomski (1955, fig. 12) may be referred here.

Comparison of trends of flowage casts-marks and oriented load casts with those of flute and groove casts

In order to correlate the trends of the flowage casts-marks and oriented load casts with the values obtained from measurement of flute and groove casts (plates XXII-XXIII) a series of measurements has been carried out in two sites on the Orlové beds (Cenomanian of the Manin series) in the Middle Váh valley in Czechoslovakia. The measurement data are shown in diagrams plotted after Crowell's (1955) manner slightly modified. Ninety seven observations have been recorded from site 1 (chart 1 in the Polish text, p. 131). On their evidence it is seen that trends of flowage casts and marks and oriented load casts change from 110° to 215° , indicating a NNW to SSE dip of the reservoir bottom, with an average of 164° , as shown in fig. 13. In contrast, flute and groove casts, some very few cases excepted, range from 220° to 295° , indicating an E to W transport of clastic materials, with an average of 258° .

Thirty five observations have been recorded from site 2 (chart 2 in the Polish text, p 131). On their data it is seen that trends of flowage casts change from 150° to 215° (with an average of 180° , as in fig. 14), indicating a N to S dip of the reservoir bottom. Flute casts, on the contrary, range from 220° to 240° , indicating a NE to NW transport of clastic materials, with the average at 228° .

Palaeogeographical conclusions

The obtained measurement data indicate divergence of trends ascertained from measurement of hieroglyphs formed by flow of the turbidity current (flute and groove casts) in relation to deformational hieroglyphs (flowage casts and marks and oriented load casts) arising on the upper and under sides of a sandstone layer subsequently to its deposition. The marked stability in the trends of these last structures indicates their conformity to the dip of the surface of the reservoir bottom. The turbidity currents, however, originating within the Cenomanian Orlové beds basin, as mentioned above, were not controlled by the dip to the bottom surface and could alter their trend from one consequent to the dip (N to S) to that parallel to the cordillera (compare Birkenmajer 1956).

The following causes may be suggested for so important a change in the path of the turbidity currents: in the first of the considered cases the dip of the longitudinal axis of the basin has a bearing on the altering of the trend of turbidity currents (compare Birkenmajer 1956; Książkiewicz 1956a, b) so as to change their path from one that is vertical to another that is parallel to the cordillera which is a source of supply of the clastic material. The turbidity currents then flow consequently along the maximum bottom gradient producing groove and flute casts, as well as current bedding parallel to flowage casts and marks. No such conformity has, however, been noted within the Orlové beds.

In the second of the discussed cases the winding course of a submarine canyon along which the turbidity current flows (Menard 1955, Crowell 1955) may be responsible for the change of its trend. In the deep, flat bottom of the reservoir, beyond the mouth of the canyon, the turbidity current flows fan-like, with radii adjusted to the actual dip of the bottom laid down by turbidity current deposits. It is here, on a given radius, that the trends of flute and groove casts will coincide with those of the flowage casts and marks. But neither in this case is the process applicable to the Orlové Flysch beds.

In the third of the discussed cases, constant oceanic currents, if reaching to a sufficient depth, may be responsible for a certain deviation

of the flow trend of a turbidity current. In the case of the Flysch basin (as in the upper part of the Orlové beds), recorded depths of no less than several hundred meters seem to bar the possibility of the bottom turbidity currents affected by any surface currents (which have not thus far been registered). On the ocean surface the latter seldom attain a velocity exceeding that of 3.6 km. per hour. (Sverdrup & Johnson & Fleming 1946, p. 391), while the latter, as may be deduced from computations reckoned by Heezen and Ewing (1952, 1955) and those by Kuenen (1955), attain velocities ranging from over 100 to ca. 10 km. per hour.

Finally, the fourth case, connecting the change of trend in the flow of the turbidity current with the Coriolis force, has recently been considered by Menard Jr. (1955) and Crowell (1955). In the northern hemisphere the Coriolis force causes a deviation of the path of a body advancing with a progressive right motion. An occurrence of this kind may have taken place in the case of the Orleansville turbidity current described by Heezen and Ewing (1955) and is applicable in the case of the deviations observed in respect to turbidity currents, direction and dip of bottom slope of the Orlové Flysch beds.

In papers published up-to-date, measurements of grain and pebble orientation, groove and flute casts, current bedding and convolute deformations were considered as adequate evidence for determining dip-trend in the bottom of the reservoir and the direction of supply (Kuenen & Carozzi 1953, p. 364; Książkiewicz 1954; Kopstein 1954; Crowell 1955; Dżułyński & Radomski 1955; Kuenen & Sanders 1956; Ten Haaf 1956, 1957, etc.). The present writer's research studies, as here reported, indicate that measurements of structures caused by the action of turbidity currents alone do not suffice for determining the relief of the reservoir bottom and, indirectly, the direction of supply of clastic material. A part as important, or even quite decisive sometimes, may be here played by measurements of flowage and slumping recorded in surface and internal deformations of the sandstone, siltstone or greywacke layers. The turbidity current, which at first, as a gravitational current, is controlled by the gradient of the slope and bottom of the reservoir, subsequently, upon attaining suitable velocities, may become independent of such factors. If, simultaneously, it is subject to directional impulses not connected with bottom topography, it may change its path and direction of transportation and deposition.

*Laboratory of Geology
Polish Academy of Sciences, Cracow Branch
Kraków, February 1957*

OBJAŚNIENIA DO PLANSZ XXI—XXIII

DESCRIPTION OF PLATES XXI—XXIII

PL. XXI

Fig. 1

Hieroglify „deltowe” na spągu ławic piaszczowców warstw zlińskich serii magurskiej. Krasno nad Kýsucą. (CSR). Długość ołówka (skala) 14 cm

Deltoidal casts on lower surfaces of sandstones. Locality: Krasno on Kýsuca (Czechoslovakia), Zlín beds (Eocene) of the Magura series. Pencil as a scale — 14 cm.

Fig. 2

Hieroglify spływowe górne poprzeczne. Krasno nad Kýsucą (CSR). Warstwy zlińskie (eocen) serii magurskiej. Bok transportera (skala) 10 cm

Transversal flowage marks. Locality: Krasno on Kýsuca (Czechoslovakia), Zlín beds (Eocene) of the Magura series. Transporter as a scale — 10 cm.

PL. XXII

Fig. 1

Hieroglify wleczeniowe na spągu ławic piaszczowców fliszowego ogniwa warstw orłowskich (cenoman) serii manińskiej. Ołówek (14 cm długości) wskazuje kierunek prądu zawiesinowego. Zjarský Potok koło m. Považská Bystrica (CSR)

Angular fragments groove casts. Locality: Zjarský Stream near Považská Bystrica (Czechoslovakia), Orlové Flysch beds (Cenomanian) of the Manín series. Pencil as a scale (14 cm.) indicates the direction of the turbidity current

Fig. 2

Hieroglify spływowe dolne poprzeczne. Piaszczowce fliszowego ogniwa warstw orłowskich (cenoman) serii manińskiej. Zjarský Potok koło m. Považská Bystrica (CSR). Ołówek (14 cm długości) wskazuje kierunek spełyzywania materiału

Transversal flow casts. Locality: Zjarský Stream near Považská Bystrica (Czechoslovakia), Orlové Flysch beds (Cenomanian) of the Manín series. Pencil as a scale (14 cm.) indicates the direction of flowage

PL. XXIII

Fig. 1

Hieroglify prądowe na spągu ławic piaszczowców fliszowego ogniwa warstw orłowskich (cenoman) serii manińskiej. Zjarský Potok koło m. Považská Bystrica (CSR). Ołówek (14 cm długości) wskazuje kierunek prądu zawiesinowego

Flute casts. Locality: Zjarský Stream near Považská Bystrica (Czechoslovakia), Orlové Flysch beds (Cenomanian) of the Manín series. Pencil as a scale (14 cm.) indicates the direction of the turbidity current

Fig. 2

Hieroglify wlezeniowe o dwóch skośnych względem siebie kierunkach na spągu ławic piaskowców fliszowego ogniwa warstw orłowskich (cenoman) serii manińskiej. Zjarský Potok koło m. Považská Bystrica (ČSR). Bok transportera (skala) 10 cm

Groove casts of two various directions. Locality: Zjarský Stream near Považská Bystrica (Czechoslovakia), Orlové Flysch beds (Cenomanian) of the Manín series. Transporter as a scale — 10 cm.



Fig. 1



Fig. 2

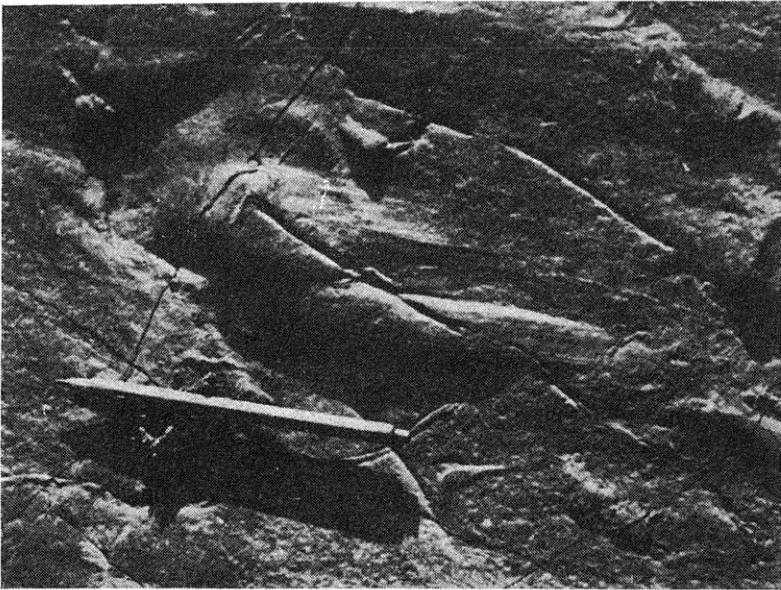


Fig. 1

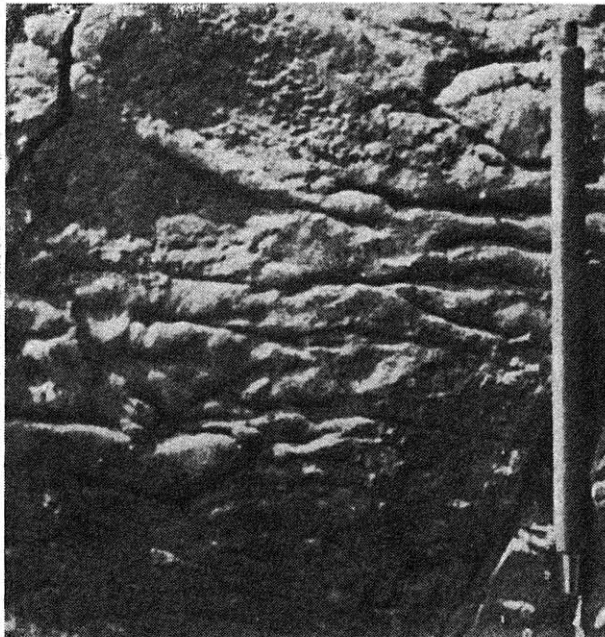


Fig. 2



Fig. 2

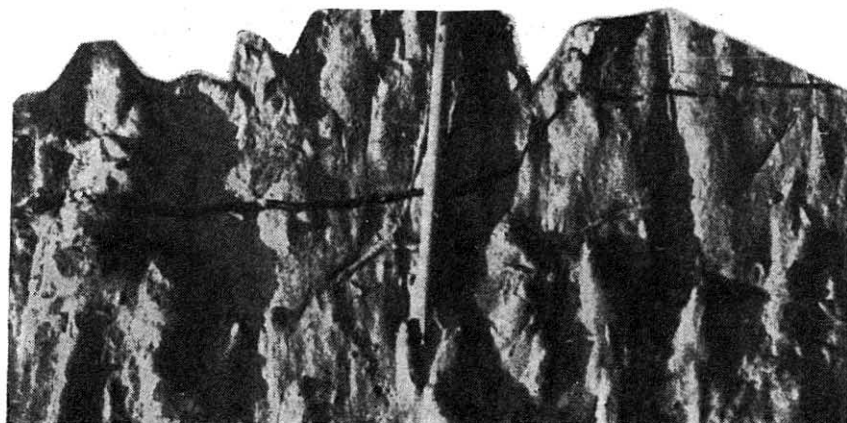


Fig. 1