

Krzysztof JAWOROWSKI

Pionowe struktury bioturbacyjne w osadach kambru północnej Polski

Na podstawie badań struktur bioturbacyjnych, stanowiących przedmiot pracy, wy-
prowadzono wnioski dotyczące środowiska sedimentacji osadów kambru oraz kie-
runku dolnokambryjskiej transgresji morza w północnej Polsce.

WSTĘP

Struktury bioturbacyjne, zwane często skamieniałościami śladowymi, znane są od dawna w osadach kambru rozpoznanych wierceniami na Ni-
żu Polskim (K. Lendzion, 1962, 1968, 1972, 1974; W. Bednarczyk, 1972;
S. Orłowski, 1973). Szczególnie bogata, udokumentowaną ilustracyjnie
i opisowo, kolekcję struktur tego rodzaju zebrała K. Lendzion (1972)
z profilów kambru dolnego na obszarze Podlasia.

Artykuł poświęcony jest wyłącznie pionowym strukturom bioturba-
cyjnym stwierdzonym w kambrze północnej Polski. Położenie obszaru
badań i lokalizację zbadanych profilów wiertniczych przedstawiono na
fig. 1.

Przez struktury bioturbacyjne rozumie się tu biogeniczne struktury
sedymencyjne będące rezultatem działalności organizmów rozrywają-
cych pierwotną (powstałą mechanicznie lub biogenicznie) strukturę nie-
zwięzłego osadu (por. R. W. Frey, 1973). Struktury te mają postać jamek
wygrzebanych w osadzie (ang. *burrows*) lub śladów na powierzchniach
warstwowania (ang. *traces, trails, tracks*). Pionowe struktury bioturba-
cyjne to nieskomplikowane jamki, których wymiar pionowy (głębokość)
znacznie przewyższa wymiary poziome.

Osobnego wyjaśnienia wymaga stosowany niżej termin *szpreite*. Jest
on zapożyczony (w spolszczonej pisowni) z niemieckiej literatury ichno-
logicznej (tj. poświęconej wszelkim, zapisanym w osadach, przejawom

działalności organizmów). Niemieckie słowo *spreite*, nie używane w języku potocznym, oznacza cienką materię lub błonę rozpiętą między wąskimi podpórkami — tak jak to ma miejsce w pletwach ptactwa wodnego. Słowo to w ichnologii jest nazwą struktury powstałej w wyniku przemieszczania jamki organizmu bytującego w osadzie. W oryginalnym, niemieckim brzmieniu weszło ono do literatury światowej. Podobnie jak w innych językach; tak i w polskim, trudno znaleźć oddającą istotę rzeczy i zadawalającą krótki termin, który mógłby je zastąpić.

W przekrojach prostopadłych do płaszczyzny wyznaczonej przez *spreite*, a zarazem równoległych do dłuższego wymiaru tej struktury, obserwuje się charakterystyczny obraz szeregu stykających się ze sobą łuków ułożonych jeden nad drugim. Mogą być one zwrócone wypukłościami do góry lub do dołu. W przypadku pierwszym strukturę *spreite* określa się jako protruzyjną (jamka organizmu ulegała przemieszczaniu w dół), a w drugim jako retruzyjną (jamka organizmu była przemieszczana do góry).

Struktury bioturbacyjne klasyfikowano na rozliczne sposoby. W opisowej części niniejszej pracy stosuje się terminy pochodzące z klasyfikacji toponomicznej A. Martinssona (1970), a w części interpretacyjnej — terminy wzięte z klasyfikacji etologicznej A. Seilachera (1964). Nie wchodząc w szczegóły, klasyfikacje te można omówić następująco.

Toponomiczna klasyfikacja struktur bioturbacyjnych:

endichnia — struktury występujące wewnątrz rozpatrywanej warstwy;

epichnia — struktury występujące na górnej powierzchni rozpatrywanej warstwy;

hypichnia — struktury występujące na dolnej powierzchni rozpatrywanej warstwy;

exichnia — struktury występujące poza rozpatrywaną warstwą i wypełnione jej materiałem.

Przez „rozpatrywaną warstwę” rozumie się tu zawsze warstwę piaskowca. A więc np. exichnia są strukturami wypełnionymi materiałem piaszczystym i tkwiącymi w innym typie osadu (iłowiec, mułowiec).

Etologiczna klasyfikacja struktur bioturbacyjnych:

domichnia — jamki mieszkalne;

fodinichnia — jamki żerowiskowe stanowiące zarazem schronienie ich twórców;

cubichnia — ślady spoczynku;

repichnia — ślady pełzania;

pascichnia — ślady żerowania.

Należy podkreślić, że omawiane niżej struktury bioturbacyjne postraktowano wyłącznie jako biogeniczne zjawiska sedymentacyjne, a nie skamieniałości. Z tego powodu ich charakterystyce nie nadano formy opisu paleontologicznego.

Kończąc uwagi wstępne dziękuję dr K. Lendzion za informacje o bieżących wynikach badań nad stratygrafią kambru w północnej Polsce, doc. drowi W. Karaszewskiemu za przejrzanie rękopisu i pomocne uwagi oraz mgr E. Czajor za pomoc w zapoznaniu się z niemiecką literaturą przedmiotu. Dziękuję także R. Żaboklickiej, która wykonała wszystkie zdjęcia ilustrujące niniejszą pracę.

U—KSZTAŁTNE JAMKI PIONOWE

Arenicolites Salter

Opis. U—kształtne endichnia w postaci jamek zorientowanych prostopadle do powierzchni warstwowania (tabl. I, fig. 1, 2). Między pionowymi ramionami jamek brak jakichkolwiek śladów szpreite. Rozmiary jamek: głębokość — najczęściej od 4,0 do 5,0 cm, czasem nieco większa; szerokość — od 2,0 do 3,5 cm; grubość — od 0,2 do 1,0 cm. Pojęcia: „głębokość, szerokość, grubość” zostały tu użyte w znaczeniu jakie przy opisie jamek U—kształtnych nadał im F. T. Fürsich (1974). Największe grubości jamek obserwowano w przypadkach, gdy ujścia ich pionowych ramion rozszerzały się lejkowato. Opisywane struktury w zbadanym materiale występują bardzo rzadko.

Omówienie. Pionowe, U—kształtne jamki stwierdzone w kambrze północnej Polski odpowiadają ściśle charakterystyce rodzaju *Arenicolites* podanej przez W. Häntzschela (1975). Struktury bioturbacyjne należące do tego rodzaju, obok U—kształtnej formy i prostopadłej orientacji do powierzchni warstwowania, odznaczają się brakiem szpreite, znaczną zmiennością rozmiarów, oraz niekiedy lejkowatym kształtem ujść jamek.

Jamki U—kształtne zorientowane prostopadle do powierzchni warstwowania uważane są (por. m. in. R. W. Frey, 1973) za typowe domichnia organizmów czerpiących pokarm z zawiesiny. Na szczególną uwagę zasługuje, diagnostyczny dla jamek *Arenicolites*, brak szpreite. Infauna, niezależnie od kształtu jamek jakie tworzy, bytuje w osadzie na określonej głębokości, różnej dla rozmaitych form a zarazem najkorzystniejszej z punktu widzenia ich czynności życiowych. Zasadniczą przyczyną powstawania struktury szpreite, która stanowi zapis przemieszczania jamki, jest dążność jej mieszkańca do zachowania stałej głębokości schronienia poniżej powierzchni dna. Gromadzenie się osadu powoduje przesuwanie jamki ku górze — powstaje wówczas retruzywna struktura szpreite. Z chwilą zaś, gdy część osadu zostaje erozyjnie usunięta, następuje przemieszczenie jamki w dół. Prowadzi to do powstania protruzywnej struktury szpreite (por. R. Goldring, 1954). Nieobecność szpreite w jamkach *Arenicolites* jest więc przejawem okresowego braku zarówno akumulacji jak i erozji osadu.

Współczesnym odpowiednikiem tych jamek są, być może, dość podobne U—kształtne schronienia wieloszczeta *Arenicola marina*, znane z płytkowodnego środowiska piaszczystych równi pływowych Morza Północnego (H. E. Reineck, 1958; W. Schäfer, 1962).

PROSTE JAMKI PIONOWE

Monocraterion Torell

Opis. Proste endichnia w postaci rurkowatych jamek rozszerzających się stopniowo ku górze (tabl. I, fig. 3, 4). Choć zorientowane prostopadle do powierzchni warstwowania nie są one idealnie pionowe: odzna-

czają się lekkim, łukowatym wygięciem. Na skutek tego, na bocznych powierzchniach rdzeni wierniczych (wyciętych prostopadle do powierzchni warstwowania) często obserwuje się jedynie fragmenty jamek. Zarówno w przekrojach pionowych (boczne powierzchnie rdzeni), jak i poziomych (tj. prostopadłych do podłużnej osi rdzenia) wewnątrz jamek zaznacza się wyraźnie obecność piaszczystego trzpienia (*central pipe*, *central tube sensu* A. Hallam, K. Swett, 1966). Dzięki temu poziome przekroje jamek mają postać dwóch, w przybliżeniu współśrodkowych pierścieni (tabl. I, fig. 4). Długość jamek: do 10 cm, czasem większa; grubość: najczęściej 0,3—0,5 cm, choć średnica lejkowato rozszerzonych ujść dochodzi do 1,0 cm. Opisywane struktury rozmieszczone są w skale dość luźno: odległość pozioma między sąsiednimi jamkami wynosi przeważnie kilka milimetrów. Struktury te spotyka się znacznie częściej niż U—kształtne jamki *Arenicolites*.

Omówienie. Występujące w kambrze północnej Polski, pionowe, lekko wygięte jamki, z charakterystycznym trzpieniem piaszczystym w ich partiach osiowych, odpowiadają cechom diagnostycznym rodzaju *Monocraterion* podanym przez W. Häntzschela (1975). Z opisu tego autora (por. także A. H. Westergård, 1931) wynika, że długość jamek tego rodzaju osiąga 8 cm, choć bywa także znacznie większa (do 16 cm), grubość wynosi zwykle 0,5 cm, a średnica lejkowatych ujść waha się zazwyczaj od 1,0 do 4,0 cm. Trzeba dodać, że jamki rodzaju *Monocraterion* przypominają znany powszechnie rodzaj *Skolithos*, od którego różni je nieznacznie łukowate wygięcie w przekroju pionowym, koncentryczna struktura widoczna w przekroju poziomym oraz lejkowaty kształt ujść. Ponadto, jak podkreśla W. Häntzschel (1975) jamki rodzaju *Monocraterion* nigdy nie występują w skale tak licznie jak jamki rodzaju *Skolithos*.

Pionowe jamki o kształcie zbliżonym do prostych rurek interpretowane są powszechnie jako domichnia organizmów, których pokarm stanowi materia organiczna zawieszona w wodzie. Omawiając różnice między rodzajami *Monocraterion* i *Skolithos* A. Hallam i K. Swett (1966) wyprowadzili interesujący wniosek, że jamki należące do obu tych rodzajów zostały utworzone przez te same organizmy. Różnice w morfologii wspomnianych jamek, zgodnie z ujęciem tych autorów, wynikają nie z odmienności ich twórców, lecz są rezultatem reakcji identycznych organizmów na odmienne warunki środowiska sedymentacji. A. Hallam i K. Swett (1966) powołują się przy tym na obserwacje W. Schäfera (1962) dotyczące bioturbacyjnej działalności osobniczo żyjącego polipa sześciopromiennego koralowca z rodzaju *Cerianthus*. Organizm ten, znany z Morza Północnego, bytuje w prostej, pionowej jamce, wyścielonej cząstkami piasku i pokruszonych muszli spojonych śluzem. W przypadku nagłego zasypania osadem jest on zdolny dopasować się do nowej powierzchni dna przemieszczając się ku górze. Powoduje to zapadnięcie się osadu w bezpośrednim otoczeniu jamki i lejkowate ugięcie do dołu jego lamin. Struktury tego typu, zwane strukturami ucieczki (ang. *escape structures*), związane z nagłym przykryciem cienką warstwą osadu, powstają wspólnie dzięki wędrówce w kierunku powierzchni dna także wielu innych organizmów (np. wieloszczetów, małżów, ślimaków, skorupiaków, por. H. E. Reineck, 1958; W. Schäfer, 1962; H. E. Reineck, J. Dörjes, S. Gadow, G. Hertweck, 1968). Zdaniem A. Hallama i K. Swetta (1966)

lejkowate ujścia jamek rodzaju *Monocraterion* oraz ich koncentryczna struktura w przekrojach poziomych (związana z obecnością piaszczystego trzpienia) świadczą o przesuwaniu się ku górze mieszkańców jamek tego rodzaju w miarę narastania osadu. Tak więc, jamki *Skolithos* i *Monocraterion*, utworzone przez takie same organizmy, sygnalizują odpowiednio: zupełnie znikomą i wyraźną sedymentację. W świetle tego wniosku godny uwagi jest fakt, że w kambrze północnej Polski nie stwierdzono pionowych struktur bioturbacyjnych, które można by z pewnością zaliczyć do rodzaju *Skolithos*.

Biologiczna natura organizmów tworzących jamki *Monocraterion* (i *Skolithos*) nie jest wyjaśniona. Za prawdopodobny uważa się udział pierścienic lub foronidea w ich budowie (por. A. H. Westergård, 1931; A. Hallam, K. Swett, 1966).

Tigillites Rouault

Opis. Proste endichnia w postaci pionowych, prostopadłych do warstwowania, rurkowatych jamek (tabl. I, fig. 5,6). Ich długość: do 4,5 cm; grubość: najczęściej 0,1—0,2 cm; średnica lejkowato rozszerzonych ujść: 0,3—0,5 cm. Jamki te nie występują zbyt obficie w skale: dzielą je zwykle kilkumilimetrowe odstępki (tabl. I, fig. 6). Ogólnie rzecz biorąc, spotyka się je nieco częściej niż jamki rodzaju *Monocraterion*.

Omówienie. Opisane wyżej proste, pionowe jamki występujące w kambrze północnej Polski odznaczają się cechami pozostającymi w zgodzie z krótkim opisem rodzaju *Tigillites* podanym przez W. Häntzschela (1975). Według wspomnianego autora, jamki należące do tego rodzaju są proste, pionowe, gładkie lub wykazujące annulację, a ich ujścia mogą się lejkowato rozszerzać. Dodatkową cechą tego rodzaju jest niezbyt liczne występowanie w osadzie.

Ostatnie kryterium odrębności rodzaju *Tigillites* od innych prostych jamek pionowych, a przede wszystkim od rodzaju *Skolithos*, jest, jak słusznie wskazują A. Hallam i K. Swett (1966), niewystarczające. Jamki należące niewątpliwie do rodzaju *Skolithos* często także nie występują zbyt licznie. Krótki i pozbawiony ilustracji oryginalny opis rodzaju *Tigillites* podany przez M. Rouault (1859, *vide* A. Hallam, K. Swett, 1966) stał się przyczyną wielu wątpliwości. Liczni autorzy zastanawiali się czy rodzaj ten nie powinien być traktowany jako synonim rodzaju *Skolithos* lub *Monocraterion*. Zdaniem W. Häntzschela (1975) rozwiązanie tego problemu wymaga dokładniejszych badań wszystkich wspomnianych rodzajów. W niniejszej pracy wydzielono rodzaj *Tigillites* chcąc podkreślić różnice dzielące zaliczone doń proste jamki pionowe od jamek odpowiadających klasycznym charakterystykom rodzajów *Skolithos* i *Monocraterion*. Od jamek rodzaju *Skolithos* jamki tu opisywane różnią się powszechną obecnością lejkowato rozszerzonych ujść, a od jamek rodzaju *Monocraterion* brakiem koncentrycznej struktury w przekrojach poziomych. Wynika to z braku piaszczystego trzpienia w osiowej części jamki.

Mimo tej różnicy, jamki *Tigillites* są wystarczająco podobne do jamek *Monocraterion*, by przypisać im tę samą wymowę środowiskową. Można przypuszczać, że świadczą one o większym tempie narastania osadu niż jamki *Skolithos*.

Godny uwagi jest fakt, że jamki *Tigillites* są podobne do współczesnych struktur ucieczki wieloszczeta *Nereis diversicolor* żyjącego w strefie pływów Morza Północnego (por. H. E. Reineck, 1958).

STRUKTURA UCIECZKI NIEZNAJANEGO ORGANIZMU

Opis. W jednym przypadku (tabl. II, fig. 7) zaobserwowano jamkę pionową o niewyraźnym zarysie. Jej obecność zaznacza się przerwaniem ciągłości i charakterystycznym ugięciem do dołu ciemniejszych lamin piaskowca. Na skutek tego, w przekroju pionowym obserwuje się strukturę złożoną z szeregu V—kształtnych elementów umieszczonych jeden nad drugim i rozerwanych w dolnej części. Głębokość jamki: około 10 cm; grubość (rozumiana tu jako odstęp dzielący rozstawione ramiona wspomnianych V—kształtnych elementów) wynosi: 1,5—2,0 cm.

O m ó w i e n i e. Opisywana struktura jest bardzo zbliżona do wspomnianej wyżej struktury ucieczki polipa sześciopromiennego koralowca z rodzaju *Cerianthus* oraz do struktur podobnego typu związanych z działalnością współczesnego małża *Mya arenaria*, opisanych z osadów Morza Północnego przez A. Seilachera (1957) i W. Schäfera (1962). Podobne, współczesne, struktury ucieczki są także dziełem drobnego skorupiaka *Corophium volutator* (W. E. Reineck, 1958).

Niezależnie od biologicznej odmienności ich twórców wspomniane struktury wiążą się zawsze z pionowym, skierowanym ku górze ruchem organizmów stanowiącym reakcję na gwałtowne narastanie osadu gromadzącego się na dnie. Opisana wyżej niewyraźna jamka pionowa jest prawdopodobnie strukturą tego rodzaju.

JAMKI PIONOWO-POZIOME

Cf. *Teichichnus* Seilacher

Opis. Duże exichnia (tabl. II, fig. 8), których dokładne zbadanie na podstawie rdzeni wiertniczych nie jest możliwe. Są to jamki należące do kategorii jamek ze spreite (ang. *burrows with spreite*). Mają one postać listew piaszczystych zorientowanych niemal prostopadle do powierzchni warstwowania. Głębokość jamek (wymiar pionowy), ustalona na bocznych powierzchniach rdzeni, waha się od kilku do 30 cm, a czasem bywa jeszcze większa. Grubość jamek (tj. mniejszy z dwóch wymiarów poziomych) wynosi najczęściej 0,5—1,0 cm. Długości jamek (większy wymiar poziomy) nie sposób określić z powodu znikomego pola obserwacji w rdzeniach wiertniczych. Z poczynionych spostrzeżeń zdaje się jednak wynikać, że jest ona wyraźnie mniejsza od głębokości jamek. Zarówno w przekrojach pionowych, jak i poziomych opisywane struktury nie są proste: wspomniane wyżej listwy piaszczyste odznaczają się dość nieregularnym przebiegiem. W przekrojach pionowych, zorientowanych jednocześnie prostopadle do dłuższego wymiaru poziomego, zaznacza się wyraźnie obecność spreite wyrażona szeregiem następujących po sobie, łagodnych łuków zwróconych wypukłościami w jednym kierunku — z reguły do dołu (tabl. II, fig. 8). Są to więc struktury retruzywne.

Opisywane jamki należą do najczęstszych bioturbacyjnych struktur pionowych, występując licznie w przekładnicach ilasto-piaszczystych (sporadycznie w piaskowcach ilastych — tabl. II, fig. 9) zaburzonych wskutek działalności infauny. Uznano je za struktury pionowo-poziome ze względu na dość znaczne rozmiary, a zarazem robakowaty kształt jamek w przekrojach poziomych. Należy jednak podkreślić przewagę pionowego wymiaru jamek oraz fakt, że ich niektóre odcinki w przekrojach poziomych mają kształt kolisty (średnica do 0,5 cm).

O m ó w i e n i e. Występujące w kambrze północnej Polski jamki w postaci listew piaszczystych ze szpreite, sądząc z opisu W. Häntzschela (1975) wykazują znaczne podobieństwo do rodzaju *Teichichnus*. Szczególnie uderzające zbieżności obserwuje się w przekrojach pionowych, zorientowanych prostopadłe do dłuższego wymiaru poziomego (tabl. II, fig. 8). Omawiane jamki są w gruncie rzeczy zestawami poziomych rurek umieszczonych jedna nad drugą i składających się na listwę piaszczystą prawie prostopadłą do powierzchni warstwowania. Różnica między jamkami tu opisywanymi a tymi, które uznaje się za typowe dla rodzaju *Teichichnus* sprowadza się do tego, że u tych ostatnich długość jamek przewyższa ich głębokość, a w strukturach występujących w kambrze północnej Polski jest odwrotnie.

Zarówno jamki typowe dla rodzaju *Teichichnus*, jak i wszystkie inne o zbliżonej morfologii określa się łącznym mianem teichichnia (por. A. Martinsson, 1965, 1970). Z etologicznego punktu widzenia jamki te należą do grupy fodinichnia. Zostały one utworzone przez organizmy bytujące w osadzie w rurkowatych schronieniach poziomych, stanowiących jednocześnie swoiste „kopalnie” materii organicznej znajdującej się w materiale dennym i stanowiącej ich pokarm. Narastanie osadu powodowało przesuwanie organizmów ku górze, na skutek czego powstawały retruzywne struktury szpreite. Piaszczyste wypełnienia kolejnych, następujących po sobie, rurek składały się na opisaną wyżej ogólną postać teichichnia (listwa piaszczysta).

Jak wynika z przekrojów pionowych, prostopadłych do dłuższego, poziomego wymiaru jamek, w zbadanym materiale przeważają teichichnia retruzywne wygięte (*deflected retrusive sensu* F. T. Fürsich, 1974). Struktury tego rodzaju świadczą z jednej strony o niejednorodności osadu, w którym następowało przemieszczanie ku górze poziomego schronienia organizmu, a z drugiej — o dość znacznym tempie sedimentacji. Ta ostatnia okoliczność znajduje zresztą oczywiste potwierdzenie w dużej głębokości opisywanych tu jamek.

Bardzo rozległy czasowy zasięg teichichnia (kambr — trzeciorzęd) świadczy, że były one tworzone przez rozmaite grupy organizmów. Zbliżone morfologicznie struktury współczesne są dziełem wspomnianego już poprzednio wieloszczeta *Nereis diversicolor* (A. Seilacher, 1957).

INNE JAMKI PIONOWO-POZIOME

O p i s. Ilasto-mułowcowe endichnia (tabl. II, fig. 10, 11, 12), których kształt także można porównać do pionowych listew. Głębokość tych jamek, mierzona na bocznych powierzchniach rdzeni, osiąga 10,0 cm. Ich

grubość (mniejszy wymiar poziomy) najczęściej waha się od 0,2 do 1,0 cm. Długości jamek (większy wymiar poziomy) na podstawie materiału wiertniczego określić nie można. W przekrojach pionowych, a jednocześnie prostopadłych do dłuższego wymiaru poziomego, wewnątrz jamek widać wyraźnie charakterystyczne struktury w postaci szeregu następujących po sobie łagodnych łuków, co świadczy o obecności szpreite. Wspomniane łuki najczęściej są zwrócone wypukłościami do dołu, lecz wielokrotnie obserwowano jamki, w których jest przeciwnie. Innymi słowy, obok retruzywnych spotyka się wśród tych struktur także formy protruzywne.

Posiadany materiał skłania do wyróżnienia wśród opisywanych tu jamek dwóch odmian:

1. jamki w przekrojach pionowych (prostopadłych do dłuższego wymiaru poziomego) proste, prostopadłe do powierzchni warstwowania, czasem rozszerzające się ku górze (tabl. II, fig. 10);

2. jamki w przekrojach jak wyżej, miejscami kręte, nieregularne, choć zdecydowanie przeważa orientacja prostopadła do powierzchni warstwowania (tabl. II, fig. 12).

Obie odmiany jamek występują dość często w przekładaniach piaszczysto-ilastych.

O m ó w i e n i e. Opisane jamki pionowo-poziome mają, ogólnie rzecz biorąc, plan budowy zbliżony do teichichnia. Wskazuje na to kształt jamek stanowiących mniej lub bardziej regularną pionową listwę ilasto-mułowcową, która — jak to wynika z występującej w niej struktury złożonej z szeregu łuków — jest zestawem poziomych rurek ułożonych jedna nad (lub pod) drugą. Z obserwacji A. Martinssona (1965, 1970) wynika, że teichichnia występują przede wszystkim jako exichnia, czasem jako epichnia lub hypichnia. Endichnia są rzadkie i pozostają z reguły w związku z innymi toponomicznymi typami struktur teichichnia. Na podkreślenie zasługuje więc fakt, że omawiane tu jamki pionowo-poziome, podobne do tych struktur, występują wyłącznie jako samodzielne, ilasto-mułowcowe endichnia. Posiadany materiał nie upoważnia jednak do ustanowienia nowego rodzaju, a tym bardziej gatunku paleoichnologicznego.

Opisane tu jamki, choć morfologicznie podobne do teichichnia, etologicznie rzecz biorąc, miały zapewne inne przeznaczenie. Trudno przypuszczać by miały one charakter fodinichnia. Osad piaszczysty, w którym występują, był materiałem płonnym z punktu widzenia wystarczająco obfitej zawartości materii organicznej mogącej stanowić pokarm ich twórców. Z tego powodu należy je raczej uznać za pionowo-poziome domichnia organizmów odżywiających się materiałem organicznym zawieszonym w wodzie lub znajdującym się na powierzchni dna.

INTERPRETACJA ŚRODOWISKOWA

Struktury bioturbacyjne należą do najpewniejszych, a zarazem do najbardziej dokładnych, wskaźników warunków panujących w kopalnych środowiskach sedymentacji. Wynika to z faktu, że stanowią one zapis działalności organizmów żywych bardzo czułych na warunki zasiedlanego

przez nie środowiska i że, w odróżnieniu od szczątków fauny, z reguły występują *in situ*.

Związek rozmaitych grup struktur bioturbacyjnych z batymetrią zbiornika sedymentacji został szczegółowo rozpatrzony przez A. Seilachera (1967), który w osadach morskich wyróżnił następujące ichnofacje:

— facja *Skolithos* — *Glossofungites*: strefa litoralna, w której występują przede wszystkim domichnia;

— facja *Cruziana*: strefa nerytyczna, powyżej podstawy falowania, obserwuje się tu fodinichnia, cubichnia i repichnia;

— facja *Zoophycos*: strefa przejściowa do batialnej, w której występują głównie fodinichnia;

— facja *Nereites*: strefa batialna i abysalna, w której najczęściej spotyka się pascichnia.

Ogólnie rzecz biorąc, w środowisku o znacznej energii wód występują przede wszystkim domichnia, a w środowisku o najmniejszej energii — pascichnia. Osady wód o pośredniej ruchliwości obfitują w pozostałe etologiczne grupy struktur bioturbacyjnych.

Opisane wyżej U-kształtne i proste jamki pionowe (rodzaje: *Arenicolites*, *Monocraterion*, *Tigillites*) stanowią domichnia organizmów czerpiących pokarm z zawiesiny. Świadczą one o facji *Skolithos* — *Glossofungites*, a więc o środowisku litoralnym.

Brak jamek z rodzaju *Skolithos* w osadach kambru północnej Polski, znanych powszechnie z osadów tego wieku w południowej Skandynawii (por. m. in. A. Hadding, 1929; A. H. Westergård, 1931, I. Hessland, 1955), zgodnie z przedstawionym poprzednio ujęciem, nie wynika z odmienności infauny zdolnej do utworzenia jamek tego typu, lecz wiąże się z odmiennymi warunkami sedymentacji panującymi w tych dwóch regionach.

W północnej Polsce tempo sedymentacji kambryjskiej było zapewne nieco wyższe niż w południowej Skandynawii. Właśnie dlatego jamki rodzaju *Arenicolites*, świadczące o okresowym braku sedymentacji, są najrzadszymi pionowymi strukturami bioturbacyjnymi w osadach kambru północnej Polski. Przejawem gwałtowności niektórych wydarzeń depozycyjnych jest m. in. opisana wyżej struktura ucieczki nieznanego organizmu.

Jamki pionowo-poziome, o charakterze teichichnia, najczęstsze spośród struktur opisanych w niniejszej pracy, należą w większości do fodinichnia. Świadczą one o facji *Cruziana* (por. A. Seilacher, 1964), a więc o środowisku nerytycznym. Znaczne głębokości tych jamek wskazują na względnie szybkie narastanie osadu.

Mowa tu o „względnie” szybkim narastaniu osadu, ponieważ ogólnie rzecz biorąc, przy natlenieniu wód dennych dostatecznym dla egzystencji in- oraz epifauny, tempo sedymentacji osadów, w których powstają struktury bioturbacyjne (pionowe lub inne), nie jest duże. W przeciwnym wypadku struktury te nie mogły by powstawać. Przedstawione wyżej uwagi dotyczące różnic tempa sedymentacji należy więc rozumieć następująco: zarówno w północnej Polsce, jak i południowej Skandynawii osady kambryjskie obfitujące w struktury bioturbacyjne gromadziły się powoli, jednakże pionowe struktury tego rodzaju stwierdzone w północnej Polsce świadczą o intensywniejszej akumulacji.

Na uwagę zasługuje fakt, że struktury współczesne, które można uznać

za odpowiedniki struktur opisanych w niniejszej pracy, znane są głównie ze strefy pływów. Być może osady kambru północnej Polski również powstały w środowisku tego rodzaju, lecz sam fakt podobieństwa struktur bioturbacyjnych niczego w tej mierze nie przesądza.

MAPA CZĘSTOŚCI OMAWIANYCH STRUKTUR

W celu prześledzenia regionalnej zmienności występowania pionowych struktur bioturbacyjnych w osadach kambru północnej Polski, postanowiono skonstruować mapę ich częstości w tym obszarze. Zgromadzone dotychczas dane upoważniają do wykreślenia mapy tego rodzaju dla kambru dolnego. Wspomnianą mapę (fig. 1) sporządzono w sposób następujący.

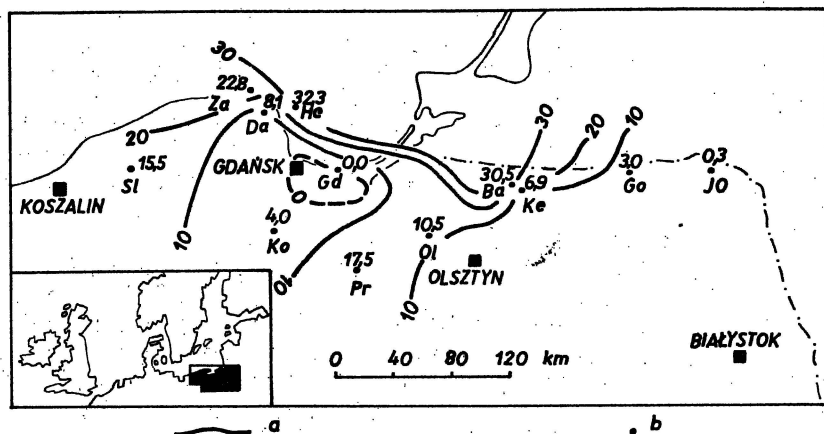


Fig. 1. Mapa częstości występowania pionowych struktur bioturbacyjnych w osadach kambru dolnego północnej Polski

Map showing frequency of vertical bioturbation structures in Lower Cambrian deposits of Northern Poland

a — izolinie częstości; b — zbadane profile wiertnicze: SI — Stupsk, Za — Zarnowiec, Da — Darżlubie, He — Hel, Gd — Gdańsk, Ko — Kościerzyna, Pr — Prabuty, OI — Olsztyn, Ba — Bartoszyce, Ke — Kętrzyn, Go — Gołdap, JO — Jezioro Okrągłe

a — isolines of frequency; b — locations of profiles studied

W trakcie badań sedimentologicznych nad rozwojem transgresji kambru w północnej Polsce wszystkie obserwacje rejestrowano w formie rysunkowej. Profilowano metodą odcinka jednorodnego (por. K. Jaworowski, 1975) przyjmując miąższość tego odcinka równą 0,5 m. Częstość pionowych struktur bioturbacyjnych (podobnie jak i innych struktur sedimentacyjnych) określono ilościowo zaczerpniając przypisaną im kolumnę profilu graficznego, w kolejnych odcinkach jednorodnych, następująco:

- całkowicie, gdy pionowe struktury bioturbacyjne były bardzo liczne;
- w 2/3, gdy struktury te były liczne;
- w 1/3, gdy struktury te były nieliczne;
- wcale, gdy struktury te nie występowały.

Następnie obliczano dla każdego profilu wskaźnik częstości występowania struktur stanowiących przedmiot niniejszej pracy zgodnie z formułą:

$$WCS = \frac{z'}{z}$$

gdzie: WCS — wskaźnik częstości występowania struktur sedimentacyjnych, w tym przypadku: pionowych struktur bioturbacyjnych; z' — powierzchnia (w mm²) zaczerpnięta w tej kolumnie profilu graficznego, w której znaczone częstość występowania omawianych struktur; z — maksymalna możliwa do zaczerpnięcia powierzchnia (w mm²) tejże kolumny w rozpatrywanym profilu.

Uzyskane wyniki, pomnożone przez 100, naniesiono na mapę wykreślając następnie odpowiednie izolinie. Z otrzymanego w ten sposób obrazu częstości pionowych struktur bioturbacyjnych w osadach kambru północnej Polski (fig. 1) wynika, że struktury te są szczególnie liczne na północ od linii o przebiegu: z SW do Żarnowca, następnie przez Hel do Bartoszyca i dalej ku NE. Zgodnie z przedstawioną wyżej interpretacją środowiskową, obszar położony bezpośrednio na północ i północny wschód od wspomnianej linii był w dolnym kambrze:

— obszarem o zwolnionej sedimentacji, której tempo było jednak intensywniejsze niż w południowej Skandynawii;

— obszarem o znacznym udziale sedimentacji w środowisku wód płytkich, litoralnych i nerytycznych, być może poddanych działaniu pływów.

Rozciągłość omawianego obszaru, położonego blisko marginalnej części zbiornika dolnokambryjskiego, zdaje się świadczyć, że najstarsza transgresja morza w północnej Polsce postępowała w kierunku SW—NE oraz S—N.

Zakład Petrografii, Mineralogii i Geochemii
Instytutu Geologicznego
Warszawa, ul. Rakowiecka 4
Nadesłano dnia 3 czerwca 1976 r.

PIŚMIENNICTWO

- BEDNARCZYK W. (1972) — Prekambr i kambr wyniesienia Łeby (NW Polska). *Acta geol. pol.*, 22, p. 685—710, nr 4. Warszawa.
- FREY R. W. (1973) — Concepts in the study of biogenic sedimentary structures. *Jour. Sed. Petrology*, 43, p. 6—19, nr 1. Tulsa, Okla.
- FÜRSICH F. T. (1974) — On Diplocraterion Torell 1870 and the significance of morphological features in vertical spreiten-bearing, U-shaped trace fossils. *Jour. Paleontology*, 48, p. 952—962, nr 5. Tulsa, Okla.
- GOLDRING R. (1964) — Trace-fossils and the sedimentary surface in shallow-water marine sediments. *Developments in Sedimentology*, 1, p. 136—143. Amsterdam.
- HADDING A. (1929) — The Pre-Quaternary sedimentary rocks of Sweden. III. The Paleozoic and Mesozoic sandstones of Sweden. *Lunds Univ. Arsskr. N. F. Avd.* 2, 25, p. 1—287, nr 3. Lund.

- HALLAM A., SWETT K. (1966) — Trace fossils from the Lower Cambrian Pipe Rock of the north-west Highlands, Scot. Jour. Geology, 2, p. 101—106, part. I. Edinburgh.
- HÄNTZSCHEL W. (1975) — Trace fossils and Problematica. Treatise on invertebrate paleontology, part W. Supplement 1. Boulder, Colorado — Lawrence, Kansas.
- HESSLAND I. (1955) — Studies in the lithogenesis of the Cambrian and basal Ordovician of the Boda Hamn sequence of strata. Bull. Geol. Inst. Upsala, 35, p. 35—109. Lund.
- JAWOROWSKI K. (1975) — Miąższościowo-procentowa metoda litokorelacji. Kwart. geol., 19, p. 813—827, nr 4. Warszawa.
- LENDZION K. (1962) — Paleozoik na antekliwie Sławatycz w świetle nowych wierceń. Kwart. geol., 6, p. 513—525, nr 4. Warszawa.
- LENDZION K. (1968) — Kambr. Polska północno-wschodnia. W: Budowa geologiczna Polski, I. Stratygrafia, 1, p. 159—168. Warszawa.
- LENDZION K. (1972) — Stratygrafia kambru dolnego na obszarze Podlasia. Biul. Inst. Geol. 233, p. 69—157. Warszawa.
- LENDZION K. (1974) — Kambr dolny. Kambr środkowy i górny. W: Atlas litologiczno-paleogeograficzny obszarów platformowych Polski, I. (Wydanie tymczasowe). Warszawa.
- MARTINSSON A. (1965) — Aspects of a Middle Cambrian thanatotope on Öland. Geol. Fören. Stockholm Förh., 87, part 2, p. 181—230, nr 521. Stockholm.
- MARTINSSON A. (1970) — Toponomy of trace fossils. W: Trace Fossils. Geol. Jour. spec. issue, nr 3, p. 323—330. Liverpool.
- ORŁOWSKI S. (1973) — Kambr obniżenia podlaskiego. Acta geol. pol., 23, p. 365—374, nr 2. Warszawa.
- REINECK H. E. (1958) — Wühlbau-Gefüge in Abhängigkeit von Sediment-Umlagerungen. Senck. leth., 39, p. 1—23, nr 1/2. Frankfurt am Main.
- REINECK H. E., DÖRJES J., GADOW S., HERTWECK G. (1968) — Sedimentologie, Faunenzonierung und Faziesabfolge von der Ostküste der inneren Deutschen Bucht. Senck. leth., 49, p. 261—309, nr 4. Frankfurt am Main.
- SCHÄFER W. (1962) — Aktuo-Paläontologie nach studien in der Nordsee. Frankfurt am Main.
- SEILACHER A. (1957) — An-aktualistisches Wattenmeer?. Palaont. Z., 31, p. 198—206, nr 3/4. Stuttgart.
- SEILACHER A. (1964) — Biogenic sedimentary structures. W: Approaches to Paleocology, p. 296—316. New York—London—Sydney.
- SEILACHER A. (1967) — Bathymetry of trace fossils. Marine Geol., 5, p. 413—428, nr 5/6. Amsterdam.
- WESTERGÅRD A. H. (1931) — Diplocraterion, Monocraterion and Scolithus from the Lower Cambrian of Sweden. Sveriges Geol. Unders. Ser. C, nr 372, p. 1—25. Stockholm.

Кшиштоф ЯВОРОВСКИ

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ БИОТУРБАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ В ОТЛОЖЕНИЯХ КЕМБРИЯ НА СЕВЕРЕ ПОЛЬШИ

Резюме

Среди изучавшихся структур рассмотрены U-образные ямки *Arenicolites* и прямые вертикальные ямки *Monocraterion* и *Tigillites*. Ямки *Tigillites* отличаются от ямок *Monocraterion* отсутствием концентрической структуры в горизонтальных разрезах /т.е. отсутствием песчаного стержня внутри трубок/, а от ямок *Skolithos* отличаются наличием воронкообразных устьев.

Чаще всего наблюдаются вертикально-горизонтальные ямки cf. *Teichichnus*. От типичных ямок этого *ichno*-рода они отличаются тем, что их глубина /вертикальный размер/ больше их длины /длиннейший горизонтальный размер/. В тонких пластах песчаников наблюдаются ямки похожие на *teichichnia* (серия почти горизонтальных трубок, залегающих одна над другой), сохранившиеся как алевролитовые *endichnia*.

Наличие ямок *Monocraterion* и *Tigillites*, а также отсутствие ямок *Skolithos*, изученных в южной части Скандинавии, свидетельствует о том, что на севере Польши скорость седиментации была несколько больше (cf. А. Галлам, К. Светт, 1966).

По отложениям нижнего кембрия составлена карта частоты вертикальных биотурбационных структур (фиг. 1). Из этой карты следует, что зона мелководной седиментации, частично литоральной, возможно испытывавшая влияние приливов и отливов, простиралась к С и СВ от линии, протягивающейся с ЮЗ через скважины: Жарновец, Даржлюбе, Гель, Бартопице и далее на СВ. Положение изолиний на карте частоты изучавшихся структур свидетельствует о том, что нижнекембрийская трансгрессия моря на севере Польши распространялась в направлениях Ю—С и ЮЗ—СВ.

Krzysztof JAWOROWSKI

VERTICAL BIOTURBATION STRUCTURES FROM CAMBRIAN DEPOSITS OF NORTHERN POLAND

Summary

The structures identified include U-shaped *Arenicolites* burrows and simple vertical burrows of *Monocraterion* and *Tigillites*. *Tigillites* burrows differ from *Monocraterion* burrows in the lack of concentric structure in horizontal section, i.e. the lack of sandy spine inside pipes, and from *Skolithos* burrows — in the development of funnel-shaped outlets.

Vertical-horizontal burrows cf. *Teichichnus* are the most common here. They differ from typical burrows of that ichnogenus in depth (vertical dimension) exceed-

ing their length (longer horizontal dimension). In thin sandstone layers there are found burrows similar to *teichichnia* (series of subhorizontal pipes set one above another) preserved in the form of muddy *endichnia*.

The presence of *Monocraterion* and *Tigillites* burrows and the lack of *Skolithos* burrows known from the southern Scandinavia indicate that the rate of sedimentation was somewhat greater in the northern Poland than in the latter region (cf. A. Hallam, K. Swett, 1966).

A map of frequency of vertical bioturbation structures was drawn for the Lower Cambrian (Fig. 1). The map shows that the zone of shallow-water, partly littoral sedimentation possibly influenced by tides was stretching N and NE of line running from SW through location points of boreholes Żarnowiec, Darżlubie, Hel and Bartoszyce and further to NE. The distribution of isolines on the map indicates that Early Cambrian marine transgression was spreading in S-N and SW-NE directions in the Northern Poland.

TABLICA I

- Fig. 1. U-kształtne jamki *Arenicolites* w piaskowcu gruboziarnistym. Kambryj dolny. Żarnowiec, głębokość 3196,0 m
 U-shaped *Arenicolites* burrows. Coarse-grained sandstone. Lower Cambrian. Borehole Żarnowiec, depth 3 196,0 m
- Fig. 2. Przekrój poziomy przez fragment rdzenia przedstawiony na fig. 1.
 Horizontal section through the core fragment shown in Fig. 1
- Fig. 3. Jamki *Monocraterion* w piaskowcu średnioziarnistym. W dolnej części zdjęcia godna uwagi jamka z trzpieniem piaszczystym w jej osiowej części. Kambryj dolny. Darżlubie, głębokość 3310,8 m
Monocraterion burrows. Medium-grained sandstone. In the lower part of the picture note sandy spine in the central part of the burrow. Lower Cambrian. Borehole Darżlubie, depth 3 310,8 m
- Fig. 4. Przekrój poziomy przez fragment rdzenia przedstawiony na fig. 3
 Horizontal section through the core fragment shown in Fig. 3
- Fig. 5. Jamki *Tigillites* w piaskowcu drobno- i średnioziarnistym. Kambryj środkowy. Olsztyn, głębokość 2459,7 m
Tigillites burrows. Fine- and medium-grained sandstone. Middle Cambrian. Borehole Olsztyn, depth 2 459,7 m
- Fig. 6. Przekrój poziomy przez fragment rdzenia przedstawiony na fig. 5
 Horizontal section through the core fragment shown in Fig. 5
 Podziałka w milimetrach
 Scale marked in millimetres

TABLICA II

- Fig. 7. Domniemana struktura ucieczki nieznanego organizmu w piaskowcu średnio- i gruboziarnistym. Kambryj dolny. Hel, głębokość 3476,2 m
 Supposed escape-structure of unknown organism. Medium- and coarse-grained sandstone. Lower Cambrian. Borehole Hel, depth 3 476,2 m
- Fig. 8. Przekrój pionowy przez głęboką jamkę cf. *Teichichnus*. Zaburzony bioturbacyjnie przekładaniec piaszczysto-ilasty. Kambryj dolny. Hel, głębokość 3432,5 m
 Vertical section through the deep burrow cf. *Teichichnus*. Bioturbated rock composed of alternating sand-clay laminae. Lower Cambrian. Borehole Hel, depth 3 432,5 m
- Fig. 9. Przekrój pionowy przez niewyraźną strukturę bioturbacyjną w piaskowcu gruboziarnistym. Prawdopodobnie jamka typu teichichnion. Kambryj dolny. Kościerzyna, głębokość 5022,5 m
 Vertical section through indistinct bioturbation structure in coarse-grained sandstone. Probably burrow of teichichnion type. Lower Cambrian. Borehole Kościerzyna, depth 5 022,5 m
- Fig. 10. Przekroje pionowe przez jamki typu teichichnia (?) zachowane jako mułowce endichnia w piaskowcu drobnoziarnistym. Kambryj dolny. Prabuty, głębokość 3888,4 m
 Vertical sections through burrows of teichichnia (?) type preserved as muddy endichnia in fine-grained sandstone. Lower Cambrian. Borehole Prabuty, depth 3 888,4 m
- Fig. 11. Przekroje pionowe przez jamki typu teichichnia (?) zachowane jako mułow-

ce endichnia w przekładańcu ilasto-piaszczystym. Kambr dolny. Kościerzyna, głębokość 4946,0 m

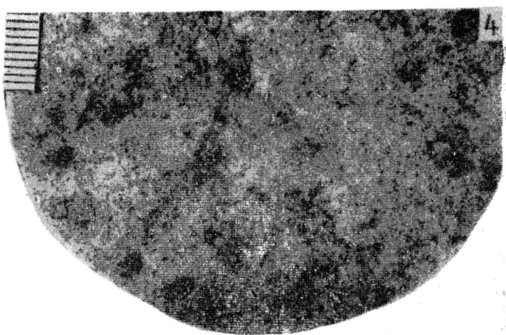
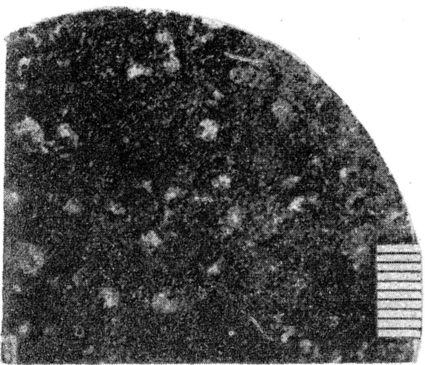
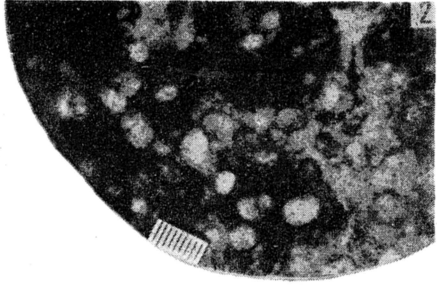
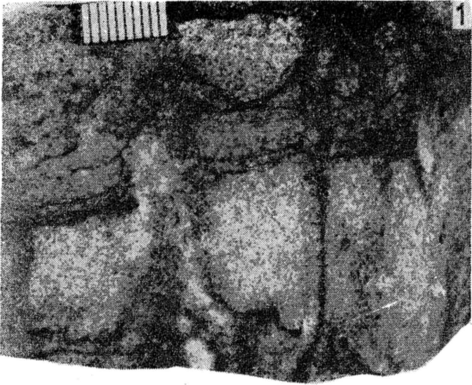
Vertical sections through burrows of teichichnia (?) type. Rock composed of alternating clay-sand laminae. Lower Cambrian. Borehole Kościerzyna, depth 4 946,0 m
Fig. 12. Przekrój pionowy przez nieregularną jamkę typu teichichnion (?) zachowaną jako mułowcowy endichnion w piaskowcu drobnoziarnistym. Kambr dolny.

Słupsk, głębokość 4704,5 m

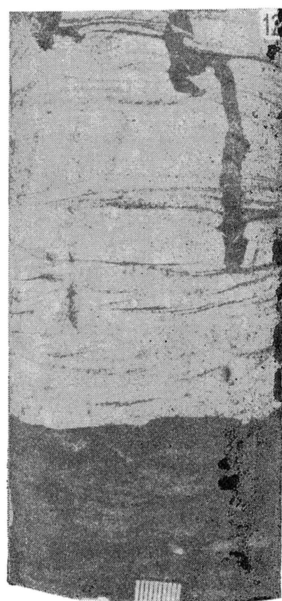
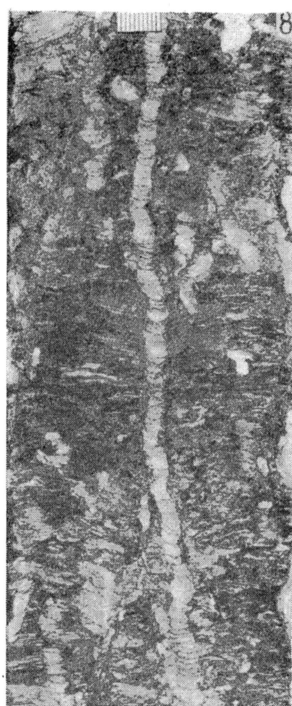
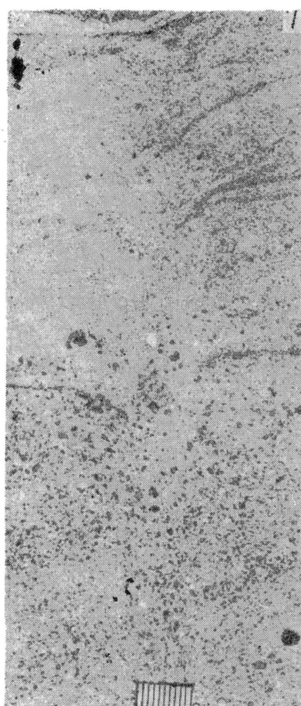
Vertical section through irregular burrow of teichichnion (?) type preserved as muddy endichnion in fine-grained sandstone. Lower Cambrian. Borehole Słupsk, depth 4 704,5 m

Podziałka w milimetrach

Scale marked in millimetres



Krzysztof JAWOROWSKI — Pionowe struktury bioturbacyjne w osadach kambru północnej Polski



Krzysztof JAWOROWSKI — Pionowe struktury bioturbacyjne w osadach kambru północnej Polski