

HALINA MASICKA

Polska Akademia Nauk
Zakład Oceanologii, Instytut Geofizyki — Sopot

STRATYFIKACJA WARWOWA 10-METROWEGO RDZENIA Z DNA GŁĘBI GDAŃSKIEJ

Treść: Zakres badań 133; Przegląd dotychczasowych opracowań stratyfikacji warwowej osadów Bałtyku i jego najbliższego regionu 133; Opis badanego materiału 136; Omówienie wyników badań 138; Literatura 151.

Zakres badań

Podjęta praca miała na celu analizę jednostek stratygraficznych warw, które de Geer i inni interpretowali jako okres rocznego odkładania w czwartorzędowych osadach skandynawskich. Należało dać odpowiedź czy ciemne i jasne warstewki pomierzone w materiale 10-metrowego rdzenia z dna Głębi Gdańskiej rejestrują zmiany ilościowe i jakościowe odkładanego detrytu oraz czy para tych warstewek odpowiada okresowi rocznej sedimentacji w okresie plejstoceni — pojęciu warwy?

PRZEGLĄD DOTYCHCZASOWYCH OPRACOWAŃ STRATYFIKACJI WARWOWEJ OSADÓW BAŁTYKU I JEGO NAJBLIŻSZEGO REGIONU

De Geer na Geologicznym Kongresie w Sztokholmie w 1910 r. przedstawił wyniki badań przekrojów geologicznych, wykonanych w Szwecji na obszarze Skanii, w których pomierzył cykliczną pasmowość ilów o podobnej regularności jak w słojach drzew. Regularnie powtarzające

się cykle ciemnej i jasnej warstwy osadu jako sezonowe zmiany tajania lodowca podczas odwrotu ostatniego zlodowacenia nazwał warwą (ang., franc. — varve, niem. Warw, szwedz. — varv)*.

De Geer uważał, że grubość warw jest funkcją różnych czynników, z których najważniejsze to warunki klimatyczne i odległość od brzegu lodowca. Stąd największą grubość przypisywał osadom odłożonym w sąsiedztwie dawnego brzegu przy ujściu subglacjalnych rzek, gdzie powstały warwy proksymalne o miąższości mierzonej w decymetrach. W większych odległościach od brzegu topniejącego lądolodu odkładały się warwy drobniejsze — „normalne”, a jeszcze dalej dystalne i mikrodystalne o miąższości milimetra lub części milimetra. Warwy dystalne i mikrodystalne, jako serie regularnych rocznych zmian sedymentacji, posłużyły dla oznaczenia chronologii okresu lodowcowego. Szczególnie warwy mikrodystalne, odłożone w znacznej odległości od krawędzi lądolodu, wolne od lokalnych źródeł błędu spowodowanych nierównościami dna, urozmaiconą krawędzią lodowca i innymi przeszkodami, potwierdzają dobrą rejestrację rocznej sedymentacji. Warwy te zbudowane są z materiałów bardzo drobnoziarnistych, homogenicznych.

Zakładając, że ily warwowe są osadami wodno-lodowcowymi o charakterystycznej stratyfikacji, w której każda warwa rejestruje czasokres odstąpienia brzegu lodowca, de Geer opracował glacialną skalę czasu w odniesieniu do szwedzkiej sedymentacji warwowej, którą można prześledzić przez ostatnie 15 tysięcy lat na tym obszarze.

Skandynawska chronologia warwowa, prowadzona przez de Geera (1922, 1935, 1940) i jego współpracowników, poddana została rewizji przez Borella i Offerbera (1955), Nilssona (1960), Järneforsa i Fromma (1960), Ebby'ego de Geerå (1962), Taubera (1969). H. Tauber przeanalizował materiały rdzeniowe pobrane z północno-centralnej Szwecji (wzdłuż rzeki Angermanahvar), które badał uprzednio Lidén. Szwedzka seria warw została pomierzona metodą de Geera, następnie materiał z tych samych przekrojów poddano datowaniu metodą węgla radioaktywnego. Porównanie danych uzyskanych na podstawie chronologii de Geerå i pomiarów metodą C^{14} oraz oznaczeń absolutnego wieku, jakie dostarczają pierścienie drzew, dało wyniki zbieżne.

Genezę iłów warwowych z regionu Uppsali zajmował się A. G. Högbom oraz G. Arrhenius. Arrhenius (1947) przebadął materiał margłowy o dużej miąższości warw (od kilku do kilkudziesięciu cm). Autor oznaczył skład granulometryczny, zawartość manganu, żelaza, węglanów i

* Słowo *warwa* jest pochodzenia nordyckiego. Szwedzkie *hvarf*, *varv*, islandzkie *hverf* znaczy kolejność powtarzających się zjawisk, cykliczność. Współczesna, międzynarodowa nomenklatura geologiczna stosuje termin *warwa*, *warwowość* tylko w odniesieniu do osadu odłożonego w ciągu roku w okresie plejstoceńskim.

substancji organicznej. Wykonane analizy potwierdziły również roczny cykl odkładu iłów warwowych.

Podobnie jak de Geer w Szwecji, tak M. Sauramo (1924, 1929) w Finlandii badał późnolodowcowe i polodowcowe iły warwowe. Sauramo miąższość warw uzależniał od zróżnicowanej zdolności transportu wód lodowcowych w porach letniej i zimowej. W miejscowościach, gdzie była rozwinięta większa liczba warw, autor stwierdził zanikające różnice składu granulometrycznego warstewek ciemnych i jasnych, a w wyżej leżących osadach wyraźną tendencję do homogeniczności.

Pionierskie prace w zakresie badań osadów bałtyckich zapoczątkowała Stina Gripenberg (1954), która na podstawie analizy mechanicznej sklasyfikowała osady bałtyckie, w tym materiały z kilku rdzeni, sięgających zaledwie 30 cm długości. Wśród siedmiu rodzajów osadów wyróżniła warwowe iły, charakteryzujące się składem mechanicznym z dwoma maksimami, reprezentującymi drobno- i gruboziarniste iły, budujące warstewkę jasną i ciemną. Posługując się wynikami analizy granulometrycznej, autorka potwierdziła sezonowość odkładu związanego z procesem tajania i zamarzania lodu.

Badania stratygraficzne osadów bałtyckich rozpracował szerzej H. Ignatius (Instytut Oceanograficzny w Helsinkach i Instytut Geologiczny w Otaniemi). W rdzeniach o długości 3 i 10 m, pobranych sondą rdzeniową Kullenberga, autor przeanalizował stratygraficzną sekwencję glacialnych iłów warwowych, w których można odczytać roczną sedymentację z tendencją do zmniejszania się ku górze (1958). Ignatius wydzielił bazalną część rdzenia z zaznaczającymi się warwami, które według terminologii de Geera nazwał „normalnymi”. Mułowo-piaszczysty, warwowany ił, zawierający miejscami pojedyncze okruchy skalne, posiadał warwy o miąższości zróżnicowanej 5—200 mm. Autor przypisywał ich powstanie bliskości strefy marginalnej lodu. Wyżej występujące homogeniczne iły, w których można spotkać jeszcze sporadycznie żwiry, charakteryzowały się strukturą mikrowarwową. Warwy o miąższości 0,5—5 mm posiadały tendencje do zmniejszania się ku górze. Zgodne to jest z wcześniejszymi badaniami de Geera, Sauramo, Järneforsa i może być tłumaczone zmniejszeniem się dopływu detrytu przy szybszym cofaniu się marginalnej strefy lodowca. Według Ignatiusa odniesione są one na krzywej sedymentacji do facji proglacialnej. Wyżej występujące osady postglacialne w postaci homogenicznych iłów lub iłów—gytii posiadały również mikrostrukturę warstw 0,1-0,2 mm — zapis współczesnej, powolnej, rocznej sedymentacji. Te ostatnie mogą mieć również wartość chronologiczną. Badania stratygraficzne Ignatius oparł na dużej liczbie rdzeni.

J. Debyser (1961, Institut Français du Pétrole), opierając się na mate-

riałach rdzeniowych, pobranych w kilku rejsach na Morzu Bałtyckim z akwenu głębi Landsort, Gotland i Öland, poza kompleksową mineralno-chemiczną analizą w uzyskanych materiałach z poszczególnych warw oznaczał węgiel organiczny i azot. Na podstawie wykonanych analiz Debyser wysunął wniosek, że każdy rodzaj osadu charakteryzuje się inną zawartością węgla organicznego:

- ił polodowcowy brunatny zawiera od 1% węgla organicznego,
- ił szary — 1—2% węgla organicznego,
- mułki organiczne „spongieuse” — 2—10% węgla organicznego,
- mułki współczesne — 4—5% węgla organicznego.

Wartości te odnoszą się do średnich próbek z materiałów rdzeniowych i niestety nie dotyczą składowych poszczególnych warw. Debyser omówił osady bałtyckie jedynie w aspekcie chemicznym.

OPIS BADANEGO MATERIAŁU

Podczas wspólnego rejsu Instytutu Oceanologicznego w Helsinkach i byłej Stacji Morskiej, a obecnie Zakładu Oceanologii PAN w Sopocie, pobrano 10-metrowy rdzeń z dna Głębi Gdańskiej, w miejscu oznaczonym współrzędnymi 54° 50' N i 19° 10' E, z głębokości 105 m. Badania makroskopowe, przeprowadzone bezpośrednio po wyjęciu rdzenia z rur ochronnych, pozwoliły poza barwą i zmianą granulometrii osadów wyróżnić również przewarstwienia, smugi i domieszki obcego materiału. Zarówno w materiale świeżym, jak i po wyschnięciu stratyfikacja iłów pochodzących z dna Bałtyku jest mniej wyraźna niż iłów pobranych z odkrywek i wierceń położonych na lądzie. Badania prowadzone na całkowicie wysuszonym materiale wymagały odpowiedniego zeszlifowania powierzchni. Dopiero wtedy w iłach, które na pierwszy rzut oka zdawały się posiadać strukturę homogeniczną, można było wyróżnić warstwy i mikrowarstwy.

Ogólna charakterystyka 10-metrowego rdzenia przedstawia się następująco:

- 0-0,85 m mułek, bezwapnisty, ciemnoszary, w stanie wilgotnym konsystencja półpłynna.
- 0,85-5,50 m mułek, mniej lub bardziej ilasty, bezwapnisty. Górna część omawianego odcinka — do rzędnej 1,37 m — charakteryzuje się barwą niebieskawo-szarą jako wynik nagromadzenia agregatów ilasto-limonitycznych. Poniżej mułek o barwie szarej, po wyschnięciu żółtawo-szarej, odznaczał się w

stanie wilgotnym delikatnymi przewarstwieniami, smużkami ciemnej, żelowatej substancji o miąższości średnio 0,5-2 mm. Do rzędnej 3,54 m przewarstwienia występowały dość regularnie w odstępach 10-30 mm. Poniżej przewarstwienia soczewki ciemnej substancji o średniej miąższości 5-6 mm (maksymalnie do 20 mm) znajdowały się w odstępach 15 mm. Przewarstwienia soczewki ciemnej substancji w procesie wysychania brunatniały, a po wyschnięciu przyjęły barwę żółtawą. W sedymentologii są one znane jako „biologiczna stratyfikacja”. Są one efektem reakcji fizykochemicznych, na które miała wpływ obecność substancji organicznej.

- 5,50-6,10 m mułki i ily bezwapniste, szare, po wyschnięciu żółto-szare, z mało wyraźnymi przewarstwieniami, składającymi się z warstewki ciemniejszej i jaśniejszej. Warstewki ciemniejsze, ilaste miały miąższość od 5 do 8 mm, a jaśniejsze zbudowane z frakcji mułkowej — od 1 do 7 mm (średnio 3 mm).
- 6,15-7,10 m ily wapniste o barwie brunatno-szarawej, charakteryzują się regularnym poziomem, powtarzającym się cyklem ciemnej i jasnej warstwy osadów. Ciemne warstewki ilaste mają miąższość od 0,5 do 3 mm (średnio 2 mm). Jasne, od 0,2 do 3 mm (przeważają 1 mm), zbudowane są podobnie jak i w poprzednim odcinku badanego rdzenia z frakcji mułkowej. W górnej części tego odcinka rdzenia zarówno warstewki ciemne, jak i jasne posiadają większą miąższość.
- 7,10-9,60 m ily wapniste, o barwie brunatnej z odcieniem czekoladowym. Występujące ciemniejsze i jaśniejsze przewarstwienia są mniej czytelne i często odchylają się od poziomu. Miejscami są sfalowane, niekiedy zakłócone, „minikryoturbacjami” i zaburzone licznymi soczewkami, okruchami i wpryśnięciami niebiesko-szarego i czerwonego iltu, których średnica dochodzi do 10 mm (najczęściej 2-3 mm). Warstewki ciemniejsze, podobnie jak w poprzednim odcinku rdzenia — ilaste, posiadają miąższość 0,5-20 mm. Średnia ich miąższość do rzędnej 7,70 m wynosi około 4 mm, poniżej 6 do 8 mm. Warstewki jaśniejsze, składające się z frakcji mułkowej o barwie szarawo-brunatnej, mają miąższość od 0,5 do 5 mm. Większość jasnych przewarstwień nie przekracza 1 mm.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Na podstawie szczegółowych badań makroskopowych, przeprowadzonych pod lupą binokularną, wyróżniono w dolnej części rdzenia, tj. od rzędnej 5,50 do 9,60 m, warstewki ciemne zbudowane z łuł zwięzłego oraz jasne, mułkowo-ilaste. Różnorodna struktura warstewek reprezentuje odmienne warunki środowiskowe. Jeżeli założymy, że warstewki jasne odłożone zostały w porze cieplejszej w okresie tajania lodu, a ciemne w porze zimowej, to na podstawie analizy makroskopowej możemy powiedzieć, że większa miąższość warstewek jasnych występujących na rzędnej 5,50 do 6,10 m w porównaniu z niżej zalegającymi warstewkami jasnymi świadczy o uaktywnieniu się procesów sedymentacyjnych w porze cieplejszej.

Regularny układ warstewek jasnych i ciemnych rdzenia na odcinku 6,15 do 7,10 m, charakteryzujący się mniej więcej tą samą miąższością oraz homogenicznym składem przemawia za zbliżonymi warunkami sedymentacji zarówno w porze letniej, jak i zimowej w głębszym basenie i bardziej odległym od źródeł dostawy materiału.

Występująca w dolnej części rdzenia niewyraźna stratyfikacja może być dowodem mniejszych wahań temperatury w porze ciepłej i zimnej, a duże ilości „obcego materiału” mogą świadczyć o bliskości źródła dostawy materiału wytopiskowego.

Analiza makroskopowa pozwoliła na ogólne rozeznanie warunków środowiskowych. Warunki te mogą być wyjaśnione i sprawdzone z pomocą kompleksowych analiz, wśród których skład granulometryczny oraz zawartość substancji organicznej odzwierciedlają charakterystyczne cechy środowiska. Warstewki w iłach warwowych 10-metrowego rdzenia odznaczają się minimalną miąższością. Materiał zeszkrobany pod lupą skalpelem okazał się niewystarczający dla przeprowadzenia badań kompleksowych, a przede wszystkim analizy granulometrycznej. Z konieczności ograniczono się do oznaczenia substancji organicznej* (węgiel organiczny, sporadycznie azot) w wyselekcjonowanych materiałach z warstewek jasnych i ciemnych. Ponadto oznaczono w materiałach rdzenia skład mineralogiczny frakcji powyżej 5 μ oraz skład mechaniczny. Wyniki tych ostatnich analiz dotyczą jedynie prób średnich.

Zawartość węgla organicznego w warstewkach jasnych i ciemnych badanych warw przedstawiono w tab. 1 oraz na ryc. 1. W jasnych laminach zawartość węgla organicznego występuje w granicach 0,0 do 0,44%, w ciemnych 0,63 do 1,89% (tab. 1). Ilość węgla organicznego w warste-

* Analizy wykonano w Pracowni Chemii Zakładu Oceanologii IGF PAN w Sopocie. Węgiel organiczny metodą mokrego spalania oznaczył J. Pempkowiak.

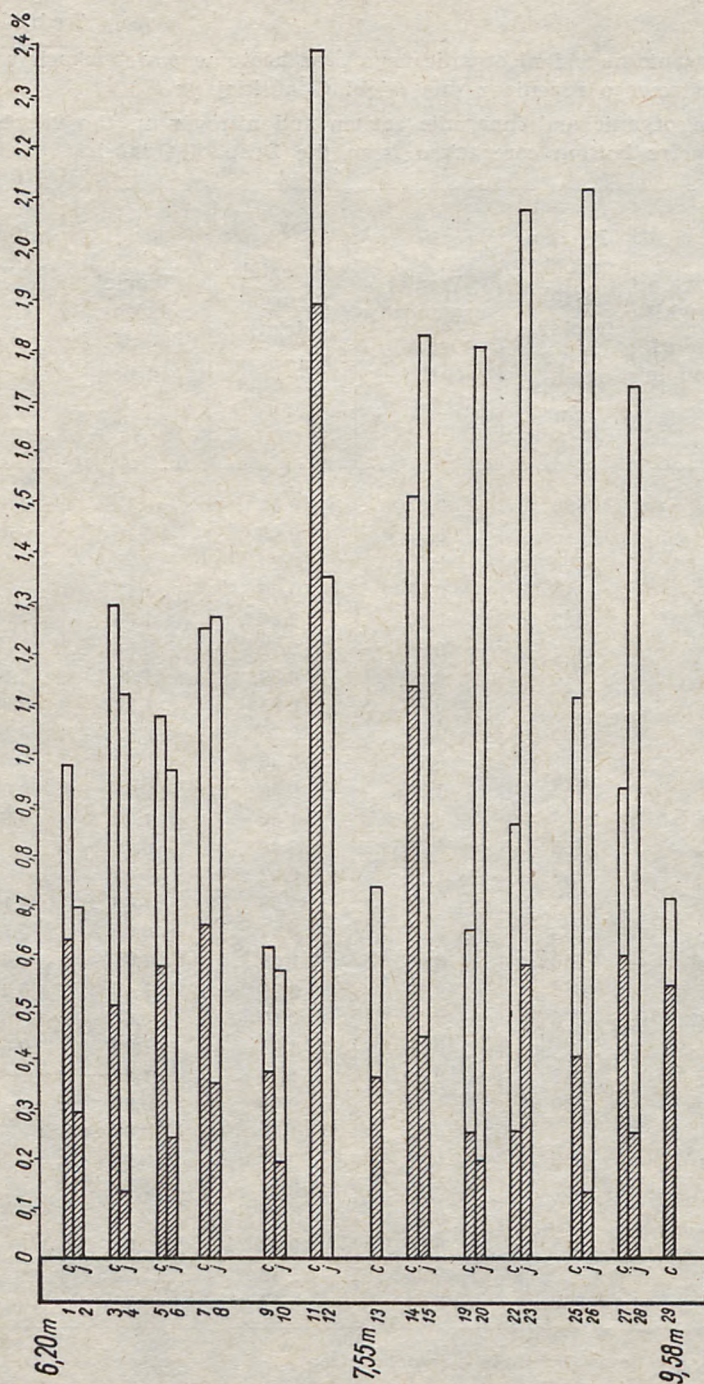
Tabela 1

Zawartość węgla organicznego i nieorganicznego oraz azotu w warstewkach warw 10-metrowego rdzenia z dna Głębi Gdańskiej (w %)

The contents (%) of organic and inorganic carbon and nitrogen in the varves of the 10-metre bottom core taken from the Deep of Gdańsk

Kolejny numer próbki Number of the sample	Barwa warstewki* Shade of the sample*	Rzędna próbki (cm) Ordinate of the sample cm	Węgiel organiczny Organic carbon	Węgiel nieorganiczny Inorganic carbon	Węgiel ogólny General carbon	N Nitrogen
1	c	620	0,63	0,35	0,98	0,060
2	j		0,29	0,41	0,70	0,059
3	c	640	0,50	0,70	1,30	
4	j		0,13	0,99	1,12	
5	c	652	0,58	0,50	1,08	
6	j		0,24	0,72	0,96	
7	c	670	0,66	0,59	1,25	0,140
8	j		0,35	0,93	1,28	0,089
9	c	690	0,37	0,25	0,62	0,112
10	j		0,19	0,38	0,57	
11	c	715	1,89	0,50	2,39	0,050
12	j		0,00	1,35	1,35	0,053
13	c	755	0,36	0,38	0,74	
14	c	765	1,14	0,37	1,51	
15	j		0,44	1,39	1,83	0,104
16	śr	758	0,31	0,67	0,98	0,103
17	śr	766	0,00	1,01	1,01	0,082
18	śr	815	0,52	0,95	1,48	0,081
19	c	835	0,25	0,40	0,65	
20	j		0,19	1,61	1,80	0,079
21	śr	848	0,39	1,10	1,59	
22	c	886	0,25	0,61	0,86	
23	j		0,58	1,50	2,08	
24	śr	903	1,33	0,71	2,04	0,062
25	c	907	0,40	0,71	1,11	
26	j		0,13	1,99	2,12	
27	c	925	0,60	0,33	0,93	
28	j		0,25	1,48	1,73	
29	c	958	0,54	0,17	0,71	

* c — ciemna (dark), j — jasna (light), śr — średnia (mean)



Ryc. 1. Procentowa zawartość węgla organicznego i nieorganicznego w warstewkach ciemnych i jasnych warw 10-metrowego rdzenia; 1—29 — analizowane próbki (tab. 1), c — warstewki ciemne, j — warstewki jasne

Fig. 1. The content (%) of organic and inorganic carbon in the dark and light laminae of the varves of the 10 metre bottom core. The numbers 1—29 and letters c and j indicate sample numbers acc. to Table 1, and dark and light laminae respectively

wkach ciemnych jest większa średnio od 2 do 4 razy niż w jasnych, a w próbce na rzędnej 7,15 m osiąga największą wartość. Na ryc. 1 przedstawiono również zawartość węgla nieorganicznego w poszczególnych parach warstewek ciemnych i jasnych. W jasnych warstewkach zaznacza się kilkakrotna do kilkunastokrotnej przewaga węglanów nad węglem organicznym. W ciemnych warstewkach nie obserwuje się wyraźnej zależności. Występowanie znacznej ilości węglanów w badanym odcinku rdzenia potwierdza również analiza mineralogiczna.

Analiza mineralogiczna frakcji powyżej 5 μ wykonana z materiałów pobranych z dolnych odcinków rdzenia (próbki 11-29 zaznaczone na ryc. 1) wykazała, że dominującym minerałem jest węglan wapnia (50-70%) występujący w postaci ziarn o kształtach nieregularnych, a średnicach wynoszących od kilku do kilkudziesięciu mikronów, maksimum 30 μ . W próbkach 1 do 10 analiza mineralogiczna wykazała zmniejszenie się ilości węglanu wapnia do 40% na korzyść zwiększenia się ilości kwarcu od kilku w dolnej części do kilkunastu procent w wyższej części omawianego odcinka rdzenia.

Na podstawie obserwacji współczesnych procesów sedymentacyjnych w akwenie arktycznym można przyjąć, że w okresie odkładania się omawianych osadów krystalizujący się śryż, luźne kry lodowe i zwarta pokrywa lodu hamowały falowanie i cyrkulację prądów, a tym samym utrudniały przenoszenie się materiału wytopiskowego. W warunkach względnej stabilności mógł osiadać jedynie materiał najdrobniejszy w postaci zawiesiny mineralnej i biologicznej oraz koloidów. Stąd zimowe warstwy są zbudowane ze związłego łu oraz materiału biogenego, reprezentowanego głównie przez florę planktonową, charakteryzującą się jednym maksimum produkcji rocznej. Ciemnobrunatna barwa zimowych warstewek może być wywołana warunkami redukcyjnymi, związanymi z mniejszym dostępem tlenu w zbiorniku pokrytym lodem. W okresie tajania lodów, procesu zależnego od aktywności słonecznej, prąd wód chłodnych, pochodzący z topiącego się lodowca, przenosił na znaczne odległości materiał wytopiskowy. Sedymentacja zawartego w nim materiału zależała przede wszystkim od topografii dna oraz właściwości wody morskiej, zasolenia i temperatury. Właściwości te odgrywały dużą rolę, powodując koagulację koloidów i cząstek ilastych oraz szybsze ich osiadanie w środowisku morskim, charakteryzującym się większym stężeniem elektrolitów*. Wraz ze zwiększeniem się ilości wytopiskowego materiału mineralogicznego następowało rozcieńczenie materiału biologicznego. Stąd ilość substancji organicznej odłożonej na po-

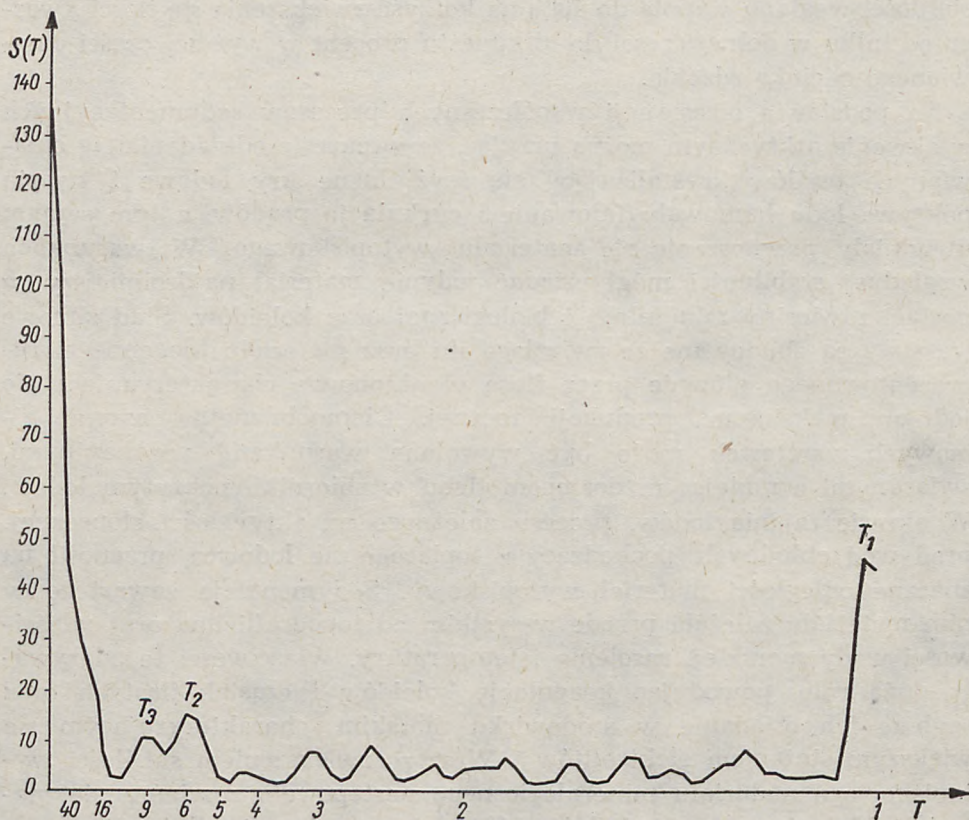
* W r. 1890 rozpoczęto prowadzenie obserwacji i pomiarów procesów koagulacji w naturze w rejonie kontaktu wód oceanicznych z wytopiskowymi wodami lodowców Grenlandii, Alaski, Norwegii. Procesy koagulacji były już w r. 1919 matematycznie i eksperymentalnie zbadane przez S. Odéna.

szczególnych poziomach zależała od intensywności sedymentacji mineralogicznej, którą z kolei warunkowały zasoby i rodzaj detrytu z topniejącego lodowca, lokalne warunki fizykochemiczne i dynamiczne akwenu.

Wykonane analizy i badania warw 10-metrowego rdzenia pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków: warstewki warw, charakteryzujące się małym zróżnicowaniem miąższości, wskazują, że formowały się w jednostkach czasu o regularnej periodyczności, niezależnej od lokalnych wpływów środowiskowych.

Mniejsze ilości węgla organicznego, a tym samym substancji organicznej w jasnych warstewkach, są dowodem rozcieńczenia materiału sedymentacyjnego detrytem mineralnym, dostarczonym obficie w cieplejszym okresie wytopiskowym.

Większe ilości węglanów, oznaczonych zarówno chemicznie, jak i pe-



Ryc. 2. Widmowa gęstość zmian miąższości warw 10-metrowego rdzenia z Głębi Gdańskiej $S(T)$ — widmowa gęstość, T — okres oscylacji w latach

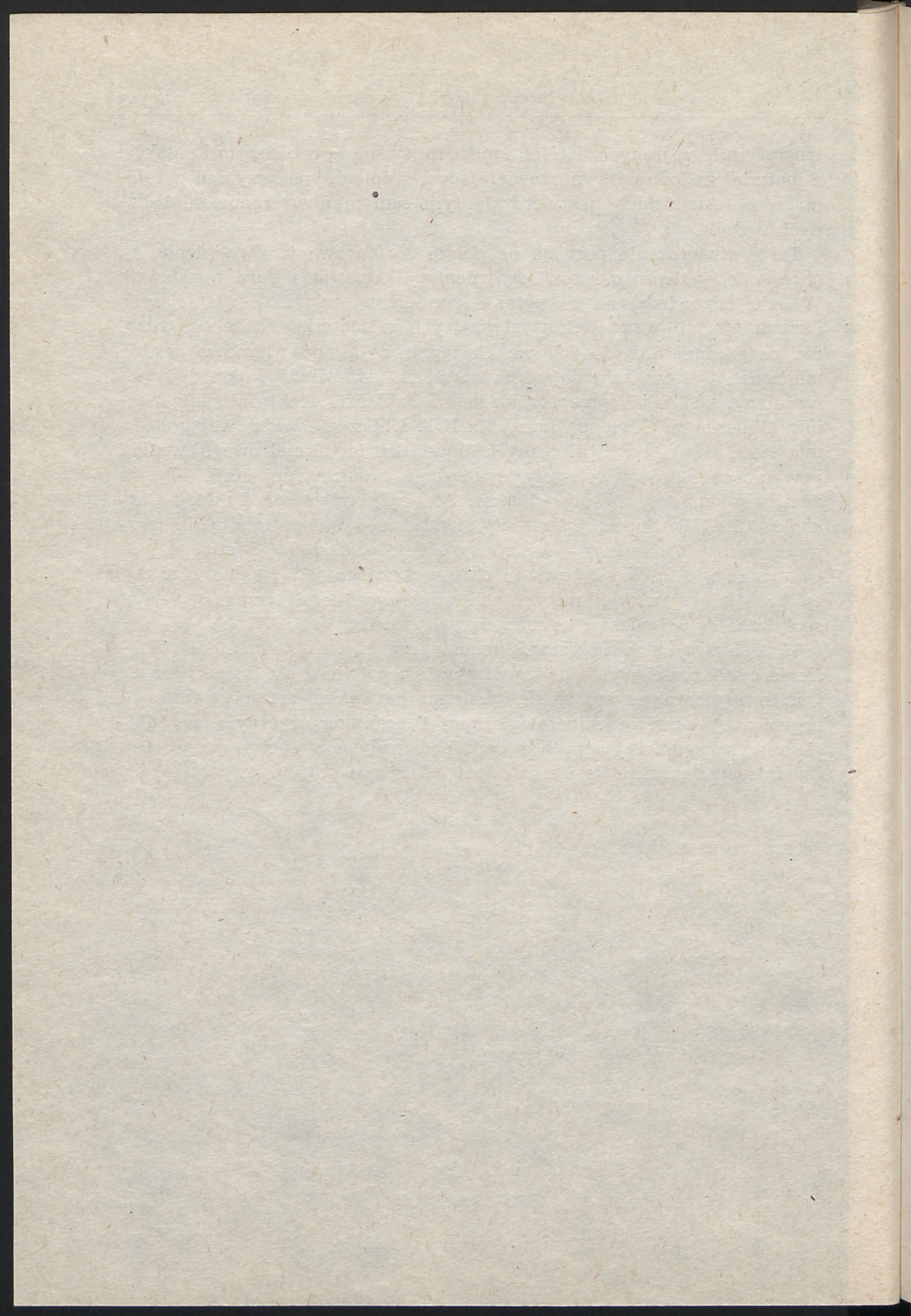
Fig. 2. Power spectra in the changes of thickness of the varves of 10 metre core from the bottom of Gdańsk Deep, $S(T)$ — power spectra, T — period in years

trograficznie w jasnych, letnich laminach, świadczą o bliższym kontakcie z materiałem lodowcowym, zawierającym wapienie, na przykład z rejonu Wysp Alandzkich; potwierdzają tym samym dwusezonowość badanych warw.

Takie stwierdzenie pozwala na dalsze rozpracowanie zagadnienia, tj. określenie, jakiemu okresowi sedymentacji odpowiada para warstewek. W celu odpowiedzi na to pytanie pomierzono miąższość jaśniejszych i ciemniejszych warstewek występujących w materiale badanego rdzenia na rzędnej 6,10 do 9,60 m. Następnie obliczono widmową gęstość miąższości warstw, zakładając, że warstewki odpowiadają okresowi półrocznemu. Obliczenia przeprowadzono w Zakładzie Elektronicznej Techniki Obliczeń w Gdyni na maszynie ICT. Obliczenie widmowej gęstości miąższości warstewek półrocznych iłów rdzenia 10-metrowego według powyższych założeń wykazały cykliczność analizowanej serii. Wyniki analizy widmowej, wykonanej przez A. Wróblewskiego z Zakładu Oceanologii PAN w Sopocie, pozwoliły stwierdzić występowanie cyklu rocznego oraz zaznaczenie — mniej wyraźne — okresów 6-letniego i 9-letniego (ryc. 2). Występowanie okresu rocznego jest zgodne z roczną cyklicznością zjawisk klimatycznych, a okresy 6-letni i rzadziej 9-letni spotykane są w badaniach geofizycznych (Monin, Vulis 1971).

Wyniki otrzymane za pomocą metody numerycznej, użytej dla określenia cykliczności występowanych zjawisk, potwierdziły, że pomierzone warstewki charakteryzujące się odmienną barwą, zawartością substancji organicznej, składem mineralogicznym i granulometrycznym są odbiciem corocznym oscylacji, będących pod wpływem energii słonecznej. Zgodnie z założeniem de Geera odpowiadają one pojęciu warw.

Literatura na s. 151.



HALINA MASICKA

Polish Academy of Sciences Institute of Geophysics — Sopot

VARVE STRATIFICATION OF A 10-METRE CORE FROM THE BOTTOM OF GDAŃSK DEEP

Contents: Objectives 145; Review of existing papers on varval stratification of residues in the Baltic and adjoining waters 145; Description of material investigated 146; Discussion of results 148; References 151.

Objectives

The aim of the work was to analyze stratigraphic units, so-called varves, which de Geer and others interpreted as a period of one-year deposits in Scandinavian Quaternary residues. The question to be answered was whether or not the dark and light laminae measured in the 10-metre core taken from the bottom of Gdańsk Deep recorded changes in quantity and quality of the glacial deposits. Do two of these laminae correspond to a one-year sedimentation — the conception of varves?

REVIEW OF EXISTING PAPERS ON VARVAL STRATIFICATION OF RESIDUES IN THE BALTIC AND ADJOINING WATERS

At the Geological Congress in Stockholm in 1910, de Geer submitted the results of investigations of geological sections carried out in Skania, Sweden, in which he measured the cyclic periodicity of varve sediments similar to that in tree-rings. He called the cycles of dark and light laminae of sediment occurring as the seasonal change in the melting

of ice during the retreating of the last glaciation — varve (Eng., French — varve, Germ. — Warw, Swedish — varv).

De Geer was of the opinion that the thickness of varves was a function of different factors, of which the most important were climatic conditions and the distance from the border of the glacier.

Basing on this, de Geer distinguished varves of substantial thickness — proximal, normal, distal and microdistal, deposited furthest away from the border of the melting glacier. The latter served him in working out the glacial time scale.

Tauber, Högbom, Arrhenius examined varve clays in the granulometric and chemical aspect. On comparing the chronology of varve clays according to de Geer, with the results of chemical analyses and measurements by C^{14} method, they were found to agree.

M. Sauramo presented a thorough discussion of varve stratification in Finland.

Stina Gripenberg was the first to notice the occurrence of varves in Baltic sediments. H. Ignatius discussed the stratigraphical sequence of varve clays in core material from the Baltic. The author, basing on the structure and thickness of varves in core materials, worked out the stratigraphical sequence of Baltic clays.

Mineralogical and chemical analyses of Baltic residues, including varve clays, were carried out by J. Debyser. Indices refer only to composite samples.

DESCRIPTION OF MATERIAL INVESTIGATED

During a joint cruise by the Institute of Oceanology in Helsinki and what was formerly the Marine Station (now Department of Oceanology, Polish Academy of Sciences) in Sopot, a 10-metre core was taken from the bottom of Gdańsk Deep, at a depth of 105 m., at a point marked by the co-ordinates $54^{\circ} 50' N$ and $19^{\circ} 10' E$. By means of macroscopic examinations, it was possible to differentiate colour, change in granularity, intercalations, streaks and admixtures of foreign material. In both fresh material and after drying, the stratification of clays originating from the Baltic sea bed is not as distinct as clay taken from outcrop and borings ashore. Examination of completely dried material meant that the surface had to be ground down. Only then was it possible to differentiate layers and laminae in clays which at first seemed to possess a homogenic structure.

The following is the general characteristic of the 10-metre core:

- 0-0.85 m silt, non-calcareous, dark grey, damp, semiliquid soft consistency.
- 0.85-5.50 m silt, more or less argillic, non-calcareous. The upper part of the section to ordinate 1.37 m of a blue-grey colour, resulting from the accumulation of clayey-limonitic aggregates. Below this, grey-coloured silt, yellow-grey after drying, when damp had delicate intercalations, streaks of dark, jellous substance with an average thickness of 0.5 to 2 mm. To the ordinate 3.54 m the intercalations occurred fairly regularly at intervals of 10-30 mm. Below this, intercalations, a lens of dark substance with an average thickness of 5-6 mm (maximum to 20 mm) occurred at 15 mm intervals. Intercalations, during the dessication process the lens of dark substance turned brown, becoming yellowish after drying. This is known in sedimentology as "biological stratification". It is the effect of physical-chemical reactions influenced by the presence of organic matter.
- 5.50-6.10 m silts and non-calcareous clays, grey, yellow-grey after drying, indistinct intercalation comprising lighter and darker laminae. The darker, clayey laminae were from 5 to 8 mm thick, and the lighter composed of silt fraction — from 1 to 7 mm thick (average 3 mm).
- 6.15-7.10 m clays, calcareous, grey-brown in colour, regular stratification of dark and light sediment laminae. The dark, clayey laminae are from 0.5 to 3 mm thick (average 2 mm). The light — from 0.2 to 3 mm, with a predominance of 1 mm, built similar to the previous section of core examined — of silt fraction. In the upper part of this section of core, both dark and light laminae are thicker.
- 7.10-9.60 m calcareous clays, chocolate brown in colour. The darker and lighter layers are less legible. Undulating in places, sometimes disturbed by "minicryoturbations" and numerous lenses, small fragments and inclusions of blue-grey and red clay, the diameters reaching up to 10 mm (most frequently 2-3 mm). The darker laminae, as in the previous section of the core — clayey, with a thickness of 0.5-20 mm. The average thickness to the ordinate 7.70 m amounts to about 4 mm, below this 6 to 8 mm. The lighter laminae composed of grey-brown silt fraction are from 0.5 to 5 mm thick. Most of them did not exceed 1 mm.

DISCUSSION OF RESULTS

Basing on detailed macroscopic examinations, dark laminae of compact clay and light laminae of silty-clay were distinguished in the lower part of the core, i.e. from ordinate 5.50 to 9.60 m. The variety of laminae structure illustrates different environmental conditions. If it is assumed that the light laminae were deposited during the warmer period when the ice was melting, and the dark laminae during the winter season, then basing on the macroscopic analysis it can be stated that the thicker light laminae occurring on ordinate 5.50 to 6.10 m, as compared with the lower light laminae, indicate the activating of sedimentation processes during the warmer season.

The regular system of light and dark laminae in the core section from 6.15 to 7.10 m, with more or less the same thickness and homogeneity, would suggest similar sedimentation conditions in both summer and winter seasons in the deeper basin further away from the source of the material.

Indistinct stratification occurring in the lower part of the core may indicate smaller temperature fluctuations in the warmer and colder seasons, and large amounts of "foreign matter" may indicate the proximity of a source of supply of melted residue.

A macroscopic analysis enabled a general discernment of the environmental conditions. These conditions can be explained and checked by means of complex analyses, in which the granulometric composition and content of organic matter reflect the characteristic features of the environment. The laminae in the varve clays of the 10-metre core are of a minimum thickness. The material obtained under a magnifying glass by means of a scalpel and taken from individual layers, proved insufficient to enable complex examinations to be carried out, especially grain size analyses. Thus of necessity, only organic matter (organic carbon, nitrogen sporadically) was determined* in selected material from the light and dark laminae. Apart from this, the mineral composition of fractions over 5μ and the granulometric composition were determined. The results of the latter analyses concern only composite samples.

The organic carbon content in the light and dark laminae of the varves examined, is given in Table 1 and Figure 1 (page 140, 139). The organic carbon content of the light laminae varies between 0.0 and 0.44%, that in the dark laminae — between 0.63 and 1.89% (Table 1,

* The analyses were carried out by the Chemistry Laboratory of the Polish Academy of Sciences Institute of Geophysics' Department of Oceanology in Sopot. J. Pempkowiak determined the organic carbon by chemical wet method (by oxidation with a mixture of iodate and dichromate in concentrated sulphuric acid).

page 139). The quantity of organic carbon in the dark laminae is on average 2 to 4 times greater than in the light ones, and on ordinate 7.15 of the sample reaches the highest value. Figure 1 also gives the content of inorganic carbon in particular pairs of dark and light laminae. In the light laminae there is a predominance of carbonates over organic carbon, the former being from several to a dozen or so times greater. No distinct relation has been observed in the dark laminae. A mineralogical analysis also confirmed the occurrence of considerable amounts of carbonates in the core section examined.

The mineralogical analysis of fractions over 5μ carried out on material taken from the lower sections of the core (samples 11—29 in Fig. 1, page 140) showed that calcium carbonate was the predominating mineral (50—70%), this occurring in the form of irregular shaped grains with diameters of from several to tens of microns, maximum 30μ . In samples 1 to 10 there is a distinct drop in the amount of calcium carbonate to 40% in favour of an increase in the amount of quartz from several percent in the lower part to a dozen or so percent in the upper part of the core section mentioned.

Basing on observations of contemporary sedimentation processes in the arctic area it can be assumed that during the period of the depositing of the residues in question, crystallizing brash-ice, loose ice floes and compact ice cover hindered wave motion and the circulation of currents, thus impeding the transportation of melted material. In relatively stable conditions, only the most minute material could be deposited in the form of suspended mineral and biological matter as well as colloids. Thus the winter layers comprise compact clay and biogenic material, represented in the main by plankton flora having a single maximum annual production. The dark brown colour of the winter laminae may be due to reductive conditions related to the lower oxygen content in the ice-covered basin.

During the period when the ice was melting, a process which depended upon solar activity, a current of cold waters originating from the melting glacier transported the melted material for considerable distances. The sedimentation of the material contained in this, depended primarily upon the bottom topography and the properties of the sea water — salinity and temperature. These properties played an important role, causing the coagulation of colloids and clayey particles, and their depositing in the marine environment which had a greater concentration of electrolytes.* Together with the increasing amounts of melted mine-

* Observations and measurements of coagulation processes in nature were commenced, in 1890, in the region of contact between oceanic waters and melting waters from the glaciers of Greenland, Alaska and Norway. In 1919, coagulation processes had already been studied mathematically and experimentally by S. Odén.

ral residual material there was a diluting of biogenic material. Thence the amount of organic substance deposited at particular levels depended upon the intensity of mineralogical sedimentation, this in turn, being influenced by the reserves and types of detritus from the melting glacier, local physical-chemical and dynamic conditions of the basin.

The analyses and examinations of the 10-metre core varves enable the following conclusions to be reached: varve laminae with small differences in thickness indicate that they were formed in units of time with strict periodicity, irrespective of local environmental influences.

Smaller amounts of organic carbon and thence organic substances in the light laminae, are evidence of dilution of sedimentation material by mineral detritus, supplied in abundance during the warmer melting period.

Greater amounts of carbonates, determined both chemically and petrographically, in the light, summer laminae, indicate closer contact with glacier material containing limestone, e.g. in the region of the Aland Islands. This is also confirmed by the two-seasonal character of the varves examined.

This enabled further detailed studies of the subject, i.e. the determining of the sedimentation period to which two laminae belong. To find an answer to this question, the thickness of the lighter and darker laminae occurring in the material from the core examined on ordinate 6.10 to 9.60 was measured. Next, the power spectra of the layers were calculated, assuming that the laminae corresponded to 6-month periods. The calculations were carried out by the Computer Technique Centre in Gdynia, using an ICT computer. The calculations of the power spectra of the 6-monthly clay laminae of the 10-metre core according to the above assumptions illustrated the periodicity of the series analysed. The results of the spectrum analysis carried out by A. Wróblewski of the Polish Academy of Sciences' Department of Oceanology in Sopot, proved the occurrence of an annual cycle and the noting of less distinct 6- and 9-year periods (Fig. 2, page 142). The occurring of one-year periods conforms with the annual periodicity of climatic phenomena, 6- and rarer 9-year periods being met in geophysical research (Monin, Vulis 1971).

The results obtained by numerical method used to define the periodicity of occurrence of the phenomena confirmed that the laminae measured having such characteristics as difference in colour, organic matter content, mineralogical and granulometric composition, reflect the annual oscillations influenced by solar energy. According to de Geer's assumptions, they correspond to the conception of varves.

LITERATURA

REFERENCES

- Arrhenius G. (1947), *Den Glacials Lerans varvighet*, Sveriges Geologiska Undersökning S.C., N. 486.
- Debyser J. (1961), *Contribution a l'étude géochimique des vases marines*, Inst. Franc du Pétrole, Paris.
- De Geer G. (1935), *The Transbaltic Extension of the Swedish Time Scale*, Geografiska Annaler, Data 21.
- De Geer G. (1940), *Geochronologia Suecica Principes*, K. Sv. Vet. Akad. Handl. 5, Ser. 3.
- Gripenberg S. (1934), *A study of the sediments of the North Baltic and ad joining Seas*, Merentutkimuslaitoksen Julkaisu No. 96, Helsinki.
- Ignatius H. (1958), *On the Rate of Sedimentation in the Baltic Sea* Extrait des Comptes Rendus de la Société géologique de Finlande, N. XXX.
- Monin A.S., Vulis I.Z. (1971), *On the spectra of long-period oscillations of geophysical parameters*, Tellus v. 23, N. 4—5.
- Sauramo M. (1924), *Studies on the Quaternary Varve Sediments in Southern Finland*, Fenia 44, N. 1, Helsinki.
- Sauramo M. (1929), *The Quaternary Geology of Finland*, Bulletin de la Commission Géologique de Finlande, Helsinki.
- Tauber H. (1969), *The Scandinavian Varve Chronology and C-14*, National Museum, Copenhagen.