

П. ИЫГАР

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ СУММАРНЫХ УРОВНЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В настоящей статье дается метод определения гидрогеологического строения водовмещающих пород при помощи средних пьезометрических уровней без предварительных сведений о водоносных горизонтах. Вычисление средних значений пьезометрических уровней ведется методом, аналогичным разработанному автором для определения средних коэффициентов фильтрации при неравномерном вскрытии скважинами неоднородных пород (Иыгар, 1972). Таким образом, будем считать, что применима формула

$$h_i = \sum_{r=1}^R \frac{p_{ir}}{\sum_{r=1}^R p_{ir}} h_r, \quad (1)$$

где

$$p_{ir} = \frac{T_{ir}}{\sum_{i=1}^N T_{ir}}, \quad (2)$$

при условии, что положение суммарного уровня есть средневзвешенное от глубин залегания уровней каждого горизонта и определяется уравнением (Альтовский, 1950)

$$h_r = \frac{h_1 T_{1r} + h_2 T_{2r} + \dots + h_N T_{Nr}}{T_{1r} + T_{2r} + \dots + T_{Nr}}. \quad (3)$$

Здесь h_r — глубина залегания суммарного уровня при соединении i горизонтов ($i=1, 2, \dots, N$) в скважине r ($r=1, 2, \dots, R$); h_1, h_2, \dots, h_N — глубины залегания уровней отдельных горизонтов; $T_{1r}, T_{2r}, \dots, T_{Nr}$ — величины водопроницаемостей отдельных горизонтов, вычисляемые по формуле

$$T_{ir} = k_i m_{ir}, \quad (4)$$

где k_i — коэффициенты фильтрации пород горизонта i ;
 m_{ir} — мощность вскрытой части горизонта i в скважине r .

При решении поставленной задачи методом наименьших квадратов система уравнений состоит из r однотипных уравнений вида (3) и число скважин r должно превышать число горизонтов i . Но, как уже говорилось (Иыгар, 1972), попадание отыскиваемых средних значений в разумный интервал не всегда гарантируется. Поэтому мы предлагаем вычислять значения h_i по формуле (1), основанной на условной вероятности Байеса. Формула (1) гарантирует такие значения h_i , которые не выходят

за пределы наибольшего и наименьшего значений суммарного уровня скважин, где данный горизонт i вскрыт.

Распознавание водоносных горизонтов производится на основе вычисленных значений h_i . Если, например, разность между пьезометрическими уровнями смежных водоносных горизонтов (слоев) больше установленного порога α , т. е.

$$|h_i - h_{i+1}| > \alpha, \quad (5)$$

то наличие отдельных водоносных горизонтов считается подтвержденным.

Численный пример. Продемонстрируем ход вычислений на примере 10 эксплуатационных буровых скважин, расположенных в пос. Пээтри Пайдеского района ЭССР. Расстояния между скважинами 0,2—6 км, их глубина 30—70 м. Рабочие части скважин вскрывают четыре стратиграфических горизонта; тамсалуский (S_{1tm}), юурусский (S_{1jr}), поркуниский (O_{3pk}) и пиргуский (O_{3pg}). Эти горизонты целесообразно принять в качестве первоначальных водоносных горизонтов с номером i . Из-за большого объема пиргуский горизонт разделен на адиласкую (O_{3pgA}) и мозскую (O_{3pgM}) пачки.

Высоты пьезометрических уровней в отдельных скважинах характеризуют уровни только в данном месте и в данное время замера. Поэтому они приводятся к единому центру группы скважин и к единовременному замеру уровня. Это необходимо, так как региональный наклон уровня подземных вод в пределах одной группы скважин, а также колебания уровня подземных вод во времени могут существенно повлиять на достоверность результатов вычисления значений h_i .

Высота пьезометрического уровня в единичной скважине r , приведенная к центру группы скважин и к осенне-летнему минимуму, вычислена по формуле

$$h_r = H_r - \Delta h_{r\text{гуп}} \pm \Delta h_{r\text{рег}} - \Delta h_{r\text{реж}}, \quad (6)$$

где H_r — абсолютная отметка устья скважины r в м;
 $\Delta h_{r\text{гуп}}$ — глубина до уровня воды от устья скважины r в м;
 $\Delta h_{r\text{рег}}$ — среднее региональное приращение уровня воды на отрезке от центра группы до места расположения скважины r ;
 $\Delta h_{r\text{реж}}$ — среднее приращение уровня воды во время данной декады замера уровня воды в скважине r по сравнению с уровнем воды во время осенне-летнего минимума. (Определяется по данным многолетних наблюдений над определенным режимом подземных вод).

В табл. 1 приведены значения водопроводимостей T_{ir} . Приняты следующие значения величины k_i (м/сут): $k_{S_{1tm}} = 5,21$; $k_{S_{1jr}} = 4,25$; $k_{O_{3pk}} = 4,15$; $k_{O_{3pgA}} = 2,49$; $k_{O_{3pgM}} = 7,52$.

Отметим, что если учитывать среднегрупповые значения k_i соседних групп скважин, то для каждой скважины r рассматриваемой группы можно получить значения $k_i(x_r, y_r)$, зависящие от географических координат x_r и y_r скважины. В пределах группы скважин пос. Пээтри значения $k_i(x_r, y_r)$ определены для 9 скважин в 17 случаях из 26. Соответственно определились и новые значения T_{ir} . Например, коэффициенты фильтрации юурусского и поркуниского горизонтов по скв. № 4 получились равными 5,8 и 5,5 м/сут, а величины T_{ir} — 63,8 и 38,5 м²/сут.

В табл. 2 приведены значения h_i для всех горизонтов, определенные по схеме $h_i = \int(T_{ir}(k_i))$ с использованием формул (1), (2). Особо найдены значения h_i с учетом географических координат отдельных скважин.

Таблица 1

Значения водопроницаемости отдельных стратиграфических горизонтов и показателей пьезометрического уровня

№ скважины <i>r</i>	Водопроницаемость T_{ir} (m^2/cyr) открытых частей стратиграфических горизонтов					H_r	Месяц и год замера уровня	$\Delta h_{r, пер}$	$\Delta h_{r, реж}$	$\Delta h_{r, ур}$	h_r по формуле (6)
	S_{1tm}	S_{1jr}	O_{3pk}	O_{3pgA}	O_{3pgM}						
1			27,0	42,3	41,4	75,0	VII/69	+3,0	-1,2	2,8	74,0
2			24,9	39,9	15,0	81,2	VI/67	+2,5	-2,0	1,5	80,2
3				(1,0)		78,0	XI/58	+0,5		4,2	74,3
4		46,8	29,0			84,0	IX/65	-1,25	-1,0	7,5	74,25
5		42,5	28,7	39,8		82,0	X/69	+2,0	-0,85	5,0	78,15
6		6,4	30,4	37,3	167,7	88,0	X/69	-1,5	-0,8	8,0	77,7
7			30,3	42,3	35,3	77,0	X/64	+2,5	-0,7	5,0	73,8
8	95,3	8,5				81,0	VI/71	+4,0	-2,0	3,5	79,5
9		34,0	31,2	31,3		82,0	I/64	-1,75	-0,7	2,0	77,55
10	62,5	55,3				80,4	VII/68	+4,0	-0,6	2,15	81,65

Таблица 2

Схема вычисления	Стратиграфические горизонты				
	S_{1tm}	S_{1jr}	O_{3pk}	O_{3pgA}	O_{3pgM}
$h_i = f(T_{ir}(k_i))$	80,22	77,68	76,44	76,11	76,32
$h_i = f(T_{ir} k_i(x_r, y_r))$	80,18	77,92	76,59	75,94	76,45

Из табл. 2 видно, что несколько обособленно ведут себя пьезометрические уровни горизонтов S_{1tm} и S_{1jr} ; это дает основание считать их самостоятельными водоносными горизонтами (слоями). Значения h_i горизонтов O_{3pk} , O_{3pgA} и O_{3pgM} значительно ближе друг к другу. Все это подтверждает наличие единого водоносного горизонта в объеме, по меньшей мере, поркуниского и пиргуского стратиграфических горизонтов.

Анализ распределения высот пьезометрического уровня. Описанный метод применен для вычисления средних высот пьезометрического уровня водовмещающих пород Пандивереской возвышенности на северо-востоке Эстонии. Имеющиеся здесь более 400 скважин разделены на 36 групп по признаку их расположения. Вычисления проведены подобно описанному выше численному примеру по нескольким схемам. В подавляющем большинстве случаев разные схемы дали для одной и той же группы скважин одинаковые распределения значений h_i . Результаты вычислений (преимущественно по схеме $h_i = f(T_{ir}(k_i))$) приведены в табл. 3.

По табл. 3 можно определить те стыки горизонтов, на которых разность $h_i - h_{i+1}$ превышала некоторую выбранную величину порога α . В данном случае признаком водоупора принята следующая разность (скачок) между двумя смежными значениями h_i : если уровень нижележащего горизонта выше уровня вышележащего горизонта, то $\alpha = 0,75 \div 0,8$ м; если уровень нижележащего горизонта ниже уровня вышележащего горизонта, то $\alpha = 1$ м.

Выделяются стыки горизонтов, на которых чаще всего наблюдаются скачкообразные изменения пьезометрического уровня. Как видно из

табл. 3, наиболее частые скачки уровней приходится на стыки горизонтов O_2uh/O_2kk ; O_2on/O_3rkP ; O_3nbS/O_3vr ; S_{1jg}/S_{1tm} . При наличии скачка водоупорные породы залегают либо в нижней половине вышележащего горизонта, либо в верхней половине нижележащего горизонта. Для большего уточнения места залегания водоупора требуются дополнительные сведения.

Полученные результаты в общем совпадают с уже сложившимися представлениями о гидрогеологическом строении района. Например, это касается водоупоров глинистых известняков ухакусского (O_2uh) горизонта, промпачки горючих сланцев кукурзеского (O_2kk) горизонта, глинистых известняков оандуского (O_2on), вормсисского (O_3vr) и юурского горизонтов.

Изложенный метод может быть рекомендован при гидрогеологических исследованиях для экспрессного определения гидростратиграфии водоупорных пород.

ЛИТЕРАТУРА

- Альтовский М. Е. Расчет водопоглощающих скважин. Разведка недр, № 1 (1950).
Йыгар П. Е. Вычисление параметров водопроницаемости коренных пород. Изв. АН ЭССР. Хим. Геол., 21, № 4 (1972).

Институт геологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
22/VI 1973

P. JÖGAR

HÜDROGEOLOOGILISE EHITUSE UURIMINE PÕHJAVETE SUMMAARSETE TASEMETE ALUSEL

Artiklis käsitletakse vett sisaldavate kihtide stratifitseerimist summaarsete, s. o. mitme kihi kohta kehtivate põhjavete tasemete abil. Uksikute kihtide veetasemed h_i arvutatakse suhtelise tõenäosuse alusel (valem (1), $r=1, 2, \dots, R$ — puuraukude arv; $i=1, 2, \dots, N$ lademete arv; p_{ir} — i -nda lademe veejuhtivuse osakaal r -ndas puur-
augus). Vett sisaldavate kihtide ühendamine veehorisontideks toimub kihtide veetasemete omavahelise võrdluse alusel. Analüüsiti Kirde-Eestis paikneva 36 puuraukude grupi kohta käivaid andmeid (tab. 3).

P. JÖGAR

STUDY OF THE HYDROGEOLOGICAL STRUCTURE ON THE BASIS OF THE SUMMARY LEVELS OF UNDERGROUND WATERS

The article deals with the stratification of summary water-bearing strata with the help of summary (i. e. summarized according to the profile of the boreholes) piezometric levels of the underground waters. The computation of the mean piezometric levels has been effected on the basis of the relative probability of Bayes, whereas the determination of the water-resistant and water-bearing strata has been grounded on the sharp difference between the values of the water-levels of adjacent water-bearing strata. According to that method, the most probable hydrogeological structure of the carbonaceous rocks of Northeast Estonia has been determined (Table 3).

Высота пьезометрических уровней подземных вод (в м над ур. м.) и результаты определения водоупоров (при пороге распознавания $\alpha = 0,75 \div 1,0$ м)

Таблица 3

Номер группы	Стратиграфические горизонты																						
	O _{1pkI} O _{1lt}	O _{1vI}	O _{1kn}	O _{2as}	O _{2ls}	O _{2uh}	O _{2kk}	O _{2id}	O _{2jh}	O _{2kl}	O _{2on}	O _{3rkP}	O _{3rkT}	O _{3nbP}	O _{3nbS}	O _{3vr}	O _{3pgM}	O _{3pgA}	O _{3pk}	S _{1jr}	S _{1tm}	S _{1rk}	
1	← (65,5)	→ 66,49	← 66,56	→ 72,89																			
2	← (73,07)	→ 71,95	← 71,09	→ 71,52	← 72,71	→ 73,58	73,90																
3	(68,38)	69,42	68,61	69,70	67,95	67,17	68,25	68,49	67,76	(67,33)													
4	← (57,71)	→ 58,61	59,44	59,08	59,17	58,61	(57,96)																
5	60,45	60,83	60,95	61,24	61,20	60,94																	
6	← (59,69)	→ 62,61	62,89	64,65	66,37	66,40	(68,07)																
7	← (73,96)	→ 75,57	76,66	77,74	79,3																		
8																							
9																							
10		← 87,59	→ 89,22	89,09	89,00	88,93	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39	88,39
11																							
12																							
13		← (77,7)	→ 81,33	84,05	84,36	87,10	89,58	88,07	80,93														
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
31																							
32																							
33																							
34																							
35																							
36																							
Стыки горизонтов	O _{1lt} O _{1vl}	O _{1kn} O _{1kp}	O _{2as} O _{2as}	O _{2ls} O _{2ls}	O _{2uh} O _{2uh}	O _{2kk} O _{2kk}	O _{2id} O _{2id}	O _{2jh} O _{2jh}	O _{2kl} O _{2kl}	O _{2on} O _{2on}	O _{3rkP} O _{3rkP}	O _{3rkT} O _{3rkT}	O _{3nbP} O _{3nbP}	O _{3nbS} O _{3nbS}	O _{3vr} O _{3vr}	O _{3pgM} O _{3pgM}	O _{3pgA} O _{3pgA}	O _{3pk} O _{3pk}	S _{1jr} S _{1jr}	S _{1tm} S _{1tm}	S _{1rk} S _{1rk}		
Число скачков a ₁	0	1	1,66	1	1,75	3,6	1	1,05	1,25	2	2,6	3,15	2,77	3	6,85	5	5	1,9	5	4	1		
Число скачков b	2	3,5	4	4	5,5	4,6	5	3,15	6,6	6	5	6,15	7,44	6	8,75	11,05	11	9,4	10,2	8	6		
Отношение р = a ₁ /b	0	0,28	0,42	0,25	0,32	0,78	0,20	0,33	0,19	0,33	0,52	0,51	0,36	0,5	0,78	0,45	0,45	0,20	0,49	0,5	0,17		
Число скачков a ₂	0,5	2,13	1,5	2	2,85	1,5	1,6	2,08	2,5	2,77	2,9	2,77	4,13	6,5	4,8	5,08	2,1	4,1	4,67	1,33			
Отношение р = a ₂ /b		0,14	0,51	0,37	0,36	0,62	0,30	0,51	0,31	0,42	0,56	0,47	0,36	0,69	0,74	0,43	0,46	0,22	0,4	0,58	0,22		
	водоносный горизонт					водоупор	водоносный горизонт					водоупор	водоносный горизонт					водоупор	водоносный горизонт				

Примечания: Штрихами | указаны стыки горизонтов, на которых наблюдаются скачкообразные повышения (или понижения) пьезометрического уровня; скобками (...) указаны горизонты, которые вскрыты в данной группе менее, чем в трех скважинах;

* с учетом удельных дебитов тех горизонтов, которые охарактеризованы вместе одной цифрой (например ← 66,56 →);

** с учетом удельных дебитов и также результатов определения h_i при помощи других вычислительных схем (не приведенных в настоящей таблице);

*** Отношение p — вероятность регионального водоупора.

ХЕЛЬГИ КЕССЕЛ, Н. ДАВЫДОВА, А. БЛАЖЧИШИН

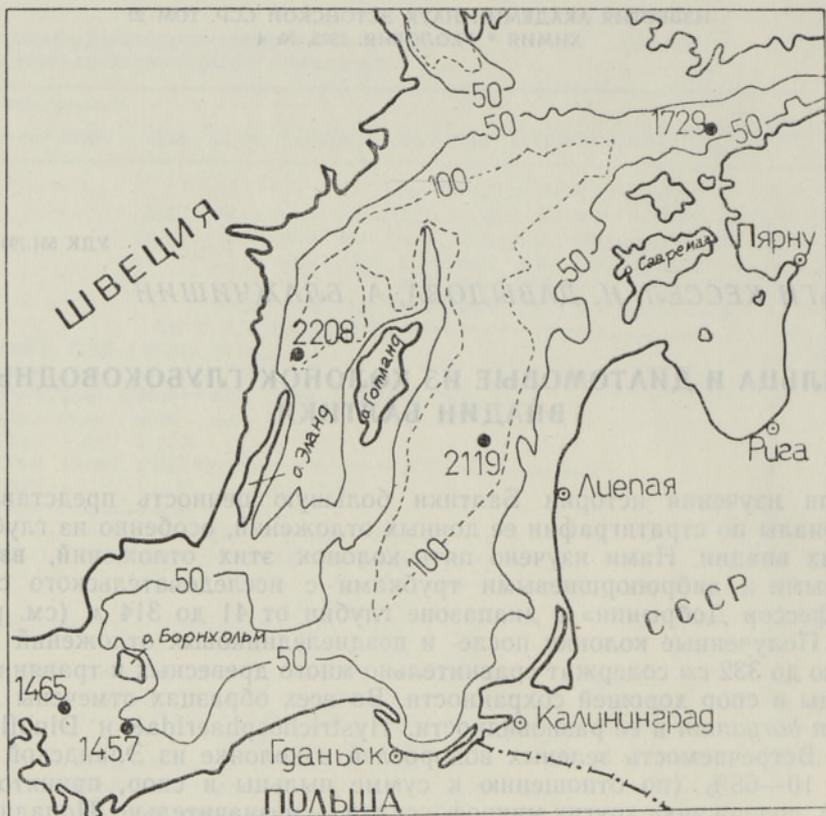
ПЫЛЬЦА И ДИАТОМОВЫЕ ИЗ КОЛОНОК ГЛУБОКОВОДНЫХ ВПАДИН БАЛТИКИ

Для изучения истории Балтики большую ценность представляют материалы по стратиграфии ее донных отложений, особенно из глубоководных впадин. Нами изучено пять колонок этих отложений, взятых ударными и вибропоршневыми трубками с исследовательского судна «Профессор Добрынин» в диапазоне глубин от 41 до 314 м (см. рисунок). Полученные колонки после- и позднеледниковых отложений мощностью до 332 см содержат сравнительно много древесных и травянистых пыльцы и спор хорошей сохранности. Во всех образцах отмечены *Pediastrum boryanum* и ее разновидности, *Hystrichosphaeridae* и *Dinoflagellatae*. Встречаемость зеленых водорослей в колонке из Эландской впадины 10—68% (по отношению к сумме пыльцы и спор, принятой за 100%), содержание других микрофоссилий — незначительно. Попадают также единичные, явно переотложенные зерна мезозойского и неогенового возраста, такие как пыльца липы, *Leiotriletes*, тип *Trudopollis*, тип *Stellatoid*, *Podocarpus*, *Inarperuropollinites* и др. Дочетвертичные пыльцевые зерна легко отличаются от четвертичных по коричневому цвету и уплощенной форме. При диатомовом анализе использована методика, разработанная в Институте океанологии АН СССР, которая дает возможность определить содержание диатомей в 1 г воздушно-сухого осадка, но с применением обогащения тяжелой жидкостью.

В Арконской впадине в юго-западной части Балтики (рисунок, № 1465) с глубины 47 м взята колонка донных отложений следующего строения:

- 0—65 см — ил пелитовый темно-серый, начиная с 22 см — с серо-зелеными пятнами;
- 65—119 см — ил пелитовый серо-зеленый, с 80 см — значительно плотнее и светлее, имеет резкую границу при переходе в следующий горизонт;
- 119—123 см — глина плотная, вязкая, голубовато-серая;
- 123—130 см — глина маслянистая, коричневатая-серая, с резким нижним контактом;
- 130—157 см — алеврит ленточный серый с включениями гидротроилита, мощность глинистых лент до 0,5 см, алевритовых — до 1 см.

Из описания видно, что осадконакопление имело два хорошо выраженных в разрезе перерыва. Самая нижняя часть отложений в интервале 135—157 см характеризуется высоким содержанием пыльцы сосны и орешника. Она принадлежит к бореальному периоду, к зоне ВО, по системе Т. Нильссона (Nilsson, 1961). В составе древесных в интервале 105—135 см встречается большое количество пыльцы широколиственных пород (до 28%), содержание пыльцы орешника достигает 40%. По характеру пыльцы и диатомовых эти отложения относятся к атлантическому



Батиметрическая схема центральной и южной частей Балтики (глубины в метрах).

● — местоположение колонок глубоководных впадин.

периоду. Лежащая выше иловая толща принадлежит уже к суббореальному периоду (зона SB 2) вследствие меньшего содержания широколиственных пород. В самых верхних слоях разреза имеются пыльца и споры современной растительности.

В 8 образцах Арконской колонки найдено 48 таксонов диатомей. Содержание створок в 1 г осадка невелико — достигает 90 тыс., часто существенно меньше. В бореальных отложениях створки диатомей единичны — около 1000 в 1 г осадка. Встречены следующие морские планктонные виды: *Chaetoceros holsaticus*, *Dimerogramma minor*, *Melosira sulcata*, *Rhizosolenia hebetata*, *Thalassionema nitzschioides* и пресноводные *Stephanodiscus astraea* var. *minutulus* и *Diploneis smithii* var. *pumila*. Вероятно эти отложения накопились в конце бореального периода, когда уже началось слабое осолонение Анцилового озера. Как известно, анциловый берег проходил в то время недалеко от юго-западного края Арконской впадины и существовало узкое сообщение через только что образовавшиеся проливы между Балтийским и Северным морями.

В атлантических отложениях в интервале 120—130 см содержание диатомей возрастает до 5,6 тыс. на 1 г, видовой состав также более разнообразен. Преобладают морские диатомеи эу- и мезогалобы — на их долю приходится более 90% общего количества створок. Доминируют (около 1000 створок в 1 г осадка) *Melosira sulcata* и *Thalassionema nitzschioides*. Обильны (более 300 в 1 г) *Cocconeis scutellum*, *Dimero-*

gramma minor, *Rhizosolenia hebetata*. Единично встречаются пресноводные диатомеи. Морские планктонные диатомеи составляют 60% всех створок. Значительное количество бентосных видов указывает на относительную близость берега. Характер диатомового комплекса свидетельствует, что соленость могла доходить до 10‰.

В суббореальных отложениях в интервале 20—105 см количество створок диатомей колеблется от 27 до 91 тыс. на 1 г осадка, снижаясь до 1 тыс. в нижней части этих отложений. Доминируют (более 10 тыс. в 1 г) морские планктонные виды *Melosira sulcata*, *Actinocyclus ehrenbergii* и *Rhizosolenia hebetata*. Субдоминанты (более 5 тыс. в 1 г) — *Chaetoceros holsaticus*, *Dimerogramma minor*. Обычны (более 2,5 тыс. в 1 г) *Diploneis didyma*, *Plagiogramma staurophorum*, *Rhabdonema arcuatum*, *Synedra tabulata*. Створки морских видов составляют в отложениях 94—99%.

В субатлантических отложениях в интервале 0—20 см содержание створок диатомей на 1 г осадка достигает 87 тыс. Доминируют (16—26 тыс. в 1 г) *Actinocyclus ehrenbergii* и *Melosira sulcata*. Субдоминанты (более 5 тыс. в 1 г) — *Chaetoceros holsaticus*, *Synedra tabulata* и *Rhizosolenia hebetata*. Обычны (более 2,5 тыс. в 1 г) *Dimerogramma minor*, *Diploneis didyma*, *Hyalodiscus scoticus*.

Выделенные по палинологическим и диатомовым данным 4 части донных отложений Арконской впадины соответствуют анциловой (интервал 135—157 см), литориновой (105—135 см), лимниевой (20—105 см) и современной (0—20 см) стадиям Балтики.

В колонке из юго-западной части Борнхольмской впадины (рисунок, № 1457) с глубины 41 м отложения представлены следующими разностями:

- 0—20 см — ил алевритово-пелитовый, творожистый, темно-серый;
- 20—28 см — ил зеленовато-темно-серый;
- 28—151 см — ил однородный, значительно более плотный, зеленовато-серый, резко очерчен при переходе в следующий горизонт;
- 151—154 см — морена, серая и пластичная глина с гравием и щебнем.

В морене пыльцевой анализ не производился. Спорово-пыльцевые спектры иловой толщи в интервале 60—151 см характеризуются господством пыльцы древесных пород (72—84%) при незначительном количестве пыльцы трав (6—16%) и спор (10—12%). В составе древесных встречаются пыльца сосны (12—34%), березы (21—31%) и ольхи (15—30%). Из пыльцы широколиственных пород представлены дуб (12—22%), вяз и липа (оба до 5%). Содержание пыльцы орешника достигает 25%, пыльцы граба и бука — 3%, пыльцы ясеня — 2%. Травы представлены в образцах с глубин 60—70 и 147—151 см пылью *Gramineae* (30—45%), *Cyperaceae* (2—21%), *Chenopodiaceae* (1—14%), *Rosaceae*, *Umbelliferae*, *Thalictrum* (6%), *Ericaceae* (4%), *Artemisia* (9—12%), *Plantago* (до 5%), *Filipendula* (до 10%). Пыльца других травянистых, а также клена, ивы содержится в количестве ниже 2% и спорадически. Споровые растения представлены в основном *Bryales*, *Sphagpales*, *Polypodiaceae*, *Lycorodiales*, среди которых господствуют зеленые мхи (до 70% от споровых). Толща ила в интервале 60—151 см по спорово-пыльцевым данным соответствует зоне SB 2, т. е. второй половине суббореала.

В самой верхней части ила содержание пыльцы низкое. В интервале 25—30 см отмечен субатлантический состав пыльцы: сосны 38%, березы 26%, ели 8%, ольхи 16%, широколиственных пород 12% (граба до 5%, бука и клена до 2%, ясеня 3%).

В суббореальных отложениях встречено 45 таксонов диатомей, в том числе 37 морских и 8 пресноводных видов. Доминируют (до 100 тыс. створок в 1 г осадка) морские планктонные виды *Chaetoceros holsaticus* и *Melosira sulcata*. Субдоминанты (до 20 тыс. в 1 г), также морские планктонные виды: *Actinocyclus ehrenbergii*, *Dimerogramma minor*, *Thalassionema nitzschioides*. Обычны (4—10 тыс. в 1 г) *Chaetoceros affinis*, *Diploneis didyma*, *Grammatophora marina*, *Synedra tabulata* и пресноводная *Opephora martyi*. Состав массовых и обычных форм показывает, что диатомовый комплекс сформировался в солоноводном бассейне с незначительным притоком пресных вод.

В субатлантических отложениях в интервале 0—60 см доминируют те же диатомей, что и в суббореальных, но с несколько пониженным содержанием (55—95 тыс. створок в 1 г осадка), а также *Rhizosolenia hebetata* (35 тыс. в 1 г). Субдоминанты (10—15 тыс. в 1 г) — *Actinocyclus ehrenbergii*, *Diploneis didyma*, *Plagiogramma strauvophorum* и пресноводная *Opephora martyi*. Обильны (более 4 тыс. в 1 г) *Chaetoceros mitra*, *Dimerogramma minor*, *Opephora marina*, *Synedra tabulata*, *Thalassionema nitzschioides*. В целом диатомовый комплекс здесь беднее по составу, чем в суббореальном периоде. Встречено 22 таксона диатомей, в том числе 19 морских видов.

По палинологическим и диатомовым данным иловая толща Борнхольмской впадины подразделяется на две части, соответствующие лимниевой и современной стадиям Балтики.

Состав диатомей в послелиториновых отложениях Арконской и Борнхольмской впадин показывает, что в этот период соленость воды в разных юго-западных районах Балтики была одинаковой и близкой к современному значению, т. е. достигала 10‰.

В Эландской впадине (рисунок, № 2208) с глубины 138 м была взята колонка донных отложений следующего состава:

- 0—18 см — ил разжиженный, пелитовый, зеленовато-серый;
- 18—85 см — ил плотный, пелитовый, голубовато-серый с запахом сероводорода;
- 85—110 см — ил темно-серый с вкраплениями гидротроилита;
- 110—250 см — глина плотная, голубовато-серая;
- 250—332 см — глина вязкая, плотная, желтовато-серая.

Глина в интервале 265—320 см характеризуется высоким содержанием пыльцы травянистых пород (до 40%). Обнаружена пыльца *Artemisia* (до 50% всех травянистых пород). Среди пыльцы древесных пород доминирует пыльца сосны, но абсолютное преобладание ее (до 90%) отмечается в нижней части глины. Второе место принадлежит пыльце березы (9—20%), среди которой присутствуют *Betula humilis* и *B. nana* (до 18% всей пыльцы березы). Возраст глины — верхний дриас (зона DR 3).

Отложения в интервале 23—265 см характеризуются невысоким содержанием травянистых пород (до 8%). Состав древесных пород во всем интервале однородный: пыльцы сосны 50—84% и березы 20—48%. Данный интервал соответствует пребореальному периоду (зона PB), самая же верхняя часть ила (0—23 см) относится к субатлантическому периоду (зона SA).

Отложения колонки Эландской впадины оказались бедны диатомеями: в 16 проанализированных образцах найдено всего 43 таксона. Количество створок в 1 г осадка редко превышает 1000, часто диатомей единичны. В отложениях Балтийского приледникового озера в интервале 265—320 см встречаются единичные створки пресноводной *Melosira islandica subsp. helvetica*.

Пребореальные отложения в интервале 23—265 см также бедны диатомеями, что согласуется с данными (Блажчишин, Емельянова, 1971) о большом терригенном сносе в глубоководные впадины в позднеледниковый и пребореальный периоды. Количество створок в этих отложениях колеблется от единиц до нескольких сотен и только в интервале 40—70 см возрастает до нескольких тысяч экземпляров. Доминируют (более 1000 створок в 1 г осадка) планктонные виды мезогалобы: *Chaetoceros holsaticus*, *Coscinodiscus lacustris* var. *septentrionalis*, *Synedra tabulata*, *Thalassiosira baltica*. Обычны (200—600 в 1 г) также мезогалобы *Actinocyclus ehrenbergii*, *Grammatophora oceanica*, *Rhizosolenia hebetata*, *Cocconeis scutellum*. По всей толще в небольшом количестве встречаются пресноводные диатомеи, обитатели крупных глубоких холодноводных озер: *Melosira islandica* subsp. *helvetica*, *M. distans* var. *alpigena*, *M. italica* subsp. *subarctica*, *Stephanodiscus astraea* var. *minutulus*, *S. niagarae*. Всего в пребореальных отложениях найдено 35 таксонов диатомей, в том числе 16 морских видов (эу- и мезогалобы), 4 галофила, 13 индифферентов и 2 галофоба. Солоноводный характер диатомового комплекса Иольдиевого моря еще более очевиден при подсчете суммарного количества створок диатомей по экологическим группам: эу- и мезогалобы составляют 70% общего количества створок, галофилы — 4%, а индифференты и галофобы — 26%. Такой состав диатомового комплекса обусловлен тем, что колонка взята в непосредственной близости от древнего средне-шведского пролива, соединявшего в пребореале балтийскую котловину с мировым океаном. Поступавшие через пролив придонные воды осолоняли близлежащие районы Иольдиевого моря и несли с собой морские диатомеи. Соленость эландской впадины и прилегающих к ней более мелководных участков была наибольшей в Иольдиевом море и, судя по составу диатомей, могла достигать 5‰ или несколько больше.

В субатлантических отложениях содержание диатомей также велико — 17 500 створок в 1 г осадка. Доминируют (более 3 тыс. в 1 г) *Chaetoceros holsaticus*, *Synedra tabulata*, *Thalassiosira baltica*. Субдоминанты (более 1 тыс. в 1 г) — *Coscinodiscus lacustris* var. *septentrionalis*, *Actinocyclus ehrenbergii*. Обычны (более 500 в 1 г) *Achnanthes taeniata* и пресноводный галофил *Epithemia turgida*. В число массовых и обычных входят преимущественно солоноводные виды мезогалобы. Диатомовый комплекс субатлантических отложений существенно отличен от более солоноводного по характеру диатомового комплекса из юго-западных впадин Балтики, что вполне закономерно и соответствует низкой солености воды в районе Эландской впадины.

Выделенные по палинологическим и диатомовым данным 3 части донных отложений Эландской впадины соответствуют Балтийскому приледниковому озеру (интервал 265—320 см), иольдиевой (23—265 см) и лимниевой (0—23 см) стадиям Балтики.

В Восточно-Готландской впадине (рисунок, № 2119) с глубины 173 м взята колонка донных отложений следующего состава:

- 0—30 см — ил творожистый, пелитовый, зеленовато-серый;
- 30—64 см — ил слабо полосчатый с растительными остатками на глубине 40—45 см;
- 64—102 см — ил полосчатый с растительными остатками на глубине 85—90 см;
- 102—128 см — глина серая с черными примазками;
- 128—180 см — глина пепельно-серая, мраморовидная с ярко-черными гидротроилитовыми примазками и прослойками гидротроилита на глубине 134—140 см и гравия на глубине 144—147 см;
- 180—200 см — глина плотная с примазками;
- 200—247 см — глина плотная без примазок.

Глина в интервале 200—247 см характеризуется высоким содержанием пыльцы травянистых растений (42—44%), содержание пыльцы древесных пород — 38% и спор — 18—20%. В составе пыльцы травянистых растений обнаружены *Artemisia* (51—63%), *Chenopodiaceae* (12—13%), *Gramineae* и *Syringaceae* (соответственно ниже и выше 10%). Среди пыльцы древесных пород доминирует пыльца сосны (46—57%). Далее следует пыльца березы (40—50%), в составе которой присутствуют *Betula humilis* и *B. pana* (40—50%). Возраст глины — верхний дриас (зона DR 3)

В отложениях из интервала 50—200 см среди пыльцы древесных пород встречаются пыльца сосны (31—46%), березы (15—30%) и ольхи (10—29%). Содержание пыльцы широколиственных пород на глубине 185 см достигает 26% (дуба — 15%, липы 8% и вяза 3%), пыльцы ели — 5% и орешника — 50%. Возраст данных отложений, по всей вероятности, атлантический.

Для иловой толщи в интервале 20—50 см характерно пониженное содержание пыльцы широколиственных пород и орешника (зона SB). Самая верхняя часть колонки в интервале 15—20 см принадлежит к субатлантическому периоду (зона SA).

Содержание диатомей в отложениях очень незначительно. Из 27 рассмотренных образцов 12 оказались немymi. В отложениях верхнего дриаса встречены единичные осколки створок *Actinocyclus ehrenbergii* и *Opephora martyi*. Возможно, что они переотложены.

В отложениях атлантического времени, диатомей распределены крайне неравномерно: в одних образцах они полностью отсутствуют, в других их содержание не превышает 1 тыс., а в некоторых достигает 25 и даже 93 тыс. створок на 1 г осадка. Экологический состав диатомей также неоднороден. В нижней части отложений (150—200 см) вскрыта богатая морская флора, где диатомей эу- и мезогалобы составляют 70—98% общего количества створок. Из 26 встреченных таксонов 16 мезогалобов, 5 эугалобов и 5 пресноводных видов. Доминируют (30—35 тыс. створок в 1 г осадка) морские эугалобы: *Chaetoceros holsaticus*, *Melosira sulcata*. Обычны (2,5—8 тыс. в 1 г) *Actinocyclus ehrenbergii*, *Dimerogramma minor*, *Thalassionema nitzschioides*. В заметных количествах присутствуют пресноводные *Melosira islandica subsp. helvetica*, *Opephora martyi*.

Выше по разрезу содержание диатомовых незначительно. Осадконакопление, по-видимому, осложнялось интенсивными процессами размыва и переотложения, о чем свидетельствуют песчаные прослойки, органические остатки, а также относительно более высокое содержание пресноводных водорослей, по-видимому, в значительной степени переотложенных из анциловых отложений. В верхней части атлантических отложений доминируют (более 3 тыс. створок в 1 г осадка) морские виды *Actinocyclus ehrenbergii*, *Chaetoceros holsaticus*, *C. mitra*, *Rhizosolenia hebetata* и пресноводная *Melosira islandica subsp. helvetica*. Субдоминанты (более 1 тыс. в 1 г) — *Chaetoceros subsecundus*, *Thalassionema nitzschioides* и пресноводный *Stephanodiscus astraea* с вариантами.

В суббореальных отложениях из интервала 20—50 см максимальное содержание диатомей превышает 100 тыс. створок в 1 г осадка. Доминируют (более 20 тыс. в 1 г) морские планктонные диатомей: *Actinocyclus ehrenbergii*, *Rhizosolenia hebetata*. Субдоминант (14 тыс. в 1 г) *Chaetoceros holsaticus*, Обычны (5—8 тыс. в 1 г) *Chaetoceros affinis*, *C. curvisetus*, *Coscinodiscus lacustris var. septentrionalis*, *Thalassionema nitzschioides* и *Melosira islandica subsp. helvetica*.

Состав массовых видов и общий характер диатомового комплекса указывают на образование отложений в условиях открытого моря с со-

леностью, близкой к современной в этом районе, а также на принос пресноводных диатомей.

В субатлантических отложениях содержание диатомей ниже, чем в суббореальных, и достигает 23,6 тыс. створок в 1 г осадка. Доминирует (10 тыс. и более створок в 1 г осадка) *Rhizosolenia hebetata*. Субдоминанты (4 тыс. в 1 г) — *Actinocyclus ehrenbergii*, *Chaetoceros holsaticus*. Створок пресноводных диатомей, главным образом *Melosira islandica* subsp. *helvetica* и *Stephonodiscus astraes*, в субатлантических отложениях до 7% общего содержания диатомей, что свидетельствует о сходстве процессов седиментации, разноса диатомей и формирования диатомовых комплексов на протяжении позднего голоцена.

По палинологическим и диатомовым данным в донных отложениях Восточно-Готландской впадины, по всей вероятности, выделяются отложения Балтийского приледникового озера (интервал 200—247 см), Литоринового (50—200 см) и Лимнивого (0—50 см) морей.

В Финском заливе к югу от п-ва Ханка (рисунки, № 1729) на глубине 132 м взята колонка донных отложений следующего состава:

- 0—8 см — ил пелитовый паяжиженный, зеленовато-серый;
- 8—93 см — ил пелитовый мягкий, полосчатый, темно-серый;
- 93—197 см — ил темно-серый с четкими светлыми полосами;
- 197—131 см — ил зеленовато-серый;
- 131—192 см — ил темно-серый с черными прослоями;
- 192—106 см — ил зеленовато-серый;
- 106—233 см — ил с преобладанием темных полос;
- 233—259 см — ил серо-зеленый, слабо полосчатый;
- 259—302 см — ил полосчатый, темно-зеленый, резко очерчен при переходе в следующий горизонт;
- 302—314 см — глина серо-зеленая, более плотная, слабо полосчатая.

Спорово-пыльцевые спектры колонки в интервале 0—314 см характеризуются господством пыльцы сосны (до 80%), а в интервале 150—210 см — подъемом кривой пыльцы ели (до 21%). В большинстве случаев содержание пыльцы ольхи не более 10%, пыльца березы колеблется в пределах 10—33%. Пыльца широколиственных пород наблюдается в небольшом количестве: дуба и вяза — оба до 5%, липы до 3%. Невелико содержание пыльцы орешника (до 6%). Общий состав пыльцы и спор по разрезу однороден: пыльца древесных пород составляет 72—90%, травянистых 4—10% и споровых до 20%, что позволяет отнести эти отложения к первой (интервал 100—314 см) и второй половине (0—100 см) субатлантического периода.

В проанализированных 15 образцах содержится обильная диатомовая флора — 99 видов и разновидностей. В 1 г осадка насчитывается от нескольких сот до более чем 100 тыс. створок, что очень значительно для более молодых отложений Балтики. Преобладают морские виды (эу- и мезогалобы), составляющие 60% таксонов и от 64 до 90% общего содержания створок в отложениях.

Доминируют (более 10 тыс. в 1 г) морские солоноводные виды *Achnanthes taeniata*, *Actinocyclus ehrenbergii*, *Coscinodiscus lacustris* var. *septentrionalis*, *Synedra tabulata* и пресноводная галофильная *Epi-themia turgida*. Субдоминанты (более 1 тыс. в 1 г) представлены морскими видами *Chaetoceros holsaticus*, *Diploneis didyma*, *Grammatophora marina*, *G. oceanica*, *Thalassiosira baltica* и пресноводными галофилами *Cocconeis pediculus*, *Rhoicosphaenia curvata*. В меньших количествах, но постоянно в отложениях встречаются морские виды *Biddulphia levis*, *Coscinodiscus commutatus*, *Hyalodiscus scoticus*, *Rhizosolenia hebetata*,

Thalassiosira nana, а из пресноводных индиферентов — *Melosira islandica* subsp. *helvetica* и *Rhopalodia gibba*.

Диатомовый комплекс формировался в условиях сильно опресненного моря в непосредственной близости от побережий, куда приносились как диатомей морских мелководий, так и пресноводные, выносимые реками диатомей.

По палинологическим и диатомовым данным донные отложения Финского залива к югу от п-ва Ханка накапливались только в лимниевой стадии.

Приведенный нами материал о колонках донных отложений из глубоководных впадин Балтики показывает, что изученные отложения можно уверенно подразделять на голоценовый и верхнеплейстоценовый горизонты. Ни в одной колонке донных отложений все голоценовые зоны целиком не представлены, так как осаждение в глубоководных впадинах также испытывало перерывы. Имеющиеся данные, правда, немногочисленные, позволяют предположить, что глубоководные колонки характеризуются почти одинаковым спорово-пыльцевым составом. Например, отложения колонки, взятой в Финском заливе к югу от п-ва Ханка, соответствуют целиком только субатлантическому периоду. Результаты исследований донных отложений Балтики в Эстонии также показывают, что спектры глубоководных осадков весьма осреднены, в них представлены пыльца и споры, обладающие хорошей флотацией (Кессел, Порк, 1971).

Обращает на себя внимание тот факт, что в диаграмме донных отложений биостратиграфические границы по спорово-пыльцевым и диатомовым данным точно не совпадают, так как они имеют скользящий характер, например, в диаграмме Борнхольмской колонки граница между спорово-пыльцевыми зонами АТ и СВ находится в интервале 30—60 см, а соответствующая граница диатомового комплекса — несомненно ниже его.

Выполненные палинологические исследования донных отложений показывают, что разным этапам развития растительности в голоцене и позднем плейстоцене соответствуют определенные геоботанические районы Прибалтики. Поэтому при интерпретации материалов из Арконской и Эландской впадин использовано подразделение спорово-пыльцевых зон, разработанное для Южной Швеции (Nilsson, 1961, 1964; Berglund, 1966) и для о. Рюген (Kliewe, Lange, 1968). При определении дочетвертичных микрофоссилий использованы материалы У. Миллер (Miller, 1971). При интерпретации спорово-пыльцевой диаграммы Финского залива за основу взяты материалы по Северо-Западной Эстонии (Кессел, Порк, 1971).

Исследования диатомей в 5 колонках донных отложений из глубоководных впадин Балтики позволяют достаточно полно охарактеризовать диатомовые комплексы в субатлантических отложениях глубоководных районов, а также выделить диатомовый комплекс пребореального Иольдиевого моря в Эландской впадине, сформировавшийся в непосредственной близости от древнего пролива, соединявшего балтийскую котловину с мировым океаном.

К сожалению, вскрытые отложения неполны, особенно в отношении атлантического периода, что затрудняет датировку отдельных горизонтов, соответствующих Литориновому и Лимниевому морям. Можно надеяться, что в ближайшее время будут заложены новые колонки, которые дадут более полное представление о стратиграфии и экологии разновозрастных бассейнов Балтики.

ЛИТЕРАТУРА

- Блажчишин А. И., Емельянова Е. М., 1969. Геологические исследования в Балтийском море на и/с «Профессор Добрынин», Океанология, 9, № 6.
- Кессел Х. Я., Порк М. И., 1971. К стратиграфии донных отложений Балтики в пределах Эстонии. В сб.: Палинологические исследования в Прибалтике. Рига.
- Berglund В. Е. 1966. Late-Quaternary vegetation in eastern Blekinge, southeastern Sweden. A pollen-analytical study. II Post-Glacial time. Opera Botanica, 12, Nr. 2.
- Kliewe H., Lange E. 1968. Ergebnisse geomorphologischer, stratigraphischer und vegetationsgeschichtlicher Untersuchungen zur Spät- und Postglazialzeit auf Rügen. Peterm. Geogr. Mitt., 112 Jg., H. 4.
- Miller U. 1971. Microfossils in the Quaternary layers at Toftbög, southern Scania. Geol. Fören. Stockh. Förh., 93, No. 546.
- Nilsson T. 1961. Ein neues Standardpollendiagramm aus Bjärsjöholmssjön in Schonen. Lunds Univ. Arsskr., N. F., Avd. 2, 56.
- Nilsson T. 1964. Standardpollendiagramme und C¹⁴-Datierungen aus dem Ageröds mosse im mittleren Schonen. Lunds Univ. Arsskr., N. F., Avd. 2, 59, Nr. 7.

Институт геологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
13/III 1973

HELGI KESSEL, N. DAVODOVA, A. BLAZČIŠIN

ÕIETOLM JA DIATOMEED LÄÄNEMERE SÜVIKUTE PÕHJASETETES

Artiklis käsitletakse Läänemere põhjasetete iseloomu ja vanust ning ökoloogilisi tingimusi. Uurimislaevalt «Professor Dobrynin» uuriti merepõhja viie puuraugu abil 41—314 m sügavusel (Blazčišin). Tehti kindlaks, et põhjasetete (muda, aleuriit, savi) paksus on kuni 332 cm. Nende setete stratigraafiline liigestus põhineb tüüpilistel muutustel õietolmu ja eoste koostises (Kessel) ja diatomeekomplekside esinemisel ning iseloomul (Davodova).

Selgus, et settimine algas Arkona nõos boreaalis, Bornholmi nõos subboreaalis, Ölandi ja Gotlandi nõos nooremas drüüases ja Hango saare lähedal Soome lahes subatlantilise aja esimesel poolel ning on jätkunud nüüdisajani. Uheski puursüdamikus ei ole esindatud kogu hilisglatsiaali või holotseeni setteid tervikuna, kuna settimine on isegi sügavamaveelistes nõgudes toimunud lünklikult.

Õietolmu analüüsi ja diatomeefloora rikkaliku ja mitmekesise koostise abil tehti kindlaks, et Balti paisjärve mageveelisi setteid esineb Ölandi ja Gotlandi nõos, Joldiamere riimveelisi setteid Ölandi nõos, Litoriaamere riimveelisi setteid Arkona ja Gotlandi nõos ja Limneamere riimveelisi setteid Arkona, Bornholmi, Ölandi, Gotlandi nõos ning Soome lahes Hango saare lähedal.

Läänemere põhjasetete õietolmu ja eoste spektrid on küllaltki ebaselged, kuna need setted on flotatsiooni tagajärjel osaliselt segunenud.

HELGI KESSEL, N. DAVYDOVA, A. BLAZHTSHISHIN

POLLEN AND DIATOMS IN THE BORING CORES OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE DEPRESSIONS OF THE BALTIC SEA

The character, age and ecological conditions of the bottom deposits of the Baltic Sea are described. During the R/V "Professor Dobrynin" expedition 5 boreholes were made at depths of 41—314 m (Blazhtshishin). The thickness of the bottom sediments (silty mud, silt, clay) amounts up to 332 cm. The stratigraphical subdivision of these sediments is based on the typical changes in the pollen and spore composition (Kessel) and on the occurrence and character of diatomic complexes (Davydova).

In the studied depressions, sedimentation began in the following climatic periods: in Arkona — in the Boreal Age; in Bornholm — in the Subboreal Age; in Öland and Gotland — in the Younger Dryas Age, and near the Hango Island in the Finnish Gulf — in the early part of the Subatlantic. The sedimentation continues up to the present. None of the bore holes represents the whole cycle of all Late-Glacial and Holocene zones, for in the deep-water depressions sedimentation took place with a hiatus.

According to the pollen-analytical data and to the abundant and various composition of diatom flora, the following sediments have been stated: the fresh-water sediments of the Baltic Ice Lake (depressions of Öland and Gotland); the brackish-water sediments of the Yoldia Sea (d. of Öland); the brackish-water sediments of the Litorina Sea (d. of Arkona and Gotland); the brackish-water sediments of the Limnea Sea (d. of Arkona, Bornholm, Öland, Gotland and the Finnish Gulf).

The results of the investigations of the bottom sediments of the Baltic Sea show that the pollen and spores spectra of these sediments are unclear because the bottom sediments have been mixed by flotations.