

УДК 551.352 (261.24)

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ОСАДКОВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ
И ЕГО БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ****Т. И. Горшкова**

Знание причин, определяющих количество и качественный состав органического вещества осадков Балтийского моря, имеет большое значение для решения вопросов, связанных с продуктивностью этого водоема. Своеобразное накопление органического вещества в его осадках зависит от геологических, гидрологических и гидрохимических условий.

Балтийское море расположено в гумидной зоне северного полушария, для которой характерно своеобразное формирование минералогического и химического состава донных отложений. Оно глубоко вдается в европейский материк и только в юго-западной части соединяется с Атлантическим океаном и Северным морем.

На характер донных отложений и жизнь моря решающее влияние оказывает рельеф дна, обусловленный различными геологическими процессами. Наряду с мелководными участками глубиной меньше 50 м на Балтике имеются впадины, глубина которых около 100 м (Борнхольмская и Гданьская), более 200 м (Готландская) и даже более 400 м (Ландсортская).

Балтийское море образовалось в конце четвертичного периода на месте бывшего ледника, покрывавшего весь Скандинавский полуостров и ложе современного моря (Saugamo, 1934). Поэтому его осадки можно разбить на две группы: 1) моренные и ленточные глины, отложившиеся в позднеледниковый период; 2) современные осадки, образующиеся главным образом из взвесей, поступающих с окружающих берегов, а также за счет автохтонного детрита и переотложения древних осадков.

По Хенкингу (Henking, 1929), на дне Балтийского моря имеются гряды моренного материала, соответствующие различным периодам отступления ледника; это хорошо видно на составленной им карте (рис. 1).

Воды Балтийского моря сильно опреснены, так как в него впадает более 250 рек. Поэтому в вершине Финского залива, перед устьем р. Невы, вода почти пресная; к юго-западу соленость постепенно увеличивается из-за поступления соленых вод из Северного моря, и в Датских проливах она уже достигает 18‰. По данным М. В. Федосова и Г. Н. Зайцева (1960), речной сток в Балтийское море составляет 440 км³ в год, т. е. около 2% объема моря. Вследствие различия солевого состава верхнего и нижнего слоев создается резкая стратифика-

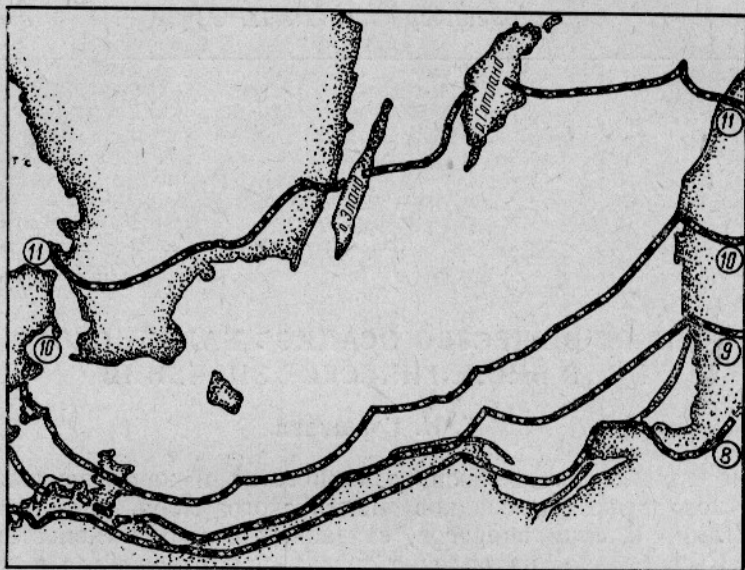


Рис. 1. Границы отступления ледника последнего оледенения в южной части Балтийского моря (по Хенкингу, 1929):
8-11 — конечные морены.

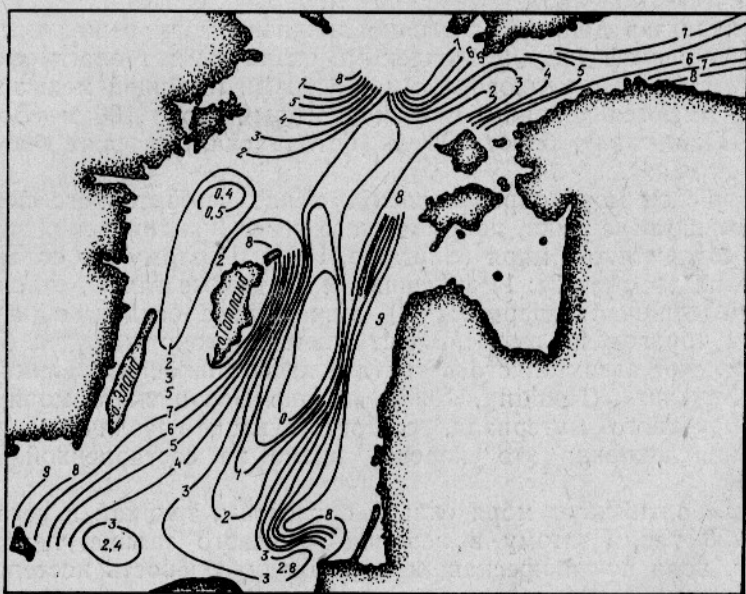


Рис. 2. Содержание кислорода (в мл/л) в придонном слое Балтийского моря в марте 1959 г. (по Соскину и Черновской, 1961).

ция, обуславливающая слабое вертикальное перемешивание вод и периодические заморные явления в глубоководных впадинах (рис. 2).

Мы изучали органическое вещество осадков Балтийского моря для выяснения условий его накопления и влияния на газовый режим придонного слоя, а также как одного из факторов, обогащающих водную

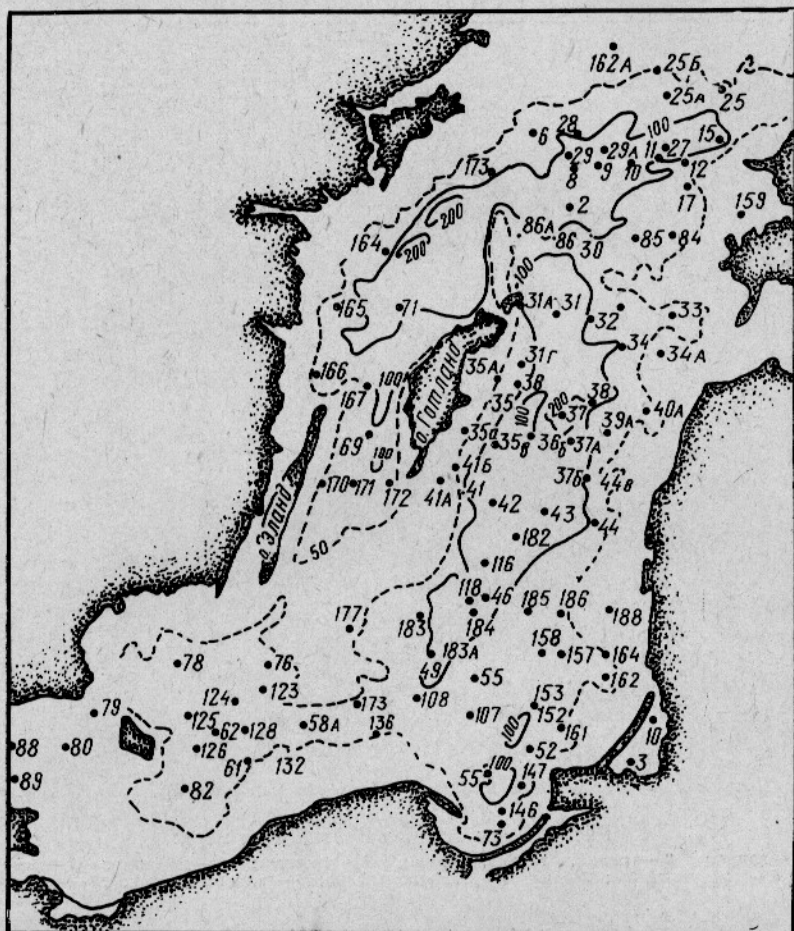


Рис. 3. Схема станций Балтийского моря (пунктиром обозначена изобата 50 м, сплошной линией — 100 и 200 м).

среду биогенными элементами. В связи с поставленными задачами мы определяли содержание органического углерода (C_{org}), общего азота и фосфора в неразделенном осадке. Для выяснения качественного состава делали микроскопический анализ фракции с удельным весом меньше 2,3 и кислотный гидролиз, определяли растительные пигменты, гуминовые и битуминозные вещества. Для выяснения отдачи биогенных элементов из грунта в воду исследовали прунтовый раствор.

Материалом для данного исследования послужили осадки, которые мы собрали во время экспедиций ВНИРО и бассейновых институтов в 1947—1963 гг. В собственно Балтийском море (без заливов) пробы были взяты на 250 станциях, часть которых показана на рис. 3.

Большая часть осадков была подвергнута механическому анализу по методу Осборна (Кленова и Авилов, 1933). На основании наших и

литературных данных (Gripenberg, 1934) составлена схема верхнего слоя осадков Балтийского моря (Горшкова, 1960) (рис. 4).

Исследования показали, что глубоководные впадины покрыты глинистым илом (фр. < 0,01 мм — больше 50%) и илом (фр. < 0,01 мм — 30—50%), а мелководные участки — грубозернистыми осадками: пес-

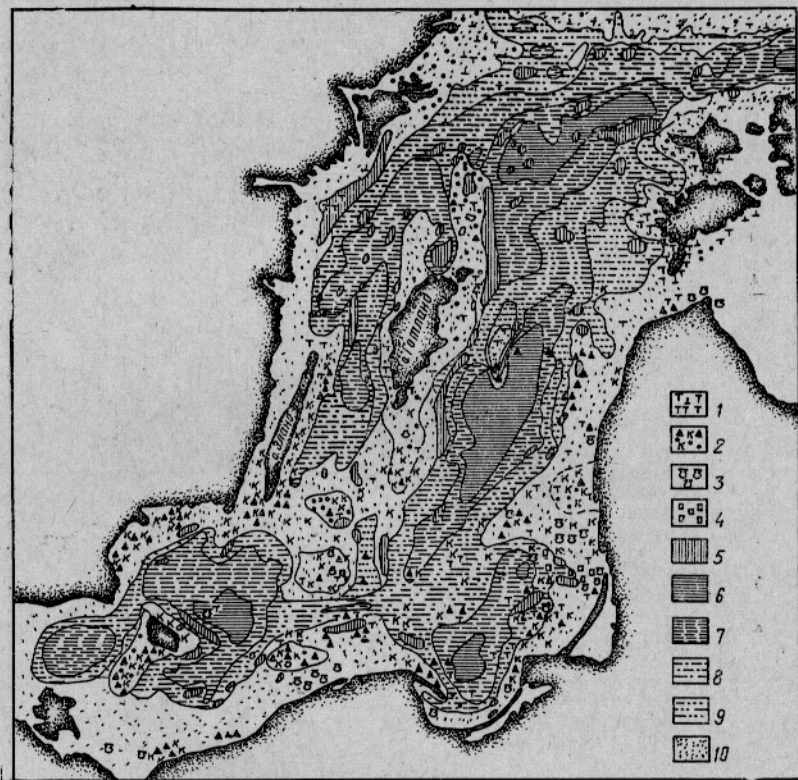


Рис. 4. Типы осадков Балтийского моря:

1 — задевы; 2 — гравий, галька, камни; 3 — ракушка; 4 — торфяник; 5 — глина, 6 — глинистый ил; 7 — ил; 8 — песчаный ил; 9 — илистый песок; 10 — песок.

чаным илом (фр. < 0,01 мм — 10—30%), илистым песком (фр. < < 0,01 мм — 5—10%) и песком с включением крупных и мелких камней. Выходы глины и большое скопление камней особенно часто обнаруживались в тех местах, где, по Хенкингу, находятся конечные морены. Многочисленные участки выходов глины, отмеченные вдоль западного побережья Балтийского моря, приурочены к более или менее значительным склонам и к более сильным течениям. Изучение колонок по вертикали показало, что в северной части моря наблюдается укрупнение осадков в направлении к верхнему слою, в южных, наоборот, по мере увеличения глубины осадки становятся более грубозернистыми, так как на севере до настоящего времени происходит поднятие морского дна (Hela, 1953), а на юге — опускание (Lundbeck, 1929).

Осадки Балтийского моря в связи с различным их возрастом, механическим составом, разной физико-химической обстановкой и другими факторами отличаются как по своим физическим свойствам, так и по химическому составу.

В настоящей работе мы рассмотрим главным образом натуральную

влажность, количество и качественный состав органического вещества осадков и биогенные элементы грунтовых растворов.

Натуральная влажность определялась более чем в 100 пробах влажных осадков Балтийского моря. Средние данные, характеризующие верхний слой, приведены в табл. 1, изменения по вертикали — в табл. 2.

Таблица 1

Средняя величина натуральной влажности и среднее содержание фракции меньше 0,01 мм в верхнем слое осадков различного типа в Балтийском море, %

Осадки	Натуральная влажность	Фракция < 0,01 мм	Отношение влажности к фракции < 0,01 мм	Число проб
Современные				
глинистый ил	78,1	60,0	1,3	20
ил	72,4	36,7	2,0	21
песчаный ил	57,3	20,9	2,7	20
илистый песок	44,1	8,8	5,0	4
Ледниковые				
ленточная глина . . .	42,1	66,5	0,6	20
моренная глина . . .	22,5	38,8	0,5	15

Таблица 2

Изменение величины натуральной влажности осадков и фракции < 0,01 мм по вертикали, %

Слой, см	Натуральная влажность	Фракция < 0,01 мм	Отношение влажности к фракции < 0,01 мм	Возраст осадков	Слой, см	Натуральная влажность	Фракция < 0,01 мм	Отношение влажности к фракции < 0,01 мм	Возраст осадков
0—2	43,7	23,6	1,8	Современный	56—60	27,7	44,3	0,6	Моренная глина
30	76,7	44,8	1,7	»	0—2	81,8	46,3	1,7	Современный
50	78,2	50,0	1,5	»	10—12	79,5	39,7	2,0	»
88	70,2	47,4	1,5	»	35	71,4	40,0	1,8	»
0—2	68,5	23,1	2,9	»	50	50,2	52,3	0,9	Ленточная глина
15—20	44,5	8,8	5,0	»	100	39,5	87,1	0,4	»

Из табл. 1, 2 видно, что современные осадки Балтийского моря (при одинаковом механическом составе) отличаются большей натуральной влажностью, чем ледниковые осадки — ленточные и моренные глины. В осадках одного возраста наблюдается прямая зависимость натуральной влажности от механического состава и глубины залегания осадка. Чем больше фракция < 0,01 мм, тем больше натуральная влажность, но она меньше при большей глубине залегания осадка, так как при его уплотнении часть натуральной влажности переходит в вышележащий слой осадков и в придонный слой воды.

Количество органического вещества осадков устанавливали по органическому углероду и общему азоту. Углерод определяли методом мокрого сжигания на приборе Кнопа, а азот — по Кьельдалю (Горшкова, 1933, 1958). На основании наших исследований и данных Грипенберг (1934) составлена карта содержания органического углерода в верхнем слое осадков Балтийского моря (рис. 5). Содержание $S_{орг}$ в верхнем слое осадков различного типа приводится в табл. 3.

Таблица 3

Содержание $C_{орг}$ в различных типах осадков Балтийского моря,
% от абсолютно сухого осадка

Тип осадка	Пределы колебаний	Среднее содержание $C_{орг}$
Южная и средняя часть Балтийского моря		
Глинистый ил	3,39—5,72	4,13
Ил	2,29—4,67	3,57
Песчанистый ил	0,90—3,11	1,27
Илистый песок	0,36—1,17	0,70
Северная часть Балтийского моря		
Глинистый ил	2,09—3,22	2,41
Ил	1,41—2,51	2,09
Песчанистый ил	0,68—1,19	0,90
Илистый песок	0,30—0,73	0,47
Средние данные для всего моря		
Ленточная глина	0,42—0,96	0,60
Моренная глина	0,11—0,33	0,23

Из данных табл. 3 и рис. 5 видно, что накопление органического вещества в южной и северной частях моря зависит от содержания фракции $<0,01$ мм. В северной части моря во всех типах современных осадков содержание органического вещества меньше, чем в южной и средней. Ледниковые осадки — ленточные и моренные глины — содержат очень мало органического вещества. Возможно, что бедность орга-

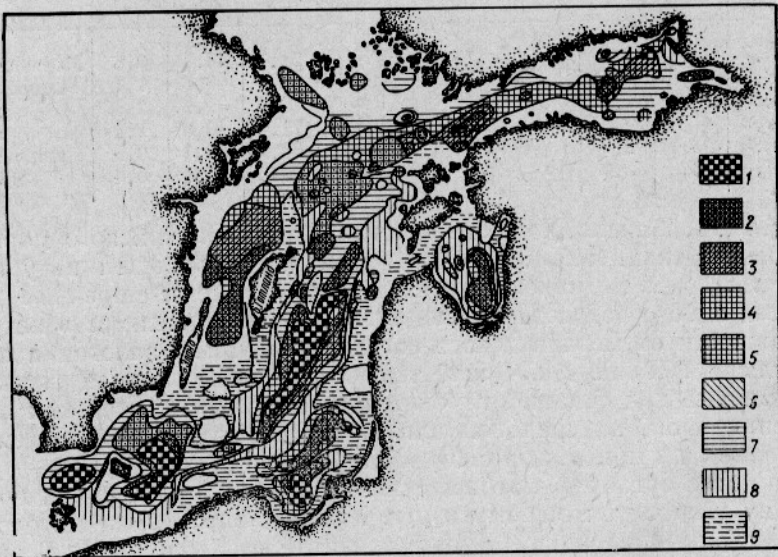


Рис. 5. Содержание органического углерода (в %) в верхнем слое осадков Балтийского моря:

1 — 5—4; 2 — 4—3; 3 — 3—2,5; 4 — 2,5—2; 5 — 2—1,5; 6 — 1,5—1; 7 — 1—0,5;
8 — 0,5—0,3; 9 — $<0,3$.

ническим веществом осадков северной части моря в какой-то степени обусловлена и геологическим фактором. Как было отмечено выше, в северной части моря и до настоящего времени происходит поднятие берегов и дна. В связи с этим наблюдается размыв ледниковых отложений, бедных органическим веществом, которые постепенно переносятся в более глубокие северные впадины. Таким образом, они как бы разбавляют современные осадки и снижают количество содержащегося в них органического вещества автохтонного происхождения. В южной части моря содержание органического вещества в осадках увеличивается и за счет торфяников, размывающихся на дне моря и у берегов.

Содержание органического вещества, помимо верхнего слоя, определялось и в подстилающих слоях осадков Балтийского моря (около 100 образцов). Часть полученных данных приводится в табл. 4, из ко-

Таблица 4

Изменение содержания органического углерода и общего азота в различных слоях осадков Балтийского моря

№ станции	Год	Глубина, м	Слой, см	Содержание С _{орг.} , %	Содержание N, %	C/N	Характеристика осадка
2	1955	140	0—3	2,41	0,32	7,5	Глинистый ил
2	1955	140	25—30	4,31	0,52	8,2	»
2	1955	140	15—20	2,15	0,23	9,3	»
2	1955	140	145—150	1,88	0,20	9,3	»
5	1955	99	0—3	0,47	0,07	6,7	Илистый песок
5	1955	99	62—64	0,87	0,09	8,6	Глина
5	1955	99	120—125	0,42	0,06	7,0	»
25A	1961	107	0—30	2,00	—	—	Глинистый ил
25A	1961	107	102—124	3,33	—	—	»
31	1962	184	0—5	2,94	—	—	Серый глинистый ил
31	1962	184	15—30	2,40	—	—	То же
31	1962	184	100—110	4,46	—	—	»
31	1962	184	110—130	2,63	—	—	»
31	1962	184	130—138	2,79	—	—	»
46	1957	127	0—5	3,63	0,52	7,0	Зеленовато-серый ил
46	1957	127	58—60	3,56	0,50	7,0	То же
46	1957	127	110—113	3,87	0,42	9,2	»
49	1955	106	0—10	3,50	0,57	6,0	»
49	1955	106	50—70	3,10	0,40	7,7	»
49	1955	106	90—110	4,10	0,51	8,0	»
52	1957	90	0—5	2,70	0,38	7,1	Желтоватый ил
52	1957	90	36—42	2,56	0,35	7,3	Черный ил
52	1957	90	118—120	3,26	0,50	7,7	Серый ил
55	1955	110	0—8	4,07	0,53	7,5	Черный глинистый ил
55	1955	110	35—50	3,79	0,54	7,0	То же
55	1955	110	65—80	6,34	0,73	8,6	»
55	1955	110	110—113	4,37	0,54	8,0	»
58A	1957	87	0—5	0,91	0,19	5,0	Песчанистый ил
58A	1957	87	12—15	2,21	0,25	8,8	Зеленовато-серый ил
58A	1957	87	125—127	0,53	0,08	6,7	Глина
78	1957	62	0—16	2,50	0,38	6,6	Зеленовато-серый ил
78	1957	62	40—57	0,48	0,05	9,8	Розовая глина
80	1957	47	0—3	3,05	0,40	7,6	Зеленовато-серый ил
80	1957	47	85—87	0,33	0,05	6,6	Розовая глина
88	1957	45	0—10	4,29	0,56	7,6	Зеленовато-серый ил
88	1957	45	70—77	3,03	0,45	6,8	Зеленовато-серый ил
125	1949	95	0—5	4,55	0,54	8,3	Глинистый ил
125	1949	95	87—89	3,40	0,50	6,8	Глинистый ил
183A	1962	110	0—5	4,04	—	—	Зеленовато-серый ил
183A	1962	110	20—40	3,75	—	—	То же
183A	1962	110	110—120	3,03	—	—	»

торой видно, что содержание органического вещества по глубине залегания осадков в различных колонках меняется по-разному. Это объясняется, видимо, различной скоростью распада захороненного органического вещества и постепенным переходом его в грунтовый раствор, а также разным механическим составом вносимой в море взвеси и количеством аллохтонного и автохтонного органического вещества, поступающего в море в разные периоды отложения осадков. В осадках нижних слоев отношение $S_{орг}$ к азоту в большинстве случаев увеличивается по сравнению с осадками верхнего слоя, так как при распаде органического вещества осадков в раствор переходят в первую очередь азотистые соединения.

Таблица 5
Содержание $S_{орг}$ в верхнем слое осадков Балтийского моря, %

№ группы	Предел колебаний $S_{орг}$	Площадь в % от всей площади моря	Среднее содержание $S_{орг}$
1	<0,3	39,70	1,05
2	0,3—0,5	17,00	
3	0,5—1,0	12,78	
4	1,0—2,0	7,83	
5	2,0—3,0	11,75	
6	3,0—5,0	10,94	

Вычисленное автором среднее содержание органического углерода в верхнем слое осадков Балтийского моря и размер площадей, занимаемых осадками с различным содержанием органического вещества, показано в табл. 5.

Из сравнения среднего содержания органического углерода в осадках Балтийского и Азовского морей (Горшкова, 1955), видно, что сред-

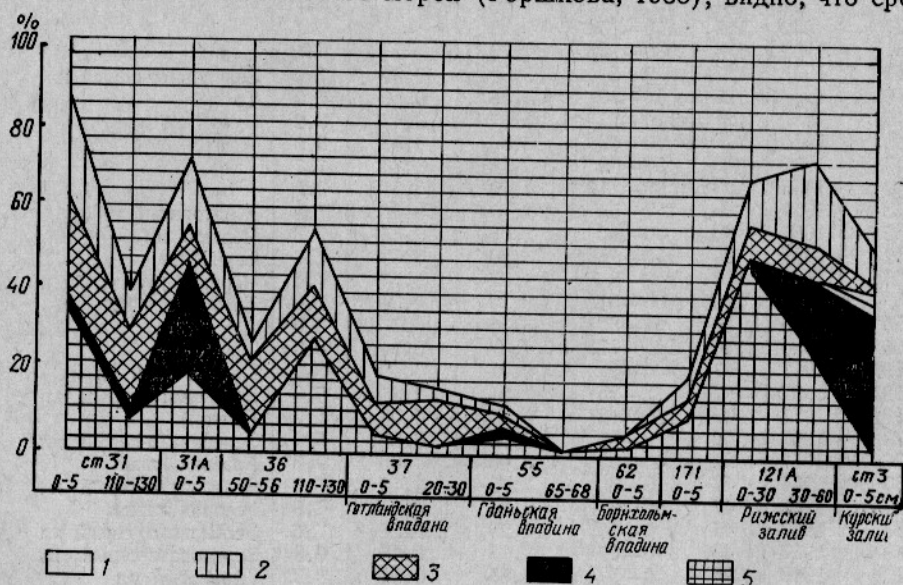


Рис. 6. Морфологический состав фракций осадков Балтийского моря с удельным весом 2,3;

1 — глинистые частицы; 2 — сине-зеленые; 3 — пыльца и споры; 4 — диатомовые; 5 — растительные остатки.

нее содержание $S_{орг}$ в Азовском море гораздо выше (1,73%), чем в Балтийском. Максимальное количество $S_{орг}$ в Азовском море, равное 2,96%, значительно ниже, чем в Балтийском.

Для выяснения причин, обуславливающих накопление органического вещества в осадках различных водоемов, остановимся прежде всего на их продуктивности. В табл. 6 приведены ориентировочные данные о балансе органического вещества в некоторых морях СССР, вычисленные В. Г. Дацко (1959) для Каспийского, Азовского и Черного морей и М. П. Максимовой (1961) для Белого и Балтийского морей.

Рассмотрим качественный состав органического вещества осадков Балтийского моря.

Проведенный микроскопический анализ фракции с удельным весом $< 2,3$ осадков самого Балтийского моря, Рижского и Курского заливов дал результаты, показанные в табл. 7 и на рис. 6.

Таблица 6
Ежегодное поступление органического вещества
в различные моря, t/km^2

Море	Общее поступление органического вещества	Поступление органического вещества кроме принесенного в соседние моря	Продукция фито-планктона	Среднее содержание $S_{орг}$ в осадках, %
Азовское . . .	941	915	904	1,73
Каспийское . .	475	475	472	1,02
Черное	269	261	242	2,15
Балтийское . .	288	269	259	1,05
Белое	356	77	190	1,14

Наиболее хорошо сохранившимися и легко определяемыми составными частями легкой фракции с удельным весом $< 2,3$ являются растительные остатки аллохтонного и автохтонного происхождения, сине-зеленые и диатомовые водоросли, споры и пыльца. Наибольшее количество составляют глинистые частицы, легко абсорбирующие органическое вещество как в толще воды, так и в самом грунте. В прибрежных осадках Балтийского моря и Рижского залива значительную часть органического вещества составляют растительные остатки. Присутствие сине-зеленых водорослей свидетельствует о том, что в условиях восстановительного режима придонного слоя и холодных вод Балтики органические остатки в донных осадках хорошо сохраняются. При изучении колонок грунта видно, что осадки верхних слоев содержат больше растительных остатков, чем осадки нижних слоев. Остатки панцирей диатомовых водорослей составляют несколько повышенный процент в осадке ст. 31а в Балтийском море, а также в Рижском и Курском заливе. В этих осадках отмечается и повышенное количество SiO_2 , растворимого в 5%-ном растворе соды. В осадках содержание SiO_2 колеблется от 0,66 до 2,7%.

Морфологический анализ показал, что осадки Балтийского моря обогащены растительным детритом, поэтому при исследовании органического вещества определялись растительные пигменты — хлорофилл и каротиноиды (61 образец), битуминозные (32 образца) и гуминовые

Морфологический состав фракции с удельным весом <2,3 осадков Балтийского моря, % от фракции

№ станции	Год	Слой, см	Сорг. осадка, %	Фракция с удельным весом 2,3					Состав, растворимый в 5%-ном растворе соды, %
				растительные остатки	диатомовые водоросли	споры и пыльца	сине-зеленые водоросли	глинистые частицы	
Балтийское море									
31	1962	0—2	2,94	36,8	2,1	24,9	26,0	10,2	1,14
31	1962	110—130	2,63	6,6	0,4	18,2	8,0	66,6	—
31А	1962	0—2	3,46	29,0	22,6	6,6	13,6	27,8	—
36	1962	50—52	4,86	1,7	0,2	20,5	3,9	73,7	1,59
36	1962	110—130	2,72	2,9	—	11,6	12,5	46,8	—
37	1961	Ср. пр.	3,95	5,1	—	6,9	5,6	82,4	0,66
37	1962	20—32	7,50	1,2	—	10,2	2,7	85,9	—
55	1959	0—2	4,47	4,3	0,4	1,7	1,3	92,3	2,70
62	1957	0—2	5,03	2,8	—	0,6	0,2	96,4	2,46
171	1959	0—2	3,84	9,1	—	4,7	3,3	82,9	2,52
Рижский залив									
121А	1961	0—2	2,66	47,0	2,2	6,7	7,5	36,6	1,93
121В	1962	30—60	2,97	26,4	19,3	7,6	17,5	29,2	—
Курский залив									
19	1957	0—2	6,21	0,9	36,7	1,5	5,8	51,1	4,44

вещества (75 образцов). Был проведен также кислотный гидролиз (20 образцов), а для выяснения отдачи биогенных элементов из грунта в воду — анализ грунтовых растворов (80 проб).

Материалом для исследования растительных пигментов послужили пробы осадков, собранные нами в 1961 и 1962 гг. Образцы осадков из дночерпателя и трубки хранились до определения во влажном состоянии в стеклянных банках в темном месте.

Присутствие растительных пигментов в морских осадках может быть объяснено наличием в них остатков фитобентоса и фитопланктона. Поэтому мы определяли содержание хлорофилла и каротиноидов в трех видах макрофитов, любезно предоставленных нам М. С. Киреевой, и в одном образце сине-зеленых (Апабаена и др.), собранных нами в районе Клайпеды. Определение проводилось после извлечения растительных пигментов 85%-ным ацетоном по методу Годнева (1952) на фотоэлектрическом колориметре — нефелометре (модель ФЭКН-57) и на спектрофотометре СФ-10 (Горшкова, 1965). Часть полученных данных приведена в табл. 7 и на рис. 7 и 8.

Содержание хлорофилла колебалось от 0 до 21,5, а каротиноидов от 0,1 до 43 мг на 100 г осадка. Изучение их распределения ясно показывает, что главная масса растительных пигментов концентрируется в нижней части склонов. В связи с этим вдоль восточного склона о. Готланд на глубинах около 100 м, где залегают глинистый ил, содержание хлорофилла достигает 20 мг/100 г, а каротиноидов — до 40 мг/100 г осадка. Во всех видах водорослей хлорофилла больше, чем каротиноидов.

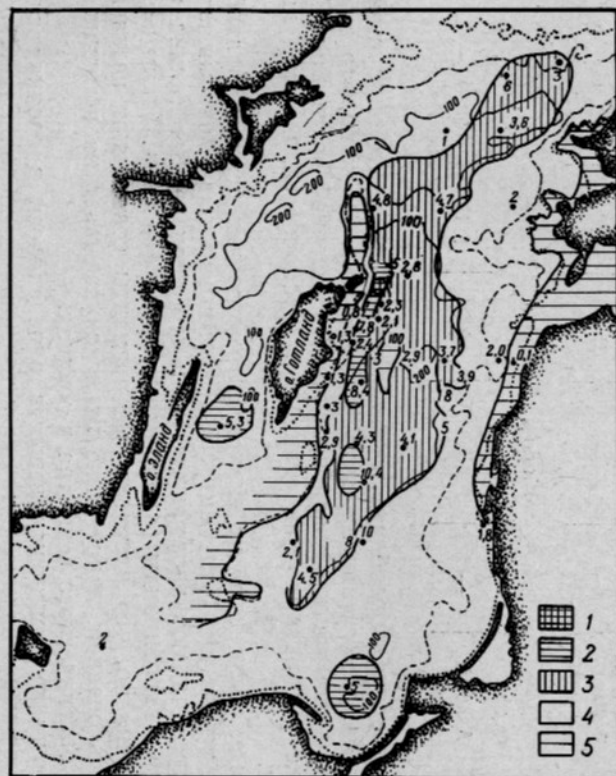


Рис. 7. Содержание хлорофилла в верхнем слое осадков Балтийского моря, мг/100 г:
 1 — 10; 2 — 10—5; 3 — 5—2; 4 — 2—1; 5 — <1.

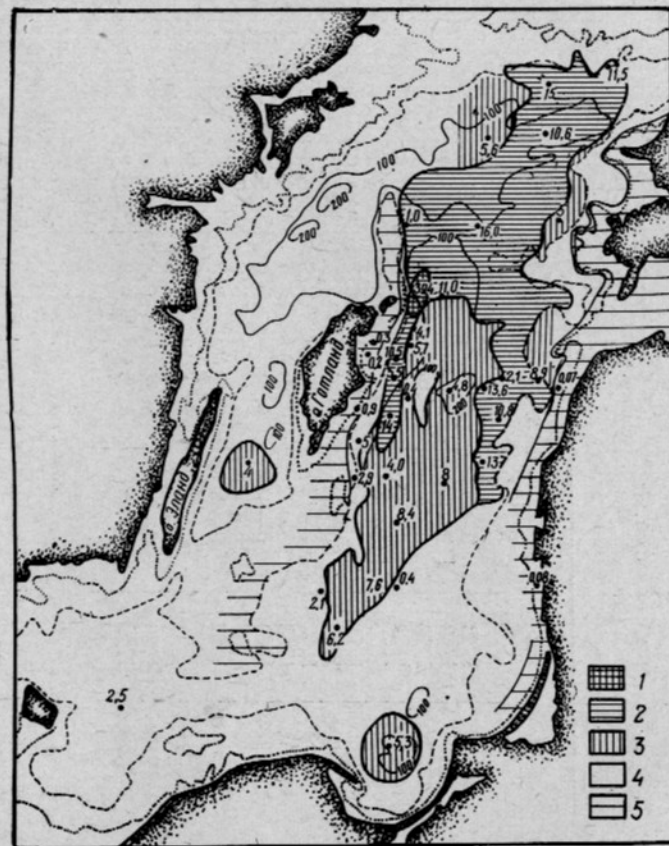


Рис. 8. Содержание каротиноидов в верхнем слое осадков Балтийского моря, мг/100 г:
 1 — >15; 2 — 15—10; 3 — 10—4; 4 — 4—1; 5 — <1.

Таблица 8

Содержание растительных пигментов в осадках Балтийского моря, фитобентосе и фитопланктоне

№ станции	Год	Слой, см	С _{орг} осадков, %	Количество пигментов, мг/100 г	
				хлорофилл	каротиноиды
Осадки					
31	1962	0—2	2,94	2,80	11,9
31	1962	110—130	2,63	8,50	41,0
31А	1962	0—2	3,46	21,5	39,4
36	1962	50—56	4,80	14,8	40,6
36	1962	110—130	2,72	1,0	2,9
37	1961	Ср. проба	3,95	2,7	4,8
37	1962	20—32	7,50	18,0	43,0
37	1962	120—140	4,07	7,9	9,3
37А	1962	25—32	0,38	0,0	0,1
55	1959	0—2	4,74	5,0	5,3
55	1957	50—58	5,44	3,5	2,8
62	1957	0—2	5,03	2,0	2,5
62	1957	62—68	4,56	2,6	3,0
86А	1961	0—2	2,09	4,8	10,0
171	1959	0—2	3,84	5,3	4,0
183А	1962	0—20	3,93	4,5	6,2

Фитобентос

Зоостера	—	—	33,42	208,0	139,0
Фукус	—	—	34,85	99,0	88,0
Фуццеллярия	—	—	31,46	78,0	12,0

Фитопланктон

Анабена	—	—	43,06	111,0	20,0
---------	---	---	-------	-------	------

дов, а в осадках преобладают каротиноиды, так как они устойчивее хлорофилла. На составленной нами карте (рис. 8) видно, что наибольшее количество каротиноидов находится в северной части Балтийского моря, где имеются заросли агароносных водорослей, богатых каротиноидами.

Кривые, полученные на спектрофотометре для осадков Балтийского моря, а также для фитобентоса и фитопланктона, показывают, что всюду преобладают хлорофилл «А» и его производные (длина волны 664 мкм) и каротиноиды (длина волны около 418 мкм). Таким образом, несмотря на то, что растительные пигменты составляют незначительную часть осадков, присутствие их ясно указывает на источник образования органического вещества в осадках.

Содержание гуминовых веществ определялось в осадках Балтийского моря и его залива, а также в торфяниках со дна Гданьской бухты и в некоторых макрофитах.

Как известно (Ваксман, 1937; Кононова, 1956), гуминовые вещества являются продуктом бактериального преобразования различных органических веществ; они представляют самую стойкую часть органиче-

ского вещества, слабо поддающуюся бактериальному разложению.

В Балтийском море гуминовые вещества могут иметь различное происхождение: часть их приносится реками, несущими как растворенные, так и взвешенные гуминовые вещества (Скопинцев, Цурикова, 1952), часть обусловлена выходами на дне моря древних торфяников, часть образуется из отмершего планктона и подводной растительности.

При исследовании за гуминовые вещества принималась та часть органического вещества в осадках, которая переходит в щелочной раствор. Для анализа брали сухую пробу (около 2 г) и обрабатывали 100 см³ 2%-ного раствора NaOH в течение 6 ч на водяной бане при температуре около 60°С. После охлаждения раствор вместе с осадком переносили в цилиндр емкостью 100 см³ и давали ему отстояться. Количество гуминовых веществ, перешедших в раствор, определяли колориметрическим путем. Стандартом служил раствор гумуса, полученный из каслинского угля.

Определение гуминовых веществ в верхнем слое осадков Балтийского моря сделано для 59 проб; полученные результаты приведены на рис. 9. Накопление гуминовых веществ в различных типах осадков показано в табл. 9.

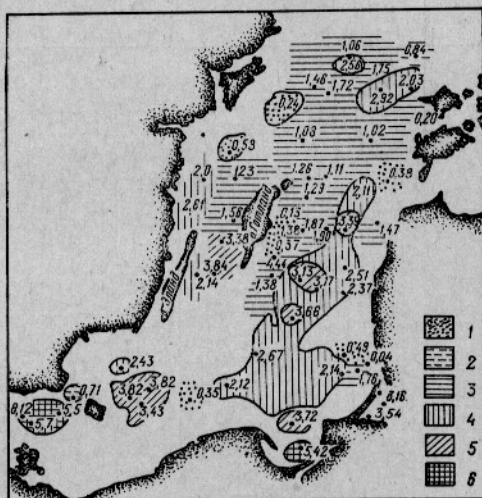


Рис. 9. Содержание гуминовых веществ в верхнем слое осадков Балтийского моря, %: 1—<0,5; 2—0,5—1; 3—1—2; 4—2—3; 5—3—4; 6—5—6.

Таблица 9

Содержание гуминовых веществ в различных типах осадков Балтийского моря

Осадки	Пределы колебаний содержания гуминовых веществ, %	Среднее содержание гуминовых веществ, %	Число проб
Глинистый ил	1,08—5,5	2,81	21
Ил	1,38—6,12	2,91	15
Песчанистый ил	0,35—2,51	1,23	10
Илистый песок	0,20—2,37	1,03	9
Песок	0,04—0,13	0,07	3
Глина	0,58	0,58	1

Среднее содержание гуминовых веществ в разных типах осадков меняется пропорционально содержанию мелкой фракции—от 0,07 в песках до 2,8% в глинистом иле, но колебания в пределах каждого типа осадков весьма значительны и обусловлены главным образом различной степенью разложения органогенных остатков. Такая же прямая связь наблюдается между содержанием гуминовых веществ и общим содержанием органического вещества в осадках. Подобная взаимосвязь была установлена О. К. Бордовским (1960) для осадков

Изменение содержания гуминовых веществ в колонках осадков Балтийского моря

№ станции	Год	Глубина, м	Слой, см	H ₂ O	Собщ	Гуминовые вещества	Сгум	Гуминовый коэффициент	Осадки
15	1955	110	1—20	3,37	2,31	2,03	1,17	50,6	Черный глинистый ил
15	1955	110	110—140	2,29	2,07	2,35	1,36	65,7	» » »
36	1963	120	верх	3,75	3,27	1,87	0,73	22,32	Серый ил
36	1962	116	50—56	3,70	4,86	2,73	1,58	32,5	Черный глинистый ил
36	1962	116	110—130	5,12	2,72	1,47	0,85	31,2	Серый глинистый ил
37	1955	224	0—7	3,42	3,71	1,90	1,10	29,65	Глинистый ил
37	1955	224	20—31	3,74	7,29	2,60	1,50	20,0	» »
37	1955	224	50—55	—	4,30	1,90	1,10	25,58	» »
37	1955	224	120—140	—	4,63	3,04	1,76	38,01	» »
55	1955	110	0—8	5,11	4,07	3,72	2,15	57,7	Черный глинистый ил
55	1955	110	30—50	5,73	3,79	4,46	2,58	68,0	» » »
55	1955	110	50—58	5,11	5,44	5,37	3,11	57,1	» » »
55	1955	110	65—80	6,18	6,34	7,54	4,37	68,92	» » »
55	1955	110	100—113	4,47	4,37	4,52	2,62	59,9	» » »
62	1957	88	верх	4,24	5,03	3,43	1,98	39,5	Глинистый ил
62	1957	88	верх	3,88	4,56	3,41	1,97	43,2	» »
73	1957	83	0—5	4,28	4,77	5,42	3,14	65,8	» »
73	1957	83	48	5,41	5,41	4,05	2,75	78,1	» »
73	1957	83	100—113	4,52	4,52	4,92	2,85	59,7	» »

Берингова моря, Е. А. Романкевичем (1962) для Тихого океана и В. В. Вебером (1956) для Каспийского моря.

Исследование гуминовых веществ проводилось также в различных слоях колонок (табл. 10). По содержанию этих веществ в нижних слоях колонок так же, как и по общему содержанию органического вещества, можно судить о периодичности в усилении и ослаблении накопления гуминовых веществ. Это, по всей вероятности, связано с количеством и качественным составом образующегося органического вещества каждого слоя и условиями осадкообразования. Наибольшее количество гуминовых веществ в нижних слоях осадков обнаружено в Гданьской бухте, где выступают древние торфяники, и в осадках, обогащенных растительным детритом, взятых на станции 15; меньше всего их было в осадках на станциях 36 и 37 в Готландской впадине, где мало растительного детрита.

Для всех изученных осадков был вычислен процент гуминовых веществ от общего содержания органического вещества в осадках — так называемый гуминовый коэффициент (рис. 10, табл. 11).

Таблица 11

Содержание гуминовых веществ в осадках различных водоемов, %

Водоем	Предельные колебания гуминовых веществ	Предельные колебания гуминового коэффициента	Среднее значение коэффициента
Балтийское море	0,04—7,54	20,0—78,1	42,9
Рижский залив	0,15—3,27	23,9—74,89	42,1
Финский залив	0,31—4,36	33,5—72,96	44,35
Курский залив	3,10—3,54	29,4—33,00	31,02
Северный Каспий	0,12—0,81	10,0—48,00	29,80
Берингово море	0,18—1,02	16,8—39,80	26,00

Гуминовый коэффициент в осадках Балтийского моря колеблется от 20 до 78,1%, причем наиболее высокие значения его отмечаются в юго-восточной части моря, где обнаружены выходы древних торфяников, и в северной части моря, где имеются значительные накопления отмершей растительности. Следовательно, величина гуминового коэффициента зависит главным образом от качественного состава органического вещества, а не от общего количества его в осадке.

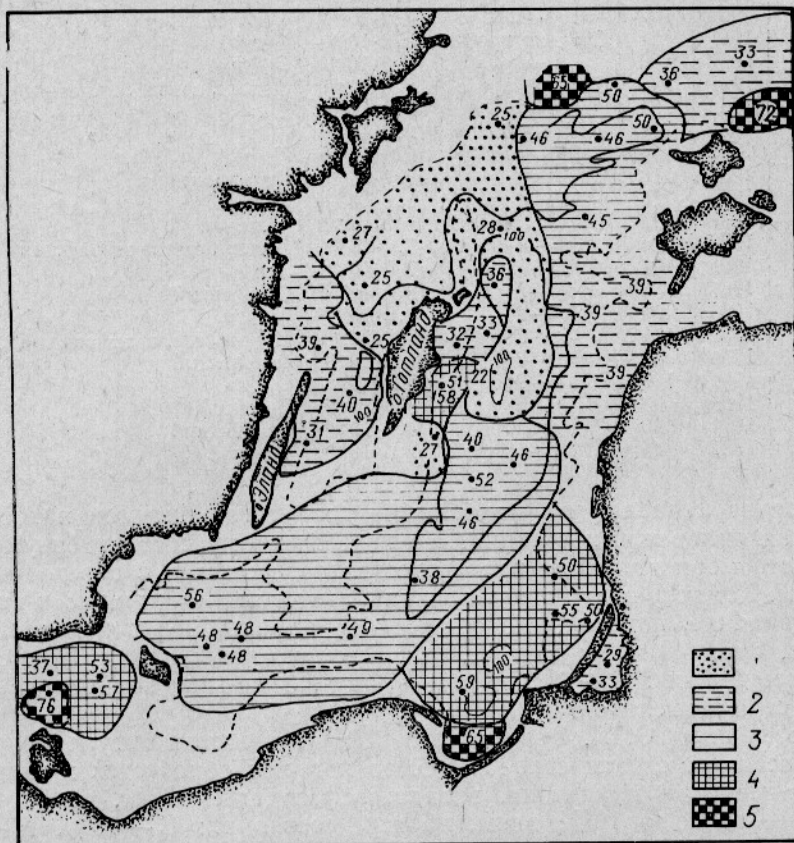


Рис. 10. Гуминовый коэффициент верхнего слоя осадков Балтийского моря, %:

1 — 20—30; 2 — 30—40; 3 — 40—50; 4 — 50—60; 5 — >60.

Из табл. 11 видно, что гуминовый коэффициент осадков Балтийского моря, Рижского и Финского заливов составляет в среднем 42,1—44,3%, а в осадках Курского залива, Среднего Каспия и Берингова моря (Бордовский, 1964) — 31,02—26,6%. Такое различие объясняется тем, что осадки водоемов первой группы в значительной степени обогащены остатками донной и наземной растительности, а второй группы — органическим веществом планктонного происхождения.

Кроме растительных компонентов и гуминовых веществ путем люминесцентного анализа были определены битуминозные вещества (масла, жиры, смолы, асфальтены и др.), извлекаемые хлороформом и спирто-бензолом. Для анализа были взяты 32 образца осадков Балтийского моря, 17 — Рижского залива и 2 — Курского залива. Часть полученных данных приведена в табл. 12.

Результаты люминесцентно-битуминологического анализа осадков Балтийского моря

№ станции	Год	Глубина, м	Слой, см	Битум, %	Характер битума	Содержание Сорг, %
25А	1961	107	0—30	$4,0 \cdot 10^{-3}$	Легкий	2,6
25А	1961	107	102—124	$3,2 \cdot 10^{-2}$	Осмоленный	3,33
27	1961	154	Средняя проба	$3,2 \cdot 10^{-2}$	Легкий	3,47
30	1961	132	0—5	$2,0 \cdot 10^{-3}$	Средний	3,63
31	1961	195	Средняя проба	$2,0 \cdot 10^{-3}$	Легкий, слегка осмоленный	2,72
31	1962	184	0—2	$2,0 \cdot 10^{-3}$	» » »	2,94
31	1962	184	50—56	$2,0 \cdot 10^{-3}$	» » »	—
31	1962	184	100—130	$8,0 \cdot 10^{-3}$	Легкий	2,63
35	1962	113	0—2	$6,24 \cdot 10^{-2}$	Осмоленный	3,22
36	1962	116	110—130	$1,6 \cdot 10^{-2}$	Легкий	2,72
37	1961	235	Средняя проба	$1,0 \cdot 10^{-3}$	Тяжелый	3,65
37	1955	235	120—140	$1,0 \cdot 10^{-3}$	Легкий, слегка осмоленный	4,67
37А]	1962	191	25—32	$2,5 \cdot 10^{-4}$	Легкий	0,38
38	1961	185	0—5	$8,0 \cdot 10^{-3}$	Осмоленный	4,10
41	1959	90	0—2	$3,2 \cdot 10^{-2}$	»	—
55	1959	111	50—58	$1,0 \cdot 10^{-3}$	Легкий, слегка осмоленный	5,44
62	1959	88	0—2	$1,2 \cdot 10^{-1}$	Осмоленный	5,03
71	1959	130	0—2	$6,24 \cdot 10^{-2}$	»	2,78
73	1959	83	0—5	$8,0 \cdot 10^{-3}$	Тяжелый	4,77
86А	1961	90	Средняя проба	$4,0 \cdot 10^{-3}$	Осмоленный	2,15
88	1957	45	1—10	$2,0 \cdot 10^{-3}$	Средний	4,29

Анализ показал, что наибольшее количество битумов находится в осадках прибрежных станций. По качественному составу битумы Балтийского моря являются преимущественно средними с переходом к тяжелым. Компонентный анализ осадка, взятого на станции 43 в Готландской впадине, показал, что содержание асфальтенов в нем составляет 46,6%, смол 40,4%, масел 12,18%. Элементарный анализ дал следующие результаты: С — 49,93%, Н — 7,38%, остальное количество составляют сера и кислород.

По данным О. К. Бордовского (1964), в состав битумов океанических осадков, органическое вещество которых образуется в значительной степени из планктона, входят: асфальтены — 70%, смолы — 20%, масла — от 2 до 10%; элементарный состав их: С — 70%, Н — 12%. Следовательно, органическое вещество осадков планктонного происхождения по компонентному составу отличается большим содержанием асфальтенов, а по элементарному составу — преобладанием углеводов. Наличие большого количества смол в осадках Балтийского моря свидетельствует об обогащении органического вещества растительным детритом.

Для выяснения количества и качества легкоподвижного органического вещества осадков был проведен кислотный гидролиз, при котором органическое вещество расщепляется так же, как при воздействии на него ферментов. Методика применялась такая же, как и при исследовании осадков Азовского моря (Горшкова, 1955а). Осадок обрабатывали 5%-ной серной кислотой на водяной бане в течение 5 ч. Полученный первый гидролизат отфильтровывали через стеклянный фильтр в мерную колбу. Осадок высушивали и снова обрабатывали 10 см³ 80%-ной серной кислоты; его оставляли на холоде 2,5 ч, затем доливали 140 см³ воды и снова нагревали 5 ч на водяной бане. Полученный второй гидролизат отфильтровывали в другую мерную колбу. В первом гидролизе определяли сахар по методу Иссекутца (Иванов, 1932), углерод и азот,

во втором — клетчатку, углерод и азот, в негидролизуемом остатке — углерод, азот и фосфор.

Для анализа были взяты 15 образцов осадков из Балтийского моря, 3 образца — из Рижского залива, 1 образец — из Курского и 3 вида растительности. Полученные данные приведены в табл. 13.

Общее количество углерода, азота и фосфора в осадках глубоководной части Балтийского моря и Курского залива значительно выше, чем в осадках такого продуктивного водоема, каким является Азовское море; максимальное количество органического углерода в его осадках составляет 2,96%. Отношение $C|N$, равное в среднем 7,7, показывает, что в состав органического вещества осадков названных выше водоемов входят как остатки планктона ($C|N$ их колеблется от 4 до 5), так и остатки донной растительности ($C|N$ достигает 20 и более).

Как видно из табл. 14, содержание углерода первого гидролизата мы разделили на углерод сахаров и углерод остаточный, а во втором гидролизате — на углерод клетчатки и углерод остаточный и вычислили отношение $C_{ост}|N$. Вычисления показали, что отношение $C_{ост}|N$ в первом гидролизате колеблется от 3 до 5,9 (среднее из 15 анализов — 4,6), а во втором гидролизате — от 3 до 5,3 (среднее 4,2). В остатке после гидролиза отношение $C|N$ колеблется от 8 до 11,3 (среднее 9,5). На основании этих данных можно считать, что из органического вещества осадков Балтийского моря в первый и второй гидролизаты выделяются углеводы (сахар и клетчатка) и легкогидролизуемые азотистые вещества — продукты распада белковых веществ (Старикова и Коржикова, 1969). Остаток после гидролиза состоит из более стойких азотистых и других веществ типа лигнино-гумусового комплекса, в настоящее время еще мало изученных.

Общее количество нерастворимого остатка (высушенного при 100°) в исследованных осадках колебалось от 70 до 85,45% (в среднем 78%), причем снижение нерастворимого остатка до 70% в собственно Балтийском море происходит за счет содержания в осадках повышенного количества карбонатов (ст. 37) и до 67% в Курском заливе — за счет повышенного количества органического вещества.

Кислотный гидролиз донной растительности показал, что она содержит значительный процент сахаров и гемицеллюлозы, особенно представитель агаронов — фуцеллярия, в которой сахара и гемицеллюлоза составляют 35,49%. Поэтому в первом гидролизате отношение $C|N$ в растениях колеблется от 13,3 до 21,1, а в осадках — от 5,4 до 7,7.

В табл. 14 приведено содержание углерода, азота и фосфора всех трех групп кислотного гидролиза в процентах от общего содержания углерода, азота и фосфора в осадках.

При вычислении среднего содержания углерода, азота и фосфора гидролизуемой и негидролизуемой части осадка от общего содержания углерода, азота и фосфора в осадках и растениях было установлено, что углерод гидролизуемой части осадка составляет меньший процент (32%), чем негидролизуемой (62%). Азот гидролизуемой части (47%) также меньше, чем негидролизуемой (53%), а фосфор гидролизуемой части осадка (62%) гораздо больше, чем негидролизуемой (38%).

Сравнение результатов кислотного гидролиза осадков различных водоемов приведено в табл. 15.

Из табл. 15 видно, что углерод и азот легкоподвижной части осадков Азовского моря и Курского залива быстрее переходят в первый и второй гидролизаты, чем углерод и азот осадков Балтийского моря. Поэтому нерастворимого остатка после гидролиза в них меньше, чем в осадках Балтийского моря, что свидетельствует отчасти о различной

Результаты кислотного гидролиза осадков Балтийского моря и донной растительности,
% к весу осадков и растений

№ станции	Слой, см	CO ₂ , %	Натуральная влажность, %	Содержание в целом осадке, %				Первый гидролизат 5%-ной H ₂ SO ₄						
				C	N	C/N	P	C	N	C/N	Сахар	C _{сах}	C _{ост}	C _{ост} /N
Осадки														
31	Верх	0,79	78,74	2,94	0,40	7,2	0,113	0,70	0,13	5,4	0,67	0,29	0,41	3,1
31	110—130	0,31	76,65	2,63	0,35	7,5	0,08	0,55	0,10	5,5	—	—	—	—
36	50—56	—	—	4,86	0,69	7,0	0,083	1,02	0,17	6,0	0,40	0,17	0,85	5,0
36	110—130	0,36	62,00	2,72	0,38	7,1	-0,10	0,66	0,12	5,5	0,27	0,12	0,54	4,5
37	Средняя про- ба	2,87	77,23	3,95	0,50	7,9	0,113	1,08	0,16	6,7	0,68	0,30	0,78	4,8
37	20—32	1,0	72,91	7,51	0,90	8,3	0,13	1,86	0,28	6,6	0,60	0,26	1,60	5,7
37	120—140	2,82	—	4,67	0,51	9,1	0,092	0,86	0,13	6,6	0,71	0,3	0,55	4,2
55	Верх	0,34	80,44	4,74	0,56	8,4	0,20	1,26	0,18	7,0	0,43	0,19	1,07	5,9
55	50—58	0,17	76,90	5,44	0,66	8,2	0,087	1,40	0,18	7,7	—	0,55	0,85	4,7
62	Верх	0,46	—	5,03	0,65	7,2	0,12	1,35	0,21	6,4	1,16	0,51	0,84	4,0
62	62—68	0,42	—	4,56	0,60	7,6	0,14	1,21	0,16	7,5	0,87	0,38	0,83	5,1
86A	Верх	0,12	—	2,09	0,27	7,7	0,075	0,60	0,08	7,5	0,86	0,36	0,24	3,0
170	0—5	0,19	75,80	4,00	0,51	7,8	0,12	1,05	0,16	6,5	0,45	0,20	0,85	5,3
171	Верх	0,06	—	3,84	0,49	7,8	0,10	1,20	0,20	6,0	0,79	0,35	0,85	4,2
183A	0—5	0,30	81,83	4,04	0,53	7,6	0,10	0,92	0,15	6,1	0,58	0,25	0,67	4,4
121A	Верх	0,86	79,46	2,66	0,36	7,4	0,104	0,77	0,11	7,0	0,53	0,23	0,54	4,9
121B	0—30	0,41	79,40	2,77	0,36	7,7	0,102	0,83	0,12	6,9	0,56	0,25	0,58	4,6
121B	30—60	0,36	76,20	2,97	0,40	7,4	0,095	0,86	0,13	6,6	0,26	0,12	0,74	5,6
19 Курский залив	Верх	8,28	76,70	6,21	0,91	6,8	0,12	2,13	0,34	6,8	0,97	0,43	1,70	5,0
Фитобентос														
Зоостера	—	—	—	33,42	1,73	19,0	—	15,20	0,92	21,1	20,26	8,90	6,30	6,8
Фукус	—	—	—	34,85	2,04	17,0	0,24	14,68	1,10	13,3	11,76	5,17	9,49	8,6
Фурцеллярия	—	—	—	31,46	—	—	0,20	25,38	1,67	15,2	35,49	15,61	9,77	5,8

№ станции	Второй гидролизат 80%-ной H ₂ SO ₄							Третий остаток после гидролиза				Нерастворимый остаток — 10%-ной HCl
	C	N	C/N	клетчатка	Склетч	Сост	Сост /N	C	N	C/N	P	
Осадки												
31	0,45	0,09	5,0	0,21	0,09	0,36	4,0	1,79	0,18	10,0	0,043	76
31	0,32	0,07	5,0	0,10	0,44	0,27	4,0	1,76	0,18	9,8	0,06	85
36	0,60	0,12	5,0	0,42	0,18	0,42	3,5	3,24	0,40	8,1	0,035	79
36	0,31	0,06	5,1	0,12	0,05	0,26	4,3	1,86	0,20	9,3	0,04	80
37	0,48	0,09	5,3	—	—	—	—	2,49	0,25	9,9	0,043	70
37	0,90	0,20	4,5	0,52	0,23	0,67	3,3	4,75	0,42	11,3	0,065	75
37	0,44	0,07	6,2	0,36	0,16	0,28	4,0	3,38	0,31	10,9	0,035	71
55	0,66	0,11	6,0	0,15	0,07	0,59	5,3	2,82	0,27	10,4	0,03	77
55	0,56	0,09	6,2	0,43	0,19	0,37	4,1	3,48	0,39	8,9	0,03	74
62	0,45	0,08	5,6	0,19	0,08	0,37	4,6	3,26	0,36	9,0	0,044	89
62	0,48	0,08	6,0	0,23	0,10	0,38	4,7	2,87	0,36	8,0	0,05	81
86А	0,32	0,06	5,3	0,22	0,09	0,12	3,0	1,28	0,15	8,2	0,03	85
170	0,51	0,10	5,1	0,16	0,07	0,44	4,4	2,44	0,25	9,7	0,04	76
171	0,64	0,11	5,8	0,16	0,07	0,57	5,1	2,00	0,18	11,0	0,04	75
183А	0,48	0,08	6,0	0,27	0,12	0,36	4,5	2,64	0,30	8,8	0,036	79
121А	0,32	0,06	5,3	0,17	0,07	0,25	4,1	1,57	0,19	8,3	0,05	79
121В	0,30	0,05	6,0	0,22	0,09	0,21	4,2	1,64	0,19	8,6	0,05	75
121В	0,40	0,07	5,7	0,25	0,11	0,29	4,1	1,70	0,20	8,5	0,05	79
19 Курский залив	0,99	0,22	4,5	0,43	0,19	0,80	3,8	3,09	0,35	8,8	0,022	67
Фитобентос												
Зоостера	1,90	0,16	11,8	1,90	0,83	1,07	6,7	16,32	0,65	25,0	—	39
Фукус	1,17	0,12	9,7	0,45	0,20	0,97	8,0	19,03	0,82	22,0	—	28
Фурцеллярия	—	0,35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Содержание С, N и P в отдельных группах в % от общего С, N и P в осадках

№ станции	Слой, см	Ко всей навеске			С от С _{общ}			N от N _{общ}			P от P _{общ}		
		С	N	P	отдельные группы*								
					I	II	III	I	II	III	I+II	III	
Балтийское море													
31	Верх	2,94	0,40	0,113	24	15	61	32	23	45	62	38	
31	110—130	2,63	0,35	0,08	21	12	67	28	20	52	25	75	
36	50—56	4,86	0,69	0,082	21	13	66	24	18	58	57	43	
36	110—130	2,72	0,38	0,10	24	11	65	31	16	53	60	40	
37	Средняя проба	3,95	0,50	0,113	27	12	61	32	18	50	61	39	
37	20—32	7,51	0,90	0,13	25	12	63	31	22	47	50	50	
37	120—140	4,67	0,51	0,092	18	10	72	26	14	60	62	38	
55	Верх	4,74	0,56	0,20	26	14	60	32	19	49	85	15	
55	50—58	5,44	0,66	0,087	26	10	64	27	14	59	65	35	
62	Верх	5,03	0,65	0,12	27	9	64	32	12	56	63	37	
62	62—68	4,56	0,60	0,14	27	10	63	27	14	59	64	36	
86A	Верх	2,09	0,27	0,075	29	10	61	29	15	56	60	40	
170	0—5	4,00	0,51	0,12	26	13	61	28	19	57	66	34	
171	Верх	3,84	0,49	0,10	31	16	53	40	22	38	60	40	
183A	0—5	4,04	0,53	0,10	23	12	65	28	14	58	64	36	
Рижский залив													
121A	Верх	2,66	0,36	0,104	28	12	60	30	16	54	52	48	
121B	0—30	2,77	0,36	0,102	30	11	59	33	14	53	50	50	
121B	30—60	2,97	0,40	0,091	29	13	58	32	18	50	48	52	
Курский залив													
19	Верх	6,21	0,91	0,12	34	16	50	37	24	39	82	18	
Зоостера	—	33,42	1,73	—	45	6	49	53	9	38	—	—	
Фукус	—	34,85	2,04	0,24	42	3	55	53	6	41	—	—	
Фуццеллярия	—	31,46	—	0,20	80	9	11	56	12	32	—	—	

- * I — гидролизат 5%-ный H₂SO₄;
 II — гидролизат 80%-ный H₂SO₄;
 III — остаток после гидролиза.

Средние результаты углерода, азота и фосфора кислотного гидролиза осадков Азовского и Балтийского морей в % от общего количества углерода, азота и фосфора осадков

С, N, P гидролизатов	Азовское море			Балтийское море			Курский залив		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
С	34,0	21,0	45,0	26,0	13,0	61,0	34,0	16,0	50,0
N	35,3	30,7	34,0	32,0	17,0	51,0	37,0	24,0	39,0
P	46,0	9,0	45,0	62,0		38,0	82		

скорости накопления органического вещества в осадках названных водоемов, о разном составе исходного материала и степени его разложения.

Содержание фосфора (в % от общего фосфора) в гидролизуемой части осадков Азовского моря почти равно содержанию углерода и немного больше, чем содержание азота.

В осадках Балтийского моря легкогидролизуемый фосфор фосфатов содержится в гораздо большем количестве, чем углерод и азот.

Причины этого явления мы рассмотрим ниже.

Чтобы яснее представить общий качественный состав органического вещества осадков Балтийского моря, перечислим изученные нами компоненты, составляющие органическое вещество, в процентах от общего количества органического вещества, вычисленного нами по углероду, умноженному условно на 1,724 (если принять, что С в осадках составляет 58%). Данные пересчета приведены в табл. 16.

Таблица 16

Состав органического вещества осадков Балтийского моря в % от общего органического вещества (% С × 1,724)

№ станции	Слой, см	Содержание органического вещества по С × 1,724, %	В % от органического вещества (% С × 1,724)							
			сахар	клетчатка	азотистые вещества переносного и второго гидролизатов	гуминовые вещества	остаточное стойкое органическое вещество	битумы	хлорофилл	каротиноиды
Осадки										
31	0—5	5,07	13	4	27	21,7	34,0	0,04	0,04	0,23
31	110—130	4,53	—	2	24	66	66	0,16	0,19	0,90
36	50—56	8,39	5	5	21	32,5	33,5	—	0,17	0,48
36	110—130	4,69	6	3	23	31,2	36,4	0,34	0,02	0,06
37	0—5	6,81	10	—	22	29,6	33,2	0,03	0,05	0,07
37	20—32	12,94	5	4	24	20,0	42,5	—	0,14	0,33
37	120—140	8,05	9	4	15	38,0	33,8	0,01	0,06	0,09
55	0—5	8,16	5	2	24	45,3	11,7	—	—	—
55	50—58	9,38	13	5	18	57,1	6,9	0,01	—	—
62	0—5	8,67	13	2	20	39,1	23,7	1,4	0,13	0,28
62	62—68	7,86	11	3	19	62	62	0,20	—	—
86А	0—5	3,60	20	6	20	28,8	25,0	0,11	0,13	0,28
170	0—5	6,80	7	2	23	30,4	30,5	—	—	—
171	0—5	6,62	12	3	23	53,3	—	—	—	—
183А	0—5	6,96	8	4	20	65	65	—	0,06	0,09
121А	0—5	4,58	11	4	23	35,9	22,7	0,02	0,15	0,17
121В	0—30	4,77	11	4	22	49,8	9,2	—	0,07	0,11
121В	30—60	5,12	5	4	24	48,8	8,2	4,85	—	—
19	0—5	10,70	9	4	36	29,4	20,6	0,15	—	—
Фитобентос										
Зоостера	—	58,61	34	2	11	48	—	—	0,68	0,45
Фукус	—	60,08	19	7	12	—	—	—	0,29	0,26
Фурцеллярия	—	54,28	65	—	—	—	—	—	6,42	0,06

Наибольшее количество сахаров (65%), как и следовало ожидать, обнаружено в агароносной водоросли фурцеллярии, а из осадков — в верхнем слое станции 86А, расположенной в северной части Балтийского моря, где влияние агароносов на состав органического вещества осадков уже было отмечено нами по присутствию в них каротиноидов. Из легкоподвижных азотистых веществ, переходящих в первый и вто-

Химический состав грунтовых растворов

№ станции	Дата	Глубина, м	Слой, см	Сорг осадка, %	Влажность натурального осадка, %	S, ‰
1962 г.						
31	13/VII	184	0—5	2,94	76,75	—
31	13/VII	184	60—80	—	76,22	—
31	13/VII	184	110—130	2,63	76,65	—
36	14/VII	116	0—26	3,27	72,21	—
36	14/VII	116	110—130	2,72	62,00	—
37	14/VII	225	0—20	3,71	77,20	—
37	14/VII	225	30—50	4,30	72,91	—
39А	17/VII	92	0—5	3,12	70,63	—
39А	17/VII	92	25—45	—	74,69	—
39А	17/VII	92	100—120	—	70,83	—
43	15/VII	125	0—5	4,22	80,83	—
43	15/VII	125	10—32	—	72,77	—
43	15/VII	125	40—60	—	46,21	—
44В	17/VII	86	0—20	2,75	58,30	—
44В	17/VII	86	85—102	—	56,80	—
183А	15/VII	110	0—5	4,04	—	—
183А	15/VII	110	20—40	3,75	75,36	—
183А	15/VII	110	90—100	—	68,18	—
1963 г.						
25Б	9/VIII	111	0—2	—	78,27	10,50
29	9/VIII	130	0—2	3,66	75,42	10,81
37	13/VIII	234	0—2	4,20	83,13	12,61
38	13/VIII	200	0—2	4,10	81,23	14,45
41	14/VIII	108	0—2	2,94	79,26	11,17
42	14/VIII	160	0—2	4,45	—	12,38
43	14/VIII	153	0—2	—	—	12,38
55	17/VIII	105	0—2	—	80,44	11,40
62	18/VIII	92	0—2	3,99	76,20	16,00
69	20/VIII	108	0—2	4,86	70,61	10,07
71	20/VIII	194	0—2	2,78	75,83	10,39
80	19/VIII	47	0—2	4,48	—	19,66
86	11/VIII	126	0—2	—	76,20	10,82
86А	21/VIII	90	0—2	2,15	—	—
88	19/VIII	46	0—2	4,99	41,0	20,86

рой гидролизаты, наибольшее количество (36%) обнаружено в осадках ст. 19 в Курском заливе, органическое вещество которых обогащается в значительном количестве за счет планктонных организмов. Наименьшее количество азотистого вещества (15%) содержится в нижних слоях (120—140 см), из которых часто оно успевает перейти в грунтовый раствор.

Существенную часть органического вещества осадков Балтийского моря составляют гуминовые вещества, в наибольшем количестве обнаруженные в осадках ст. 55 в Гданьской бухте, где, как мы уже отмечали, имеются выходы древних торфяников, обогащенных гуминовыми веществами, и в осадке ст. 171 у о. Эланд, где скапливаются остатки подводной растительности.

Остаточное, стойкое органическое вещество, условно принятое нами за органическое вещество негидролизуемого остатка, без гуминовых

осадков Балтийского моря

рН	Химический состав, мг/л			Щелочность, мг-экв/л	Осадки
	P	Si	N—NH ₃		
1962 г.					
8,06	3,30	25,0	4,08	6,56	Серый глинистый ил
8,26	5,00	25,0	24,83	16,60	То же
—	2,00	25,0	46,50	16,60	»
7,76	2,00	25,0	4,00	5,2	»
8,04	1,51	25,0	11,37	9,28	»
8,16	1,81	25,0	7,52	8,40	»
8,10	1,16	25,0	12,33	7,52	»
7,88	2,22	12,5	3,08	4,36	Черный ил
7,96	3,12	12,5	12,50	10,16	То же
7,88	2,50	22,05	14,11	14,24	»
7,86	0,71	12,25	4,71	2,44	Зеленовато-серый глинистый ил
7,87	1,25	2,50	2,58	3,60	То же
7,82	0,50	3,12	4,83	2,56	Розовая глина
7,58	1,21	25,0	2,58	3,44	Черный песчаный ил
—	0,30	27,0	11,73	2,96	То же
7,57	4,00	15,0	3,83	4,72	Зеленовато-серый ил
8,26	4,00	—	14,08	15,60	То же
—	3,84	25,0	39,83	19,44	»

1963 г.

8,25	2,85	21,25	4,21	10,16	Черный ил
8,07	1,66	15,00	3,50	4,00	Черный песчаный ил
8,04	2,50	18,75	2,50	4,32	Серый глинистый ил
8,25	5,00	35,50	4,00	9,04	То же
7,95	1,81	18,75	3,50	4,40	Песчаный ил
7,94	1,42	22,50	3,60	3,20	Зеленовато-серый ил
7,96	3,33	17,50	5,00	4,60	Зеленовато-серый глинистый ил
7,93	5,00	16,25	4,54	9,12	То же
8,15	2,00	15,00	3,00	4,40	Серый глинистый ил
7,88	0,75	—	1,50	1,92	Темно-серый глинистый ил перелож. глина)
8,08	5,00	16,25	4,16	5,36	Серый глинистый ил
7,88	2,25	16,25	3,00	3,84	То же
8,08	4,25	—	4,00	5,60	Зеленовато-серый ил
7,88	1,45	3,00	1,75	2,08	Песчаный ил
7,91	1,00	17,50	3,50	4,08	Серый ил

веществ в наибольшем количестве обнаружено в тех осадках, где мало гуминовых веществ, и наоборот, в наименьшем количестве там, где их много.

Несколько повышенное количество битуминозных веществ (4,85%) обнаружено в слое 30—60 см (ст. 121В, Рижский залив). В преобладающем количестве проб содержание битуминозных веществ составляет сотые и десятые доли процента от органического вещества осадка. Такое же незначительное количество составляют и растительные пигменты — хлорофилл и каротиноиды.

Для выяснения отдачи биогенных элементов из грунта в воду исследовались биогенные элементы грунтовых растворов как самого моря, так и его заливов.

До настоящего времени было проведено незначительное количество химических исследований грунтовых растворов Балтийского моря.

Опубликованы две работы Кулленберга (1952, 1954), в которых рассматриваются изменения солевого состава грунтовых растворов и две наши работы (Горшкова, 1957а, 1958а).

Материалы для данного исследования были собраны в 1962 и 1963 гг. Анализ грунтовых растворов проводился согласно методике, разработанной С. В. Бруевичем и Е. Г. Виноградовой (1940) и примененной ранее для грунтовых растворов Азовского моря (Горшкова, 1955 б). Грунтовый раствор извлекали из различных слоев осадков, полученных дночерпателем или трубками, отсасывали насосом Комовского через предварительно промытый плотный фильтр, помещенный на широкую воронку Бюхнера, вставленную в склянку Бунзена. Как правило, сам грунт является прекрасным фильтром, поэтому раствор получается совершенно прозрачным. В полученном грунтовом растворе на борту судна определяли рН, Р, Si, NH₃ и NO₂, а хлор и щелочность — в лаборатории на суше. Часть полученных данных приведена в табл. 17.

Сравнение содержания биогенных элементов в различных типах осадков Балтийского и Азовского морей приведено в табл. 18.

Таблица 18

Среднее содержание биогенных элементов в грунтовых растворах верхнего слоя различных типов осадков Балтийского и Азовского морей

Осадки	В % от осадка		Грунтовый раствор					Придонная вода					
	H ₂ O натурально-го осадка	Сорг	рН	химический состав, мг/л			щелочность, мг-экв/л	O ₂ , %	рН	химический состав, мг/м ³			щелочность мг-экв/л
				Р	Si	N-NH ₃				Р	Si	N-NH ₃	
Балтийское море													
Илистый песок	46	0,37	7,81	0,25	7,80	—	2,04	—	—	—	—	—	—
Песчаный ил	48	1,60	7,7	0,89	15,91	1,97	2,27	74,7	8,0	10,0	300	73	1,56
Ил	74	3,70	7,8	2,05	17,00	3,50	4,11	4,43	7,02	87,0	1000	—	1,72
Глинистый ил	76	3,79	8,0	3,25	20,00	3,59	6,25	—	—	—	—	—	—
Азовское море													
Ил+глинистый ил	—	2,11	7,70	0,36	9,19	5,66	8,16	—	8,43	6,25	620	205	2,77

Накопление биогенных элементов в грунтовых растворах Балтийского моря зависит так же, как и в других морях (Бруевич, 1940; Зайцева, 1954; Емери, 1952), от содержания натуральной влажности и от общего содержания органического вещества в осадках; поэтому грунтовые растворы ледниковых осадков, имеющие низкую натуральную влажность и бедные органическим веществом, отличаются пониженным содержанием биогенных элементов (ст. 43, 40—60 см).

Активная реакция, количество фосфатного фосфора, кремний, аммиак и щелочность, как правило, увеличиваются вместе с глубиной залегания осадков, так как распад органического вещества происходит и в нижних слоях, а отдача в водную среду в них более затруднена, чем в верхних слоях осадков. Такая зависимость хорошо прослеживается в отдельных слоях различных колонок грунта. Однако элементы в разных морях переходят в грунтовый раствор по-разному: например,

в Азовском море в него переходит больше азотистых веществ, чем в Балтийском, потому что органическое вещество осадков первого водоема содержит больше легкоподвижных белковых веществ, чем органическое вещество второго; об этом же свидетельствует и отношение C/N, равное в среднем 6,1 — для глинистых осадков Азовского моря и 7,13 — Балтийского.

Содержание фосфатов в грунтовых растворах Балтийского моря больше, чем в грунтовых растворах Азовского моря, так же как и в легкоподвижной части кислотного гидролиза (см. табл. 15). Одна из причин такого различия — газовый режим придонного слоя. Во впадинах Балтийского моря в придонном слое в большинстве случаев наблюдается уменьшенные содержания кислорода, а иногда и присутствие сероводорода, обуславливающих восстановительные условия в осадках, способствующие переходу фосфатов в грунтовый раствор и придонную воду и выпадению железа в осадок в виде сульфида — гидротроелита.

Большое количество органического вещества в осадках глубоководных впадин Балтийского моря оказывает особенно сильное влияние на газовый режим придонного слоя в годы больших паводков, когда уменьшается приток североморских вод и снижается вертикальная циркуляция. В такие годы донная фауна в глубоководных впадинах совершенно исчезает (Шурин, 1968), а рыбы не идут сюда на нерест (Токарева, Грауман, 1960), так как слой более соленых вод с удельным весом, равным удельному весу икры, становится меньше и, кроме того, он обогащен сероводородом.

Обилие органического вещества в осадках глубоководных впадин Балтийского моря, с одной стороны, способствует созданию неблагоприятного для жизни организмов газового режима, с другой — усиливает восстановительные условия, ускоряющие переход фосфатов из грунта в грунтовый раствор; благодаря горизонтальному течению из Северного моря и вертикальному перемешиванию фосфаты постепенно выносятся в верхние слои (фотическую зону). Таким образом, водная толща обогащается биогенными элементами, обеспечивающими первичную продукцию водоема. Ярким примером этого является юго-восточная часть Балтийского моря, куда выходят глубинные воды из Гданьской бухты и где отмечено богатое развитие бентоса (Шурин, 1968 — рис. 11), зоопланктона (Боднек, 1954) и фитопланктона (Николаев, 1954).

Количество накапливающихся фосфатов в придонном слое и продукция фитопланктона в поверхностных водах в разные годы и сезоны для различных районов Балтийского моря определены шведским ученым Фонселиусом (Fonselius, 1967).

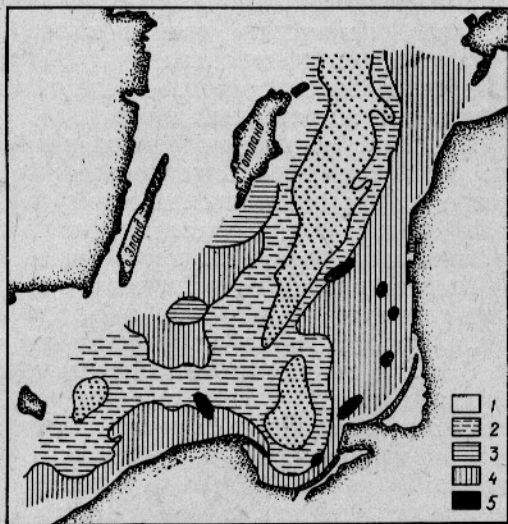


Рис. 11. Распределение биомассы бентоса в Балтийском море в 1949 г., mg/m^2 (по Шурин):
1 — <1; 2 — 1—10; 3 — 10—30; 4 — 30—70;
5 — 70—100 g/m^2 .

Заключение

Исследования органического вещества осадков Балтийского моря показывают, что главными факторами, определяющими количество и качественный состав органического вещества этого водоема, являются геологические, климатические, гидрологические и гидрохимические условия окружающей среды. Рельеф дна Балтийского моря, представленный мелководьями и глубоководными впадинами, обусловил значительное накопление органического вещества в осадках мелководий и большое количество его в глубоководных впадинах (органическое вещество приносится сюда с берегов и мелководий и, кроме того, здесь осаждаются автохтонный детрит).

В связи с поднятием берегов и дна в северной части моря происходит размыв и переотложение древних ледниковых осадков, обедненных органическим веществом. Поэтому при одинаковом механическом составе осадков в этой части моря в осадках содержится гораздо меньше органического вещества, чем в южной.

Климат влияет на количество и качественный состав речного стока и на температурный режим моря, обуславливающий развитие организмов и скорость распада органогенного детрита.

В связи с тем что Балтийское море расположено в гумидной зоне, обильный речной сток приносит в него значительное количество растворенных и взвешенных веществ в виде аллохтонного растительного детрита и терригенного органического вещества в виде гуминовых веществ. В связи с этим гуминовый коэффициент, т. е. количество гуминовых веществ в % от всего органического вещества осадков, в Балтийском море выше, чем в других морях, где органическое вещество осадков образуется в основном из остатков планктонных организмов и бентоса.

Микроскопический анализ показал, что в составе легкой фракции с удельным весом $< 2,3$ среди хорошо сохранившихся остатков больше всего встречаются аллохтонные и автохтонные остатки растений, споры, пыльца и др., тогда как в осадках Азовского моря преобладают остатки различных животных.

При определении растительных пигментов установлено, что во всех исследованных макрофитах преобладает хлорофилл, а в осадках — каротиноиды, так как хлорофилл быстрее разрушается. Содержание каротиноидов в осадках северной части моря выше, чем в южной, что объясняется наличием большого количества богатых каротиноидами агароносов, распространенных вдоль побережья в северной части моря. Таким образом, несмотря на незначительное содержание растительных пигментов в осадках Балтийского моря, они являются хорошим показателем генезиса осадков этого водоема.

Компонентный анализ битуминозных веществ, состоящих из асфальтенов — 46,6%, смол — 40,4% и масел — 12,12%, и элементарный состав: углерод — 49,33%, водород — 7,32%, сера и кислород — 43,29% свидетельствуют о присутствии в органическом веществе осадков Балтийского моря значительного количества растительного детрита.

Лабильная часть органического вещества Балтийского моря, определенная методом кислотного гидролиза, переходящая в первый и второй гидролизаты, и негидролизуемый остаток показали, что содержание углерода и азота больше в остатке, а фосфора — в лабильной части.

Отдельные компоненты химического состава осадков Балтийского моря, вычисленные в процентах от общего содержания органического вещества осадков, в среднем составляют: углеводы (сахар и гемицел-

люлоза) — 11%, клетчатка — 3,3%, азотистые вещества легкогидролизуемой части (I и II гидролизаты), представленные аминокислотами и другими соединениями — 22%, гуминовые вещества — 35,5%, остаточные стойкие вещества — 26%. Битумы и растительные пигменты составляют десятые и сотые доли процента. Следовательно, наибольшую часть органического вещества осадков Балтийского моря составляют гуминовые вещества и остаточное наиболее стойкое вещество, до настоящего времени мало изученное.

Анализ биогенных элементов грунтовых растворов и придонной воды так же, как и кислотный гидролиз, показал, что в придонную воду и грунтовый раствор Балтийского моря переходит меньше азотистых веществ, чем в Азовском море (при одинаковом механическом составе осадков), а фосфатного фосфора — больше.

В накоплении фосфатов в грунтовых растворах и в придонной воде решающим является газовый режим придонного слоя. Недостаток кислорода в придонном слое глубоководных впадин обуславливает восстановительный режим, способствующий переходу фосфатов в растворимое состояние. Это наиболее ярко проявляется в годы больших паводков, когда увеличивается вертикальная стратификация вод. В такие годы количество кислорода в придонном слое доходит до нуля, а иногда здесь появляется и сероводород. Донная фауна на больших глубинах исчезает и заселены бывают только малые глубины.

Обилие органического вещества в осадках глубоководных впадин Балтийского моря, с одной стороны, препятствует созданию благоприятного для жизни организмов газового режима в придонном слое (вследствие потребления кислорода на окисление органического вещества), а с другой, усиливает восстановительные условия, ускоряющие переход фосфатов из грунта в грунтовый раствор и придонную воду. Благодаря горизонтальному течению из Северного моря и вертикальному перемещиванию фосфаты постепенно выносятся в верхние слои (фотическую зону) и, таким образом, водная толща обогащается биогенными элементами. Примером этого может служить юго-восточная часть Балтийского моря, куда поступают глубинные воды из Гданьской бухты и где наблюдается богатое развитие бентоса, зоопланктона и фитопланктона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Боднек В. М. Зоопланктон средней и южной части Балтийского моря и Рижского залива. Труды ВНИРО. Т. XXVI, 1954.
- Бордовской О. К. Органическое вещество современных осадков Берингова моря. Труды ИОАН. Т. 42, 1960.
- Бордовский О. К. Накопление и преобразование органического вещества в морских осадках. Изд-во «Недра», 1964.
- Бруевич С. В., Виноградова Е. Г. Биогенные элементы грунтовых растворов Северного, Среднего и Южного Каспия. ДАН СССР, т. 27, № 6, 1940.
- Бруевич С. В. Некоторые методы химического исследования грунтов и грунтовых растворов моря. Труды ГОИН. Серия V. Вып. 7. Гидрометиздат, 1944.
- Ваксман С. Гумус. Сельхозгиз, 1937.
- Вебер В. В. Накопление и преобразование органического вещества в современных морских осадках. Гостехиздат, 1956.
- Годнев Т. Н. Строение хлорофилла и методы его количественного определения. Изд-во АН БССР. Минск, 1952.
- Горшкова Т. И. Инструкция по химическому анализу морских осадков. Инструкция ГОИН, № 11, 1933.
- Горшкова Т. И. Исследование детрита в воде и грунте Каспийского моря. Сборник памяти А. Д. Архангельского. Изд-во АН СССР, 1951.
- Горшкова Т. И. Органическое вещество осадков Азовского моря и Таганрогского залива. Труды ВНИРО. Т. 31, 1955а.

- Горшкова Т. И. Химический состав грунтовых растворов Азовского моря и Таганрогского залива. Труды ВНИРО. Т. 31, 1955б.
- Горшкова Т. И. Химический состав грунтовых растворов Балтийского моря. ДАН СССР. Т. 113. № 4, 1957а.
- Горшкова Т. И. Органическое вещество и карбонаты осадков Баренцева моря. Труды ПИНРО, № 10, 1957б.
- Горшкова Т. И. О характере донных отложений Курского залива. Информационный сборник ВНИРО, № 3. Изд-во «Рыбное хозяйство», 1958а.
- Горшкова Т. И. Инструкция по определению углекислоты карбонатов, органического углерода и общего азота. Изд-во «Рыбное хозяйство», 1958б.
- Горшкова Т. И. Осадки Балтийского моря. Труды ВНИРО. Т. 42, 1960.
- Горшкова Т. И. Осадки Рижского залива. Труды НИИРХ, СНХ Латв. ССР. Т. III. Рига, 1961.
- Горшкова Т. И. Хлорофилл и каротиноиды в осадках Балтийского моря и Рижского залива. Труды ВНИРО. Т. 57, 1965.
- Горшкова Т. И. Органическое вещество донных отложений Балтийского моря. Сб. «Химические процессы в морях и океанах». Изд-во «Наука», 1966.
- Дацко В. Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. Изд-во АН СССР, 1959.
- Зайцева Е. Д. Биогенные элементы в грунтовых растворах донных осадков Берингова моря. ДАН СССР, Т. 98, № 6, 1954.
- Иванов Н. Н. Методы физиологии и биохимии растений. Сельхозгиз, 1932.
- Кленова М. В., Авилов И. К. Инструкция по механическому анализу. Инструкция ГОИН, № 8, 1933.
- Кононова М. М. Проблема почвенного гумуса и современные задачи его изучения. Изд-во АН СССР, 1951.
- Кононова М. М. Гумус главнейших типов почв СССР, его природа и преобразование. «Почвоведение», 1956, № 3.
- Максимова М. П. Органическое вещество и биогенные элементы в водах Белого моря (автореферат). Новочеркасск, 1961.
- Николаев И. И. «О цветении» воды Балтийского моря. Труды ВНИРО. Т. 26, 1954.
- Романкевич Е. А. Распределение органического вещества в поверхностном слое осадков северо-западной части Тихого океана к востоку от Камчатки. «Океанология», 1962, № 5.
- Старикова Н. Д., Коржикова А. И. Аминокислоты в Черном море. «Океанология». Т. 9, 1969, № 4.
- Соскин И. М., Черновская Е. Н. Общая характеристика изменений гидрологических и гидрохимических условий Балтийского моря за последнее десятилетие. «Океанология», 1961, № 3.
- Скопинцев Б. А., Цурикова А. П. Распределение взвешенных частиц и окрашенных гуминовых соединений в воде Рижского залива в 1944 г. и ее оптические свойства в связи с гидрометеорологическими условиями. Труды ГОИН. Вып. 11, 1952.
- Токарева Г. И., Грауман Г. Б. Состояние промысла трески Балтийского моря в 1958 г. Труды ВНИРО. Т. 42, 1960.
- Федосов М. В., Зайцев Г. Н. Водный баланс и химический режим Балтийского моря и его заливов. Труды ВНИРО. Т. 42, 1960.
- Шурин А. Т. Состояние донной фауны в период с 1900 до 1960 г. в изменяющихся условиях Балтийского моря. Сб. «Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря», № 4. Рига, 1968.
- Emery K. O., Rittenberg S. C. Early diagenesis of California basin sediments in relation to origin of oil. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., v. 36, N 5, 1952.
- Fonselius S. H. Hydrography of the Baltic deep basins. II. Fish, Board Sweden Ser. Hydrography, Rep. N 20, Lund 1967.
- Gripenberg Stina. A study of the sediments of the North Baltic, 1934.
- Hela I. A study of land upheaval of the Finnish coast. Fennia v. 76, N 5, 1953.
- Henking H. Die Ostseefischerei. Handbuch der Seefischerei Nordeuropas. Bd. V, N. 3, 1929.
- Kullenberg B. On the presence of sea water in the Baltic Ice-lake. Tellus, v. 6, N 3, 1954.
- Kullenberg B. On the salinity of the water contained in marine sediments. Medd. oceanogr. Inst. Göteborg, 21, 1952.
- Lundbeck J. Bodenkarte der Ostsee und der Küste des Samlandes in seiner Bedeutung für die Fischerei. Mitt. d. Deutsch. Seefischerei, Bd. XXXV, N 7, 1929.
- Sauramo M. Zur spätquartären Geschichte der Ostsee. Soc. Geol. de Finlande, N 8, 1934.

SUMMARY

Organic matter in the bottom sediments is regarded as a factor conditioning the nature of diagenetic processes, gaseous regime in the near — bottom layer, food of the bottom fauna. It is also regarded as one of the sources enriching the water masses with nutrients.

The amount of organic matter has been estimated from organic carbon, and its qualitative composition, by acid hydrolysis. Plant pigments, humic compounds and lipids have also been determined.

A smaller amount of nitrogen — containing constituents, and a greater quantity of phosphate phosphorus pass into the water, contained in marine sediments, and into near — bottom waters in the Baltic, than in the Sea of Azov.

Organic matter in the Baltic Sea sediments contributes to the creation of an unfavourable gaseous regime for animal life in the near — bottom layer, simultaneously accelerating the nutrient turnover, speeding up the transition of phosphate phosphorus into the water from where, due to the horizontal displacement and vertical circulation, it is transported into the photosynthetic layer.