

ПРОВ 68

ПРОВ 98

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

СЕВАСТОПОЛЬСКАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ
им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ПРОВ 2010

ТРУДЫ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Том X



Севастопольская
Биологическая станция
Библиотека
№ 13251

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА · 1958

М. А. ДОБРЖАНСКАЯ

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
И ДИНАМИКИ ФОСФАТОВ В ЧЕРНОМ МОРЕ

Первые данные о количестве фосфатов в Черном море и об их распределении по глубинам были получены Севастопольской биологической станцией и относятся к 1926—1928 гг. Хотя число проведенных наблюдений было относительно невелико, все же удалось установить главные черты режима фосфатов в Черном море. Из этих данных следует, что Черное море характеризуется высоким содержанием фосфатов, резким увеличением их количества с глубиной, особенно на границе сероводородного слоя, и относительно однородным распределением их в толще 1 тыс.—2 тыс. м (Чигирин, 1930). Кроме того, Н. И. Чигирин (1930) указал также на возможность сезонных изменений количества фосфатов. Содержание фосфатов, по наблюдениям 1926—1928 гг., колебалось от 13—38 мг/м³ Р на поверхности до 270—280 мг/м³ Р на глубине 2 тыс. м. Цифровые данные Чигирин приводит без учета солевых поправок.

В последующие годы изучение гидрохимического режима Черного моря на Севастопольской биологической станции проводилось очень интенсивно, и к концу 1938 г. наблюдениями по фосфатам было охвачено более 200 станций. Полученные данные частично опубликованы Чигириным в виде краткого обзора химии Черного моря в дополнении к книге Харвея (1933), частично представлены в ряде рукописей. В этом обзоре, по сравнению с данными 1926—1928 гг., Чигирин приводит для поверхностного слоя (0 м) более низкие величины содержания фосфатов — от 5 до 40 мг/м³ Р. В последующие годы наблюдениями СБС (Чигирин, 1935) отмечены уже неоднократные случаи отсутствия фосфатов — 0,00 мг/м³ Р в слое 0—25 м.

В послевоенные годы исследования Черного моря еще более расширились; кроме Севастопольской биологической станции, интенсивным изучением гидрохимического режима, в частности вопросами распределения фосфатов, занялся ряд других институтов. Однако результаты этих исследований, не считая статьи Я. К. Гололобова (1949), в которой автор приводит лишь среднюю величину фосфатов по вертикали, до 1953 г. никем не были опубликованы, хотя вопрос о количестве и режиме фосфатов в Черном море в связи с поднятой В. А. Водяницким (1941, 1954) проблемой продуктивности Черного моря в последние годы стал предметом острых дискуссий. Так, некоторые исследователи склонны были рассматривать опубликованные для окислительной зоны Черного моря, и особенно для зоны фотосинтеза, данные 1926—1928 гг. как нереальные — слишком завышенные. Россолимо в подстрочном примечании к переводу книги Харвея (1948), напротив, высказал предположение о завышенности

определениям в морях (Бруевич, 1933, 1938; Яковенко, 1950; Воронков, Мусина и др., 1941, и др.).

К 100 мл испытуемой воды добавляется 2 мл 2,5 %-ного раствора молибденовокислого аммония в 38 %-ной по объему серной кислоте и 2 капли хлористого олова (последнее каждый день готовилось заново). Основным стандартом служил раствор $\text{K}_2\text{H}_2\text{PO}_4$ (1,097 г/л). Рабочий раствор стандарта готовился также ежедневно разведением дистиллированной водой 1 мл основного раствора до 100 мл. Хлористое олово приготавлилось растворением при кипячении 0,1 г гранулированного олова или фольги (х. ч.) в 2 мл крепкой соляной кислоты с последующим доведением объема дистиллированной водой до 10 мл; 2 капли такого раствора содержат примерно 0,65 мг Sn^{++} . Приводимая пропись приготовления хлористого олова не отличается от оригинальной прописи Дениже-Аткинса. Сравнение окрасок проводилось в цилиндрах Генера.

Из ряда работ последних лет (Cooper, 1938a; Tully и Carter, 1938; Harvey, 1948; Robinson и Thompson, 1948; Armstrong, 1949; Wooster и Rakestrow, 1951), посвященных изучению условий течения реакции Дениже-Аткинса, следует, что способ приготовления хлористого олова и его концентрация в пробе являются весьма ответственными моментами при определении фосфатов в морской воде. Так, по наблюдениям Армстронга (Armstrong, 1949), неудачно приготовленный раствор хлористого олова может быть одним из основных источников ошибок в определении фосфатов. По его данным, раствор хлористого олова должен содержать не менее 5 % по объему HCl . В противном случае снижается окраска стандарта, к тому же проба может дать заметно желтую окраску и даже муть.

Несмотря на кажущуюся простоту определения фосфатов по методу Дениже-Аткинса, метод этот в сущности капризный, требует большой щепетильности в работе и тщательного соблюдения однородности манипуляций. В противном случае полученные результаты наблюдений могут быть неравноценны. Последнее обстоятельство дало повод Редфилду (Redfield, 1948) считать его даже не вполне удовлетворительным.

Применяемый на Севастопольской биологической станции метод определения фосфатов, начиная примерно с 1930 г., на протяжении всех последующих лет наблюдений существенно ничем не отличался от вышеизложенного.

Как выяснилось в дальнейшем, наличие H_2S в пробах воды осложняет определение фосфатов методом Дениже-Аткинса. Присутствие даже небольшого количества сероводорода в условиях этого метода способствует повышению интенсивности окраски пробы. Наблюдавшееся при определении фосфатов в пробах, взятых с глубинных слоев Черного моря, содержащих сероводород, усиление окраски ранее ошибочно воспринималось как повышение в содержании фосфатов. Эта ошибка в зависимости от содержания в ней сероводорода и фосфатов может достигать иногда более 100 %. Продувание проб воздухом перед определением в течение 10—15 мин. значительно снижает ошибку, но не устраняет полностью указанных методических затруднений. К тому же в этих условиях параллельные определения не всегда приводят к однородным результатам. В отдельных случаях расхождение между показаниями различных порций одной и той же пробы с глубин 1 тыс. — 2 тыс. м достигало 50 %. Более длительное продувание — до одного часа — также полностью не избавляет от ошибки. Видимо, длительное продувание, наряду с удалением H_2S , одновременно способствует образованию в пробе промежуточных продуктов окисления H_2S , присутствие которых, очевидно, также вызывает посинение пробы. Таким образом, применение одного

энергичного продувания проб, содержащих H_2S , не гарантирует для них достоверных результатов. В этих условиях трудно достигнуть хотя бы относительного постоянства в ошибке.

Изложенные замечания привели к заключению, что данные по содержанию фосфатов, полученные общепринятым в океанографии методом Дениже-Аткинса, для сероводородной толщи Черного моря, т. е. начиная примерно с 125—200 м и глубже, не соответствуют действительным — все они в какой-то мере завышены.

В последнее время Гололобов (1953а) предложил, для элиминирования влияния H_2S на окраску пробы при определении фосфатов методом Дениже-Аткинса, готовить рабочий стандарт непосредственно на воде каждого испытуемого горизонта, а не на дистиллированной, как это обычно принято. Такой способ приготовления стандарта автор назвал методом «двойной пробы». Одновременное приготовление стандарта непосредственно на воде исследуемого горизонта, несомненно, облегчает определение фосфатов в кислородной толще, так как позволяет избежать ошибки из-за введения солевой поправки. Однако, как справедливо отмечено редакцией в примечании к рассматриваемой статье Гололобова (1953), это усовершенствование не исключает полностью ошибки наблюдений в условиях сероводорода. Она остается из-за разности в высоте столбов пробы и стандарта, а следовательно, в различной степени влияния сероводорода на их окраску. Возможно, при соответствующем подборе их ошибка эта будет относительно меньше. Но достигнуть такого соотношения высот, особенно в полевых условиях, видимо, весьма затруднительно.

Действительно, проведенные в ноябре 1954 г. в открытой части моря (центральный район) и в районе Сухуми в мае — июне того же года на ряде станций в слое 125—300 м, а в одном случае до 800 м (т. е. в толще, содержащей H_2S) параллельные определения фосфатов в одной и той же пробе со стандартом, приготовленным на дистиллированной воде и на воде каждого данного горизонта, в последнем случае также не дали удовлетворительных результатов. Данные, полученные методом «двойной пробы», так же как и данные обычных определений «с продуванием», образуют такой же неровный и столь же высокий ряд величин (табл. 1).

Более того, в ряде случаев (станции 3а, 13—200 м, станция 9—300 м, ноябрь 1954 г. и др.) метод «двойной пробы» показал более высокое содержание фосфатов, чем обычный. В то же время для поверхностных вод, не содержащих H_2S , расхождение в величинах, полученных обоими методами, относительно невелико (табл. 1, цифры отмеченные звездочками).

В поисках путей, устраняющих влияние сероводорода при определении фосфатов по Дениже-Аткинсу, нами был применен метод увода H_2S осаждением $CdCO_3$. Для этой цели в склянку с притертой пробкой непосредственно перед взятием пробы вводился $CdCO_3$ из расчета 0,05 г на пробу для горизонтов до глубины 500 м и 0,1 г для более глубоких. После заполнения склянки пробой последняя весьма тщательно встряхивалась и через несколько минут отфильтровывалась через плотный, предварительно тщательно промытый фильтр. В фильтрате определялось содержание фосфатов обычно принятым методом.

В табл. 2 приведены результаты параллельных определений фосфатов в условиях осаждения сероводорода $CdCO_3$ и применения лишь энергичного продувания (до получаса) в пробах с горизонтов, содержащих H_2S . Как следует из этих данных, результаты определения фосфатов при осаждении сероводорода неизменно давали более низкий ряд величин по сравнению с пробами, из которых H_2S удалялся лишь длительным продуванием. Тем не менее полученный ряд величин также не вполне удовлетво-

Таблица 1

Результаты определений фосфатов (в мг/м³ Р) со стандартом, приготовленным на дистиллированной воде* (Д. в.) и на воде определяемой пробы — метод «двойной пробы» (М. в.)

Район Сухуми. Май — июнь 1954 г.

Глубина в м	Дата и № станций																									
	20 мая		25 мая						26 мая				1 июня						2 июня				1 июля			
	4		1с		2с		3с		4с		5с		1с		2с		3с		4с		5с		1с		2с	
	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д.	М. в.	Д. в.	М. в.		М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.
	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д.	М. в.	Д. в.	М. в.		М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.
175	170	163	54	61	40	56	—	—	88	525	43**	47**	40	47	—	—	37	61	36	47	34	43	57**	59**	57	43
200	150	125	154	178	208	150	322	285	201	150	143	72	143	163	141	117	154	163	104	117	129	138	222	213	184	129

Центральная часть моря. Ноябрь 1954 г.

Глубина в м	Дата и № станций																									
	31 октября		1 ноября								2 ноября								3 ноября						4 ноября	
	3		3а		4		5		7		8		9		10		11		12		13		14		15	
	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.
	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.	Д. в.	М. в.
125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	166	150	210	129	148	135	75	54	—	—	—	—	—	—
150	43	25	52	72	199	72	197	167	—	—	197	111	186	87	186	177	194	188	190	129	186	150	19**	19**	21**	20**
175	79	72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	170	158	28	22	—	—
200	201	129	206	307	168	66	175	158	224	72	206	97	183	150	219	168	175	106	170	135	179	228	34	27	19**	21**
250	134	64	164	102	230	56	156	150	173	106	194	97	179	142	201	150	190**	188**	173	122	186**	188**	52	44	25**	24**
300	183	150	181	150	272	102	170	177	179	158	186	135	186	213	206	213	197	213	183	117	201	227	243	167	26**	28**
500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	262	142	—	—	—	—
800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	421	177	—	—	—	—

* В результаты определений со стандартом на дистиллированной воде введена поправка на соленость.

** Пробы, давшие незначительные отклонения в величинах.

Таблица 2

Результаты определения фосфатов в присутствии сероводорода
методом Дениже-Аткинса при длительном продувании
и при введении CdCO_3 (в $\text{мг/м}^3 \text{ P}$)
Центральная часть Черного моря *

Глубина в м	Дата и № станций													
	Октябрь 1952						Август 1951							
	2/10		8/10		9/10		15		16		19		20	
	продува- ние	CdCO_3	продува- ние	CdCO_3	продува- ние	CdCO_3	продува- ние	CdCO_3	продува- ние	CdCO_3	продува- ние	CdCO_3	продува- ние	CdCO_3
31	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
125	44	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	—	—	—	—	—	55	—	—	—	—	—	—	—	—
200	126	57	—	—	—	191	165	66	173	114	—	—	193	88
250	—	—	—	—	—	143	—	—	—	—	—	—	—	—
300	163	80	—	—	—	132	147	81	184	63	170	88	201	112
500	—	—	—	—	—	156	—	—	—	—	—	—	—	—
750	206	116	—	—	—	157	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	—	—	258	184	—	192	—	—	—	—	—	—	—	—
1250	248	132	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1500	—	—	212	170	—	224	—	—	—	—	—	—	—	—
1750	206	132	212	190	—	200	—	—	—	—	—	—	—	—

* В результаты внесена поправка на соленость.

рителен, величины неровные и, возможно, в некоторой своей части даже занижены. Не исключена возможность, что фосфаты с CdCO_3 образуют «сорбционный комплекс» (Carritt a. Goodgel, 1954), в результате чего часть фосфатов при фильтрации выводится из раствора с осадком. Кроме того, этот метод в полевых условиях при массовых определениях недостаточно удобен.

СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕГО ФОСФОРА В СЕРОВОДОРОДНОЙ ТОЛЩЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Поскольку в методике определения фосфатов в условиях сероводорода нет полной ясности, а опубликованные данные, в том числе и наши наблюдения, для сероводородной зоны Черного моря крайне противоречивы (табл. 3), мы пошли по пути определения суммарного «общего фосфора», считая, что порядок величин последнего может быть надежным показателем степени обогащения глубинных вод этим элементом, тем более что присутствие H_2S не мешает определению количества общего фосфора. Выявление же хотя бы порядка величин органогенных элементов на глубинах Черного моря имеет первостепенное значение в решении ряда вопросов, в частности касающихся динамики этих элементов, особенно в свете имеющихся концепций обмена вод и связанной с ним проблемой продуктивности Черного моря (Водяницкий, 1941, 1954).

В основу определения общего фосфора взят метод мокрого сжигания в модификации Бруевича (Бруевич и Костромина, 1938; Бруевич, 1938). В практике наших определений конструкция пробки-холодильника

Таблица 3

Средние величины содержания фосфатов в сероводородной толще Черного моря по данным различных авторов (в $\text{мг/м}^3 \text{ P}$)

Глубина в м	Чигирин, 1930	Гололобов, 1949		Дацко, 1954	Добржанская
	по наблюдениям 1926—1928 гг.*	по наблюдениям до 1949 г.	по данным 1949 г.**	по наблюдениям 1949—1950 гг.*	по наблюдениям 1946—1954 гг.*
200	157	119	63	124	114
225	159	—	—	—	—
300	179	133	—	135	130
500	211	138	80	174	161
750	—	—	86	—	—
1000	244	141	95	188	188
1500	270	151	110	240	218
2000	276	169	114	262	242

* В наблюдения, отмеченные звездочкой, поправка на соленость не введена.

** Данные опубликованы в работе Бруевича (1953).

несколько отличалась от описанной в указанных работах. Пробкой-холодильником служила обычная пробирка диаметром около 15 мм, длиной 105 мм иенского стекла с развернутым краем. В нее была вставлена корковая пробка с двумя стеклянными тонкими трубками. Одна из них доходила до дна пробирки, другая лишь слегка погружалась в нее. Трубка, достигающая до дна пробирки, соединялась резиновой трубкой с краном водопровода, другая же служила для оттока воды; таким путем пробке-холодильнику обеспечивалось непрерывное охлаждение. Пробка-холодильник почти вплотную прилегала к стенкам горла колбы Кьельдаля и удерживалась в ней своим развернутым краем. Такая пробка-холодильник позволяла придавать колбе любой угол наклона.

Количество общего фосфора, полученное после сжигания пробы, так же, как и количество фосфатов до сжигания ее (неорганический фосфор), определялось обычно принятым методом Дениже-Аткинса.

Как следует из данных, приведенных в табл. 4, содержание общего фосфора в сероводородной зоне Черного моря оказалось примерно в полтора-два раза ниже величин одних фосфатов, полученных обычным методом Дениже-Аткинса для этих же проб воды. В верхней — окислительной зоне — соотношение между содержанием общего фосфора и фосфатами является нормальным (см. ниже, табл. 30).

Данное несоответствие между содержанием общего фосфора и фосфатами (часть большего целого) в сероводородной зоне Черного моря следует рассматривать как результат несовершенства применяемого в этом случае метода определения фосфатов. В присутствии H_2S метод Дениже-Аткинса как уже отмечалось, механически ведет к завышенным результатам. В действительности, содержание фосфатов ни при каких обстоятельствах не может превышать содержание общего фосфора. Следовательно, содержание фосфатов на глубинах 1500—2000 м, как это следует из табл. 4, в данном случае не могло быть выше 240—245 $\text{мг/м}^3 \text{ P}$.

Таблица 4

Содержание общего и неорганического фосфора (в $\text{мг/м}^3 \text{P}$) в сероводородной зоне центральной части восточной половины Черного моря* (сентябрь 1946 г.)

Глубина в м	№ станции										Среднее	
	1		2		3		4		5			
	неоргани- ческий	общий	неоргани- ческий	общий	неоргани- ческий	общий	неоргани- ческий	общий	неоргани- ческий	общий	неоргани- ческий	общий
150	—	—	128	161	188	100	67	62	—	—	124	107
200	—	164	268	124	212	139	110	160	—	124	196	143
300	217	164	—	—	218	148	162	180	—	155	197	161
500	—	—	—	185	236	172	—	198	—	182	236	185
750	—	—	262	167	253	197	224	211	—	233	246	202
1000	263	241	—	215	313	215	189	218	—	239	254	226
1250	—	—	203	186	328	221	—	—	—	221	264	209
1500	251	241	346	187	337	224	—	—	—	239	312	223
1750	—	—	380	197	347	227	—	—	—	246	359	223
2000	—	—	402	202	—	—	—	—	—	—	—	—

* В результаты внесена поправка на соленость.

Полученные для сероводородной зоны величины общего фосфора нельзя считать полностью идентичными содержанию фосфатов для этой зоны в целом. Но принимая во внимание известные из литературных источников (Sverdrup и др., 1946, и др.; подробнее будет разобрано далее) закономерности распределения органического фосфора в морях, а именно — отсутствие его накопления на больших глубинах, в Черном море также следует ожидать по мере углубления все большего и большего преобладания неорганической его фракции. В верхнем слое, до 500—1 тыс. м глубины (более точно границы будут определяться районом наблюдений), содержание фосфатов будет относительно ниже количества общего фосфора, чем в глубже лежащих слоях. Для толщи же моря, начиная примерно с 1 тыс. м и глубже, очевидно, без большой погрешности приводимые значения количества общего фосфора можно рассматривать главным образом как содержание фосфатов. Если провести аналогию с Каспийским морем, которое по своему режиму всего ближе к Черному морю и в котором количество органического фосфора на глубине 800 м, по наблюдениям Е. Г. Виноградовой, равно 16—26 $\text{мг/м}^3 \text{P}$ (Скопинцев, 1950), то, исходя из этих величин, в Черном море на глубине 1 тыс. м содержание фосфатов (судя по величине общего фосфора) должно быть порядка 200 $\text{мг/м}^3 \text{P}$, во всяком случае больше, чем 95 $\text{мг/м}^3 \text{P}$, как это следует из данных Гололобова за 1949 г. (Бруевич, 1953). Из последних вытекает, что содержание фосфатов в Черном море на глубине 1 тыс. м того же порядка, что в Индийском (около 90 $\text{мг/м}^3 \text{P}$) и Тихом (около 95 $\text{мг/м}^3 \text{P}$) океанах на этих же глубинах (Sverdrup и др., 1946).

Как следует из ряда работ последних лет (Водяницкий, 1941, 1948, 1954; Дацко, 1951; Киткин, 1952, и др.), а также из наших наблюдений по вертикальному распределению кислорода, фосфатов и окисляемости, в Черном море безусловно происходит глубокий водообмен, отражающийся

в какой-то степени почти на всей толще Черного моря. Наряду с этим, как вытекает из этих же работ, несомненно и то, что эти процессы в Черном море происходят значительно медленнее, чем в океане, вследствие чего и поступление органогенных элементов в поверхностные слои с глубин Черного моря также соответственно замедлено. Поэтому на больших глубинах Черного моря следует ждать и относительно большего по сравнению с океаном накопления фосфатов.

Так как метод определения общего фосфора в присутствии H_2S , по-видимому, не вызывает каких-либо принципиальных сомнений, то величины, полученные Гололобовым в 1949 г. для сероводородного слоя, очевидно, до некоторой степени занижены, тем более что метод «двойной пробы», который автор в данном случае, видимо, применял, как уже отмечалось ранее, не дает вполне достоверных результатов.

Вероятно, будет меньшей ошибкой рассматривать полученные величины общего фосфора для глубинной толщи Черного моря, начиная примерно с 1 тыс. м, главным образом как количество растворенной неорганической фракции его, считая, что на больших глубинах Черного моря, в частности глубже 1 тыс. м, органическое вещество в преобладающей своей массе минерализовано. Последнее находит некоторое подтверждение в наблюдениях по скорости разложения органического вещества в толще моря. По данным Скопинцева (1948б), распад отмерших планктонных организмов происходит в основном в слое 0—1 тыс. м; с меньшей скоростью этот распад идет в анаэробных условиях. Однако для режима Черного моря, наряду с осложняющими распад органического вещества анаэробными условиями, характерно неизменное повышение плотности с глубиной, вследствие чего замедляется скорость падения планктонных организмов и их остатков. Относительно большая длительность пребывания падающего биосестона в каждой данной толще воды, вероятно, в какой-то степени компенсирует неблагоприятные для распада анаэробные условия Черного моря. В конечном результате распад органического вещества в Черном море, очевидно, происходит на глубинах, сравнительно близких к океаническим.

Полученное распределение общего фосфора хорошо согласуется с изложенным: толща воды глубже 1 тыс. м в основном наиболее однородна и стабильна в своих показателях; в этом слое градиент нарастания величины общего фосфора с глубиной близок к нулю. Последний факт удалось проследить даже на завышенных данных 1926—1928 гг. (Чигирин, 1930), что дало Чигирину возможность говорить о большой равномерности в распределении фосфатов в глубинах Черного моря.

Во всяком случае содержание неорганической фракции фосфора (фосфатов) ни при каких обстоятельствах не может превышать величину общего фосфора, следовательно, широко приводимые в литературе для сероводородной зоны данные по фосфатам, в том числе и наши наблюдения, полученные оригинальным методом Дениже-Аткинса, по отношению к действительному содержанию их, как это следует из табл. 4, завышены не менее чем в полтора раза.

Допущенная в первых наблюдениях методическая ошибка в определении фосфатов в H_2S -зоне привела к ошибочному представлению о громадном накоплении фосфатов на глубинах Черного моря, превышающем в 3—4 раза содержание его в океане. В течение ряда лет этот факт рассматривался как неопровержимое подтверждение полной застойности вод сероводородной зоны и вместе с тем как показатель катастрофического обеднения органогенными элементами поверхностных слоев Черного моря со всеми вытекающими отсюда для него последствиями.

Найденные максимальные величины общего фосфора ($240-245 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$) в глубинных слоях Черного моря не могут служить подтверждением данного взгляда. Несомненно, содержание фосфора на глубинах Черного моря в толще 1 тыс.—2 тыс. м выше содержания фосфатов на этих же горизонтах в океане. Однако это превышение составляет всего лишь около $100-150 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ по сравнению с содержанием их на тех же горизонтах в Индийском и Тихом океанах и примерно в тех же пределах по сравнению с Атлантическим океаном, а не более $200 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ (до $300 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$), как это вытекало из данных предыдущих лет.

Относительно небольшое превышение содержания фосфора на глубинах Черного моря по сравнению с океаном, при существующих гидродинамических особенностях Черного моря, влечет за собой ряд существенно важных следствий для понимания динамики органического вещества в Черном море и связанных с ней вопросов продуктивности его.

1. Количество поступающего в глубинные слои Черного моря свежего, обогащенного фосфатами органического вещества относительно невелико, возможно, даже немногим превышает поступление такового на аналогичные глубины в океан. Среди представителей фитопланктона, создающих основную массу его в открытом море, преобладающие организмы, размеры которых не превышают 50μ (Морозова-Водяницкая, 1948, 1950; Харвей, 1948), согласно исследованиям Скопинцева (1947; 1950), полностью распадаются в слое $0-200 \text{ м}$, т. е. в условиях Черного моря в его кислородной зоне. Более крупные формы (а также фекалии мелких copepod и некоторых личинок рыб) размером до 200μ разлагаются на 50% в значительной мере в слое $0-300 \text{ м}$; на глубине 500 м значительная часть их разлагается уже на 90%. В соответствии с этими данными, в глубинную толщу Черного моря попадают в относительно малой степени разложения ($< 50\%$) лишь более крупные формы.

Приводимые глубины распада органического вещества, очевидно, являются лишь нижними пределами. В действительности не лишено вероятности, что отдача основной массы фосфора происходит в более верхних слоях. Так из данных Редфилда и других (Redfield и др., 1937) следует, что 90% общего фосфора на глубине около 170 м представлено уже фосфатами и что полная регенерация их из биосестона заканчивается в слое $0-240 \text{ м}$. К тому же, если принять во внимание скорость падения в море частиц (в метрах за сутки), найденную Скопинцевым (1947), и скорость отдачи фосфора органическим веществом в окружающую среду, по наблюдениям ряда других авторов (Вотинцев, 1952, 1953; Redfield и др., 1937; Renn, 1937; H. Seiwel, G. Seiwel, 1938, и др.), то фосфор из частиц размером до 50μ должен полностью перейти в раствор в пределах зоны фотосинтеза. Так, по наблюдениям Вотинцева (1953), отдача фосфатов мелозирой (*Melosira baikalensis*) почти на 60% (58%) происходит в первые 5 суток при скорости падения ее в воде $3-4 \text{ м}$ в сутки, т. е. в слое $0-17 \text{ м}$. По данным же Сейуэлла и Сейуэлла (H. Seiwel, G. Seiwel, 1938), основная масса фосфатов регенерирует в течение первых $1-2$ суток. По исследованиям Апштейна (Apstein, 1910), диатомовые и перидинеи начинают разлагаться, едва успев пройти $4-5 \text{ м}$. По наблюдениям же Морозовой-Водяницкой (частное сообщение), бесцветные голые жгутиковые полностью распадаются в первые $2-3$ часа — «на глазах».

В Черном море, кроме того, при всех прочих равных условиях, вследствие имеющегося в нем значительного расслоения плотности с глубиной, особенно резко выраженного в летний период, в верхних горизонтах кислородной толщи создаются для распада более благоприятные условия, удерживающие биосестон в этом слое относительно более продолжительный

период времени. Последнему обстоятельству Х. Сейуэлл и Г. Сейуэлл (1938) придают большое значение для режима фосфора в зоне фотосинтеза. По их мнению, образование в летний период слоя скачка плотности в пределах зоны фотосинтеза способствует накоплению здесь погружающихся мертвых организмов, которые удерживаются в этом слое в течение достаточного времени для разложения органического вещества до форм, вновь доступных для фитопланктона.

Уменьшение количества растворенного легко окисляемого органического вещества с глубиной в Черном море хорошо прослеживается и на вертикальном распределении величин перманганатной окисляемости (по методу Скопинцева, 1948а) «в нейтральной среде». Последняя, как это отмечается рядом авторов (Гололобов, 1949; Пирогова, 1950; Скопинцев, 1952), в том числе и нашими многочисленными наблюдениями, в кислородной толще моря неизменно и закономерно, по мере углубления, уменьшается, понижаясь на глубине 150—200 м по сравнению с поверхностной величиной примерно в полтора—два раза. Скопинцев (1948а) высказал мнение, что нет оснований считать убывание величин окисляемости воды с глубиной результатом уменьшающейся способности к окислению органического вещества в нижних слоях. В действительности, как это отмечает Скопинцев (1948а), следует ожидать, что величина окисляемости морской воды практически пропорциональна содержанию в ней органического вещества.

2. В Черном море отсутствует полная обособленность верхней кислородной толщи от глубинных слоев. Концепция глубокого обмена вод Черного моря, а с ним и поступления органогенных элементов с глубин в поверхностные слои, развитая в настоящее время рядом работ (Водяницкий, 1941, 1948, 1954; Киткин, 1952; Neumann, 1943а, 1943в и др.), нашла свое отражение и в вопросе о содержании фосфора на глубинах Черного моря. Отмеченное для них относительно небольшое по сравнению с океаном накопление фосфатов обусловлено не только малым поступлением последних в эту толщу, но также и некоторым выносом их из нее. Несомненно, глубинные воды Черного моря в какой-то степени поступают в вышележащие слои, вынося с собой запасы фосфора. Это положение, как будет следовать ниже, также хорошо согласуется с пространственным распределением фосфатов в промежуточных слоях кислородной зоны Черного моря — на горизонтах 50—75 м. Наблюдаемая же концентрация фосфора на больших глубинах Черного моря является тем остаточным количеством, которое образуется здесь в результате поступления его сверху с органическим веществом и одновременным выносом фосфатов в вышележащие слои. Разность в содержании фосфора в глубинной толще (1 тыс. — 2 тыс. м) Черного моря и в океане на этих же горизонтах, очевидно, можно рассматривать в первом грубом приближении как величину, в какой-то мере характеризующую «стабильность» глубинных вод Черного моря по сравнению с океаном.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОСФАТОВ

Учитывая изложенные выше методические затруднения определения фосфатов в присутствии сероводорода, а также ошибочность данных предыдущих лет для H_2S -зоны, рассматриваемые далее закономерности горизонтального и вертикального распределения фосфатов в Черном море относятся по преимуществу к кислородной толще. Данные по фосфатам даже для промежуточного слоя, содержащего одновременно O_2 и H_2S для

«окислительно-восстановительной зоны»¹ (Данильченко и Чигирин, 1926; 1929), мало надежны.

Что же касается наблюдений в поверхностных слоях (от 0 до 100 м), то применение здесь общепринятого метода определения фосфатов Дениже-Аткинса, кроме обычных его недочетов, каких-либо принципиальных сомнений не вызывает. В частности, данные, полученные СБС, начиная с 1930 г. и во все последующие годы, не содержат каких-нибудь грубых искажений. Как уже было упомянуто, на протяжении этого периода применялась одна и та же модификация метода. Кроме того, круг лиц, проводивших определение фосфатов, был также весьма ограничен, чем в значительной мере исключаются отклонения в полученных результатах из-за индивидуальной ошибки.

Вопрос о реальности данных по фосфатам 1926—1928 гг. для кислородной толщи Черного моря все же, очевидно, остается открытым, так как при допущении, что они грубо завышены, возникают следующие осложнения.

1. Если в наблюдениях этих лет стандарт не соответствует принимаемой величине, то отклонение в содержании фосфатов для больших глубин сероводородной толщи (1 тыс.—2 тыс. м) между наблюдениями 1926—1928 гг. и последующими годами должно составлять 100—150 мг/м³ P₂O₅. Однако величины фосфатов для названных глубин, полученные в обычной модификации метода Дениже-Аткинса, по наблюдениям сотрудников СБС (данные экспедиций 1932, 1935, 1946 и более поздних лет), а также других исследователей (Дацко, 1954) ~~единичны~~ *одного порядка*.

Колебания в содержании фосфатов

Глубина в м	Январь				Февраль				Март				Апрель				Май				Июнь			
	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений

Р а й о н о т к р ы

0	—	—	—	—	0	26	5	19	0	51	17	5	0	50	3	70	4	20	7	13	4	8	7	14
10	—	—	—	—	0	15	3	19	0	25	5	5	0	21	1	72	5	14	7	13	5	9	7	14
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	19	3	30	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	0	21	5	19	0	23	5	5	0	25	2	71	5	14	7	12	0	10	7	14
50	—	—	—	—	0	17	6	19	0	33	9	5	0	41	5	68	7	14	9	12	6	24	12	12
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	39	12	22	—	—	—	—	—	—	9	1
75	—	—	—	—	0	93	20	18	0	100	35	4	0	56	16	63	10	18	12	11	8	119	24	12
100	—	—	—	—	0	36	24	15	20	40	32	4	0	92	28	53	9	28	17	9	12	60	25	12
125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	23	14	10	17	41	29	9	19	20	20	5

Р а й о н в ы х о

0	0	10	6	19	0	10	5	12	0	5	2	20	0	6	2	17	0	9	2	13	0	5	2	20
10	0	9	5	15	0	8	5	12	0	6	2	20	0	8	2	17	0	8	2	13	0	21	3	20
14	0	9	4	15	0	10	5	12	0	6	2	20	0	7	3	17	0	10	2	13	0	10	2	20

¹ В данной работе термины «кислородная» и «сероводородная» толща употребляются лишь по характерному преобладанию в ней того или иного газа. В отношении же характеристики этих слоев по происходящим в них химическим процессам подразделение на «окислительную» и «восстановительную» зоны, как это предложили Данильченко и Чигирин (1929), является более соответствующим.

2. Определение фосфатов, проведенное в 1929 году в районе мыса Херсонес в модификации, описанной для 1926—1928 гг., дало уже значительно более низкий ряд величин по сравнению с данными 1926—1928 гг. (табл. 5).

Таблица 5

Содержание фосфатов (мг/м³ Р) в поверхностном слое
в районе мыса Херсонес по наблюдениям 1929 г.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее
Р мг/м³	0	14	11	0	0	0	2	5	1	0	4	16	4

Основой суждения о содержании фосфатов в кислородной толще Черного моря и о их пространственном распределении, а также распределении по вертикали послужили как наблюдения, полученные в послевоенные годы на ряде отдельных разрезов, относящихся к отдельным районам моря и различным сезонам года, так и многочисленные данные августа 1951 г. и почти столь же полные наблюдения апреля 1952 г. и частично ноября 1954 г.

Полученные данные весьма неустойчивы в своих показателях; крайние пределы величин лишь для одного поверхностного слоя составляют от 0 до 50 мг/м³ Р (табл. 6). Такие же большие колебания в содержании фосфатов отмечены и по вертикали.

Таблица 6

(в мг/м³ Р) (по наблюдениям 1946—1955 гг.)

Июль				Август				Сентябрь				Октябрь				Ноябрь				Декабрь			
минимум	максимум	среднее	количество наблюдений	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений	минимум	максимум	среднее	количество наблюдений

того моря

3	4	3	3	0	55	9	138	0	12	6	32	0	25	9	12	0	50	4	53	—	—	—	—
4	5	4	3	0	64	8	156	0	15	7	30	0	56	10	12	0	48	3	53	—	—	—	—
—	—	—	—	0	46	7	11	—	—	11	1	0	10	2	5	0	0	0	31	—	—	—	—
—	—	—	—	0	30	11	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	5	5	3	0	100	11	141	0	21	7	29	0	39	6	12	0	16	3	53	—	—	—	—
5	5	5	2	0	57	16	129	0	31	10	24	0	25	11	11	0	22	6	53	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	15	9	4	11	16	13	3	—	—	—	—
5	6	5	2	0	192	28	117	0	56	28	20	9	60	22	12	0	38	15	51	—	—	—	—
—	—	—	—	0	161	52	92	6	78	41	20	13	144	33	10	0	64	22	48	—	—	—	—
—	—	—	—	24	24	24	1	—	—	—	—	25	36	32	3	18	163	42	34	—	—	—	—

да из бухты

0	6	2	20	0	20	3	20	0	8	3	20	0	4	2	16	0	14	6	16	0	12	5	20
0	7	2	20	0	10	2	20	0	6	2	20	0	5	2	16	0	18	6	16	0	10	5	20
0	7	2	20	0	10	2	20	0	7	2	20	0	8	2	16	0	16	6	16	0	10	5	20

Содержание фосфатов в трофогенном слое Черного моря, как известно, определяется рядом условий, в зависимости от которых количество их может колебаться в той или иной степени. Представить строго постоянную картину пространственного распределения фосфатов, зависимость их

количества от района моря и времени года, особенно для самой верхней, наиболее неустойчивой в своих показателях толще 0—50 м, весьма затруднительно, а тем более для Черного моря, режим которого осложнен рядом обстоятельств, в первую очередь его климатическими данными.

Черное море по своим общеклиматическим условиям не является однородным «типичным» морем умеренных широт. Отдельные его районы, как, например, Кавказское, Анатолийское побережье, характеризуются и зимой относительно высокими температурами воды, достигающие иногда на 0 м до 12°C и даже более, в то время как часть моря в северо-западном районе зимой часто покрывается толстым слоем льда. Эти противопоставляемые по своим климатическим данным районы, очевидно, должны различаться также и по режиму органогенных элементов. В южной и юго-восточной частях, где метеорологические условия в большинстве своем на протяжении почти всего года благоприятны для фотосинтезирующих процессов, потребление фосфатов будет происходить в какой-то мере на протяжении всего года. В северных частях в зимний период следует ожидать относительно большего преобладания процессов накопления фосфатов по сравнению с их расходом.

Кроме того, гидрометеорологическая обстановка Черного моря подвержена достаточно резким колебаниям также от года к году. Как следует из разбираемой ниже литературы, характер метеорологических условий в значительной мере отражается на гидродинамических процессах моря в целом, и в частности определяет собой повторяемость и длительность сгонно-нагонных явлений. Последние, вследствие относительно небольшой акватории моря и большей замкнутости его по сравнению с другими морями, приобретают, видимо, первостепенное значение в глубинном обмене вод — в выносе органогенных элементов на его поверхность.

И, наконец, в Черное море, по сравнению с океаном, поступает большая масса пресных вод, количество и распределение которых по акватории моря, а с ними и обогащение фосфатами за счет материкового стока отдельных районов его также в значительной степени определяется гидрометеорологической характеристикой данного года.

От изложенных факторов в значительной мере зависит режим биогенных элементов и ряд биологических процессов, в первую очередь интенсивность развития фитопланктона с сопутствующими ему явлениями. Общая совокупность этих тесно взаимосвязанных процессов определяет содержание фосфатов в каждый данный момент в том или ином районе моря и обуславливает наблюдаемый большой диапазон годовых и сезонных колебаний в количестве фосфатов — от 0 до $50\text{ мг/м}^3\text{ P}$ и более — в зоне фотосинтеза (табл. 6).

В основу суждения о пространственном распределении фосфатов положены наблюдения, полученные в августе 1951 г. и апреле 1952 г. Данные этих двух лет являются наиболее полными, охватывающими почти всю площадь моря, и позволяют с достаточной достоверностью судить о закономерностях горизонтального и вертикального распределения фосфатов и о зависимости их величин от района моря. Для выявления местных особенностей пространственного распределения фосфатов в основу взяты главным образом данные летних наблюдений (август 1951 г.). Закономерности пространственного распределения фосфатов в толще 0—50 м в весенний период в значительной мере маскируются обильным развитием в это время фитопланктона, когда благодаря последнему фосфаты из верхних горизонтов могут быть извлечены нацело почти по всему морю, как это было в апреле 1952 г.

Распределение фосфатов на большей части моря в верхних горизонтах

Таблица 7

Распределение фосфатов в Черном море в августе 1951 г. (в мг/м³ Р)
Северо-Западный район

Глубина в м	№ станций																		
	1	4	8	9	11	13	14	16	18	19	21	23	25	26	28	31	32	34	36
0	7	0	0	0	0	7	0	11	0	7	6	12	0	0	7	10	9	9	8
10	0	0	0	0	0	10	0	0	11	8	10	11	0	0	7	10	8	9	11
25	—	0	0	0	0	8	12	13	5	—	10	12	7	0	—	—	—	—	—
50	—	0	0	0	0	10	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	0	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	11	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Западный берег Крыма—Босфор

Глубина в м	№ станций																						
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	17	18	20	21	23	25	27	29	31	33
0	28	28	8	0	0	0	0	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	3	4	5	0	6	0	46	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	—	1	78	2	2	0	1	26	2	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	—	4	57	3	5	8	9	24	9	0	9	0	6	0	0	10	0	0	0	—	—	—	—
75	—	—	12	2	24	24	30	30	94?	—	10	8	—	17	18	19	10	7	—	—	—	—	—
100	—	—	—	23	40	32	32	30	—	—	14	15	—	21	18	—	42	—	—	—	—	—	—

Южный берег Крыма—открытое море

Глубина в м	№ станций														
	1	2	5	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	19	20
0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Сл	8
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Сл	0	18	8
50	0	0	0	Сл	0	12	13	17	Сл	35	0	6	11	25	9
75	—	0	Сл	12	0	30	29	28	32	45	19	34	42	42	35
100	—	Сл	6	33	21	46	40	50	45	45	40	46	48	42	56

Керченский пролив—открытое море

Глубина в м	№ станций																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	8	9	6	10	11	10	10	28	25	10	8	16	9	9	10	10	10	55	28	25	42	44	27	33
10	6	9	6	9	10	10	10	28	27	8	9	20	12	9	9	10	10	55	24	—	40	34	26	32
25	6	8	6	9	10	10	11	34	32	9	8	17	12	9	9	12	—	—	24	28	40	32	25	—
50	6	8	6	9	12	11	12	40	43	10	8	12	12	8	10	—	—	—	—	—	40	39	—	—
75	—	14	7	27	—	28	13	32	50	53	48	10	12	13	10	—	—	—	—	—	—	50	32	—
100	—	12	14	22	—	57	—	46	62	—	56	12	—	17	14	—	—	—	—	—	59	34	—	—

Таблица 7 (продолжение)
Кавказский берег — открытое море

Глубина в м	№ станций																	
	1	4	6	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23	27
0,5	0	0	16	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0
10	Сл	0	15	27	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	Сл
25	12	20	12	43	Сл	0	0	0	Сл	26	40	Сл	18	0	0	0	0	С
50	—	20	17	50	25	0	0	Сл	20	35	50	29	42	25	25	0	0	28
75	—	45	22	79	37	50	91	28	Сл	38	68	79	86	69	75	39	20	0
100	—	46	45	93	18?	102	116	98	46	50	50	114	106	108	116	83	61	—

Восточный угол моря

Глубина в м	№ станций														
	1	5	7	10	11	12	13	16	19	22	27	29	31	34	41
0	3	1	7	4	8	10	12	12	15	18	20	15	20	17	10
10	10	9	12	10	10	12	15	21	20	17	15	17	20	21	10
25	—	18	15	11	14	15	20	21	22	20	—	17	20	21	10
50	—	41	20	14	22	16	25	23	27	24	—	22	30	22	14
75	—	41	20	14	22	23	29	37	49	34	—	24	30	24	16
100	—	41	22	20	24	38	37	58	51	56	—	31	42	29	19

Сл — следы—сокращение, принятое для всех таблиц.

в августе 1951 г. представляло довольно однообразную картину. В верхней толще воды, примерно до глубины 50 м, т. е. в слое наиболее интенсивного фотосинтеза¹, на преобладающей части моря, как следует из табл. 7, фосфаты отсутствовали (0 мг/м³Р). Относительно высокое содержание фосфатов в этом слое было отмечено лишь на сравнительно небольших участках, в районах, подверженных влиянию материкового стока, как-то: вблизи устьев Дуная, Днестра, в районе рек Кавказского побережья, в частности в восточном углу моря, а также в районе выхода вод Азовского моря. В августе 1951 г. наиболее богатым по содержанию фосфатов в поверхностных слоях оказался район, примыкающий к Керченскому проливу, где содержание их на поверхности превышало даже 30 мг/м³Р (до 50 мг/м³). При этом наибольшие величины наблюдались не непосредственно у выхода вод из Керченского пролива, а на некотором расстоянии от него — несколько к югу, распространяясь веерообразно, примерно от Аю-Дага до Туапсе. Приблизительно от центра этой области к ее периферии содержание фосфатов постепенно снижалось, сравниваясь с содержанием их в остальной части моря (до 0,00 мг/м³ Р).

Относительно высокое содержание фосфатов по сравнению с остальной частью моря обнаружено также и в восточном районе моря — в участке, расположенном к востоку от линии, соединяющей Сухуми и мыс Иерос, — на всем протяжении которого количество их на поверхности исчислялось главным образом в пределах около 10 ± 3 мг/м³Р. Лишь на отдельных относительно небольших участках этого района содержание фосфатов достигало 20 мг/м³Р, как это было, например, вблизи устья Риона.

¹ Глубина компенсационного слоя, как известно, непостоянна. Она зависит в каждый данный момент от количества света, состояния неба, прозрачности воды, от состава популяции и т. д.

Остальные районы влияния материкового стока как по величине содержания, так и по ареалу их распространения в августе 1951 г. были выражены менее четко. Так, например, в северо-западном районе фосфаты были обнаружены только в узкой прибрежной полосе, где количество их в основном не превышало $10 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$.

Начиная же с глубины 50 м, напротив, фосфаты отмечены в преобладающей части моря. В пространственном распределении фосфатов на этом горизонте также наблюдается ясно выраженная закономерная связь между содержанием фосфатов и районом моря. Однако характер распределения в нем фосфатов до некоторой степени противопоставлен наблюдаемому в вышележащем слое — наибольшее их количество отмечено в центральных частях моря, наименьшее — в прибрежных.

Так, в августе 1951 г. на глубине 50 м на преобладающей части центрального района моря фосфаты обнаружены уже в количестве от 10 до $20 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. При этом в западной и восточной половинах моря на этом горизонте являются четко выраженные небольшие области с максимальными величинами фосфатов — «купола», где содержание фосфатов заметно превышает $20 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$; в западном «куполе» оно доходит до $30 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$, в восточном — больше $40 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. К периферии этих «куполов», по мере приближения к берегам, идет быстрое снижение величин: в восточной половине до $10 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$, в западном до $0,00 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В северо-западном районе, в отдалении от берегов фосфаты также отсутствуют. Сохраняется небольшое «пятно» с содержанием фосфатов до $10 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ лишь вблизи устья Дуная. По-видимому, на этом горизонте в узкой прибрежной полосе вдоль всего моря, где нет глубокого влияния материкового стока, фосфаты продолжают отсутствовать.

Аналогичное описанной схеме распределение фосфатов наблюдается и на глубине 75 м. Различие лишь в том, что на этой глубине фосфаты обнаружены почти по всей акватории моря, в том числе и в северо-западном районе, в количестве, заметно превышающем содержание их на горизонте 50 м. Области восточного и западного «куполов» значительно расширены, в центре их количество фосфатов превышает $40 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. Особенно высокое содержание фосфатов было найдено в восточном «куполе», где отдельные величины достигали 70 и даже более $\text{мг/м}^3 \text{ Р}$. К периферии «куполов» количество фосфатов снижается до $20 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ в восточном углу моря, в северо-западном районе — до $10 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В прибрежной полосе относительно высокие величины — до $30 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ — продолжают сохраняться лишь в небольшой области на некотором расстоянии от Керченского пролива.

Отмечаемая в распределении изолиний фосфатов на горизонтах 50—75 м четкая куполовидность, на 100-метровой глубине несколько сглаживается, но все же еще продолжает сохраняться. На этом горизонте в центральной части моря наблюдается высокое содержание фосфатов, преимущественно $50\text{—}60 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В отдельных случаях в центральной части восточной половины моря количество фосфатов достигало более $80 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. Относительно низкие величины (до $20 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$) продолжают сохраняться лишь в северо-западном районе, в восточном углу моря и, по-видимому, в узкой прибрежной полосе большей части моря. В районе Азовского моря распределение фосфатов выравнивается и по величине мало отличается от остальной части моря.

По всей видимости, характер пространственного распределения фосфатов на горизонте 150 м в общих чертах сходен с таковым на 100-метровой глубине. В центральной части моря содержание фосфатов, очевидно, колеблется главным образом в пределах от 70 до $80 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$, ближе к берегам снижается до $50\text{—}60 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В северо-западном районе, а также вдоль

западного побережья примерно до мыса Калиакра продолжают сохраняться низкие величины фосфатов — до $20 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. Приводимые для этого горизонта в центральной части моря величины фосфатов являются лишь ориентировочными, так как на значительной части его на глубине 150 м уже имеется сероводород. Данные же по фосфатам, полученные методом Дениже-Аткинса в модификации, обычно принятой в океанографии, в условиях сероводородной зоны, как уже отмечалось, ошибочно завышены. По этой же причине полученные нами многочисленные данные для более глубоких слоев Черного моря не могут быть использованы для характери-

Таблица 8

Распределение фосфатов в Черном море
в апреле 1952 г. (в $\text{мг/м}^3 \text{ Р}$)

Западный берег Крыма—Босфор

Глубина в м	№ станций															Сред- нее
	1	2	3	6	7	8	10а	11	13	14	15	17	18	19		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	—	0	3	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	2
50	—	3	3	0	0	0	26	26	0	0	0	0	0	0	0	4
75	—	4	3	0	23	21	39	33	0	0	0	0	0	0	0	9
100	—	—	8	20	26	31	44	37	9	15	13	0	—	—	—	20

Южный берег Крыма—открытое море

Глубина в м	№ станций																	Среднее
	1	5	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
50	4	0	0	12	0	15	0	0	29	22	0	0	0	0	0	0	6	
60	—	—	—	—	—	—	—	—	34	0	0	0	0	—	—	—	8	
75	—	0	13	21	41	46	32	36	51	41	20	0	0	0	—	—	24	
100	—	—	22	23	45	47	42	43	25?	25?	41	20	—	—	—	—	32	

Кавказский берег—открытое море

Глубина в м	№ станций																	Среднее
	1	4	6	7	8	10	11	12	13	14	16	17	19	21	22			
0,5	0	—	0	0	0	0	0	0	48	0	49	0	0	0	0	7		
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
50	—	0	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
60	—	—	0	29	39	0	0	27	32	38	41	26	0	0	—	16		
75	—	—	32	48	48	32	32	56	54	49	53	32	0	—	—	40		
100	—	—	62	63	—	52	76	64	64	74	79	92	—	—	—	70		

стики пространственного распределения их в этой толще. Данных же по «общему» фосфору для суждения о закономерностях пространственного распределения недостаточно, они позволили судить лишь о порядке величин фосфатов в глубинной толще Черного моря.

Схема пространственного распределения фосфатов, наблюдавшегося в августе 1951 г., в основном сохраняется и в апреле 1952 г. с тем лишь различием, что формальная истощенность фосфатами ($0,00 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$) в верхнем 40—50 м слое распространяется почти на всю площадь моря (табл. 8). Так, если в августе в районах, подверженных влиянию речного стока, как северо-западный район, на большем или меньшем участке его фосфаты содержались, то в апреле они в основном отсутствовали и здесь (за исключением нескольких небольших «пятен»). В восточном углу моря наблюдений в это время не проводилось. По-видимому, не будет большой погрешности в допущении, что содержание фосфатов и в этом районе было также значительно понижено. Основанием для такого заключения служит общеизвестность причины, вызывающей столь глубокое истощение фосфатов в море, а именно, интенсивное развитие фитопланктона в этот период года. Наблюдавшееся здесь в это время пространственное распределение кислорода является подтверждением происходящего повсеместно энергичного потребления фосфатов, в том числе и в районах материкового стока. В частности, содержание кислорода в северо-западном районе в слое 0—10 м вблизи устьев рек в апреле 1952 г. было более 8 мл/л O_2 , а процент насыщения достигал 120, в остальной части моря процент насыщения в этом слое достигал 105, в то время как в августе 1951 г. степень насыщения кислородом в этой толще по всему морю была меньше 100% (96—98%) (Добрянская, 1954).

Обедненность моря фосфатами в апреле 1952 г. прослеживается и в глуболежащих слоях. В широкой полосе (до 15 миль и более) вдоль всего побережья западной половины моря, в том числе и в северо-западном районе, а также на значительном пространстве центральной части — в участке моря, расположенном между западным и восточным «куполами», фосфаты не были обнаружены и на глубине 50 м. Идущая вдоль берега более узкая по сравнению с 50-метровым горизонтом полоса на глубине 75 м также лишена фосфатов.

В то же время в халистатических областях в апреле более четко вырисовываются области высокого содержания фосфатов — «купола». Последнее относится главным образом к западной половине моря; для восточной части его достаточным количеством данных для этого периода, как уже отмечалось, не располагаем.

Область, занимаемая западным «куполом», в апреле была значительно шире, чем в августе; также несколько повысилось содержание в ней фосфатов. Так, максимальное количество фосфатов в августе в центре западного «купола» на глубине 50 м достигало $30 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, в апреле — $35 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$. Особенно заметное повышение содержания фосфатов наблюдалось на горизонтах 75—100 м. Здесь, в апреле 1952 г., на глубине 75 м максимум достигал $65 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, на 100 м — $80 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, в августе же количество фосфатов на 75 м немногим превышало $50 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, на 100 м — $60 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$. Кроме того, если отбросить допущение, что наблюдавшееся здесь количество фосфатов на глубине 25 м случайно, то вершина западного «купола» в виде небольшого пятна с содержанием фосфатов около $5,0 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$ в апреле 1952 г. «проступала» уже на глубине 25 м.

Для зимы, примыкающей к циклу данного года, столь обширным количеством наблюдений, как для лета и весны, мы не располагаем. Имеющиеся наблюдения февраля 1951 г. ограничиваются разрезом Ялта—Батуми,

проходящим через центральную, удаленную от берегов часть моря, захватывающим также халистатическую область, и 30-мильным разрезом Сочи — открытое море (табл. 9).

В распределении фосфатов в феврале 1951 г. поражает глубокая для зимы истощенность фосфатами в верхней толще моря. В центральном районе моря на преобладающей части разреза фосфаты полностью отсутствовали в слое 0—37 м. В более прибрежных районах это обеднение фосфатами простиралось еще глубже, захватывая 50-метровый горизонт. Относительно большее количество фосфатов на поверхности (порядка 9—12 мг/м³ Р) отмечено лишь на двух станциях. Судя по вертикальному распределению фосфатов (табл. 9), происхождение их здесь связано с поверхностным слоем, но что именно послужило их источником, данным разрезом не уловлено. Содержание фосфатов на горизонтах 50—75 м в халистатической области

Таблица 9

Распределение фосфатов в Черном море
в феврале 1951 г. (в мг/м³ Р)
Разрез Ялта—Батуми

Глубина в м	Дата и № станций							Среднее
	6	6	7	9	12	13	14	
	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	9	0	0	12	0	0	3
10	0	9	0	0	0	0	0	1
25	0	21	9	0	0	0	0	4
37	0	0	9	0	0	0	0	1
50	0	17	9	11	14	8	0	8
75	93	35	13	27	24	22	8	32
100	—	34	23	31	33	34	14	26

Разрез Сочи—открытое море

Глубина в м	Дата и № станций			Среднее
	18. II	18—19. II	19. II	
	1	2	3	
0	0	0	0	0
10	0	0	0	0
25	0	0	0	0
50	0	0	0	0
75	—	7	8	8
100	—	15	17	16

в феврале 1951 г. также было несколько понижено по сравнению с апрелем 1952 г. и августом 1951 г.

Данных для осени, позволивших бы охарактеризовать полный годовой цикл 1951—1952 гг., нет. Наибольшее количество наблюдений в осенний период относится к ноябрю 1954 г. Наблюдениями охвачена значительная область центрального района моря, а также восточная часть его. В этот период вся центральная часть моря отличалась сравнительно высоким содержанием фосфатов по всей вертикали 7—10 мг/м³ Р на поверхности. В то же время по всему пространству самой восточной части моря, расположенной к востоку от г. Поти, в слое 0—35 м фосфаты не были обнаружены (0,00 мг/м³ Р). В более прибрежной части этого района фосфаты практически отсутствовали до 75 и даже 100-метровой глубины (табл. 10).

Таблица 10

Распределение фосфатов в Черном море в ноябре 1954 г. (в мг/м³ Р)

Разрез Южный берег Крыма—открытое море

Глубина в м	№ станций																	Сред- нее	
	1	2	3	3а	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		17
0	5	14	10	8	9	7	6	7	8	8	9	8	7	4	8	7	6	7	7
10	6	8	10	8	14	9	6	9	8	8	10	10	7	7	8	7	7	6	8
25	6	8	9	9	16	10	7	9	9	9	10	10	8	8	8	8	7	8	9
35	6	10	11	14	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10
50	7	10	12	12	12	14	10	15	14	13	13	12	11	9	9	9	8	8	11
60	—	12	11	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13
75	13	12	14	14	12	35	25	20	18	33	32	31	25	19	12	9	8	12	21
100	—	21	16	20	29	46	35	38	37	—	64	32	38	30	23	10	—	—	28

Восточный угол моря

Глубина в м	№ станций																											Среднее					
	1	2	3	3а	4	4а	5	5а	6	7	8	9а	10	10 а	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		24	25	26	27	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50	0	8	16	16	18	0	7	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Сл	Сл	0	0	0	0	0	20	15	0	0	0
75	14	14	25	20	23	21	14	16	19	0	0	16	0	0	Сл	Сл	Сл	Сл	0	Сл	20	21	20	20	Сл	Сл	20	14	18	34	Сл	22	—
100	23	20	29	30	38	34	12	27	25	18	0	—	Сл	Сл	Сл	Сл	12	—	36	25	25	20	20	22	20	25	18	16	59	25	25	—	21

Наблюдения, проведенные в ноябре 1954 г., как уже выше оговаривалось и как это будет следовать из изложенного ниже не могут рассматриваться в полной мере как логическое завершение полного годового цикла 1951—1952 гг. Эти данные характеризуют в основном лишь содержание фосфатов в ноябре 1954 г.

Как следует из приведенной характеристики пространственного распределения фосфатов, период 1951—1952 гг. отличается необычайно низким содержанием фосфатов в зоне фотосинтеза почти по всей акватории Черного моря. В ноябре же 1954 г. фосфаты были отмечены уже на преобладающей его части.

Помимо перечисленных наблюдений, охватывающих наиболее полно акваторию моря в описанный отрезок времени, имеются данные, полученные нами как в предшествующем, так и в последующие годы — с 1946 по 1954 г. — при нескольких разрезах, приуроченных к различным районам моря, а также данные почти четырехлетнего круглогодичного цикла наблюдений у выхода одной из бухт крымского побережья. При описании пространственного распределения фосфатов в период 1951—1952 гг., в целях сохранения сравнимости не искаженных многолетними отклонениями условий, позволивших бы выявить местные особенности в распределении фосфатов, эти данные во внимание не принимались. В дальнейшем, при попытке провести более глубокий анализ закономерностей пространственного распределения фосфатов и их динамики во времени, были использованы и эти наблюдения; сопоставление всего полученного ряда величин позволило выявить некоторые общие, характерные для всего

моря в целом, черты пространственного распределения фосфатов в Черном море — в его кислородной толще.

Так, при рассмотрении всей совокупности данных выявляется, что в Черном море, в пределах его кислородной толщи, по характеру пространственного распределения фосфатов, вне зависимости от года наблюдений и его сезона, вертикали отчетливо различаются 2 зоны: одна из них верхние слои, грубо ориентировочно до глубины 45—60 м (зона наиболее интенсивного фотосинтеза) другая — глубже лежащие слои.

Верхняя толща по сравнению с лежащими глубже слоями как по характеру распределения в ней изолиний фосфатов, так и по их абсолютной величине менее постоянна. Этот слой по происходящим в нем процессам, определяющим содержание фосфатов, более динамичен. Здесь, наряду с общими и для глубинных слоев причинами гидрометеорологического порядка, на содержании фосфатов в большей степени отражаются биологические факторы. Количество фосфатов в этом слое, как известно, определяется двумя противоположно направленными и действующими одновременно процессами: потреблением фосфатов фитопланктоном, в том числе и бактериями, и поступлением их сюда как с глубинных, обогащенных фосфатами слоев, так и в результате распада и минерализации органического вещества в пределах данной толщи. Преобладание одного из этих процессов в основном определяет собой наблюдаемый в каждый данный момент порядок величин фосфатов. Поэтому в верхних слоях на пространственном распределении фосфатов, помимо гидрометеорологических условий данного года, в относительно большей степени сказывается влияние биологической активности. В частности, в этом слое наблюдается большое уменьшение содержания фосфатов, возникающее как последствие биологической активности. В верхних горизонтах не редки случаи аналитического нуля фосфатов, в то время как для подстилающих глубин характерно постоянное наличие их в большем или меньшем количестве. Для последних исключение составляет лишь узкая, примерно до 5—10 миль, прибрежная полоса, где фосфаты в иные годы могут отсутствовать и на горизонте 75 и даже 100 м.

При этом в верхней толще по режиму фосфатов следует выделить районы, подверженные непосредственному влиянию материкового стока, которые как по распределению фосфатов в них, так и по факторам, обуславливающим его, несколько отличаются от остальной части моря. Пополнение фосфатов в таких участках моря в значительной степени происходит с поверхности за счет поступления речных вод. В этих участках фосфаты нередко встречаются в количестве, далеко выходящем за пределы для ос-

Таблица 11

Вертикальное распределение фосфатов в опресняемых районах моря (в мг/м³ Р)

Глубина в м	Район Сухуми, 1949 г.					Северо-западный район, 1951 г.			Преднерченский район, 1951 г.		
	18 фев- раля	13 марта	3 ноя- бря	27 ноя- бря	29 ноя- бря	10 июля	10 ав- густа	11 ав- густа	16 июля	16 ав- густа	17 ав- густа
0	26	25	50	15	11	28	28	12	42	44	28
10	15	15	19	0	10	0	3	46	40	34	25
25	10	Сл	0	0	0	—	8	26	40	32	25
37	12	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—
50	37	0	0	22	6	—	—	24	40	—	—
75	—	25	18	—	12	—	—	30	50	32	—
100	—	34	19	—	15	—	—	—	60	34	—

Таблица 12

Распределение фосфатов (в $\text{мг/м}^3 \text{P}$) по разрезу
Сухумийский маяк — открытое море в весенний период
(апрель — май), по наблюдениям в различные годы

Апрель 1950 г.

Глубина в м	Дата и № станций								Сред- нее
	16	18				19			
		1	1	2	3	4	5	6	
0	9	0	0	24	0	8	5	6	6
10	14	0	0	0	0	6	12	5	5
25	25	0	6	0	0	10	18	8	8
50	11	0	8	0	8	8	6	5	6
75	15	9	Сл	0	10	11	9	10	8
100	32	12	11	16	18	22	24	32	21
150	50	40	29	42	15	34	38	48	37

Апрель 1953 г.

Глубина в м	Дата и № станций												Сред- нее
	16	17	23		25			27			28		
	1	2	1	2	1	2	3	1с	2с	3с	4с	5с	
0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	2
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	6	7	0	0	0	0	0	0	1
75	0	0	—	0	6	8	0	0	0	0	0	0	1
100	10	11	—	5	8	12	7	13	11	12	15	12	10
125	—	23	—	9	14	13	12	20	14	6	6	20	14
150	—	—	—	14	36	20	25	36	29	32	—	38	29

Май 1954 г.

Глубина в м	Дата и № станций										Сред- нее
	20				21	25			26		
	1	2	3	4	5	1с	2с	3с	4с	5с	
0	4	4	6	20	11	7	7	8	6	16	9
10	5	7	10	14	12	7	8	9	10	7	9
25	6	7	5	14	10	8	8	10	10	8	9
50	10	7	11	14	14	10	8	12	14	10	11
75	10	11	10	18	—	13	15	14	14	12	13
100	9	16	14	28	—	18	14	16	15	20	17
125	17	19	26	36	—	41	36	26	26	32	29
150	27	36	35	41	—	46	50	46	40	47	41

тальной части моря, до 20—30, а в отдельных случаях до 50 и более $\text{мг/м}^3 \text{P}$. Как уже отмечалось, столь большие величины приурочены лишь к самым верхним горизонтам, толщина такого обогащенного фосфатами слоя обычно не превышает 25 м. Максимум их величин расположен по преимуществу на поверхности (табл. 11, см. также ниже рис. 5). В таких участках моря биологическая сезонность на содержание фосфатов, а также на распреде-

ление их в поверхностных слоях, как это следует из многолетних наблюдений по распределению фосфатов в районе Сухуми (табл. 12, 18), сказывается, по-видимому, в относительно меньшей степени. Количество их здесь, особенно вблизи устья больших рек, очевидно, в главной мере определяется паводком рек и величиной их стока в данный период. С увеличением стока возрастает содержание фосфатов. В этом находит свое оправдание наличие в районах, близко расположенных к материковому стоку, высоких величин фосфатов в месяцы интенсивного цветения фитопланктона при $0,00 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ в остальной части моря, как это было, например, в районе Сухуми (март 1949 г., апрель 1950 г.).

Аналогичное явление, только выраженное в еще более четкой форме, отмечено К. И. Ивановым (1948) для северной части Каспийского моря, где, по его наблюдениям, до начала паводка — в период от 25 апреля до 6 мая — вся толща воды предустьевое пространство была чрезвычайно бедна фосфатами и на некоторых станциях содержание фосфатов падало до аналитического нуля. По мере начала и возрастания паводка сток Волги увеличивается, а вместе с ним увеличивается и вынос фосфатов в предустьевое пространство. В период с 11 по 31 мая 1936 г. в предустьевом пространстве на некоторых прибрежных станциях содержание фосфатов достигало $52 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$.

Такими обогащенными фосфатами районами в Черном море являются отдельные участки северо-западного района вблизи Дуная, Днестра и других рек, а также район, расположенный к востоку от линии Сухуми — мыс Иерос (восточный угол моря), где среднее содержание фосфатов в поверхностных слоях чаще несколько выше, чем в центральной, удаленной от берегов части моря. Такое же обогащение фосфатами наблюдается по-видимому, в случаях сильного нагона обогащенной фосфатами воды из Азовского моря (предкерченский район).

Районы влияния материкового стока на содержание фосфатов не имеют твердо установленных постоянных границ. Пределы их могут расширяться, сужаться и менять свое положение в пространстве не только в зависимости от времени года, от года к году, но и от более коротких ^и периодических факторов, а именно, в зависимости от направления и силы ветра. Так, по нашим наблюдениям, в январе 1945 г. впадающие в море воды Дуная имели четко выраженное строго перпендикулярное устью направление на протяжении по крайней мере предела видимости. В то же время в другие годы, как следует хотя бы из данных распределения удельной щелочности в северо-западном районе (Добржанская, 1948а), эти воды распространяются вдоль берега более или менее сразу после их выхода. То же относится и к более мелким рекам. Например, область распространения по поверхности моря вод р. Чорох, границы которой, вследствие большой мутности их, четко очерчены, по нашим наблюдениям 1942—1944 гг., также резко меняла свое положение. Иногда опресненная струя то более широкой, то более узкой полосой проходила на запад, вдоль Батумского побережья, почти вплотную прижимаясь к нему, а иногда глаз едва мог уловить ^{ее} границы на горизонте в совершенно противоположном направлении — к востоку. В результате таких отклонений в пространственном распределении речных вод зачастую влияние опреснения на содержание фосфатов можно встретить на небольших участках в районах, расположенных далеко в открытой части моря, в то время как вблизи берегов, конечно, за исключением участка моря непосредственно примыкающего к устью, оно никак не отражается. Так, в апреле 1954 г. в четко выраженной полосе опреснения, вызванной р. Кадор, шириной около полумили, расположенной примерно в расстоянии 2 миль от берега, количество фосфатов на поверхности со-

ставляло $22 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ (при солености $11,3\text{‰}$). Рядом же непосредственно у границы, в примыкающих неопресненных водах с соленостью $18,1\text{—}18,2\text{‰}$ содержание фосфатов колебалось от 6 до $8 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$.

В общей сложности площадь всех этих обогащенных фосфатами районов по сравнению с остальной частью моря относительно невелика и отдельные участки их имеют довольно узко ограниченный ареал.

Наибольшего развития области высокого содержания фосфатов в опресняемых районах получают в поверхностном слое; с глубиной площадь, занимаемая ими, сокращается. Кроме того, в таких участках моря в верхней 75—100-метровой толще отсутствует, характерное для остальной части его, увеличение фосфатов с глубиной. Напротив, по мере углубления отмечается тенденция к их уменьшению (табл. 11, 12, 18, см. также ниже рис. 5). Последнее, в свою очередь, дает право считать, что наблюдаемое здесь повышение в содержании фосфатов поверхностного происхождения и связано с поступлением речных вод.

Возможно, обогащение фосфатами этих районов происходит не только за счет абсолютного количества фосфатов, поступающих сюда с пресными водами, но также и в результате сопутствующих им процессов. Как известно, на стыке 2 различных водных масс наблюдается более энергичный распад органического вещества, в то же время такие районы обычно и более насыщены живым веществом. Совокупность этих взаимообусловленных процессов, очевидно, ведет к большей оборачиваемости здесь фосфорного комплекса, в результате которого, как это будет следовать ниже, также освобождается некоторое количество фосфатов.

Кроме того, в последнее время ряд авторов придает все больше и больше значения роли взвешенных частиц в содержании фосфатов в морской воде (Kalle, 1937; Harvey, 1948; Armstrong a. Atkins, 1950; Armstrong a. Harvey, 1950, и др.). Калле (1937) нашел, что неподалеку от берегов мутные воды южной части Северного моря содержат много фосфатов — около $40\text{—}50 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ — в форме детрита и очень мало в более удаленных и менее мутных его районах. Армстронг и Харвей (1950) считают, что количество фосфатов в морской воде возрастает вместе с мутностью воды. Аналогичные результаты получили Ньюкомб и др. (Newcombe и др., 1939) для воды эстуария залива Чизпик, где наибольшая величина фосфатов также совпадает с наибольшей мутностью воды.

Экспериментальные работы Стефенсона (Stephenson, 1949) показали, что при взбалтывании морской воды с илом и последующем ее отфильтровании, может происходить либо обогащение морской воды фосфатами, либо, напротив, обеднение — в зависимости от ряда условий. Так, при ультрафильтрации содержание фосфатов в растворе увеличивается. Также, по наблюдениям этого же автора, содержание их увеличивалось в первые примерно 2 часа при хранении фильтрата в склянках. При более длительном стоянии — до 18 часов — количество фосфатов резко снижалось. Однако при энергичном встряхивании склянки содержание их вновь восстанавливалось. Автор предполагает, что при длительном стоянии фильтрата фосфаты в результате биологических и физических явлений «прикрепляются» к стенкам сосуда.

В последнее время Керрит и Гудгал (Carritt a. Goodgal, 1954) выдвинули оригинальную, не лишнюю вероятности концепцию о механизме отдачи фосфатов в морскую воду взвешенными частицами. Из их экспериментальных исследований следует, что взвешенные минеральные частицы с растворенными фосфатами образуют «сорбционный комплекс»: систему фосфор — твердое вещество. Эта система действует как резервуар фосфатов, из которого фосфаты могут быть легко освобождены и отданы в раствор, если

из последнего они были извлечены другими потребляющими фосфаты процессами. Связь между сорбционным комплексом и растворенными фосфатами во многом аналогична буферной системе, содержащей недиссоциированную слабую кислоту, анион кислоты и H-ион. Авторы придают особо важное значение взвешенным минеральным частицам как экологическому фактору, считая, что обратимая реакция системы твердое вещество — фосфаты благоприятствует регенерации фосфатов, делая их доступными для фитопланктона в течение всего периода фотосинтеза. По их мнению, высокая продуктивность эстуариев по сравнению с поступающей пресной водой и морской областью, является закономерным следствием сочетания свойств комплекса фосфаты — твердое вещество с изменением свойств окружающей среды при впадении рек в море.

При этом названные авторы обращают внимание, что при колориметрическом определении фосфатов в мутных водах, требующих предварительного удаления взвеси, эта фракция фосфатов не учитывается. Поэтому в таких случаях полученные результаты содержания фосфатов будут всегда ниже пригодных для фотосинтеза¹.

Возможно, что выдвинутая названными авторами гипотеза находит некоторое свое отражение в отмеченных выше экспериментах Стефенсона (1949).

Поскольку в морях, как известно, опресненные участки одновременно являются и наиболее мутными их районами, то, по-видимому, наблюдаемое обогащение фосфатами этих участков происходит в результате воздействия всего комплекса факторов, связанного с опреснением.

Что же касается предкерченского района, то влияние постоянно поступающих сюда вод Азовского моря на содержание фосфатов, в частности, в августе 1951 г., возможно, было усилено соответствующими ветрами.

Следующим фактором, влекущим за собой увеличение содержания фосфатов в поверхностных слоях Черного моря, являются процессы сгона и нагона. Как это следует из цитируемой ниже литературы (Никитин и Скворцов, 1926; Водяницкий, 1948), в результате соответствующих ветров, соответственно их силе и продолжительности, на больших или меньших пространствах моря поднимаются более глубокие слои, несущие с собой большое количество фосфатов, как это было (и следует из полученного нами здесь распределения величин фосфатов) в районе крымского побережья в августе 1948 г. (табл. 13, рис. 1). Такие районы в этот период бывают особенно обогащены фосфатами. В частности, в августе 1948 г. у крымского побережья в районе сгона, по нашим наблюдениям, содержание фосфатов в верхней 25-метровой толще в среднем составляло на поверхности около $22 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, на 25 м — около $40 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, а на одной из станций (станция 1), как это следует из табл. 13, на 0 м было равным $50 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, на 25—100 $\text{мг/м}^3 \text{ P}$.

При этом в районах сгона, как это следует из данных табл. 13, в отличие от опресненных участков моря, наблюдается более или менее высокое содержание фосфатов по всей вертикали зоны фотосинтеза. Как уже отмечалось, протяженность такого района обусловлена продолжительностью и силой соответствующего направления ветра. За пределами района влияния сгона содержание фосфатов быстро выравнивается, достигая однозначных величин с остальной частью моря. В частности, в августе 1948 г. за пределами данного района в остальной наблюдаемой части моря (западная половина) фосфаты на поверхности, по нашим наблюдениям, отсутствовали.

¹ В наших наблюдениях мутность воды не достигала пределов, мешающих обычному колориметрическому определению, все определения фосфатов проводились без предварительного осаждения взвеси.

Таблица 13

Пример распределения фосфатов (в $\text{мг/м}^3 \text{ P}$) в районе
«сгона» у берегов Крыма
Август 1948 г.

Горизонт в м	№ станций										Сред- нее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	50	19	37	20	17	25	12	9	—	0	21
10	64	10	28	21	17	33	12	—	8	5	22
25	100	35	33	14	17	20	24	35	11	0	29
50	48	15	40	42	20	50	18	53	11	30	33
75	30	65	53	27	20	—	44	65	32	46	42
100	39	65	66	45	50	57	55	87	64	65	59

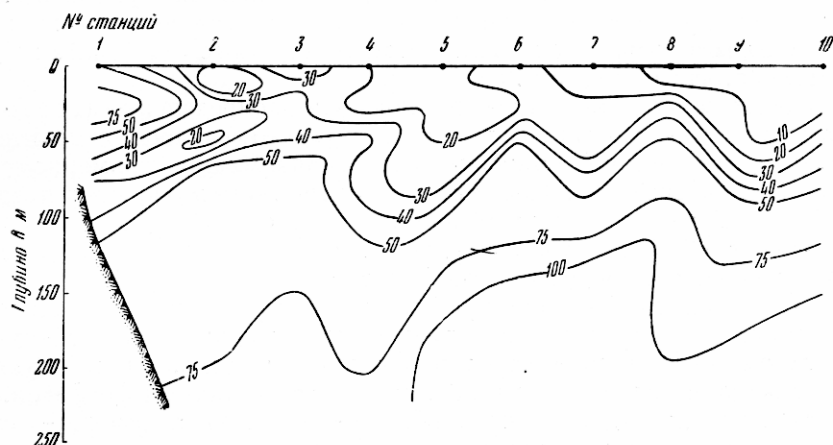


Рис. 1. Распределение фосфатов по разрезу Ялта—Мидье
22—28 августа 1948 г.

Значение явлений сгона и нагона в перемещении водных масс и влияние их на гидрологический и биологический режимы Черного моря отмечено уже в работах В. Н. Никитина и Е. Ф. Скворцова (1924, 1926). По их наблюдениям, непродолжительные, исчисляемые всего лишь несколькими часами ветры поднимают на поверхность воду с глубин 25—30 м; более длительные — в течение 2—3 суток, по мнению этих же авторов, должны вызвать поднятие воды «с гораздо больших глубин», и отразиться на прибрежной полосе шириною до 10 миль и более. В. А. Водяницкий (1948) явлениям сгона и нагона в обмене глубинных вод придает более широкое значение, считая их важным фактором в осуществлении вертикального перемещения водных масс на значительную глубину и допускает при этом, что влияние их распространяется на гораздо большую площадь моря, чем это предполагали вышеуказанные исследователи.

В последнее время роли сгонно-нагонных явлений в режиме органических элементов уделяется много внимания и за рубежом. Так, в большом ряде своих работ Купер (Cooper, 1933а, б, 1947; 19526; Cooper a. Veaux,

1949, и др.) рассматривая механизм этого явления и сопоставляя его с рядом физических и гидрохимических данных, также пришел к заключению, что предшествующая ветровая обстановка имеет большое значение для химических и биологических показателей моря. В частности автор указывает, что поверхностные воды в результате нагонных ветров, особенно в районах континентального склона, обогащаются органическими элементами за счет поднятия их глубинными водами.

Отдельные «пятна» высокого содержания фосфатов на поверхности моря очевидно, могут быть и иного происхождения. Иногда в центральных, весьма удаленных от берегов районах моря, в самом поверхностном слое его, наблюдаются отдельные случаи резкого повышения фосфатов. Причины этого явления пока не вполне ясны. Н. М. Книпович (1938) рассматривает его как следствие разложения частичек органического вещества. По его мнению, иногда резкое повышение содержания фосфора в поверхностном слое может быть следствием разложения органических веществ, плавающих в поверхностном слое. Армстронг и Харвей, также нередко наблюдавшие зимой в Английском канале на 0 м отдельные случаи высокого содержания фосфатов, пришли к заключению, что источником их служат либо частицы атмосферной пыли, уловленные поверхностью моря, либо взвешенные частицы, вынесенные на его поверхность во время свежей погоды и удерживаемые на ней мельчайшими пузырьками воздуха (Armstrong a. Harvey, 1950).

В остальной части моря пространственное распределение фосфатов на поверхности в каждый данный момент, как уже отмечалось, относительно однородно — величины фосфатов по всему зеркалу моря примерно одного порядка ($\pm 1-3$ мг/м³ Р). Также сравнительно мало меняется в пределах верхней (до 50 м) толщи содержание фосфатов с глубиной.

На более глубоких горизонтах в первую очередь заслуживает внимания пространственное распределение фосфатов на глубинах 50—75 м. На этих горизонтах в западной и восточной половинах моря, в халистатических областях его, в распределении фосфатов четко вырисовываются «купола» высокого содержания их — «восточный» и «западный». Центр «куполов» образует максимальные для данного горизонта величины фосфатов. При этом наибольшему содержанию фосфатов — «вершине» купола — всегда соответствует наименьшее для этой глубины количество кислорода, как это следует хотя бы из рис. 2 и 3.

Вне куполов, на периферии халистатической области, верхняя граница высокого содержания фосфатов залегает несколько глубже. Однако и здесь, на глубине 50 м, в большем или меньшем количестве фосфаты всегда присутствуют. За периферией этих областей фосфаты могут быть на глубине 75, а в узкой прибрежной полосе, как уже отмечалось, даже на 100 м.

В общих чертах схема пространственного распределения фосфатов в Черном море на горизонтах 50—75 м весьма сходна с распределением фосфатов, представленным С. В. Бруевичем (1937а, б) для придонного слоя Каспийского моря.

Куполообразность в распределении верхней границы высокого содержания фосфатов в халистатических областях Черного моря на глубине 50—75 м сохраняется на протяжении всех лет наблюдений. В то же время, как следует из наблюдений августа 1951 г., апреля 1952 г., ноября 1954 г. и других месяцев, содержание фосфатов (как и кислорода) на этих горизонтах не остается постоянным, количество их в различные годы и даже на протяжении одного года несколько изменяется. Также меняется положение в пространстве «куполов» высоких величин фосфатов (и минимальных

кислорода), равно как и протяженность занимаемой ими площади. Последняя в разные годы и даже месяцы заметным образом может суживать или расширять свои границы. Аналогичные перемещения отмечены для верхней границы «купола» фосфатов (а также кислорода) по вертикали. Однако в последнем случае отклонение в глубине залегания вершины «купола» фосфатов, по-видимому, не превышает ± 25 м и это, очевидно, является крайним возможным пределом для них. Обычно перемещение по вертикали, видимо, ограничено более узким интервалом — до 15 м. Изменению положения верхней границы «куполов» фосфатов и кислорода сопутствуют изменения и в глубине залегания других, по численному выражению, изолиний названных элементов в нижележащих горизонтах по крайней мере до 100—150 м (для фосфатов эти изменения в положении изолиний с уверенностью прослеживаются до глубин 100 м, для кислорода — до 150 м), а следовательно, и в глубине залегания нижней границы кислорода и верхней сероводорода, которые, как известно, также образуют в своем пространственном распределении куполообразный подъем изолиний (Харвей, 1933).

Колебания в положении границ O_2 и H_2S во времени и пространстве, в том числе в районах, лежащих за пределами «куполов» халистатической области, были отмечены наблюдениями Севастопольской биологической станции еще в 1926 г. П. Т. Данильченко и др. (1926) отмечают, что верхняя граница сероводорода непостоянна: она значительно меняется по районам моря, вероятно, обуславливаемая течениями, и по временам года — в зависимости от интенсивности вертикальной циркуляции. Чигирин в <sup>до-
полнении</sup> ~~к~~ книге Харвея пишет, что положение нижней границы кислорода в Черном море весьма различно в разных частях моря и зависит от горизонтальной циркуляции вод и влияния берега¹. Более поздние наблюдения Я. К. Гололобова (1953б) и Я. К. Гололобова и М. В. Пироговой (1948) подтвердили заключение названных авторов и уточнили его для частного случая — для восточной части Черного моря.

В случае наших наблюдений², наличие в халистатических областях четко выраженных «куполов» резкого повышения фосфатов уже на глубине 50 м, совпадающих с верхней границей столь же резкого падения кислорода, заслуживает внимание также с позиций современного представления о глубинном обмене вод. В этом смысле представляет интерес способность названных границ в какой-то мере перемещаться во времени не только по горизонтали, но и по вертикали, как это было в апреле 1952 г., когда вершина высокого содержания фосфатов в западной половине моря поднялась по сравнению с августом 1951 г. примерно на 20 м. Колебания названных границ по вертикали, очевидно, следует рассматривать главным образом как следствие динамических процессов, приведших к заметному на этих горизонтах подъему глубинных вод.

Последнее также подтверждается распределением кислорода. Как известно, в халистатической области особенно резкому изменению в содержании кислорода подвержен слой 40—60 м, где градиент падения кислорода на 1 м глубины достигает 0,2—0,3 мл/л O_2 (Добржанская, 1954а). В то

¹ В этой же статье имеются также указания на существование в Черном море слоя с одновременным присутствием O_2 и H_2S . «Начиная с глубин около 150 м до нижней границы кислорода, обычно, наряду с кислородом, присутствует в небольших количествах сероводород...». Этот факт также отмечен и в исследованиях Н. М. Книповича (1930).

² 50 м — стандартная глубина наблюдений. В действительности верхняя граница «куполов», очевидно, может залегать несколько выше — на глубине около 45 м, но достаточным количеством наблюдений для этого горизонта не располагаем.

же время фотосинтез на этих горизонтах по условиям освещенности по сравнению с другими районами моря не только не может быть ослаблен, но по данным прозрачности, напротив, должен быть повышен. Столь резкое падение в содержании кислорода на этих горизонтах следует отнести не за счет недостатка в его поступлении, а за счет повышенного потребления здесь O_2 на окислительные процессы (Караоглановъ, 1934; Добржанская, 1954а). Караоглановъ сделал это заключение в более широком понимании этого явления: уменьшение кислорода на глубинах не есть причина образования сероводорода, а напротив — следствие присутствия сероводорода. В самом деле, глубинные воды, наряду с большим количеством фосфатов, одновременно несут некоторое количество H_2S , на окисление которого в слое 50—100 м в первую очередь потребляется кислород. Вероятнее даже, что кислород на этих горизонтах расходуется не на непосредственное окисление H_2S , а на промежуточные недоокисленные продукты его. Непосредственными наблюдениями для доказательства последнего не располагаем.

Большие градиенты в вертикальном распределении величин кислорода и фосфатов в слое 50—75 см в известной мере являются результатом влияния отличающихся по своим химическим показателям глубинных вод. Последние характеризуются высоким содержанием фосфатов и наличием H_2S , в то время как воды вышележащего слоя, 0—40, 0—50 м, обеднены фосфатами и обогащены кислородом. Толща, расположенная между 40 и 60 м глубины, в халистатической области образует как бы пограничный слой, выше которого идет энергичное накопление кислорода и расход органических элементов; ниже преобладают процессы потребления кислорода и обогащения фосфатами. Толщина этого слоя, так же как и границы его, в какой-то степени могут варьировать, но в сравнительно узких пределах, очевидно, в среднем не превышая ± 10 —15 м. С некоторой приближенностью горизонты 50—75 м в халистатической области являются теми глубинами, где в распределении фосфатов и кислорода с наибольшей очевидностью прослеживается влияние глубинных вод.

Толковать наблюденное распределение фосфатов и кислорода в халистатических областях в противоположном понимании, т. е. рассматривать его как показатель «застойности», охватившей в силу гидрологических особенностей Черного моря и нижние слои зоны фотосинтеза, достаточных оснований не имеется. В этих районах как это было отмечено нами (Добржанская, 1954а, 1955), верхние 40—50 м не менее, если не более, богаты кислородом, чем аналогичные глубины в прибрежной полосе. Поэтому наблюдаемое резкое падение кислорода и возрастание фосфатов на горизонтах, непосредственно подстилающих их, не может само по себе служить доказательством изменившихся здесь в неблагоприятную сторону по сравнению с вышележащими слоями условий, вызвавших депрессию фотосинтеза, тем более что абсолютное количество кислорода на горизонте 50 м еще довольно высоко — почти равно содержанию его на поверхности. Куполообразность в распределении изолиний верхних границ резкого падения кислорода и резкого увеличения фосфатов, равно, как и изолиний других показателей, несомненно, является следствием подъема глубинных вод, особенно заметного в области «куполов». В результате этого процесса в верхние слои Черного моря постоянно выносятся большое количество фосфатов, гораздо большее, чем в других морях, как это справедливо отметил Бруевич еще в 1937 г.

Влияние биологических процессов на содержание фосфатов и кислорода на нижних горизонтах зоны фотосинтеза в халистатических областях, очевидно, занимает подчиненное положение.

Обсуждение принципов осуществления этого водообмена, а также его скорости, лежит вне компетенции данной работы.

Вероятно, куполообразность в распределении изолиний фосфатов в какой-то степени сохраняется и в более глубоких слоях — до 1000 м. Основанием к такому заключению может служить вертикальное распределение величин общего фосфора в этой толще, а также аналогия в характере распределения их изолиний с распределением изолиний O_2 и H_2S (Скопичев, 1953; Чигирин в кн. Харвей, 1933). Но для уверенного суждения достаточным количеством наблюдений по содержанию общего фосфора не располагаем.

Из обобщения изложенного следует, что пространственное положение верхней границы резко повышенного содержания фосфатов и других их изолиний повторяет распределение изолиний O_2 и H_2S и на поперечном разрезе западной и восточной половин моря первые, как и последние, также представляются в форме изогнутых кривых с резко понижающимися концами к берегам и с вершиной, расположенной в центральных районах моря.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОСФАТОВ

Подобно тому, как это отмечено для пространственного распределения фосфатов, количество фосфатов на той или иной глубине и характер распределения их по вертикали в значительной мере находятся в зависимости от района моря. В вертикальном распределении фосфатов с еще большей отчетливостью проявляется связь между количеством фосфатов и содержанием кислорода. На глубинах с пониженным содержанием кислорода наблюдается повышение количества фосфатов, при этом величины их градиентов тесно связаны между собой.

В центральных районах моря, особенно в его халистатических областях, на глубине от 40 до 60 м (более узко глубина залегания этого слоя определяется временем года и районом моря) градиент падения кислорода на 1 м достигает наибольших величин — до 0,3 мл/л O_2 ; ему соответствует столь же резкий скачок в увеличении фосфатов с градиентом на 1 м до 1 мг/мР. По мере углубления величины названных градиентов уменьшаются: падение кислорода, как и нарастание фосфатов, выражаются более плавной кривой.

С приближением к берегам градиенты кислорода и фосфатов с глубиной постепенно понижаются, при этом одновременно понижается глубина залегания слоя резкого перехода величин, в том числе и сама величина градиента. В прибрежной полосе шириной до 5 миль, за исключением опресненных районов, содержание фосфатов и кислорода по вертикали почти однородно, повышение количества фосфатов отмечается лишь в придонном слое.

В опресненных районах, особенно в непосредственной близости устьев больших рек, как уже отмечалось, высокие величины фосфатов встречаются в самом поверхностном слое, с глубиной содержание их по вертикали в пределах зоны фотосинтеза понижается.

Соответственно в вертикальном распределении фосфатов намечается несколько основных типов, общий характер которых сохраняется на протяжении всех лет наблюдений вне зависимости от года и его сезона.

1. В халистатических областях, в районе «куполов», содержание фосфатов на горизонте 50—60 м резко возрастает по сравнению с вышележащими слоями, даже при условии, что в последних содержание фосфатов было равным нулю. Градиенты на 1 м в таких пограничных слоях достигают до 1 мг/м³ Р и более. Высокие градиенты в этих областях продолжают сохра-

няться до глубины 100—150 м. Верхняя граница столь высоких положительных градиентов фосфатов совпадает с верхней границей столь же резкого падения кислорода. В вертикальном распределении кривых фосфатов и кислорода в этом слое наблюдается четко выраженная обратная зависимость их величин (рис. 2).

2. В районах моря, расположенных на периферии «куполов» — в приближении к берегам, но еще в достаточном отдалении от них, это резкое нарастание величин фосфатов по вертикали несколько сглаживается.

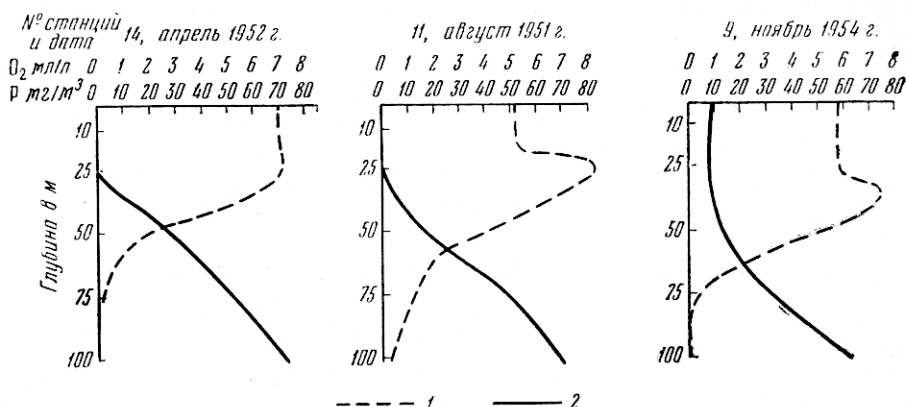


Рис. 2. Типы вертикального распределения фосфатов и кислорода в Черном море. Халистатическая область.

1 — O_2 мл/л; 2 — P мг/м³.

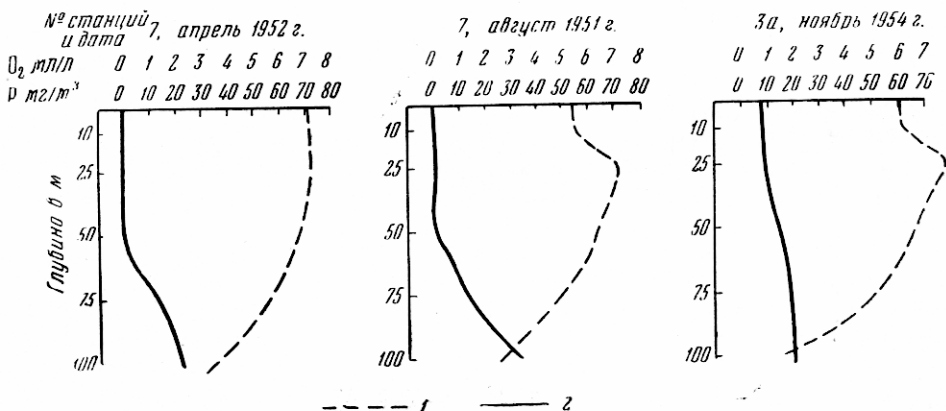


Рис. 3. Типы вертикального распределения фосфатов и кислорода в Черном море. Район открытого моря.

1 — O_2 мл/л; 2 — P мг/м³.

Увеличение их с глубиной в верхней 100—150-метровой толще идет постепенно, и, как правило, абсолютное количество фосфатов здесь для каждого данного горизонта глубже 25—50 м не достигает столь высоких значений, как в халистатических областях. Более постепенному увеличению фосфатов в этом районе соответствует и более плавное падение кислорода (рис. 3).

3. В узкой прибрежной полосе, примерно до глубины 100 м, содержание фосфатов во всей толще может быть однородным, а в иные годы, как, например, летом 1951 г. и весной 1952 г., фосфаты могут вовсе отсутствовать

(0,00 мг/м³ Р). В этих случаях содержание кислорода по вертикали также мало меняется (рис. 4).

4. Наконец, в районах, подверженных прямому воздействию материкового стока, содержание фосфатов в пределах верхних 50 м может превышать количество их в глубже расположенных слоях. Толщина обогащенного фосфатами слоя обычно не превышает 25 м. В таких случаях в вертикальном распределении фосфатов наблюдается, на первый взгляд,

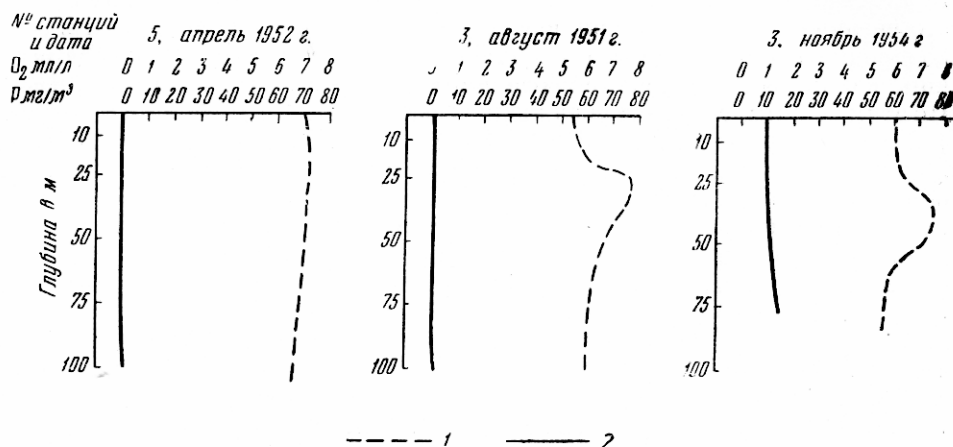


Рис. 4. Типы вертикального распределения фосфатов и кислорода в Черном море. Прибрежный район.

1 — O₂ мл/л; 2 — Р мг/м³.

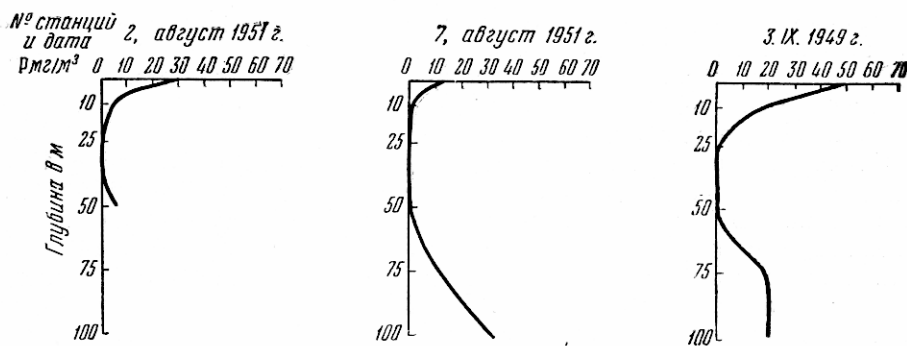


Рис. 5. Типы вертикального распределения фосфатов в Черном море. Районы влияния материкового стока.

парадоксальное явление, когда минимум фосфатов расположен где-то на промежуточных горизонтах зоны фотосинтеза, а максимум на поверхности (рис. 5). Часто такое обогащение фосфатами ограничено лишь одним поверхностным слоем (до 2 м). Глубже 50 м распределение фосфатов в этих районах по вертикали не отличается от остальной части моря.

Безусловно между этими наиболее ярко выраженными типами вертикального распределения фосфатов, существуют и промежуточные ступени.

Кроме того, в отдельных случаях, главным образом в прибрежных районах, можно встретить распределение фосфатов, не укладывающееся ни в одну из представленных схем, как это было в наших наблюдениях в августе 1948 г. (рис. 1). Такое распределение фосфатов, как уже отмечалось,

возможно лишь вследствие подъема вод в поверхностные слои с более глубоких горизонтов в результате сгонного перемещения водных масс.

Для более глубоких слоев, в частности для сероводородной зоны, как уже также отмечалось, из-за методических затруднений надежными данными по фосфатам не располагаем. Судя же по вертикальному распределению величин общего фосфора (см. табл. 4), а также по характеру распределения даже завышенных данных по фосфатам, следует ожидать некоторого увеличения количества фосфатов примерно до глубины 1 тыс. м. Однако это увеличение фосфатов при переходе из кислородной толщи моря в сероводородную осуществляется, очевидно, без такого резкого перехода величин, какой был отмечен наблюдениями 1926—1927 гг. (Чигирин, 1930). По этим данным, градиент увеличения фосфатов на 1 м глубины в слое 125—175 м достигает более 2 мг/м³ Р (5,2 мг/м³ Р₂О₅). Полученные в этой толще высокие величины фосфатов автор рассматривал как следствие обильного образования здесь фосфатов в результате распада абиссестона, во множестве накапливающегося на границе сероводорода. В действительности, отмеченное Чигириным резкое увеличение в содержании фосфатов в слое 125—175 м, по-видимому, явилось результатом методической ошибки. Как показали первые глубоководные химические наблюдения А. А. Лебединцева (1892), а также работы Севастопольской биологической станции 1926—1927 гг. (Данильченко и Чигирин, 1926), в том числе многочисленные наблюдения СБС в последующие годы, в Черном море слой 125—175 м обычно заключает в себе верхнюю границу Н₂S. Самое высокое залегание ее — около 125 м — приурочено к «куполам» халистатических областей; к периферии «куполов» глубина ее залегания понижается до 150—175 м, и, наконец, в прибрежной полосе верхняя граница сероводорода опускается до 200—250 м. Таким образом, отмеченное Чигириным в центральном районе Черного моря резкое увеличение содержания фосфатов в слое 125—175 м совпадает с верхней границей сероводорода. Наличие сероводорода, как уже отмечалось, при определении фосфатов методом Дениже-Аткинса вызывает резкое посинение пробы, ошибочно воспринимаемое как повышение в содержании фосфатов.

Самая глубинная толща Черного моря, начиная примерно с 1000 м и донна, судя по распределению здесь величин общего фосфора (см. табл. 4), по содержанию фосфатов по вертикали, по-видимому, почти однородна. В этом отношении вертикальное распределение фосфатов в указанном слое отличается от распределения кремния, хотя последний также относится к числу органогенных элементов. В Черном море, как и в других морях, нарастание величин кремния наблюдается во всей вертикали, с максимумом их вблизи дна (Добржанская, 1948б). Причина такого расхождения заключается в различиях геохимического цикла этих элементов. В донных отложениях Черного моря (Архангельский, 1930), также как и в других морях (Armstrong а. Harvey, 1950; Harvey, 1950), фосфаты обычно не образуют заметных скоплений. Основная масса их вновь вступает в круговорот, в то время как для кремния процесс этот почти односторонен. Повторное растворение кремния незначительно, потеря его, согласно Буху (Buch, 1952), возмещается выносом материкового стока. Вернадский (1934, 1940) кремний относит к числу элементов, которым обогащаются воды Мирового океана.

По взаимосвязи распределения величин кислорода и фосфатов Черное море не является исключением. Эта связь вертикального распределения содержания фосфатов с величинами кислорода в общих чертах в какой-то степени сохраняется для вод всего Мирового океана. Наиболее четко она выражена в водах низких широт. Из многочисленных наблюдений ряда

океанографических экспедиций: «Дана» (Thomsen, 1937), «Дисковери-II» (Diskoveri Reports, 1941—1947; Glowes, 1938), «Метеор» (Wattenberg, 1938, 1939), «Джон Мюррей» (Thompson, 1937, 1939), «Шведская глубоководная экспедиция 1947—1948 гг.» (Bruneau и др., 1953; Petterson, 1953), наблюдений на «Викинге» (Ruud, 1930), на «Атлантисе» (Seiwell, 1935) и ряда других экспедиций более ранних лет, стало известным, что в распределении кислорода и фосфатов в водах Мирового океана имеются свои особенности. В частности, в тропических и в субтропических поясах его содержание кислорода в промежуточном слое резко снижается до 1,0—0,5 мл/л, а в отдельных областях и того меньше — до нескольких сотых мл/л.

Наиболее низкому содержанию кислорода, как это вытекает из наблюдений этих же экспедиций, соответствует наибольшее количество фосфатов. Эта зависимость величины фосфатов от содержания кислорода, как отмечалось, с особой отчетливостью проявляется в водах низких широт в пределах верхней 0—500, 0—1500-метровой толщи, в так называемом промежуточном слое. Те участки Мирового океана, в которых промежуточный слой наиболее обеднен кислородом, являются самыми богатыми районами по содержанию фосфатов. Характерным примером, иллюстрирующим отмеченную закономерность в распределении фосфатов и кислорода в тропических и субтропических частях Мирового океана, могут служить разрезы распределения фосфатов и кислорода, построенные Томпсоном (Thompson, 1939) на основании его наблюдений в Красном море (экспедиция «Джона Мюррея»), а также графики вертикального распределения этих элементов, составленные нами по данным Шведской глубоководной экспедиции 1947—1948 гг. (рис. 6), совершившей кругосветный рейс и наиболее полно охватившей наблюдениями в один год пояс низких широт.

Глубина залегания верхней границы обедненного кислородом слоя, а с ней и глубина расположения слоя, обогащенного фосфатами, в зависимости от района океана колеблется в широких пределах, и в ряде участков тропических и субтропических поясов обедненный кислородом слой поднимается также очень высоко — на 25—50 м — в «поверхностную зону» (согласно классификации Дефанта — Defant, 1928), захватывая таким образом зону активного фотосинтеза.

Положение названных границ, как известно, определяется гидродинамическим режимом данного района океана — вертикальными и горизонтальными перемещениями водных масс. В условиях низких широт вертикальное перемещение водных масс несколько ограничено климатическими факторами. В этих широтах сильное прогревание и ровный климат создают ясно выраженную стратификацию плотности воды. Хорошо вентилируемый слой за счет вертикальной циркуляции, по данным Книповича (1938), имеет здесь мощность всего лишь около 50—150 м. Глубже лежащий, подстилающий верхнюю толщу, слой обычно бывает в большей или меньшей степени, в зависимости от общей совокупности гидродинамических процессов, обеднен кислородом. В таких районах наблюдается четко выраженная стратификация в распределении кислорода и фосфатов с большими или меньшими градиентами в величинах. При этом в районах с резким падением количества кислорода наблюдается столь же резкое нарастание количества фосфатов (рис. 6). К последним обычно относятся участки океана с высокозалегающим скачком плотности, в которых, аналогично халистатическим областям Черного моря, наблюдается резко выраженный высокорасположенный — в слое 25—75 м — скачок в обеих величинах — O_2 и P (ср. рис. 2 и 6). Наиболее ярким примером является часть Атлантики низких широт, расположенная у западных берегов Африки.

В тех же участках Мирового океана, где падение количества кислорода с глубиной имеет более плавную кривую, более постепенно увеличивается содержание фосфатов, при этом сохраняется отмеченная закономерность — минимальному количеству кислорода соответствует наибольшее из всей вертикали количество фосфатов.

И, наконец, в участках океана, где содержание кислорода почти однородно по всей вертикали, как это наблюдается в высоких широтах особенно северного полушария, с глубиной отмечается весьма постепенное нарастание фосфатов без образования резко выраженного обогащенного фосфатами промежуточного слоя.

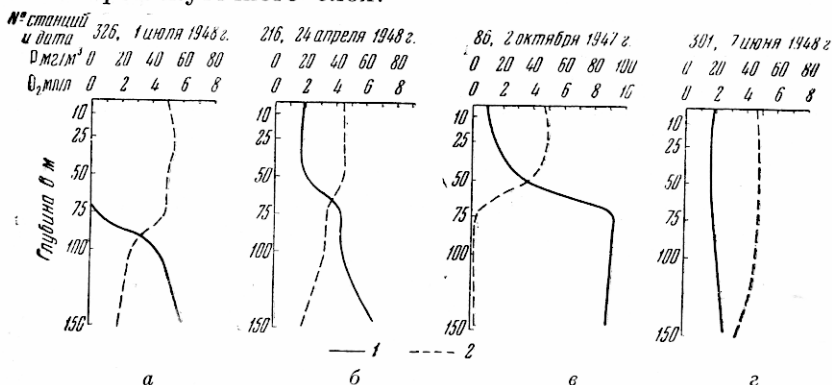


Рис. 6. Типы вертикального распределения фосфатов и кислорода в низких широтах Мирового океана (по данным Шведской глубоководной экспедиции 1947—1948 гг.).

а — Северная Атлантика; б — Индийский океан; в — Тихий океан;
г — Средиземное море
1 — P мг/м³; 2 — O₂ мл/л.

Обратная зависимость между содержанием кислорода и фосфатами отмечается и для внутриматериковых, совершенно изолированных от океана вод, как, например, Каспийского моря. В нем, по данным исследований Бруевича, наблюдается аналогичный характер вертикального распределения изолиний кислорода и фосфатов (Бруевич, 1937б).

Из сопоставления распределения фосфатов в Мировом океане и Черном море следует, что в последнем верхняя 100-метровая толща в халистатических областях, по вертикальному распределению фосфатов, более всего приближается к участкам тропических и субтропических областей западной части Атлантического океана — к району западных берегов Африки. Последние, как и первые, являются областями с высоко залегающими глубинными водами, что ведет к постоянному поступлению в зону фотосинтеза большого количества органогенных элементов, обеспечивающих здесь высокую первичную продукцию. Так, Хеншель и Ваттенберг (Hentschel u. Wattenberg, 1930) на основании многочисленных наблюдений в Атлантическом океане на судне «Метеор» составили карты распределения среднего содержания наннопланктона и фосфатов для слоя 0—50 м. Из этих карт со всей очевидностью выявляется сходство в распределении фосфатов и количества наннопланктона. По их данным у западных берегов Африки в районе высокого подъема глубинных вод резко повышается содержание фосфатов; здесь же ими отмечено наибольшее количество фитопланктона. Для Черного моря непосредственными наблюдениями по количественному распределению фитопланктона в районе «куполов» мы не располагаем. Судя же по содержанию кислорода в слое 0—50 м в этой части моря, особенно по характеру

вертикального его распределения, интенсивность фотосинтеза в этих областях выражена не в меньшей степени, а возможно даже в большей, чем в других районах Черного моря. Так, содержание кислорода в халистатических областях Черного моря в слое, расположенном примерно между 10 и 30 м, в августе 1951 г. достигало 9 мл/л и более, а процент насыщения 140—145 %. На периферии этих областей количество кислорода снизилось до 7—8 мл/л; процент насыщения — до 110—120 % (Добржанская, 1954а¹). К тому же следует отметить, что халистатические области Черного моря, как и вообще все удаленные от влияния берега участки Мирового океана, одновременно являются районами с наиболее высокой прозрачностью.

Отмеченная для ряда участков Мирового океана особенность вертикального распределения фосфатов и кислорода — обратная зависимость этих величин — сходна с особенностями распределения этих элементов в Черном море. Сходство это не является только формальным. Основу его составляет одно и то же явление: в водах, обедненных кислородом, вне зависимости от глубины их залегания, преобладает накопление органических элементов над их потреблением, хотя динамические факторы, определяющие распределение и величину кислорода в различных участках Мирового океана, в том числе и в морях внутриматериковых, могут быть совершенно различными.

Уменьшение кислорода в промежуточном слое некоторых районов океана в литературе широко рассматривается как ощущаемый, в силу создавшихся здесь гидродинамических условий, результат расхода кислорода на окисление органического вещества моря. Так, Томпсон, Томас и Барнес (Thompson, Thomas и Barnes, 1934), рассматривая полученные распределения O_2 , CO_2 и P по вертикали в северной части Тихого океана в слое 0—500 м, нашли, что быстрому падению кислорода соответствует столь же быстрое возрастание общего содержания двуокси углерода. Максимум CO_2 ими получен на глубинах минимума O_2 , кривая же распределения фосфатов, по их данным, также во многом аналогична распределению CO_2 . Ричард и Редфильд (Richards и Redfield, 1954) установили четко выраженную обратную зависимость между содержанием органического вещества в грунте и содержанием кислорода в вышележащих слоях воды — зонам с высоким содержанием органического вещества соответствует минимум кислорода в придонном слое.

В этом отношении слой наиболее резкого перехода величин (50—75 м в халистатических областях Черного моря) по происходящим в нем процессам несколько отличается от описанных в океане. Если в последнем уменьшение кислорода вызвано главным образом потреблением его на окисление органического вещества, то в халистатических областях Черного моря резкое падение содержания кислорода в слое 50—75 м вызвано, по-видимому, преимущественным расходом его на окисление сероводорода, постоянно поступающего сюда с глубже лежащих слоев. Высокое же содержание фосфатов в этой толще в основном обусловлено также поступлением их с глубинными водами, а не обильным восстановлением непосредственно на этих горизонтах.

ГОДОВЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ

Как уже отмечалось, в основу характеристики пространственного распределения фосфатов по акватории Черного моря взяты главным образом наблюдения лета 1951 и весны 1952 гг., многочисленные данные

¹ Как известно, в распределении кислорода также немаловажное значение имеют вертикальное перемешивание и горизонтальные перемещения водных масс, но в обогащении кислородом толщи моря циркуляция вод является доминирующим фактором лишь для слоев, лежащих ниже зоны фотосинтеза.

которых охватили почти всю площадь моря соответственно в весенний и летний периоды названных лет. Преимущество этих наблюдений перед другими, в общей сложности не менее многочисленными, но разрозненными данными, в том, что они позволили сопоставить режим отдельных районов без опасения внести ошибку из-за возможных отклонений в содержании фосфатов от одного года к другому. Это обстоятельство позволило представить общие закономерности пространственного распределения фосфатов для всего моря в целом и, в частности, вынести суждение о зависимости количества их и характера вертикального распределения от района моря.

Однако, как показали длительные наблюдения, количество фосфатов во времени не постоянно и подвержено значительным изменениям как кратковременным непериодическим (сгонно-нагонного происхождения), так и более длительным — сезонным и многолетним колебаниям. Последние в связи с относительно резкими от одного года к другому отклонениями метеорологических условий бассейна Черного моря, очевидно, в режиме органогенных элементов приобретают немаловажное значение.

Для суждения о возможных различиях в количестве фосфатов в разные годы весьма показательны наблюдения, проводимые в одном и том же районе, в одни и те же месяцы, но в различные годы. Для примера в данном случае более подробно рассмотрены наблюдения 30-мильных разрезов Сухумийский маяк — открытое море в апреле — мае 1950, 1953 и 1954 гг. (см. табл. 12). Как следует из сравнения результатов этих наблюдений, содержание фосфатов в слое 0—100 м, а также характер пространственного распределения их и распределения по вертикали в различные годы весьма различны. Так, в апреле 1950 г. фосфаты отсутствовали до глубины 25—50 м лишь в прибрежной 10-мильной полосе. В более удаленной части моря фосфаты содержались по всей вертикали; на поверхности количество их было 5—8 мг/м³ Р, с глубиной и содержание неизменно нарастало. В апреле же 1953 г. по всему разрезу фосфаты отсутствовали по всей вертикали, включая горизонт 75 м. В мае 1954 г., т. е. в месяце, когда обедненность фосфатами достигает своего максимума, напротив, фосфаты найдены на всех горизонтах и по всему разрезу в количестве, превышающем предыдущие годы.

С особой четкостью отклонения в содержании фосфатов по годам проявляется в зоне наиболее активного фотосинтеза в слое 0—50 м, как это следует хотя бы из величин среднего содержания фосфатов под 1 м² этого слоя (табл. 14). Так, например, для того же разреза Сухуми — открытое море содержание фосфатов под 1 м² 50-метрового слоя в мае 1954 г. составляло 475 мг Р, в апреле 1950 г. — 328 мг Р. В апреле же 1953 г. количество фосфатов практически было равным нулю, так как формально найденная величина 18 мг Р получена за счет единичных относительно высоких величин содержания фосфатов на поверхности (табл. 12). Последние обусловлены влиянием рек (Кадор и др.), пресные воды которых, как отмечалось выше, часто распределяются отдельными, неустойчивого направления, полосами.

Многолетние отклонения в содержании фосфатов в неменьшей степени свойственны и другим районам Черного моря, в том числе и районам, значительно более удаленным от влияния берега, как это следует из данных той же табл. 14. Так, в районе разреза Южный берег Крыма — открытое море количество фосфатов под 1 м² слоя 0—50 м в феврале 1951 г. составляло 118 мг Р, в феврале 1955 г. — 350 мг Р, т. е. в 2 раза больше, и т. п.

Из данных этой же таблицы со всей очевидностью следует, что неустойчивость в содержании фосфатов выражается не только в горизонтальном

и вертикальном перераспределении величин фосфатов в этом районе, но отражается на общей для всего района средней величине в пределах слоя не менее 0—100 м. К тому же эти многолетние отклонения часто нивелируют сезонные колебания в количестве фосфатов. Так, например, в августе 1951 г. в восточном углу моря содержание фосфатов под 1 м² 100-метровой толщи составляло 2315 мг Р, в ноябре же 1954 г. оно было почти в 4 раза меньше — 610 мг Р и т. д.

Таблица 14

Среднее содержание фосфатов на отдельных горизонтах (в мг/м³ Р), а также под 1 м² слоя 0—50 м и 0—100 м (мг Р), по наблюдениям различных лет

Разрез Сухумийский маяк—открытое море

Глубина в м	1949				1950	1953	1954	
	фев- раль	март	ок- тябрь	но- ябрь	апрель	ап- рель	май	июнь
0	8	17	16	19	6	2	9	7
10	6	5	23	19	5	0	9	7
25	9	5	12	0	8	0	9	8
50	7	9	19	7	6	1	11	11
Под 1 м ² 50 м толщи	344	311	936	378	328	18	475	420
75	13	10	48	10	8	1	13	12
100	22	32	54	14	21	10	17	13
Под 1 м ² 100 м толщи	1032	1073	2448	890	865	180	1150	1020

Разрез Южный берег Крыма—открытое море

Глубина в м	1950	1951		1952		1953		1954/1955	
	июнь	март	август	ап- рель	сен- тябрь	июль	ав- густ	но- ябрь	фев- раль
0	6	2	0	0	0	3	4	7	7
10	6	1	0	0	0	4	6	8	7
25	6	1	0	0	8	4	6	9	7
50	11	6	8	6	8	5	7	11	7
Под 1 м ² 50 м толщи	388	118	134	84	260	208	302	22	350
75	24	—	13	24	16	—	8	23	—
100	30	—	24	32	17	—	23	27	—
Под 1 м ² 100 м толщи	1500	—	1279	994	972	—	915	610	—

Таблица 14 (продолжение)

Восточный угол моря			Западная половина моря		
Глубина в м	1951	1954	1948		1950
	август	ноябрь	август	ноябрь	ноябрь
0	10	0	21	2	8
10	14	0	22	3	8
25	17	0	29	6	8
50	22	3	38	7	12
Под 1 м ² 50 м толщи	840	22	1472	225	450
75	29	12	42	22	30
100	38	20	59	38	46
Под 1 м ² 100 м толщи	2315	610	3672	1368	1925

Более подробно останавливаться на анализе наблюдений, послуживших основой для составления табл. 14, из-за большого количества цифрового материала не представляется возможным. Следует лишь особо отметить данные разрезов Ялта—Батуми, Ялта — мыс Мидия, проходящих через всю центральную часть моря, наблюдения на которых проводились в течение ряда лет, примерно в один и тот же период года (табл. 15).

Таблица 15

Среднее содержание фосфатов (в мг/м³ Р) в центральной части моря, по наблюдениям в различные годы

Гори- зонт	Разрез Ялта — мыс Мидия				Разрез Ялта — Батуми			
	1926— 1928	1948	1950	1952	1926— 1928	1949	1951	1952
	июль — сентябрь	август — сентябрь	август — сентябрь	август	июль — сентябрь	октябрь — ноябрь	февраль	август
0	24	14	9	0	25	17	3	5
50	29	22	14	10	39	34	21	15

Приводимые в этой таблице средние величины вычислены по данным, относящимся только к удаленным от берегов районам моря. Для характеристики содержания фосфатов в Черном море в период 1926—1928 гг. использованы наблюдения Н. И. Чигирина (1930); данные для 1950 г. были любезно предоставлены В. Г. Дацко, за что считаю своим долгом выразить ему глубокую благодарность. Все наблюдения, приводимые в табл. 15, относятся, по преимуществу, к августу и сентябрю. Исключения составляют данные 1951 г. на разрезе Ялта — Батуми, относящиеся к февралю. В этом случае мы позволили себе привести для сравнения и эти наблюдения, полагая, что в условиях нормальной зимы умеренных широт зимнее содержание фосфатов не может быть меньше летних. На-

против, как известно, зимние месяцы характеризуются максимальными величинами фосфатов. Полученное же содержание фосфатов в феврале 1951 г. составляет исключение из этого правила и в этом случае подчеркивает лишь возможную амплитуду многолетних отклонений в Черном море.

Из данных табл. 15 следует, что даже в удаленных от влияния берега районах моря, т. е. в тех участках его, где в значительно меньшей степени возможны отклонения местного происхождения, а следовательно и более устойчивых в своем режиме, содержание фосфатов от года к году весьма непостоянно. Крайние пределы этих отклонений велики. Наибольшее количество фосфатов, по всей вероятности, по аналогии с другими морями, приходится на период 1926—1928 гг. Даже если отбросить данные 1926—1928 гг., исходя из предположения Бруевича (1953), что они ошибочно завышены, то и тогда заметна тенденция к уменьшению фосфатов в последующие годы. В течение всего периода наблюдений, начиная с 1948 г., количество фосфатов постепенно падало, достигнув минимума в 1951—1952 гг., после чего вновь наступило некоторое увеличение в содержании фосфатов, отчетливо выраженное в период 1953—1954 гг.

Многолетние колебания в содержании фосфатов, в частности обедненность ими зимой 1950/51 г., прослеживаются также ежемесячными наблюдениями на суточных станциях, проводимых нами регулярно с ноября 1950 г. у выхода одной из бухт крымского побережья. Как следует из данных табл. 16, среднее содержание фосфатов в этом районе в период с ноября 1950 до ноября 1951 г. на протяжении всех месяцев наблюдений

Таблица 16

Среднее содержание фосфатов (в $\text{мг/м}^3 \text{ P}$) в различные месяцы года
в районе выхода из бухты
(ноябрь 1950 г. — декабрь 1955 г.)

Год	Месяцы											
	ян- варь	фев- раль	март	апр- ель	май	июнь	июль	август	сен- тябрь	ок- тябрь	но- ябрь	де- кабрь
Поверхность моря												
1950	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
1951	0	—	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9
1952	6	0	0	0	0	0	0	0	8	0	5	4
1953	8	10	4	4	5	4	4	4	7	4	—	5
1954	7	5	5	5	—	5	5	11	2	4	14	5
1955	9	9	0	0	0	0	0	0	4	9	5	9
Слой 10 м												
1950	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
1951	0	—	0	0	0	0	0	0	0	0	6	9
1952	4	0	0	0	0	0	0	0	8	0	5	4
1953	7	—	4	5	5	4	4	4	6	4	—	5
1954	—	7	5	7	—	12	5	8	3	5	15	7
1955	8	7	0	0	0	0	0	0	0	8	8	6
Слой 14 м												
1950	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
1951	0	—	0	0	0	0	0	0	0	0	6	8
1952	3	0	0	0	0	0	0	0	8	0	4	4
1953	6	—	5	5	6	5	5	4	6	4	—	6
1954	—	7	5	7	—	6	6	8	3	6	14	8
1955	8	8	0	0	0	0	0	0	2	8	8	4

по всей вертикали было равным аналитическому нулю. Следовательно, на протяжении всего года, если за начало его принять ноябрь, в том числе всего зимнего периода 1950/51 г., фосфаты не были обнаружены. Они появляются лишь в конце 1951 г., начиная с ноября, удерживаясь в течение всей осени и зимы 1951/52 г. в среднем в количестве 4—5 мг/м³ Р. В последующий весенний период 1952 г. фосфаты вновь полностью исчерпываются (0,00 мг/м³ Р). Отсутствие фосфатов, начавшееся в весенний период 1952 г., распространилось на все лето этого года до ноября. С осени 1952 г. и в последующие 1953—1954 гг. и до марта 1955 г., напротив, фосфаты ни в одном месяце ни разу не исчезали. Даже в весенние месяцы этих 2 лет, в период цветения фитопланктона, содержание фосфатов удерживалось в пределах 4—8 мг/м³ Р. Высокое содержание фосфатов (14—15 мг/м³ Р) наблюдалось в ноябре 1954 г. Это самые большие величины, какие только были отмечены для данного района за время с ноября 1950 г. по апрель 1955 г.

Необходимо напомнить, что относительно высокое содержание фосфатов в ноябре 1954 г. также было отмечено на большей части центральных, удаленных от берегов районов моря, за исключением его восточного угла. Во всяком случае величины порядка 7—8 мг/м³ Р на поверхности были найдены в центральной части западной половины моря, а также по всему району разрезом Южный берег Крыма — открытое море (см. табл. 10).

По-видимому, в этих районах моря фосфаты продолжали сохраняться на протяжении всего осенне-зимнего периода 1954/55 г. Так, в первых числах февраля 1955 г. в прибрежной примерно 5-мильной полосе этого района содержание фосфатов на 0 м составляло 7 мг/м³ Р (см. табл. 19).

Сравнивая полученные результаты распределения фосфатов в слое активного фотосинтеза в разные годы, особенно в противопоставляемые по их содержанию сезоны (весну и зиму) ряда перечисленных лет, мы должны отметить большое непостоянство в многолетнем режиме фосфатов в Черном море. При этом отклонения в содержании фосфатов от одного года к другому в Черном море в иные годы, видимо, мало лимитируются даже сезонным ритмом в биологических факторах. Так, возможны годы, как, например, 1953—1954 гг., когда в течение всех месяцев наблюдений, в том числе и в периоды цветения фитопланктона, фосфаты удерживаются во всей толще зоны фотосинтеза в относительно большом количестве — порядка 4—5 мг/м³ Р — даже на поверхности. Напротив, могут быть и такие годы, когда в ряде районов, включая центральные, удаленные от влияния берега участки моря, количество фосфатов может снизиться до аналитического нуля, как это было в феврале 1951 г. (см. табл. 9).

Многолетние отклонения в содержании фосфатов в верхней толще моря в какой-то мере присущи водам всего Мирового океана. Наличие их в последнее время отмечается работами как обобщающего характера, так и более частного (Книпович, 1938; Sverdrup и др., 1946; Харвей, 1948; Бруевич, 1948, и др.). Так, например, Рассель (Russel, 1935) подчеркивает, что зимнее содержание фосфатов в районе Плимута в 1924, 1926, 1929 гг. было чрезвычайно высоким. Аналогичный вывод следует из наблюдений Аткинса (Atkins, 1926, 1953). По его данным, содержание фосфатов в Английском канале в декабре 1926 г. составляло 18 мг/м³ Р. Бруевич (1948) отмечает, что многолетние колебания в содержании фосфатов в Баренцовом море достигают 50% их среднего зимнего содержания.

Купер, проанализировав распределение фосфатов, начиная с 1916 г. по 1938 г., пришел к заключению, что имеется достаточно оснований предполагать, что в самом начале XX в. воды Английского канала были бедны фосфатами, обогащение ими началось примерно с 1921 г. и что,

как автор подчеркивает, со всей достоверностью известно, обеднение ими вновь наступило в конце 1930 г. (Соорег, 1938б; 1948). Если в этом аспекте рассматривать данные по фосфатам для Черного моря (табл. 15), то отмеченная Купером закономерность в какой-то мере сохраняется и на нашем море. Возможно, не будет большой ошибки в допущении, что во вторую половину 20-х годов нашего века содержание фосфатов в верхней толще Черного моря за период наблюдений было также наиболее высоким, хотя количество их по сравнению с содержанием фосфатов в Английском канале (по данным Аткинса $18 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$) в это время выражалось значительно большей величиной (около $29 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$ на поверхности). За последние годы можно отметить резкое снижение фосфатов в верхних слоях в 1950—1951 гг. и относительное повышение в содержании их, удерживающееся на большей части акватории открытого моря в течение всех месяцев 1953 и 1954 гг. Из наблюдений Армстронга (1954; 1955) также выявляется тенденция к уменьшению величины зимнего максимума фосфатов в 1952 г. Во всяком случае, как это следует из приводимых им графиков, в том году период низких величин был наиболее продолжительным.

Возможно, что в этих многолетних отклонениях заключается одна из причин расхождения, в частности с данными 1926—1928 гг., в количественных показателях содержания фосфатов в верхней кислородной толще Черного моря, полученных различными исследователями в различные годы.

В настоящее время в результате больших работ, посвященных разрешению вопроса продуктивности вод Мирового океана, стали более или менее четко намечаться пути обогащения органогенными элементами верхней эвфотической зоны, а с ними и причины многолетних отклонений в содержании фосфатов. В частности, в настоящее время общепризнана важная роль подъема глубинных вод как одного из основных факторов, обогащающих верхнюю толщу моря питательными солями. Книпович (1938), Воронков и Кречман (1941), Аткинс (1926), Бух (Buch, 1952), Нильсен (Nilsen, 1954), Рейкстроу и Керрит (Rakestrow a. Carrit, 1948), Свердруп и др. (Sverdrup и др. 1946), Сейуэлл (Seiwell, 1935), Харвей (1948, 1950) и другие, резюмируя большое число работ последних лет, а также подводя итоги своим наблюдениям, пришли к единому заключению, что основное пополнение верхних слоев органогенными элементами происходит главным образом за счет поднятия их с глубинными водами, а пополнение с материка в общем балансе их имеет второстепенное значение (Buch, 1952). Более того, некоторые исследователи, как, например, Нильсен (Nilsen, 1954), считают, что продукция фитопланктона в тропических и субтропических областях океана в первую очередь и в наиболее значительной степени зависит от поступления сюда органогенных элементов снизу — от «возраста» поверхностных слоев. Идея обогащения органогенными элементами эвфотических слоев за счет глубинных вод применительно к Черному морю была высказана В. А. Водяницким в 1941 г. и развита в ряде его дальнейших работ (1948, 1954).

О путях поступления органогенных элементов снизу мнения авторов в частности несколько отличаются. Рейкстроу и Керрит (1948) считают, что пополнение ими происходит главным образом зимой за счет вертикальной циркуляции, когда происходит температурная инверсия. Аткинс (1926) еще в 1926 г. заметил, что вертикальная циркуляция вод, благодаря действию волнения, ветру и эффекту поверхностного охлаждения, выносит на поверхность свежие запасы органогенных элементов. Харвей (1948, 1950) указывает, что, помимо эффекта турбулентности, поступление биогенных элементов снизу на поверхность моря усиливается подъемом

глубинных вод. Бух (1952) включает также воздействие течений, образуемых вращением земли и пассатными ветрами, поднимающих кверху глубинные воды. Водяницкий (1948, 1954), Воронков и Кречман (1941), Купер (1933а, б; 1947; 1952б) и другие придают особо большое значение влиянию ветров на химические и биологические показатели моря. По их мнению, в результате сильного и продолжительного ветра происходит эффективное вертикальное перемешивание и в конечном счете значительная часть израсходованных в поверхностных слоях органогенных элементов возмещается за счет приноса их глубинными водами. В частности, Водяницкий (1948) пришел к заключению, что характер ветровой обстановки в Черном море ответственен за систему в нем циклонических течений, ведущих к подъему глубинных вод.

В свою очередь, эффективность перечисленных факторов, способствующих выносу питательных солей в эвфотическую зону, в значительной степени определяется метеорологической характеристикой данного года, особенно в таких сравнительно неустойчивых по своему режиму участках Мирового океана, как Черное море.

Черное море, как уже отмечалось, не является типичным морем умеренных широт. Кроме того, что отдельные его участки, как, например, северо-западный район и юго-восточная часть, по ряду своих физических показателей до некоторой степени противопоставимы, для Черного моря характерна большая неустойчивость в гидрометеорологической характеристике его от одного года к другому. Особенно это относится к зимнему периоду. Так, в некоторые теплые зимы, как, например, в зиму 1950/51 г., у южных берегов Крыма поверхностная температура воды не падала ниже 10—9°. В другие годы, напротив, она снижалась до 2° и даже более — до образования у берега сала и даже блинчатого льда, как в зиму 1928/29 г. (Старов, 1929). В исключительно суровые зимы, как это описывает Г. И. Танфильев (1931), возможно образование льда также в более южных районах моря и даже замерзания Босфора, как было в 1823 и в другие годы.

Приведенные литературные сведения позволяют допустить, что гидрометеорологическая характеристика данного года в районе Черного моря, в свете современных представлений о путях обогащения органогенными элементами верхней толщи моря, по-видимому, является одним из существеннейших факторов, определяющих их содержание в ней. В частности, многолетние отклонения в количестве, силе и продолжительности ветров, в количестве и распределении солнечной радиации на протяжении года и дня, а также в величине зимних температур воды, очевидно главным образом определяют собой наблюдаемые от году к году колебания в содержании фосфатов, особенно в зимнее время. Разберем влияние этих факторов на содержание фосфатов.

1. Продолжительные и сильные ветры, как это стало известно из ряда упоминавшихся выше работ последних лет, способствуют вертикальному перемешиванию вод и обогащению фосфатами слоев зоны фотосинтеза за счет поднятия их с глубин. Купером было найдено соотношение между силой ветра и степенью его воздействия на перемешивание. Им установлено, что сила перемешивания, вызываемая ветром, пропорциональна третьей степени шкалы Бофорта. Следовательно, ветер силой в 6 баллов вызовет перемешивание в 8 раз большее, чем ветер в 3 балла (Соопер, 1933а). Продолжительность и сила ветра в режиме органогенных элементов Черного моря, очевидно, приобретают еще большее значение, так как определяют собой в основном общий характер в нем системы течений.

Согласно заключению Водяницкого (1948), суммарный эффект воздействия ветров на поверхностные слои моря выразится в создании преобладающего течения, приобретающего характер нагонного течения, захватывающего большие пространства моря. Кольцевые сечения и куполообразные изоповерхности являются одновременными следствиями преобладающего нагонного характера движения поверхностных вод. В более поздней работе Водяницкого (1954) находим непосредственное указание на то, что в вышеизложенных процессах мы должны видеть некоторый регулятор содержания биогенных веществ в поверхностных слоях, непрерывно (в меру действия циклонического течения) противодействующий уводу биогенных веществ в глубины восстановительной зоны. Следовательно, глубина залегания вершин «куполов», а с ними и других точек ряда изолиний в какой-то мере будет определяться системой предшествующих ветров. Соответственно высокому подъему глубинных вод в этих районах будет наблюдаться и высокое залегание слоя с наибольшими положительными градиентами фосфатов. Как уже отмечалось, вершины «куполов» в халистатических областях расположены непосредственно в слое зоны фотосинтеза на глубине 40—50 м, а в иные годы, как, например, в апреле 1952 г., поднимаются на глубину 25—30 м. В данном случае перемещение изолиний по вертикали даже на ± 5 м, несомненно, отразится на общей величине содержания фосфатов в этой толще. Таким образом, в Черном море влияние ветрового режима на содержание фосфатов сказывается не только в районах континентального склона, как это найдено Купером (1952) для океана, но также и в халистатических областях.

2. Температурный режим зимы данного года также должен отразиться на содержании фосфатов в верхнем 50-метровом слое Черного моря. В холодные зимы, как известно, низкие температуры вызывают охлаждение поверхностных слоев до их максимальной плотности, что способствует более глубокой вертикальной циркуляции. Рейкстроу и Керрит (1948 г.), как уже отмечалось, придают этому обстоятельству первостепенное значение в обмене глубинных вод, в обогащении фосфатами поверхностных слоев. В приложении к Черному морю это положение четко сформулировано Водяницким (1954). Процесс возобновления запасов органических веществ в верхних слоях за счет нижних проходит особенно интенсивно в периоды или в годы с холодными зимами, когда вертикальная циркуляция захватывает те промежуточные слои, которые за предыдущие годы не попадали в сферу действия вертикальных токов и накопили запасы органических веществ. Вследствие этого в Черном море в зависимости от степени зимнего охлаждения поверхностного слоя из года в год могут наблюдаться более значительные колебания в содержании биогенных элементов, чем в других морях с нормальными условиями вертикальной циркуляции.

Кроме того, температурный режим зимы данного года также скажется и на биологических процессах верхней толщи моря. В нормальные зимы условия температуры и освещенности в Черном море таковы, что на значительно преобладающей части его развитие фитопланктона не прекращается и в зимний период. Напротив, из наблюдений Н. В. Морозовой-Водяницкой (частное сообщение), а также из наших наблюдений по суточному ритму кислорода известно, что нередко случаи обильного развития фитопланктона в январе и феврале. В суровые зимы, при всех прочих равных условиях, исключительно низкие температуры воды поверхностного слоя, очевидно, не будут столь благоприятными для интенсивного развития зимнего фитопланктона Черного моря. Так, Баческу (Băcescu, 1954) считает, что охлаждение воды поверхностных слоев Черного

моря до 3—4° является важным по своему разнообразному влиянию на развитие жизни «пределом» для продуктивности моря. В частности, по его мнению, понижение температуры воды до 1—2° далеко не безразлично для фитопланктона и в ряде случаев может прекращать его развитие.

Последнее дает некоторое основание предполагать, что в холодные зимы потребление фосфатов, по-видимому, несколько снизится по сравнению с теплыми.

3. Обратная зависимость между содержанием фосфатов в поверхностных слоях моря и количеством солнечного освещения в настоящее время является фактом, не вызывающим сомнений. В более ранний период океанографических исследований эта связь рассматривалась главным образом в разрезе сезонных изменений. Еще в 1917 г. Маттеус (Matthews, 1917) отметил, что максимальные величины фосфатов совпадают с наиболее короткими днями года. В более поздних работах Аткинса (1926) имеются уже указания на сдвиги во времени начала весеннего цветения от одного года к другому в зависимости от количества солнечного освещения в этот период. Автор отмечает, что начало весеннего уменьшения фосфатов (и цветения фитопланктона) в 1924 г. было на 2 месяца раньше, чем в 1923 г. В 1925 г. начало весеннего цветения и уменьшения фосфатов по времени занимало промежуточное положение между 1923 и 1924 гг. Соответственно автором найдены отличия в количестве солнечного освещения: ранняя весна 1924 г. характеризовалась большим количеством солнечных дней, в то время как в 1923 г. такие высокие величины были получены лишь спустя два месяца. Подобная зависимость была найдена также Купером (1933а) в начале 30-х годов для более частных случаев — для отдельных периодов одной и той же зимы. По его наблюдениям, зимнее падение в содержании фосфатов в поверхностных слоях следует за периодами солнечной погоды со слабыми ветрами — увеличение количества солнечных часов в зимний день сопровождается последующим падением в содержании фосфатов. Для Черного моря, где, как уже отмечалось, фитопланктон развивается в той или иной степени на протяжении почти всего года и даже возможны «вспышки» цветения в зимнее время, преобладание пасмурных или солнечных дней в зимний период в конечном итоге должно отразиться на содержании фосфатов в поверхностных слоях моря. По нашим наблюдениям, в очень пасмурные дни суточный ход кислорода зимой в районе выхода из бухты снижается до нуля (неопубликованные данные).

Согласно Буху (1952), воды Мирового океана по образованию первичной продукции, а с нею потребления органогенных элементов на протяжении года можно разделить на 2 основных типа. Крайним выражением одного из них являются более северные моря, как, например, Балтийское, где цветение фитопланктона происходит резко выраженной весенней вспышкой, во время которой в течение нескольких недель исчерпываются все запасы фосфатов. Другой тип присущ морям более низких широт, где развитие фитопланктона в большей или меньшей степени происходит равномерно на протяжении всего года. Последнему типу морей сопутствует постоянное низкое содержание органогенных элементов. Черное море по режиму биогенных элементов в преобладающей своей части занимает некоторое промежуточное — «неустойчивое» — положение между двумя указанными типами. В то же время значительная часть его (юго-восточный угол и южные районы) более приближается ко второму типу. Поэтому в зависимости от гидрометеорологической характеристики данного года в годовом режиме фосфатов Черного моря будут в большей или меньшей степени преобладать черты того или иного названного типа.

Очевидно будет близким к действительности заключение, что содержание фосфатов в верхней (0—50 м) толще Черного моря в основном обусловлено общей гидрометеорологической характеристикой его бассейна на протяжении всего данного года, в зависимости от которой суммарное течение взаимообусловленных физико-химических и биологических процессов в море принимает то или иное численное выражение. В частности, в годы с большим количеством ясных, теплых и спокойных дней, особенно в течение его зимнего периода — с «мягкими» зимами — в зоне фотосинтеза, вероятно, следует ожидать низкого содержания фосфатов. Примером может служить зима 1950/51 г., когда в феврале на разрезе Ялта — Батуми в преобладающем числе случаев фосфаты отсутствовали по всей вертикали до глубины 50 м (см. табл. 9). В этот же год они продолжали отсутствовать и весь летний период. Как уже отмечалось, в августе 1951 г. фосфаты не были найдены на большей части акватории Черного моря. Исключение составляли лишь восточный угол его и отдельные участки северо-западного района, где запасы фосфатов в поверхностном слое заметным образом восполняются материковым стоком. Истощение водной толщи в то лето распространилось до глубины 100 м в прибрежной полосе и до 75 м в удаленных от берегов районах моря. Результаты наблюдений в районе выхода одной из бухт крымского побережья также неизменно давали 0,00 мг/м³ Р от поверхности до дна (глубина 17 м) на протяжении всей зимы 1950/51 г. и последующего лета 1951 г. (см. табл. 16). Таким образом, как следует из этих данных, период с ноября 1950 г. до ноября 1951 г. отличался необычным для Черного моря обеднением фосфатами.

Очевидно, в зимы с относительно малым количеством и небольшой продолжительностью ветров в сочетании с высокими температурами воды поверхностного слоя снижается поступление с глубинных слоев фосфатов в зону фотосинтеза. В то же время благоприятные условия освещенности и температуры одновременно способствуют более энергичному потреблению фосфатов зимой. Суммарное воздействие этих процессов в итоге препятствует зимнему накоплению фосфатов, крайним выражением чего является падение содержания их в верхнем слое до 0 мг/м³ Р. Следует ожидать, что такая обедненность фосфатами зимой может снизить потенциальную возможность последующего весеннего цветения фитопланктона. 1
В

Напротив, в суровые зимы, особенно в зимы с большим числом штормовых погод и пасмурных дней, в конечном итоге поступление фосфатов в верхнюю толщу моря превысит их потребление. Эти зимы при всех прочих благоприятных условиях должны предшествовать более интенсивной вспышке весеннего цветения.

В случае же, если следовавшая за суровой зимой весна окажется либо очень облачной, либо штормовой, или то и другое вместе взятое, то, очевидно, некоторое количество фосфатов может отмечаться на протяжении всего весенне-летнего периода, как это было, например, в 1954 г.

Несомненно, что углубленные исследования в этом направлении откроют более частные и тесные зависимости.

Представленная выше схема зависимости количества фосфатов от гидрометеорологической обстановки данного года лишь ориентирует в возможных для Черного моря крайних отклонениях в содержании фосфатов в противопоставляемые по своему режиму годы, т. е. отмечает возможность случаев аналитического нуля фосфатов на всем протяжении одного года и, напротив, постоянное наличие их в течение другого. Между этими крайними пределами распределения фосфатов в Черном море

наблюдаются и различные промежуточные варианты, в том числе и годы с нормальным для умеренных широт сезонным ритмом — накопление фосфатов зимой с последующим исчерпыванием их в весенние и ранне-летние месяцы.

СЕЗОННЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ

Для суждения о сезонной смене в содержании фосфатов наиболее полными являются данные многолетних систематических наблюдений, проводимых нами ежемесячно, начиная с ноября 1950 г., и продолжающихся по настоящее время в районе выхода одной из бухт крымского побережья. Эти наблюдения охватывают почти полностью 5 неразорванных годовых циклов (см. табл. 16).

Отклонения в содержании фосфатов на протяжении каждого рассматриваемого года, как это следует из табл. 16, весьма незакономерны. Так, если за начало зимнего периода условно принять ноябрь, то в зиму 1950/51 г. в районе наших систематических наблюдений результаты определения фосфатов неизменно показывали аналитический нуль по всей толще на протяжении всех 12 месяцев — до ноября 1951 г. В зиму 1951/52 г. накопление фосфатов началось с ноября 1951 г.; количество их в этом месяце на поверхности в среднем составило около $7 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. Эта величина продолжала сохраняться в декабре и январе 1952 г. В феврале же 1952 г. количество фосфатов резко снизилось вновь до $0 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$; фосфаты продолжали отсутствовать в течение всех последующих месяцев, за исключением сентября, до ноября 1952 г. В ноябре 1952 г. фосфаты вновь появляются в среднем в количестве около $5 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В этот год фосфаты удерживались не только в течение всей зимы 1952/53 г. с небольшим максимумом — около $8 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ в январе, но и во все последующие месяцы 1953 г. с тем лишь различием, что содержание фосфатов в весенне-летний период этого года, начиная с марта, упало с 7 до $4\text{--}5 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. Более того, фосфаты продолжали отмечаться в течение всего последующего 1954 г. и зимних месяцев 1955 г. При этом в период зим 1953/54 и 1954/55 гг. содержание фосфатов заметно не превышало летних величин 1954 г. Напротив, некоторое повышение в содержании фосфатов по сравнению с названными зимами отмечено в августе и в ноябре 1954 г. Если в январе — феврале 1954 г. содержание фосфатов, главным образом, заключалось в пределах от 5 до $7 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$, то в августе 1954 г. на 0 м оно было равным $11 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В ноябре 1954 г. количество фосфатов было наибольшим для всего наблюдаемого периода (с ноября 1950 г. по сентябрь 1955 г.) — более $14 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В декабре же этого года содержание фосфатов заметно снизилось — до $5 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В январе и феврале 1955 г. количество их снова повысилось до $9 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В марте же 1955 г. содержание фосфатов вновь резко упало до $0 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$.

Сопоставляя рассмотренные данные (см. табл. 16), можно отметить, что четко выраженная «сезонность» в общепринятом понимании этого явления в содержании фосфатов в Черном море была хорошо выражена лишь в зимне-весенний период 1951/52 и 1954/55 гг., когда, начиная с ноября, наступило заметное увеличение в содержании фосфатов, продолжавшееся в течение зимних месяцев. Весной в эти годы содержание фосфатов резко снижалось.

Однако даже в случаях заметной «сезонности» в распределении фосфатов начало и продолжительность каждого данного сезона в Черном море по времени в различные годы могут быть заметно сдвинуты. Так, для перечисленных уже лет начало «весны» в содержании фосфатов в 1952 г. наступило в феврале, когда количество их резко снизилось до $0 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$;

в 1955 г. на месяц позже — в марте. Для 1950, 1953, 1954 гг. четкая сезонная смена в содержании фосфатов отсутствует. Как уже отмечалось, зима 1950/51 г. отличалась необычайным обеднением фосфатами ($0 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$), которое сохранялось на протяжении всего последующего весенне-летнего периода. Напротив, для 1953 и 1954 гг. характерно постоянное наличие фосфатов на протяжении всего года без значительного накопления их зимой и резкого уменьшения весной.

Для открытого моря такими длительными систематическими наблюдениями, охватывающими полностью годовой цикл данного года, мы не располагаем. Имеющиеся наблюдения, хотя и распространяются на много лет, но они по преимуществу носят отрывочный характер. В большинстве случаев, за исключением района Сухуми наблюдения эти относятся к отдельным сезонам года различных лет, поэтому в свете изложенных выше возможных многолетних отклонений эти данные не могут быть сопоставлены и рассматриваться как законченный годовой цикл.

Однако описанный выше режим фосфатов в указанном районе многолетних систематических наблюдений не является специфической особенностью лишь данного участка моря. Так, из сравнения данных для открытых, удаленных от влияния берега частей моря, полученных в календарно-совпадающие годы и месяцы, с наблюдениями в районе выхода из бухты, следует, что отмеченные закономерности распределения фосфатов в последнем хорошо согласуются с динамикой их в центральной части моря, во всяком случае сохраняется та или иная тенденция в их годовом распределении. Например, наблюдениями на разрезе Ялта — Батуми в феврале 1951 г. на протяжении всей вертикали до глубины 37—40 м так же как и в районе наших систематических наблюдений, отмечен аналитический нуль фосфатов и в центральной части Черного моря (см. табл. 9). Наблюдения в августе 1951 г., проведенные на больших участках открытых районов моря (разрезы в районе южный берег Крыма — открытое море и другие прилегающие к ним участки — табл. 7), показали аналогичное наблюдениям у выхода из бухты: полное отсутствие фосфатов — до 25—50 м. В апреле 1952 г. в той же части центрального района моря так же, как и в районе выхода из бухты, фосфаты не были обнаружены

Таблица 17

Распределение фосфатов
(в $\text{мг/м}^3 \text{ P}$) в открытом море
в августе 1953 г.

Разрез Херсонский маяк —
открытое море

Глубина в м	№ станций				
	1	2	3	5	Сред- нее
0	4	4	4	6	4
10	7	4	5	7	6
25	—	5	7	7	6
50	6	5	7	11	7
75	6	6	7	12	8
100	—	—	23	24	24

(табл. 8). В августе 1953 г. в открытом море (табл. 17) и в районе выхода из бухты (табл. 16) содержание фосфатов на 0 м определялось величиной

одного порядка: 4—5 мг/м³ Р. Такие же близко совпадающие величины получены в ноябре 1954 г. и в феврале 1955 г. В ноябре 1954 г. содержание фосфатов на поверхности в центральной части моря заключалось в пределах 7—9 мг/м³ Р (табл. 10), в феврале 1955 г. около 7 мг/м³ Р (табл. 19), т. е. величины одного порядка, что и в районе выхода из бухты (см. табл. 16).

Рассматривая годовое распределение фосфатов в центральной части моря и примыкающих к ней прибрежных районах, а также в районе наших систематических наблюдений, приходим к заключению, что оно может быть двух типов. Один из них, когда содержание фосфатов более или менее однородно в течение всего данного года, равно как в годы полного истощения ими, так и в годы с относительно высоким их содержанием. Второй — когда в величинах фосфатов в той или иной степени выражены сезонные отклонения. В этом случае зимний период, начиная с ноября, характеризуется повышением фосфатов, которое в большинстве своем удерживается в декабре, январе и отчасти в феврале. Максимальная, наблюдавшаяся в послевоенный период величина зимнего содержания фосфатов в районах, удаленных от влияния материкового стока (не считая случаев резко выраженного сгона), не превышала 20 мг/м³ Р. Весенние месяцы, в годы с ясно выраженными сезонными отклонениями, чаще характеризуются формальным отсутствием фосфатов (0 мг/м³ Р). Следующие за ними летние месяцы, примерно до августа, в этих случаях по содержанию фосфатов обычно мало отличаются от весны. При этом, как следует из табл. 16, осенне-зимнее содержание фосфатов не всегда плавно нарастает от месяца к месяцу, в отдельные месяцы зимы возможны значительные понижения в их содержании. Кроме того, сроки начала «зимнего» и «весеннего» сезонов, как уже отмечалось, могут быть смещены более чем на месяц (до 2 месяцев), в частности февраль одного года по содержанию фосфатов может быть типичной «зимой», другого — началом «весны». Последняя, как известно, по своим гидрохимическим показателям характеризуется значительным понижением в содержании органических элементов, зима напротив, — повышением.

Отдельные же районы Черного моря, в силу местных особенностей, по годовому режиму фосфатов могут значительно отличаться от центральной части моря. К таким районам следует отнести северо-западную часть моря, т. е. участок, расположенный примерно к северо-западу от линии мыс Тарханкут — мыс Калиакра, юго-восточный угол — к востоку от линии Сухуми — мыс Иерос и небольшой участок, примыкающий к Керченскому проливу — предкерченский район, поверхностные слои которого время от времени подвергаются значительному воздействию вод Азовского моря. В этих участках моря верхний 10-метровый слой обычно значительно богаче фосфатами, чем в остальной части моря. Так, в августе 1951 г. вся центральная часть моря характеризовалась полным отсутствием фосфатов, в северо-западной же районе содержание фосфатов в прибрежной полосе в слое 0—10 м достигало 10 мг/м³ Р. В юго-восточном углу моря фосфаты были обнаружены на всем его протяжении, количество их в этом районе на поверхности в среднем даже несколько превышало 10 мг/м³ Р, в участках же непосредственного влияния рек Рион, Кадор и других достигало 20 мг/м³ Р.

Увеличение фосфатов за счет материкового стока в итоге, как уже отмечалось, вызывает повышение среднего содержания их в поверхностной толще этих районов, вследствие чего значительно скрадываются отклонения в содержании фосфатов, вызываемые биологическими факторами. Колебания в количестве фосфатов на протяжении одного года в этих райо-

нах определяются, видимо, в значительно большей степени колебаниями в величине материкового стока. Это заключение хорошо прослеживается данными наблюдений, проводимых в течение нескольких лет в районе Сухуми, вблизи которого, как известно, впадает несколько рек. Так, на протяжении февраля, марта и ноября 1949 г. среднее содержание фосфатов в слое 0—10 м в этом районе в общей сложности в большинстве случаев выражалось сравнительно высокой величиной, зачастую при более низком содержании их на глубинах 25—37 и даже 50 м. При этом среднее содержание фосфатов в феврале этого года было наименьшим — около 8 мг/м³ Р на поверхности, в то время как в марте оно составляло 17 мг/м³ Р, в

Таблица 18

Распределение фосфатов (в мг/м³ Р) в различные сезоны 1949 г.
Разрез Сухумийский маяк — открытое море

Глубина в м	Февраль							Март					Ноябрь				Среднее		
	№ станций							№ станций					№ станций						
	1	2	3	4	5	6	7	1	3	5	7 (1с)	7 (2с)	3/11	17/11	27/11	29/11			
																		Фев- раль	Март
0	26	0	11	0	0	19	0	51	25	0	0	10	50	0	15	10	8	17	19
10	15	13	11	0	0	0	0	0	25	0	Сл	0	19	48	0	0	6	5	19
25	10	6	11	0	0	18	19	0	Сл	0	Сл	23	0	0	0	0	9	5	0
37	12	10	Сл	0	0	11	0	0	0	0	14	0	0	0	0	—	5	3	0
50	17	8	0	0	0	11	12	—	0	0	13	0	0	0	22	6	7	9	7
75	8	29	6	0	16	20	15	0	25	0	14	100?	19	Сл	—	12	13	28	10
100	—	31	—	18	15	36	33	20	34	40	—	36	19	0	22	15	22	32	14
150	—	—	10	25	26	49	—	—	47	48	24	57	56	40	14?	36	23	44	36

ноябре — 19 мг/м³ Р (табл. 18). В то же время суммарное содержание фосфатов в слое 0—100 м в ноябре было минимальным для этого года — 809 мг Р под 1 м², максимум же их отмечен в октябре — 2448 мг Р под 1 м² (табл. 14). К тому же для этих районов в пространственном распределении фосфатов, как отмечалось выше, характерна большая неравномерность величин: наряду с отсутствием фосфатов на отдельных станциях нередко случаи высокого содержания их на поверхности — от 10 до 50 мг/м³ Р. В частности, в феврале 1949 г. эти отклонения на 0 м заключались в пределах от 0 до 26 мг/м³ Р, в марте и ноябре этого же года — от 0 до 50 мг/м³ Р.

Аналогичный разброс величин фосфатов в этом районе отмечен и для других лет. Так, например, в апреле 1950 г. содержание фосфатов на 0 м колебалось от 0 до 24 мг/м³ Р, в среднем же составило около 6 мг/м³ Р, а в апреле 1953 г. преобладало число случаев аналитического нуля фосфатов, среднее содержание их на поверхности в этом месяце выразилось всего лишь 2 мг/м³ Р. В противоположность 1953 г., в мае и начале июня 1954 г. количество фосфатов по всей вертикали не снижалось менее, чем до 4 мг/м³ Р, а в преобладающем числе случаев оно было выше. Среднее для разреза на 0 м составило 9 мг/м³ Р при отклонениях на этом горизонте от 4 до 20 мг/м³ Р (см. табл. 12). В ноябре этого года, напротив, по всему юго-восточному району Черного моря фосфаты отсутствовали (0 мг/м³ Р) до глубины 50—75 м (табл. 10), когда в эти же календарные сроки в центральной части моря количество фосфатов на поверхности не было меньше 5 мг/м³ Р, а в преобладающем числе случаев 7—8 мг/м³ Р. Столь

же глубокая истощенность фосфатами в прибрежной 5—10-мильной полосе юго-восточного района отмечена также в феврале 1955 г. (табл. 19);

Таблица 19

Распределение фосфатов в феврале
1955 г. (в мг/м^3 Р)

Глубина в м	Разрез Херсон- ский маяк — открытое море		Восточный угол моря			
	№ станций					
	1	2	10	1	1а	2
0	6	7	0	0	0	0
10	7	7	0	0	0	0
25	8	6	0	0	0	0
50	7	6	0	0	0	0
75	16	7	12	0	0	0
100	—	13	25	Сл	Сл	0

в эти же дни содержание фосфатов в районе крымского побережья на поверхности исчислялось 6—8 мг/м^3 Р.

Из сопоставления данных для открытого моря и районов, подверженных в той или иной степени влиянию материкового стока, в последних, как это видно на примере юго-восточной части Черного моря, режим фосфатов отличен от центральной части моря. В этих районах четко выраженный годовой цикл в содержании фосфатов в верхней 10—20-метровой толще в преобладающем большинстве случаев отсутствует. Сезонные отклонения в величинах фосфатов в верхнем слое весьма расплывчаты, даже в те годы, когда в центральной части моря они более или менее ясно обозначены (осень, зима 1954—1955 гг.). В этих районах уменьшение содержания фосфатов в верхних горизонтах, вызываемое биологическими процессами, как уже отмечалось выше, в значительной степени нивелируется материковым стоком, за счет которого в общей сложности повышается средняя величина содержания фосфатов в верхнем слое. Весенняя истощенность фосфатов здесь лучше прослеживается на глубинах, подстилающих верхние горизонты: на 20—35 м (см. табл. 12).

Кроме того, отмеченная в ноябре 1954 г., в феврале 1955 г., а также в феврале 1949 г., т. е. во время зимнего сезона, в юго-восточной части Черного моря большая по сравнению с центральной частью моря истощенность фосфатами дает некоторое право предполагать, что в этих районах, наряду с повышенным поступлением фосфатов, несколько растянут период интенсивного извлечения их. Видимо здесь, укорочен срок «биологической зимы» — более раннее начало весны и более продолжительная осень (чему в известной мере возможно способствуют в общей сложности относительно более высокие зимние температуры воды этого района). В соответствии с этим сроки наступления того или иного сезона в этом районе могут быть значительно сдвинуты по отношению к остальной части моря.

В предкерченском районе сезонный ритм содержания фосфатов, вероятно, может быть нарушен нагоном более богатых фосфатами вод Азовского моря, как это, возможно, было в августе 1951 г.

Суточные изменения в содержании фосфатов (в мг/м³ Р) in situ в районе выхода из бухты

Глубина в м	Январь				Февраль				Март				Апрель				Май				Июнь				Июль				Август				Сентябрь				Октябрь				Ноябрь				Декабрь			
	8 ч. 15 м.	14 ч. 30 м.	17 ч. 50 м.	8 ч. 15 м.	7 ч. 30 м.	14 ч. 30 м.	14 ч. 30 м.	18 ч. 30 м.	7 ч. 30 м.	7 ч. 00 м.	14 ч. 30 м.	19 ч. 15 м.	7 ч. 00 м.	6 ч. 30 м.	14 ч. 30 м.	19 ч. 30 м.	6 ч. 30 м.	5 ч. 30 м.	5 ч. 00 м.	14 ч. 30 м.	20 ч. 30 м.	5 ч. 00 м.	5 ч. 20 м.	14 ч. 30 м.	20 ч. 00 м.	5 ч. 20 м.	6 ч. 00 м.	14 ч. 30 м.	19 ч. 40 м.	6 ч. 00 м.	6 ч. 30 м.	14 ч. 30 м.	19 ч. 00 м.	7 ч. 00 м.	7 ч. 40 м.	14 ч. 30 м.	17 ч. 00 м.	7 ч. 40 м.	8 ч. 15 м.	14 ч. 30 м.	17 ч. 15 м.	8 ч. 15 м.						
1 9 5 0 г.																																																
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
1 9 5 1 г.																																																
0	0	0	0	0	—	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	8	8	10	8	12	9					
10	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	7	10	8	10	8					
14	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	7	10	8	10	7						
1 9 5 2 г.																																																
0	7	6	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	10	7	7	0	0	0	0	8	13	0	0	6	6	4						
10	6	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	6	8	8	0	0	0	0	8	12	0	0	6	5	4						
14	4	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	6	8	5	0	0	0	0	5	10	0	0	5	5	4						
1 9 5 3 г.																																																
0	9	7	8	—	—	—	—	—	4	4	4	4	4	4	5	4	9	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	7	8	7	5	4	4	4	4	—	—	—	—	5	4	4	5					
10	8	6	7	—	—	—	—	—	4	4	4	4	4	4	5	5	8	4	5	4	4	4	4	5	4	4	5	6	6	6	5	4	4	4	4	—	—	—	—	5	4	5	6					
14	7	4	6	—	—	—	—	—	5	5	6	4	4	4	5	5	10	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5	6	4	6	6	4	4	4	5	—	—	—	—	6	6	5	6					
1 9 5 4 г.																																																
0	7	8	8	7	7	5	5	4	4	6	4	4	4	6	6	4	—	—	—	—	5	5	4	4	6	4	4	10	6	8	20	2	3	2	2	4	4	4	4	13	17	13	14	4	7	5	6	
10	—	—	—	8	7	7	7	6	5	6	5	5	7	8	7	6	—	—	—	—	13	8	21	5	7	4	5	4	10	7	8	8	4	3	2	1	4	5	4	5	15	16	13	18	7	6	6	6
14	—	—	—	8	7	7	6	5	6	5	6	6	7	7	7	6	—	—	—	—	10	6	5	5	7	6	5	10	7	8	8	4	4	2	1	5	8	6	5	16	16	12	14	8	7	9	8	
1 9 5 5 г.																																																
0	10	10	10	7	10	8	10	8	0	0	0	0	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
10	8	9	8	6	8	8	8	6	0	0	0	0	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
14	8	9	9	6	9	10	8	6	0	0	0	0	0	—	—	—	0	—	—	—	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	7	6	8	12	0	9	12	4	5	3	5			

Суточный ход фосфатов (в мг/м³ Р)
Разрез Сухумийский маяк —

Глубина в м	1949 г.												1950 г.																
	3—4 нояб- ря 0,5 миль от берега				17—18 ноября 0,5 миль от берега				27—28 ноября 0,5 миль от берега				16—17 апреля 2 мили от берега				19—20 апреля 50 миль от берега												
	18 ч. 00 м.	0 ч. 00 м.	6 ч. 00 м.	17 ч. 30 м.	24 ч. 00 м.	6 ч. 00 м.	12 ч. 00 м.	16 ч. 30 м.	6 ч. 00 м.	12 ч. 00 м.	24 ч. 00 м.	6 ч. 00 м.	12 ч. 00 м.	19 ч. 20 м.	23 ч. 15 м.	3 ч. 12 м.	7 ч. 08 м.	11 ч. 00 м.	15 ч. 00 м.	19 ч. 00 м.	13 ч. 00 м.	19 ч. 00 м.	23 ч. 17 м.	4 ч. 30 м.	8 ч. 00 м.	12 ч. 00 м.	15 ч. 00 м.	19 ч. 00 м.	
0	60	16	0	0	0	111?	0	0	15	6	16	18	0	9	16	35	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
10	19	0	0	48	0	19	0	0	0	8	0	—	—	14	17	18	14	22	22	10	5	0	0	5	0	0	8	0	
25	0	0	0	20	0	22	0	0	0	16	0	10	0	25	23	9	11	14	12	8	8	0	0	5	0	0	8	0	
50	0	0	0	0	0	11	0	0	22	14	0	16	0	11	6	12	9	7	0	12	5	9	6	7	8	9	10	6	
75	19	0	0	0	0	18	0	0	—	20	10	12	8	15	9	16	—	—	0	14	10	9	10	9	16	15	11	14	
100	19	0	27	0	28	30	22	18	22	23	16	20	21	32	18	16	15	28	15	15	32	30	19	20	29	33	30	28	

СУТОЧНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ

Еще менее ясен суточный ход фосфатов. Исходными данными для выяснения закономерностей суточного хода фосфатов послужили ежемесячные наблюдения на суточных станциях, проводимые на протяжении более 4 лет в районе выхода из бухты, а также данные нескольких суточных

Таблица 21а

Суточный ход фосфатов (в мг/м³Р) по наблюдениям в открытом море

Глубина в м	Разрез Ялта — открытое море, 17—18 июня 1950 г., 50 миль от берега										Разрез мыс Сарыч — открытое море, 1951 г.										Центральная часть восточной половины моря, 7—8 февраля 1951 г., 50—75 миль от берега											
											11—12 августа, 20 миль от берега					15—16 августа, 20 миль от берега																
	21 ч. 15 м.	0 ч. 50 м.	4 ч. 35 м.	8 ч. 50 м.	13 ч. 00 м.	16 ч. 30 м.	20 ч. 30 м.	0 ч. 40 м.	4 ч. 45 м.	8—9 час	10 ч. 30 м.	17 ч. 00 м.	21 ч. 15 м	0 ч. 50 м.	5 ч. 00 м.	20 ч. 40 м.	4 ч. 15 м.	8 ч. 32 м.	14 ч. 20 м.	20 ч. 00 м.	4 ч. 31 м.	8 ч. 50 м.	12 ч. 30 м.	16 ч. 00 м.	10 ч. 10 м.	14 ч. 15 м.	18 ч. 00 м.	7 ч. 30 м.	14 ч. 40 м.	18 ч. 20 м.	7 ч. 35 м.	
0	8	11	14	11	15	0	9	7	7	6	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8	16	34	9	10	8	10	7	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	9	13	25	8	9	9	10	8	8	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	24	31	34	20	52	10	12	10	8	9	0	0	0	0	24	0	0	9	0	0	0	18	11	9	0	5	0	0	4	0	0	0
75	17	24	16	14	14	9	13	14	10	12	19	—	18	19	21	25	28	25	25	24	24	32	24	13	9	14	12	12	11	11	—	—
100	21	36	31	25	28	25	25	22	18	20	—	34	26	38	—	36	41	36	44	37	35	56	37	—	—	—	—	—	—	—	—	—

станций открытого моря, главным образом в районе Сухуми (табл. 21 и 21а). Сроки наблюдений на них по времени суток согласовывались с положением солнца на горизонте. Пробы брались на восходе солнца, в послеполуденные часы, с заходом солнца и на восходе солнца следующего дня. По возможности эти же сроки сохранялись и на суточных станциях от-

Таблица 21

по наблюдениям в открытом море
открытое море

1953 г.											1954 г.										
27—28 апреля 10 миль от берега					26— 27 мая 10 миль от берега						25—26 мая 30 миль от берега					1—2 июня 7 миль от берега					
13 ч. 00 м.	19 ч. 00 м	24 ч. 00 м.	5 ч. 35 м.	13 ч. 15 м.	8 ч. 30 м.	14 ч. 00 м.	19 ч. 20 м.	0 ч. 35 м.	8 ч. 30 м.	13 ч. 00 м.	4 ч. 30 м.	12 ч. 30 м.	18 ч. 40 м.	0 ч. 15 м.	5 ч. 30 м.	10 ч. 40 м.	19 ч. 50 м.	0 ч. 20 м.	5 ч. 10 м.	12 ч. 30 м.	
0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	7	7	8	6	16	7	6	8	8	5	
0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	7	8	9	10	7	9	6	7	9	5	
0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	8	8	10	10	8	8	7	7	10	7	
0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	4	10	8	12	14	10	11	9	16	10	8	
0	0	0	0	0	5	6	12	14	12	10	13	15	14	14	12	12	13	15	10	9	
13	11	12	15	12	15	14	21	20	30	21	18	14	16	15	20	12	15	15	13	12	

крытого моря, с тем лишь различием, что здесь наблюдения велись и в ночные часы.

Как следует из данных этих наблюдений, суточный ритм в содержании фосфатов в общепринятом понимании этого явления, т. е. уменьшение их количества в дневные часы, вследствие более интенсивного потребления их в это время суток, и повышение в ночное время, выражен не ясно. Так, например, как следует из данных табл. 20, в период истощения фосфатов «нуль» фосфатов также неизменно отмечался на протяжении всех сроков наблюдений данных суток. Отдельные случаи внезапного увеличения фосфатов, как это было на суточных станциях в районе Сухуми (табл. 21), по отношению к суточному ритму фосфатов, связанному с биологическими процессами, в известной мере являются случайными. Они обусловлены главным образом колебаниями в пространственном распределении распресненных струй или относятся к числу «пятен», о которых упоминалось выше и происхождение которых не вполне выяснено. Некоторое исключение составляют данные, полученные в районе выхода из бухты в ноябре 1951 г., в ноябре и декабре 1952 г., когда количество фосфатов за дневное время (но не в ночное) возросло: в ноябре 1951 г. с 0 до 10 мг/м² Р, в ноябре 1952 г. — с 0 до 12 мг/м³ Р и в декабре того же года — до 6 мг/м³ Р (табл. 20).

Когда же в море имеется известное количество фосфатов, в большинстве случаев, как следует из тех же таблиц, намечается некоторая тенденция к уменьшению их содержания в дневное время по сравнению с «исходной» величиной на рассвете данного календарного дня. Полученные нами для этой части суток результаты сходны с результатами наблюдений Пратта (Pratt, 1949). Последний также наблюдал в искусственно удобренных прудах заметное уменьшение фосфатов после полудня при высоком содержании их утром. Эта аналогия не распространяется на результаты наблюдений, полученных для темной части суток. В противоположность полученным Праттом данным, в наших наблюдениях происшедшая в дневные часы убыль фосфатов за ночь *in situ* не возмещалась: на рассвете следующего дня количество фосфатов чаще не превышало

Изменения в содержании фосфатов (в мг/м³ Р) в светлых

Глубина в м	Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
	исходные	светлые	темные	исходные	светлые	темные	исходные	светлые	темные	исходные	светлые	темные	исходные	светлые	темные	исходные	светлые	темные
1950 г.																		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1951 г.																		
0	0	0	0	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	Сл	—	—	—	0	32,5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
14	0	0	0	—	—	—	0	Сл	Сл	0	Сл	0	0	0	0	0	0	0
1952 г.																		
0	7,1	Сл	Сл	0	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	6,3	0	Сл	0	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	0	Сл	Сл	0	0	0	0	0	0
14	4,0	0	0	0	Сл	Сл	Сл	Сл	Сл	0	Сл	Сл	0	0	0	0	0	0
1953 г.																		
0	9,1	6,4	6,4	—	—	—	4,0	3,5	3,6	4,1	3,9	4,5	9,0	3,8	12,5	3,8	4,8	4,5
10	8,4	4,1	3,9	—	—	—	4,5	4,8	4,0	4,1	5,5	4,5	7,8	5,1	10,0	4,1	5,1	5,4
14	7,4	4,4	4,1	—	—	—	5,0	4,8	5,6	4,4	6,8	4,9	9,5	4,4	10,6	4,6	5,5	5,6
1954 г.																		
0	—	—	—	7,1	5,4	5,2	4,5	4,8	5,2	4,5	4,8	5,5	—	—	—	5,2	5,0	4,5
10	—	—	—	8,0	5,8	5,6	5,0	5,8	8,2	7,2	25,8	7,0	—	—	—	13,2	5,2	5,0
14	—	—	—	8,0	6,1	6,6	5,0	7,2	6,5	7,2	5,5	7,5	—	—	—	9,8	5,2	6,0
1955 г.																		
0	10,5	5,5	5,2	10,0	6,8	5,2	0	0	0	—	—	—	—	—	—	0	3,0	0
10	8,2	4,2	4,0	7,5	5,2	8,5	0	0	0	—	—	—	—	—	—	0	0	0
14	8,0	4,2	4,2	9,0	6,2	5,0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	3,8	0	0

содержания предыдущего дня. Напротив, в ряде случаев, как, например, в ноябре и декабре 1951 и 1952 гг., в сентябре 1953 г., марте — апреле 1954 г. (табл. 20), наблюдалась хорошо выраженная тенденция к увеличению фосфатов в дневное время. И лишь в июне 1954 г. в районе Сухуми, а также в июне 1950 г. в районе Ялты отмечено повышение фосфатов в ночные часы (табл. 21 и 21а).

Тенденция к увеличению фосфатов в дневное время суток отмечена также наблюдениями Ньюкомба и Браста (Newcombe a. Brust, 1940) в эстуарии залива Чизпик. По приводимым этими авторами графикам суточного распределения фосфатов, наибольшая концентрация фосфатов в июне и сентябре 1939 г. была приурочена к концу дня — между 18 и 22 час. В ночные часы накопления фосфатов не происходило; напротив, с 22 до 24 часов количество фосфатов по сравнению с вечерними часами уже

Таблица 22

и темных склянках при одностуточной экспозиции их в море

Июль			Август			Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь		
исходные	светлые	темные	исходные	светлые	темные	исходные	светлые	темные	исходные	светлые	темные	исходные	светлые	темные	исходные	светлые	темные
1950 г.																	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0	0	0	0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0	0	0	6,0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	Сл	0	10,7	0
1951 г.																	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Сл	6,4	9,1	9,5	7,5	10,8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Сл	6,2	10,6	10,0	6,9	7,0
0	0	0	Сл.	0	0	0	0	0	0	0	0	Сл	5,8	7,4	10,0	6,9	6,9
1952 г.																	
0	0	0	0	0	0	7,5	8,0	6,8	0	0	0	Сл	0	0	Сл	5,4	4,1
0	Сл	Сл	0	0	0	9,5	12,5	7,8	0	0	0	Сл	0	0	Сл	4,5	3,9
0	Сл	Сл	0	0	0	11,5	8,8	8,0	0	0	0	Сл	0	0	Сл	3,8	3,8
1953 г.																	
3,9	4,0	4,1	4,4	4,1	8,1	7,1	4,5	6,2	4,5	4,1	5,4	—	—	—	4,8	5,0	22,3
4,1	4,5	5,1	4,9	5,2	5,0	5,5	6,2	6,9	4,6	3,8	4,9	—	—	—	5,2	6,9	6,8
4,2	5,1	—	4,9	5,8	10,5	6,2	6,2	11,9	4,5	3,8	5,6	—	—	—	5,8	6,9	7,4
1954 г.																	
6,5	3,8	4,5	10,2	6,8	11,0	2,2	1,8	1,0	4,5	4,5	5,0	13,2	12,8	13,8	4,0	4,5	4,8
7,0	4,0	3,8	10,5	7,0	8,8	4,2	1,5	1,9	4,2	5,0	6,0	14,8	9,8	14,5	6,8	7,0	6,0
7,0	5,0	4,0	10,5	7,5	8,0	4,2	1,8	1,5	4,8	4,8	5,5	16,0	15,8	14,8	7,8	7,8	8,8
1955 г.																	
0	0	0	0	0	0	3,8	0	0	10,0	Сл	6,8	8,3	20,4	11,4	6,8	8,4	6,5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,5	Сл	8,0	7,0	7,6	16,4	3,5	0,6	0,7
0	0	0	0	0	0	6,9	0	0	9,0	7,9	7,1	6,7	13,9	12,9	4,0	1,0	1,2

значительно снизилось и продолжало понижаться во все последующие утренние часы, достигая минимума в полдень.

Наблюдаемые нами непосредственно в море изменения в содержании фосфатов на протяжении данных суток в общей сложности были весьма невелики: по преимуществу порядка 1—2 мг/м³ Р, что при работе с цилиндрами Генера близко к пределу точности определений. Поэтому нет достаточно уверенных оснований рассматривать полученную величину отклонений как непосредственный показатель суточного ритма в содержании фосфатов. К тому же отмечаемые непосредственно в море изменения в содержании фосфатов на протяжении суток могут и не отражать происходящей в действительности суточной динамики процесса. Искажение суточного ритма фосфатов может быть вызвано сменой водных масс (течением, волнением и т. д.). Была сделана попытка исключить влияние

последних, применив для этой цели метод «склянок». В первый срок суточного цикла наблюдений, т. е. на рассвете первого дня, одновременно с непосредственными наблюдениями в море, с каждого заданного горизонта брались пробы в количестве 0,5 л в 2 склянки — «светлую» и «темную»¹, которые подвешивались на соответствующие глубины на сутки в море. На рассвете следующего дня (через сутки) пробы снимались и тотчас определялись в них фосфаты.

Как следует из данных табл. 22 в случаях формального отсутствия фосфатов в море в момент наблюдения также не удастся обнаружить прирост их за сутки и этим методом. В таких случаях, за исключением единичных наблюдений, как в темных, так и в светлых склянках результаты определения также почти всегда отмечали аналитический «нуль» фосфатов. Заметным исключением явились те же месяцы, что и при наблюдениях непосредственно в море, а именно: ноябрь 1951 г. и декабрь 1952 г., когда количество фосфатов в светлых и темных склянках, по сравнению с исходной величиной, за сутки резко возросло: в ноябре 1951 г. в светлых склянках с 0 до 6 мг/м³ Р, в темных — до 9 мг/м³ Р, в декабре 1952 г. — в светлых до 5, в темных — до 4 мг/м³ Р. Полученные результаты подтвердили правильность наблюдений *in situ*.

В тех же случаях, когда в исходной пробе содержалось некоторое количество фосфатов, в большом числе наблюдений содержание фосфатов в темных склянках слегка увеличивалось, в светлых уменьшалось, хотя различия эти, как следует из данных табл. 22, также невелики. Большое расхождение отмечено вновь в те же месяцы, что и при наблюдениях непосредственно в море, т. е. в декабре 1952 г. и ноябре 1951 г., кроме того, в мае 1953 г. В последнем случае количество фосфатов в темных склянках за сутки возросло в среднем на 3 мг/м³ Р, в светлых оно понизилось на 5 мг/м³ Р. Значительное понижение фосфатов, отмеченное в мае по сравнению с исходной величиной в светлых склянках, наряду с увеличением их в темных, очевидно, явилось результатом интенсивного извлечения их в этот период. Поэтому несмотря на энергичную в это время регенерацию фосфатов (3 мг/м³ Р в сутки), скорость потребления их превышала ее почти вдвое (5 мг/м³ Р в сутки). Этот факт, по-видимому, является вполне закономерным для периода весеннего развития фитопланктона, когда, как известно, резко возрастает потребление фосфатов.

Еще большие показатели прироста фосфатов в склянках за сутки найдены в ноябре 1951 г.: около 9 мг/м³ Р в темных склянках и около 6 мг/м³ Р в светлых. Из этих наблюдений следует, что в данном случае регенерация фосфатов, напротив, превышала их потребление, что также вполне соответствует современным представлениям о цикле осенне-зимних процессов в море.

Однако случаи столь четко выраженного суточного ритма фосфатов, по наблюдениям в склянках, экспозируемых в течение всего лишь одних суток, единичны и не столь постоянны, как это наблюдали В. Эдмондсон и У. Эдмондсон (Edmondson W. a. Edmondson U., 1947) и Пратт (1950) в склянках, с искусственно обогащенной фосфатами морской водой и экспозируемых в бассейне двора. В наших наблюдениях с натуральной морской водой в большинстве своем они выражены слабо. Более того, наряду с данными увеличения фосфатов в темных склянках по отношению к светлым, как это следует из табл. 22, имеется большое число наблюдений, что содержание фосфатов за сутки, по сравнению с исходной величиной,

¹ Окрашенная в черный цвет склянка вдобавок помещалась еще в черный непрозрачный для света мешочек.

Таблица 23

Изменения содержания фосфатов (в $\text{мг/м}^3 \text{ Р}$) в пробах, фиксированных и не фиксированных сулемой после 5 суток экспозиции
(по данным для 14 ч. 30 м.)

Глубина в м	Гайон выхода из бухты																														Открытое море *									
	1954 г.									1955 г.																					1954 г.									
	октябрь			ноябрь			декабрь			январь			февраль			март			апрель			май			июнь			июль			август			сентябрь			глубина в м	ноябрь		
	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы	исходное	с сулемой	без сулемы				
0	4	13	12	17	20	23	7	4	6	10	9	12	8	8	8	0	0	0	0	8	0	0	7	8	0	6	0	0	0	0	13	21	6	7	0	0	4	7	7	
10	4	12	9	16	17	18	6	4	5	9	12	11	8	8	9	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	5	4	0	0	0	0	11	0	0	7	50	9	16	16	
14	5	10	15	16	16	18	7	8	10	9	8	10	10	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	100	30	35	51		

* Экспозиция 20 суток.

«Исходное» — содержание фосфатов в море в момент взятия пробы.

Изменения величины прироста фосфатов (в мг/м³ Р) в пробах, фик
(по данным для

Район выхода

Глубина в м	1954 г.						1955 г.							
	Октябрь		Ноябрь		Декабрь		Январь		Февраль		Март		Апрель	
	с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы
0	8	7	3	6	-3	-1	-1	2	0	0	0	0	8	0
10	7	4	1	2	-2	-2	3	2	0	1	0	0	0	0
14	5	10	1	2	1	3	-2	1	-2	-2	0	0	0	0
Среднее для толщи:	7	7	2	3	-1	0	0	2	0	0	0	0	3	0

* Экспозиция 20 суток.

уменьшается как в светлых, так и в темных склянках. В этом уменьшении абсолютного содержания фосфатов в обеих склянках, очевидно, повинен не только фотосинтез фитопланктона. Как стало широко известно из ряда работ, в первые сутки в склянках идет энергичное потребление фосфатов бактериальной флорой, для массового развития которой большая поверхность склянки создает весьма благоприятные условия. Более того, Фишер и Бертел (Fisher a. Bertel, цит. по Das, 1954) нашли, что количество бактерий в поверхностном слое моря в дневное время значительно уменьшается, в течение же ночи происходит их пополнение. Суточные колебания в количестве бактерий, несомненно, должны отразиться на содержании фосфатов в склянках. В частности, наблюдаемые большие величины фосфатов в светлых склянках по сравнению с темными, при общем уменьшении их содержания по отношению к исходной величине, возможно, в некоторой своей части явились следствием суточных изменений в содержании бактерий. Отсутствие четкости в ритме фосфатов в темных и светлых склянках при экспозиции их в естественных условиях, возможно, обусловлено и другими пока мало известными нам факторами.

Таким образом полученные данные в результате односуточной экспозиции непосредственно в море темных и светлых склянок с натуральной морской водой лишь только с некоторой приближенностью могут быть использованы для вычисления скорости регенерации фосфатов (по увеличению их содержания в темных склянках), а также суточной продукции (по уменьшению их в светлых склянках), особенно, при малой величине этих изменений.

Дальнейший этап работы был направлен на поиски путей уточнения величин потребления и регенерации фосфатов, а также на выявление зависимости этих величин от времени года и времени суток. В связи с этим возникла необходимость устранения мешающего влияния других, сопутствующих фотосинтезу биологических факторов, присутствие которых искажает результаты наблюдаемого процесса. Для этой цели опыты со

Таблица 24

сированных и не фиксированных сулемой после 5 суток экспозиции
14 ч. 30 мин.)

из бухты												Открытое море *		
1955 г.												1954 г.		
Май		Июнь		Июль		Июль *		Август		Сентябрь		глубина в м	Ноябрь	
с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы	с сулемой	без сулемы		с сулемой	без сулемы
7	8	6	0	0	0	0	11	13	21	1	—6	0	3	3
6	0	5	4	0	0	0	11	0	11	0	7	50	7	7
0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	7	0	100	5	21
4	3	4	1	0	0	0	11	4	11	3	0	Среднее для тол- щи:	5	10

склянками были несколько изменены: одна часть склянок, взятых параллельно с наблюдениями на суточных станциях непосредственно в море, фиксировалась сулемой для стабилизации биохимических процессов (из расчета одна капля насыщенного раствора HgCl_2 на 100 мл), другая оставалась без изменений. Пробы забирались в светлые склянки, но хранились в лаборатории в темном шкафу — в условиях равной освещенности при температуре 19—21°. Срок экспозиции был удлинен до 5 суток для проб, взятых в районе выхода из бухты, и до 20 суток для одной серии проб открытого моря. Удлинение срока экспозиции было вызвано необходимостью получения большего диапазона в величинах. Срок именно в 5 суток был выбран потому, что широко распространенное определение растворенного, легко окисляющегося органического вещества в воде, основанное на биохимическом потреблении кислорода, исходит из величин 5-суточной экспозиции (БПК_5) (Барсов, Бруевич и сотр., 1927; Драчев, Разумов и др., 1953; Яковенко, 1950, и др.). При этом принято считать, что в таких условиях основная масса наиболее доступного для окисления органического вещества учитывается.

Из данных табл. 23, где приведены результаты этих наблюдений, следует, что различия в изменении содержания фосфатов в фиксированной и не фиксированной сулемой пробах закономерно. В одних случаях количество фосфатов за 5 суток повысилось несколько более в нефиксированных пробах, в других, напротив, в фиксированных. Расхождения между ними по преимуществу невелики: порядка 1—2 $\text{мг/м}^3 \text{ P}$, но в ряде случаев они составили значительно более высокую величину. Так, в апреле и июне 1955 г. содержание фосфатов в фиксированной пробе, взятой с поверхности, по сравнению с исходной величиной повысилось на 7 $\text{мг/м}^3 \text{ P}$, в то время как в нефиксированной оно осталось без изменений. В августе этого же года разность в количестве фосфатов между фиксированной и нефиксированной пробами на 0 м достигла 10 $\text{мг/м}^3 \text{ P}$. По-видимому, полученные расхождения в количестве восстановленных фосфатов между фикси-

рованными и нефиксированными пробами после 5 суток экспозиции их неслучайны. Вероятно, отсутствие четкой закономерной зависимости в изменении содержания фосфатов в пробах с сулемой и без нее по сравнению с исходной величиной происходит по следующим причинам: введение HgCl_2 , исключая биологическое потребление фосфатов, одновременно до некоторой степени стабилизирует также биохимические процессы; восстановление фосфатов в этих условиях, вероятно, осуществляется главным образом химическим путем. Без сулемы, наряду с повышенным потреблением фосфатов, по-видимому, происходит и более активная регенерация их за счет присутствия ряда биохимических активаторов. В тех склянках, где регенерация фосфатов к концу наблюдений в конечном итоге преобладала над их потреблением, содержание фосфатов в нефиксированной пробе будет выше, чем в фиксированной, и наоборот.

В противоположность результатам наблюдений, полученным при односуточной экспозиции склянок, при пятисуточной экспозиции увеличение в содержании фосфатов по сравнению с исходной величиной отмечалось на протяжении почти всех месяцев года, даже если исходное количество их было равным аналитическому нулю. Величина прироста фосфатов, как это вытекает из данных табл. 24, на протяжении года не постоянна, отклонения в ней, очевидно, обусловлены изменениями в сезонном цикле процессов в море. Наибольший прирост фосфатов в склянках после 5 суток экспозиции приходится на период с августа по декабрь — январь с максимумом величин за наблюдаемый период в октябре, когда увеличение фосфатов в среднем для 14-метровой толщи составило примерно $7 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В последующие месяцы величина прироста постепенно снижалась — в ~~декабре~~ ^{ноя}бре до $3 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ в среднем для всей толщи, в январе — до $1 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В феврале и марте прирост отсутствовал. Так, в феврале, несмотря на высокую исходную величину фосфатов — около $8 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$, — содержание их после 5 суток экспозиции осталось без изменения как в фиксированных, так и в нефиксированных пробах. В марте, когда в море к моменту наблюдений фосфаты были полностью извлечены, пятисуточная экспозиция проб также не дала видимого увеличения фосфатов. В последующие за первой весенней вспышкой развития фитопланктона месяцы (апрель, май, июнь), т. е. в периоды продолжающейся еще интенсивной вегетации, количество фосфатов в фиксированной сулемой пробе вновь резко возрастает — с 0 до $7 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ — в апреле только на поверхности, в мае и на глубине 10 м. Июль вновь не дал видимого прироста фосфатов. Однако отсутствие заметного прироста фосфатов в период интенсивной вегетации, в противоположность тому, что наблюдалось в конце зимы (см. ниже), еще не является показателем истощенности морской воды в это время года растворенным органическим комплексом фосфора. В данном случае фосфор, вероятно, находится лишь в относительно более устойчивой форме, скорость регенерации фосфатов из которой в условиях склянок более замедленна. В этом отношении показательны наблюдения июля 1955 г. (табл. 24), когда в исходной пробе и после пятисуточной ее экспозиции количество фосфатов оставалось равным нулю, после же 20 суток экспозиции содержание фосфатов в них возросло до $10\text{—}11 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$.

Примерно такие же величины прироста фосфатов, как и в районе выхода из бухты, — около $6\text{—}7 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ — дали пробы центральной части открытого моря, взятые в один и тот же месяц одного и того же года — в ноябре 1954 г. Однако результаты этих наблюдений менее показательны, так как для них был слишком удлинен срок экспозиции — до 20 суток. В этом случае возможно, и даже более вероятно, по аналогии с биохимическим потреблением кислорода, регенерация фосфатов во времени не

ноябре

шла плавно нарастающей кривой, а имела некоторый максимум, который в условиях опыта мог быть и не уловлен. Поэтому наблюдавшиеся в данном случае величины прироста фосфатов, вероятно, несколько преуменьшены — искусственно растянуты во времени.

Зависимость величины прироста фосфатов от месяца года, во всяком случае тенденция к тому, находит некоторое отражение в данных, полученных при односуточной экспозиции, а также в наблюдениях *in situ*. И в этих случаях, как уже отмечалось, наибольшие величины прироста фосфатов найдены в ноябре (1951 г.) и декабре (1952 и 1953 гг., см. табл. 20), когда увеличение в содержании фосфатов при односуточной экспозиции достигало от 4 до 10 мг/м³ Р.

Большие величины регенерации фосфатов в позднесенние и зимние месяцы вполне закономерны и хорошо согласуются с общепринятыми представлениями о годовом цикле фосфорного комплекса. Вместе с тем, как показала пятисуточная экспозиция проб, происходит значительный прирост фосфатов и в период интенсивной вегетации, который на протяжении одних суток обычные лабораторные эксперименты, а также наблюдения на суточных станциях непосредственно в море, не всегда позволяют уловить.

В дальнейшем возникла необходимость по возможности выявить, имеется ли и в чем выражается закономерная связь между скоростью регенерации фосфатов и тем растворенным органическим веществом, накопление которого сопутствует фотосинтезу (Добржанская, рукопись), и не является ли это вещество в период интенсивной вегетации основным источником фосфатов, обеспечивающим возможность дальнейшего развития фитопланктона после формального исчезновения их из морской воды.

В настоящее время факт обогащения растворенным органическим веществом морской воды, сопутствующий процессу фотосинтеза, по-видимому, не подлежит сомнению. Однако, насколько нам известно, для вод океана, в том числе и для Черного моря, литература до сих пор не располагала систематическими наблюдениями по распределению в них растворенного органического вещества, в частности зависимости его величин от времени года и тем более от времени суток, т. е. связи их с ритмом в фотосинтезе. В данном случае сделана попытка проследить изменения в содержании органического вещества в перечисленные моменты, хотя бы по косвенным показателям его, а именно, по изменению величин БПК₅ и окисляемости. Для этой цели в районе выхода из бухты, параллельно со всеми наблюдениями по фосфатам, велось определение перманганатной

Таблица 25

Сезонное распределение величин окисляемости (О₂ мг/л) в районе выхода из бухты (по наблюдениям в 14 ч. 30 м.)

Глубина в м	1954 г.				1955 г.								
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
0	0,94	1,07	0,80	0,74	0,68	0,85	1,09	1,02	0,99	1,22	1,13	1,12	1,16
10	0,87	1,02	0,78	0,75	0,70	0,69	0,94	0,72	0,92	1,00	0,92	0,91	1,02
14	0,86	0,93	0,80	0,77	0,72	0,68	0,88	0,72	0,76	0,92	1,04	0,87	0,88

окисляемости по методу Б. А. Скопинцева «в нейтральной среде» (Бруевич, 1938).

Связь между содержанием растворенного органического вещества и изменениями в суточном и сезонном ритме фотосинтеза хорошо прослеживается на полученном распределении величин окисляемости. Наибольшая окисляемость, как это следует из данных табл. 25, отмечается в весенне-летний период, наименьшая — в зимний. Аналогичная зависимость величин окисляемости от времени года установлена К. К. Вотинцевым (1955) для вод оз. Байкал, которую автор рассматривает как показатель того, что сезонные изменения в содержании органического вещества связаны с количественными изменениями в развитии фитопланктона. По нашим наблюдениям, эта связь простирается не только на количественные изменения в фитопланктоне, но и на изменение в интенсивности фотосинтеза. Последнее, со всей очевидностью, выявляется на суточном распределении величин окисляемости. Окисляемость достигает своего максимума в послеполуденные часы в весенне-летние месяцы (табл. 26), когда в результате фотосинтеза наблюдается и наибольшая суточная продукция

Таблица 26

Суточные изменения величин окисляемости (in situ) в районе выхода из бухты
(в мг/л O_2)

Глубина в м	1954 г.											
	Октябрь				Ноябрь				Декабрь			
	7 ч. 00 м.	14 ч. 00 м.	18 ч. 00 м.	7 ч. 00 м.	7 ч. 30 м.	14 ч. 15 м.	17 ч. 00 м.	7 ч. 30 м.	8 ч. 20 м.	14 ч. 00 м.	17 ч. 00 м.	8 ч. 20 м.
0	0,98	1,07	1,01	0,99	0,78	0,80	0,78	0,79	0,74	0,74	0,73	0,74
10	0,96	1,02	0,97	0,98	0,84	0,78	0,78	0,77	0,75	0,75	0,75	0,77
14	1,06	0,93	0,93	1,02	0,89	0,80	0,81	0,78	0,66	0,77	0,78	0,71

Глубина в м	1955 г.											
	Январь				Февраль				Март			
	8 ч. 10 м.	14 ч. 15 м.	17 ч. 00 м.	8 ч. 10 м.	7 ч. 30 м.	14 ч. 15 м.	18 ч. 20 м.	7 ч. 30 м.	7 ч. 00 м.	14 ч. 30 м.	19 ч. 00 м.	7 ч. 00 м.
0	0,65	0,68	0,66	1,06?	0,84	0,85	0,84	0,84	0,65	1,09	1,10	0,84
10	0,65	0,70	0,69	0,79	0,71	0,69	0,69	0,75	0,94	0,91	0,91	0,83
14	0,64	0,72	0,66	0,79	0,94	0,68	0,68	0,74	0,66	0,88	0,84	0,83

Глубина в м	1955 г.											
	Июль				Август				Сентябрь			
	5 ч. 15 м.	14 ч. 30 м.	20 ч. 00 м.	5 ч. 15 м.	6 ч. 00 м.	14 ч. 30 м.	19 ч. 30 м.	6 ч. 00 м.	6 ч. 40 м.	14 ч. 30 м.	18 ч. 50 м.	6 ч. 40 м.
0	0,87	1,13	1,04	0,79	0,83	1,12	1,05	0,84	0,93	1,16	0,93	0,88
10	0,96	0,92	0,87	0,80	0,80	0,91	0,88	0,94	0,90	1,02	0,88	0,84
14	1,03	1,04	0,77	0,86	0,76	0,87	0,83	0,99	0,92	0,88	1,09	0,90

кислорода (Добржанская, 1954.); в течение ночи величина окисляемости значительно снижается.

Несмотря на большие преимущества метода определения окисляемости в «нейтральной среде» (относительно хорошая чувствительность к изменению в содержании органического вещества, постоянство и однородность величин при многократных параллельных определениях в одной и той же пробе воды, простота манипуляций), в то же время получаемые результаты полностью не идентичны истинному содержанию растворенного органического вещества: они дают, как это считает автор метода (Скопинцев, 1948а), примерно 25 % от него. Поэтому в дальнейшем, параллельно окисляемости, определение органического вещества велось по наблюдениям величины потребленного кислорода (БПК), которое, как отмечает Скопинцев (1948а, 1950), может служить хорошим косвенным показателем содержания в воде легко окисляющегося органического вещества. При этом была сделана попытка по возможности отделить химическое потребление кислорода от биологического посредством исключения расхода кислорода на дыхание введением сулемы и таким образом выделить величину O_2 , затраченную только на окисление растворенного¹ органического вещества, содержащегося в море в момент наблюдения. Для этой цели непосредственно на суточных станциях в море пробы на O_2 во все 4 срока наблюдений с каждого данного горизонта одновременно забирались в 3 группы склянок.

В одной из них O_2 определялся тотчас, в другую вводилась сулема из расчета 1 капля насыщенного раствора ее на 100 мл пробы и третья оставлялась без изменения. 2 последние группы склянок выдерживались в лаборатории в темном шкафу в течение 5 суток при температуре 19–21°, после чего в них определялся остаточный кислород.

Как следует из данных табл. 27, 28, полученное годовое и суточное

Таблица 27

Сезонные изменения величины потребления кислорода (O_2 мг/л) и содержания органического вещества (мг/л) по данным пятисуточной экспозиции проб, фиксированных сулемой*

(район выхода из бухты, время взятия проб 14 ч. 30 м.)

Глубина в м	1954 г.					1955 г.								
	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
0	1,30	0,97	0,90	0,41	0,53	0,63	0,66	1,56	1,07	1,64	—	1,91	1,86	0,74
	1,00	0,75	0,69	0,32	0,41	0,48	0,51	1,20	0,82	1,13	—	1,47	1,47	0,57
10	0,66	1,10	1,29	0,39	0,40	0,44	—	1,34	0,83	1,17	1,56	2,31	0,74	0,54
	0,51	0,85	0,99	0,30	0,31	0,34	—	1,03	0,64	0,90	1,20	1,78	0,57	0,42
14	0,70	1,06	0,53	0,17	0,49	0,56	1,11	0,94	0,46	0,84	1,23	1,46	1,40	0,57
	0,55	0,81	0,41	0,13	0,38	0,43	0,60	0,72	0,35	0,65	0,95	1,12	0,85	0,44

* Числитель — потребление кислорода (мг/л); знаменатель — содержание органического вещества (мг/л), вычисленное по приведенным в таблице величинам потребления кислорода.

¹ «В морской воде... органическое вещество в подавляющей массе находится в растворенной форме и лишь небольшая часть его приходится на взвешенные вещества» (Скопинцев, 1948а, стр. 4).

Суточные изменения величины потребления кислорода и содержания органического
(район выхода)

Глубина в м	1954 г.											
	Ноябрь				Декабрь				Январь			
	7 ч. 30 м.	14 ч. 30 м.	17 ч. 00 м.	7 ч. 30 м.	8 ч. 20 м.	14 ч. 00 м.	17 ч. 00 м.	8 ч. 20 м.	8 ч. 10 м.	14 ч. 15 м.	17 ч. 15 м.	8 ч. 10 м.
0	0,44	0,41	0,41	0,57	0,43	0,53	0,68	0,28	0,44	0,63	1,24	0,63
	0,34	0,32	0,32	0,44	0,34	0,41	0,52	0,22	0,34	0,48	0,96	0,48
10	0,14	0,38	0,37	0,57	0,40	0,40	1,26	0,50	0,34	0,44	0,36	0,24
	0,11	0,30	0,28	0,44	0,31	0,31	0,97	0,38	0,26	0,34	0,28	0,19
14	0,43	0,17	0,54	0,47	0,27	0,48	0,50	0,44	0,56	0,56	0,51	0,43
	0,33	0,13	0,41	0,37	0,21	0,37	0,38	0,34	0,43	0,43	0,40	0,34

* Числитель — потребление кислорода (мг/л); знаменатель — содержание органического вещества (мг/л), вычисленное по приведенным в таблице величинам потребления кислорода.

распределение величин потребления кислорода является следующим, после окисляемости, подтверждением интенсивного образования сопутствующего фотосинтезу нестойкого органического вещества, повышающего его содержание в воде. Количество израсходованного кислорода как в пробах с сулемой (с/с) — химическое потребление O_2 : XPK_5 — так и без нее (б/с) — PK_5 — имеет годовой и суточный ход величин, аналогичный окисляемости, только выраженный с еще большей четкостью. Наименьшее количество потребленного O_2 приходится на зимние месяцы; в летние — потребление O_2 резко увеличивается, достигая здесь своего максимума в пробах, взятых в дневное время — в послеполуденные часы. Расхождение в величинах потребленного кислорода между пробами с сулемой и без сулемы в зимнее время, особенно в его ночные часы, невелико. Оно возрастает с началом весны и достигает наибольших значений в июне — августе в послеполуденное время.

Если принять, что уменьшение кислорода в пробах, фиксированных сулемой, обусловлено исключительно окислением растворенного органического вещества¹, при этом принять величину кислородного эквивалента для 1 мг органического вещества равным, согласно вычислениям Скопинцева (1948а), 1,3 мг/л O_2 (без нитрификации), то в весенне-летнее время (с марта по август) в дневные часы содержание легко окисляемого растворенного органического вещества на поверхности колеблется в пределах от 1,2 до 1,5 мг/л, зимой (с ноября 1954 г. по январь 1955 г.) держится около 0,4 мг/л, т. е. в летнее время количество растворенной, легко окисляемой фракции органического вещества в поверхностном слое по сравнению с зимой увеличивается в 3—4 раза (табл. 28). Более того, в летний период за дневные часы (от рассвета до конца дня), как это следует на примере июня 1955 г., количество растворенного легко окисляющегося органического вещества на поверхности возросло на 0,59 мг/л, за ночь (от захода до рассвета следующего дня) уменьшилось на 0,54 мг/л. (табл. 28).

¹ По этой причине дальнейшие рассуждения, касающиеся экспериментальных наблюдений, базируются на опытах с сулемой.

Таблица 28

го вещества по данным пятисуточной экспозиции проб, фиксированных сулемой из бухты *)

1955 г.															
Июнь				Июль				Август				Сентябрь			
4 ч. 30 м.	14 ч. 30 м.	20 ч. 30 м.	4 ч. 30 м.	5 ч. 15 м.	14 ч. 30 м.	20 ч. 30 м.	5 ч. 15 м.	6 ч. 15 м.	14 ч. 30 м.	19 ч. 30 м.	6 ч. 15 м.	6 ч. 40 м.	14 ч. 30 м.	18 ч. 50 м.	6 ч. 40 м.
0,97	—	1,74	1,10	0,84	1,91	0,87	0,81	1,30	1,86	3,47	1,54	0,53	0,74	1,46	0,61
0,75	—	1,34	0,80	0,65	1,47	0,67	0,62	1,00	1,47	2,67	1,18	0,41	0,57	1,12	0,47
1,03	1,56	1,94	1,37	1,63	2,31	2,09	1,06	0,10	0,74	1,26	0,80	0,37	0,54	0,69	0,33
0,80	1,20	1,50	1,05	1,25	1,78	1,61	0,81	0,08	0,57	0,97	0,61	0,28	0,42	0,53	0,25
0,86	1,23	1,40	1,09	1,86	1,46	2,49	1,46	0,76	1,10	1,29	0,63	0,39	0,57	2,93	0,21
0,66	0,95	1,08	0,84	1,43	1,12	1,91	1,12	0,58	0,85	0,99	0,48	0,31	0,44	2,25	0,16

Или, если исходить из того положения, что при затрате на окисление органического вещества 7,0 мл/л O_2 освобождается 0,09 мг/л Р (Sverdrup и др., 1946), то в нашем случае, в частности в июне 1955 г., разность в количестве потребленного на окисление кислорода при пятисуточной экспозиции проб, фиксированных сулемой, взятых на заходе солнца (1,28 мл/л O_2) и на рассвете следующего дня (0,77 мл/л O_2), составляет 0,51 мл/л O_2 , т. е. за ночь количество органического вещества в море на 0 м уменьшилось соответственно найденной величине кислорода и освободилось при этом около 0,0065 мг/л Р, или 6,5 мг/м³ Р.

Таблица 29

Суточные изменения в величине прироста фосфатов (в мг/м³ Р)*, глубина 0 м

	1954 г.		1955 г.					
	декабрь		январь		июнь		август	
	17 ч. 00 м.	8 ч. 20 м.	17 ч. 15 м.	8 ч. 10 м.	20 ч. 30 м.	4 ч. 30 м.	19 ч. 30 м.	6 ч. 00 м.
Исходное	5	6	10	7	0	0	0	0
Экспозиция ₅	5	6	13	14	6	0	13	0

* Исходное — содержание фосфатов в момент взятия проб.

Экспозиция₅ — содержание фосфатов после пятисуточной экспозиции проб с сулемой.

Параллельные определения непосредственно фосфатов в пробах, взятых к концу дня, с высоким показателем окисления после пятисуточной экспозиции их с сулемой дали прирост фосфатов, очень близкий по величине к вычисленной выше — 6,0 мг/м³ Р (табл. 29). Еще большие величины прироста получены для поверхности в августе. В этом месяце количество растворенного органического вещества в пробах, взятых для эксперимента к концу дня, по сравнению с содержанием его в пробах, взятых на рассвете этого же дня, в опытах с сулемой превысило на 1,52 мл/л O_2

(разность между количеством израсходованного на окисление кислорода в пробах, взятых на рассвете — 0,91 мл/л O_2 и к концу дня — 2,43 мл/л O_2). Следовательно, согласно расчетам, в данном случае количество освободившихся при этом фосфатов в пробах, взятых к концу дня, должно превысить таковое в пробах, взятых на рассвете, на 0,019 мг/л Р, или 19 мг/м³ Р. Величина прироста фосфатов, по непосредственным определениям их в этих же склянках в пробах, взятых к концу дня, составила 13 мг/м³ Р — величину, близкую к полученной по кислороду. В пробах, относительно уже обедненных фракцией легко окисляемого органического вещества — взятых на рассвете, прирост фосфатов в эксперименте аналитическим методом не обнаружен (табл. 29). Низкие показатели прироста фосфатов в общей сложности свойственны также месяцам конца зимы (см. табл. 24). Но в отдельных случаях в те дни, когда происходит интенсивный фотосинтез, как, например, в январе 1955 г. (табл. 28), в экспериментальных условиях также наблюдается заметный прирост фосфатов (табл. 29).

Следует отметить, что на горизонтах, расположенных глубже, суточные изменения как в количестве растворенного органического вещества, так и в величине прироста фосфатов выражены менее четко. Последнее в нашем случае, возможно, вызвано малой прозрачностью района наблюдений — интенсивный фотосинтез происходит лишь в самой поверхностной толще — до глубины 5 м.

С этих позиций становится понятным на первый взгляд парадоксальное распределение в году средних величин регенерации фосфатов, в частности резкое понижение их к концу зимы — в январе и феврале, и высокое количество в весенне-летний период (см. табл. 24). Причина такого распределения, по-видимому, заключается в следующем: к концу зимы преобладающая часть нестойкого фосфорного комплекса уже восстановлена, к этому времени отмечается более или менее высокое содержание фосфатов. В растворе остается более стойкая и более обедненная фосфором часть, которая для своего восстановления требует более длительного времени; в то же время поступление свежего органического вещества, судя по зимним величинам окисляемости и химического потребления кислорода, весьма ограничено.

Летом, напротив, в течение дня происходит энергичное поступление нестойкого органического вещества, содержащего в своем комплексе большое количество фосфора, в 3—4 раза превосходящее содержание фосфора в организмах и органическом детрите, отфильтрованном из воды (Харвей, 1948). Проведенные нами наблюдения показали, что из поступающего летом в течение дня органического вещества относительно легко регенерируют фосфаты. Этим может быть до некоторой степени объяснено часто наблюдаемое обильное цветение фитопланктона и после того, как фосфаты формально полностью извлечены из воды. Видимо, существеннейшим фактором в пополнении зоны фотосинтеза фосфатами является скорость регенерации. В этом отношении также интересен факт, отмеченный Кетчемом и Кином (Ketchum a. Keen, 1948) у западных берегов Флориды. С ноября 1946 г. по июль 1947 г. в этом районе спорадически наблюдалось необычайно обильное развитее *Gymnodinium* sp., вызвавшее даже окрашивание поверхности моря в буроватый оттенок. Пробы, взятые с этих участков, показали чрезвычайно высокое содержание общего фосфора — от 150 до 630 мг/м³ Р при низком содержании фосфатов в воде.

Полученные результаты лабораторных наблюдений, по-видимому, нельзя рассматривать как адекватное отражение процессов, происходящих в море. В данном случае нам не известны ни формы находящегося

в море растворенного органического вещества, ни ступени его окисления, ни зависимость происходящих процессов окисления от времени года, а, возможно, и суток. Остается также неясным до какой степени и до каких конечных продуктов происходит окисление органического вещества в лабораторных условиях, в частности в склянках, фиксированных сулемой.

Весьма вероятно, что в условиях моря велика роль биохимических активаторов — катализаторов органической и неорганической природы (Kjers, 1934; Harvey, 1925), способствующих образованию доступных для усвоения фитопланктоном форм органических элементов (возможно, даже не обязательно доведенных до продуктов полного окисления их), ускоряющих «оборачиваемость» органического вещества, и наличие которых, возможно, в свою очередь связано с той или иной группой организмов. Роль бактерий в данном процессе, несомненно, велика. Так, по ориентировочным подсчетам А. Е. Кресса (1954), количество минерализованного бактериями органического вещества в Черном море, в верхней 0—50-метровой толще его, за сутки выражается примерно $6,5 \text{ мг/м}^3$ и освобождается при этом около $0,032 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$.

В нашем случае в пробах, в которых исключено, если не полностью, то в значительно большей его части участие биологических факторов в процессах восстановления органического вещества, мы получили гораздо более высокий порядок величин фосфатов. Очевидно, помимо бактериального фактора, имеются и другие, в том числе абиотические. В последнем случае в природных условиях, возможно, не исключено также участие лучистой энергии, как это было экспериментально показано для окисления NH_3 до NO_3 Рейкстроу и Хеллендер (Rakestrow a. Hallaender, 1936).

Весьма вероятно, что в условиях моря, как это предполагает Пратт (1950), время, необходимое для полного возмещения фосфатов, может быть делом только часов.

В свете всего изложенного, формальное отсутствие фосфатов в море ($0,00 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$) не является показателем ограничения возможностей дальнейшего развития фитопланктона. В данном случае его продукция, если лимитируется в какой-то степени, то лишь скоростью оборачиваемости фосфорного комплекса, которая, в свою очередь, зависит как от формы нахождения его соединений (исключая живой организм), так и от общей совокупности тех биохимических процессов, которые протекают в море и сущность которых нам еще мало известна, как-то: прижизненная отдача органического вещества в море фито-и зоопланктоном, форма его, состав растворенного органического вещества в морской воде, скорость и пути его окисления и т. д.

В последнее время вопросы прижизненной отдачи органического вещества в море и его состава все больше и больше привлекают внимание исследователей как у нас, так и за рубежом. В этом направлении работы С. В. Горюновой (1950, 1951, 1952), представляют наиболее последовательный комплекс, который, однако, относится по преимуществу к пресноводным водоемам. Эти вопросы применительно к морской воде в последнее время широко затронуты в работе Джонстона (Johnston, 1955), который выделил и проанализировал растворенное органическое вещество из различных мест открытого моря. Он также проследил влияние отдельных его фракций на развитие фитопланктона и установил, что некоторые из них являются стимулирующими факторами.

Вычисления первичной продукции органического вещества по разности в содержании фосфатов между зимним максимумом и летним миниму-

Содержание общего, неорганического и органического

Глубина в м	№ стан																				
	1*			2*			3*			4*			5*			229			230		
	общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический
0	27	6	21	15	10	5	13	8	5	27	17	10	19	7	12	20	9	11	22	3	19
25	17	7	10	40	17	23	18	11	7	21	10	11	12	10	2	15	7	8	66	16	50
50	18	8	10	159?	21	138?	31	14	17	12	8	4	20	9	11	17	5	12	22	5	17
75	—	—	—	25	19	6	23	14	9	147?	22	125?	18	10	8	66	25	41	Дно		
100	76	26	50	33	32	1	28	13	15	156?	69	87?	—	—	—	Дно					

* Станции, отмеченные звездочкой, относятся к центральным глубоководным частям моря, остальные — к удаленным от берегов районам северо-западной части Черного.

мом, широко распространенные в прошлом десятилетии¹, по-видимому, далеки даже от ориентировочных величин. Восполнение запасов органо-генных элементов в зоне фотосинтеза происходит постоянно на протяжении всего года и не только за счет поступления с более глубинных слоев, которое летом с образованием температурного расслоения плотности несколько затрудняется, регенерация фосфатов происходит так же, как это следует из вышеизложенного, и непосредственно в зоне фотосинтеза, с высоким показателем суточной «оборачиваемости» растворенного органического вещества летом. Последнее обстоятельство обеспечивает возможность дальнейшего развития в период послевесеннего истощения органо-генными элементами зоны фотосинтеза тех или иных форм фитопланктона. Отсутствие фосфатов (0,00 мг/м³ Р), которое часто наблюдается в Черном море в теплый период года, является лишь показателем того, что в данном случае происходит энергичное потребление фосфатов, превышающее их поступление. В противном случае, летнее развитие зоопланктона, достигающее, как известно, в это время года своего максимума, было бы затруднено. Зимнее содержание фосфатов, очевидно, до некоторой степени определяет величину начального весеннего цветения, низкое содержание фосфатов зимой ее ограничивает.

ОБЩИЙ И ОРГАНИЧЕСКИЙ ФОСФОР В КИСЛОРОДНОЙ ТОЛЩЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Данными для Черного моря по содержанию общего фосфора, в том числе и органического, за исключением наблюдений для слоя 0—50 м (Дацко, 1954), литература не располагает. Наши наблюдения были направ-

¹ Попытка определить этим путем хотя бы величину весенней продукции наблюдается и сейчас. Так Армстронг, приводя величины сезонных колебаний фосфатов в 1954 г., считает, что «потребление органо-генных элементов во время весеннего цветения фитопланктона было равным 0,37 мг-атом» (Armstrong, 1955, пер. автора).

Таблица 30

фосфора в окислительной зоне Черного моря (в мг/м³ Р)

ций									Среднее для сев.-зап. части			Среднее для глубоководной части			Среднее для всего моря					
232			239			240									по М. А. Добрянской			по В. Г. Дацко		
общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический	общий	неорганический	органический			
25	3	32	24	—	—	25	10	15	23	6	17	20	10	11	22	8	13	24	12	12
14	7	7	30	9	21	—	—	—	31	10	21	22	11	12	26	10	15	27	13	14
6	5	1	38	12	26	18	11	7	20	8	13	20	12	10	20	10	12	33	22	11
Дно			Дно			Дно			66	25	41	22	16	8	33	18	16	—	—	—
									—	—	—	46	35	22	46	35	22	—	—	—

моря. Цифры, стоящие под вопросом, при вычислении средних величин во внимание не принимались.

лены главным образом на выявление величины содержания общего фосфора по всей вертикали глубоководной части Черного моря, считая, что полученные результаты могут в какой-то мере решить дискуссионный вопрос о количестве фосфатов в сероводородной толще Черного моря. Одновременно с этим была сделана попытка определить содержание органического фосфора. Последнее удалось проследить лишь для верхней кислородной толщи. Как уже отмечалось, определение фосфатов методом Дениже-Аткинса в модификациях, существующих в литературе, в присутствии H₂S приводит к неправильным результатам. В этих условиях получаемая величина минерального фосфора выше общего, чего в действительности не может быть.

Определение общего фосфора велось методом Бруевича и Костроминной (1938), органического — по разности в содержании общего и минерального фосфора, т. е. тем же методом, каким вел определения Дацко. Поэтому приводимые в табл. 30 величины общего и органического фосфора сравнимы между собой. Согласно данным этой таблицы, количество общего и органического фосфора, полученное в нашем случае, одного порядка с приводимыми Дацко величинами. Если же в данных Дацко отбросить несколько высокую, выходящую из ряда остальных его величин, цифру общего фосфора (55,9 мг/м³ Р), полученную им 12.XII 1950 г. для горизонта 25 м (1954), как это сделано в нашем случае для величин, поставленных под вопросом (станции 2*, 4*), то расхождение в среднем содержании общего и органического фосфора между наблюдениями обоих авторов для горизонтов 0, 25 и 50 м не выходит за пределы 1—2 мг/м³ Р. Это обстоятельство дает уверенность в правильности полученных величин для всей вертикали.

Из данных табл. 31 следует, что содержание общего и органического фосфора в верхней 100-метровой толще Черного моря не выходит резко за пределы общего ряда величин, полученных для других морей. Среднее содержание органического фосфора для каждого данного горизонта в пределах этого слоя по величине близко к приводимым Скопинцевым

(1950) данным Х. Сейуэлла и Г. Сейуэлла для западной части Северной Атлантики, по несколько выше, чем среднегодовая, по данным Редфильда и других (1937), для залива Мейн, и намного выше, чем в Баренцевом море, по наблюдениям Крепса и Осадчих (1933). В то же время количество органического фосфора в Черном море, видимо, значительно ниже — почти вдвое, чем в Кандалакшском заливе (Мусина, 1941) и, вероятно, также чем в Каспийском море (табл. 31). Однако наблюдения по органическому фосфору в Черном море не имеют такого систематического характера, как наблюдения в Кандалакшском заливе или заливе Мейн. В большинстве своем они не сопоставимы ни по времени, ни по месту. Имеющиеся данные позволяют лишь ориентировочно судить о порядке величин как $P_{орг.}$, так и $P_{общ.}$, не отражая их сезонной динамики.

Таблица 31

Вертикальное распределение средних величин органического фосфора в различных морях (в $мг/м^3$)

Глубина в м	Западная часть Сев. Атлантики (по Н. Seiwel a. G. Seiwel)*	Залив Мейн (по Redfield и др., 1937)	Баренцево море (по Крепс и Осадчих, 1933)	Каспийское море (по Виноградовой)*	Кандалакшский залив (по Мусиной, 1941)	Черное море	
						(по Дацко, 1954)	(по Добржанской)
0	13	13	7	30	—	12	13
5	—	—	—	—	25	—	—
25	—	—	8	33	24	14	15
50	16	7	8	28	23	11	12
100	18	8	9	28	23	—	22
200	13	7	10	26	20	—	—
300	12	—	—	33	—	—	—
400	10	—	—	31	—	—	—
500	—	—	—	28	—	—	—
600	10	—	—	26	—	—	—
700	—	—	—	22	—	—	—
800	9	—	—	21	—	—	—
1000	4	—	—	—	—	—	—
Дно	—	—	10	—	—	—	—

* Данные заимствованы из работы Б. А. Скопинцева (1950).

Как следует из данных табл. 30, количество органического фосфора в Черном море в пределах верхних 0—100 м с глубиной увеличивается. Для вертикали, расположенной глубже 100 м, из-за отсутствия для нее уверенных величин по фосфатам, данные по общему фосфору не позволяют вычислить содержание здесь органического фосфора. Тем не менее вертикальное распределение содержания общего фосфора представляет некоторый самостоятельный интерес. Количество общего фосфора, как это следует из табл. 4, неизменно увеличивается с глубиной до 1 тыс. м. При этом величина градиента общего фосфора по вертикали не однородна. Наибольшие положительные значения градиентов соответствуют верхним 200 м, с максимумом в толще, расположенной между 50 и 200 м, где градиент его на 1 м примерно равен $0,09 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. Глубже величина градиента заметно снижается, постепенно уменьшаясь до глубины 1000 м, и в слое

1000 м — 2000 м, градиент практически равен нулю. Начиная с 1000 м и до дна содержание общего фосфора в этой толще почти однородно по всей вертикали.

Увеличение с глубиной содержания общего фосфора отмечается во всех морях. При этом увеличивается количество фосфатов, в то время как содержание органического фосфора по вертикали весьма мало меняется. Напротив, в ряде случаев, как, например, в западной части Северной Атлантики на станциях 1210, 1169, 1172, в Каспийском море и на станции 26 (данные для этих морей заимствованы из работы Скопинцева, 1950) на больших глубинах — ниже 500 м — величина органического фосфора заметно понижается. То же отмечают Кетчэм и соавторы (1955) для экваториальной части Атлантики, где, по их многочисленным данным (до 1 тыс. проб), в большинстве случаев содержание органического фосфора на больших глубинах в пределах верхних 1000 м значительно уменьшалось, и совсем не обнаруживается $P_{орг.}$ в более глубоких слоях.

В частности, в Северной Атлантике на станции 1172 содержание органического фосфора на поверхности составляло $20 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, на 1000 м — $5 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$; в Каспийском море на станции 26 на 0 м — $36 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, на 800 — $16 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$. Особенно заметно снижается с увеличением глубины содержание взвешенной его фракции, как это видно на примере Каспийского моря и залива Мейн. В первом случае на станции 26 величина содержания растворенной и взвешенной фракции органического фосфора на поверхности одного порядка: $P_{орг.}$ взвешенный $18 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, растворенный — $19 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$; на 800 м — $P_{орг.}$ взвешенный $3 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, растворенный — $13 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$; в заливе Мейн на 0 м $P_{орг.}$ взвешенный $4 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, растворенный — $9 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, на 250 м — $P_{орг.}$ взвешенный $2 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, растворенный — $8 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$ (Redfield, Smith a. Ketchum, 1937).

Кривая вертикального распределения фосфатов и органического фосфора в ряде случаев имеет обратный ход, во всяком случае, с глубиной значительно возрастает содержание фосфатов по сравнению с органическим фосфором. Величина отношения $R_{мин.} : P_{орг.}$ как это видно на примере Северной Атлантики и Каспийского моря, также соответственно повышается. В последнем случае количество органического фосфора на единицу фосфатов на станции 26 на глубинах 600—800 м, по сравнению с поверхностью, понизилось более, чем в 80 раз. Так на поверхности $R_{мин.} : P_{орг.} = 1 : 37$; на 700 м это отношение составляет всего лишь $1 : 0,4$; на станции 27 — в 20 раз (на 0 — $R_{мин.} : P_{орг.} = 1 : 11$, на 800 м — $1 : 0,5$). В западной части Северной Атлантики, по данным Х. Сейуэлла и Г. Сейуэлла (Скопинцев, 1950) на станции 1169 это отношение на 0 м составляет $1 : 9$, на 993 м $1 : 0,02$. Даже в таком обедненном фосфатами море, как Саргассово, по наблюдениям тех же авторов, $R_{мин.} : P_{орг.}$ на поверхности равно $1 : 4,5$, на 1000 м равно $1 : 0,1$, т. е. количество органического фосфора на единицу минерального на глубине 1 тыс. м, по сравнению с поверхностью, уменьшается примерно в 45 раз. И наконец, Кетчэм и соавторы (1955) считают, что органический фосфор на глубинах ниже 1 тыс. и вообще отсутствует в количестве, доступном для современных методов определения.

Какую же именно часть общего фосфора на глубинах Черного моря составляет растворенная неорганическая фракция его, при существующих сейчас в практике гидрохимиков методах определения фосфатов. в присутствии H_2S точно установить пока не представлялось возможным. Степень точности метода определения фосфатов, рекомендуемого Я. К. Гололобовым (1953а), в условиях Черного моря, при высоком содержании H_2S на его глубинах, по причинам, уже обсуждаемым выше, для этой

цели недостаточна. По этой причине величина $P_{\text{орг.}}$ для глубинных слоев Черного моря, рассчитанная по данным Гололобова за 1949 год и нашим наблюдениям для $P_{\text{общ.}}$, будет мало достоверна и, по-видимому, непригодна даже для грубо ориентировочных выводов. Полученное на основании этих расчислений представление о содержании органического фосфора на глубинах Черного моря приводит к ряду противоречивых выводов:

1. Если принять как величину $P_{\text{орг.}}$ разность между количеством общего фосфора, полученного нами (табл. 4), и содержанием фосфатов по средним данным Гололобова за 1949 год около $100 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$ (Бруевич, 1953), то для глубины 1 тыс. м количество органического фосфора выразится величиной порядка $120 \text{ мг/м}^3 \text{ P}$, а величина отношения $R_{\text{мин.}} : P_{\text{орг.}} = 1 : 1,2$, т. е. содержание органического фосфора на этой глубине даже несколько больше, чем фосфатов, или на 1 тыс. м количество органического фосфора почти в 10 раз превышает его содержание на 0 м (табл. 4 и 30). В то же время, как это следует из данных распределения $P_{\text{орг.}}$ в водах Мирового океана, для последних характерно уменьшение количества органического фосфора на больших глубинах, во всяком случае, резкое понижение величины отношения $P_{\text{орг.}}$ к фосфатам. Даже в таком относительно богатом органическим веществом море, как Каспийское, по наблюдениям Е. Г. Виноградовой (Скопинцев, 1948б, 1950), содержание органического фосфора на глубине 800 м не превышает таковое на поверхности, а величина отношения $R_{\text{мин.}} : P_{\text{орг.}}$ на этом горизонте составляет $1 : 0,4$, $1 : 0,5$.

2. Столь высокому содержанию $P_{\text{орг.}}$ на больших глубинах Черного моря должно было бы предпосылаться и высокое содержание органического вещества на этих глубинах. Однако, как следует из наблюдений Дацко (1951), содержание и распределение органического углерода в Черном море по вертикали не подтверждает мнения о накоплении органического вещества в глубинных водах Черного моря; количество органического углерода в Черном море распределено почти равномерно по всей вертикали. Приводимые же Гололобовым (1949) и Пироговой (1950) для сероводородной зоны Черного моря высокие величины окисляемости, по мнению Скопинцева (Скопинцев, 1950, 1952), а также по нашим наблюдениям, вызваны не высоким содержанием органического вещества, а обусловлены накоплением в глубинных водах восстановленных серосодержащих соединений. По нашим наблюдениям (неопубликованные данные), величина окисляемости на больших глубинах в удаленных от берегов частях Черного моря за счет растворенного органического вещества того же порядка, что и на поверхности, во всяком случае не многим превышает последнюю.

Так как метод определения общего фосфора в условиях H_2S , по-видимому, не вызывает каких-либо принципиальных возражений, то полученную высокую величину разности ($P_{\text{орг.}} = P_{\text{общ.}} - R_{\text{мин.}}$) вероятнее отнести за счет погрешности в определении фосфатов в заниженности величин $R_{\text{мин.}}$, полученных Гололобовым для 1949 г. В противном случае приходим к исключаящим друг друга выводам. Так, столь низкое содержание фосфатов в глубинной толще Черного моря позволяет предполагать наличие здесь интенсивного водообмена. В то же время полученная по этим данным большая разность между содержанием общего фосфора и минерального говорит о несвойственном для вод Мирового океана обратном распределении органического фосфора по вертикали — о накоплении его на глубинах, что, напротив, должно служить показателем большой стабилизации здесь всех процессов.

К тому же из сопоставления между собой данных Гололобова для 1949 г. вытекает, что содержание фосфатов в глубинной толще Черного моря в районах с относительно меньшими глубинами выше, чем в халистатической области на тех же горизонтах. Так, например, в районе моря, где общая глубина немногим превышает 1000 м, на последнем горизонте (1050 м) содержание фосфатов равно $144 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$, а на 500 м — $137 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. В то время как в участках моря, с глубинами более 2000 м, содержание фосфатов на 1000 м составляет всего лишь $95 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$, на 500 м — $80 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. (Бруевич, 1953). Следовательно, по этим данным, содержание фосфатов в халистатике составляет всего лишь $\frac{2}{3}$ от содержания его на периферии этой области, что, как следует из вышеизложенного пространственного распределения фосфатов, не может быть. Максимальные величины фосфатов, начиная с глубины 40—50 м, для каждого данного глубжележащего горизонта расположены в центре халистатических областей — в районах моря с наибольшими глубинами, с наименьшим для данного горизонта содержанием кислорода и наибольшим количеством H_2S .

Число определений органического фосфора в водах всего Мирового океана вообще невелико. Почти отсутствуют данные по всей вертикали над большими глубинами океана. Лишь в 1955 г. в работе Кетчама и соавторов (1955) находим указания, что ими произведено около 1 тыс. определений органического фосфора в пробах, взятых в экваториальной части Атлантики. Но, к сожалению, авторы не приводят табличного материала. По-видимому, хорошо изученными являются лишь отдельные весьма небольшие участки Мирового океана, как, например, Кандалакшский залив (Мусина, 1941), залив Мэйн (Redfield и др. 1937) и Английский канал (Armstrong и Harvey, 1950), для которых известны также и сезонные изменения.

Также невелико число наблюдений по органическому фосфору в Черном море. Имеющиеся данные не позволяют даже судить об особенностях вертикального распределения органического фосфора в зависимости от района моря. Последние, в связи с местными отклонениями в вертикальном распределении фосфатов, представляют несомненный интерес для понимания «миграций» отдельных фракций фосфорного комплекса. Не менее важным является раскрытие закономерностей в распределении органического фосфора и связи его величин с содержанием минерального Р на протяжении суток каждого месяца данного года. Предполагать наличие таких закономерностей позволяет полученный четко выраженный суточный ритм в содержании растворенного органического вещества, величины которого к тому же находятся в тесной зависимости от времени года.

Столь ограниченное число наблюдений по органическому фосфору обусловлено, главным образом, затруднениями методического порядка, в том числе и длительностью процедуры одного анализа. В последние годы предложено несколько модификаций этого метода. Так, Хансен и Робинзон (Hansen a. Robinson, 1953) рекомендуют вести окисление органического вещества HClO_4 , а удаление мышьяка переводом его соляной кислотой в треххлористое соединение и последующим испарением его. Харвей (Harvey, 1948), несколько изменил способ самого процесса сжигания, он предложил вести его в автоклаве в присутствии H_2SO_4 при температуре $135\text{—}140^\circ$ в течение 5—6 часов. По его наблюдениям, в этих условиях полностью гидролизуются такие растворенные в морской воде соединения, как нуклеиновая кислота, фосфо- или глицеропротеины, а также створки диатомовых. Более поздние работы Кетчама и других (1955) апробировали метод Харвея. Они нашли, что модификация Харвея является

наиболее упрощающей определению общего фосфора и наиболее доступной для массовых определений.

Возможно, что в дальнейшем изучение динамики отдельных фракций фосфорного комплекса будет значительно облегчено применением последней модификации.

ВЫВОДЫ

I. По характеру пространственного распределения фосфатов в кислородной толще Черного моря различаются 2 слоя: верхние 50—60 м — зона интенсивного фотосинтеза и толща воды глубже 50—60 м.

1. В верхней 50—60-метровой толще по содержанию фосфатов выделяются отдельные участки моря — районы, подверженные влиянию материкового стока, как-то: северо-западный район, юго-восточный угол Черного моря, спорадически предкерченский район и другие участки, расположенные вблизи устьев больших рек. Эти районы характеризуются повышенным содержанием фосфатов в поверхностном слое, достигающем в отдельных случаях до $50 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$ и более. В таких районах с глубиной содержание фосфатов в пределах зоны фотосинтеза, как правило, понижается, нередко достигая минимальных величин на промежуточных горизонтах этого слоя. Толщина такого обогащенного фосфатами слоя обычно не превышает 15—25 м, чаще же ограничивается 5—10 м.

Области, занимаемые высокими величинами фосфатов, по своему пространственному положению весьма неустойчивы. Границы их в каждый данный момент зависят от величины стока и направления опресненных струй, которые, в свою очередь, обуславливаются в значительной степени направлением и силой ветра. Высокая средняя величина фосфатов в поверхностном слое этих районов вызвана не только непосредственным поступлением опресненных вод, но также, видимо, является результатом влияния сопутствующих им процессов: повышенным распадом органического вещества и образованием с взвешенными частицами «сорбционного комплекса» фосфатов. Отклонения в содержании фосфатов на протяжении данного года здесь, очевидно, в первую очередь обусловлены ритмом в поступлении пресных вод; влияние биологической сезонности на содержание фосфатов в поверхностных слоях этих районов, по-видимому, занимает подчиненное положение. Площадь этих районов в общей сложности по отношению к остальной части моря невелика. Материковый сток, как источник обогащения фосфатами зоны фотосинтеза в Черном море, как и в океане, занимает, по-видимому, лишь третье место. Однако значимость его в общем балансе фосфора для Черного моря, несомненно, значительно выше, чем для океана, как это следует из соотношения масс поступающих пресных вод к водам океана и Черного моря. Для последнего величина этого отношения намного выше, чем в океане.

В остальной, преобладающей части моря содержание фосфатов в поверхностных горизонтах обычно ниже, и в момент наблюдения количество их более или менее однородно. Отклонения обычно не превышают $\pm 3 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$. Поступление фосфатов в зону фотосинтеза в этой части моря обусловлено главным образом приносом их с глубинными водами в результате общединамических процессов — вертикальными и горизонтальными перемещениями водных масс. Последние в Черном море, в свою очередь, зависят от совокупности метеорологических условий данного года в районе его бассейна, в частности, от его ветровой обстановки. «Сезонность» в содержании фосфатов в этой части моря также не всегда четко выражена. Бывают годы, когда на всем протяжении его, в том числе и в

зимний период (зима 1950/51 г.), фосфаты формально отсутствуют ($0,00 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$). Напротив, бывают годы, когда фосфаты в большем или меньшем количестве всегда содержатся на большей части акватории моря.

Годы с хорошо выраженной сезонностью характеризуются чаще отсутствием фосфатов в весенне-летний период. В таких случаях фосфаты в иные годы могут быть извлечены по всей вертикали до глубины 50—75 м. Накопление фосфатов по преимуществу начинается с ноября и продолжается до февраля — марта. Начало «весны» и «зимы» в содержании фосфатов по времени от года к году меняется. Эти расхождения в отдельные годы могут достигать 2 месяцев. В иные годы исчезновение фосфатов происходит уже в феврале и даже в январе. В восточном углу моря, а также у анатолийского побережья, продолжительность «фосфатной зимы», видимо, сокращена; фосфаты здесь могут отсутствовать еще в ноябре при начавшемся уже повышении содержания их в остальной части моря.

Спорадически резкое повышение фосфатов в верхнем слое может быть вызвано стойкими явлениями. В отличие от опресненных районов, в таких случаях отмечается весьма высокое содержание фосфатов по всей вертикали не менее чем до 100 м.

Обогащение фосфатами зоны фотосинтеза, кроме приноса их с глубинными водами и материковым стоком, происходит также в значительной мере за счет образования и минерализации органического вещества непосредственно в пределах этой зоны. Последнее приобретает особую значимость в теплый период года — с наступлением температурного расслоения. По экспериментальным данным, прирост фосфатов в пробах, взятых с поверхности и фиксированных сулемой, после пятисуточной экспозиции их для июня 1955 г. составил $6 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$, для августа — $19 \text{ мг/м}^3 \text{ Р}$.

Многочисленные наблюдения на суточных станциях, а также экспозиции в течение 24 часов темных и светлых склянок в море в большинстве случаев не улавливают четко выраженного ритма в содержании фосфатов. Таковой был отмечен лишь в отдельные годы для отдельных месяцев. Изменения в содержании фосфатов хорошо прослеживаются лишь при пятисуточной экспозиции проб.

Преобладающее влияние того или иного фактора в обогащении фосфатами слоя фотосинтеза до некоторой степени обусловлено временем года. В осенне-зимний период накопление фосфатов в зоне фотосинтеза, очевидно, происходит главным образом вследствие поступления их с глубинных слоев; в летний — за счет «оборачиваемости» органического вещества в первую очередь в пределах зоны фотосинтеза.

Количество поступающих фосфатов в зону фотосинтеза регулируется не только сезонным ритмом тех или иных процессов, но также и многолетними колебаниями в гидрометеорологических условиях в бассейне Черного моря. Последние главным образом обуславливают наблюдаемый от одного года к другому большой диапазон в содержании фосфатов. В штормовые, с суровыми зимами, годы зона фотосинтеза, видимо, будет характеризоваться в большей или меньшей степени высоким содержанием фосфатов. Напротив, в годы со слабыми ветрами и мягкими, с большим числом солнечных дней, зимами следует ожидать уменьшения фосфатов в этом слое. Такие зимы могут ограничивать потенциальную возможность последующего весеннего цветения фитопланктона.

2. Характер пространственного распределения фосфатов в глубжележащих слоях, начиная примерно с глубины 50—60 м, до некоторой степени противопоставлен верхней толще. Наибольшее количество фосфатов расположено в центре халистатических областей, образуя здесь в распре-

делении изолиний фосфатов «купола» высокого их содержания. К периферии «куполов» содержание фосфатов на каждом данном горизонте постепенно снижается, достигая наименьших значений в прибрежной полосе. Вблизи берегов в иные годы фосфаты могут отсутствовать до глубины 100—125 и даже 150 м, в то время как в районе «куполов» на глубине 50 м всегда отмечается относительно высокое содержание фосфатов.

Положение вершины «куполов» в пространстве подвержено вертикальным и горизонтальным перемещениям. Однако смещение в глубине ее залегания обычно ограничивается ± 15 м и, видимо, лишь в редких случаях достигает ± 25 м. Содержание фосфатов в этой толще, как правило, повышается с глубиной. При этом наибольшие величины фосфатов как по горизонтали, так и по вертикали соответствуют здесь наименьшему содержанию кислорода.

II. Определение фосфатов методом Дениже-Аткинса в модификации, обычно принятой в океанографических исследованиях, в присутствии сероводорода ведет к завышенным результатам. Длительное продувание пробы, применение метода «двойной пробы», а также поглощение сероводорода углекислым кадмием (с последующим отфильтровыванием его) при определении фосфатов в условиях сероводородной зоны Черного моря не дают удовлетворительных результатов.

III. Широко приводимые в литературе данные по фосфатам для сероводородной толщи Черного моря, полученные обычной модификацией метода Дениже-Аткинса, завышены не менее чем в полтора раза. Содержание фосфатов, судя по величине общего фосфора в глубинной толще (1000 — 2000 м) Черного моря, очевидно, немногим превышает 250 мг/м³ Р с поправкой на соленость или около 200 мг/м³ Р без таковой. С глубиной содержание общего фосфора неизменно увеличивается, но главным образом лишь в пределах верхних 1 тыс. м; глубже, в слое 1 тыс.—2 тыс. м; величина общего фосфора по вертикали мало меняется.

IV. Содержание органического фосфора в верхних 50—100 м не выходит резко за пределы величины для других морей. Однако наблюдений для этой фракции фосфора для Черного моря весьма недостаточно. В дальнейшем необходимо при изучении органического фосфора выявить сезонные изменения его, а также суточные колебания.

ЛИТЕРАТУРА

- Архангельский А. Д. и Копченова Е. В. Заметка об органическом веществе, фосфоре и ванадии в отложениях Черного моря. Изв. АН СССР, Отд. физ.-мат. наук, 1930, № 3.
- Барсов К. К., Бруевич С. В., Долгов Г. И., Жуков А. И., Никитинский Я. Я., Озеров С. А., Позднякова Н. И., Привалов В. М. и Хецров И. Р. Стандартные методы исследования питьевых и сточных вод. Изд. пост. бюро 75. Москва, 1927.
- Бруевич С. В. Методика химической океанографии. Изд. Гидрометслужбы СССР, 1933.
- Бруевич С. В. Гидрохимия Среднего и Южного Каспия. Тр. по комплексн. изуч. Касп. моря. Изд-во АН СССР, 1937а, в. IV.
- Бруевич С. В. Альбом графиков. Прилож. к раб. «Гидрохимия Среднего и Южного Каспия». Изд-во АН СССР, 1937б.
- Бруевич С. В. Инструкция для гидрохимических определений в море. Пищепромиздат, 1938.
- Бруевич С. В. Очерк гидрохимии Баренцева моря. Тр. Океаногр. ин-та, 1948, в. 10 (22).
- Бруевич С. В. Химия и биологическая продуктивность Черного моря. Тр. Ин-та океанол. АН СССР, 1953, т. VII.
- Бруевич С. В. и Костромина А. А. Определение органического и минерального фосфора в природных водах. Журн. прикл. химии, 1938, т. XI, № 4.
- Вернадский В. И. Очерки геохимии. Горгеолнефтеиздат, 1934.

- Водяницкий В. А. К вопросу о биологической продуктивности Черного моря. Тр. Зоол. ин-та АН СССР, 1941, т. VII, в. 2.
- Водяницкий В. А. Основной водообмен и история формирования солёности Черного моря. Тр. Севастопольск. биол. ст. АН СССР, 1948, т. VI.
- Водяницкий В. А. О проблеме биологической продуктивности водоемов и в частности Черного моря. Тр. Севастопольск. биол. ст. АН СССР, 1954, т. VIII.
- Воронков П. П. Подсчет перичной продукции моря методом баланса питательных солей. Тр. н.-и. учрежд. Гидрометслужбы СССР, 1941а, сер. V, в. 2, Вопросы химии моря.
- Воронков П. П. Гидрохимический режим залива Петра Великого Японского моря. Тр. н.-и. учрежд. Гидрометслужбы СССР, 1941б, сер. V, в. 2, Вопросы химии моря.
- Воронков П. П. и Кречман Г. В. Гидрометеорологические и гидрохимические условия как регулятор растительной продукции моря. Тр. н.-и. учрежд. Гидрометслужбы СССР, 1941, сер. V, в. 2, Вопросы химии моря.
- Воронков П. П., Мусина А. А. и Свитаев А. И. Руководство по химическому анализу морских вод. Гидрометиздат, 1941.
- Вотинцев К. К. Материалы по динамике биогенных элементов в водах озера Байкал. Докл. АН СССР, 1952, т. 84, № 2.
- Вотинцев К. К. О скорости регенерации биогенных элементов при разложении отмершей *Melosira baikalensis* Wisl. Докл. АН СССР, 1953, т. 92, № 3.
- Вотинцев К. К. Вертикальное распределение и сезонная динамика органического вещества в воде озера Байкал. Докл. АН СССР, 1955, т. 101, № 2.
- Гололобов Я. К. К познанию возраста современной стадии Черного моря. Докл. АН СССР, 1949, т. 66, № 3.
- Гололобов Я. К. К методике определения фосфатов в воде Черного моря. Гидрохим. материалы, 1953а, т. 2.
- Гололобов Я. К. О мощности кислородно-сероводородного слоя в Черном море. Гидрохим. материалы, 1953б, т. 21.
- Гололобов Я. К. и Пирогов М. В. Верхняя граница сероводородной зоны в восточной части Черного моря. Докл. АН СССР, 1948, т. 63, № 2.
- Горюнова С. В. Химический состав и прижизненные выделения *Oscillatoria splendida* Grew., M.—L., 1950. Изд-во АН СССР.
- Горюнова С. В. Роль водорослей в обогащении водоемов растворенным органическим веществом. Автореф. Ин-т микробиол. АН СССР, 1951.
- Горюнова С. В. Характеристика растворенных органических веществ в воде Глубокого озера. Тр. Ин-та микробиол. АН СССР, 1952, в. II.
- Данильченко П. Т. и Чигирин Н. И. К вопросу о происхождении сероводорода в Черном море. Тр. Особой зоол. лаб. и Севастопольск. биол. ст. АН СССР, 1926, сер. II, № 5—10.
- Данильченко П. Т. и Чигирин Н. И. Материалы по химии Черного моря. II. К вопросу об обмене веществ в Черном море. Зап. Крымск. об-ва естествоисп. и любителей природы, 1929, т. 2.
- Дацко В. Г. Органическое вещество в воде некоторых морей. Докл. АН СССР, 1939, т. 24, № 3.
- Дацко В. Г. О вертикальном распределении органического вещества в Черном море. Докл. АН СССР, 1951, т. 77, № 6.
- Дацко В. Г. Некоторые химические показатели продуктивности Черного моря. Тр. ВНИРО, 1954, т. 28.
- Дацко В. Г. О динамике фосфатов в верхних слоях Черного моря. Докл. АН СССР, 1955, т. 100, № 6.
- Добжанская М. А. Распределение щелочности в северо-западной части Черного моря. Тр. Севастопольск. биол. ст. АН СССР, 1948а, т. VI.
- Добжанская М. А. О распределении кремния в Черном море. Тр. Севастопольск. биол. ст. АН СССР, 1948б, т. VI.
- Добжанская М. А. Режим фосфатов и нитратов в Черном море. Доклад на Совещании по вопросам изученности и перспективам использования сырьевых ресурсов Черного моря, созванном Ихиологической комиссией АН СССР, Керчь, 19—22. IX 1953.
- Добжанская М. А. Несколько замечаний об интенсивности фотосинтеза на различных глубинах и связанном с ним вертикальном распределении кислорода. Тр. Севастопольск. биол. ст. АН СССР, 1954а, т. VIII.
- Добжанская М. А. Интенсивность фотосинтеза в зависимости от времени года. Тр. Севастопольск. биол. ст. АН СССР, 1954б, т. VIII.
- Добжанская М. А. Сезонные и суточные колебания в содержании растворенного органического вещества в Черном море. Докл. АН СССР, 1956б, т. 111, № 2.
- Добжанская М. А. Характер вертикального распределения кислорода в

- зависимости от времени года в верхней 100-метровой толще центральной части Черного моря. Рукопись.
- Добржанская М. А. Сезонные особенности вертикального распределения кислорода в зоне фотосинтеза Черного моря. Рукопись.
- Драчев С. М., Разумов А. С., Бруевич С. В. и др. Методы химического и бактериологического анализа воды. Медгиз, 1953.
- Егорова В. А. О динамике распределения фосфатов в прибрежном районе Черного моря. Докл. АН СССР, 1955, т. 102, № 4.
- Иванов К. И. Основные черты гидрохимического режима предустьевого пространства р. Волги и северной части Каспийского моря. Тр. Гос. океаногр. ин-та, 1948, в. 4 (16).
- Караогланов З. Химия на Черном море. Тр. на Черноморск. биол. ст. въ Варна, 1934, № 3.
- Киткин П. А. О некоторых новых результатах в области изучения динамики вод Черного моря. Доклад на совещании аз.-черн. бригады Ихтиол. комиссии АН СССР, 27—29. II 1952.
- Книпович Н. М. Вертикальная циркуляция и распределение кислорода в морях Черном и Каспийском. Изв. Гос. гидрол. ин-та, 1930, № 31.
- Книпович Н. М. Гидрология морей и солоноватых вод. М.—Л., 1938.
- Крепс Е. М. и Осадчих М. Органический фосфор в морской воде. Internationale Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., 1933, Bd. 29, S. 221.
- Крисс А. Е. Роль микроорганизмов в биологической продуктивности Черного моря. Усп. совр. биол., 1954, т. 38, в. 1 (4).
- Лебединцев А. А. Предварительный отчет о химических исследованиях Черного и Азовского морей летом 1891 г. Зап. Новороссийск. об-ва естествоисп., 1892, т. 16, в. II.
- Морозова-Водяницкая Н. В. Фитопланктон Черного моря, ч. I. Тр. Севастопольск. биол. ст. АН СССР, 1948, т. VI.
- Морозова-Водяницкая Н. В. Численность и биомасса фитопланктона в Черном море. Докл. АН СССР, 1950, т. 73, № 4.
- Мушина А. А. Характер сезонного колебания органического фосфора в водах Кандалакшского залива Белого моря. Тр. н.-и. учрежд. Гидрометслужбы СССР, 1941, сер. V, в. 2, Вопросы химии моря.
- Никитин В. Н. и Скворцов Е. Ф. Гидрологические разрезы, произведенные на Черном море в 1923 и 1924 гг. Зап. по гидрограф., 1924, т. 49.
- Никитин В. Н. и Скворцов Е. Ф. Непериодические изменения гидрологических элементов и состава планктона у южных берегов Крыма. Зап. Крымск. об-ва естествоисп., 1926, т. IX.
- Пиროгова М. В. Определение окисляемости природных вод. Докл. АН СССР, 1950, т. 75, № 6.
- Скопинцев Б. А. О скорости разложения органического вещества отмершего планктона. Докл. АН СССР, 1947, т. 58, № 8.
- Скопинцев Б. А. Результаты применения некоторых методов определения органического вещества в морской воде. Тр. Гос. океаногр. ин-та, 1948а, в. 4 (16).
- Скопинцев Б. А. Органическое вещество в морских водах. Тр. Гос. океаногр. ин-та, 1948б, в. 10 (22).
- Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах. Тр. Гос. океаногр. ин-та, 1950, в. 17 (29).
- Скопинцев Б. А. Окисляемость вод Черного и Азовского морей. Докл. АН СССР, 1952, т. 87, № 5.
- Скопинцев Б. А. О распределении сероводорода в Черном море. Метеорол. и гидрол., 1953, № 7.
- Старов Д. К. Лед в Севастополе. Зап. по гидрограф., 1929, т. 56.
- Танфильев Г. И. Моря Каспийское, Черное, Балтийское, Ледовитое, Сибирское и восточный океан. М.—Л. Главнаука НРП РСФСР, 1931.
- Харвей Х. В. Биохимия и физика моря. Л., 1933.
- Харвей Х. В. Современные успехи химии и биологии моря. Л., 1948.
- Чигирин Н. И. Фосфор в воде Черного моря. Тр. Севастопольск. биол. ст. АН СССР, 1930, т. II.
- Чигирин Н. И. Химия Черного моря. Рукопись Гидрометеорол. обсерватории ЧФ, 1935.
- Яковенко В. А. Методы санитарной оценки морских вод. Изд-во Военно-морской Мед. Акад., 1950.
- Арstein C. Hat ein Organismus in der Tiefe gelebt, in der er gefischt ist. Intern. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., 1910/1911, Bd. III, N 1.
- Armstrong F. A source of error in the absorptiometric determination of inorganic and total phosphorus in sea water. Journ. Mar. Biol. Ass., 1949, v. 28, N 3.

- Armstrong F. Phosphorus and silicon in sea water off Plymouth during the years 1950 to 1953. Journ. Mar. Biol. Ass., 1954, v. 33, N 2.
- Armstrong F. Phosphorus and silicon in sea water off Plymouth during 1954. Journ. Mar. Biol. Ass., 1955, v. 34, N 2.
- Armstrong F. a. Atkins W. The suspended matter of the sea water. Journ. Mar. Biol. Ass., 1950, v. 29, N 1.
- Armstrong F. a. Harvey H. The cycle of phosphorus in the waters of the English Channel. Journ. Mar. Biol. Ass., 1950, v. 29, N 1.
- Atkins W. A quantitative consideration of some factors concerned in plant growth in water. Journ. du Conseil, 1926, v. 1, N 3.
- Atkins W. Seasonal variations in the phosphate and silicate content of sea water in relation to phytoplankton crop. Part V. November 1927 to april 1929. Compared with earlier years from 1923. Journ. Mar. Biol. Ass., 1930, v. 16, N 3.
- Atkins W. Seasonal variations in the phosphate and silicate content of sea water. Part VI. 1948. Compared with the 1923—1925 period. Journ. Mar. Biol. Ass., 1953, v. 31, N 3.
- Băcescu M. Influența iernii grele 1954 Asupra vietii si pescuitului din Marea Neagră. Bul. inst. de cecetări piscicole, 1954, N 4.
- Bruneau L., Yerlov N. and Koczy F. Physical and chemical methods. Appendix: Table I. Physical and chemical data. Rep. of the Swedish Deep-Sea Exped. 1947—1948, v. III, 1953. Phys. a. Chem., Fasc. II.
- Buch K. The cycle of nutrient salts and marine production. Rapports et Procès Verbaux des Reunions. (Conseil Permanent), 1952, v. CXXXII.
- Carritt D. a. Goodgal S. Sorption reactions and some ecological implications. Deep-sea research, 1954, v. 1, N 4.
- Cloves A. Phosphate and silicate in the southern ocean. Discovery Rep., 1938, v. XIX.
- Cooper L. Chemical constituents of biological importance in the English channel November 1930 to January 1932. Part I. Phosphate, silicate, nitrate, nitrite, ammonia. Journ. Mar. Biol. Ass., 1933a, v. XVIII, N 2.
- Cooper L. Chemical constituents of biological importance in the English channel. Part III. June — December 1932. Phosphate, silicate, nitrite, hydrogen-ion concentration with a comparison with wind records. Journ. Mar. Biol. Ass., 1933b, v. XIX, N 1.
- Cooper L. Organic phosphorus in sea water from the English channel. Journ. Mar. Biol. Ass., 1937, v. XXI, N 2.
- Cooper L. Salt error in determination of phosphate in sea water. Journ. Mar. Biol. Ass., 1938a, v. 23, N 1.
- Cooper L. Phosphate in the English channel 1933—1938 with a comparison with earlier years 1916 and 1923—1932. Journ. Mar. Biol. Ass., 1938b, v. 23, N 1.
- Cooper L. Internale waves and upwelling of oceanic water from middepths on to a continental shelf. Nature, 1947, v. 159, p. 579.
- Cooper L. Phosphate and fisheries. Journ. Mar. Biol. Ass., 1948, v. XXVII, N 2.
- Cooper L. Process of enrichment of surface water with nutrients due strong winds blowing on to a continental slope. Journ. Mar. Biol. Ass., 1952a, v. 30, N 3.
- Cooper L. The physical and chemical oceanography of the waters bathing the continental slope of the Celtic sea. Ibid., 1952b.
- Cooper L. Factors affecting the distribution of silicate in the North Atlantic ocean, and the formation of North Atlantic deep water. Journ. Mar. Biol. Ass., 1952c, v. 30, N 3.
- Cooper L. The boar fish *Capros Aper* (L.), as a possible biological indicator of water movement. Journ. Mar. Biol. Ass., 1952d, v. XXXI, N 2.
- Cooper L. a. Veaux D. Cascading over the continental slope of water from the Celtic sea. Journ. Mar. Biol. Ass., 1949, v. 28, N 3.
- Das S. Submarine illumination in relation to phytoplankton. Sci. a. Cult. Calcutta, 1954, v. 19, N 11.
- Defant A. Die systematische Erforschung des Weltmeeres. Zschr. der Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin. Sonderband zur Hunderjahrfeier der Gesellsch. 1928.
- Discovery Reports. 1941, v. 21; 1942, v. 22; 1944, v. 24; 1947, v. 27.
- Edmondson W. a. Edmondson U. Measurements of production in fertilized salt water. Journ. Mar. Res., 1947, v. 6, N 3.
- Hansen A. a. Robinson R. The determination of organic phosphorus in sea water with perchloric acid oxidation. Journ. Mar. Res., 1953, v. 12, N 1.
- Harvey H. Oxidation on sea water. Journ. Mar. Biol. Ass., 1925, v. 13, N 4.
- Harvey H. The Estimation of phosphate and of total phosphorus in sea water. Journ. Mar. Biol. Ass., 1948, v. 27, N 2.
- Harvey H. On the production of living matter in the sea Plymouth. Journ. Mar. Biol. Ass., 1950, v. 29, N 1.

- Hentschel A. u. Wattenberg H. Plankton und Phosphat in der Oberflächenschicht des Südatlantischen Ozeans. Ann. der Hydrogr. u. der Maritimen Meteorol., 1930, Jahrg. LVIII (58), Hft 8.
- Johnston K. Biologically active compounds in the sea. Journ. Mar. Biol. Ass., 1955, v. 34, N 2.
- Kalle K. Nährstoff-Untersuchungen als hydrographisches Hilfsmittel zur Unterscheidung von Wasserkörpern. Ann. Hydrograph., 1937, B. 65, S. 1—68.
- Ketchum B., Corwin N. a. Keen D. The significance of organic phosphorus determinations in ocean waters. Deep-sea Res., 1955, v. 2, N 3.
- Ketchum B. a. Keen D. Unusual phosphorus concentrations in the Florida. «Red-Tides» sea water. Journ. Mar. Res., 1948, v. VII, N 1.
- Kreps E. Organic catalysts or enzymes in sea water. James Johnstone Memor. volume, 1934.
- Matthews D. On the amount of phosphoric acid in the sea water off Plymouth sound. II. Journ. Mar. Biol. Ass., 1917, v. 11, N 2.
- Neumann G. Über den Aufbau und die Frage der Tiefenzirkulation des Schwarzen Meeres. Ann. der Hydrogr. u. d. Maritimen Meteorol., 1943a.
- Neumann G. Über die Stabilität der Wasserschichtung im Schwarzen Meer. Ibid., 1943b.
- Newcombe C. a. Brust H. Variations in the phosphorus content of estuarine waters of the Chesapeake Bay near Solomon's Island, Maryland. Journ. Mar. Res., 1940, v. 3, N 1.
- Newcombe C., Horne W. a. Shepherd B. Studies of the physics and chemistry of estuarine waters in Chesapeake Bay. Journ. Mar. Res., 1939, v. 11, N 2.
- Nielsen E. On organic production in the oceans. Journ. Conseil, 1954, v. 19, N 3.
- Petterson H. The swedish deep-sea expedition. Deep-sea Res., 1953, v. 1, N 1.
- Pratt D. Experiments in the fertilisation of a salt water pond. Journ. Mar. Res., 1949, v. 8, N 1.
- Pratt D. Experimental study of the phosphorus cycle in fertilized salt water. Journ. Mar. Res., 1950, v. 9, N 1.
- Rakestraw N. a. Carritt D. Some seasonal chemical changes in the open ocean. Journ. Mar. Res., 1948, v. 7, N 3.
- Rakestraw N. a. Hallaender A. Photochemical oxidation of ammonia in sea water. Sci., 1936, v. 84, N 442.
- Redfield A. The exchange of oxygen across the sea surface. Journ. Mar. Res., 1948, v. 7, N 3.
- Redfield A., Smith H. a. Ketchum B. The cycle of organic phosphorus in the gulf of Maine. Biol. Bull., 1937, v. 73, N 3.
- Renn C. Bacteria a. the phosphorus cycle in the sea. Biol. Bull., 1937, v. 72, N 2.
- Richards F. a. Redfield A. A correlation between the oxygen content of sea water a. the organic content of marine sediments. Deep-sea Res., 1954, v. 1, N 4.
- Robinson K. a. Thompson T. The determination of phosphates in sea water. Journ. Mar. Res., 1948, v. 7, N 1.
- Russel F. The seasonal abundance and distribution of the pelagic young of the teleost-fishes caught in the ring-trawl in offshore waters in Plymouth area. Part II. Journ. Mar. Biol. Ass., 1935, v. 20, pp. 147—179.
- Ruud I. Nitrates and phosphates in the southern seas. Journ. Cons., 1930, v. 5, N 3.
- Seiwell H. The annual organic production a. nutrient phosphorus requirement in the tropical western north Atlantic. Journ. Cons., 1935, v. 10, N 1.
- Seiwell H. a. Seiwell G. Über der Gesamtposphorgehalt des See-wasser im westlichen Nord-Atlantische Ozean. Ann. der Hydrogr. u. d. Maritimen Meteorol., 1934, 62, pp. 7—13.
- Seiwell H. a. Seiwell G. The sinking of decomposition plankton in sea water and its relationship to oxygen consumption and phosphorus liberation. Woods Hole Oceanogr. Instit. Collected Reprints, 1938.
- Stephenson W. Certain effects of agitation upon the release of phosphate from mud. Journ. Mar. Biol. Ass., 1949, v. 28, N 2.
- Sverdrup H., Johnston M. a. Flemming R. The oceans, their physics, chemistry and general biology. N. Y., 1946.
- Thomson H. Hydrographical observations made during the «Dana» — Expedition 1928—1930. Dana-Rep., 1937, N 12.
- Thompson E. Chemical and physical investigations. John Murray Expedition. Sci. Rep., 1937, v. 11, N 3; 1939, N 3, 4.
- Thompson T., Thomas B. a. Barnes C. Distribution of dissolved oxygen in the North Pacific ocean. James Johnston Memorial volume, Liverpool, 1934.
- Tully J. a. Carter N. A simplified procedure for colorimetric analyses of sea water. Journ. Cons., 1938, v. XIII, N 1.

- W a t t e n b e r g H. Die Verteilung des Sauerstoffs und des Phosphates im Atlantischen Ozean. Wissensch. Ergebnisse d. Deutschen Exped. auf dem Dampfer «Meteor», 1938, Bd. 9.
- W a t t e n b e r g H. Atlas zu die Verteilung des Sauerstoffs im Atlantischen Ozean. Wissenschaftliche Ergebnisse d. Deutschen Exped. auf dem Dampfer «Meteor», 1939, Bd. 9, Atlas.
- W o o s t e r W. a. R a k e s t r o w N. The estimation of dissolved phosphate in sea water. Journ. Mar. Res., 1951, v. 10, N 1.

