

РОЛЬ СКАЧКА ПЛОТНОСТИ В ВЕРТИКАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОКЕАНЕ (НА ПРИМЕРЕ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА)

М. П. Максимова

Распределение биогенных элементов по вертикали в поверхностной структурной зоне океана носит зональный характер и определяется в основном двумя факторами — физическим и биологическим, т. е. глубиной залегания слоя скачка плотности и вертикальных градиентов плотности в нем, а также фотосинтетической деятельностью фитопланктона. Большие градиенты плотности в слое скачка затрудняют водообмен поверхностного слоя с подстилающим, препятствуя тем самым поступлению биогенных элементов с глубинными водами. Фотосинтетическая деятельность фитопланктона является фактором второго порядка, поскольку в значительной степени, особенно для зоны круглогодичной вегетации, определяется первым фактором.

Разработка темы ведется на основе сбора, обработки и обобщения автором первичных гидрохимических материалов советских и зарубежных экспедиционных исследований в Индийском океане, включающих в общей сложности 110 экспедиций (более 100 тыс. химических анализов).

Для того чтобы выявить степень влияния фактора слоя скачка плотности и вертикальных градиентов плотности в нем на характер распределения по вертикали биогенных элементов и содержание их в поверхностном слое океана (на примере Индийского океана), был произведен корреляционный анализ ряда зависимостей для случая двух групп. Корреляционный анализ показал наличие обратной функциональной связи среднезональных величин градиентов плотности в слое скачка и среднезональных величин отношения содержания биогенных элементов слоев $\frac{1-100 \text{ м}}{100-200 \text{ м}}$ ($r=-1,00$; $P>99,95\%$ — на примере фос-

фатов). Таким образом, установлено, что интенсивность обогащения биогенными элементами поверхностного слоя за счет подстилающего обратно пропорциональна градиентам плотности в слое скачка.

Корреляционный анализ показал также наличие обратной стохастической связи ($r=-0,55$; $P>95\%$) среднезональных средневзвешенных концентраций фосфатов в поверхностном слое и среднезональных градиентов плотности в слое скачка. Но связь в этом случае более слабая по сравнению с первым вариантом корреляционного анализа, так как не учитывался фактор содержания биогенных элементов в подстилающем слое.

Для установления характера распределения биогенных элементов по вертикали и их зависимости от вертикальных градиентов плотности были рассчитаны вертикальные градиенты фосфатов, нитратов и кремнекислоты для всей акватории Индийского океана на основе данных по 5-градусным квадратам. Вычислены градиенты фосфатов, нитратов и кремнекислоты на 1 м глубины по интерполированным величинам. На основе данных по 5-градусным квадратам вычислены среднезональные величины вертикальных градиентов биогенных элементов (табл. 1, 2, 3). Полученные результаты позволили установить слой максимальных вертикальных градиентов биогенных элементов, его расположение, мощность и соответствие слою максимальных вертикальных градиентов плотности, что математически подтверждается результатами корреля-

**Вертикальные градиенты фосфатного фосфора в Индийском океане
(среднегодовые), мкг-атом/м**

Зона	Слой, м								
	0—25	25—50	50—75	75—100	100—150	150—200	200—300	300—400	400—500
Аравийское море	0,004	0,010	0,014	0,012	0,011	0,004	0,002	0,002	0,002
Бенгальский залив	0,007	0,009	0,022	0,020	0,011	0,006	0,002	0,001	0,001
10— 0° с. ш.	0,001	0,004	0,011	0,017	0,012	0,004	0,003	0,002	0,002
0—10° ю. ш.	0,002	0,004	0,010	0,014	0,011	0,005	0,002	0,002	0,002
10—20° ю. ш.	0,0015	0,0015	0,004	0,006	0,006	0,004	0,002	0,002	0,002
20—30° ю. ш.	0,001	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
30—40° ю. ш.	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
40—50° ю. ш.	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001
50—60° ю. ш.	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001
60° ю. ш.	0,004	0,007	0,005	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005

Таблица 2

**Вертикальные градиенты нитратного азота в Индийском океане
(среднегодовые), мкг-атом/м**

Зона	Слой, м								
	0—25	25—50	50—75	75—100	100—150	150—200	200—300	300—400	400—500
Аравийское море	0,072	0,153	0,147	0,152	0,106	0,040	0,017	0,024	0,020
Бенгальский залив	0,007	0,136	0,170	0,364	0,204	0,088	0,042	0,019	0,013
10— 0° с. ш.	0,009	0,036	0,160	0,288	0,139	0,049	0,029	0,024	0,024
0—10° ю. ш.	0,013	0,035	0,144	0,223	0,155	0,058	0,030	0,025	0,029
10—20° ю. ш.	0,008	0,015	0,066	0,111	0,096	0,070	0,031	0,028	0,038
20—30° ю. ш.	0,006	0,012	0,010	0,026	0,030	0,022	0,022	0,028	0,030
30—40° ю. ш.	0,012	0,020	0,020	0,026	0,028	0,032	0,025	0,029	0,029
40—50° ю. ш.	0,037	0,059	0,038	0,041	0,021	0,025	0,012	0,013	0,016
50—60° ю. ш.	0,039	0,016	0,026	0,030	0,025	0,007	0,015	0,004	0,003
60° ю. ш.	0,110	0,030	0,039	0,024	0,011	0,024	0,007	0,016	0,016

**Вертикальные градиенты кремнекислоты в Индийском океане
(среднегодовые), мкг-атом/м**

Зона	Слой, м								
	0—25	25—50	50—75	75—100	100—150	150—200	200—300	300—400	400—500
Аравийское море	0,089	0,099	0,130	0,158	0,150	0,122	0,075	0,062	0,061
Бенгальский залив	0,048	0,128	0,220	0,240	0,224	0,116	0,084	0,062	0,062
10— 0° с. ш.	0,044	0,058	0,113	0,167	0,160	0,098	0,059	0,070	0,059
0—10° ю. ш.	0,021	0,036	0,098	0,146	0,152	0,066	0,019	0,043	0,084
10—20° ю. ш.	0,026	0,023	0,059	0,093	0,101	0,081	0,035	0,038	0,061
20—30° ю. ш.	0,022	0,022	0,014	0,014	0,009	0,005	0,001	0,002	0,004
30—40° ю. ш.	0,012	0,030	0,024	0,025	0,007	0,004	0,004	0,012	0,010
40—50° ю. ш.	0,015	0,015	0,014	0,037	0,019	0,029	0,034	0,032	0,038
50—60° ю. ш.	0,071	0,086	0,132	0,161	0,172	0,175	0,116	0,070	0,066
60° ю. ш.	0,101	0,208	0,278	0,285	0,147	0,101	0,079	0,056	0,060

Таблица 4

**Корреляционная связь вертикальных градиентов плотности и
вертикальных градиентов биогенных элементов по зонам
Индийского океана**

Зона	Фосфаты		Кремнекислота		Нитраты	
	коэффициент корреляции r	степень достоверности коэффициента корреляции P	коэффициент корреляции r	степень достоверности коэффициента корреляции P	коэффициент корреляции r	степень достоверности коэффициента корреляции P
Аравийское море	0,95	>99,95	0,83	>99,95	0,93	>99,95
Бенгальский залив	0,97	>99,95	0,89	>99,95	0,91	>99,95
10— 0° с. ш.	0,90	>99,95	0,83	>99,95	0,88	>99,50
0—10° ю. ш.	0,95	>99,95	0,77	>99,00	0,88	>99,90
10—20° ю. ш.	0,85	>99,75	0,69	>97,50	0,80	>99,50
20—30° ю. ш.	0,46	>75,00	0,46	>75,00	-0,32	>75,00
30—40° ю. ш.	0,40	>75,00	0,82	>99,50	-0,47	>75,00
40—50° ю. ш.	0,29	>75,00	0,17	>60,00	-0,09	>60,00
50—60° ю. ш.	0,49	>90,00	0,79	>99,00	0,28	>75,00
60° ю. ш.	0,99	>99,95	0,79	>99,00	0,41	>75,00

сионного анализа (табл. 4) и наглядно картами (рис. 1) распределения величин максимальных вертикальных градиентов фосфатов, нитратов, кремнекислоты и глубины их залегания и графиками (рис. 2—4).

На основании перечисленных материалов, позволивших осуществить картографический, графический и математический анализы, показана зависимость характера вертикального распределения биогенных элементов (фосфатов, нитратов, кремнекислоты) от глубины залегания скачка плотности и вертикальных градиентов плотности в нем. В районах с большими величинами вертикальных градиентов плотности эта связь проявляется наиболее ярко и статистически подтверждается высокими положительными значениями коэффициентов корреляции с высокой степенью достоверности, что свидетельствует о жесткой положительной связи вертикальных градиентов плотности и биогенных элементов. Эта закономерность четко выражена и на графиках (см. рис. 2—4). При ярко выраженном скачке плотности четко прослеживается и скачок концентраций биогенных элементов. По мере понижения величин вертикальных градиентов плотности уменьшаются и величины вертикальных градиентов биогенных элементов. В районах с низкими величинами вертикальных градиентов плотности или отсутствием скачка плотности, как правило, невелики и величины вертикальных градиентов биогенных элементов, а связь этих факторов ослабевает.

Корреляционный анализ. В первую очередь остановимся на результатах корреляционного анализа. Корреляционный анализ факторов вертикальных градиентов плотности и вертикальных градиентов биогенных элементов проведен по зонам Индийского океана. Как известно, высокими вертикальными градиентами плотности, ярко выраженным слоем скачка плотности отличаются воды поверхностной структурной зоны северной части Индийского океана, расположенной севернее зоны субтропического антициклонического круговорота (САК). Для этой области Индийского океана характерна жесткая положительная корреляционная связь распределения по вертикали градиентов плотности и биогенных элементов, выраженная для фосфатов коэффициентами корреляции 0,97—0,90 (достоверность $> 99,95\%$) при среднем значении $r=0,94$; для кремнекислоты — коэффициентами корреляции в пределах 0,83—0,77 (достоверность соответственно в пределах $> 99,95—99\%$) при среднем значении $r=0,83$; для нитратов — коэффициент корреляции в пределах 0,93—0,80 (достоверность $> 99,95—99,5\%$), среднее значение $r=0,88$ (см. табл. 4).

В зоне субтропического антициклонического круговорота, где слой скачка выражен относительно слабо, корреляционная связь факторов вертикальных градиентов плотности и биогенных элементов также слабая (см. табл. 4), особенно в области по оси центров антициклонических круговоротов. Причина ослабления связи факторов распределения вертикальных градиентов плотности и биогенных элементов в этой зоне, очевидно, заключается не только в уменьшении их абсолютных значений, но и в обеднении биогенными элементами вод в слое скачка плотности за счет фотосинтетической деятельности фитопланктона, которая охватывает в этой малопродуктивной области большую толщу, в значительной степени включая и слой скачка плотности.

Наиболее низкий коэффициент корреляции (порядка 0,10—0,30) показывает практически отсутствие связи в распределении по вертикали между такими факторами как градиенты плотности и градиенты биогенных элементов в хорошо перемешанных на большую глубину водах течения Западных ветров, где вертикальные градиенты плотности и биогенных элементов чрезвычайно низки (см. табл. 4).

Картографический и графический анализ. Для познания закономерностей распределения биогенных элементов в трофогенном слое и фор-

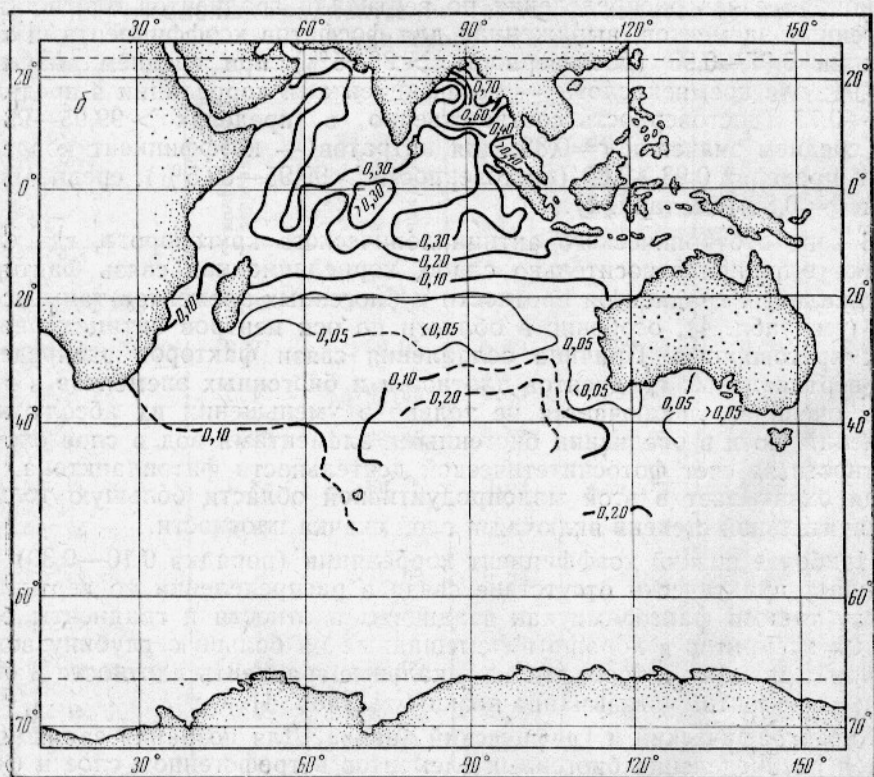
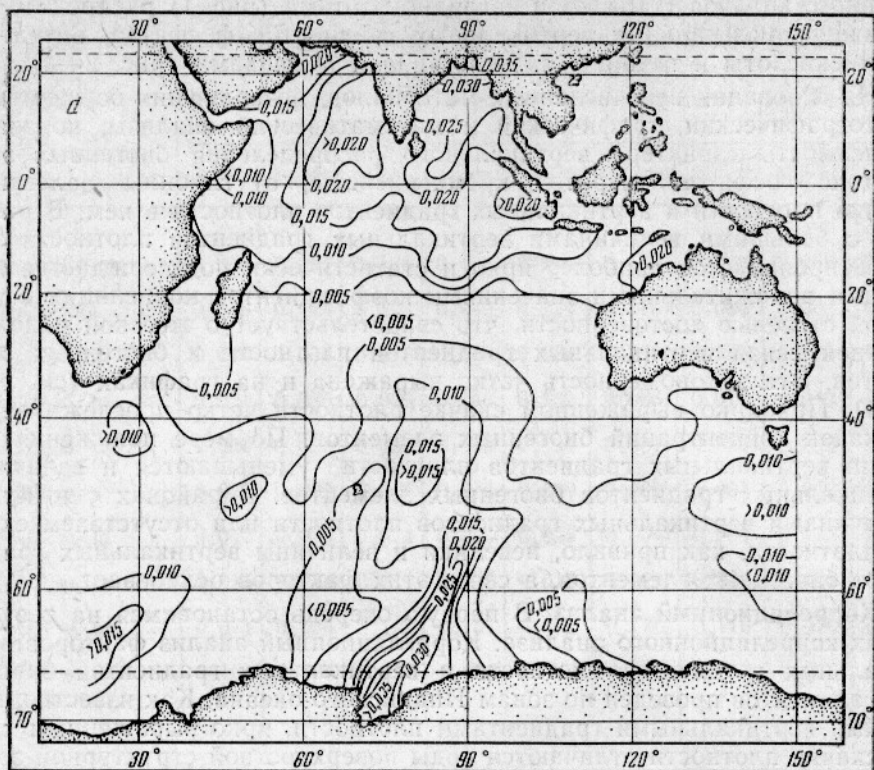
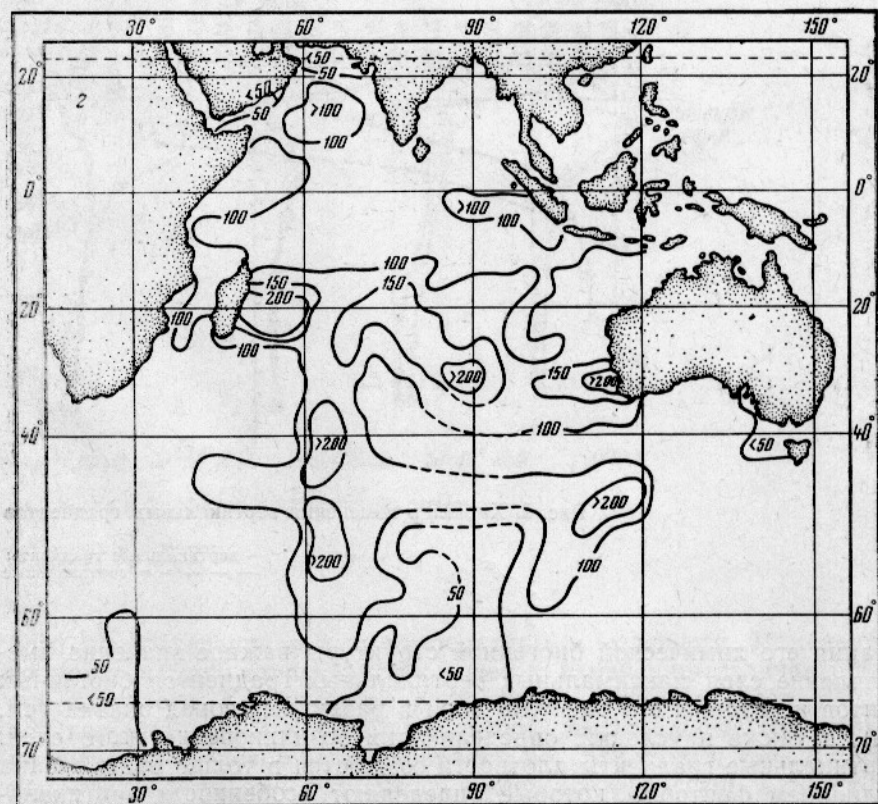
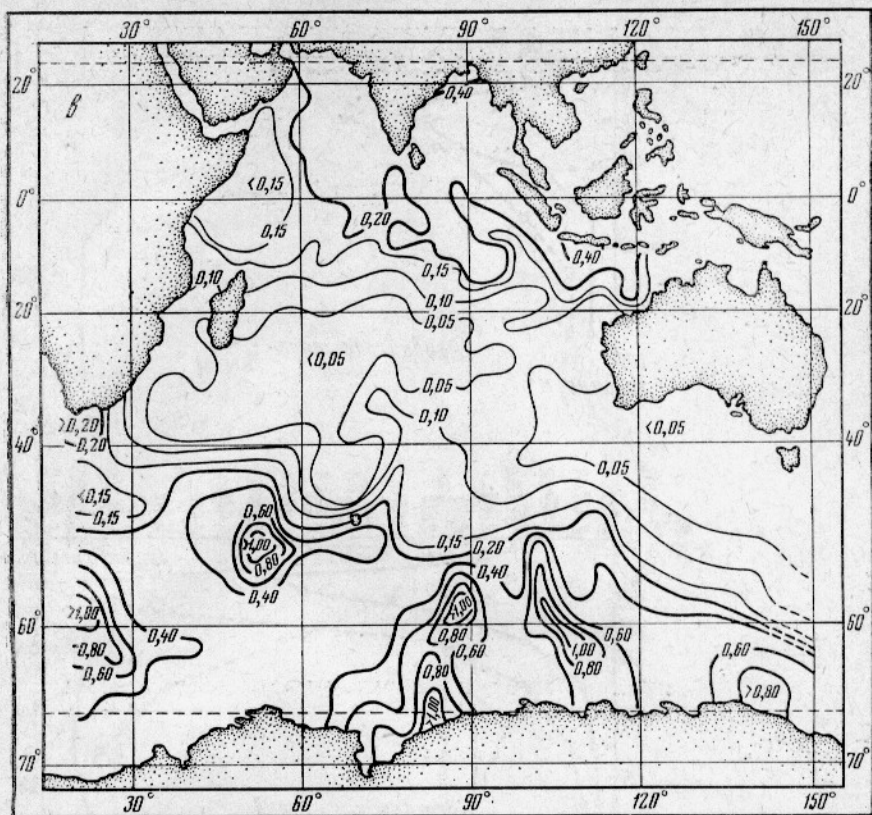


Рис. 1. Максимальные вертикальные
 а — фосфатов; б — нитратов; в — кремне



градиенты (в мкг-атом/м):
 кислоты; г — глубина их залегания (в м).

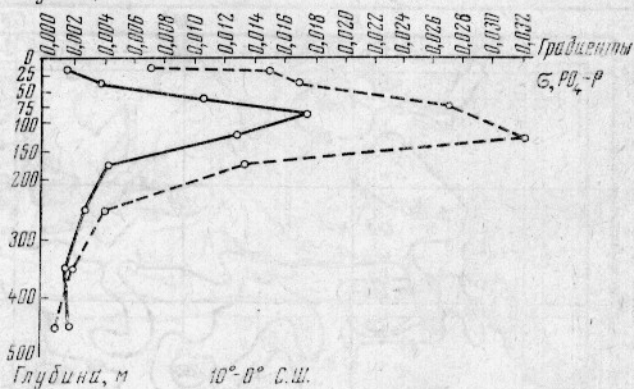
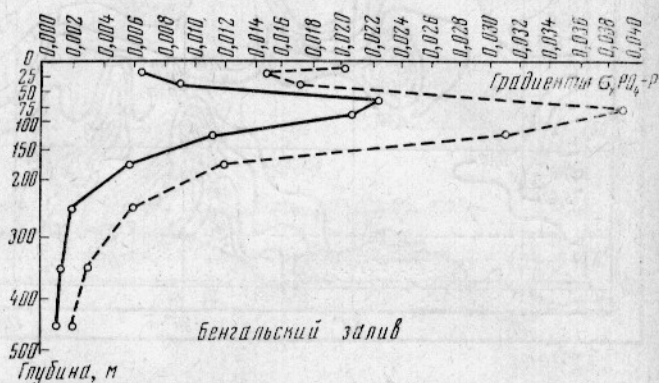
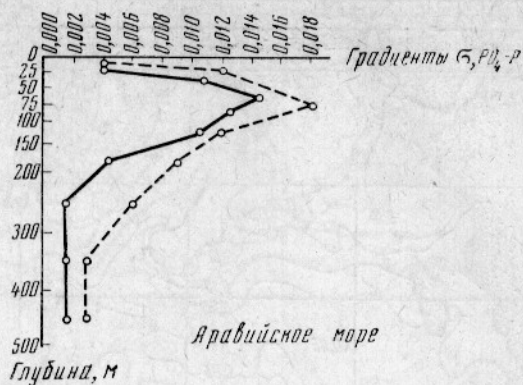
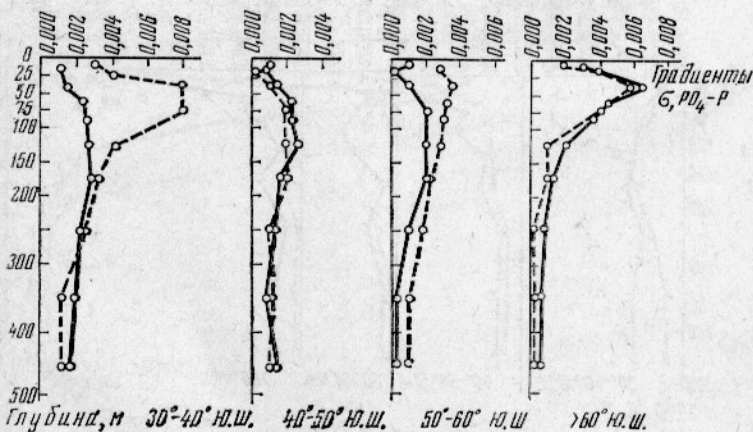
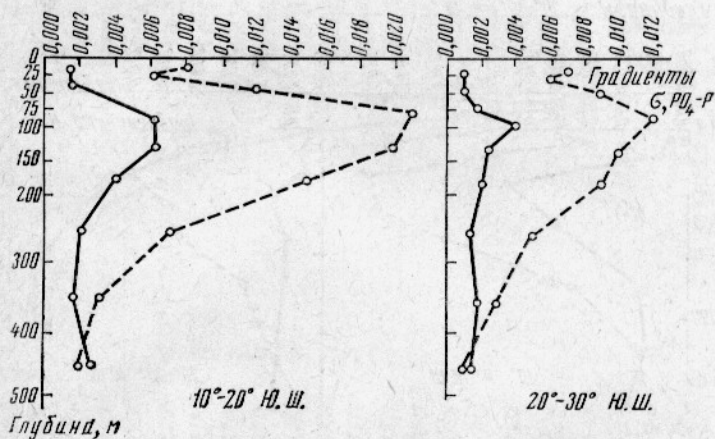
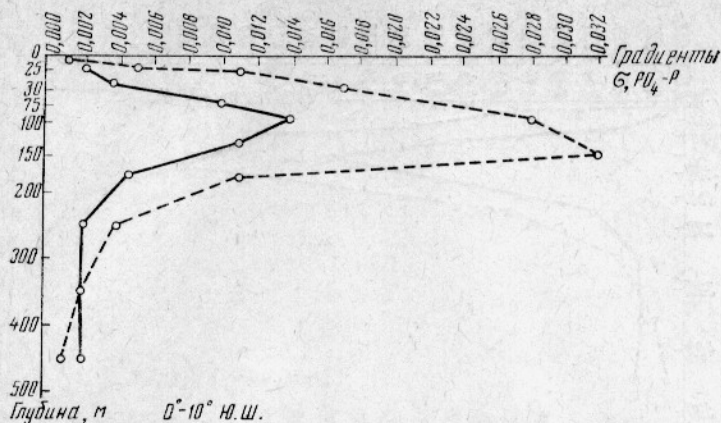


Рис. 2. Характер изменения вертикальных градиентов

— вертикальные градиенты
 - - - - - вертикальные

мирования его химической биогенной структуры важное значение имеет выявление слоя максимальных вертикальных градиентов биогенных элементов и глубины его расположения в различных зонах океана (см. рис. 1), а также и условий, определяющих возникновение этого слоя.

Вертикальные градиенты плотности создаются в толще воды океана под влиянием факторов, которые определяют особенности вертикаль-



плотности и фосфатов по широтным зонам:

биогеенных элементов;
градиенты плотности.

ного распределения в нем температуры и солёности. Изменение этих гидрологических характеристик ведет к изменению величины градиентов плотности. Как правило, слой скачка плотности располагается в верхнем слое океана. Наиболее резкие вертикальные градиенты возникают при ветровом перемешивании поверхностного слоя. Образованный таким образом слой скачка имеет эпизодический характер — он

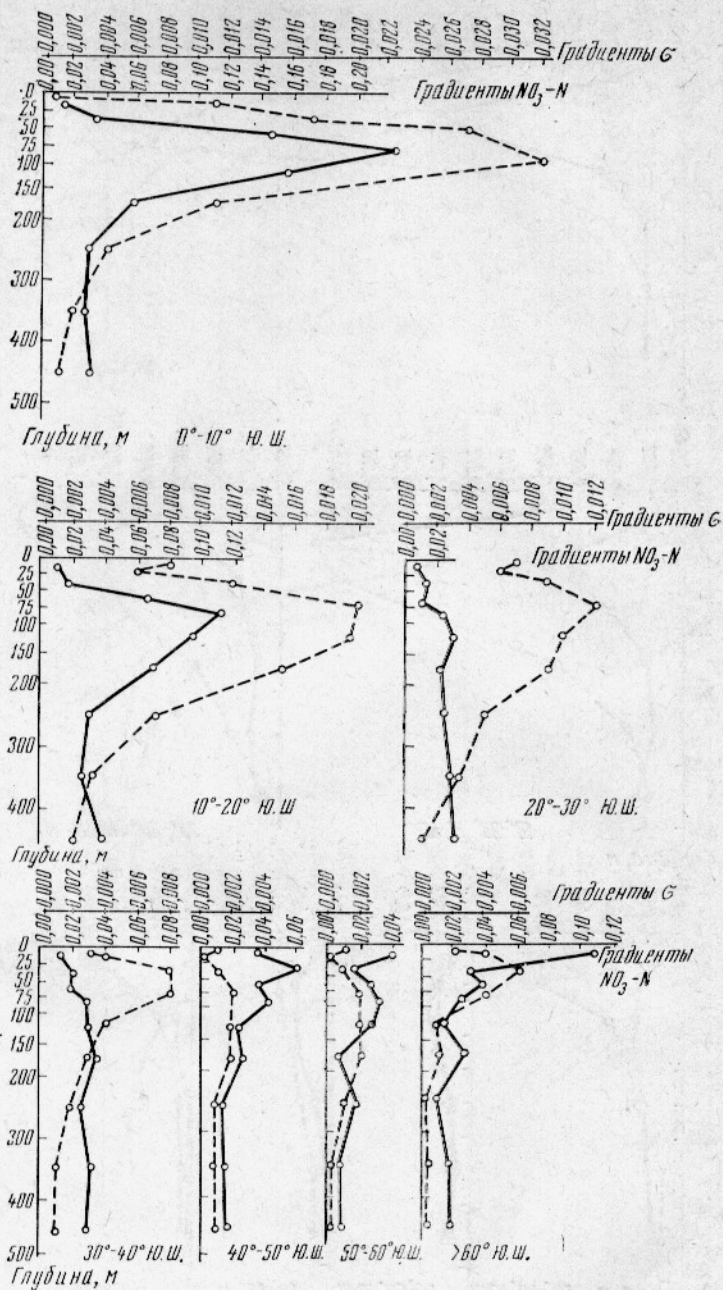
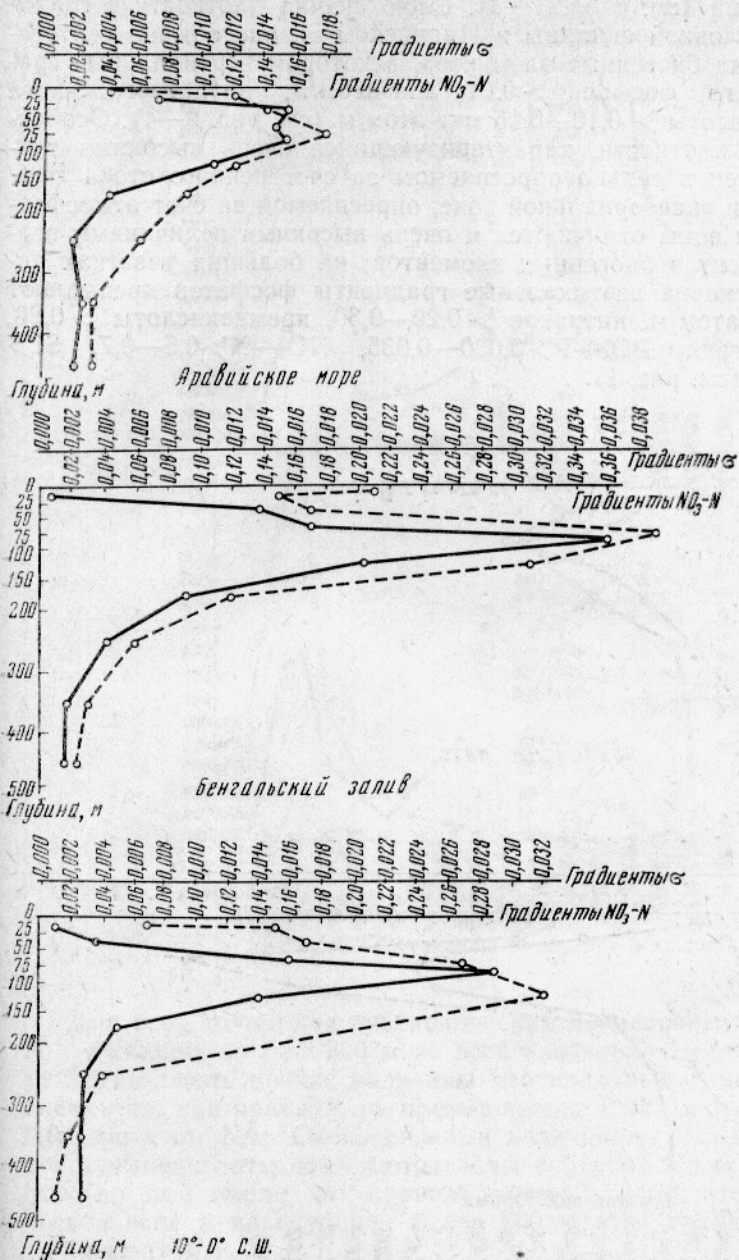


Рис. 3. Характер изменения вертикальных зон. Условные обозна

развивается в период воздействия ветра и размывается при его прекращении. Резкий слой скачка развивается при наложении пресных вод материкового стока или вод, образующихся при таянии льдов. В процессе конвективного перемешивания образуются сезонные скачки плотности. А в слоях раздела вод различных температурно-соленостных характеристик отмечаются весьма устойчивые во времени скачков плотности.

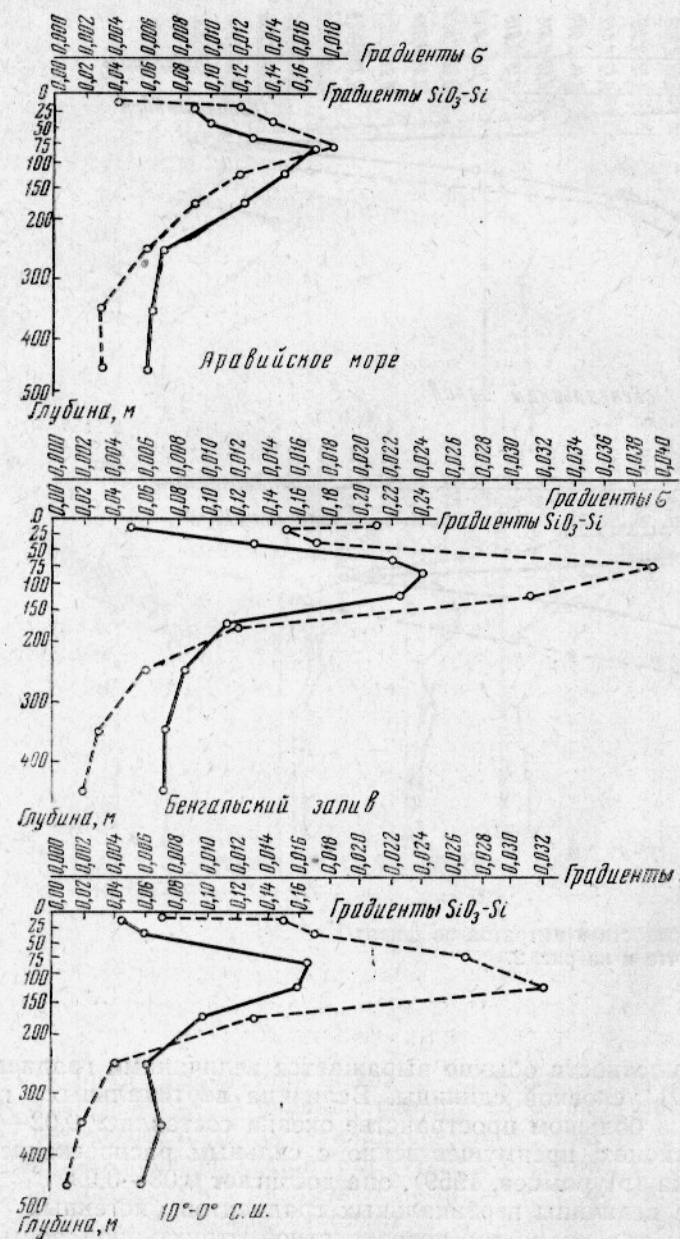


градиентов плотности и нитратов по широты те же, что и на рис. 2.

Скачок плотности обычно выражается величинами градиентов плотности $> 0,01$ условной единицы. Величина вертикальных градиентов плотности на большом пространстве океана составляет 0,02—0,06, в отдельных районах, преимущественно с сильным распреснением поверхности океана (Муромцев, 1959), она достигает 0,08—0,09.

Высокие величины вертикальных градиентов биогенных элементов свойственны только водам поверхностной структурной зоны тропиков

Индийского океана (см. табл. 1—3). Слою скачка плотности с градиентами $> 0,01$ условной единицы в Индийском океане обычно соответствует слой скачка биогенных элементов, в котором вертикальные градиенты фосфатного фосфора $> 0,01$ мкг-атом/м, нитратного азота $> 0,10$, кремнекислоты $> 0,10—0,15$ мкг-атом/м (см. рис. 2—4). Особенно резко скачок плотности, характеризующийся очень высокими градиентами, выражен в сильно опресняемом за счет речного стока Бенгальском заливе и экваториальной зоне, опресняемой за счет атмосферных осадков. Эти зоны отличаются и очень высокими величинами вертикальных градиентов биогенных элементов; на больших участках акватории в слое скачка вертикальные градиенты фосфатов превышают $0,015—0,020$ мкг-атом/м, нитратов $> 0,20—0,30$, кремнекислоты $> 0,20$, а местами достигают $PO_4-P > 0,030—0,035$, $NO_3-N > 0,5—0,7$, $Si > 0,4$ мкг-атом/м (см. рис. 1).



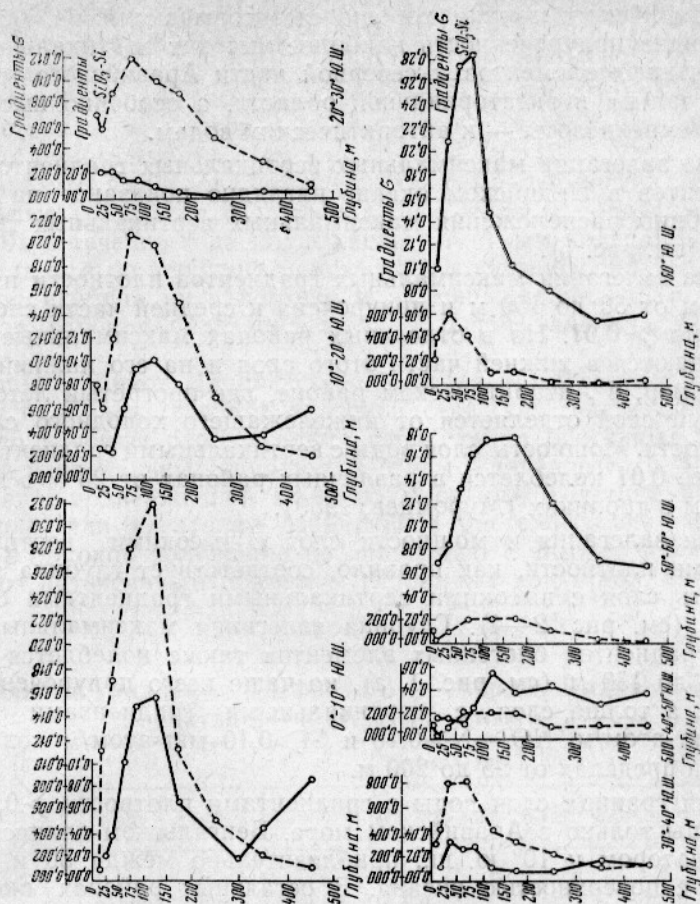


Рис. 4. Характер изменения вертикальных градиентов плотности и кремнекислоты по широтным зонам. Условные обозначения те же, что и на рис. 2.

Для всей толщи вод субтропических и умеренных широт, как и для вод, лежащих глубже 200 м по всей акватории Индийского океана, характерны очень низкие величины вертикальных градиентов биогенных элементов, как правило, не превышающие 0,002 мкг-атом Р/м, и 0,03—0,04 мкг-атом N/м. Очень низкими величинами вертикальных градиентов кремнекислоты отличаются воды субтропических и умеренных широт (во всей толще, как правило, менее 0,03 мкг-атом/м), но в тропической зоне и на глубинах более 200 м эти градиенты превышают 0,05 мкг-атом/м.

Несколько повышенными вертикальными градиентами фосфатов и нитратного азота по сравнению с водами субтропических и умеренных широт отличаются поверхностные субантарктические и антарктические воды, хотя в них значения вертикальных градиентов и не приближаются к таковым тропической зоны. Для антарктических вод следует отметить особенно высокие вертикальные градиенты кремнекислоты (превышающие их значения в тропической зоне) с максимумом в слое 50—100 м и со средним значением для этого слоя 0,28 мкг-атом Si/м (см. табл. 3). В отдельных районах Антарктики максимальные вертикальные градиенты кремнекислоты достигают даже 1 мкг-атом Si/м.

Поля распределения максимальных значений вертикальных градиентов биогенных элементов (фосфатов, нитратов, кремнекислоты) по ак-

ватории Индийского океана хорошо вырисовываются на картах (см. рис. 1). Видна приуроченность наиболее высоких вертикальных градиентов биогенных элементов к северной части Аравийского моря, Бенгальского залива и экваториальной области, а особенно высоких градиентов кремнекислоты — к антарктическим водам.

Глубина залегания максимальных вертикальных градиентов биогенных элементов в Индийском океане наглядно показана на примере карты глубины расположения максимальных вертикальных градиентов фосфатов (см. рис. 1).

Глубина залегания максимальных градиентов плотности изменяется по районам от 50 до 150 м и приурочена к средней части слоя воды с градиентами $> 0,01$. Но в отдельных районах максимальные градиенты наблюдаются в нижней части этого слоя и на его нижней границе, как, например, в Антарктическом районе, где прогретый летом приповерхностный слой отделяется от нижележащего холодного слоя скачком плотности. Мощность слоя воды с вертикальными градиентами плотности более 0,01 колеблется в различных районах от 25 м в Антарктике до 200 м в тропиках (Муромцев, 1959).

Глубине залегания и мощности слоя с высокими вертикальными градиентами плотности, как правило, соответствует глубина залегания и мощность слоя с высокими вертикальными градиентами биогенных элементов (см. рис. 2—4). Глубина залегания максимальных вертикальных градиентов биогенных элементов также колеблется по районам от 50 до 150 м (см. рис. 1, з), но чаще всего приурочена к слою 75—100 м, а толщина слоя с вертикальными градиентами $\text{PO}_4\text{—P} > 0,010$ мкг-атом/м, $\text{NO}_3\text{—N} > 0,10$ и $\text{Si} > 0,10$ мкг-атом/м колеблется в основном в пределах от 25 до 200 м.

Верхняя граница слоя воды с градиентами плотности $> 0,01$ условной единицы только в Аравийском море, Бенгальском заливе и в зоне между экватором и 10° ю. ш., приблизительно между 50 и 90° в. д., совпадает с поверхностью океана. В остальных районах океана она располагается на глубинах 25—50 м, а в субтропиках погружается до 75 м. Таким образом, на большом пространстве океана приповерхностный слой оказывается хорошо перемешанным и характеризуется весьма однородным распределением плотности по вертикали. Нижняя граница слоя воды с градиентами плотности $> 0,01$ залегает преимущественно на глубинах от 100 до 200 м. Но в отдельных районах, в восточных субтропиках и в высоких южных широтах, ее глубина уменьшается до 75 м в первом случае и до 50—75 м во втором. А в небольшом районе в тропиках она увеличивается до 250—300 м (Муромцев, 1959).

Положение верхней и нижней границ слоя высоких вертикальных градиентов биогенных элементов также соответствует положению верхней и нижней границ слоя высоких градиентов плотности (см. рис. 2—4). Наиболее высокое положение верхней границы слоя высоких вертикальных градиентов биогенных элементов так же, как и градиентов плотности, отмечено в Аравийском море, Бенгальском заливе и в экваториальной области — в районах, приуроченных к зонам подъема глубинных вод. Эти районы с высоким положением слоя скачка плотности и биогенных элементов являются наиболее продуктивными.

Наименее продуктивна в Индийском океане область субтропического антициклонического круговорота, где вследствие слабого опускания вод верхняя граница слоя с высокими градиентами плотности погружается на глубину до 75 м. В этой области наиболее глубокое положение занимает и слой максимальных вертикальных градиентов биогенных элементов.

В умеренных широтах Индийского океана располагается огромная, пересекающая весь океан область, в которой вертикальные градиенты

плотности составляют $< 0,01$ условной единицы во всей толще вод (Муромцев, 1959). В этой области не выражены также и слой скачка биогенных элементов.

Осредненное по 10-градусным широтным зонам положение слоя скачка биогенных элементов и слоя скачка плотности наглядно представлено на серии графиков (см. рис. 2—4).

Как показали исследования вертикальных градиентов плотности, максимальные градиенты в пределах слоя воды с градиентами плотности $> 0,01$ в течение года подвержены заметным колебаниям по глубине залегания и по величине максимума. В зимний сезон наблюдается наибольшая глубина их залегания и наименьшая величина, летом — наименьшая глубина залегания и наибольшая величина (Муромцев, 1959).

Для зоны тропиков Индийского океана, за исключением подверженной переменной деятельности муссонов северной части, характерно постоянство глубины расположения слоя скачка биогенных элементов и значений вертикальных градиентов в нем в течение года. В северной части океана, подверженной влиянию муссонов, в летний период на большей площади акватории слой скачка биогенных элементов занимает более высокое положение по сравнению с зимним периодом, что объясняется интенсивным подъемом глубинных вод (табл. 5—8).

Таблица 5

Вертикальные градиенты фосфатного фосфора в Индийском океане (октябрь—март), мкг-атом/м

Зона	Слой, м								
	0—25	25—50	50—75	75—100	100—150	150—200	200—300	300—400	400—500
Аравийское море	0,003	0,004	0,013	0,016	0,015	0,005	0,002	0,003	0,003
Бенгальский залив	0,004	0,006	0,027	0,022	0,009	0,005	0,002	0,001	0,001
10—0° с. ш.	0,001	0,004	0,012	0,019	0,030	0,004	0,002	0,002	0,001
0—10° ю. ш.	0,003	0,005	0,010	0,014	0,012	0,005	0,002	0,002	0,002
10—20° ю. ш.	0,001	0,002	0,004	0,006	0,006	0,004	0,002	0,001	0,002
20—30° ю. ш.	0,001	0,001	0,002	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
30—40° ю. ш.	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
40—50° ю. ш.	0,001	0,003	0,005	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
50—60° ю. ш.	0,003	0,006	0,004	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001
60° ю. ш.	0,004	0,008	0,005	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001

Таблица 6

Вертикальные градиенты фосфатного фосфора в Индийском океане (апрель—сентябрь), мкг-атом/м

Зона	Слой, м								
	0—25	25—50	50—75	75—100	100—150	150—200	200—300	300—400	400—500
Аравийское море	0,006	0,008	0,012	0,012	0,009	0,006	0,002	0,001	0,001
Бенгальский залив	0,002	0,002	0,016	0,035	0,015	0,004	0,002	0,001	0,008
10—0° с. ш.	0,008	0,002	0,006	0,016	0,009	0,005	0,003	0,002	0,002
0—10° ю. ш.	0,001	0,003	0,010	0,014	0,010	0,005	0,002	0,002	0,002
10—20° ю. ш.	0,001	0,001	0,005	0,010	0,006	0,004	0,002	0,002	0,002
20—30° ю. ш.	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
30—40° ю. ш.	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001
40—50° ю. ш.	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001
50—60° ю. ш.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,008	0,000
60° ю. ш.	0,003	0,001	0,003	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,000

**Вертикальные градиенты кремнекислоты в Индийском океане
(октябрь—март), мкг-атом/м**

Зона	Слой, м								
	0—25	25—50	50—75	75—100	100—150	150—200	200—300	300—400	400—500
Аравийское море	0,017	0,034	0,114	0,206	0,206	0,126	0,080	0,057	0,060
Бенгальский залив	0,015	0,075	0,205	0,255	0,230	0,149	0,086	0,063	0,063
10—0° с. ш.	0,037	0,051	0,111	0,142	0,194	0,114	0,040	0,049	0,055
0—10° ю. ш.	0,028	0,039	0,093	0,101	0,016	0,065	0,027	0,042	0,094
10—20° ю. ш.	0,025	0,022	0,056	0,085	0,108	0,076	0,048	0,025	0,058
20—30° ю. ш.	0,025	0,032	0,018	0,022	0,006	0,080	0,020	0,000	0,006
30—40° ю. ш.	0,009	0,053	0,044	0,027	0,009	0,000	0,004	0,013	0,004
40—50° ю. ш.	0,051	0,011	0,029	0,034	0,020	0,033	0,067	0,073	0,107
50—60° ю. ш.	0,065	0,179	0,308	0,318	0,240	0,233	0,174	0,082	0,075
60° ю. ш.	0,109	0,253	0,310	0,234	0,132	0,090	0,062	0,047	0,068

В умеренных и высоких широтах слой скачка биогенных элементов так же, как и слой скачка плотности, занимает более высокое положение в летний период, и вертикальные градиенты биогенных элементов в нем более высокие.

В антарктических и субантарктических водах в летний период (южное полушарие) вертикальные градиенты в поверхностном 100-метровом слое выше, чем зимой (табл. 8). Глубже 100 м вертикальные гра-

Таблица 8

**Вертикальные градиенты кремнекислоты в Индийском океане
(апрель—сентябрь), мкг-атом/м**

Зона	Слой, м								
	0—25	25—50	50—75	75—100	100—150	150—200	200—300	300—400	400—500
Аравийское море	0,248	0,137	0,120	0,131	0,143	0,109	0,109	0,063	0,073
Бенгальский залив	0,000	0,040	0,200	0,280	0,280	0,200	0,120	0,000	0,040
10—0° с. ш.	0,020	0,029	0,054	0,138	0,120	0,067	0,049	0,053	0,093
0—10° ю. ш.	0,025	0,036	0,109	0,156	0,030	0,056	0,032	0,046	0,081
10—20° ю. ш.	0,022	0,022	0,065	0,074	0,086	0,153	0,027	0,027	0,045
20—30° ю. ш.	0,021	0,013	0,013	0,025	0,013	0,002	0,000	0,004	0,004
30—40° ю. ш.	0,011	0,034	0,023	0,029	0,011	0,006	0,005	0,012	0,009
40—50° ю. ш.	0,012	0,008	0,010	0,022	0,017	0,027	0,030	0,026	0,026
50—60° ю. ш.	0,093	0,034	0,053	0,094	0,184	0,162	0,095	0,058	0,056
60° ю. ш.	0,080	0,094	0,240	0,489	0,209	0,160	0,117	0,060	0,049

диенты в летний и зимний периоды мало различаются. В умеренной зоне наблюдается такая же закономерность, но менее выраженная. В субантарктических и антарктических водах происходит сезонное перемещение глубины расположения максимальных вертикальных градиентов биогенных элементов. В летний период максимальные вертикальные градиенты отмечены в слое 25—50 м, в зимний — в слое 100—150, 75—100 м. В умеренных широтах максимальные вертикальные гра-

диенты биогенных элементов наблюдаются летом в слое 50—75 м, зимой — в слое 100—150 м. Заметен сезонный ход перемещения слоя максимальных градиентов биогенных элементов и в субтропической области, особенно ее южной части, подобный наблюдаемому в умеренных широтах (летом — в слое 50—75 м, зимой — в слое 100—150 м).

В экваториальной области максимальные вертикальные градиенты в течение года приурочены к слою 75—100 м.

В приповерхностных водах океана, расположенных выше скачка плотности, несмотря на их гидрологическую гомогенность, наблюдается некоторая неоднородность распределения биогенных элементов, обусловленная фотосинтетической деятельностью фитопланктона и ассимиляцией питательных солей. Эта неоднородность является круглогодичной в тропической зоне океана и сезонной (в соответствии с вегетационным периодом) в умеренных и высоких широтах. Более значительные величины вертикальных градиентов биогенных элементов в приповерхностном слое, расположенном выше скачка плотности, наблюдаются в высокопродуктивных районах с интенсивной фотосинтетической деятельностью фитопланктона.

Выводы

1. Распределение биогенных элементов по вертикали в поверхностной структуре океана носит зональный характер и определяется в основном двумя факторами — физическим и биологическим: глубиной залегания слоя скачка плотности и вертикальных градиентов плотности в нем, а также фотосинтетической деятельностью фитопланктона.

2. Глубине залегания и мощности слоя с высокими вертикальными градиентами плотности, как правило, соответствует глубина залегания и мощность слоя с высокими вертикальными градиентами биогенных элементов. Глубина этого слоя варьирует по районам от 25 до 200 м, но чаще всего приурочена к слою 75—100 м.

3. Корреляционный анализ показал наличие обратной функциональной связи среднезональных величин градиентов плотности в слое скачка и среднезональных величин отношения содержания биогенных элементов слоев $\frac{0-100 \text{ м}}{100-200 \text{ м}}$ ($r=-1,00$; $P>99,95\%$ — на примере фосфатов). Таким образом, статистически достоверно установлено, что интенсивность обогащения биогенными элементами поверхностного слоя за счет подстилающего обратно пропорциональна градиентам плотности в слое скачка. Зоны океана, характеризующиеся расположением скачка плотности и биогенных элементов на небольших глубинах, наиболее продуктивны.

4. Самые высокие значения вертикальных градиентов биогенных элементов характерны для тропической зоны, низкие — для умеренных и высоких широт. Свообразием отличается вертикальное распределение растворенной кремнекислоты в антарктических водах. Здесь наблюдаются чрезвычайно высокие вертикальные градиенты кремнекислоты в поверхностной структурной зоне, что объясняется выносом с материка большого количества тонкодисперсного неветренного материала горных пород.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Муромцев А. М. Основные черты гидрологии Индийского океана. — Л.: Гидрометеониздат, 1959. — 435 с.

MAXIMOVA M. P.

SUMMARY

On the basis of summarized primary material collected by 110 Soviet and foreign expeditions the vertical gradients of biogenic elements are estimated for the entire area of the ocean with special reference to the Indian Ocean. The correlation graphic and cartographic analyses are also made. The influence of such factors as the pycnocline layer and vertical gradients in it on the vertical distribution of biogenic elements, as well as their content in the surface layer by areas are ascertained. The highest values of the vertical gradients of biogenic elements are observed in the tropical zone, the lowest values are characteristic for the temperate and high latitudes.

УДК 551.352:574.587(265.54)

**ВЗАИМОСВЯЗЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО
ВЕЩЕСТВА В ОСАДКАХ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЕНТОСА
ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

Н. М. Андреева, Е. М. Заславский, В. Л. Климова

В заливе Петра Великого в 1970 г. сотрудниками ТИНРО проведена съемка бентоса. Одновременно сотрудниками лаборатории промышленной океанографии ВНИРО были собраны образцы донных осадков. В 39 образцах исследовались $C_{орг}$, углеводы, сумма аминокислот. В настоящей статье проведено сопоставление данных по этим компонентам с количеством бентоса и его трофическими группировками. Характеристика бентоса представлена В. Л. Климовой.

Определение органического углерода ($C_{орг}$) проводилось по методу Стрикленда и Парсонса (Strickland, Parsons, 1965), углеводы определялись фенольным методом (Артемьев, 1971), количество суммы аминокислот (АК) — по реакции с нингидриновым реактивом после гидролиза осадков 6 н. раствора HCl в течение 24 ч при 105°С.

Станции были расположены на шельфе на глубине от 15 до 200 м (рис. 1). В береговой зоне и краевой части шельфа преобладают песчаные грунты, за исключением Амурского залива, где грунт илистый. От этих областей крупнозернистых осадков по направлению к центральной части залива в донных отложениях возрастает содержание алевроито-пелитовой фракции. В центральной части залива значительную площадь занимают илистые отложения.

Количество $C_{орг}$ в изученных пробах составляет 0,2—2,3% (от сухой массы) и в общем увеличивается от грубозернистых осадков к тонкодисперсным (табл. 1). В среднем пески содержат 0,4% $C_{орг}$, пески илистые и илы песчаные 0,6, илы — 1,5 и глинистые илы — 2,2% $C_{орг}$. Вместе с тем для литологически однотипных осадков наблюдается снижение концентраций $C_{орг}$ от мелководных отложений к глубоководным. Например, в илистых песках, залегающих на глубине 0—50 м, содержится в среднем 0,68% $C_{орг}$, а в аналогичных осадках, находящихся на глубине 100—150 м, — 0,41% (табл. 2).