

Том LVIII	<i>Труды Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)</i>	1965
Том LIII	<i>Известия Тихоокеанского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО)</i>	

551.464.7 : 581.526.325] (266.3)

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ БАЛАНСА БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ЗАЛ. АЛЯСКА

М. В. Федосов и Н. В. Азова

ВНИРО

Химический состав биогенных веществ морских вод в фотическом слое служит основой для новообразования первичного (растительного) органического вещества в море. Новообразовавшееся органическое вещество вместе с детритом, приносимым с суши,— первоисточник органической пищи для гетеротрофных морских организмов. Минеральные формы биогенных элементов прежде всего используются в процессе воспроизводства растительного органического вещества в море. Содержание минеральных форм биогенных элементов в толще морских вод зависит:

- 1) от поступления их с суши в процессе обмена: суша — атмосфера — водоем;
- 2) от перераспределения в самом водоеме под влиянием гидродинамических процессов: адвекции, турбулентной диффузии и вертикального перемешивания;
- 3) от биохимических процессов потребления и регенерации минеральных форм биогенных элементов;
- 4) от физико-химических условий водной среды, определяющих пределы их растворимости в ней.

Объединяя указанные процессы формирования химического биогенного состава морских вод, можно выделить две основные группы процессов: физико-географические и химические, включая в последние и биохимические и физико-химические преобразования минеральных форм биогенных элементов.

Образование морских водных масс происходит в поверхностном слое. Через поверхностный слой морских вод проникают атмосферные воды, воды стока с суши и эоловые наносы, принося с собой всевозможные соединения биогенных элементов. В то же время только в поверхностном фотическом слое возможно новообразование растительного первичного органического вещества.

Поэтому при исследовании гидрохимических условий формирования первичной продуктивности морского водоема выделяют фотический слой. Остальная водная океаническая толща является зоной накопления, зоной аккумуляции питательных биогенных веществ. В этом нижнем слое происходит только минерализация органического вещества, седиментация взвешенных органических и минеральных питательных веществ. Химические компоненты обоих слоев находятся в постоянном взаимодействии.

Верхний слой зоны аккумуляции в силу своих гидрологических особенностей является наиболее активным слоем. Через этот слой обеспечивается вертикальный обмен нижележащих вод с поверхностным фотическим слоем.

Приступая к исследованию химической биогенной структуры вод залива Аляска, мы разделяем всю водную толщу на верхний — фотический слой (в пределах границ происходящего в вегетационный период фотосинтеза) и всю остальную водную толщу, лежащую ниже фотосинтетического слоя. Границей, разделяющей оба слоя, служит изопверхность, вернее слой воды, где насыщение кислородом равно 100%.

В этом сравнительно тонком слое морской воды не продуцируется избыточное растительное органическое вещество. Все образованное при фотосинтезе органическое вещество потребляется в процессе жизнедеятельности организмов.

В этом слое («слое компенсации») наступает равновесие обоих биохимических процессов. Процесс потребления минеральных форм биогенных элементов и процесс их регенерации в морскую воду уравновешены. Поэтому в слое компенсации содержание минеральных форм биогенных элементов не зависит от интенсивности биохимических процессов потребления или регенерации. Сколько минеральных форм биогенных элементов потребляется в процессе синтеза органических веществ, почти столько же и переходит обратно в раствор морской воды в результате их регенерации при распаде и минерализации органического детрита. В этом слое содержание минеральных форм биогенных элементов в основном зависит от гидрологических процессов и составляющих внешнего баланса биогенных элементов водоема. Однако и физико-химические условия водной среды могут ограничивать содержание в нем минеральных форм биогенных элементов. Содержание минеральных форм биогенных элементов в слое компенсации теоретически должно быть равно содержанию биогенных элементов в водной толще водоема в данных физико-географических и гидрологических условиях, если бы в нем не происходили какие-либо биохимические процессы.

На основании этого мы в первом приближении приняли количество биогенных элементов, содержащихся в слое компенсации, за исходную величину содержания минеральных форм биогенных элементов, сформировавшуюся и изменяющуюся в данном районе в различные сезоны под влиянием лишь физико-географических и гидрологических условий.

В августе и начале сентября 1962 г. мы определили содержание фосфатов и силикатов в слое компенсации зал. Аляска. В различных частях залива содержание фосфатов и силикатов в слое компенсации не одинаково (рис. 1,2).

На картах видно, как резко отличается шельфовая область от глубоководной и западная глубоководная от восточной глубоководной.

В западной части глубоководной области зал. Аляска содержание фосфатов изменяется от 28—32 мкгP/л до 48—50 мкгP/л и силикатов от 600—650 мкгSi/л до 900—1000 мкгSi/л . В этой части залива в слое компенсации содержание фосфатов (за исключением южного района)

превышает 40 мкгP/л , а содержание силикатов, как правило, больше 700 мкгSi/л .

В восточной части глубоководной области залива содержание фосфатов и силикатов заметно уменьшается (до 25—38 мкгP/л и до 550—650 мкгSi/л).

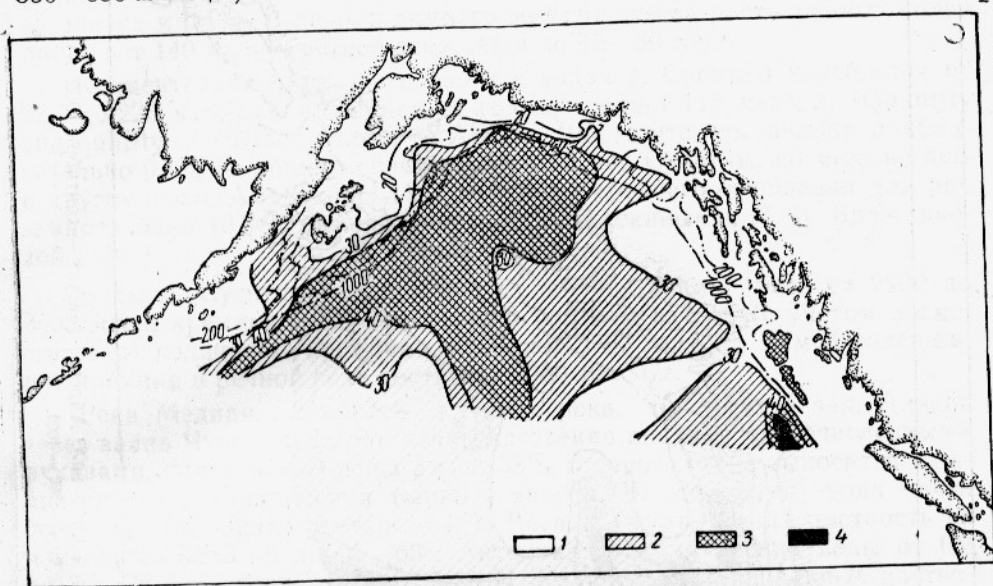


Рис. 1. Распределение фосфатов (в мкг/л) в слое компенсации в зал. Аляска (август — сентябрь 1962 г.):
1 — < 30; 2 — 30 — 40; 3 — 40 — 50; 4 — > 50.

Содержание фосфатов на востоке не превышает 40 мкгP/л , а силикатов — 700 мкгSi/л . Только в небольшом районе, южнее о-вов Королевы Шарлотты, количество биогенных элементов резко возрастает (50 мкгP/л и 900 мкгSi/л). В этой области Ю. Ф. Безруковым была выделена «ванкуверовская водная масса».

Для залива в целом характерно уменьшение содержания фосфатов и силикатов по направлению к берегам. В шельфовой области зал. Аляска в слое компенсации содержание фосфатов не превышает 30 мкгP/л и силикатов — 500 мкгSi/л . Особенно мало биогенных элементов на севере залива и у о-ва Кадьяк. Фосфатов здесь не более 20 мкгP/л . Силикатов — не более 400 мкгSi/л .

Величина содержания биогенных элементов в слое компенсации в пределах шельфа формируется в результате смешения океанической и речной воды. Средняя соленость морской воды на шельфе около 32,1‰. Средняя соленость воды в верхнем двухсотметровом слое глубоководной части залива — 33,3‰. Таким образом, на шельфе вода опреснена на 1,2‰. По формулам смешения можно рассчитать, что такое опреснение морских вод на шельфе при одновременном объеме воды не менее 11.800 км^3 может получиться при поступлении 425 км^3 речных вод и атмосферных осадков.

Наиболее крупные реки, впадающие в зал. Аляска, — Суситна и Медная. Река Суситна впадает на западе в зал. Кука. За период паводка с июня по сентябрь она выносит в залив Аляска около 63% годового стока (в среднем 10 км^3 в год). Цветность воды этой реки в мае, июне достигает 10—50° по шкале цветности, что указывает на содержа-

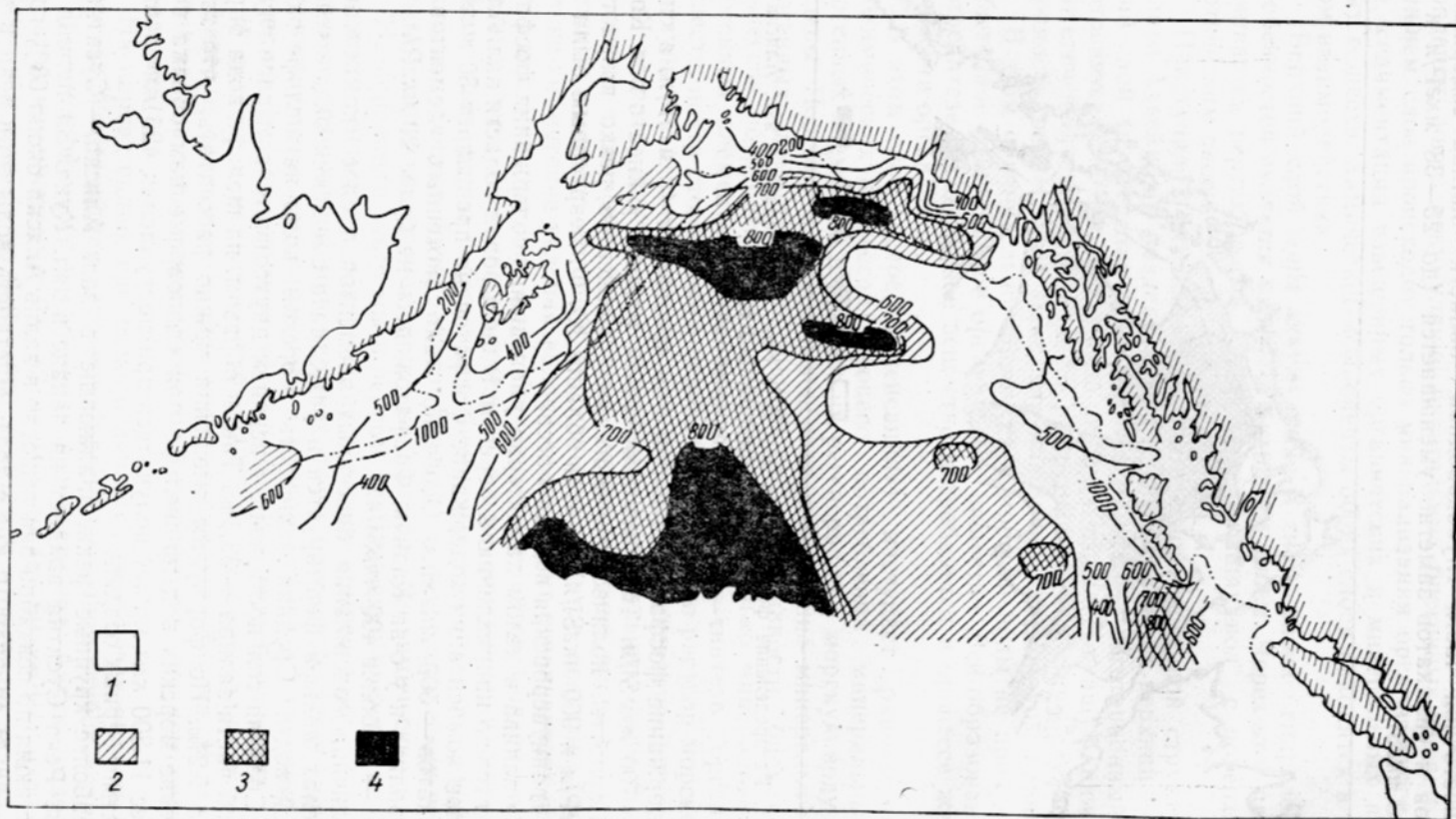


Рис. 2. Распределение силикатов (в мкгSi/l) в слое компенсации в зал. Аляска (август — сентябрь 1962 г.):
 1 — < 600 ; 2 — 600 — 700; 3 — 700 — 800; 4 — 800 — 1000.

ние в ней гуминовых органических веществ. В остальное время цветность речной воды колеблется от 5 до 0°.

Активная реакция воды р. Суситны колеблется от 6,5 до 8,0 рН и в среднем равно 7,4 рН. Сумма растворенных минеральных солей речной воды в среднем за год достигает 90—100 мг/л, т. е. соленость ее близка к 0,1‰. В период зимнего меженья сумма растворенных солей достигает 140 мг/л, а весной снижается до 40—50 мг/л.

Концентрация нитратного азота в водах р. Суситны колеблется от 22,5 до 225 мкгN/л и в среднем за год составляет 112 мкгN/л. (Quantity and quality of surface waters of Alaska, 1957). Это составляет приблизительно 0,1% от общего солевого состава вод Суситны, но меньше, чем в других реках Америки (1,1%) и меньше среднего отношения для рек земного шара (0,9‰), вычисленного О. А. Алекиным и Л. В. Бражниковой (1961).

Воды р. Суситны содержат в теплое время года от 2200 до 3600 мкг/л кремния моносиликатов. В среднем за год (с учетом водности реки) количество кремния составляет 3700 мкгSi/л. Зимой содержание кремния в речной воде достигает 6000 мкгSi/л.

Река Медная, наиболее крупная река, приносит в зал. Аляска через залив Чугач, куда она непосредственно впадает многочисленными рукавами, более 30 км³ воды в год. 58% годового стока выносится в залив за три летних месяца (июнь — август). В это время вода почти бесцветна (по шкале цветности 0°). Весной (март — май) цветность ее изменяется от 3—5 до 50—60°. Активная реакция речной воды от 6,6 до 7,8 рН и в среднем равна 7,4 рН. Количество минеральных растворенных компонентов достигает в среднем 110—120 мг/л; их содержание с июня по сентябрь колеблется от 90 до 110 мг/л и в марте достигает 170 мг/л. Среднее содержание нитратов в водах р. Медной равно 68 мкгN/л. Летом наблюдалось 22—112 мкгN/л (данные 1956 и 1957 г.). Содержание кремния в среднем равно 3500 мкгSi/л. (Quantity and quality of surface waters of Alaska, 1957).

Если сравнить общий сток рек и объем воды шельфовой области, становится ясно, что, несмотря на такую высокую концентрацию Si в водах рек Суситны и Медной, существенного влияния на концентрацию этого элемента в прибрежных водах зал. Аляска не оказывает. Однако речные воды служат постоянным поставщиком биогенных элементов в залив с суши.

Данные о содержании фосфатов в водах рек Суситна и Медная, к сожалению, отсутствуют. Но есть основание предположить, что и с фосфатами дело обстоит так же, как с силикатами.

Для исследования интенсивности процессов новообразования органического вещества и регенерации минеральных форм биогенных элементов были рассчитаны количества выделившегося кислорода ($+\Delta O_2$ мл/л) и потребленных фосфатов ($-\Delta P$ мкг/л) в фотическом слое и количества потребленного кислорода ($-\Delta O_2$ мл/л) и регенерировавших фосфатов ($+\Delta P$ мкг/л) в глубинных слоях залива в августе и начале сентября 1962 г.

Приняв содержание биогенных элементов в слое компенсации (P_1) за исходное, находим: $\pm \Delta P = P - P_1$, где $-P$ — наблюдаемое количество фосфатов на определенном горизонте. $\mp \Delta O_2 = O_2 - O'_2$, где O_2 — наблюдаемое количество кислорода в мл/л. O'_2 — количество кислорода мл/л, соответствующее 100% насыщения при определенных температуре и солености.

Полученные данные наносим на график зависимости с прямоугольной системой координат. По горизонтали откладываем величины $\mp \Delta P$ *мкг/л*, по вертикали $\mp \Delta O_2$ *мл/л*.

Расположив все значения $\pm \Delta P$ *мкг/л* и $\pm \Delta O_2$ *мл/л*, вычисленные по данным, собранным в августе — сентябре 1962 г. в зал. Аляска, на график, получим следующие результаты (рис. 3).

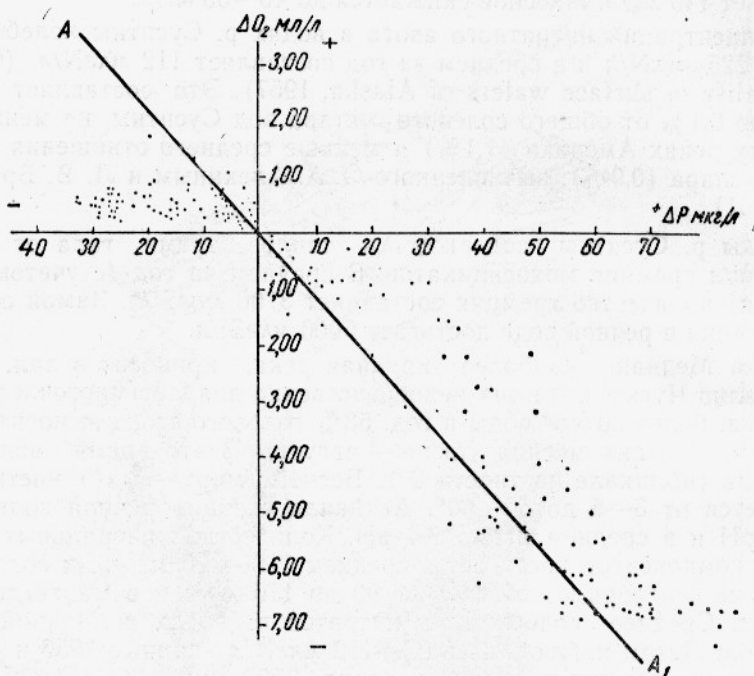


Рис. 3. Связь между ΔP *мкг/л* и ΔO_2 *мл/л* в зал. Аляска (август — сентябрь 1962 г.).

В верхней части графика, соответствующей зоне эффективного фотосинтеза, все данные по ΔP *мкг/л* имеют знак минус и все ΔO_2 *мл/л* знак плюс и характеризуют происходившее выделение кислорода и потребление фосфатов фитопланктоном в фотическом слое залива.

Хотя, вероятно, могут быть случаи, когда в самом поверхностном слое воды содержание биогенных элементов, в частности фосфатов, может быть больше, чем в слое компенсации. Это бывает связано с интенсивным приносом этих элементов в фотический слой с суши. Тогда ΔP *мкг/л* и в фотическом слое может иметь положительное значение, если потребление фосфатов из воды менее интенсивно, чем их поступление.

Все значения ΔP *мкг/л* по содержанию фосфатов в водах залива, расположенные ниже слоя компенсации, имеют знак плюс и расположены справа от вертикальной координаты, а все величины ΔO_2 *мл/л* — знак минус. Это свидетельствует об отсутствии фотосинтеза, о происходящем окислении органического вещества и регенерации биогенных элементов.

Известно, что между количеством выделенного при фотосинтезе кислорода и образованного органического вещества, а также между количеством кислорода, потребленного в процессе окисления, и коли-

чеством окисленного органического вещества существует зависимость, выражаемая соотношением: 1 мл O_2 = 1,34 мг глюкозы (Бруевич, 1936; Винберг, 1960).

Многочисленными исследованиями установлено также соотношение между количеством органического вещества фитопланктона и органически связанным в нем фосфатом, равное 150. Это значит, что выделение или потребление фитопланктоном 1 мл/л O_2 в воде соответствует в среднем новообразованию или минерализации 1,34 мг органического вещества в 1 л морской воды и соответственно $\frac{1,34}{150} = 8,9$ мкг/л Р.

Зависимость между кислородом, выделившимся в результате фотосинтеза и количеством образовавшегося органического вещества и фосфатов, потребленных в процессе фотосинтеза, выражается следующими величинами (табл. 1).

Таблица 1

ΔO_2 мл/л	Органическое вещество, мг/л	ΔP , мкг/л
+ 2,00	+ 2,68	- 17,8
+ 1,00	+ 1,34	- 8,9
0,00 (100% насыщения)	0,00	0,00
- 1,00	- 1,34	+ 8,9
- 2,00	- 2,68	+ 17,8
- 3,00	- 4,02	+ 26,7
- 4,00	- 5,36	+ 35,6
- 5,00	- 6,70	+ 44,5
- 6,00	- 8,04	+ 53,4

Однако в природных условиях в заливе такого соответствия не наблюдалось.

Приблизительно из 100 точек, нанесенных для фотического слоя, почти все (кроме шести) лежат или рядом с прямой, построенной по данным табл. 1, или слева от нее (рис. 4). Это говорит о том, что количество фосфатов, которое потребилось в процессе жизнедеятельности фитопланктона, в большинстве случаев больше рассчитанного по количеству выделенного кислорода. Особенно заметно это для поверхностных горизонтов. Дело в том, что величина ΔP мкг/л является результатом двух процессов: потребления при фотосинтезе и регенерации.

Величина же $+\Delta O_2$ мл/л — результат выделения кислорода при фотосинтезе, потребления его организмами в процессе жизнедеятельности и эвазии, которая усиливается в результате штормового перемешивания и других физических явлений.

Этот третий фактор, возможно, сильно снижает содержание избыточного количества кислорода в воде в вегетационный период, что нарушает соотношение между наблюдаемым пересыщением кислородом и количеством потребленных фосфатов — ΔP мкг/л.

Чем глубже, тем меньше проявляется эвазия кислорода и более строго соблюдаются рассчитанные соотношения между $+\Delta O_2$ и $-\Delta P$. Так, почти все значения $-\Delta P$ мкг/л, относящиеся к 50 м, расположены около прямой AA_1 (см. рис. 4).

На нескольких станциях значения Р мкг/л для всех горизонтов легли около прямой AA_1 . К ним относится группа станций, лежащих к юго-востоку от о-ва Кадьяк (ст. 1125, 1126, 1143, 1145, 1146). Это можно объяснить тем, что летом этот район зал. Аляска является самым

спокойным, поэтому здесь меньше проявляется усиление эвазии кислорода за счет штормов.

Гораздо более сильное нарушение соотношений $-\Delta P$ *мкг/л* и $+\Delta O_2$ *мл/л* наблюдается в юго-восточном районе зал. Аляска около о-вов Королевы Шарлотты. В среднем величина потребленного фосфора больше величины, рассчитанной по наблюдаемому приросту кислорода, в 4,8 раза, а самое большое отклонение величины фосфатов, потребленных в процессе фотосинтеза, от рассчитанной по пересыщению кислорода наблюдается в северной части глубоководной области зал. Аляска между 140 и 150° з. д. Здесь наблюдаемое $-\Delta P$ *мкг/л* в 6,6 раз больше рассчитанного.

Ниже фотического слоя, в зоне аккумуляции фосфатов, $+\Delta P$ *мкг/л* увеличивается с глубиной по мере увеличения потребившегося на окисление органического вещества кислорода ($-\Delta O_2$). Здесь нет таких резких отклонений $+\Delta P$ *мкг/л* от рассчитанных величин. Наибольшие отклонения зафиксированы там, где $-\Delta O_2$ больше $6,0$ *мл/л* (см. рис.3).

В зал. Аляска распределение концентраций фосфатов и кремния моносиликатов по трем основным слоям химической структуры водной толщи залива выражается следующими соотношениями (табл. 2).

Таблица 2

С л о й	Относительное содержание			
	S ⁰ / ₀₀	P	Si	в среднем
Фотический	1	1	1	1
Подстилающий, активный . .	1,03	3,5	3	3,3
Глубинный слой аккумуляции	1,06	4,8	6	5,4

Если учесть объем водных масс заполняющих указанные слои залива, то активный подстилающий слой содержит восьмикратное количество минеральных форм биогенных элементов против их содержания в фотическом слое залива. Концентрация минеральных форм биогенных элементов на шельфе меньше, чем в глубинной области зал. Аляска.

Выводы

1. Речной сток в зал. Аляска не имеет существенного значения в пополнении прибрежных вод минеральными соединениями биогенных элементов, хотя и служит их постоянным источником.

2. Определение величин содержания биогенных элементов в слое компенсации морского водоема позволяет получить исходные величины для количественной оценки биохимических процессов в водоеме.

Полученные количественные гидрохимические характеристики говорят о высокой обеспеченности химической основы первичной продуктивности залива Аляска.

3. В подстилающем фотический слой, активном слое водной толщи залива содержатся восьмикратные запасы минеральных соединений биогенных элементов, которые в местах их подъема обогащают верхний слой, где протекает процесс новообразования органического вещества (корма для гетеротрофных морских организмов).

Циклонический характер циркуляции вод в заливе способствует вертикальному перемешиванию верхних слоев воды, особенно в его западной, а также центральной частях, в местах поднятия дна.

ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О. А. Основы Гидрохимии. Гидрометеорологическое изд-во, 1953.
- Алекин О. А. и Бражникова Л. В. Вынос растворенных веществ с земной поверхности. Сб. «Современные осадки морей и океанов». Изд-во АН СССР, 1961.
- Бруевич С. В. Определение продукции органического вещества в море. «Академику В. И. Вернадскому к 50-летию научной и педагогической деятельности». Изд-во АН СССР, 1936.
- Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. Минск, Изд-во АН БССР, 1960.
- Плахотник А. Ф. Гидрологическая характеристика залива Аляска. Труды ВНИРО. Т. 49 — Известия ТИНРО. Т. 51. Вып. II.
- Федосов М. В. Новые данные по гидрохимии Арала. Сб. «Материалы по ихтиофауне и режиму вод бассейна Аральского моря». Изд-во МОИП, 1950.
- Федосов М. В., Виноградова Е. Г. Основные черты гидрохимического режима Азовского моря. Труды ВНИРО. Т. 31. Пищепромиздат, 1955.
- Федосов М. В., Давидович Р. Л. Некоторые особенности гидрохимического режима Берингова моря. Труды ВНИРО. Т. 48 — Известия ТИНРО. Т. 50. Вып. I. Изд-во «Рыбное хозяйство», 1963.
- Quantity and quality of surface waters of Alaska 1957. „U. S. Geol. Surv. Water Supply Paper” N 1486, 1500.