

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(266.3)

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД ЗАЛ. АЛЯСКА В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 1962 г.

А. Н. Костикова
ВНИРО

В настоящей статье использованы материалы, полученные в зал. Аляска в августе и сентябре 1962 г.

Фосфаты определяли в судовой лаборатории по методу Дениже-Аткинса. Стандарт для определения фосфора приготавливали на безфосфатной морской воде (морскую воду пропускали через слой активированной окиси алюминия высотой 10 см). Объем пробы 50 мл.

Кремний определяли также в судовой лаборатории по молибдатному методу в желтой модификации; стандарт — из моносилката на очищенной через активированную окись алюминия морской воде. Объем пробы 50 мл.

Нитриты определяли по методу Грисса и Илосвая. Объем пробы 50 мл. Стандарты приготавливали на поверхностной морской воде.

Анализ проб натуральной воды, собранных в зал. Аляска летом и осенью 1962 г., на содержание в них общего фосфора и общего азота* производился в разное время по методу, принятому в лаборатории промысловой океанографии ВНИРО. Для определения суммарного содержания азота и фосфора из общей пробы морской воды после ее энергичного встряхивания отбирали аликвотную пробу в 25 мл нефилтрованной воды. В пробу добавляли 0,5 мл концентрированной серной кислоты, содержащей лишь незначительное количество фосфатов и аммония, и выпаривали до минимального объема. Кислоту добавляли непосредственно перед выпариванием. В остывшую колбу добавляли еще 0,5 мл концентрированной химически чистой H_2SO_4 и сразу закрывали пробкой-холодильником. Пробу сжигали по общепринятой методике (Бруевич и Костромина, 1937). Сжигание прекращали, когда раствор становился чуть желтоватым или бесцветным (через 1,5—2 ч).

* Под общим азотом подразумевается сумма органических азотных соединений и аммонийных солей.

В остывшую колбу Кьельдаля вводили некоторое количество безаммиачной и безфосфатной воды, обмывая при этом пробку-холодильник. Объем раствора довели до 100 мл и разливали по 50 мл в цилиндры Несслера для определения фосфора и азота. Фосфор определяли на следующий день. Другую часть пробы, предназначенную для определения азота, сразу фиксировали 4 мл 40%-ного BaCl_2 . Затем тщательно перемешав пробу, добавляли 4 мл смеси (40% $\text{NaOH} + 7\% \text{NaHCO}_3$). Снова тщательно перемешивали содержимое цилиндра с выпавшим осадком. Декантировали дважды. Содержание азота в пробе определяли с реактивом Несслера.

Анализ каждой пробы, за редким исключением, повторяли 2 раза. Предельно допустимым считалось отклонение от средней величины, не превышавшее 10% (обычно 5—6%). Если отклонение превышало 10%, опыт повторялся.

Результаты исследований показали, что воды западной и восточной областей залива различаются по содержанию биогенных элементов, так же как и воды шельфовой и глубоководной частей.

По распределению гидрохимических элементов водную толщу можно разделить на три слоя.

1. Слой фотосинтеза. Здесь происходит синтез органического вещества из минеральных соединений, а также распад органического вещества и минерализация.

2. Промежуточный подстилает фотический слой. Отсюда биогенные элементы в процессе вертикального перемешивания поступают в продуцирующий верхний слой. В самом промежуточном слое преобладает распад и минерализация органических веществ. Этот слой характеризуется более замедленным вертикальным перемешиванием по сравнению с верхним и более интенсивным, чем в нижележащем.

3. Глубинные слои. Обмен биогенными элементами с вышележащими слоями затруднен. Здесь минеральные формы компонентов, регенерированных в процессе распада органических веществ, накапливаются, аккумулируются.

Глубина залегания изоповерхности 100% насыщения растворенного кислорода, ограничивающая слой активного фотосинтеза*, выбрана как нижняя граница фотического слоя. Ниже этой границы освещенность водной толщи незначительна и активный фотосинтез невозможен.

Промежуточный слой выделен нами как слой с наиболее изменчивыми значениями концентраций биогенных элементов в сравнении с нижележащей водной толщей. Для того чтобы выделить нижнюю границу промежуточного слоя, было проанализировано вертикальное распределение минерального фосфора и кремния в зал. Аляска. В различных частях залива характер его не одинаковый, что связано со стратификацией водной толщи. Однако в любой части залива нижней границей слоя, где происходят сколько-нибудь значительные скачкообразные увеличения концентраций, является глубина 300 м. Затем начинается более плавное и незначительное увеличение содержания биогенных элементов. Эта глубина в 300 м и была выбрана нижней границей промежуточного слоя.

Ниже 300 м лежит глубинный слой, но так как во время наших работ гидрологические и гидрохимические исследования велись до глубины 1000 м, нами выделена только верхняя часть глубинного слоя.

* Фотосинтез называется активным, когда он преобладает над суточным распадом органического вещества.

Граница залива со стороны океана в различных литературных источниках определяется по-разному. Мы принимаем границу залива со стороны океана по линии от северной оконечности о-ва Унимак (на западе) до южной оконечности о-вов Королевы Шарлотты (на востоке).

Как известно, сток с суши — постоянная составляющая баланса биогенных веществ в водоемах.

В зал. Аляска с континента поступают воды нескольких больших рек и тающих ледников. На побережье северной части залива расположены особенно крупные ледники — Маласпина и Беринга. В северо-западную часть впадают реки Суситна и Медная, в юго-восточную часть залива — реки Стикин и Скина. Несколько южнее определенной нами границы залива впадает р. Фрезер. Ее сток, увлекаемый течением в сторону залива, также оказывает влияние на биогенный баланс вод зал. Аляска.

На основании материала экспедиции, собранного летом и осенью 1962 г., Ю. Ф. Безруков выделяет в зал. Аляска несколько водных масс: собственно субарктическую, аляскинскую трансформированную, канадскую, прибрежную сильнораспресненную, прибрежную слабораспресненную и ванкуверскую (рис. 1). Эти водные массы различаются по солености и температуре. Некоторые из них различаются и по содержанию гидрохимических компонентов и по вертикальному распределению.

Содержание минерального фосфора и кремния с глубиной увеличивается. Для субарктической водной массы, занимающей центральную часть залива, характерно резкое увеличение концентрации биогенных элементов на глубине 50—300 м, особенно значительное на 50—100 м (рис. 2). Графически это выражается почти горизонтальной линией. Такое же вертикальное распределение минерального фосфора и кремния наблюдается в западной части трансформированной водной массы и на материковом склоне прибрежной сильнораспресненной водной массы в западной части залива.

По-иному распределяются биогенные элементы в восточной части залива (канадская водная масса). В этой части залива концентрация биогенных элементов равномерно увеличивается с глубиной или их содержание незначительно увеличивается на глубине 50—300 м (рис. 3). Кривые, изображающие вертикальное распределение биогенных элементов в трансформированной водной массе в восточной части залива, подобны приведенным на рис. 3.

Распределение минерального фосфора и кремния на юго-востоке залива в ванкуверской водной массе отличается резким увеличением концентрации минерального фосфора и кремния на глубине 50—100 м и на глубине 200—300 м (рис. 4). Резкие изменения концентрации биогенных элементов обусловлены сильным изменением солености (на 1‰ и больше), происходящим на глубине 50—200 м. С этой глубиной частично совпадает и слой температурного скачка.

Горизонтальное распределение биогенных элементов в заливе Аляска следующее. Центральная часть залива, включающая субарктическую водную массу, характеризуется большим, чем в остальных водных массах, содержанием биогенных элементов в фотическом слое: фосфатов 20—30 мг/л, кремния 500—600, иногда 700 мг/л. В фотическом слое западной части залива концентрация кремния 400—500 мг/л; фосфора минерального — 20—30 мг/л. Восточная часть залива беднее минеральными фосфором и кремнием, что особенно значительно сказывается в фотическом слое: фосфора — 12—20 мг/л, кремния 400—500 мг/л. Эту часть залива занимает канадская водная масса, которая отличается в сравнении с другими водами более высокими значениями

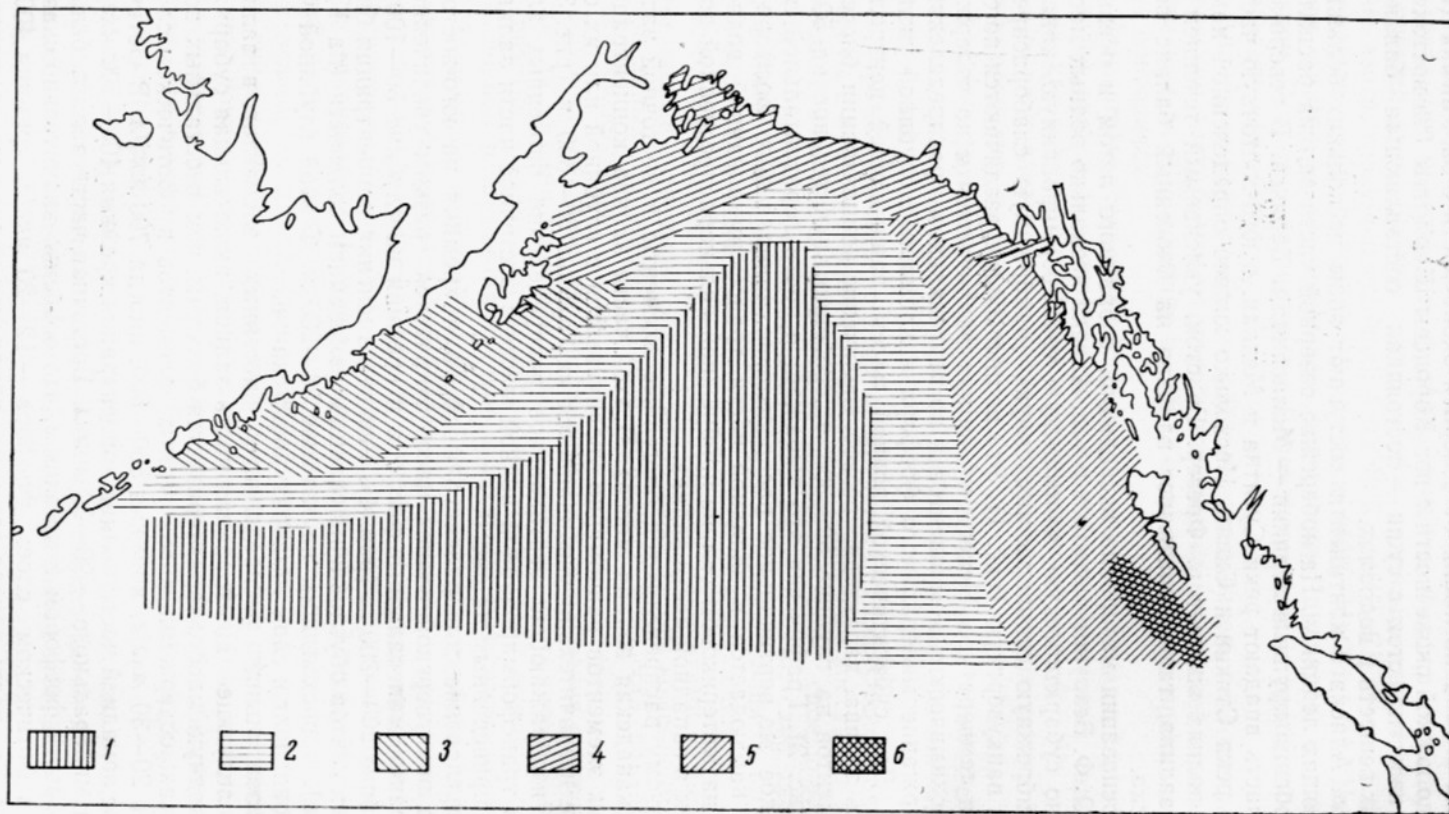


Рис. 1. Распределение основных водных масс в зал. Аляска:

1 — субарктическая; 2 — аляскинская трансформированная; 3 — прибрежная слабоораспределенная; 4 — прибрежная сильноораспределенная; 5 — канадская, 6 — ванкуверская.

температуры. Высокие температуры канадской водной массы объясняются вторжением теплых вод с юга. Но особенно низкими концентрациями минерального фосфора и кремния отличается фотический слой северной, прибрежной части залива: фосфора фосфатов — 4—8 мкг/л, кремния — 200—300 мкг/л (рис. 5, 6).

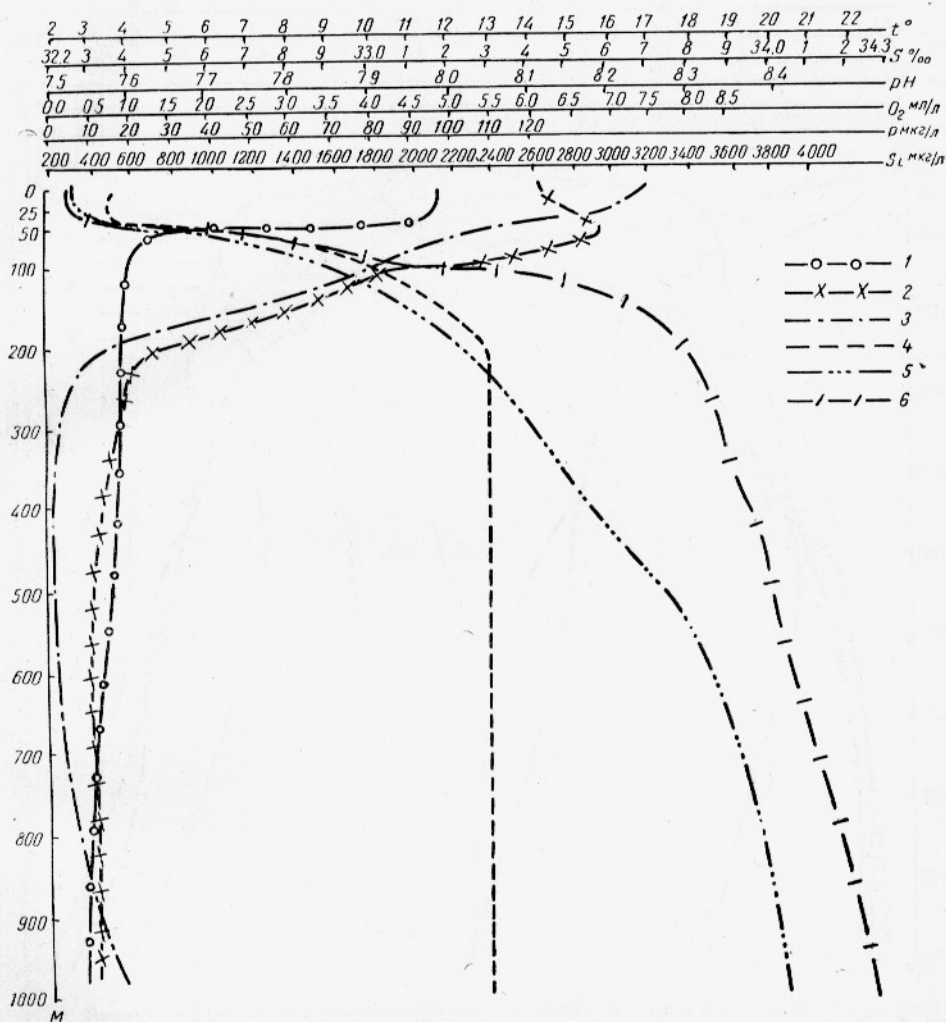


Рис. 2. Вертикальное распределение гидрохимических и гидрологических характеристик в субарктической водной массе (центральная и западная часть зал. Аляска): 1 — температура; 2 — кислород (мг/л); 3 — pH; 4 — фосфор фосфатов (мкг/л); 5 — минеральный кремний (мкг/л); 6 — соленость ($S^{\text{‰}}$).

В промежуточном слое четко выделяется прибрежная область, захватывающая шельфовую зону и верхнюю часть материкового склона. Содержание минерального фосфора (40—60 мкг/л) и кремния (800—1000 мкг/л) здесь ниже, чем в том же слое на остальной части материкового склона и в глубоководной части залива. В западной части фосфора фосфатов содержится 80—95 мкг/л, кремния — 1500—2000 мкг/л, в восточной — фосфора фосфатов 50—70 мкг/л, минерального кремния 1200—1500 мкг/л.

Распределение минерального фосфора и кремния в глубинном слое (ниже 300 м) повторяет картину промежуточного слоя. Западная и частично северо-восточная акватория залива отличается высокими значениями фосфора фосфатов — от 100 до 114 мкг/л, в восточной части они понижаются до 70—90 мкг/л. Много минерального кремния содержится

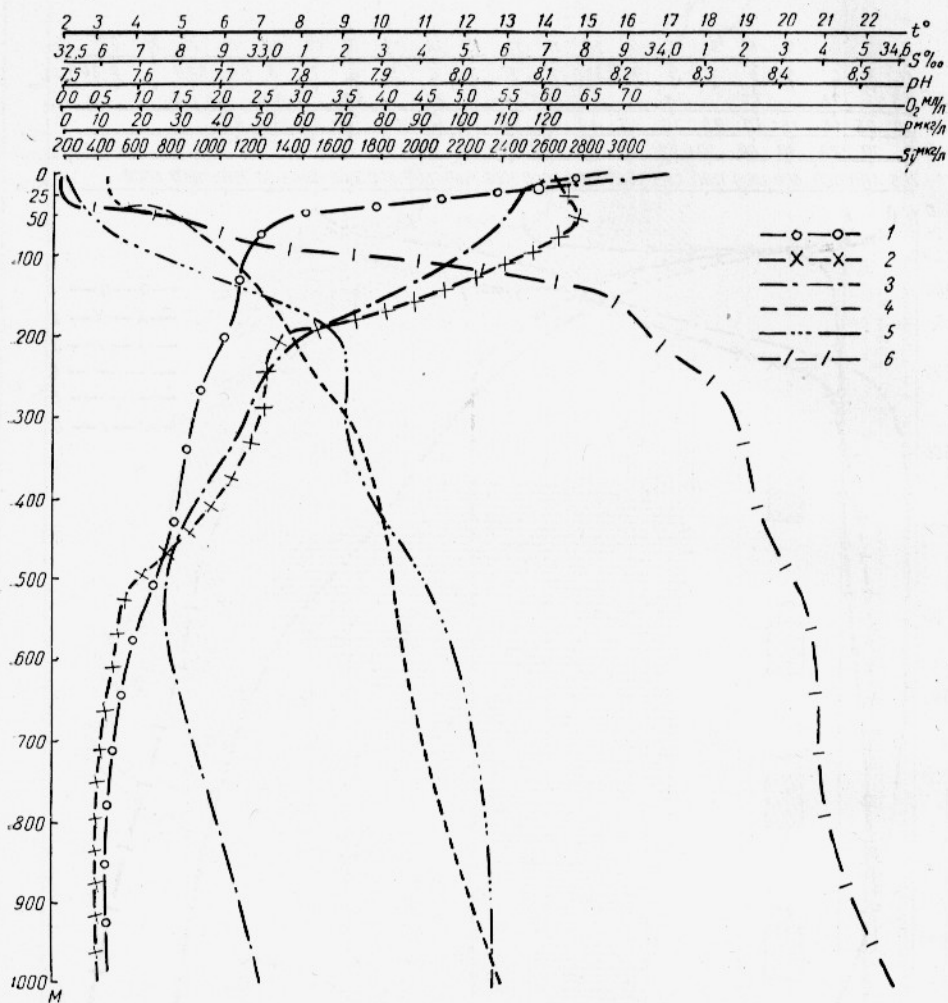


Рис. 3. Вертикальное распределение гидрохимических и гидрологических характеристик в канадской водной массе (восточная часть зал. Аляска). Условные обозначения те же, что на рис. 2.

в центральной и западной части залива — 3000—4000 мкг/л, в юго-восточной части и локально в других частях залива — 2000—3000 мкг/л.

Таким образом, центральная и западная части залива отличаются наибольшим содержанием биогенных элементов, восточная часть залива гораздо беднее как в поверхностном, так и в нижележащих слоях. Возможно, такое распределение биогенных элементов связано с динамикой вод залива. Циклонический круговорот вод в центральной части залива способствует поднятию глубинных вод и их лучшему перемешиванию. Кроме того, по данным И. М. Овчинникова (1963), в юго-запад-

ной части залива расположен циклонический круговорот вод с центром около 54—55° с. ш., 153—154° з. д. В фотическом слое разница концентраций минерального фосфора и кремния в двух частях залива связана и с другими факторами. Исследования в восточной части залива велись в августе, а в западной — в сентябре. Именно в сентябре в зал. Аляска

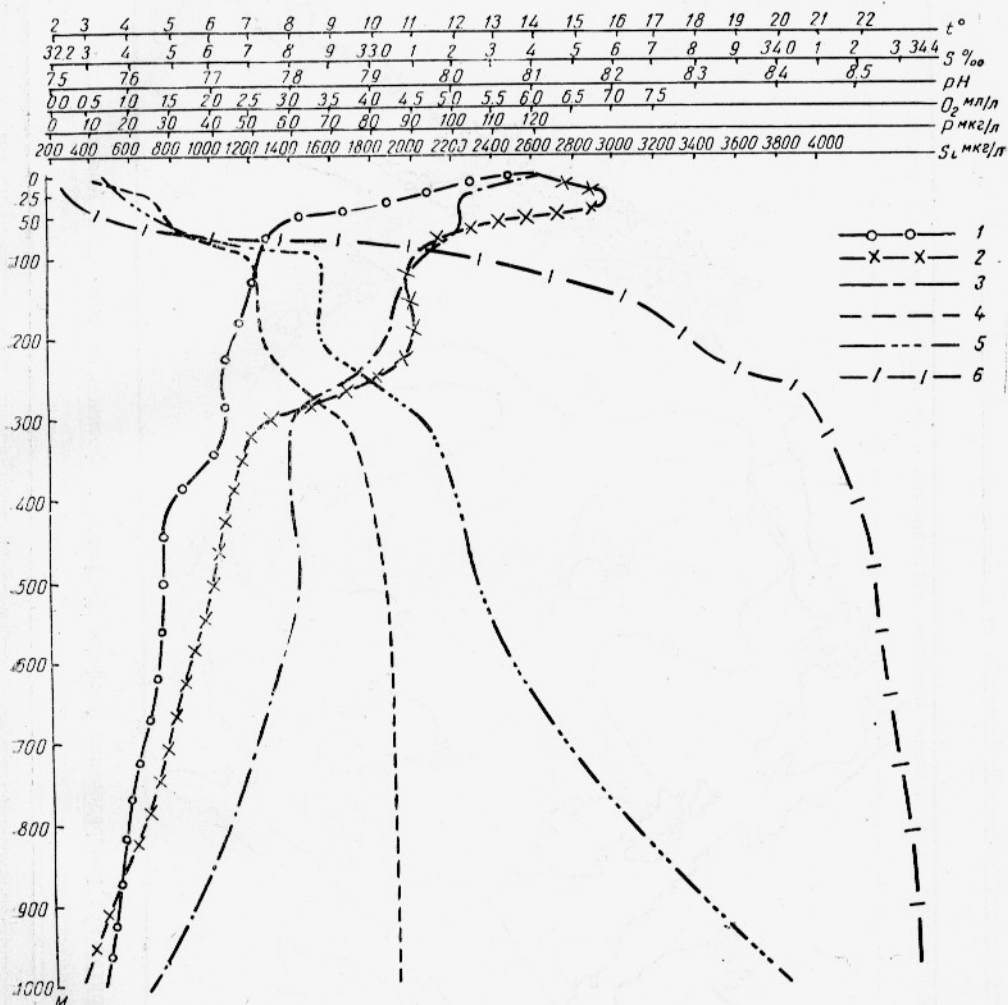


Рис. 4. Вертикальное распределение гидрохимических и гидрологических характеристик в ванкуверской водной массе. Условные обозначения те же, что на рис. 2.

начинаются процессы осенне-зимней циркуляции и ветровое перемешивание, что, очевидно, повлияло на увеличение концентрации биогенных элементов в западной части залива. Данные по пересыщению растворенного кислорода показывают, что в восточной части залива фотосинтез идет почти вдвое сильнее, чем в западной и, следовательно, в восточной части происходит более интенсивное потребление минеральных веществ, нежели в западной.

Содержание нитритов в водах зал. Аляска невелико — от 0,1 до 0,7 мкг/л. Как правило, нитриты в зал. Аляска встречаются в верхней части промежуточного слоя, непосредственно под слоем фотосинтеза на

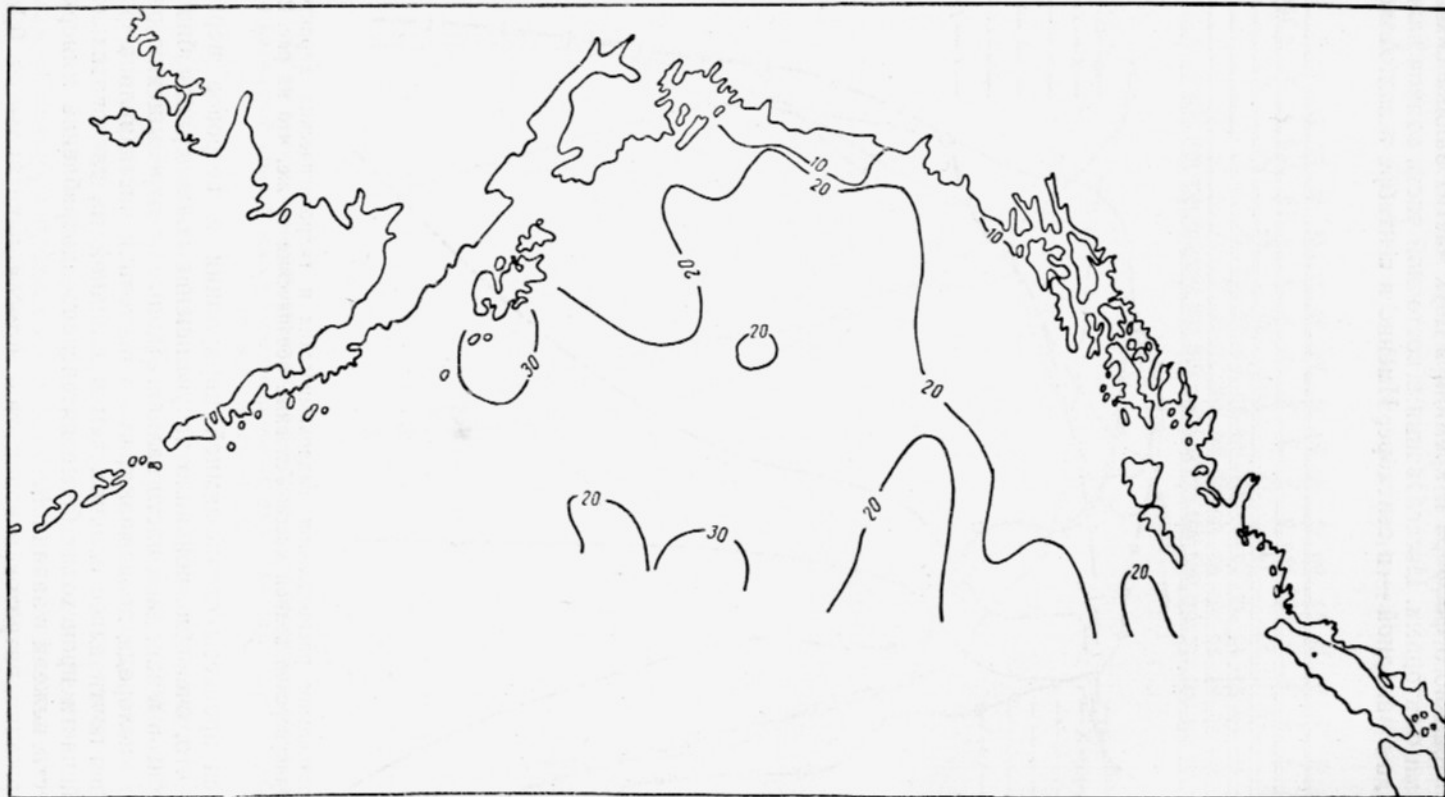


Рис. 5. Горизонтальное распределение фосфора фосфатов в фотическом слое зал. Аляска, мкг/л.

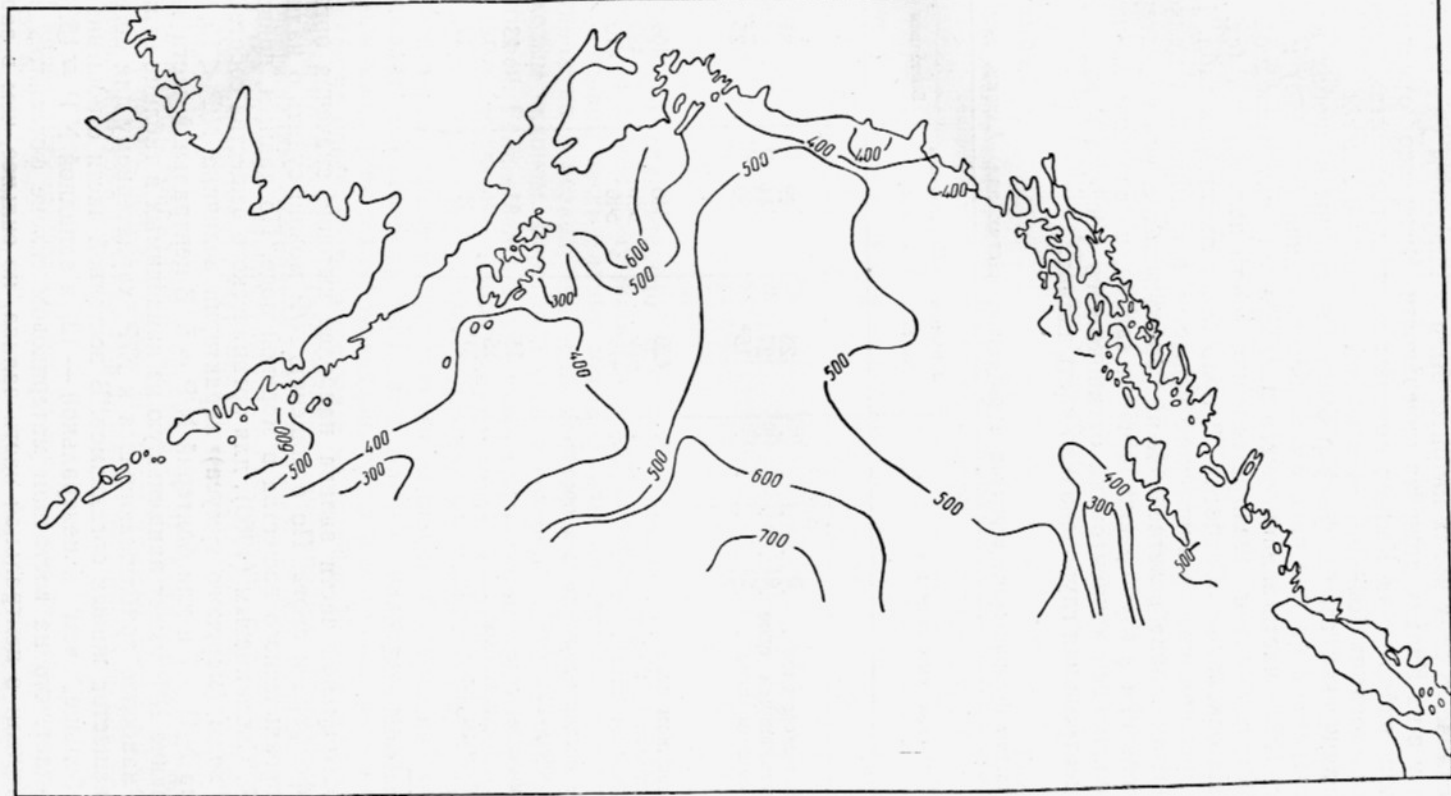


Рис. 6. Горизонтальное распределение минерального кремния в фотическом слое зал. Аляска, мкг/л.

глубине 25—50 м, иногда — 100 м. В прибрежных водах концентрации нитритов несколько выше, чем в глубоководных районах и на материковом склоне. В этих водах нитриты были обнаружены уже на глубине 10 м, а у о-ва Кадьяк даже на поверхности. Интересно отметить, что нитриты в районе о-ва Кадьяк найдены на всех горизонтах (при глубине исследования 100—140 м) в количестве 0,2—0,4 мг/л.

Органический азот и фосфор были определены в пробах морской воды, собранной на материковом склоне западной (ст. 1170) и восточной (ст. 1025) части залива, в его центральной глубоководной части (ст. 1090), а также на шельфе северной части зал. Аляска (ст. 1081, 1100). На основании обработки 50 проб были составлены табл. 1 и 2. Анализ показал, что органического вещества в прибрежных мелководных районах залива в летне-осенний период меньше, чем на материковом склоне или в глубоководной части залива, но особенно значительными величинами концентраций органического фосфора и азота выделяется центральная глубоководная часть залива.

Таблица 1

Количество органического вещества в различных частях зал. Аляска, мг/л.

Органическое вещество	Западная часть	Центральная часть	Восточная часть
Фосфор			
в фотическом слое	28	49	31
в подстиляющем слое	27	44	24
в глубинном слое	15*	30	25
Азот			
в фотическом слое	420	540	400
в подстиляющем слое	400	680	430
в глубинном слое	470*	540	410
Отношение органического азота к органическому фосфору (N/P)			
в фотическом слое	15	11	13
в подстиляющем слое	15	16	18
в глубинном слое	31*	18	17

* Придонный слой.

В центральной части залива наиболее высокие значения органического фосфора и азота. По отношению N/P можно судить о наличии живого органического вещества в морской воде. По данным, приводимым Б. А. Скопинцевым (1960), для органического вещества собственно морской воды (морского гумуса) характерна величина N/P < 15, для планктона N/P = 7 и для бактерий N/P = 5. В центральной части залива отношение N/P имеет наименьшую из приводимых в таблице величину — 11, наиболее приближающуюся к N/P, характерному для органического вещества живых организмов. В восточной части отношение несколько больше, чем в центральной — 13, в западной N/P = 15. Это подтверждает, что на восточном материковом склоне фотосинтез идет слабее, нежели в центральной части залива, но сильнее, чем в западной, где отношение N/P характерно для собственно морских вод. В остальных слоях всех территориальных частей залива отношение N/P не-

значительно выше 15. Обращает на себя внимание высокая величина отношения N/P в глубинном слое западной части залива. Надо отметить, что в западной части исследования проводились до дна (глубина 600 м), а в центральной и восточной части до 1000 м при глубине 2000 м. Возможно, что высокое отношение N/P в глубинном слое западной части залива объясняется интенсивной минерализацией органического фосфора у дна, что имеет место при благоприятных условиях для окисления органической формы фосфора.

Как видно из табл. 1, концентрации органического фосфора в верхнем слое выше по сравнению с нижележащими слоями, что же касается органического азота, то его больше в промежуточном слое. По данным Т. Лавесту (Laevastu), азота в сухом веществе фитопланктона в среднем содержится 5,5, фосфора 0,7%, в сухом веществе зоопланктона азота почти вдвое больше, чем в фитопланктоне — 10%, фосфора 0,8%. Таким образом можно предположить, что летом и осенью скопления зоопланктона приходится на промежуточный или подстилающий слой.

Таблица 2

Содержание минеральных и органических веществ в прибрежных районах северной части зал. Аляска в августе — сентябре 1962 г.

Горизонт, м	Ст. 1100			Ст. 1081		
	P минеральный	P органический	N органический	P минеральный	P органический	N органический
0	0	28	350	0	—	—
10	0	28	360	19	29	400
25	13	68	600	42	22	400
50	39	—	—	53	43	400

Судя по сравнительно небольшим концентрациям минеральных веществ* и небольшому количеству органических веществ, воды шельфа** северной части залива менее богаты питательными веществами в летне-осенний период, чем воды центральной части залива и над материковым склоном. Береговой сток в северной части залива довольно значителен. Если в центральной части соленость на поверхности составляет 32,50—32,75‰, то в прибрежных водах северной части она падает в поверхностном слое до 26—25‰. Можно предполагать, что сток в большей части состоит из вод тающих ледников. Фактический материал показывает, что северная часть зал. Аляска является единственным микрорайоном (как в глубоководной, так и в зоне шельфовых вод) залива, где на поверхности, а иногда и на глубине 10 м, практически нет минерального фосфора. Пересыщение кислородом прибрежных вод этой части залива составляет 108%. Бедность прибрежных вод северной части зал. Аляска минеральными компонентами, особенно фосфором фосфатов, несомненно, ограничивает новообразование органического вещества.

Эти выводы совпадают с данными Н. В. Азовой и М. В. Федосова (1963) по пересыщению O_2 /м³. По этим данным летом и осенью в глубоководной зоне центральной части залива пересыщение больше и,

* Концентрация минеральных веществ в фотическом слое северной части указана на стр. 6.

** На шельфе водная толща подразделялась обычно на фотический и промежуточный слой, а иногда при небольшой глубине среднее содержание биогенных элементов вычислялось только в фотическом слое, простиравшемся до дна.

следовательно, развитие фотосинтеза идет в этой части более интенсивно, чем в прибрежных водах. В глубоководной части летом — $0,62 \text{ л/м}^3$ (39 л/м^2), осенью — $0,66 \text{ л/м}^3$ (46 л/м^2), в шельфовой зоне летом — $0,58 \text{ л/м}^3$ (24 л/м^2), осенью — $0,60 \text{ л/м}^3$ (34 л/м^2).

В глубоководных частях залива и на материковом склоне количество содержащегося в воде органического фосфора с глубиной уменьшается; в шельфовых водах, наоборот, увеличивается (рис. 7, а, б). Оче-

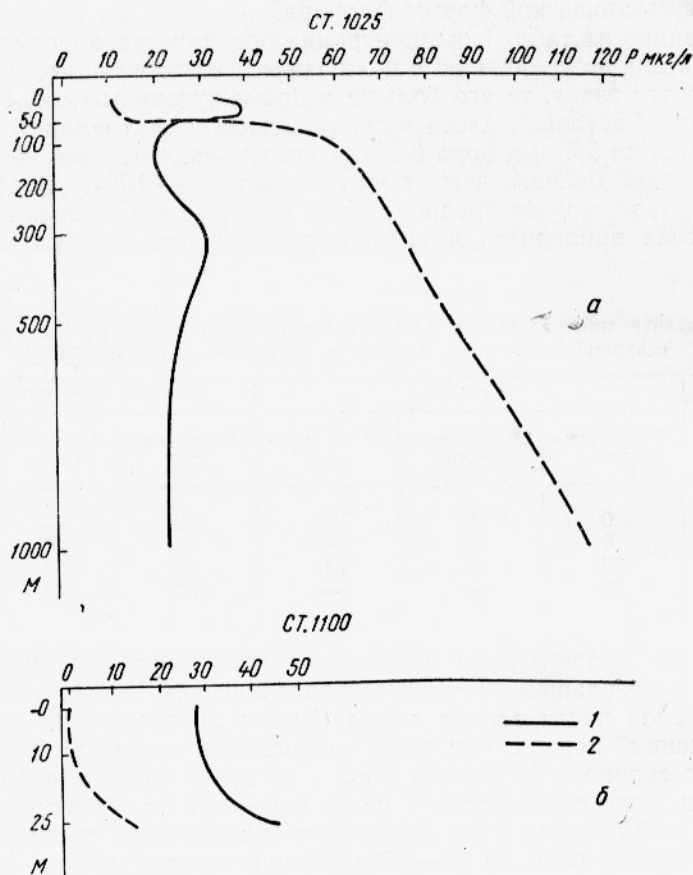


Рис. 7. Вертикальное распределение органического и минерального фосфора в зал. Аляска:
 а — в глубоководной части; б — в прибрежных водах; 1 — органический фосфор; 2 — фосфор фосфатов.

видно, это можно объяснить следующим образом. В водной массе глубоководной части органическое вещество состоит, главным образом, из свежего органического вещества, которое синтезируется в фотическом слое. Это аутохтонное вещество, являясь лабильным, довольно быстро минерализуется и переходит из органической в минеральную форму. Органическое вещество прибрежных морских вод, особенно там, где ощущается большой береговой сток, состоит из свежего аутохтонного и аллохтонного органического вещества суши, которое является более старым, стабильным и обычно труднее минерализуется. В то же время на мелководьях возможно влияние органических отложений дна при перемешивании вод, ветровых волнениях, когда происходит подъем органического вещества донных отложений.

Общего фосфора в фотическом слое центральной части также больше, чем в том же слое на восточном и западном материковом склонах. В прибрежных шельфовых водах общего фосфора и азота меньше, чем на материковом склоне и в глубоководной части. Эта разница в содержании общего фосфора и азота прослеживается не только в летне-осенний период, но и весной.

Выводы

1. Наиболее богаты минеральными биогенными ресурсами в заливе Аляска в летне-осенний период воды центральной части и западного материкового склона (субарктическая, частично аляскинская трансформированная и прибрежная слабодисперсионная водная масса). Восточная часть (канадская водная масса) беднее. Шельфовые воды бедны биогенными веществами в сравнении с водами материкового склона и глубоководной части залива. Обедненность прибрежных вод северной части залива (исследованный в отношении органического вещества район) биогенными веществами является ограничивающим фактором для развития фотосинтеза и новообразования органического вещества.

2. Наиболее богатой в летне-осенний период 1962 г. органическим веществом была центральная глубоководная часть залива.

3. Содержание органического фосфора в глубоководных частях залива и на материковом склоне с глубиной уменьшается, в шельфовых водах — увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

Бруевич С. В. и Костромина А. А. Определение органического и минерального фосфора в природных водах. Журнал прикладной химии. Т. 11. Вып. 4—6. Л., 1937.

Гершанович Д. Е. Комплексные океанологические исследования на севере Тихого океана. «Океанология», 1963, № 6.

Мокиевская В. В. О распределении форм фосфора в водах дальневосточных морей. Труды Института океанологии. Т. 33, 1959.

Муромцев А. М. Основные черты гидрологии Тихого океана. Атлас вертикальных разрезов и карт температуры, солености, плотности и содержания кислорода. Л., 1958.

Овчинников И. М. Некоторые особенности циркуляции вод в заливе Аляска. «Океанологические исследования», 1963, № 8.

Плахотник А. Ф. Гидрологическая характеристика Аляскинского залива. «Советские рыбохозяйственные исследования в северо-восточной части Тихого океана». Труды ВНИРО-ТИНРО. Т. 49. Т. 51. Вып. 2, 1964.

Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус). Труды Государственного океанографического института. Вып. 17 (29). Л., 1956.

Скопинцев Б. А. Органическое вещество в водах морей. Труды Морского гидрофизического института. Т. XIX, 1960.

Сметанин Д. А. О причинах возникновения кислородного минимума. Труды Института океанологии. Т. 33, 1959.

Федосов М. В., Азова Н. В. Первичная продуктивность и слой дефицита кислорода в заливе Аляска. Труды ВНИРО, 1963.

T. Laevastu. Review of the methods used in plankton research and conversion tables for recording the data and recommendations for standardization FAO /57/87/4472/. World Weather Records 1941—1950, Washington, D. C. 1959.