

УДК 551.464.7 : 551.468(268)

И. А. МЕЛЬНИКОВ, Г. Л. ПАВЛОВ

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО
УГЛЕРОДА В ВОДАХ И ЛЬДАХ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА***Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР
Арктический и антарктический научно-исследовательский институт*

Рассмотрены данные по концентрации органического углерода в водах центрального Арктического бассейна в течение годового цикла наблюдений. Зимнее положение экстремальных величин концентрации растворенного органического углерода соответствует стратификации вод и вертикальному распределению зоопланктона. Сезонные вертикальные миграции последнего существенно влияют на летнее перераспределение биогенных элементов и растворенного органического углерода воды, однако несущественно сказываются на распределении органического углерода взвеси. Величины концентрации органического углерода во льду могут превышать таковые в воде в момент наблюдений, что позволяет рассматривать дрейфующий лед как аллохтонный источник органических веществ в Арктическом бассейне.

Концентрация растворенного и взвешенного органического вещества — важный экологический показатель, поэтому знать ее величины необходимо для правильного понимания биологических и физико-химических процессов, проходящих в океане.

В настоящее время накоплен большой фактический материал по качественному, количественному составу и пространственному распределению органического углерода морской воды в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах, однако по центральному Арктическому бассейну таких данных очень немного: имеется всего лишь два наблюдения по вертикальному распределению растворенного и взвешенного органического углерода, выполненные в Амеразийском суббассейне во время дрейфа американской станции Т-3 в апреле 1968 г. и мае 1969 г. [15]. Что же касается данных по органическому углероду морского льда, то таковых в литературе не имеется. Как показано в [11], диатомовые, попадающие в лед при замерзании морской воды, могут продолжительное время оставаться живыми в темноте без дополнительного источника углерода. Наличие органического углерода во льду может играть важную роль в выживаемости водорослей в течение полярной зимы. Учитывая важность получения такой информации для оценки биологической продуктивности водоема, на дрейфующей научно-исследовательской станции «Северный полюс-22» с мая по октябрь 1975 г. [5] и затем в апреле 1976 г. [6] были проведены наблюдения за распределением органического углерода в водах и льдах центральной части Северного Ледовитого океана.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для данного исследования послужили пробы, собранные по маршруту дрейфа станции:

Дата наблюдения, 1975	Глубина на станции, м	Координаты	
		с. ш.	з. д.
21.V	1460	83°55'	166°59'
11.VI	2450	84°16'	167°40'
24.VI	1850	84°02'	168°29'
14.VII	1760	84°13'	164°02'
06.VIII	3160	83°02'	160°57'
27.VIII	3204	83°09'	164°31'
14.IX	3250	83°05'	161°46'
14.X	3800	82°54'	155°52'
12.IV.1976	2794	83°32'	140°50'

Воду отбирали по стандартным горизонтам с помощью 8-литрового батометра. Собранные пробы до начала анализа хранили в полиэтиленовой посуде при температуре 10—15° и обычно не более 2—3 ч. Пробы льда брали специальным буром, позволяющим взять колонку льда диаметром 120—300 мм от его верхней до нижней поверхности. Колонку делили на верхнюю, среднюю и нижнюю (морскую) части, каждую из которых механически очищали от снега, обливали дистиллированной водой, кололи на куски и затем при комнатной температуре (~15—20°С) растапливали в стеклянной посуде. Для отделения взвеси талую и морскую воду профильтровывали через стекловолокнистый фильтр GF/A с размером пор 1 мкм; объем профильтрованной воды 1÷3 л.

Величины концентрации растворенного и взвешенного органического углерода определяли на полуавтоматической установке С. В. Люцарева, собранной в лаборатории биогидрохимии Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Сжигание проводили по методу [4]. Все определения выполнены непосредственно на станции и, как правило, сразу же после отбора проб.

Для получения достоверных представлений об изменениях в распределении органических компонентов в пространстве и времени одновременно определяли температуру, соленость, концентрации кислорода, фосфора фосфатного и кремнекислоты; все определения велись по [16]; проводили планктонные ловы сетью Джели с входным отверстием 37 см и диаметром фильтрующего конуса 50 см из шелкового сита № 38; сырую биомассу планктона измеряли в волюминометре Яшнова [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Органический углерод воды. Прежде чем перейти к обсуждению полученных результатов, следует рассмотреть структуру водных масс в районе дрейфа и проследить за изменением их характеристик во времени. В своей работе будем придерживаться принятых в [7, 9] названий и классификаций типов вод.

В районе работ — поднятие Альфа Амеразийского суббассейна Северного Ледовитого океана — выявлена характерная для Арктического бассейна структура водных масс (рис. 1): поверхностная арктическая вода (0—50 м), подповерхностная вода тихоокеанского происхождения (слой 75—150 м), теплые атлантические воды (250—750 м) и глубинные арктические воды (1000 — дно). Слои 50—75, 150—250, 750—1000 м — переходные зоны между выделенными типами вод.

Для поверхностных арктических вод характерны: хорошая перемешанность слоя 0—50 м с температурным градиентом, близким к нулю, минимум солености, повышенное содержание кислорода. Это самый динамичный слой Арктического бассейна, подверженный сезонной изменчивости. Как видно из *T, S*-диаграмм (рис. 1, а), в течение лета происходит опреснение и потепление этого слоя, в то время как для нижележащих слоев эта изменчивость мало заметна.

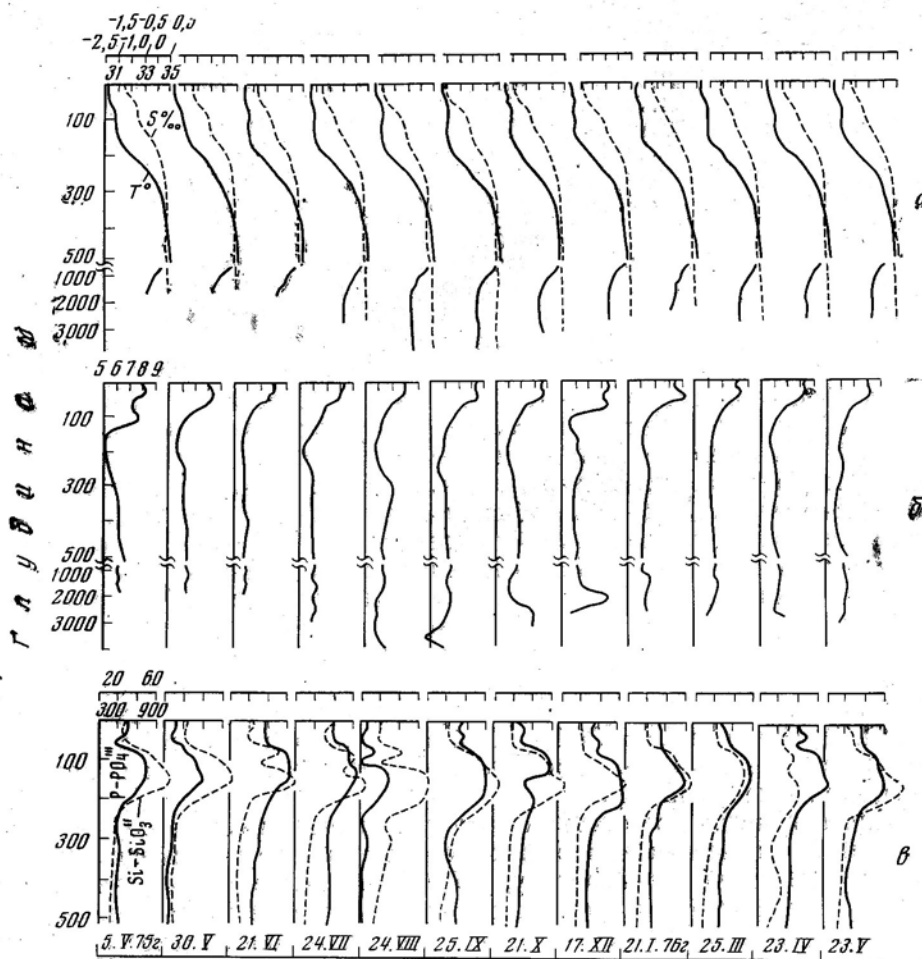


Рис. 1. Гидрологические и гидрохимические характеристики водных масс по маршруту дрейфа станции «Северный Полюс-22» в мае 1975—мае 1976 гг.
 а — температура, °С (сплошная линия) и соленость, ‰ (пунктирная); б — кислород, мл/л; в — фосфор фосфатный (сплошная линия) и кремнекислота (пунктирная), мкг/л

Подповерхностные воды имеют ярко выраженный кислородный минимум (рис. 1, б), сохраняющийся в течение сезона таяния льдов, и самые высокие величины концентраций фосфора и кремния. Из кривых распределения последних (рис. 1, в) видно, что в течение года на фоне относительного постоянства характерных гидрологических параметров — температуры и солености — в подповерхностных водах происходят значительные изменения в распределении биогенных элементов, приходящиеся на июнь и август. Эти изменения, по-видимому, связаны с биологическими (интенсивный фотосинтез, подъем зоопланктона из атлантических вод и др.), а не с гидрологическими процессами. В остальное время года в этом слое сохраняется постоянство гидрохимических показателей.

Атлантические и глубинные воды не подвержены заметному влиянию сезонных изменений. Выявленные по маршруту дрейфа различия температуры и солености в глубинных водах, вероятно, связаны с изменением интенсивности геотермального нагрева придонных вод в зависимости от глубины.

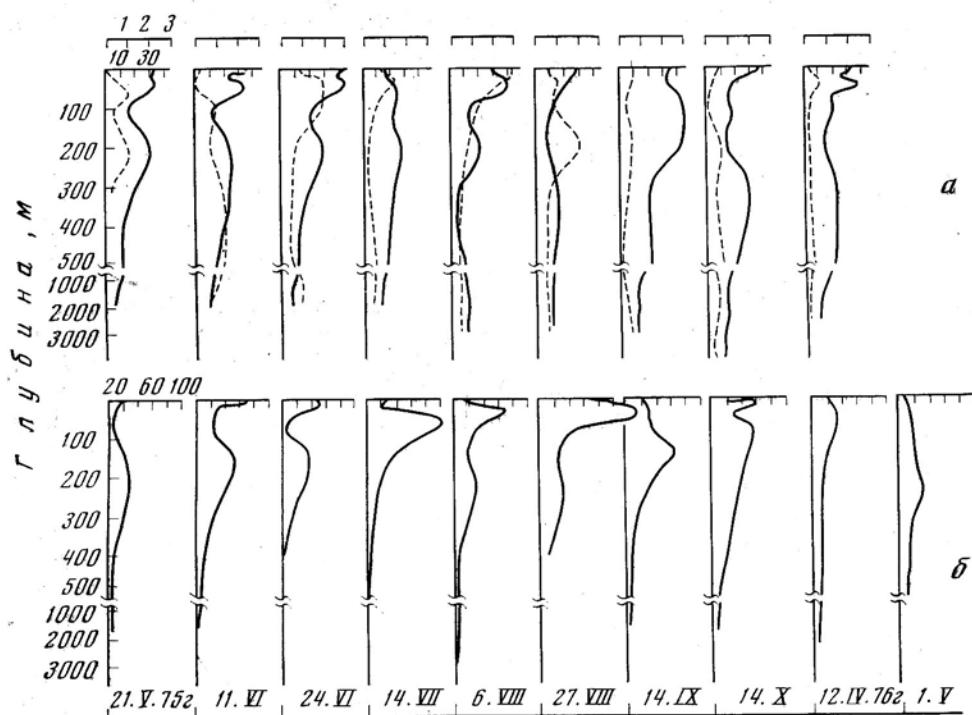


Рис. 2. Биологические компоненты в водных массах района работ
 а — растворенный, мг С/л (сплошная линия) и взвешенный, мкг С/л (пунктирная) органический углерод; б — сырая биомасса планктона (мг/м^3) в исследованных водах

В вертикальном распределении растворенного и взвешенного органического вещества отмечена следующая особенность: самые высокие концентрации органического углерода были получены для поверхностных арктических и подповерхностных вод тихоокеанского происхождения, самые низкие — для атлантических и глубинных вод (рис. 2, а).

Характерно, что концентрации растворенного органического углерода в районе исследования при коротком вегетационном периоде, низких величинах первичной продукции и биомассы планктона [5, 13, 14] довольно высокие: $2\text{--}3 \text{ мг С/л}$ в поверхностных и подповерхностных водах и $0,5\text{--}1,0 \text{ мг С/л}$ глубже 500 м , что сравнимо с таковыми в продуктивных районах Южного океана [1].

Максимальные концентрации взвешенного органического углерода $25\text{--}45 \text{ мкг С/л}$ обнаружены в поверхностных арктических водах в период таяния льдов (июнь — август); в другое время года органический углерод взвеси более или менее равномерно распределен в водном столбе ($\sim 5 \text{ мкг С/л}$).

При сравнении величин концентрации растворенного органического углерода, полученных в настоящей работе, с данными Кинней с соавт. [15], проводивших наблюдения также в Амеразийском суббассейне, выявлено несущественное различие: авторы [15] приводят величины $1\text{--}1,5 \text{ мг С/л}$ для слоя $0\text{--}250 \text{ м}$, что несколько ниже наших данных ($1\text{--}2,5 \text{ мг С/л}$), полученных также в апреле-мае для поверхностных и подповерхностных вод. Такое расхождение величин может быть объяснено, на наш взгляд, использованием различных методик для определения растворенного органического углерода. Метод мокрого сжигания с инфракрасным окончанием, который использовали упомянутые выше авторы, дает заниженные результаты в сравнении с другими методами. Примененный в нашем исследовании метод мокрого сжигания с куло-

нометрическим окончанием. дает хорошо воспроизводимые результаты, довольно чувствительный и может использоваться в экспедиционных условиях, что позволяет определять концентрацию органического углерода сразу же после взятия проб, исключая тем самым стадию ее фиксации для последующих стационарных определений.

Сезонные наблюдения за распределением концентрации растворенного органического углерода позволяют проследить за изменением ее величин в водном столбе.

Прежде всего следует отметить хорошее совпадение в положении экстремальных точек концентрации растворенного органического углерода на вертикальных профилях 21 мая — 24 июня: оба максимума соответствуют слоям 50—75 и 150—250 м. На этой же глубине отмечены максимальные величины биомассы зоопланктона (рис. 2, б).

С начала стаивания снежного покрова с поверхности льда (конец июля) до начала замерзания снежниц в сентябре происходит интенсивное перераспределение концентрации растворенного органического углерода по вертикали (рис. 2, а). Интересно отметить, что в это же время концентрация минерального фосфора в слое 0—500 м в некоторых случаях (горизонты 25, 100, 200 и 500 м) достигает аналитического нуля (рис. 1, в). Как было сказано выше, сезонная изменчивость вод по форме *T*, *S*-кривых заметна лишь до 50 м, поэтому выявленные значительные изменения в вертикальном распределении растворенного органического углерода и минерального фосфора в летний период на глубинах 50—500 м могли быть вызваны сезонной вертикальной миграцией зоопланктона. Роль последнего экспериментально подтверждена Купером [12]. Из литературы также известно, что зоопланктон, потребляя органическое вещество морской воды (прямо или косвенно, например, через трофическое звено бактерии — органика) частично преобразует, трансформирует его состав [2]. Кроме того, с увеличением амплитуды вертикальных миграций зоопланктона возрастает его роль в трансформации органического вещества. Полученные здесь данные позволяют предположить существенное влияние зоопланктона на распределение органического углерода в водах Арктического бассейна.

Характерной особенностью вертикального распределения взвешенного органического углерода является относительное постоянство величин зимних концентраций в водном столбе: $\sim 5\text{--}10 \text{ мкг С/л}$ в поверхностных и $< 5 \text{ мкг С/л}$ в атлантических и глубинных водах. Положение максимумов концентрации органического углерода взвеси не определяется стратификацией вод и не связано с вертикальной миграцией зоопланктона. Возможно, что это вызвано пространственной неоднородностью в распределении взвеси. Данные по составу органических компонентов взвешенного органического вещества — частиц детрита и микроорганизмов, вероятно, дополняют и разъясняют картину его вертикального распределения.

Органический углерод льда. Пробы осеннего, зимнего и многолетнего льда были взяты 1 июня 1975 г., когда дрейфующая станция СП-22 находилась на $84^{\circ}12'$ с. ш. и $165^{\circ}35'$ з. д. Координаты и даты образования исследуемого льда: осеннего — 12.IX.1974 г., $82^{\circ}34'$ с. ш., $175^{\circ}43'$ з. д.; зимнего — 27.XII. 1974 г., $82^{\circ}02'$ с. ш., $172^{\circ}22'$ з. д. Данных по образованию многолетнего льда не имеется.

Таким образом, лед к моменту его отбора продрейфовал на север приблизительно на 150—180 миль от места образования.

Толщина осеннего льда 210 см, зимнего 172 см и многолетнего $> 4 \text{ м}$.

Осенний лед: толщина снежного покрова 35 см; ниже снега и сморози в слое 0—20 см мелкопузыристый лед с прослойками более плотного прозрачного льда, затем слой выклинивания кристаллов с нечетко выраженной нижней границей; слой 40—60 см и ниже — плотный лед с вертикально-волокнистой текстурой.

Зимний лед: толщина снежного покрова 30 см; между снегом и льдом 2 см сморози; верхний слой выклинивания 0—12 см — мелкопузыристый лед с нечеткой нижней границей; ниже по всей колонке — капилляры длиной до 7 см (результат стекания рассола).

Многолетний лед: толщина снежного покрова 45 см; нет четкой границы раздела лед — снег; слой 0—40 см — крупнопузыристый лед с высокой плотностью; граница слоя четко определена; ниже — мелкопузыристый лед с отдельными участками крупнопузыристого.

Концентрация органического углерода и минеральных форм фосфора и кремния в различных типах льда Центрального Арктического бассейна

Тип льда	Толщина слоя, см	Концентрация			
		кремния, мкг/л	фосфора, мкг/л	С _{раст.} мг С/л	С _{взв.} мкг С/л
Осенний	0—30	91	58	2,05	450
	90—120	113	52	1,61	492
	180—210	—	—	1,12	544
Зимний	0—30	125	62	2,97	560
	70—100	82	37	3,10	284
	140—170	—	—	1,80	276
Многолетний	0—30	42	40	1,89	175
	30—60	57	21	2,41	314

Примечание. Ко времени взятия проб концентрация биогенных элементов и органических компонентов морской воды подо льдом составляла: кремния 320 мкг/л, фосфора 12 мкг/л, С_{раст.} 2,54 мг С/л, С_{взв.} 2 мкг С/л.

Из представленных в таблице данных видно, что величины органического углерода взвеси льда на 2 порядка выше таковых в воде в момент его определения. Такое высокое различие величин концентрации можно объяснить либо интенсивным вмерзанием органических веществ при ледообразовании, либо поступлением с течениями льда, богатого органическими компонентами, из высокопродуктивных районов, например с шельфа северных морей. Первое предположение важно с физико-химической точки зрения. Возможно, что при замерзании воды происходит адсорбция или коагуляция органических веществ, растворенных и взвешенных в воде, как это наблюдалось в опыте [8]. Второе предположение существенно в связи с тем, что лед можно рассматривать как аллохтонный источник органической взвеси в бассейне. Действительно, если учесть интенсивное вытаивание льда с его морской поверхности, достигающее в районе работ 25—30 см [3], то можно оценить количество органического углерода, поступающего со взвесью вместе с талой водой. Несомненно, количество органического углерода во льду будет зависеть от его обилия в воде в момент ледообразования, т. е. концентрация будет прямо зависеть от продуктивности района, в котором происходит процесс нарастания льда. Это явление особенно важно для льда, образующегося в окраинных северных морях, более продуктивных, чем воды центрального Арктического бассейна, а следовательно, более богатых органическими компонентами. Принимая во внимание большую площадь, занимаемую окраинными морями в Северном Ледовитом океане, и направление генерального дрейфа льда, можно оценить особую важность рассматриваемого явления для Арктического бассейна.

Обращает на себя внимание факт неоднородности в распределении органических компонентов органического углерода и биогенных элементов в толще всех изученных типов льдов. Вероятно, это связано с особенностями процесса ледообразования: с резким изменением температуры окружающей среды, а следовательно, со скоростью нарастания льда, включением в межкристаллические пространства растворенных и взвешенных компонентов морской воды, перераспределением рассоловых ячеек во льду, выдавливанием рассола в воду и т. п. Предварительный мик-

роскопический анализ ледовой взвеси показал неоднородность в распределении одноклеточных водорослей в исследованных слоях по толщине колонки льда.

По-видимому, для выявления характерных особенностей состава льда и причин, его определяющих, следует проводить специальные наблюдения от момента образования льда через фазу нарастания до начала таяния. Получение таких данных позволит в дальнейшем более полно представить себе закономерности, определяющие состав льда и его экологическую функцию в Арктическом бассейне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьев В. Е., Мельников И. А. 1974. Органическое вещество в субтропических и антарктических водах Южной Атлантики. Тр. ИОАН СССР, 98.
2. Виноградов М. Е. 1968. Вертикальное распределение океанического зоопланктона. «Наука», М.
3. Грищенко В. Д. 1977. Исследование рельефа верхней и нижней поверхностей дрейфующих льдов Арктического бассейна. Автореф. канд. дис. ААНИИ, Л.
4. Люцарев С. В. 1968. Методы определения углерода органических веществ в морской воде. Сб. «Методы рыбохозяйственных и химиоокеанографических исследований», 2, ВНИРО, вып. 11.
5. Мельников И. А. 1976. Гидробиологические исследования в центральной части Северного Ледовитого океана. Океанология, XVI, вып. 3.
6. Мельников И. А. 1976. Гидробиологические исследования в центральной части Северного Ледовитого океана (весна 1976 г.). Океанология, XVI, вып. 6.
7. Русанов В. П. 1975. Гидрохимический режим как показатель океанологических процессов в Арктическом бассейне. Автореф. канд. дис. ААНИИ, Л.
8. Скопинцев Б. А. 1947. О коагуляции гумусовых веществ речного стока в морской воде. Изв. АН СССР. Сер. геогр., 11, № 1.
9. Трешников А. Ф., Баранов Г. И. 1972. Структура циркуляции вод Арктического бассейна. Гидрометеоназдат, Л.
10. Яшнов В. А. 1934. Инструкция по сбору и обработке планктона. Изд. ВНИРО.
11. Bunt J. S., Lee C. C. 1972. Data on the composition and dark survival of four sea-ice microalgae. Limnol. and Oceanogr., 17, No. 3.
12. Cooper D. C. 1973. Enhancement of net primary productivity by herbivore grazing in aquatic laboratory microcosms. Limnol. and Oceanogr., 18, No. 1.
13. Goering J. J. 1970. Biological changes in chemical parameters in Arctic water masses. P. 1. In P. J. Kinney and D. W. Hood (Eds.), «Chemical characteristics of Arctic water masses». Univ. Alaska, Inst. Marine Sci. Rep., R 69—15.
14. Hopkins T. L. 1969. Zooplankton biomass related to hydrography along the drift track of Arlis II in the Arctic Basin and the east Greenland Current. J. Fish. Res. Bd Canada, 26, No. 2.
15. Kinney P. J., Loder T. C., Croves J. 1971. Particulate and dissolved organic matter in the Amerasian Basin of the Arctic Ocean. Limnol. and Oceanogr., 16, No. 1.
16. Strickland J. D. H., Parsons T. R. 1968. A manual of sea water analysis. Fish. Res. Bd. Can. Bull.

Поступила в редакцию
20.IV.1977

I. A. MEL'NIKOV, G. L. PAVLOV

PECULIARITIES OF ORGANIC CARBON DISTRIBUTION IN THE WATERS AND ICE OF THE ARCTIC BASIN

Summary

Data on the concentration of organic carbon in the waters of the Central Arctic basin during a year's cycle of observations are considered. The winter position of the extreme concentrations of dissolved organic carbon corresponds to water stratification and the vertical distribution of zooplankton. The seasonal vertical migrations of zooplankton influence essentially the summer redistribution of nutrients and dissolved organic carbon in water, yet they affect only unessentially the distribution of organic carbon in suspended matter. The concentrations of organic carbon in ice may exceed those in water at the moment of observations which makes it possible to regard drifting ice as an allochthonic source of organic matter in the Arctic basin.