

551,464 (268.2+268.41)

**УСЛОВИЯ НОВООБРАЗОВАНИЯ И РАСПАДА ОРГАНИЧЕСКОГО
ВЕЩЕСТВА В ЗОНЕ ЛЬДОВ ГРЕНЛАНДСКОГО
И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ****И. А. Ермаченко**

Еще первые исследователи полярных морей обратили внимание на высокое развитие жизни у кромки льда в весенний период. Н. Н. Зубов (1938) пишет: «Наиболее достоверным признаком близости льда является обилие органической жизни, всегда связанной с процессом таяния... Наоборот, нет никакой жизни ни на льдах, ни в воде у льдов, если льды не находятся в процессе таяния. Например, можно целыми часами проводить планктонные ловы у неотающих льдов и в результате ничего не выловить». Главными причинами такого развития жизни у тающих льдов Н. Н. Зубов считал живительные свойства тригидроловых молекул. Тригидроловые молекулы образуются при замерзании воды и при таянии льда поступают в воду.

П. И. Усачев (1935) объяснял интенсивное цветение моря благоприятным действием карбонатов. Таким образом, Н. Н. Зубов и П. И. Усачев видели причину весеннего бурного развития фитопланктона в поступлении в верхние слои воды питательных солей и тригидроловых молекул при таянии льда, недооценивая биоценотический фактор.

П. П. Ширшов (1936) и В. Г. Богоров (1939), изучая фитопланктон полярных морей, пришли к выводу, что весеннее цветение фитопланктона — это проявление сезонных изменений в количестве и качестве фитопланктона. В. Г. Богоров считает, что некоторую или временную роль могут оказывать и различные вещества, выделяющиеся в воду при таянии льдов. П. П. Ширшов, утверждая, что жизнь планктона, сезонные изменения его количества и видового состава находятся в самой тесной зависимости от физико-химических условий окружающей среды, пишет — «Очевидно причина, вызывающая массовое развитие водорослей, заключается не в самом таянии льдов, не в стимулирующем действии того или иного явления, связанного с процессом таяния... Толчком, вызывающим массовое развитие водорослей, является момент вскрытия сплошного зимнего покрова, благодаря чему в воду проникает достаточное для фотосинтеза количество солнечного света».

Далее Ширшов замечает, что таяние льдов все-таки оказывает некоторое стимулирующее воздействие на развитие водорослей. В качестве доказательства П. П. Ширшов приводит пример — в пробах воды, взятых у льдов, наблюдалось больше хлорофилла, чем в чистой воде. Такое увеличение планктона в районе плавучих льдов П. П. Ширшов объясняет, опираясь на наблюдения А. В. Лангвагена (1936), который во время экспедиции в Чукотском море на ледоколе «Красин» наблюдал за содержанием фосфатов в морской воде и во льдах. Исследования показали, что в водной вытяжке из ила с поверхности льдины содержалось до 85 мг/м^3 элементарного фосфора. Во время интенсивного таяния ил вымывается, обогащая самый поверхностный слой питательными солями.

Таким образом, Зубов, Усачев, Богоров и Ширшов рассматривают лед как аккумулятор питательных веществ в море, придавая разное значение компонентам, поступающим при таянии льда в поверхностные слои воды. К таким же выводам пришли и более поздние исследователи. О. А. Алекин (1953) указывает, что содержание соединений азота во льдах может быть до 10 раз больше по сравнению с океаническими водами.

М. В. Федосов (1962) указывает, что воды тающих льдов обогащены большим количеством питательных веществ в связи с непрерывным контактом льдов с постоянно обновляющимися массами морской воды.

Чтобы определить количество питательных веществ, накапливающихся в морских льдах, а также величину первичной продуктивности в районе плавучих льдов, в марте — мае 1962 г. на зверобойной шхуне «Чистополь» проводились работы в Гренландском, Норвежском и Баренцевом морях.

Воду брали с горизонтов 0, 10, 25, 50, 75, 100 и 150 м. Предполагалось, что слой 0—50 м, в котором в вегетационный период протекает фотосинтез, во время таяния льда заметно опресняется и, возможно, подвергается каким-либо изменениям, а слой 50—150 м — подстилающий. Гидрохимические характеристики этого слоя более постоянны и мало изменяются от сезона к сезону.

При проведении гидрохимических наблюдений применялась методика, описанная С. В. Бруевичем.

Хлорность определялась по стандартному методу Кнудсена из объема 15 мл морской воды при титровании азотнокислым серебром с индикатором хромовокислым калием.

Растворенный кислород определяли по методу Винклера.

Активную реакцию воды (рН) определяли калориметрически по методу Серенсена, с индикаторами — тимоловый синий и крезоловый красный. Стандартами служили эталоны, приготовленные из боратных буферных растворов по Паличу.

Фосфаты определяли по методу Дениже-Аткинса. Причем стандарты для определения фосфора и кремния готовили на бесфосфатной морской воде (морская вода пропускается через слой активированной окиси алюминия высотой в 10 см). Объем пробы 50 мл.

Кремний определяли по молибдатному методу в его голубой модификации из пробы объемом 50 мл со стандартом из моносиликата на очищенной через активированную окись алюминия морской воде.

Нитриты определяли по методу Грисса и Илосвая из пробы объемом 50 мл. Стандарты готовили на поверхностной морской воде, которая не содержала нитритов.

Нитриты определяли по методу Трофимова с дифениламиновым реактивом.

Аммиак в морской воде определяли по методу Буха. Причем, пробы на аммиак объемом 100 мл фиксировали в море 0,5 мл 40%-ного раствора $BaCl_2$. Раствор $NaOH$ добавляли на берегу; после осаждения декантировали 50 мл пробы и с помощью реактива Несслера определяли содержание аммиака.

Пробы на органический азот и фосфор сжигали в береговой лаборатории в присутствии серной кислоты, а затем азот и фосфор определяли как минеральные соединения.

Биохимическое потребление кислорода БПК определяли по разности содержания кислорода, до и после инкубации в полной темноте проб воды в склянках с притертыми пробками объемом около 120 мл при температуре от 5 до 7°, сроком 5, 10, 20 дней.

Во время рейса проводили суточные, полусуточные и эпизодические станции. Так как обследовались районы географически расположенные довольно далеко друг от друга, мы разбили район исследований на шесть районов:

- 1) севернее о-ва Ян-Майена (ст. 1—5);
- 2) между о-вами Ян-Майен — Шпицберген (ст. 6—12);
- 3) у западного побережья о-ва Шпицберген (ст. 13);
- 4) между о-вами Медвежий и Шпицберген (ст. 14—16);
- 5) у кромки льда в Баренцевом море (ст. 17);
- 6) восточные районы Баренцева моря (ст. 18—21).

Основная задача исследования — изучить в каких условиях и с какой интенсивностью начиналось и происходило новообразование первичного, растительного органического вещества в море. Такие работы проводились нами во время Международного геофизического года. Данные, полученные в результате исследований в настоящем рейсе, подтверждают и дополняют сделанные ранее выводы о роли ледовых вод в формировании продуктивности водоема.

Следует отметить, что широтно-географическое положение обследуемых районов существенно не сказалось на развитии процессов фотосинтеза. Напротив, сезонность оказала существенное влияние на развитие процесса синтеза.

Все данные, отображающие физико-географические, океанографические и гидрохимические условия развития фотосинтеза, можно разделить на две основные группы. Одна группа (1 и 2 районы) объединяет данные, собранные в период гидрологической зимы, когда фотосинтез отсутствует.

Вторая группа данных (3—6 районы) характеризует районы в период наступления гидрологической весны, когда фотосинтез получил уже сильное развитие. В наших предыдущих работах отмечалась продолжительность фотосинтетической деятельности фитопланктона.

Существенное значение для начала и интенсивности процесса синтеза органического вещества имеет тепло, приносимое в северные районы атлантическими водами, проникающими в Гренландское и Баренцево моря. Температура воздуха, поверхностного слоя воды и подстилающих вод, формирующихся под влиянием атлантических или полярных вод, обуславливают начало таяния льдов. В результате таяния морских льдов верхние слои воды опресняются (табл. 1).

В формировании солевого, гидрохимического режима перечисленных районов принимают участие воды различного происхождения.

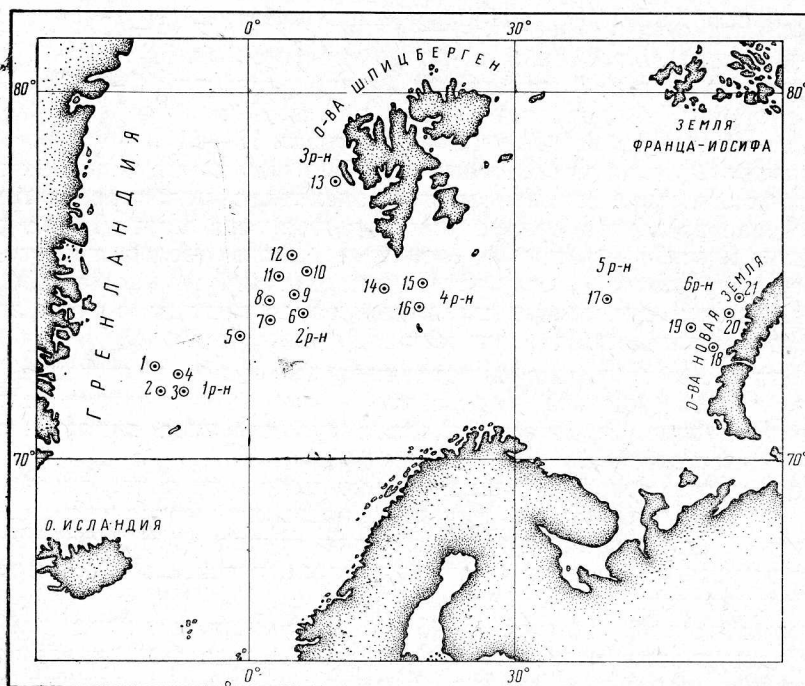
Районы 1 и 2 между островами Ян-Майен — Гренландия и Ян-Майен — Шпицберген находятся под влиянием холодных вод, посту-

Таблица 1

Изменение солености в поверхностных водах в результате таяния льдов

Районы исследований	Соленость в слое 0—25 м, ‰	Соленость в слое 50—150 м, ‰	Примечание
1—2	34,33—34,76	34,33—34,79	Подстилающие воды — полярные. Таяния льда не наблюдается
3—5	33,24—34,81	34,29—35,10	Подстилающие воды — атлантические. Поверхностные воды распределены тающими льдами.
6	33,27—34,76	34,16—34,83	Распределение за счет вод течения Литке

пающих из Полярного бассейна (табл. 2). Слой воды от 0 до 150 м имеет отрицательные температуры — от $-0,94$ до $-1,8^{\circ}$. Колебания солености незначительны $34,38—34,79$ ‰. Наблюдения на полусуточной



Карта станций, выполненных на экспедиционном судне «Чистополь» (март—май 1962 г.).

станции у западного побережья о-ва Шпицберген (см. рисунок) (район 3) показали, что на этот район большое действие оказывают теплые атлантические воды. Отрицательные температуры наблюдались здесь только в поверхностных, сильно распределенных водах (температура воды на поверхности до $-1,6^{\circ}$, на глубине 50—150 м от $0,59$ до $3,8^{\circ}$). Соленость на поверхности $33,24$ ‰, на глубине 100—150 м — $34,99—35,15$ ‰.

В районе 4, между о-вами Шпицберген — Медвежий, на границе Норвежского и Баренцева морей, поверхностные воды были сильно

Распределение температуры, солёности, рН и кислорода в водах Гренландского и Баренцева морей

Район	Время исследования	Горизонт, м	Температура воды, град	Солёность, ‰	рН	Кислород, мл/л	Кислород, %
Период гидрологической зимы							
1	29/III—21/IV	0—25	От —1,05 до —1,78	34,33—34,76	8,09—8,15	7,76—8,20	94,1—99,6
		50—150	От —0,18 до —1,75	34,33—34,68	8,06—8,20	7,40—8,33	93,9—99,5
2	24/IV—26/IV	0—25	От —1,12 до —1,74	34,36—34,76	8,06—8,09	7,67—7,20	94,2—99,7
		50—150	От —1,36 до —1,72	34,65—34,79	8,06—8,10	7,23—7,97	92,0—97,0
Период гидрологической весны							
3	6/V	0—25	От —1,58 до +0,59	33,24—34,14	8,35—8,39	7,16—9,67	105,4—120,2
		50—150	От —0,59 до +3,78	34,97—35,19	8,12—8,28	7,06—7,88	96,4—100,0
4	7/V—9/V	0—25	От —0,49 до +4,14	33,82—34,81	8,21—8,36	7,17—9,75	102,0—126,0
		50—150	От —0,20 до +4,30	34,29—35,03	8,16—8,21	7,03—8,69	96,5—104,8
5	11/V	0—25	От —0,60 до +2,55	33,96—34,87	8,31—8,37	7,52—9,24	110,6—113,0
		50—150	От 1,44 до 2,77	34,88—35,10	8,14—8,29	7,25—7,98	98,6—102,0
6	17/V—25/V	0—25	От —0,27 до —1,80	33,27—34,76	8,25—8,37	8,23—9,89	107,4—120,4
		50—150	От —0,09 до —1,61	34,16—34,83	8,16—8,22	7,78—8,23	98,3—102,3

опреснены (соленость не превышала 33,8‰). На горизонтах 50—150 м соленость колебалась от 34,9 до 35,03‰.

На суточной станции № 17, расположенной у кромки льда в центральной части Баренцева моря, соленость в поверхностных водах не превышала 33,96‰. На горизонтах 75—150 м соленость колебалась от 34,70—34,99‰. Отрицательные температуры встречались только на горизонтах 0—10 м за счет охлаждения тающими водами до минус 0,6°. На горизонтах 75—150 м температура воды не поднималась выше чем 2,78°.

В восточном районе Баренцева моря было сделано 4 станции (район 6). На двух станциях (№ 18 и 19) определения проводились до глубины 150 м; на станциях № 20, 21, сделанных на мелководье, глубины не превышали 50 и 15 м. Распреснение до 33,3‰ было только на поверхности. Уже на 10 м соленость равнялась 34,22‰. От поверхности до глубины 150 м температуры воды были отрицательные.

Распределение в морской воде растворенного кислорода зависит и от гидродинамических условий взаимодействия с атмосферой и от физиологического состояния фитоорганизмов. Биологические процессы вызывают колебания в содержании растворенного в морской воде кислорода.

В районе о-ва Ян-Майен работы начались в конце марта, в период гидрологической зимы. Активная реакция воды от поверхности до 150 м почти не изменялась и равнялась 8,15—8,20. Содержание кислорода в слое воды 0—150 м также изменялось незначительно. Так, на станции № 1 на поверхности кислорода содержалось 7,77 млО₂/л, а на глубине 150 м — 7,58 млО₂/л. На станциях № 3 и 4 содержание в воде растворимого кислорода на поверхности превышало 8,0 млО₂/л, что в процентах соответствует насыщению не более 100% (по Трюсдейлу).

На ст. 13 на горизонтах 100—150 м, как и в зимних условиях, рН_в равнялось 8,12, а в слое 0—25 м рН воды значительно повысилось и равнялось 8,36—8,39. Содержание кислорода в воде также увеличилось и в слое 0—10 м достигало 9,59—9,67 млО₂/л, что соответствует 120% насыщения.

При синтезе фитопланктоном нового органического вещества наряду с фактором освещенности важную роль играет количество минеральных соединений биогенных элементов. Зимой содержание фосфатов и силикатов почти одинаково в двух верхних слоях водоема (табл. 3, районы 1 и 2). В процессе ассимиляции фитопланктоном содержание минеральных соединений биогенных элементов в воде снижается. С увеличением рН и насыщения воды кислородом уменьшается содержание минеральных форм биогенных элементов.

Исследования у западного побережья о-ва Шпицберген проводили в начале мая, в районе Шпицберген — Медвежий и центральной части Баренцева моря — в середине мая. В это время пересыщение воды кислородом достигало 120%, одновременно наблюдался дефицит фосфатов. По нашим более ранним данным (Федосов, Ермаченко, 1962; Федосов, Минкина, Ермаченко, 1960), дефицит фосфатов в районе о-ва Шпицберген наблюдался уже в апреле. Значит уже в апреле здесь имеет место интенсивный фотосинтез. Такое высокое содержание кислорода — результат интенсивного фотосинтеза.

По данным М. В. Федосова, А. Л. Минкиной и И. А. Ермаченко (1960), начало фотосинтеза в северных и восточных районах Баренцева моря приходится на апрель. Значит, с апреля до середины мая за 1—1,5 месяца фитопланктоном потребляется в среднем до 30 мкг/л фосфатов, до 40—60 мкг/л азота — нитратов, содержание силикатов

Распределение pH, кислорода, биогенных элементов и органических соединений фосфора и азота в водах Гренландского и Баренцева морей

Районы и сроки работ	Горизонт, м	pH _B	Кислород, %	Фосфор минеральный; мкг/л	Кремний, мкг/л	Азот, мкг/л			Фосфор (органических соединений), мкг/л	Азот (органических соединений), мкг/л
						NO ₃	NO ₂	NH ₄		
Период гидрологической зимы										
1-й, конец марта	0—25	8,09—8,15	94,1—99,6	25—33	150—200	42—72	0	5—7	38—40	312
	50—150	8,06—8,20	93,9—99,5	32—36	160—230	56—85	Следы	7	14—27	203—310
2-й, конец апреля	0—25	8,06—8,09	94,2—99,7	35—36	110—190	—	0	—	—	—
	50—150	8,06—8,10	92,0—97,0	35—37	150—214	—	Следы	—	—	—
Период гидрологической весны										
3-й, начало мая	0—25	8,35—8,39	105,4—120,2	0	88—176	—	0	—	—	—
	50—150	8,12—8,28	96,4—100,0	20—37,8	150—214	—	0,63—1,55	—	—	—
4-й, май	0—25	8,21—8,36	102,0—126,0	0	54—76	20	0	—	47	367
	50—150	8,16—8,21	96,5—104,8	16—33,5	86—130	38—42	0,4—0,56	—	36	300
5-й, май	0—25	8,31—8,37	110,6—113,0	Следы	Следы — 75	0	0	—	64	324
	50—150	8,14—8,29	98,6—102,0	Следы 30,5	84—102	48—59	0,29—1,38	—	55	320
6-й, конец мая	0—25	8,25—8,37	107,4—120,4	Следы	0	0	0	6—8	41—64	392—600
	50—150	1,16—8,22	98,3—102,3	12—26,0	Следы — 94	29—45	0,5—1,61	8—9	23—40	395

уменьшается в 3—4 раза. Одновременно происходит прирост органических соединений фосфора и азота (см. табл. 3).

Анализ величин убыли фосфатов в морской воде в период интенсивного фотосинтеза по сравнению с условиями зимы показывает, что за период апрель — май (за 1,5—2 мес.) фитопланктоном потребляется до 30 *мкг/л* фосфатов. Тогда «урожай» органического вещества за этот же период, исходя из коэффициента $\frac{\text{орг. вещ.}}{\text{фосфор}} = 150^*$ будет равен 4500 *мкг/л*. М. В. Федосов, А. Л. Минкина и И. А. Ермаченко (1960) приводят средние данные величины «урожая» органического вещества за вегетационный период для Баренцева моря — 2200 *мкг/л*.

Отсюда следует, что «урожай» органического вещества у кромки льда выше, чем в открытых водах Баренцева моря.

В отношении снабжения минеральными соединениями фосфора, азота и кремния для обеспечения фотосинтеза представляет интерес поступление питательных веществ в морскую воду из тающих льдов. Опыты Л. К. Блинова (1933) и других исследователей показали, что процесс замерзания сильно минерализованных вод носит избирательный характер и солевые компоненты морской воды остаются в воде и трудно переходят в лед.

Вследствие этого тающий лед не содержит некоторых солевых соединений и не может при таянии снабжать морскую воду фотического слоя этими веществами.

Наши исследования показали, что льды морского происхождения содержат в 5—10 раз больше соединений аммонийного азота, чем морская вода:

Показатели	Снег с льдины*	Лед**
Соленость, ‰	2,23	0,61—16,98
Фосфор минеральный, <i>мкг/л</i>	13	18
Кремний, <i>мкг/л</i>	0	Следы
NO ₃ , <i>мкг/л</i>	20	20—120
NO ₂ , <i>мкг/л</i>	0,74	0,4
NH ₄ , <i>мкг/л</i>	36	65
Фосфор органический, <i>мкг/л</i>	14	20—30
Азот органический, <i>мкг/л</i>	720	500

* Единичное наблюдение.

** Средние данные из 5 определений.

Минерального фосфора в морском льду в 1,5—2 раза меньше, чем в поверхностных слоях моря в зимнее время. Соединения кремния не переходят в лед и с атмосферными осадками тоже не поступают на поверхность льдов. Поэтому лед совершенно свободен от соединений моносилката. Раньше мы высказывали предположение (Федосов и Ермаченко, 1962) относительно поступления минеральных и органических соединений азота и фосфора в поверхностные слои воды через лед и атмосферные осадки. Анализ ледовой воды показал, что лед содержит в 1,5—2 раза меньше органических соединений фосфора (см. табл. 3). Зато содержание органических соединений азота в 2 раза превышает содержание их в воде. Тающие льды служат дополнительным источником пополнения верхнего фотического слоя соединениями аммонийного и нитратного азота и азота в виде органических соединений в период ассимиляции их автотрофными и гетеротрофными организмами, населяющими верхние слои моря.

* Симпозиум Международного совета по изучению морей, 1957.

В повышении продуктивности района участвуют гетеротрофные организмы. Бактерии, являясь кормом для зоопланктона, минерализуют органическое вещество, содержащееся во льдах, и повышают тем самым первичную продуктивность водоема. А. Е. Крисс (1959) наблюдал повышение количества бактерий в слое 0—10 м на станциях, взятых в полыньях среди ледяных полей. Он высказал предположение о том, что в местах наиболее интенсивного таяния льда в поверхностные слои воды попадает относительно большое количество органических веществ и бактерий, развивающихся на поверхности льда.

Наши данные (см. табл. 3 и вывод на стр. 168) вполне подтверждают предположение А. Е. Крисса.

Интенсивность синтеза нового органического вещества определена по средней суточной величине прироста кислорода на различных горизонтах фотического слоя. У западного побережья о-ва Шпицберген фотосинтез наблюдался только на горизонтах 0—10 м и прирост органического вещества за сутки равнялся 0,39—0,50 мл O_2 /л (табл. 4).

Наибольшая глубина (более 75 м) фотического слоя наблюдалась в районе между о-вами Шпицберген — Медвежий. Суточная продукция в этом районе равнялась 0,31—1,24 мл O_2 /л с максимумом на 10 м. В центральном и восточном районах Баренцева моря фотосинтез не распространялся глубже чем на 50—25 м и прирост нового органического вещества за сутки на различных горизонтах колебался от 0,1 до 1,09 мл O_2 /л (см. табл. 4).

Таблица 4
Суточная продукция органического вещества в мл O_2 /л

Горизонт, м	Номер станции				
	13	16	17	18	20
0	0,39	1,03	0,38	0,39	—
10	0,50	1,24	—	0,10	0,18
25	0	—	0,88	0,37	0,36
50	—	0,87	1,09	0	0
75	—	0,31	0	—	—

Ранее мы приводили данные суточной продукции, средние для фотического слоя (Федосов и Ермаченко, 1962). В мае—июне суточная продукция в открытых районах Норвежского и Гренландского морей не превышала 0,18 мл O_2 /л.

При сравнении интенсивности фотосинтеза у кромки тающих льдов с интенсивностью фотосинтеза в открытых частях моря в весенний период видно, что интенсивность фотосинтеза у кромки льдов много выше, чем в открытых частях моря.

О продуктивности района косвенно можно судить по величинам биохимического потребления кислорода в воде (табл. 5).

Таблица 5
Среднесуточное биохимическое потребление кислорода в мл/л (средние данные за 20 суток)

Горизонт, м	Номер станции		
	3 (биологическая зима)	13	16 (биологическая весна)
0	0,11	0,22	0,20
50	—	—	0,15
100	—	0,11	—
150	0,08	0,03	0,05

Из табл. 5 видно, что с началом процесса синтеза органического вещества увеличивается биохимическое потребление кислорода.

В зимний период на станции № 3 биохимическое потребление кислорода почти одинаково на горизонтах 0 и 150 м.

На станциях № 13 и 16 потребление кислорода определяли в период интенсивного фотосинтеза и льдотаяния, в поверхностном слое воды оно резко увеличилось. Такое увеличение биохимического потребления кислорода может происходить за счет разложения планктона и за счет поступления в верхние слои воды ледовых вод, в которых содержится большое количество органического азота.

ВЫВОДЫ

1. Исследуемый район находится под влиянием вод различного происхождения. Начало и интенсивность фотосинтеза в значительной мере зависят от тепла, приносимого в северные районы атлантическими водами.

2. В период с апреля до середины мая в фотическом слое уменьшается содержание минеральных соединений биогенных элементов: фосфатов на 30 *мкг/л*, азота—нитратов на 40—60 *мкг/л*, силикатов в 3—4 раза. Одновременно происходит прирост органических соединений азота и фосфора.

3. Ледовая вода (талый лед) содержит до 18 *мкг/л* фосфора (фосфатов), до 20—120 *мкг/л* азота (нитратов) и не содержит кремния (монсиликатов); содержание аммонийного азота достигает 36—65 *мкг/л*, что в 7—10 раз превышает содержание его в поверхностных слоях воды. Органических соединений фосфора в ледовой воде в 2—2,5 раза меньше, чем их содержится зимой. Органических соединений азота в ледовой воде в 2—2,5 раза больше, чем в воде в зимний период.

4. Тающие льды служат дополнительным источником пополнения фотического слоя соединениями аммонийного и нитратного азота, а также органических соединений азота и фосфора в период ассимиляции их автотрофными и гетеротрофными организмами, населяющими верхние слои моря.

5. По величине образующегося органического вещества районы Гренландского и Баренцева морей, покрытые в зимний период льдами, следует считать высокопродуктивными.

ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О. А. Основы гидрохимии. Гидрометеиздат, 1953.
Блинов Л. К. К вопросу о химической природе морского льда. Бюлл. Гос. Океанографического ин-та № 18, 1933.
Богоров В. Г. Особенности сезонных явлений в планктоне полярных морей и их значение для ледовых прогнозов. «Зоол. журн.» Т. XVIII. Вып. 5. М., 1939.
Бруевич С. В. Методика химических определений. 1938.
Зубов Н. Н. Морские воды и льды. М., Гидрометеиздат, 1938.
Крисс А. Е. Морская микробиология. М., Изд-во АН СССР, 1959.
Лангваген А. В. Некоторые данные о гидрохимических работах экспедиции ледокола «Красин» в 1935 г. Научные работы экспедиции на ледоколе «Красин» в 1935 г. Л., Изд-во Главсевморпути, 1936.
Усачев П. И. Состав и распределение фитопланктона Баренцева моря летом 1931 г. Тр. Арктического ин-та. Т. XXI, 1935.

Федосов М. В. Формирование химической основы первичной продуктивности в северных морях. Тр. ВНИРО. Т. XLVI. Сб. 1. М., Пищепромиздат, 1962.

Федосов М. В., Ермаченко И. А. Формирование гидрохимического режима и первичной продуктивности Норвежского и Гренландского морей. Тр. ВНИРО. Т. XLVI. Сб. 1. М., Пищепромиздат, 1962.

Федосов М. В., Минкина А. Л., Ермаченко И. А. Условия формирования гидрохимического режима и первичная продуктивность Баренцева моря. Сб. «Вопросы промысловой продуктивности морей». М., изд-во «Рыбное хоз-во», 1960.

Ширшов П. П. Планктон как индикатор ледового режима. Научные работы экспедиции на ледоколе «Красин» в 1935 г. Л., Изд-во Главсевморпути, 1936.
