

551.464(260)

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ КОРМОВЫХ  
РЕСУРСОВ ОКЕАНА****М. В. Федосов**

Главный источник органического вещества в море — морские растительные организмы.

Основную роль в новообразовании органического вещества играет фитопланктон, а фитобентос, занимая лишь незначительную часть материковой отмели Мирового океана и обладая меньшей интенсивностью новообразования органического вещества, имеет сравнительно небольшое значение.

Новообразование органического вещества в фотическом слое водоемов происходит в основном путем ассимиляции минеральных веществ при фотосинтезе. Необходимые для этого минеральные биогенные микрокомпоненты содержатся в морской воде и постоянно пополняются. Минеральные питательные вещества, содержащиеся в океане и морских водоемах, и поступающие органические и минеральные вещества суши и составляют первичную кормность океана и морей.

Мировой океан является конечной областью, где завершается непрерывно идущий вынос продуктов разрушения и выветривания поверхностных слоев суши. Этот геофизический и геохимический процесс обуславливает непрерывное снабжение извне дополнительными питательными веществами водоемов суши и океан.

В океане, который занимает две трети всей земной поверхности, сосредоточена половина всей воды земной коры и основная (99,5%) масса поверхностной воды гидросферы (в  $10^{12}$  т):

Вода Мирового океана . . . . .	1 600 000
Единовременный объем русловых вод всех рек . . . . .	1,2
Водоемы суши (включая и подземные воды) . . . . .	4000
Вода атмосферы . . . . .	84
Вода, аккумулированная живыми организмами . . . . .	10
Сумма вод суши, биосферы и атмосферы	4100

Основная масса второй половины всей воды земной коры распылена в литосфере в виде парообразной и волосной воды.

Процесс миграции биогенных веществ с суши в океан в настоящий геологический период в основном необратим и протекает двумя путями: в виде водного стока с суши и в виде выноса через атмосферу. Во втором случае миграция биогенных веществ осуществляется или с атмосферными осадками, которые выпадают на открытую поверхность океана и морей, или путем эолового выноса.

В связи с этим мы рассматриваем распределение этих основных и дополнительных предпосылок первичной кормности по районам Мирового океана, геоморфологические элементы которого выражены в табл. 1.

Таблица 1

Области	Площади океанов и их отдельных частей (в $10^6$ км <sup>2</sup> )			
	Северный Ледовитый	Атланти- ческий	Индийский	Тихий
В северном полушарии . . . . .	13,1			
от полярного круга до субтро- пического максимума атмо- сферного давления . . . . .	—	19,0	—	20,5
субтропическая и тропическая северного полушария . . . . .	—	21,5	5,3	39,8
приэкваториальная . . . . .	—	6,7	6,1	21,2
Итого . . . . .	13,1	47,2	11,4	81,5
В южном полушарии				
приэкваториальная область . .	—	6,2	8,0	19,5
тропическая и субтропическая южного полушария . . . . .	—	12,9	18,5	32,9
от субтропического максимума атмосферного давления до по- лярного круга . . . . .	—	23,2	36,4	40,5
Южнополярная антарктическая об- ласть океана . . . . .	—	3,9	0,7	5,3
Итого . . . . .	—	46,2	63,6	98,2
Всего . . . . .	13,1	93,4	75,0	179,7

Распределение площадей 200-метровой зоны материковой отмели в океанах дано в табл. 2.

Таблица 2

Океаны	Северное полуша- рие		Южное полушарие		По всей площади океанов с морями	
	млн. км <sup>2</sup>	% от пло- щади водо- ема	млн. км <sup>2</sup>	% от пло- щади водо- ема	млн. км <sup>2</sup>	% от пло- щади водо- ема
Северный Ледовитый . . . . .	3,1	23,7	—	—	3,1	23,7
Атлантический . . . . .	7,6	16,1	4,7	10,2	12,3	13,2
Тихий . . . . .	6,7	8,3	3,6	3,4	10,2	5,7
Индийский . . . . .	1,6	14,4	1,5	2,4	3,1	4,2
Мировой . . . . .	19,0	12,5	9,8	4,7	28,7	8,0

Ежегодный сток рек с суши в океан по М. И. Львовичу (1960) составляет около  $35\,560 \text{ км}^3$  в год ( $1,11 \text{ м}^3/\text{сек}$ ). Единовременный объем русловых вод всех рек достигает  $1200 \text{ км}^3$ , которые полностью выносятся в океан в среднем приблизительно за 12 дней.

Береговой сток с континентов рассчитан по избытку атмосферных осадков и отчасти по непосредственным данным о водности рек. На северное полушарие приходится до трех пятых всего стока.

По атлантическому склону в Атлантический и Северный Ледовитый океан стекает в год  $19,8 \cdot 10^3 \text{ км}^3$ . Бассейн тихоокеанского склона, включая Индийский океан, по площади почти в 2 раза меньше Атлантического и сбрасывает в океаны около  $15,9 \cdot 10^3 \text{ км}^3$  в год.

По данным ряда исследований (Скопинцев, 1950; Алекин и Бражникова, 1961), величина стока питательных веществ в виде органического вещества в Мировой океан достигает  $720 \cdot 10^6 \text{ т}$  в год, а в виде различных минеральных биогенных микросоединений — до  $200 \cdot 10^6 \text{ т}$  ежегодно.

В табл. 3 дано распределение стока с суши между полушариями и океанами ( $\text{т} \cdot \text{км}^3/\text{год}$ ).

Т а б л и ц а 3

Океаны	Северное полушарие	Южное полушарие	Всего
Северный Ледовитый . . .	4,1	—	4,1
Атлантический . . . . .	4,2	11,3	15,5
Индийский . . . . .	3,6	1,5	5,1
Тихий . . . . .	8,8	2,3	11,1
Всего . . . . .	20,7	15,1	35,8

Продукты выветривания поверхностного слоя земной коры, почв и материнских пород суши выносятся в океан и в виде твердого стока, взвесей речных вод. Г. В. Лопатин (1950) и Н. М. Страхов (1960) считают, что сток с суши в Мировой океан и моря составляет от  $12,7 \cdot 10^6$  до  $13,7 \cdot 10^6 \text{ т}$  твердых выносов в год. По собранным ими данным можно вычислить, что среднегодовой сток взвешенных выносов в Мировой океан распределяется так: в северное полушарие поступает более  $9,5 \cdot 10^6 \text{ т}$ , в южное — только около  $3,5 \cdot 10^6$ . Наибольший коэффициент выноса реками твердых веществ присущ Азиатскому континенту и юго-западной части Северной Америки.

Наиболее интенсивный береговой сток с континентов наблюдается по берегам океанов в основном в соответствии с прилагаемой схемой (рис. 1). В отмеченных на карте местах наибольшего и выше среднего стока береговой сток превышает среднюю величину всего стока в Мировой океан. Наибольшая величина годового стока в отмеченных районах превышает среднюю величину в 5 раз и более. В местах повышенного стока в относительно небольшом районе создаются условия обильного снабжения поверхностных морских вод питательными веществами с суши. Такое распределение речного стока следует считать как первое приближение. Так, следует отметить, что очень большой (до  $4500 \text{ км}^3/\text{год}$ ) сброс в океан вод суши в районе реки Амазонки происходит почти на экваторе и в схеме отнесен нами к южному полушарию, но эти воды следует в значительной мере относить и к области Северной Атлантики, так как основное течение в предустьевой зоне реки направлено к

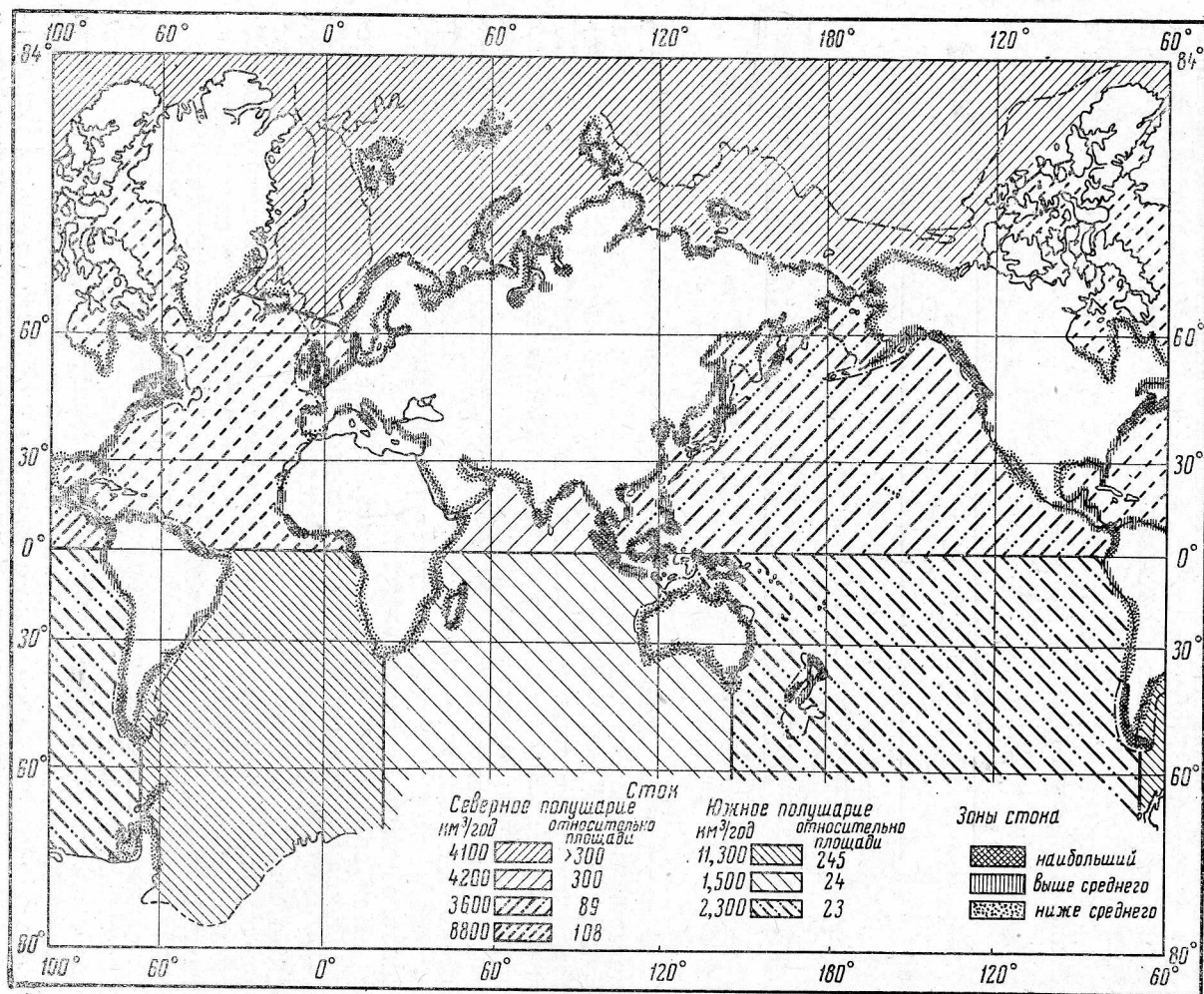


Рис. 1. Распределение речного стока по районам Мирового океана.

северу. Некоторые исследователи относят на том же основании сток р. Юкона ( $240 \text{ км}^3/\text{год}$ ) к области Северного Ледовитого океана, считая, что основная масса вод Юкона увлекается морским течением через Берингов пролив в Полярный бассейн.

В области океана северного полушария поступает до 58% всего берегового стока с суши. Считается также, что по склону Атлантического и Северного Ледовитого океанов стекает больше половины берегового стока (55%). Если же отнести величину годового берегового стока к площадям океанов и их частей, то будет видно, что в Северный Ледовитый океан поступает относительно самое большое количество вод суши:

Океаны	Годовой сток площадь <sup>103</sup>
Северный Ледовитый . . . . .	около 315
Атлантический . . . . .	166
Индийский (северная часть) . . . . .	63 (300)
Тихий . . . . .	62
Мировой . . . . .	99
Область океана северного полушария	около 128
Область океана южного полушария . . . . .	» 78

Речные воды обогащают биогенными элементами фотический слой сравнительно небольших надшельфовых прибрежных областей океана и открытых морей. Процент речных вод в непосредственно опресняемых ими районах достигает в надшельфовой зоне до 7—10%. В результате, каждый литр фотического слоя прибрежных районов морской воды (50 м) получает с речным стоком до 7 мг минеральных соединений азота, 3,5 мг фосфатов и в 10—20 раз больше органических соединений этих элементов.

При дальнейшей детализации зон речного стока нужно тщательно исследовать все океанографические условия конкретно для каждого района. Содержание питательных веществ в речных водах, состав почв поймы и берегов будут дополнительными показателями условий обогащения морских вод питательными веществами с суши.

Атмосферные осадки также служат источником пополнения морских вод некоторыми соединениями биогенных элементов. Соединения азота поступают в морскую воду также и из атмосферы. Кроме того, ассимиляция молекулярного азота происходит в результате жизнедеятельности азотобактеров, в результате которой создаются органические соединения азота как звено первичной кормности природных вод (Харвей, 1948).

Атмосферные осадки, выпадающие на поверхность океана и морей, содержат до 100 мг азота на литр даже в открытых частях морей. В среднем на каждый квадратный метр поверхности океана ежегодно выпадает и полностью испаряется  $1,14 \text{ м}^3$  воды. Поэтому можно считать, что каждый литр 50-метрового поверхностного слоя морской воды получает в среднем ежегодно не менее 2 мг связанного азота, которые могут служить основой для формирования около 0,04 мг органического вещества морских организмов. Если считать, что в среднегодовом аспекте поверхностные морские воды содержат 100 мг/л минеральных соединений азота, то связанный азот, приносимый атмосферными водами, составляет 2%.

В северном полушарии атмосферных осадков на единицу поверхности океана поступает на 10% больше, чем на поверхность всего Мирового океана, а в южном полушарии — на 8% меньше. Ежегодно на поверхность Мирового океана выпадает около 412 тыс. км<sup>3</sup> атмосфер-

ных осадков, которые содержат до 100 мкг/л соединений азота, накопившихся в воде за период ее нахождения в парообразном и капельном состоянии в атмосфере.

Распределение атмосферных осадков, выпадающих в различных областях Мирового океана (тыс. км<sup>3</sup>), дано в табл. 4.

Таблица 4

Области	Океаны				
	Атланти- ческий	Индий- ский	Тихий	Северный Ледовитый	Южно-поляр- ная антаркти- ческая область (66,5°—80° ю. ш.)
Северное полушарие					
от полярного круга до субтропического максимума атмосферного давления (66,5—35° с. ш.) . . .	22,4	—	24,1	—	—
субтропическая и тропическая (35—10° с. ш.) . . . . .	23,8	5,8	44,0	—	—
приэкваториальная . . . . .	12,4	12,1	42,1	—	—
Итого . . . . .	59,6	17,9	110,2	3,5	—
Южное полушарие					
приэкваториальная . . . . .	8,8	11,3	27,6	—	—
тропическая и субтропическая от субтропического максимума атмосферного давления до полярного круга (38—66,5° ю. ш.)	13,5	19,5	34,8	—	—
Итого . . . . .	45,9	67,7	103,4	—	3,2
Всего . . . . .	105,5	85,6	213,6	3,5	3,2

Льды — своеобразный концентрат атмосферных осадков. Соприкосновение льдов с поверхностным слоем морской воды, постоянно сменяющийся вокруг льдин в период льдообразования, способствует концентрации органических веществ морской пены на льдах. При таянии льдов сравнительно большое количество органических биогенных веществ переходит в морскую «ледовую» воду, в которой происходит бурное развитие в теплое время года низших форм морских организмов.

На содержание биогенных веществ в морской воде влияют также физико-химические условия в водной толще. Фосфор и кремний образуют труднорастворимые соединения в природных водах. Противоионами фосфатов и кремния в морских водах являются ионы кальция и магния, которые ограничивают растворимость соединений биогенных элементов. Основными факторами, регулирующими растворимость фосфатов и силикатов, кроме термических условий, являются активная реакция воды, степень ее общей минерализации и содержание иона кальция и магния в морской воде.

Соотношение между указанными компонентами выражается следующим уравнением:

$$\Sigma P = \frac{[P_a]^{0,5} \cdot [H_a^+]^3 \cdot [H_a^+]^2 \cdot K_1 + [H_a^+] \cdot K_1 K_2 + K_1 K_2 K_3}{[Ca^{++}]^{1,5} \cdot K_1 K_2 K_3}$$

$[PR_x]$  — произведение активностей;

$K'$  — кажущиеся константы диссоциации;

$[H_x^+]$  — ионная концентрация активных ионов водорода.

$[Ca^{++}]$  — ионная концентрация иона кальция.

Аналогичная формула применима и для кремния моносиликата, но соответственно валентности диссоциирующего соединения. Величина активной реакции морских вод ( $pH_x$ ) влияет на растворимость в морской воде труднорастворимых соединений микроэлементов. Растворимость фосфатов и моносиликатов в морских водах ограничивается величинами порядка десятков *мкг Р/л* и тысяч *мкг Si/л*.

Соотношение различных форм солевого азота в морской воде определяется в значительной мере степенью насыщенности ее кислородом.

Все вещества, сносимые с суши, попадают прежде всего в поверхностный слой морской вод, в который проникает в необходимом количестве солнечная энергия и где водоросли ассимилируют минеральные вещества и синтезируют органическое вещество.

Мощность фотического слоя определяется глубиной проникновения фотосинтетически эффективной энергии солнечной радиации.

Глубина фотического слоя океанических и даже морских вод достигает 100 м и более.

Выделение кислорода при фотосинтезе, превышающее потребление кислорода фитопланктоном, может происходить даже при освещенности водного слоя морской воды около 0,5% световой интенсивности солнечного дня вегетационного периода.

На верхний 50-метровый слой морской воды обычно приходится не менее двух третей мощности фотосинтеза, около четверти мощности приходится на подстилающий этот слой воды, где интенсивность фотосинтеза постепенно затухает и ниже 100 м составляет лишь несколько процентов от общей величины.

По отношению к фотическому слою нижележащие морские воды служат также источником снабжения минеральными питательными веществами. Однако поступление питательных солей из нижних слоев морской воды — это по существу перераспределение их внутри самого океана. Перераспределением биогенных веществ в море является и переход минеральных соединений из донных отложений в водную толщу. В отличие от поступления в океан биогенных соединений извне, перераспределение их — процесс в значительной мере обратимый в пределах даже года. Скорость перераспределения зависит от геоморфологии дна и гидродинамических условий в водоеме. Удельное значение каждой составляющей формирования первичной кормности океана и морей зависит от физико-географических условий и представляет предмет изучения промыслового направления океанографии и морской гидрохимии.

Кроме зимней разовой вертикальной циркуляции в полярных, умеренных и субтропических зонах океана, на постоянный или периодический подъем нижних слоев морской воды в фотический слой влияют:

1) сила Кориолиса (вызываемая вращением Земли). Она создает условия подъема вод в северном полушарии у левого края морских, более или менее постоянных течений. В южном полушарии это явление наблюдается у правого края течения;

2) сгонные ветры — у подветренного берега создаются условия подъема вод к поверхности;

3) при меандрировании или расчленении основного потока течения на две или несколько ветвей, в зоне между ветвями вторичных потоков создаются благоприятные условия для подъема нижележащей водной толщи к поверхности;

4) в центре циклонического течения создаются условия для подъема водной толщи нижележащих слоев к поверхности. В южном полушарии такие условия создаются в центре антициклонического течения;

5) на периферии достаточно мощного антициклонического течения также создаются условия для перемещения нижних слоев воды к поверхности;

6) океанические фронты стыка различных водных масс создают условия вертикального перемещения водных слоев — опускания и частичного подъема.

В процессе ассимиляции фосфора и азота, биогенных микроэлементов морских вод в микрослое воды, непосредственно соприкасающейся с фитопланктонным организмом, их содержание резко снижается. При вертикальном перемешивании водных слоев создаются наиболее благоприятные условия снабжения питательными солями планктонных фитоорганизмов. В этих условиях планктон лучше всего может противостоять току воды, идущему мимо его тела и постоянно снабжающего его новым количеством биогенных солей. Планктон почти не может противостоять горизонтальным течениям, но, физиологически меняя свою плотность, может противостоять вертикальным перемещениям воды тем более, что они менее интенсивны, чем горизонтальные. Поэтому условия, благоприятные для развития фитопланктона, создаются в зоне океанических фронтов, где происходит уменьшение скоростей горизонтальных течений и относительно увеличиваются (практически даже создаются вновь) скорости вертикального движения вод.

Исследования условий пополнения биогенными веществами фотического слоя снизу показали, что интенсивность годовой «оборачиваемости» биогенных элементов в северо-европейских морях в два-три раза выше одноразового зимнего вертикального перемешивания (Федосов, 1962; Федосов, Минкина, Ермаченко, 1960). В южных внутриматериковых мелководных морях интенсивность оборачиваемости достигает 8—10 раз, лишь в Аральском море интенсивность пополнения фотического слоя биогенными веществами снизу крайне незначительна и едва достигает полного перемешивания один раз в год. Заросли донной растительности в Аральском море затрудняют обмен биогенных веществ между придонным слоем и остальной водной толщей.

Гесснер (1955) составил по новейшим немецким и датским исследованиям карту распределения ежегодной первичной продукции на единицу площади океана. Эта карта дополнена нашими материалами, данными Кобленц-Мишке (1961) и данными по антарктическим водам (рис. 2). Обращает на себя внимание наибольшая продукция органического вещества в зоне северного и южного полярных фронтов.

Среднегодовое новообразование органического вещества фитопланктона в океане составляет от 30 до 260 млрд. т.

Датский исследователь Стиман Нильсен, используя предложенный им метод, основанный на ассимиляции фитопланктоном радиоактивного изотопа углерода ( $C^{14}$ ) из минерального компонента морской воды, определил величину ежегодной первичной продукции органического вещества, равную  $30 \cdot 10^9$  т (сухой вес).

Английский исследователь Райли определил ежегодную первичную продукцию органического вещества (сухой вес) в  $260 \cdot 10^9$  т. Другие



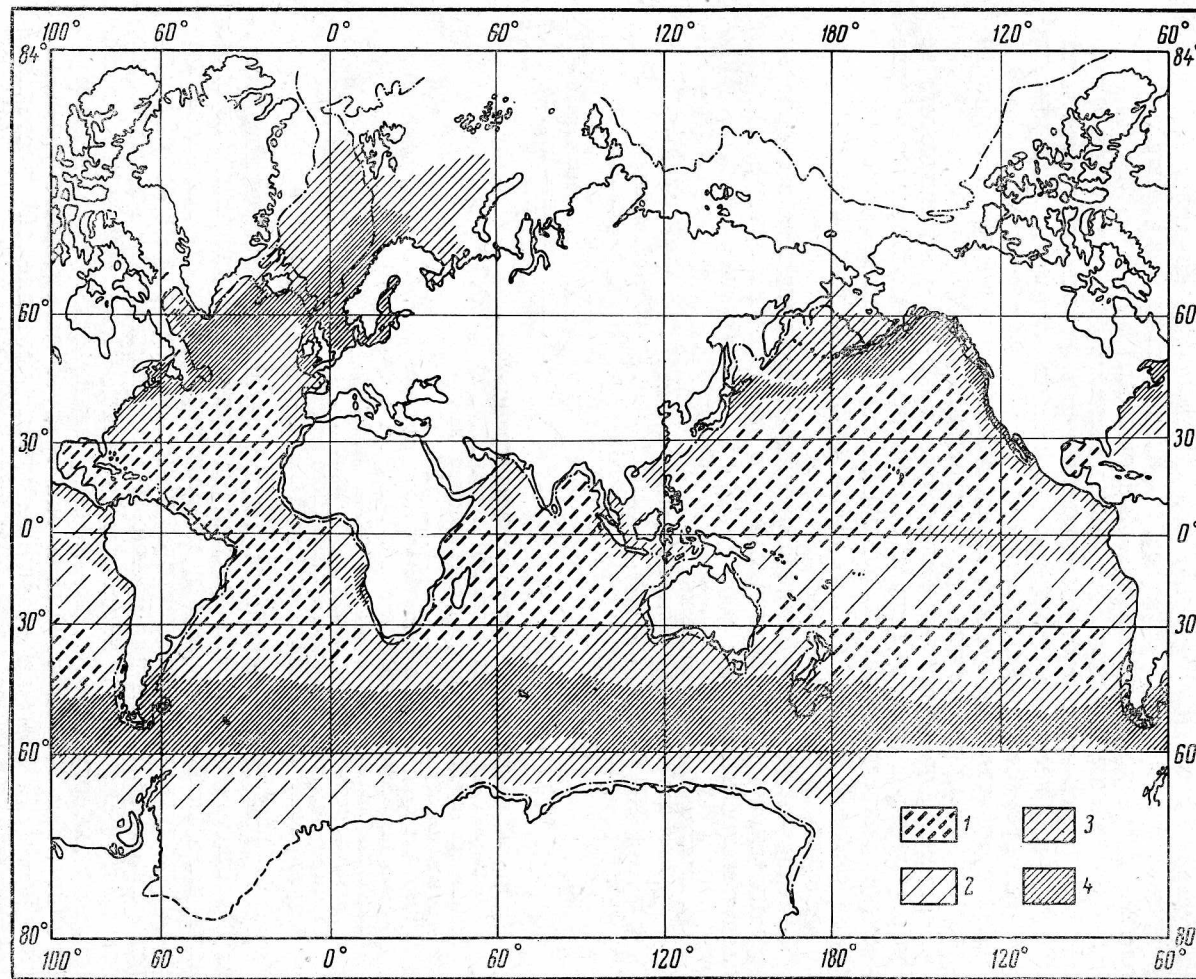


Рис. 2. Распределение первичной продукции в морях и океанах:  
 1 — наименьшая, 2 — малая,  
 3 — средняя, 4 — высокая.

исследователи вычисляют среднеежегодную величину первичной продукции органического вещества в океане (в  $10^9$  т):

По Зернову . . . . .	120
По Скопинцеву . . . . .	90
По Винбергу . . . . .	70—140
По Свердрупу и Флемингу . . . . .	100—260

Крайние величины почти в десять раз отличаются друг от друга. Однако большинство исследователей придерживаются величин, отличающихся друг от друга не более чем в два раза.

В водной толще океана и морей накопилось большое количество органического вещества, которое в основном состоит из весьма стабильных соединений. Биохимическое освоение этого органического вещества идет весьма медленно. Органическая фракция океанических вод формируется в основном из остатков морских организмов, составляющих около 20—30% от их первоначальной биомассы.

По последним данным Б. А. Скопинцева (1962), ежегодно в среднем обновляется одна шестидесятая часть морского гумуса (стабильное органическое вещество) всего океана. Во внутриматериковых морях этот процесс идет быстрее.

Непосредственно с суши и через атмосферу в океан ежегодно поступает до 1 млрд. т органического вещества.

Реки ежегодно приносят с суши около  $0,7 \cdot 10^9$  т органического вещества (Алекин и Бражникова, 1961). Ежегодно новообразование органического вещества в самом океане за счет фотосинтеза достигает в среднем около 5% (1—10%) от всего количества органического вещества, содержащегося в океане.

Составляющие части баланса органического вещества в океане выражаются следующими величинами (по данным Скопинцева и других исследователей в млрд. т):

Органическое вещество в океане	
общее количество (в значительной части в виде морского гумуса) . . . . .	2600 (Скопинцев) 5000 (Вернадский) 7000 (Дацко) 3400 (наш расчет на объем океана = $1,6 \cdot 10^9$ $\text{км}^3$ )
Ежегодный принос водным стоком с суши (преимущественно растворенная фракция) . . . . .	0,7
Ежегодный принос с атмосферными осадками на поверхность океана . . . . .	0,3
Итого непосредственно с суши и через атмосферу ежегодно в среднем поступает . . . . .	>1,0
Ежегодное новообразование органического вещества фитопланктона в фотическом слое достигает . . . . .	90 (от 30 до 260)
Ежегодное изъятие промыслом органического вещества из океана в целом достигает (сухой вес) . . . . .	0,05

Исследования интенсивности новообразования органического вещества фитопланктона и его распада в отдельных районах Мирового океана дали новые материалы, позволяющие уточнить величины первичной продукции органического вещества в различных областях, а тем самым и в целом для океана. На основании этих данных можно считать, что величины, приводимые Стиманом Нильсенем и его соавтором (по Винбергу, 1960), значительно занижены. Более достоверна цифра порядка  $100 \cdot 10^9$  т, хотя и она требует дальнейшего уточнения. Ничипорович (1955) на основании учета усваиваемой растениями Земли энергии солнечной радиации полагает, что ежегодная продукция

зеленых водорослей и одноклеточных фитоорганизмов составляет около  $230 \cdot 10^9$  т органического вещества (в сухом весе).

Суммарная солнечная радиация, поступающая в среднем за год на поверхность Земли, дает  $0,5—1,7 \cdot 10^{21}$  ккал тепловой энергии (Сулин, 1948; Ничипорович, 1955).

Энергия фотосинтетически активной части солнечного спектра (от 400 до 750 м) составляет примерно 40—50% от энергии общей радиации (Винберг, 1960), т. е. от  $0,2—0,85 \cdot 10^{21}$  ккал. Фотосинтез происходит в основном только в зоне спектра от 400 до 750 м, т. е. в зоне поглощения солнечной энергии хлорофиллом (Ничипорович, 1955). Остальная часть солнечной радиации (около 60—50%) состоит из фотосинтетически неактивных лучей. Это главным образом невидимые длинноволновые тепловые инфракрасные лучи, которые интенсивно поглощаются водой.

Растения, поглощая 80—90% активной солнечной радиации, используют на фотосинтез только очень небольшую ее часть.

По расчетам Е. Рабиновича (1951), растениями в среднем используется 0,8% от полной энергии солнечной радиации или по Райли в среднем 0,54% от физиологически полезной энергии (Винберг, 1960), а по А. А. Ничипоровичу (1955) — всего 0,34%. Степень использования растениями света при большой интенсивности солнечной радиации невелика, но по мере ее уменьшения возрастает, не превышая 3—4%.

Ежегодно растения Земли усваивают в процессе фотосинтеза от  $1,7 \cdot 10^{18}$  ккал энергии (Ничипорович, 1955), а по Е. Рабиновичу (1951) эта величина в 2—3 раза больше. По Г. Г. Винбергу (1960) средняя эффективность утилизации общей энергии солнечной радиации фитопланктоном около 0,1—0,2%.

В то же время зеленые водоросли и одноклеточные фитоорганизмы в результате фотосинтеза создают около 80% органических веществ, ежегодно образующихся на Земле. Это составляет  $290 \cdot 10^9$  т из  $370 \cdot 10^9$  т от продукции всех растений Земного шара (рассчитано по данным Ничипоровича, 1955).

Суммарная солнечная радиация, достигающая поверхности Земли, зависит главным образом от широты места (от высоты солнца) и от облачности.

Распределение суммарной солнечной радиации на единицу поверхности океана представлено на карте из Морского Атласа (рис. 3). В приполярных областях поступает в 2—3 раза меньше солнечной энергии, чем в зоне между тропиками.

В то же время первичная продукция в приполярных областях (по современным данным) в 6—8 раз больше, чем в тропических. На основании этого можно считать, что энергетическая основа первичной продукции океана обеспечена в избытке и не лимитирует фотосинтез в гидросфере Земли.

Значительная доля солнечной радиации поглощается водой и для фотосинтеза утилизируется лишь малая ее доля, следовательно, степень облачности в вегетационный период не влияет заметно на суммарную годовую продукцию фитопланктона. Однако хорошо известно влияние колебаний интенсивности солнечной радиации, проникающей в водную толщу, на отдельные виды морской флоры. Но это влияние меньше, чем влияние колебаний температуры воды фотического слоя.

В настоящее время можно считать установленным, что фитопланктон расходует в процессе жизнедеятельности более 20% синтезированного им органического вещества.

Используя структуры биотического баланса, предложенные

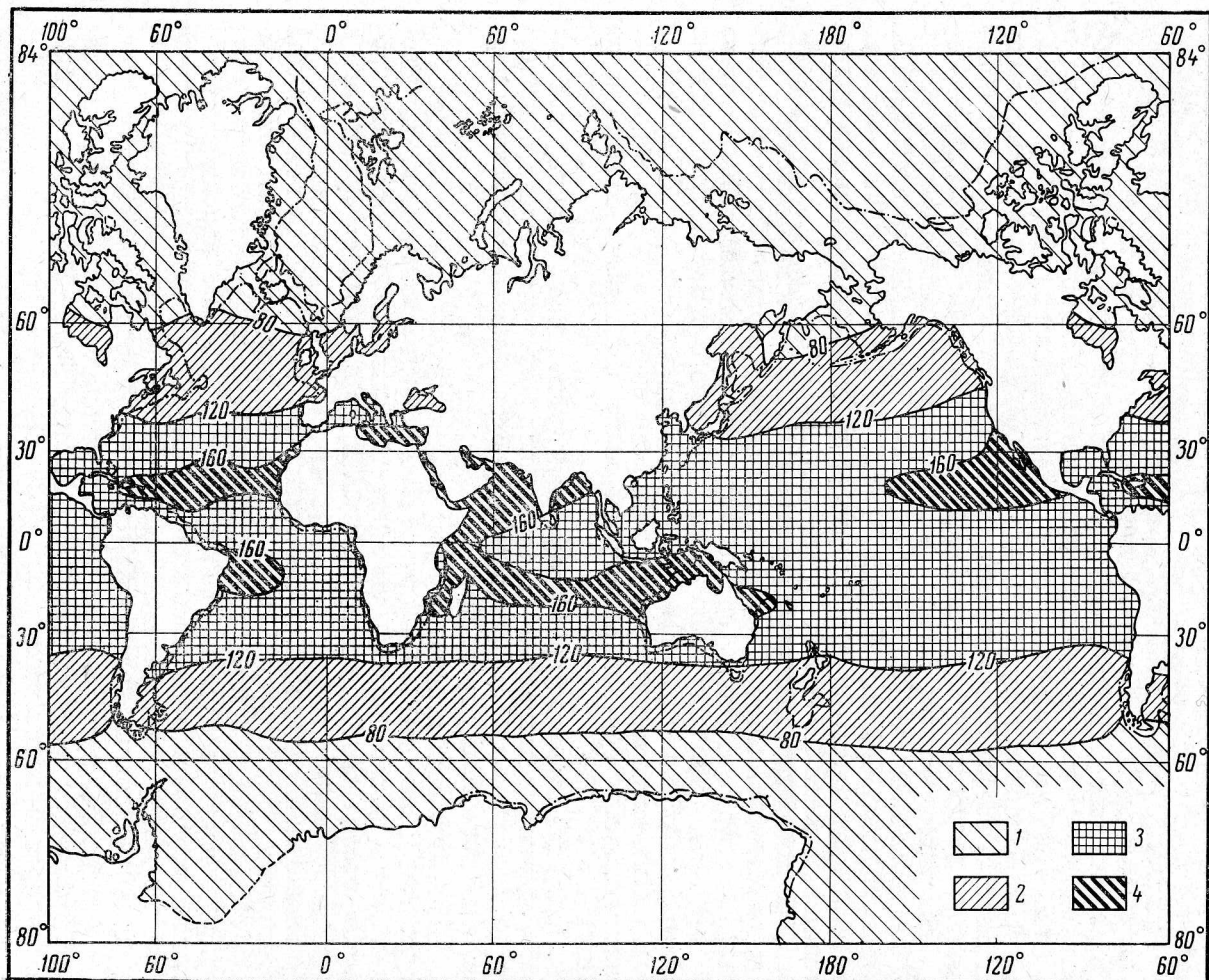


Рис. 3. Распределение суммарной солнечной радиации на поверхности океана в ккал на  $см^2/год$ :  
 1— $< 80$ , 2— $80-120$ , 3— $120-160$ ,  
 4— $> 160$ .

Г. Г. Винбергом (1960) и Кларком\* (1954), и введя ряд изменений, вытекающих из биологической структуры океана и данных, контролируемых гидрохимическим анализом, получаем количественные выражения трофических соотношений на основе новообразования органического вещества в фотическом слое океана и морей.

Гетеротрофы моря (кроме бактерий) в процессе обмена веществ сжигают от 20 до 35% используемого ими корма. Следует также отметить, что морские гетеротрофные организмы потребляют от 80 до 75% органического вещества предыдущего звена трофической цепи. Эффективная продукция в пределах каждого рассмотренного звена составляет от двух третей до четырех пятых от валовой продукции данного звена. Эффективная продукция конечного трофического звена гетеротрофов, которые в большинстве являются объектами промысла, составляет не более 8—10% от валовой продукции автотрофов. Биомасса объектов промысла может достигать 10—16% от величины растительного органического вещества.

Однако около трети не изъятых промыслом организмов подвергается бактериальному разложению, при этом наиболее стойкие органические вещества остаются в морской воде в виде гумуса, а другая часть минерализуется. Величина ежегодного образования морского гумуса определяется методами гидрохимического анализа. Произведенные Б. А. Скопинцевым (1962) исследования в период работ Международного Геофизического года показали, что величина ежегодного образования морского гумуса, т. е. трудноусвояемая часть органического вещества составляет около одной пятой от ежегодного новообразования органического вещества в океане.

Гумус трудно усваивается даже бактериями и постепенно переходит в донные отложения океана или полностью минерализуется (около 0,5% в год от общего содержания гумуса в океане).

Во внутриматериковых морях этот процесс происходит в 1,5—2 раза быстрее. Ежегодно в морские донные отложения переходит от 0,35 до 1,4% первичной продукции органического вещества в океане. Методами гидрохимического анализа можно получить достоверные величины первичной продукции органического вещества и другие составляющие его баланс в океане и морях.

Расчет по данным, приводимым В. Г. Дацко (1959) для Азовского, Каспийского и Черного морей, дает следующие соотношения между биомассами и годовой продукцией растительных и гетеротрофных организмов, населяющих эти моря (табл. 5).

Таблица 5

Организмы	Сухой вес в $10^6$ т		
	биомасса	годовая продукция	годовая продукция/биомасса
Фитопланктон . . . . .	1,1	334,0	300
Фитобентос . . . . .	2,9	2,9	1
Всего . . . . .	4,0	336,9	—
Зоопланктон . . . . .	1,6	48,6	30
Зообентос . . . . .	8,6	28,0	3,4
Всего . . . . .	10,2	76,6	—

Если принять валовое количество новообразовавшегося органического вещества автотрофов за 100%, то от 20 до 40% его расходуется самими автотрофами (фитопланктон) в процессе обмена веществ.

\* По Винбергу (1960).

Только 60—80% растительного органического синтезированного вещества является эффективной продукцией фитопланктона — первичным кормом для гетеротрофов. Этот первичный корм, синтезированный автотрофами, на 10% состоит из непосредственно неусвояемой части органического вещества, переходящей в морской гумус. Из остальных 90% — 18 минерализуется морскими бактериями и лишь около 72% может по своему составу быть использовано растительноядными гетеротрофными организмами более сложной организации. Эта часть первичного корма (72≡100%) на 19—20% расходуется на процессы метаболизма растительноядными гетеротрофами и лишь на 80—81% может быть использована на процессы воспроизводства биомассы гетеротрофов. Из этих (80≡100%) органического вещества растительноядных гетеротрофов около 17% переходит в морской гумус как непосредственно неусвояемая часть органического вещества, состоящая из биохимически стабильных веществ. Остальные 21% минерализуются морскими бактериями и лишь около 62% может быть использовано как корм плотоядными гетеротрофами и частично промыслом. Примерно одна треть этого органического вещества расходуется плотоядными гетеротрофами в процессе обмена веществ и лишь на две трети — на воспроизводство биомассы. Если эти две трети «конечного» органического вещества океана взять за 100%, то около 22% переходит в морской гумус как непосредственно трудноусвояемая часть органического вещества и 78% минерализуется или частично используется промыслом. Гидрохимическими методами весьма точно удалось установить, что около 25% (20—30%) от первоначально новообразующегося органического вещества ежегодно переходит в морской гумус и 0,4—1,4% — в донные отложения. Это согласуется с приведенными показателями непосредственно неусвояемых частей органического вещества во всех трех вышеуказанных биоценозах.

Биомасса зоопланктона в 1,5 раза больше биомассы фитопланктона. Суммарная биомасса планктонических и бентических зооорганизмов в 2,5 раза больше биомассы морских фитоорганизмов. Однако для обеспечения кормом ежегодного прироста зообентоса и зоопланктона в 76,6 млн. т в этих морях синтезируется ежегодно в четыре с лишним раза больше органического вещества фитопланктона. По данным, приведенным Л. А. Зенкевичем (1951), в Баренцевом море сложились другие соотношения между фитопланктоном и его потребителями. Годовой прирост фитопланктона в Баренцевом море во много раз больше, чем ежегодный прирост бентосных и планктонных зооорганизмов.

Соотношение биомасс фито и зоопланктона в Баренцевом море не превышает 2—3. Если учесть, что интенсивными потребителями растительного органического вещества в море являются морские микроорганизмы, а их кормовой коэффициент близок к трем, то следует считать, что годовая продукция фитопланктона должна быть хотя бы в три раза больше годовой продукции гетеротрофных организмов моря.

В настоящее время известны два порядка величин, вычисленных Л. А. Зенкевичем, для биомасс организмов Мирового океана, которые приведены в сухом весе в млрд. т:

	Биомасса		всего
	надшельфовой области	глубоководной области	
Планктон . . . . .	0,03—80,0	1,20—40,0	1,23—120,0
Бентос . . . . .	0,30—140,0	0,10— 2,7	0,40—142,7
Итого (кроме фитобентоса и бак- терий) . . . . .			1,63—262,7

Следует считать, что примерно одна треть биомассы планктона состоит из фитоорганизмов. Принимая биомассу фитопланктона за  $0,42 \times 10^9 - 40,0 \times 10^9$  т при коэффициенте (продуктивность/биомасса) ПР/Б-50, ежегодно должно продуцироваться в океане от  $22 \times 10^9$  до  $2200 \times 10^9$  т (сухой вес) органического вещества. Подобные величины получаются также и в случае, когда годовая продукция фитопланктона в три раза превышает годовую продукцию зоопланктона и зообентоса.

Годовая продукция зообентоса океана колеблется от 0,2 до  $71,3 \cdot 10^9$  т органического вещества в сухом весе, а зоопланктона — от 10,5 до  $105 \cdot 10^9$  т в сухом весе. Всего ежегодный чистый прирост морских гетеротрофов составляет от 11 до  $176 \cdot 10^9$  т. Годовая продукция фитопланктона Мирового океана будет в 3 раза больше и равна  $33,0 \cdot 10^9$  т —  $528 \cdot 10^9$  т сухого органического вещества.

Результаты подсчетов величины первичной продукции фитопланктона в океане через биомассу морских зооорганизмов и их ежегодную продукцию в первом приближении дают величины одного порядка.

### ВЫВОДЫ

1. Формирование химической основы первичной кормности морских вод происходит при постоянном пополнении питательными веществами в первую очередь фотического слоя океана.

2. Первоисточником питательных химических веществ океана служат продукты денудации почвенного покрова, поверхностных слоев суши. В Мировом океане завершается непрерывно идущий вынос продуктов разрушения.

3. Наибольшую величину относительного стока с суши получают Северный Ледовитый океан и северная часть Индийского океана. Атлантический океан в целом принимает сток с суши за год несколько меньше; еще меньше получают Тихий океан и южная часть Индийского океана.

Непосредственное трофическое воздействие питательных веществ водного стока с суши может проявляться только в зонах повышенного стока.

По отношению к фотическому слою нижележащие морские воды служат также источником снабжения его минеральными питательными веществами.

4. Химические особенности водной толщи океана и морей влияют на интенсивность воспроизводства и характер распределения морских органических ресурсов.

5. Зоны дивергенций и конвергенций, зоны циркуляции морских течений, где скорость течений ослабевает, а перемешивание увеличивается, служат областями повышенной интенсивности воспроизводства органического вещества.

В субполярных водах своеобразным накопителем питательных веществ, вторичным их источником для морских вод фотического слоя, служат плавающие морские льды.

6. В сухом весе для всего океана воспроизводство органического вещества близко к  $100 \cdot 10^9$  т/год.

### ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О. А. и Бражникова Л. В. Солевой и биогенный сток в океан. Сб. «Современные осадки морей и океанов». Изд-во АН СССР, 1961.  
Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. Минск, Изд-во М-ва высш. и средн. спец. образ. БССР, 1960.  
Гесснер Ф. Гидробиология. Т. II. Изд. на немецком языке. Берлин, 1955.

Дацко В. Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. Изд-во АН СССР, 1959.

Жукова А.И. и Федосов М. В. Значение микроорганизмов верхнего слоя донных отложений мелководного морского водоема в трансформации органического вещества. «Океанология». Т. I. Вып. 3. 1961.

Зенкевич Л. А. Моря СССР, их фауна и флора. Учпедгиз, 1951.

Зенкевич Л. А. Биологические основы промыслового использования океана. «Природа», № 1. Изд-во АН СССР, 1956.

Зернов С. А. Общая гидробиология. М.—Л., Биомедгиз, 1934.

Кобленц-Мишке О. И. Первичная продукция моря в ее географическом аспекте. Первичная продукция морей и внутренних вод. Изд-во Министерства высш. и средн. спец. образ. БССР, 1961.

Львович М.И. Сток рек земного шара. «Природа», № 5, 1960.

Львович М. И. Элементы водного режима рек земного шара. Тр. НИУ. Серия IV. Вып. 18. Гидрометеоздат, 1954.

Ничипорович А. А. Световое и углеродное питание растений (фотосинтез). Изд-во АН СССР, 1955.

Рабинович Е. Фотосинтез. Т. I и Т. II (перевод). Изд-во иностр. лит. 1951, 1953.

Свердруп Х., Джонсон М., и Флеминг Р. «Океан». 1942. Нью-Йорк., изд. на английском языке.

Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах. Тр. ГОИН. Т. 17, № 29, 1950.

Скопинцев Б. А. О биохимическом потреблении кислорода в водах северной части Атлантического океана. «Океанология». Т. II. Вып. 6. Изд-во АН СССР, 1962.

Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. Т. I, 1960. Т. II, 1962.

Сулин В. А. Гидрология нефтяных месторождений СССР. Гостоптехиздат, 1948.

Федосов М. В. и Ермаченко И. А. Интенсивность образования и распада органического вещества в северных морях. Первичная продукция морей и внутренних вод. Изд-во М-ва высшего и среднего спец. образования БССР, 1961.

Федосов М. В. Формирование химической основы первичной продуктивности в северных морях. Тр. ВНИРО. Т. 46. Сб. I. Пищепромиздат, 1962.

Федосов М. В. Минкина А. Л. и Ермаченко И. А. Вопросы промысловой продуктивности морей. Условия формирования гидрохимического режима и первичная продуктивность Баренцева моря. Изд. журн. «Рыбное хозяйство», 1960.

Федосов М. В. и Ермаченко И. А. Условия формирования гидрохимического режима и первичной продуктивности Норвежского и Гренландского морей. Тр. ВНИРО. Т. 46. Пищепромиздат, 1962.

Федосов М. В. Советские рыбохозяйственные исследования в северо-западной части Атлантического океана. Изд-во журн. «Рыбное хозяйство», 1962.

Харвей Х. В. Биохимия и физика моря. Современные успехи химии и биологии моря. Изд-во иностр. литер., 1948.