

Климова В. Л. Количественное распределение бентоса залива Петра Великого (Японское море) летом 1970 г. — Труды ВНИРО, 1971, т. 87/7, с. 97—105.

Нейман А. А. Количественное распределение бентоса на шельфе и верхних горизонтах склона восточной части Берингова моря. — Труды ВНИРО, 1963, т. 48, с. 145—205.

Strickland C. D., Parsons F. R. A manual of sea water analysis. — Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 1965, № 125, p. 117—121.

The interrelation of the content of organic matter in the sediments and distribution of benthos in the Peter the Great Bay

ANDREEVA N. M., ZASLAVSKY E. M., KLIMOVA V. L.

SUMMARY

It is found that the content of organic matter in the sediments ranges usually from 0.2 to 2.3%. The heavier the dispersion in the sediments the higher is the content of organic matter. The carbohydrates and amino acids constitute 7—18% and 0.6—5.0% of the total organic matter, respectively. The distribution pattern of concentrations of carbohydrates and amino acids in the sediments is similar to that of organic matter. The biomass of detritus-eating species (mainly collecting species) is dependent upon the content of organic matter in the sediments.

УДК 551.464.796.4

РОЛЬ АМИНОКИСЛОТ В СИНТРОФИИ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

И. А. Налетова

Все живые организмы определенной экосистемы находятся в тесных взаимоотношениях друг с другом и окружающей средой и образуют сообщества, продуцирующие и потребляющие органическое вещество.

В виде метаболитов в растворенном состоянии в морскую воду поступают углеводы, белки, пептиды, аминокислоты, липиды и др. (Хайлов, 1971; Jørgensen, 1976). По важности функций при обменных процессах особое положение занимают белки и полипептиды, распадающиеся на простые составляющие — аминокислоты. Так же как и нуклеиновые кислоты, белки являются информационными макромолекулами. Кроме того, большая группа белков служит структурными элементами (Ленинджер, 1974).

Большой интерес представляет изучение на уровне экосистемы цикла аминокислот, являющихся строительными блоками белков и, кроме того, предшественниками многих соединений — гормонов, витаминов, коферментов, алкалоидов, антибиотиков и пигментов, т. е. веществ, обладающих высокой биологической активностью.

Цикл белков, пептидов и аминокислот в воде мало изучен. Данные о концентрациях аминокислот, растворенных в морской воде, приводимые различными исследователями для отдельных районов Мирового океана, варьируют в широких пределах (Злобин, Перлюк, Орлова, 1975; Williams P. J., Le B., Bergman, 1976). Показано, что с высокими концентрациями аминокислот, растворенных в морской воде, связано интенсивное развитие фитопланктона (Хайлов, 1971; Bohling, 1972) и зоопланктона (Злобин, Перлюк, Орлова, 1975). Но механизм этой взаимосвязи и факторы, влияющие на уровень концентраций веществ белковой природы в морской воде, практически не изучены.

Настоящая работа посвящена исследованию изменений концентраций соединений белковой природы, растворенных в морской воде, и факторов, определяющих эти изменения.

С этой целью проводились определения свободных и связанных (белки, пептиды) аминокислот в антарктическом секторе Атлантического океана (море Скотия), у восточного побережья Южной Америки и в Центральной Атлантике. Кроме того, в море Скотия определялись биогенные элементы, измерялись продукция фитопланктона и биомасса фито- и зоопланктона.

Исследования проводились с ноября 1974 г. по февраль 1975 г. Распределение станций, на которых отбирались пробы, представлено на рис. 1.

Свободные и связанные растворенные в морской воде аминокислоты определялись дансильным методом в модификации И. А. Налетовой и В. Ф. Полуяктова (1976) из 100 мл образца непосредственно в морских условиях. Метод основан на способности свободных аминокислот вступать в реакцию с 1-диметиламино-нафталин-5-сульфохлоридом (дансил-хлорид) и образовывать производные, флуоресцирующие с высоким квантовым выходом в видимой части спектра. Свободные аминокислоты определялись непосредственно после фильтрации пробы через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 м, валовое содержание — после гидролиза фильтрованной пробы 6 н. раствора HCl в течение 24 ч при температуре 105°С. По разности между валовым содержанием и свободными аминокислотами рассчитывали содержание связанных (белки, пептиды) аминокислот.

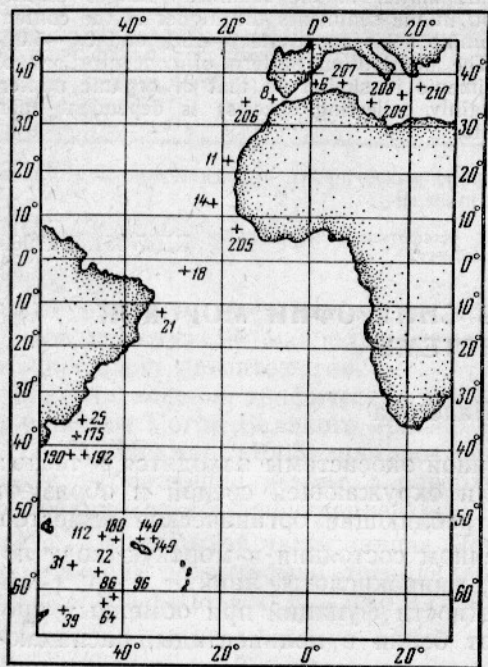


Рис. 1. Схема расположения станций, на которых взяты пробы для определения свободных и связанных растворенных аминокислот (ноябрь 1974 г. — май 1975 г.).

Пробы сестона в слое 0—100 м отбирали с помощью сети Джеди (диаметр входного отверстия 36 мм, газ № 61). Объем сестона измеряли при

помощи волюмометра Яшнова. В каждой пробе оценивали долю фитопланктона в процентах.

При измерении интенсивности продуцирования фитопланктона (Буркальцева, 1975) применяли радиоуглеродный метод Стимана-Нильсена в модификации Ю. И. Сорокина (Методическое пособие, 1960). Полученные результаты характеризуют продукционную способность фитопланктона в момент исследования.

Для получения представления о величине продукции фитопланктона за период от начала вегетации до момента исследования был проведен анализ распределения биогенных элементов и изменения их концентрации в эти сроки в водах моря Скотия.

Основываясь на данных о химическом составе планктонных организмов (Виноградов, 1944, Dietrich, 1966), Н. В. Аржанова (1974) рассчи-

тала, что на прирост 1 мг органического углерода (5,3 мг сухой массы) диатомовые должны потребить: азота — 0,133 мг (0,010 мг-атом), фосфора — 0,032 мг (0,001 мг-атом), кремния — 0,930 мг (0,033 мг-атом).

Проведя соответствующие расчеты, мы получили величину продукции фитопланктона, созданную за период от зимы до момента исследования в различных районах моря Скотия.

Для определения гидрохимических элементов в пробах морской воды использовались стандартные методики. Концентрацию кислорода определяли объемным методом Винклера. Степень насыщения вод кислородом вычисляли с помощью таблиц Карпентера. Концентрацию кремния в воде определяли по методу Диперта—Ванденбульке (Современные методы, 1973).

Результаты определений свободных и связанных аминокислот в водах Атлантического океана представлены в таблице. Анализ полученных данных показал, что наибольшие колебания концентрации растворенных аминокислот (связанные+свободные) происходят в слое 0—100 м, где органическое вещество создается фитопланктоном и поступает в воду в процессе метаболизма и частично в виде посмертных выделений.

Изменение концентраций растворенных аминокислот в слое 0—100 м отмечается как в пространстве, так и во времени, причем изменения в пространстве менее значительны, чем временные. Так, в весенний период по всей исследованной акватории концентрация растворенных аминокислот (средние значения) колебалась от 212 мкг/л в районе Южной Америки, до 315 мкг/л в тропической Атлантике и 330 мкг/л в море Скотия, т. е. менее чем в 2 раза. В море Скотия в течение года средние концентрации растворенных аминокислот изменялись почти в 4 раза и составляли для зимы 136 мкг/л, весны — 330 и для начала лета — 520 мкг/л.

В слое 100—1000 м, где РОВ морской воды формируется за счет посмертных выделений и органического вещества, поступающего из фотического слоя в процессе опускания поверхностных вод, но уже несколько трансформированного, концентрация растворенных аминокислот однородна по всей исследованной акватории. По нашим данным, их среднее содержание в слое 100—1000 м в водах моря Скотия 209 мкг/л, у берегов Южной Америки — 216, в Тропической Атлантике — 240 мкг/л.

Вклад свободных и связанных аминокислот в общую величину аминокислот неодинаков. Соотношение связанных и свободных аминокислот изменяется в широких пределах с глубиной, а также в течение года в эвфотической зоне. Это можно проследить на примере вод моря Скотия. В зимний период в поверхностных водах содержится в основном свободная форма растворенных аминокислот. Отношение связанных аминокислот к свободным изменяется от 0,2 до 0,7. Весной при общем увеличении абсолютных величин это отношение увеличивается до 2,4—4,5, в летний период — начинает уменьшаться и становится менее 2. Такое изменение концентрации свободных и связанных аминокислот и соотношения между ними в эвфотической зоне обусловлено жизнедеятельностью гидробионтов. Весной в период интенсивного фотосинтеза в воду в виде метаболитов поступают свободные и связанные аминокислоты, что ведет к увеличению их концентрации (рис. 2, станции 64, 72, 86, 96). Свободные аминокислоты, являясь блоками для построения более сложных органических соединений, активно потребляются из морской воды гидробионтами, связанные — накапливаются, вследствие чего отношение свободных аминокислот к связанным увеличивается до 2,4—4,5. Летом это отношение уменьшается и становится менее 2 (рис. 2, станции 144—180). На базе органического вещества, созданного фитопланктоном, интенсивно развиваются гетеротрофные микроор-

Содержание связанных (1) и свободных (2) аминокислот (в мкг/л) и отношение между ними (3) в водах Атлантического океана

Глубина, м	Море Скотия																							
	станция 39, 19/XII 1974 г.			станция 31, 17/XII 1974 г.			станция 64, 25/XII 1974 г.			станция 72, 27/XII 1974 г.			станция 86, 30/XII 1974 г.			станция 96, 1/I 1975 г.			станция 144, 7/II 1975 г.			станция 180, 12/II 1975 г.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	50	74	0,7	152	44	3,4	254	222	1,1	182	80	2,3	360	90	4,0	246	74	3,2	234	276	0,8	285	147	1,9
50	36	68	0,5	42	82	0,5	—	—	—	282	108	2,6	373	82	4,5	444	180	1,8	398	186	2,2	267	147	1,8
100	56	78	0,7	—	—	—	86	144	0,6	138	92	1,5	144	152	0,9	494	146	3,4	138	102	1,4	585	150	3,9
300	132	32	4,1	50	134	0,4	160	120	1,3	380	124	3,1	364	56	6,5	180	100	1,8	134	90	1,5	220	120	1,8
500	94	76	1,2	—	—	—	—	—	—	212	44	4,8	—	—	—	104	96	1,1	—	—	—	—	—	—
1000	136	60	2,7	22	102	0,2	—	—	—	120	48	2,5	—	—	—	100	78	1,4	—	—	—	—	—	—

Продолжение

Глубина, м	Район Южной Америки												Центральная Атлантика								
	станция 25, 15/XII 1974 г.			станция 175, 11/II 1975 г.			станция 190, 19/II 1975 г.			станция 192, 1/III 1975 г.			станция 11, 16/XI 1974 г.			станция 14, 20/XI 1974 г.			станция 21, 27/XI 1974 г.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	138	114	1,2	26	164	0,2	61	104	0,59	20	225	0,1	125	164	0,7	118	150	0,8	332	52	6,4
50	187	110	1,7	125	76	1,9	138	102	1,4	—	—	—	218	42	5,1	182	171	1,2	—	—	—
100	405	105	3,9	58	122	0,3	252	60	4,2	12	138	0,1	155	11,6	1,2	164	138	1,2	254	152	1,7
300	165	105	1,6	—	—	—	189	76	2,5	130	60	2,2	168	100	1,7	142	160	0,9	20	140	0,1
500	166	68	2,4	—	—	—	—	48	—	179	21	8,5	—	—	—	152	182	0,8	—	—	—
1000	138	72	1,9	—	—	—	142	58	2,5	124	88	—	—	—	—	—	—	—	24	122	0,1

ганизмы (Ланская, Маркианович, 1960), которые, разлагая органическое вещество, синтезируют белок собственной клетки и выделяют в виде метаболитов в окружающую среду свободные аминокислоты и низшие пептиды, т. е. трансформируют органическое вещество.

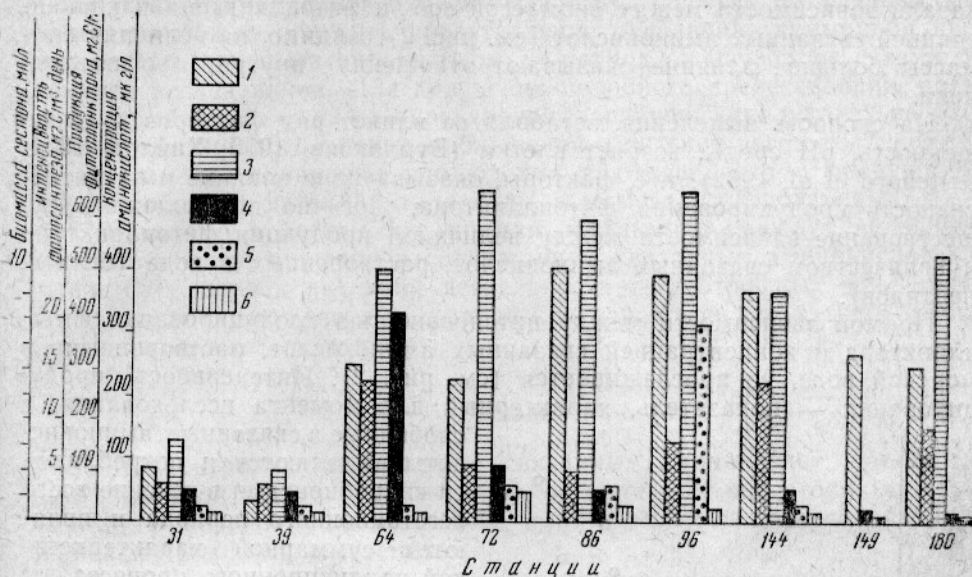


Рис. 2. Изменение концентраций свободных и связанных аминокислот, продукции фитопланктона, интенсивности продуцирования, биомассы зоо- и фитопланктона в водах моря Скоттия (0—50 м) в декабре 1974 г. — феврале 1975 г.:

1 — связанные аминокислоты; 2 — свободные аминокислоты; 3 — продукция фитопланктона; 4 — интенсивность фотосинтеза; 5 — биомасса фитопланктона; 6 — биомасса зоопланктона.

В результате исследований, проведенных в Ирландском море, Райли и Сегар (Riley, Segar, 1970) установили, что концентрация свободных аминокислот изменялась в течение года незначительно по сравнению со связанными, максимальные количества которых наблюдались в период интенсивного развития фитопланктона. На основании этого они пришли к выводу, что более легко выделяются и потребляются в течение года связанные аминокислоты; свободные — менее доступны для гидробионтов и являются лишь переходной стадией в процессе деминерализации белков.

Наши исследования подтвердили связь высоких концентраций связанных аминокислот с интенсивным развитием фитопланктона и относительно небольшое изменение свободных аминокислот в течение года. Однако, на наш взгляд, свободные аминокислоты важны для жизнедеятельности гидробионтов, и именно активным участием свободных аминокислот в обмене экосистемы объясняются их постоянные концентрации. Этот взгляд подтверждают исследования гетеротрофной утилизации растворенного органического вещества, проведенные Вильямсом и Иеншем (Williams P. J. Le B., Jentsch, 1976), которые показали, что свободные аминокислоты обладают высокой оборачиваемостью. Таким образом, свободные аминокислоты являются одним из звеньев, через которые осуществляется синтрофная связь гидробионтов, составляющих экосистему.

Итак, свободные аминокислоты быстро используются сообществом для построения высокомолекулярных соединений, связанные (белки, пептиды) — накапливаются в водной толще до момента активного развития гетеротрофных микроорганизмов.

Ранее указывалось на связь высоких концентраций связанных аминокислот с развитием фитопланктона (Хайлов, 1971; Bohlign, 1972) и зоопланктона (Злобин с соавт., 1975).

Результаты исследований, проведенных нами в море Скотия, не показали зависимости между биомассой зоо- и фитопланктона и концентрацией связанных аминокислот (см. рис. 2). Видимо, на величину биомассы большое влияние оказывают отношения внутри трофической цепи.

На скорость выделения метаболитов влияет ряд факторов — освещенность, рН среды, возраст клетки (Бурлакова, 1970; Хайлов, 1971; Pritchard et al, 1962), т. е. факторы, оказывающие влияние и на интенсивность продуцирования фитопланктона. Логично предположить существование зависимости между величиной продукции фитопланктона и количеством связанных аминокислот, растворенных в воде (белков, пептидов).

Прямой зависимости между интенсивностью продуцирования фитопланктона и концентрацией связанных аминокислот, растворенных в морской воде, не прослеживается (см. рис. 2). Интенсивность продуцирования — показатель, характерный для момента исследования, а свободные и связанные аминокислоты выделяются и потребляются гидробионтами в течение всего вегетационного периода и являются суммарной характеристикой продукционного процесса.

Результаты исследований показывают существование зависимости между величиной продукции фитопланктона и содержанием в воде связанных аминокислот (рис. 3). Для выявления характера этой зависимости экспериментальные данные, представленные на рис. 3, были математически обработаны по методу средней (Гунтер, Овчинский, 1970). При этом предполагалось,

что зависимость концентраций связанных аминокислот от величины продукции фитопланктона линейна и может быть описана выражением типа

$$A = kP + \epsilon,$$

где A — концентрация связанных аминокислот, мкг/л;

P — продукция фитопланктона, мкг С/л;

k — постоянный коэффициент, связывающий величину первичной продукции фитопланктона и концентрацию растворенных связанных аминокислот;

ϵ — фоновая концентрация связанных аминокислот в морской воде перед началом вегетации, мкг/л.

Значения коэффициентов k и ϵ были рассчитаны путем решения систем уравнений, составленных на основании экспериментальных данных, полученных в море Скотия и соответствовали: $k=0,52$ и $\epsilon=5,3$.

Таким образом, аналитическая зависимость концентраций связанных аминокислот от величины продукции фитопланктона может быть описана как $A=0,52 P+5,3$.

Следует отметить, что рассчитанный нами коэффициент, связывающий величину первичной продукции фитопланктона и концентрации растворенных в морской воде связанных аминокислот, несколько завышен. Это объясняется тем, что величина продукции фитопланктона, рассчитанная по потреблению биогенных элементов, ниже реальной,

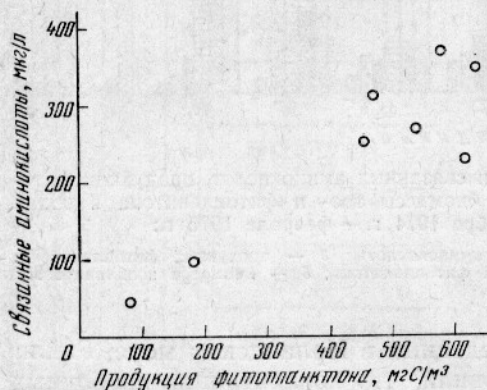


Рис. 3. Зависимость между концентрацией связанных аминокислот и продукцией фитопланктона.

так как рассчитана по убыли биогенных элементов в слое фотосинтеза без учета их прямой регенерации. Но тем не менее полученная зависимость в общем виде может быть использована для водоема с сезонным ходом биологических процессов.

Благодаря выявленной зависимости по количеству выделенных метаболитов можно получить представление о величине суммарной продукции, созданной фитопланктоном за период от начала вегетации до момента исследования. Для получения подобного представления, пользуясь прямыми методами определения первичной продукции, необходимо провести многократные наблюдения в течение вегетационного периода, так как единичные наблюдения дают сведения о продукционной способности фитопланктона лишь в момент исследования.

Необходимо отметить, что прямая зависимость между величиной продукции фитопланктона и содержанием связанных аминокислот нарушается в период активной деятельности гетеротрофных микроорганизмов. Это характерно для тропических районов и для летнего сезона умеренных и высоких широт.

Выводы

1. Концентрация свободных и связанных аминокислот, растворенных в морской воде в слое 0—100 м, — величины непостоянные и так же, как и другие гидрохимические и биохимические показатели, претерпевают сезонные изменения.

Пространственное изменение концентраций растворенных аминокислот менее значительно, чем временное.

2. В слое 100—1000 м концентрации растворенных аминокислот однородны по всей исследуемой акватории.

3. В зимний период отношение связанных аминокислот к свободным меньше 1. В период развития фитопланктона оно увеличивается до 2,5—4 и может служить показателем активной фотосинтетической деятельности фитопланктона.

4. Свободные аминокислоты активно потребляются гидробионтами для построения высокомолекулярных соединений, вследствие чего их концентрации изменяются в течение года незначительно.

5. Связанные аминокислоты накапливаются в воде и их концентрация находится в зависимости от уровня продукции фитопланктона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Аржанова Н. В. Гидрохимия моря Скотия. — М.: ОНТИ ВНИРО, 1974, с. 1—64.
- Бурлакова З. П. Одноклеточные и многоклеточные водоросли — продуценты растворенного органического вещества в море. — В кн.: Химические ресурсы морей и океанов. М., 1970, с. 155—162.
- Буркальцева М. А. Первичная продукция фитопланктона в море Скотия. Экспресс-информация. — М.: ЦНИИТЭИРХ, 1975, сер. 9, вып. 3, с. 1—13.
- Виноградов А. П. Химический состав организмов моря. — Труды Биохимической лаборатории АН СССР, 1944, ч. 3, вып. 6, с. 1—273.
- Гунтер Р. С., Овчинский Б. В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. — М.: Недра, 1970. — 286 с.
- Злобин В. С., Перлюк М. Ф., Орлова Т. А. Аминокислотный состав растворенного органического вещества в Атлантических водах. — Океанология, 1975, т. 15, вып. 4, с. 643—647.
- Ланская Л. А., Маркианович Е. М. Влияние некоторых морских планктонных и бентосных водорослей на сапрофитные бактерии в условиях культур. — Труды Севастопольской биологической станции АН СССР, 1960, т. 13, с. 3.
- Ленинджер А. Биохимия. — М.: Мир, 1974. — 950 с.
- Методическое пособие по определению первичной продукции органического вещества в водоемах радиоуглеродным методом. — Минск: Белорусский гос. ун-т, 1960. — 47 с.

Налетова И. А., Полуяктов В. Ф. Определение комплекса органических соединений, содержащих аминный азот, в форме их ДНС-производных. — *Океанология*, 1976, т. XVI, вып. 3, с. 538.

Современные методы рыбохозяйственных морских гидрохимических исследований. — М.: Пищевая промышленность, 1973. — 183 с.

Хайлов К. М. Экологический метаболизм в море. — Киев: Наукова Думка, 1971. — 250 с.

Bohling M. Gelöst Aminosäuren in Oberflächenwasser der Nordsee bei Helgoland: Konzentrationsveränderungen im Sommer 1970. *J. Mar. Biol.* 1972, 16, N 4, p. 281.

Dietrich G. *General Oceanography*. Interscience. New York, 1966.

Jørgensen C. B., August Pütter, August Krogh, and modern ideal on the use of dissolved organic water in aquatic environment. *Biol. Rev. BR CPAH*, 1976, 51, N 3, p. 291—328.

Pritchard G. G., Griffin W. T., Whittingham C. P. The effect of carbon dioxide concentration, light intensity and isonicotinyl hydrazide on the photosynthetic production of glycolic acid by *Chlorella*. *J. Exp. Bot.* 1962, 13, N 1.

Riley I. P., Segar D. A. The seasonal variation of the free and combined dissolved amino acids in the Irish Sea. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 1970, 50, N 3, p. 713.

Williams P. J., Le B., Berman T., Holm-Mansen O. Amino acid uptake and respiration by marine heterotrophs. *J. Mar. Biol.* 1976, 35, N 1, p. 41.

Williams P. J., Le B., Jentsch. An examination of photosynthetic production excretion of photosynthetic products, and heterotrophic photosynthetic products and heterotrophic utilization of dissolved organic compounds with reference to results from a coastal subtropical sea. *J. Mar. Biol.* 1976, 35, N 1, p. 31.

The role of amino acids in syntrophism of the marine ecosystem

NALETOVA I. A.

SUMMARY

The content of dissolved (free and bound) amino acids in the 0—100 m layer is subject to seasonal and spatial fluctuations, but it is uniform in the 300—1000 m layer in the area investigated.

The ratio of free and bound amino acids in the Atlantic Ocean ranges from 0.5 to 4.5 and may be used as an index of the photosynthetic activity of phytoplankton.

It is ascertained that the content of bound amino acids is related to the level of phytoplankton production. The relationship is described by an equation of the first order and may be used for the assessment of phytoplankton production in the period from the vegetation season to the moment of assessment.

УДК 551.463(269.43)

О СООТНОШЕНИИ МЕЖДУ ВЕРХНИМ ПЕРЕМЕШАНЫМ СЛОЕМ И ЭВФОТИЧЕСКОЙ ЗОНОЙ В МОРЕ СКОТИА

Н. В. Аржанова

Развитие фитопланктона зависит от ряда условий, включающих не только наличие питательных солей, но и физические факторы среды — освещенность, температуру, оптические свойства, динамику, устойчивость вод. Одним из важных факторов, обуславливающих продолжительность вегетационного периода, считается количество солнечной радиации, поступающей в водную толщу. Активный фотосинтез, сопровождающийся приростом биомассы фитопланктона, может быть лишь в самом верхнем слое воды — эвфотической зоне. Толщина эвфотической зоны ограничена снизу глубиной положения компенсационной точки, характеризующейся такой освещенностью, при которой количество кислорода, выделяемого фитопланктоном в процессе продуцирования, равно его потреблению на дыхание. По данным различных авторов, ве-