

ПРОВ 2010

ПРОВ. 1979

ПРОВ 98

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

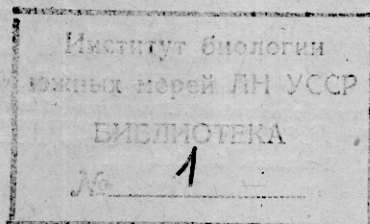
БИОЛОГИЯ МОРЕЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

Выпуск 49

ЭКОСИСТЕМЫ ПЕЛАГИАЛИ
АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА И МОРЕЙ
СРЕДИЗЕМНОМОРСКОГО БАССЕЙНА



КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1979

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Георгиева Л. В.* Первичная продукция в Тунисском проливе зимой 1970 г. — В кн.: *Океанографические исследования в Тунисском проливе*. Киев: Наук. думка, 1971, с. 84—88.
2. *Георгиева Л. В.* Первичная продукция в некоторых районах Средиземноморского бассейна. — В кн.: *Экспедиционные исследования в Средиземном море: 67-й рейс НИС «Академик А. Ковалевский»*. Киев: Наук. думка, 1973, с. 106—114.
3. *Кондратьева Т. М., Маркова Л. С.* Первичная продукция в поверхностном слое тропической части Атлантического океана. — В кн.: *Экспедиционные исследования в южной Атлантике и Средиземном море: 27-й рейс НИС «Михаил Ломоносов»*. Киев: Наук. думка, 1975, с. 149—160.
4. *Методическое пособие по определению первичной продукции органического вещества в водоемах радиоуглеродным методом*. — Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 1960. — 27 с.
5. *Сорокин Ю. И., Кляшторин Л. Б.* Первичная продукция в Атлантическом океане. — *Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва*, 1961, 2, с. 265—284.
6. *Чмыр В. Д.* Первичная продукция в экваториальной Атлантике и условия ее формирования. — *Тр. Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии*, 1971, вып. 37, с. 175—190.
7. *Чмыр В. Д.* Сезонная изменчивость величин первичной продукции в восточной части экваториальной Атлантики. — В кн.: *Тропическая зона Мирового океана и связанные с ней глобальные процессы*. М.: Наука, 1973, с. 104—108.
8. *Lloyd I. J.* Primary production of the coast of Northwest Africa. — *J. Cons. int. explor. mer.*, 1971, 33, № 3, p. 312—323.
9. *Sournia A.* La production primaire planctonique en Méditerranée: Essai de mise à jour. — *Bull. étud. commun. Méditerr.*, 1973, N 5, p. 1—128.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР

Поступила в редколлегию
23.03.78

L. V. Georgieva

PRIMARY PRODUCTION OF CERTAIN REGIONS OF THE MEDITERRANEAN BASIN AND ATLANTIC OCEAN

Summary

Primary production was measured on the surface of certain regions of the Mediterranean basin and Atlantic Ocean. The values of the production varied within three orders. They were the least in the open regions of the Mediterranean Sea and in the sinking zone of the South Atlantic anticyclonic circulation waters. High levels of photosynthesis in the Mediterranean Sea were observed in the regions affected by the Straits of Gibraltar and Bosphorus and in the Atlantic Ocean in the upwelling and frontal zones.

УДК 581.526.325.577.475

Д. К. Крупаткина, Л. В. Кузьменко

СРАВНЕНИЕ ТРЕХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Величину первичной продукции измеряют разными модификациями радиоуглеродного метода — *in situ*, имитацией световых условий в море с помощью нейтральных светофильтров и по схеме Сорокина [2]. Последняя показала хорошее совпадение с данными, полученными *in situ* [6], и является наиболее распространенной. Хлорофильный метод [4, 7] используется значительно реже, поскольку является расчетным методом, в котором результаты получают не прямым измерением продукции, как в радиоуглеродном, а косвенно — на основании измерения максимального ассимиляционного числа (а.г.) и концентрации хлорофилла.

Результаты измерений первичной продукции фитопланктона радиоуглеродным и хлорофильным методами не полностью совпадают. Это прежде всего объясняется тем, что в отличие от хлорофильного метода радиоуглеродный не учитывает световую адаптацию фитопланктона. Чтобы получить более надежные величины при работе с радиоуглеродным методом, мы использовали его модификацию. Для этого из хлорофильного метода [4] был заимствован расчет продукции по двум K_T , то есть K_T верхнего слоя (от поверхности до глубины температурного скачка) и K_T нижнего (от глубины температурного скачка до основания эвфотической зоны). Модификация схемы Сорочкина позволила использовать преимущества радиоуглеродного и хлорофильного методов. Радиоуглеродный метод в модификации остается методом, измеряющим продукцию, и в тоже время дает возможность учитывать адаптацию фитопланктона к свету.

В настоящей статье сравниваются три метода определения первичной продукции — радиоуглеродный [2], радиоуглеродный в нашей модификации и хлорофильный. Работа выполнена в Саргассовом море в сентябре — декабре 1976 г. во время 14-го рейса НИС «Академик Вернадский».

Методика. Для расчета продукции хлорофильным методом пробы воды на хлорофилл на каждой из десяти станций отбирались с шести—восьми горизонтов (до 100—130 м), выбранных таким образом, чтобы возможно полнее обследовать богатые фитопланктоном слои пониженной прозрачности. С каждого горизонта отбирали по 18—25 л воды, которые затем фильтровали через мембранные фильтры марки Сынпор (диаметр пор 0,9—1,2 мкм). Определение хлорофилла велось на спектрофотометре СФ-4 по методике, описанной в работе [5].

Для измерения продукции радиоуглеродным методом [2] определялись зависимости фотосинтеза от вертикального распределения фитопланктона (K_p) и от подводной освещенности (K_T). Пробы на K_p отбирали тоже на десяти станциях, из тех же батометров и с тех же горизонтов, что и на хлорофилл. Пробы на K_T отбирали на восьми станциях с верхних (ст. 1319, 1414, 1416 и 1417) либо с нижних (ст. 1304, 1328, 1345 и 1349) горизонтов. Воду разливали в склянки емкостью 150 мл, добавляли в них радиоактивный карбонат ($30 \mu\text{к Ci}$), после чего их помещали на шесть часов в специальный инкубатор с проточной водой на палубе. В разных отсеках инкубатора с помощью нейтральных светофильтров создавалась освещенность, составляющая 100, 60, 30 и 1% радиации на поверхности моря.

Как отмечалось, модификация радиоуглеродного метода должна учитывать адаптацию фитопланктона к свету. В связи с этим на основании K_T ст. 1319, 1414, 1416 и 1417, для которых пробы воды отобраны с верхних горизонтов, строилась осредненная кривая в относительных единицах для фитопланктона верхнего слоя (рис. 1). По данным K_T ст. 1304, 1328, 1345 и 1349, для которых пробы воды отобраны с нижних горизонтов, построена такая же осредненная кривая для фитопланктона нижнего слоя (рис. 2). Затем оба K_T разделяли по слою температурного скачка (50 м) и для каждой станции продукцию верхнего слоя рассчитывали по верхней части K_T верхних горизонтов, а продукцию нижнего слоя — по нижней части K_T нижних горизонтов.

Освещенность на поверхности моря измеряли люксметром типа Ю-16. Подводную облученность в диапазоне фотосинтетически активной радиации (ФАР) рассчитывали с учетом коэффициента ослабления света для чистых вод [8].

Результаты и обсуждение. Сравнение физиологических показателей фитопланктона верхнего и нижнего слоев. В Саргассовом море толщина эвфотической зоны составляет 130—140 м. Слабо выраженная

стратификация отмечена на глубине 50—95 м. Можно было ожидать, что она не затруднит вертикальные миграции фитопланктона и, у него образуется лишь слабая адаптация к свету. Действительно, K_T верхних и нижних горизонтов оказались почти одинаковыми, что позволило построить осредненные кривые верхнего (см. рис. 1) и нижнего (см. рис. 2) слоев. Начало светового насыщения фотосинтеза (I_K) фитопланктона верхнего слоя отмечено при 2,5 тыс. лк, а максимум фотосинтеза — при 2—6 тыс. лк (см. рис. 1). Как видно из рис. 2, максимум фотосинтеза фитопланктона нижнего слоя здесь отмечен при 4—11 тыс. лк, а I_K — при 4 тыс. лк. Сходный характер кривых подтверждает однородность вод зоны фотосинтеза.

Сравнение других показателей фитопланктона верхнего и нижнего слоев (первичная продукция при I_K и ассимиляционное число а.ч.) также не показало больших различий (табл. 1).

Необходимо, однако, отметить, что средние величины максимального ассимиляционного числа и I_K для фитопланктона нижнего слоя оказались несколько выше.

Таблица 1

Световое насыщение фотосинтеза (I_K), первичная продукция и ассимиляционное число (а. ч.) при I_K фитопланктона верхнего и нижнего слоев эвфотической зоны

Номер стан- ции	Координаты		Темпера- турный скачок (глубина, м)	Глубина отбора проб фито- планктона, м	I_K , тыс. лк	Первичная продукция при I_K , мг С/м ³ ·ч	а. ч. при I_K , мг С/мг· чл. а·ч
	с. ш.	з. д.					
Верхний слой							
1319	35°00'	49°50'	50	25	4,0	0,100	3,12
1414	33°37'	50°15'	78	0	3,0	0,180	6,20
1416	32°40'	50°40'	78	25	2,0	0,063	1,34
1417	34°30'	50°40'	75	10	5,0	0,015	1,40
Среднее					3,25±0,83	0,090±0,059	3,02±1,97
Нижний слой							
1304	35°00'	44°00'	57	75	8,5	0,100	4,16
1328	35°00'	50°30'	50	65	8,0	0,037	1,44
1345	35°38'	71°34'	75	75	11,0	0,260	8,88
1349	35°45'	70°30'	100	75	11,0	0,080	3,20
Среднее					9,62±1,10	0,12±0,09	4,42±2,86

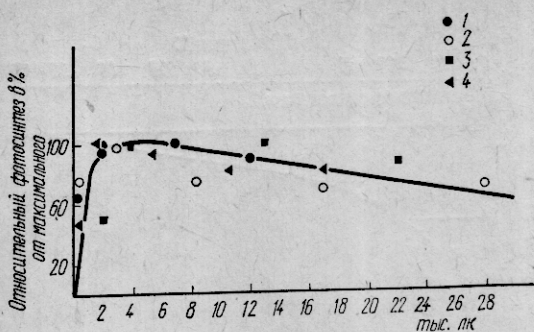


Рис. 1. Осредненная кривая зависимости фотосинтеза от света фитопланктона верхнего слоя (K_B) (от поверхности до глубины температурного скачка):

1 — ст. 1416; 2 — ст. 1319; 3 — ст. 1417; 4 — ст. 1414.

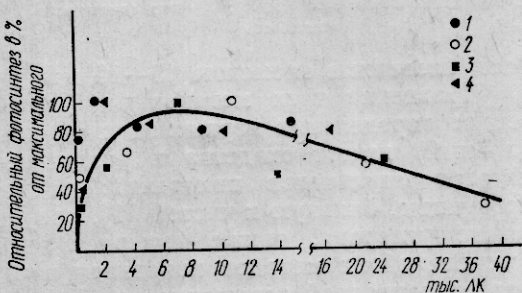


Рис. 2. Осредненная кривая зависимости фотосинтеза от света фитопланктона нижнего слоя (K_H) (от глубины температурного скачка до основания эвфотической зоны):

1 — ст. 1349; 2 — ст. 1304; 3 — ст. 1328; 4 — ст. 1345.

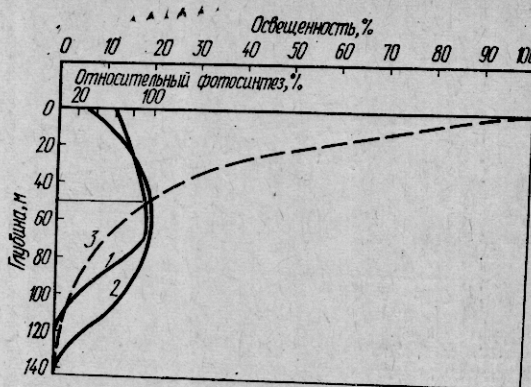


Рис. 3. Зависимость фотосинтеза от подводной освещенности:
1 — осредненное K_t верхнего слоя (K_{tB}); 2 — осредненное K_t нижнего слоя (K_{tH}); 3 — подводная освещенность.

Осредненные K_t для верхнего (K_{tB}) и нижнего (K_{tH}) слоев, а также кривая убывания подводной освещенности с глубиной представлены на рис. 3. Кривая подводной освещенности построена так, чтобы она проходила через максимум K_{tB} и K_{tH} . Ход кривых K_t и подводной освещенности слабо совпадает лишь в нижнем слое. Следовательно, K_{tB} и K_{tH} не зависят от распределения света до глубины оптимальной для фотосинтеза освещенности, которая располагается на глубине от 50 до 95 м, куда проникает от 19 до 3,6% ФАР и появляются

биогенные элементы (5—10 мкг Р/л и 10—20 мкг N/л).

Сравнение трех методов определения продукции. Два основных метода определения первичной продукции (радиоуглеродный и хлорофильный) имеют сходства и различия. Сходство состоит в сопоставимости результатов измерений: радиоуглеродный метод учитывает продукцию, близкую к чистой [1], хлорофильный, с использованием меченого углерода, также измеряет чистую продукцию. Кроме того, в основе обоих методов находится определение зависимости фотосинтеза от подводной освещенности (K_t). Различия состоят в применении одного или двух K_t для расчета продукции. Хлорофильный метод, благодаря использованию двух K_t (K_{tB} и K_{tH}) учитывает адаптацию фитопланктона к свету, радиоуглеродный не учитывает ее, что является существенным недостатком. Модификация радиоуглеродного метода позволила использовать преимущества радиоуглеродного и хлорофильного методов.

В табл. 2 сопоставлены процентные различия величин продукции, измеренных радиоуглеродным методом (А), модификацией этого метода (В), а также хлорофильным методом (С). Величина продукции, измеренная хлорофильным методом, в среднем на 49,6% выше величин, полученных радиоуглеродным методом. Величина продукции, из-

Таблица 2
Сравнительные результаты определения первичной продукции (мгС/м^2 в день) методами (А), (В) и (С)

Номер станции	$\text{мгС/м}^2 \cdot \text{сут}$			Различия, %		
	А	В	С	$100(B-A)/A$	$100(C-A)/A$	$100(C-B)/B$
1289	69,08	88,07	141,60	+27,48	+104,90	+60,78
1298	64,64	169,84	155,04	+162,74	+139,85	-8,71
1304	139,12	245,22	252,90	+76,26	+81,78	+3,13
1319	40,00	49,74	94,08	+24,35	+135,20	+89,14
1345	673,50	1270,50	553,44	+88,63	-17,38	-56,20
1349	38,04	112,37	86,16	+195,39	+126,49	-23,32
1328	318,70	906,08	243,48	+184,30	-23,60	-73,12
1414	195,10	350,24	296,40	+79,51	+51,92	-15,37
1416	95,08	249,71	56,20	+162,63	-40,89	-77,49
1417	161,40	252,41	61,10	+56,38	-62,14	-75,79
Среднее				+105,76	+49,60	-17,69

Таблица 3

Отклонения величин первичной продукции, измеренных тремя методами (А, В, С), в верхнем и нижнем слоях эвфотической зоны на ст. 1298* (34°58' с. ш., 41° з. д.)

Глубина слоя, м	мгС/м ² ·день			Различия, %		
	А	В	С	100(В-А)/А	100(С-А)/А	100(С-В)/В
0—30	22,40	18,97	28,80	-16,31	+28,57	+51,81
30—50	9,87	30,37	27,60	+207,70	+179,63	-9,12
Сумма отклонений верхнего слоя				+192,70	+208,20	+42,86
50—75	18,87	57,75	43,56	+206,04	+130,84	-24,57
75—100	13,50	54,00	55,44	+300,0	+310,66	+2,66
Сумма отклонений нижнего слоя				+506,04	+441,50	-21,91

* Температурный скачок на глубине 50 м.

меренная радиоуглеродным методом в модификации, в среднем на 105,7% выше величин, полученных радиоуглеродным методом.

Интересно выяснить вклад фитопланктона верхнего и нижнего слоев в отклонение величин, полученных методами В и С, от метода А. В табл. 3 для ст. 1298 приведены послойные отклонения, которые затем суммируются отдельно для верхнего и нижнего слоев. Как видно, повышение продукции происходит за счет фитопланктона нижнего слоя. В табл. 4 приведены суммарные отклонения величин продукции верхнего и нижнего слоев, измеренных методами В и С, от измеренных методом А. В районе локального подъема глубинных вод (ринг Гольфстрима и мезомасштабный вихрь) основную роль в указанных отклонениях играет фитопланктон верхнего слоя, а в фоновом районе (Саргассово море) — фитопланктон нижнего слоя. Исключение для метода С составляют лишь ст. 1416 и 1417, где для фитопланктона верхнего слоя отмечены крайне низкие значения а. ч. (1,4 мг С/мг хл. «а».ч). Методы А и В не учитывают а. ч., в методе С а. ч. используют в расчетах, поэтому понижение его и определяет уменьшение продукции.

Повышенные значения продукции, полученные методом В, как в верхнем, так и в нижнем слое возможны за счет двух переменных — K_p и K_t . Чтобы выяснить роль K_t , мы сравнили площади верхних

Таблица 4

Различия величин первичной продукции, %, измеренных тремя методами (А, В, С), верхнего и нижнего слоев эвфотической зоны

Номер станции	100 (В-А)/А		100 (С-А)/А		100 (С-В)/В	
	Слой		Слой		Слой	
	верхний	нижний	верхний	нижний	верхний	нижний
1289	-2,98	+170,73	+64,94	+530,39	+53,90	+132,84
1298	+192,70	+506,04	+208,20	+441,50	+42,86	-21,91
1304	-5,16	+259,34	+174,38	+175,90	+149,14	-36,58
1319	+30,78	+74,80	+140,57	+331,74	+82,95	+183,66
1328	+137,89	+742,56	-107,35	+343,78	-142,58	+11,81
1345 *	+482,63	+52,80	+11,01	-26,73	-203,64	-52,05
1349 *	+2924,64	0,00	+1877,00	0,00	-115,09	0,00
1414 **	+282,00	+101,33	+332,76	-34,36	+10,28	-67,40
1417 **	+194,94	+133,49	-307,49	+738,83	-326,55	+259,92
1416 **	+497,72	+231,45	-155,54	-45,66	-288,43	-83,60

* Холодный ринг Гольфстрима.

** Мезомасштабный вихрь.

Остальные станции-фон, Саргассово море.

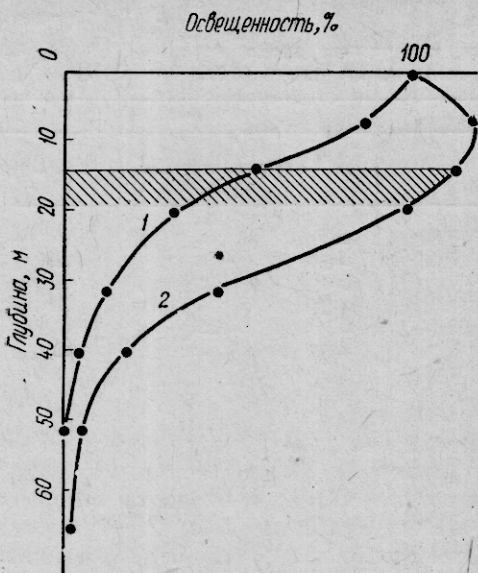


Рис. 4. Световая адаптация глубинного и поверхностного фитопланктона, 1, 2 — K_t (по Ю. И. Сорокину, [3]):

1 — вода с верхнего горизонта (0 м); 2 — вода с нижнего горизонта (100 м).

гом случае, при сильно выраженной сезонной стратификации на глубине 10—20 м, в Черном море получены разные K_t фитопланктона верхнего (0 м) и нижнего (100 м) горизонтов (рис. 4) [3]. Площади K_t фитопланктона верхнего (K_{tV}) и нижнего (K_{tH}) горизонтов различались уже на 82%. Расчет продукции по методу А с использованием K_{tV} или K_{tH} в первом случае приведет к незначительному различию величин, а во втором случае они будут велики. Отсюда следует, что достоверность величин продукции может определяться глубиной отбора проб для K_t применением в расчете продукции K_{tV} или K_{tH} .

По данным Ю. И. Сорокина [3], значительные различия величин K_{tV} и K_{tH} указывают на сильно выраженную адаптацию фитопланктона к свету. Сопоставим в этих условиях значения продукции, измеренные методами А и В. По методу А продукция может различаться на 82% в результате применения в расчете K_{tV} или K_{tH} . По методу В будут использованы и K_{tV} , и K_{tH} . Сравним площади верхних частей K_{tV} и K_{tH} , а затем площади их нижних частей (см. рис. 4). Оказывается, что площади верхних частей различаются на 34%, а площади нижних на 367%. В результате измерения продукции методом В ее значения в верхнем слое уменьшаются на 34%, но в нижнем увеличиваются на 367%, что приведет к повышению суммарной продукции на 333%. Следовательно, наиболее высокие величины первичной продукции, измеренные радиоуглеродным методом, в модификации по сравнению с величинами, измеренными радиоуглеродным методом, возможны при сильно выраженной стратификации вод.

Выводы. Величина продукции, измеренной радиоуглеродным методом в модификации, в среднем на 105,7% выше величин, полученных радиоуглеродным методом.

Величина продукции, измеренной хлорофильным методом в среднем на 49,6% выше величин, полученных радиоуглеродным методом, и, в среднем, только на 17,7% ниже данных этого метода в модификации.

Более высокие значения первичной продукции, измеренной радиоуглеродным методом в модификации, в районе локального подъема

частей K_{tV} и K_{tH} , а затем площади нижних частей (см. рис. 3). Оказалось, что площади верхних частей K_{tV} и K_{tH} различаются всего на 7%, т. е. практически одинаковы. В то же время площади нижних частей K_{tV} и K_{tH} различаются на 48,8%. Из этого следует, что в верхнем слое K_t не влияет на повышение значений продукции, а эти значения здесь обусловлены влиянием K_p . Зато в нижнем слое повышенные величины первичной продукции обусловлены влиянием K_t .

В нашем случае площади K_{tV} и K_{tH} различались всего на 22%, что указывает на малую адаптацию фитопланктона к свету вследствие слабо выраженной стратификации. В дру-

глубинных вод получены за счет K_p фитопланктона верхнего слоя, а в фоновом районе (Саргассово море) — за счет K_t фитопланктона нижнего слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. — Минск: Изд-во АН БССР, 1960. — 81 с.
2. Сорокин Ю. И. О применении радиоактивного углерода C^{14} для изучения первичной продукции водоемов. — Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва, 1956, 7, с. 271—287.
3. Сорокин Ю. И. Продукция фотосинтеза фитопланктона в Черном море. — Изв. АН СССР. Сер. биол., 1964, № 5, с. 749—758.
4. Финенко З. З. Расчет продукции фитопланктона в Черном море по содержанию хлорофилла. — Биология моря, Киев, 1970, вып. 19, с. 74—82.
5. *Determination of photosynthetic pigments in sea water.* — Paris: UNESCO, 1966. — 52 p.
6. Doty M., Jitts H., Koblenz-Mishke O., Saijo Y. Intercalibration of marine plankton primary productivity techniques. — Limnol. and Oceanogr., 1965, 10, N 2, p. 282—287.
7. Ryther I., Yentsch C. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. — Limnol. and Oceanogr., 1957, 11, N 3, p. 281—286.
8. Watermann T. H. Underwater light and the orientation of animals. — In: Optical aspects of oceanography. London, New York: Acad. press, 1974, p. 416—443.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР

Поступила в редколлегию
13.03.78

D. K. Krupatkina, L. V. Kuzmenko

COMPARISON OF THREE METHODS FOR DETERMINATION OF PRIMARY PRODUCTION

Summary

The primary production in the Sargassian Sea was measured by three methods: radiocarbon (Sorokin, 1956), chlorophyllic (Finenko, 1966) and a modification of the radiocarbon method which takes into account phytoplankton adaptation to the light. Comparison of the results showed that the primary production value measured by the modified radiocarbon method is on the average 105.7% higher than the values obtained by the radiocarbon method. The chlorophyll method values for the primary production were 49.6% higher than those of the radiocarbon method and 17.7% lower than those of the modified radiocarbon method.

УДК 577.475 : 551.464 (261)

З. П. Бурлакова, Н. А. Лаврентьев

ГЕТЕРОТРОФНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СМЕСЕЙ ПОПУЛЯЦИИ МИКРООРГАНИЗМОВ ПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ

Скорость трансформации растворенных органических веществ (РОВ) в разных водных массах является одним из показателей функционирования экосистем, особенно в тех районах, где нет притока питательных солей. Количественная оценка процесса трансформации РОВ производится по гетеротрофному потенциалу [9—11], т. е. по количеству органического вещества, которое потенциально могут использовать микроорганизмы для своего роста. Такую попытку мы сделали в 27-м рейсе НИС «Михаил Ломоносов» [3, 5] в разных районах Атлантического океана, отличающихся по гидрологическим условиям. В продолжение этих исследований во время 30-го рейса НИС «Михаил Ломоносов» определялся гетеротрофный потенциал природных популяций микроорганизмов в юго-западном секторе Южно-Атлантического круговорота и на меридианальном разрезе от Конакри в открытом районе ($5^{\circ}37'$ с. ш. — $41^{\circ}26'$ ю. ш.).