

Г. Г. ВИНБЕРГ, Е. П. МУРАВЛЕВА и З. З. ФИНЕНКО

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ПО СОДЕРЖАНИЮ ХЛОРОФИЛЛА
В ПЛАНКТОНЕ И ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

В данной статье приведены первые результаты измерений первичной продукции планктона Черного моря радиоуглеродным методом и определений содержания хлорофилла в планктоне, которые были получены Г. Г. Винбергом в сентябре 1960 г. на судне «Академик Ковалевский» и в 1961 г. сотрудниками станции Е. П. Муравлевой и З. З. Финенко *. Одновременно с определениями Г. Г. Винберга в августе и в октябре 1960 г. первичную продукцию Черного моря также при помощи радиоуглеродного метода изучал Ю. И. Сорокин на э/с «Витязь».

По содержанию хлорофилла в планктоне Черного моря нет вообще данных, кроме немногих измерений, сделанных Л. М. Сушеня (1961) в Прибосфорском районе в конце лета 1960 г.

При проведении работ в 1960—1961 гг. пробы для измерения первичной продукции отбирали стандартными металлическими батометрами. Воду сразу же после поднятия батометра разливали в склянки из белого стекла объемом около 120 мл, предварительно промытых концентрированной HCl **. В заполненные водой склянки помещалась ампула, содержащая 1 мл раствора $\text{NaH}^{14}\text{O}_3$ с активностью около 20 μCi . В склянке ампулу разбивали специальным бойком из нержавеющей стали, поверхность которого была покрыта парафином.

Сразу после экспозиции из каждой склянки пипеткой отбирали 2 мл воды и добавляли 1 мл 40%-ного формалина. Затем содержимое склянки при разряжении, достигавшемся ручным насосом Комовского, фильтровали через мембранный фильтр № 5 с фильтрующей поверхностью 1 cm^2 . После окончания фильтрации пробы через фильтр пропускали 2 мл раствора HCl и 10 мл ультрафильтрата морской воды. Раствор HCl приготавливали на ультрафильтрате морской воды из расчета 1,6 весовых процента, затем фильтры высушивали на воздухе и хранили в индивидуальных контейнерах в горизонтальном положении.

Определение активности фильтров r и определение величины внесенной активности R в 1960 г. производила Р. З. Ковалевская в Белорусском государственном университете согласно методике, изложенной в «Методическом пособии» (1960). В 1961 г. все определения были сделаны на Севастопольской биологической станции.

* В работах 1960 г. на судне, а также в некоторых последующих наблюдениях принимала участие лаборант Л. М. Сергеева.

** В 1961 г. применялись склянки объемом около 250 мл.

Расчет величин первичной продукции P проводили по общепринятой формуле:

$$P = \frac{r}{k} \cdot C,$$

где r — активность фильтров в имп/мин ; R — внесенная активность (в 1960 г. для I и II партии ампул $R=632800$, для III партии $R=631534 \text{ имп/мин}$, в 1961 г. для I партии — $R=1352200$, для II партии $R=1205200 \text{ имп/мин}$); C — общее содержание минеральных форм углерода, мгС/л . При расчете C по щелочности, определенной по Ваттенбергу, учитывались рН, температура и соленость воды. В открытых водах Черного моря величины C во всех случаях были близки к 30 мгС/л .

Первичная продукция P везде выражена в мгС/м^3 сутки, или гС/м^2 сутки.

При расчетах продукции вносили только одну поправку — на темновую и мгновенную фиксацию C^{14} , которая определялась по активности фильтров после экспозиции затемненных склянок. При работах в открытом море «темновая фиксация» была порядка $0,15\text{—}0,25 \text{ мгС/м}^3$, что составляло $10\text{—}15\%$ от максимальных величин первичной продукции, рассчитанных по разности r в светлых и темных склянках.

Для определения содержания хлорофилла в планктоне в 1960 г. был использован метод Енча (Г. Г. Винберг, 1960). Согласно Енчу (1957), содержание хлорофилла в планктоне может быть определено с помощью спектрофотометра по спектру поглощения, просветленного иммерсионным маслом мембранного фильтра с фитопланктоном.

Как оказалось, в условиях бедных планктоном вод открытого моря применение этого метода наталкивается на серьезные затруднения, отмеченные Л. М. Суценья (1961). Спектры имеют вид нисходящих слева направо кривых с плохо намеченными максимумами в области $670\text{—}780 \text{ м}\mu$. По-видимому, возрастание величин экстинкций в сторону более коротковолнового света свидетельствует о большом влиянии рассеяния света различного рода мелкими взвешенными частицами, которое, как известно, возрастает при уменьшении длины волны.

Это обстоятельство не позволило получить надежных абсолютных величин содержания хлорофилла. Наши данные 1960 г. могут рассматриваться лишь как приближенные, имеющие в основном относительное значение. Л. М. Суценья (1961), применив метод Енча, рассчитал содержание хлорофилла в планктоне Средиземного и Черного морей, используя коэффициент $0,14$. Этот коэффициент был получен (Винберг, 1960) для модификации метода Енча, при котором погашение света хлорофиллом на фильтре с планктоном определялось на фотометре Пульфриха по разности экстинкций, измеренных со светофильтрами М66(S 66,6) и М72(S 75). В этом случае общее количество хлорофилла на фильтре с поверхностью $3,45 \text{ см}^2$ получалось умножением измеренной величины экстинкции D на $0,14$.

Л. М. Суценья определял погашение света просветленным фильтром на спектрофотометре СФ-4 по разности экстинкций в области максимума поглощения хлорофилла a в интактных клетках ($675\text{—}680 \text{ м}\mu$) и при $\lambda = 750 \text{ м}\mu$.

К сожалению, искажение спектра поглощения рассеянием не позволяет найти обоснованный способ расчета количества хлорофилла a по полученным данным. Можно только высказать некоторые сообра-

жения, которые помогут до некоторой степени обосновать расчет хотя бы сугубо приближенных величин содержания хлорофилла.

Допустим, что в пробе есть только хлорофилл *a*, что удельный коэффициент поглощения света хлорофиллом *a* один и тот же в ацетоновом растворе и в высушенных и просветленных маслом клетках фитопланктона на поверхности фильтра. Тогда по принятому в океанологии уравнению Ричардса и Томпсона (1952) концентрация хлорофилла *a* в экстракте (в *мг/л*) равна $C_a = 15,6 \cdot D_{665}$, или (в *мг/мл*) — $0,0156 \cdot D_{665}$. При сделанных выше условных допущениях количество хлорофилла (в *мг*) на 1 *см*² площади фильтра можно получить, умножив измеренную величину *D* на 0,0156, а количество хлорофилла на всей поверхности фильтра должно составлять $0,0156 \cdot 3,46 = 0,0541 \cdot D$, что в 2,6 раза меньше тех величин, которые можно получить, взяв коэффициент 0,14.

Первое принятое нами допущение не может сильно повлиять на результат. Даже если в экстракте есть хлорофилл *c* в равном количестве с хлорофиллом *a* и хлорофилл *b* в экстракте составляет 20% концентрации хлорофилла *a*, то и в этом случае, как это можно видеть из уравнения Ричардса и Томпсона ($D_{665} = 0,0667 C_a - 0,0065 C_c - 0,0011 C_b$), экстинкция при 655 *м*μ будет всего на 3,6% больше, чем в растворе, содержащем только хлорофилл *a*. Второе принятое допущение, по-видимому, также недалеко от истины, так как для объектов с малым рассеянием (протококковые) абсолютная высота максимумов на кривых поглощения, полученных обоими способами, лишь слабо различается (Винберг, Сивко, Ковалевская, 1960, см. рис. 2).

Примерно к тому же результату можно прийти и другим путем. Г. Г. Винберг, Т. Н. Сивко, Р. З. Ковалевская (1961) приводят данные, согласно которым количества хлорофилла, определенные фотометрически и рассчитанные по таблицам Т. Н. Годнева (1952), которыми пользовался Г. Г. Винберг и Т. Н. Сивко (1953), закономерным образом отличаются от результатов по спектрофотометрическим измерениям и формуле Ветштейна. Найденные последним путем величины составляли в среднем 60% от определенных в тех же пробах с помощью фотометра и таблиц Т. Н. Годнева. Важно, что почти в такой же мере (62,5%) отличаются удельные коэффициенты погашения в области максимума хлорофилла *a*, принятые Ричардсом и Томпсоном (15,6) и Ветштейном (9,8). Следовательно, результаты фотометрических определений по Г. Г. Винбергу и Т. Н. Сивко, которые положены в основу предложенного коэффициента 0,14, должны быть очень близки к спектрофотометрическим определениям методом Ричардса и Томпсона. В то же время при сделанном выше допущении, что в пробе содержится только хлорофилл *a*, по уравнению Ричардса и Томпсона при $D_{665} = 0,1$ $C_a = 1,56$ *мг/л*, а по таблицам Т. Н. Годнева этой величине экстинкции (на 1 *см*) соответствует 3,83 *мг/л*, т. е. в 2,46 раз больше хлорофилла. Это не должно удивлять, т. к. условия погашения монохроматического света в спектрофотометре, естественно, другие, чем относительно широкого участка спектра, пропускаемого светофильтрами фотометра Пульфриха. Следовательно, вторым независимым путем получаем, что найденный для фотометра типа Пульфриха коэффициент, по-видимому, примерно в 2,5 раза больше ожидаемого для экстинкций, измеренных на спектрофотометре.

Вполне понимая условность и даже произвольность принятия определенного коэффициента, мы все же считаем, что, умножив измерен-

ную на спектрофотометре экстинкцию просветленного фильтра на 0,05, получим общее количество хлорофилла a на фильтре с наилучшим из возможных приближений. Этот коэффициент и использован при расчетах приведенных ниже величин.

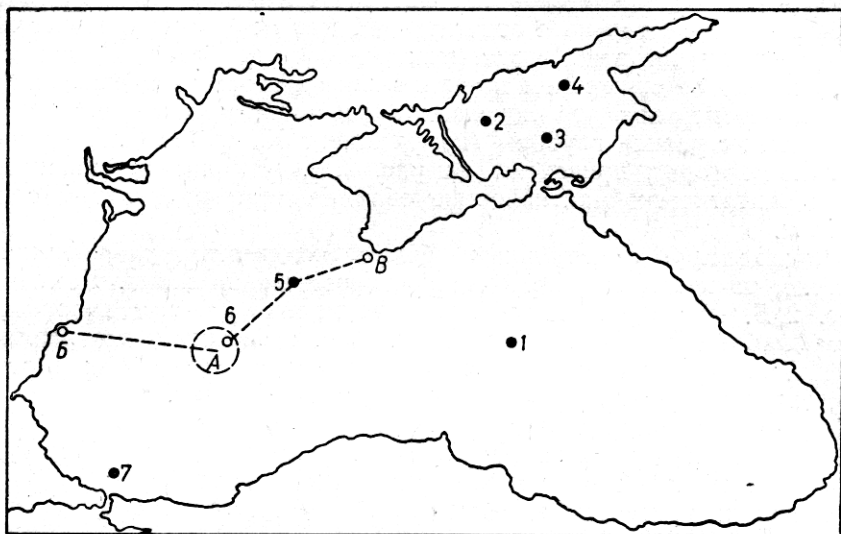


Рис. 1. Расположение станций, на которых определялась первичная продукция. Наблюдения 1960 г.:

А — район измерений в «центральной точке», В — у м. Калиакра, В — у м. Фиолент. Пунктиром показан курс судна, во время рейса которого отбирали пробы для определения хлорофилла. Наблюдения 1961 г.: 1 — 13.VIII, 2 — 16.VIII, 3 — 18.VIII, 4 — 21.VIII, 5 — 29.IX, 6 — 30.IX, 7 — 1.X.

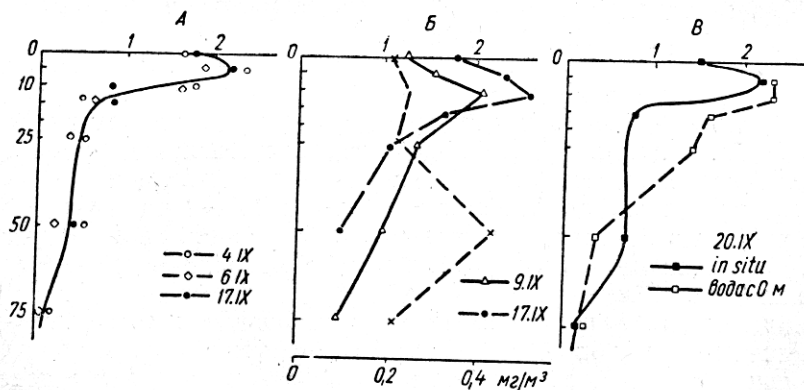


Рис. 2. Результаты определения первичной продукции в 1960 г.:

А — в районе «центральной точки»; В — там же, экспозиция у поверхности проб воды, взятых с разных глубин (сплошные линии), и содержание хлорофилла на разных глубинах (пунктир, шкала внизу); В — наблюдения у м. Фиолент. На горизонтальной шкале (сверху) — первичная продукция в мг С/м^3 в сутки, на вертикальной шкале — глубина в м.

В сентябре 1960 г. методом *in situ* было сделано несколько измерений первичной продукции в халистатической зоне западной части Черного моря (рис. 1, ст. А), результаты которых изображены на рис. 2, А. Все наблюдения, несмотря на разные сроки экспозиции (4,9—

24 часа, 6,9 — с 7 до 19 час., т. е. световой день, 17,9 — с 12 до 18 час., т. е. половина светового дня), дали практически одинаковые результаты, которые выражены кривой, построенной по средним величинам. Обращают на себя внимание очень малые величины первичной продукции и очень резкое снижение скорости фотосинтеза между 10 и 15 м. Последнее связано не только с относительно малым снижением интенсивности радиации на этих горизонтах (видимость белого диска 23—26 м), сколько со снижением потенциальной фотосинтетической активности планктона, как это показали экспозиции у поверхности проб воды, взятых с разной глубины (коэффициент K_p по Ю. И. Сорокину), результаты которых приведены на рис. 2, Б. Как видим, максимальной фотосинтетической активностью обладал планктон, взятый с глубины 10 м.

Распределение по глубинам общего количества хлорофилла в планктоне, точнее в сестоне, оказалось совершенно иным. Как видно из рис. 2, Б, максимум хлорофилла, несомненно за счет хлорофилла детрита, наблюдался на глубине 50 м. Резкие вертикальные различия интенсивности фотосинтеза, как и скопление детрита на 50 м, соответствуют гидрологическим условиям в период наблюдений.

На рис. 2, В приведены результаты измерений, сделанных 20 сентября в прибрежных водах Крыма у м. Фиолент. Они ничем существенным не отличаются от наблюдений в открытом море.

Первичная продукция в центральной части моря под 1 м² выразилась очень малыми величинами: 4. IX—0,054, 6. IX—0,039 и 17. IX—0,051, в среднем 0,047 гС/м² в сутки.

Интересно отметить, что наши данные как по абсолютной величине фотосинтеза планктона, так и по характеру кривой вертикального распределения и, наконец, по величинам продукции на 1 м² очень близки к результатам, полученным тем же методом в Средиземном море Бруарделем и Ринком (1956), которые в июле и октябре 1955 г. обмерили соответственно 0,030 и 0,040 гС/м² в сутки.

С 12 по 15 сентября было проведено четыре наблюдения за первичной продукцией в прибрежных водах Болгарии у м. Калиакр при глубине станции около 19 м и прозрачности воды по белому диску 9,5—12,5 м (табл. 1). Отдельные наблюдения, как обычно, дали не вполне совпадающие результаты, но средние величины отчетливо показывают, что здесь интенсивность фотосинтеза была в 1,5—2 раза выше, чем в тот же период в центральной части моря. В расчете на 1 м² до глубины 17,5 м первичная продукция составила в среднем из четырех наблюдений 0,042 гС/м² в сутки.

На данной станции параллельно с наблюдениями за первичной продукцией методом *in situ* 13, 14 и 15 сентября на все глубины устанавливались склянки, заполненные водой с поверхности, у поверхности воды экспонировались склянки, заполненные водой с разных горизонтов (определение K_t и K_p по Ю. И. Сорокину). Средние данные этих трех наблюдений, выраженные в процентах от интенсивности фотосинтеза у поверхности, приведены в табл. 2, где для сравнения да-

ны рассчитанные по методу Ю. И. Сорокина $\frac{(K_t \cdot K_p)}{100}$ и непосредствен-

но измеренные методом *in situ* величины первичной продукции. Приняв во внимание очень низкую интенсивность фотосинтеза в данном случае, что увеличивает влияние неизбежных методических погрешно-

Таблица 1

Результаты измерений первичной продукции (в $г С/м^2$ в сутки) в Черном море у м. Калиакр в 1960 г.

Глубина, м	12.IX	13.IX	15.IX	15.IX	Среднее
0	20,3°С	19,6°С	18,8°С	18,4°С	—
0	2,48*	3,24	6,08	2,54	3,78
5	1,64	4,72	4,68	1,54	3,19
10	1,67	1,11	1,44	1,42	1,88
15	1,38	2,28	0,78	1,93	2,16
—	0,030**	0,049	0,050	0,031	0,046

* В табл. 1, 3, 4, 5 первичная продукция выражена в $мг С/м^3$ в сутки.

** Первичная продукция выражена в $г С/м^2$ в сутки.

стей при небольшом числе наблюдений, мы не склонны придавать какое-либо значение недостаточно хорошему схождению рассчитанных и наблюдаемых величин для горизонтов 10 и 15 м.

Таблица 2

Результаты расчета первичной продукции в $мг/м^3$ в сутки по методу Ю. И. Сорокина по наблюдениям у м. Калиакр 13—15 сентября 1960 г.

Глубина, м	K_T , %	K_p , %	$K_T \cdot K_p$, %	Первичная продукция	
			100	Расчитано	По наблюдениям
0	100	100	100	—	3,95
5	113	79	89	3,51	3,65
10	80	71	57	2,55	1,32
15	41	58	24	0,95	1,70

Таблица 3

Результаты измерений первичной продукции в Черном море в 1961 г.

Глубина, м	13.VIII	29.IX	1.X
0	24,9°С	18,1°С	19,4°С
0	2,4	3,0	5,1
5	—	2,3	7,2
10	—	1,9	—
20	—	1,8	5,1
25	1,6	—	—
30	—	1,3	3,6
40	—	1,1	3,2
50	1,5	1,1	3,0
75	0,04	0,5	0,8
—	0,11	0,10	0,18

Немногие измерения, сделанные в 1961 г. в других районах открытого моря (табл. 3), также привели к очень низким величинам первичной продукции планктона. 13.VIII и 29.IX интенсивность фотосинтеза, так же как и при наблюдениях 1960 г., не превышала $3 мгС/м^3$ в сутки, но медленнее убывала с глубиной, в результате чего первичная продукция под $1 м^2$ оказалась примерно в 2,5 раза выше. Наблюдения 1.X показали значительно большую интенсивность фотосинтеза планктона.

На протяжении 1961 г. в разные сезоны было проведено шесть определений первичной продукции в Севастопольской бухте (табл. 4). Как и следовало ожидать, в верхних горизонтах во всех случаях отмечены более высокие значения интенсивности фотосинтеза, чем в открытом море, но в силу быстрого снижения фотосинтеза с глубиной величины продукции на $1 м^2$ в меньшей мере отличаются от первичной продукции открытого моря.

Таблица 4

Результаты измерений первичной продукции в Севастопольской бухте в 1961 г.

Глубина, м	1.I	10.V	22.VI	24.VII	20.IX	12.XII
0	7,2° С	15,4° С	19,0° С	23,0° С	21,5° С	11,0° С
0	50,7	43,1	16,0	7,0	73,3	21,2
1,5	18,6	—	8,4	22,4	—	—
2,5	25,0	21,2	6,9	22,3	—	17,8
5	18,6	17,8	5,3	11,9	58,6	12,7
10	8,5	6,1	4,6	11,8	18,3	0,4
14	5,2	3,1	2,3	1,3	3,7	0,9
—	0,22	0,20	0,08	0,17	0,56	0,12

Полученных данных недостаточно, чтобы судить о сезонном ходе фотосинтеза и рассчитать первичную продукцию за год. Но все же можно отметить неожиданно низкие результаты наблюдений в летние месяцы, когда по данным М. А. Добржанской (1954), полученным с помощью кислородной формы метода склянок, наблюдаются максимальные значения первичной продукции. При анализе полученных данных создается впечатление, что в среднем за год первичная продукция Севастопольской бухты близка к $0,25\text{--}0,30 \text{ гС/м}^2$ за день, или около $90\text{--}110 \text{ гС/м}^2$ за год. Это в четыре раза меньше величины, рассчитанной для Севастопольской бухты по данным М. А. Добржанской (Винберг, 1960).

В августе 1961 г. были сделаны три измерения первичной продукции в водах Азовского моря (рис. 1). Интенсивность фотосинтеза здесь

Таблица 5

Результаты измерений первичной продукции в Азовском море в 1961 г.

Глубина, м	16.VII	18.VIII	22.VIII
0	25,5° С	25,0° С	24,0° С
0	59,8	14,0	64,0
5	7,8	11,6	10,7
9	4,1	5,3	2,1
—	0,20	0,10	0,21

оказалась относительно высокой, хотя и не в такой степени, как это можно было ожидать для этого водоема (табл. 5). В силу низкой прозрачности воды в расчете на 1 м^2 первичная продукция оказалась такого же порядка, как в Севастопольской бухте, по приведенным ниже измерениям.

Ввиду предварительного характера данной статьи о первых данных начатого систематического изучения первичной продукции планктона Черного моря радиоуглеродным методом мы не видим возможности обсуждать причины и значение обнаруженных отличий полученных результатов от данных других авторов. Очевидно, они должны послужить исходным пунктом для дальнейших, более углубленных исследований, при которых, в частности, необходимо обратить особое внимание на методическую сторону, например, выяснить возможное влияние применения металлических батометров, различных способов обработки фильтров и др.

Определения содержания хлорофилла, проведенные в 1960 г. (табл. 6), как уже говорилось, имеют в основном относительное значение. Тем не менее они позволяют сделать некоторые заключения*.

* Спектрометрические измерения выполнены Т. И. Пшениной.

Таблица 6

Содержание хлорофилла (в мг/м^3) в планктоне (сестоне) по наблюдениям в сентябре 1960 г.

Район	Дата	Горизонт, м	П	М	Колебания
«Центральная точка»	1—9 и 17 сентября	0	9	0,202	0,150—0,314
		10	4	0,326	0,186—0,567
		25	3	0,224	0,114—0,333
		50	3	0,438	0,239—0,647
		75	5	0,213	0,068—0,450
У м. Калиакр	13—15 сентября	0	3	0,512	0,342—0,743
		5	3	0,535	0,400—0,770
		10	2	0,575	0,450—0,700
		15	2	0,438	0,364—0,518
Рейс от м. Калиакр к «центральной точке»	16 сентября	0	7	0,305	0,234—0,340
Рейс от «центральной точки» к м. Фиолент	18—19 сентября	0	9	0,354	0,233—0,550
У м. Фиолент	20 сентября	0	6	0,397	0,232—0,475

Примечание. П — число определений; М — средние величины.

Помимо определений содержания хлорофилла во время наблюдений за первичной продукцией, на протяжении пути от м. Калиакр до «центральной точки» и при возвращении к м. Фиолент каждые три часа брали пробы воды с поверхности (рис. 1). Полученные пробы дают возможность судить о степени изменчивости результатов определения содержания хлорофилла в различных районах западной части Черного моря. Во время следования от м. Калиакр к «центральной точке» с 0 по 18 часов 16 сентября были последовательно получены следующие величины: 0,340; 0,316; 0,283; 0,234; 0,314; 0,333 мг/м^3 и на пути к м. Фиолент с 15 час. 18 сентября по 15 час. 19 сентября — 0,234; 0,233; 0,500; 0,284; 0,250; 0,417; 0,316; 0,400 мг/м^3 . Можно отметить относительно небольшие различия результатов определений в разных районах, не превосходящие колеблемость данных повторных определений в различные дни и часы в одной точке.

Содержание хлорофилла при наблюдениях у м. Калиакр (табл. 6) оказалось по средним данным примерно в 2,5 раза выше, чем в центральной точке, с чем хорошо согласуется соответственно большая интенсивность фотосинтеза.

Сопоставив среднюю интенсивность фотосинтеза на горизонте, где она достигала максимальных величин, со средним содержанием хлорофилла в дни наблюдений, получим, что в центральной точке на 1 мг хлорофилла ассимилировалось $\frac{2,17}{0,230} = 9,5$, а у м. Калиакра $3,78/0,512 = 7,4$ мг С за сутки, или соответственно около 1 и 0,75 мг С за час дневного времени. Помня об условности использованных величин содержания хлорофилла, заметим только, что полученные соотношения должны быть оценены как низкие, хотя аналогичные и меньшие цифры неоднократно отмечали многие авторы (McAllister C. D., Parsons T. R., Strickland J. D., 1960). Итак, нет оснований полагать, что нами взяты заниженные величины против истинных количеств хлорофилла.

Об этом свидетельствуют также результаты определения содержания хлорофилла, проведенные в 1961 г. Р. З. Ковалевской в лаборатории БГУ по собранным З. З. Финенко пробам с помощью фотометрических измерений на экстракте пигментов по методу Г. Г. Винберга и Т. Н. Сивко (табл. 7).

Как видим, для открытого моря получены величины, очень сходные с приведенными выше. В Севастопольской бухте, естественно, содержа-

Таблица 7

Результаты определений содержания хлорофилла (в мг/м^3) в планктоне Черного моря в 1961 г. по методу Г. Г. Винберга и Т. Н. Сивко (1952)

Глубина, м	Открытое море			Севастополь- ская бухта	
	29.IX	30.IX	1.X	Глуби- на, м	12.XII
0	0,54	0,18	0,28	0	1,91
20	0,29	0,17	0,28	5	1,58
50	0,24	0,39	0,21	14	2,14
75	0,66	0,43	0,12	—	—

ние хлорофилла, как и интенсивность фотосинтеза, было в несколько раз больше. По этим данным легко вычислить соотношения между максимальной скоростью ассимиляции углерода и содержанием хлорофилла, которые для соответствующих дат составили: 29.IX — 6; 1.X — 26; 12.XII (Севастопольская бухта) — 11 мг С на 1 мг хлорофилла в сутки. При значительных колебаниях единичных определений, что отнюдь не представляет собой необычного явления, а скорее, служит правилом

при подобных расчетах, вновь получаем соотношения такого же порядка, как и приведенные выше.

В настоящей статье изложены лишь первоначальные результаты изучения первичной продукции при помощи радиоуглеродного и хлорофильного методов, которые могут быть полезны как исходный пункт последующего систематического их применения. При дальнейших более углубленных исследованиях плодотворность использования этих методов будет зависеть от того, в какой мере оно будет согласовано с получением соответствующих гидрологических данных, с измерениями энергии проникающей радиации, с определениями видового состава и биомассы фитопланктона.

ЛИТЕРАТУРА

- Винберг Г. Г., 1960, Первичная продукция водоемов, Минск.
 Винберг Г. Г., Сивко Т. Н., Ковалевская Р. З., 1961, Методы определения содержания хлорофилла в планктоне и некоторые итоги их применения, в сб.: «Первичная продукция морей и внутренних водоемов», Минск, стр. 231—240.
 Добрянская М. А., 1954, К вопросу о продукции фитопланктона в Черном море, сообщения 1 и 2, Тр. Севаст. биол. ст., т. VIII.
 Методическое пособие по определению первичной продукции органического вещества в водоемах радиоуглеродным методом, Минск, 1960.
 Сушеня Л. М., 1961, Содержание хлорофилла в планктоне Эгейского, Ионического и Адриатического морей, Океанология, т. I.
 Brouardel J., Rink E., 1956, Détermination de la production de matière organique en Méditerranée à l'aide du C^{14} , C. r. Acad. sci., 243.
 McAllister C. D., Parsons T. P. and Strickland J. D., 1960, Primary productivity, at station «P» in the North-East Pacific Ocean., J. conseil. Intern. explor. mer., 5 (3).
 Yentsch C. S., 1957, A non-extractiv method for the quantitative estimation of chlorophyll in algal culture, Nature, 179.