

С. И. КУЗНЕЦОВ, М. Е. ГАМБАРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА  
В ПРОЦЕССЕ ФОТОСИНТЕЗА В ОЗЕРЕ СЕВАН

Процессы круговорота вещества и газовый режим в водоемах теснейшим образом связаны с величиной первичной продукции органического вещества в процессе фотосинтеза (Г. Г. Винберг [1], С. И. Кузнецов [2]).

Так, с круговоротом органического вещества связан круговорот биогенных элементов — азота, фосфора и серы. В процессах деструкции органического вещества потребляется растворенный в воде кислород и т. д.

Определение величины первичной продукции органического вещества изучено достаточно полно для водоемов евтрофного типа (Винберг), где величина эта зачастую летом, во время активного фотосинтеза, равняется нескольким граммам на кв. м в сутки. Значительно хуже изучена величина фотосинтеза фитопланктона в олиготрофных водоемах. Здесь выделение кислорода в процессе фотосинтеза, как правило, не превышает сотых долей мг на л и часто укладывается в величину допустимой ошибки анализа при определении ее кислородным методом.

Надежное определение величины первичной продукции в олиготрофных водоемах стало возможным после применения для этих целей изотопной методики, разработанной для моря Стиксаном-Нильсеном [9] и применяемой для пресных водоемов С. И. Кузнецовым [3], Ю. И. Сорокиным [4] и др.

Пользуясь этим методом, Роде [7] определил величину фотосинтеза для олиготрофных озер Швеции и нашел, что для безледного периода она равняется примерно 100 мг С кв. м в сутки.

Приняв известное допущение, что фотосинтез в оз. Байкал идет в слое воды мощностью в 25 м в среднем с той же интенсивностью, как и в поверхностном слое, мы (Кузнецов) нашли величину фотосинтеза в оз. Байкал в период от 13 до 30 августа 1953 г. равной 133—570 мг углерода на 1 кв. м в сутки.

Задачей настоящей работы являлось: 1) разработать условия постановки опытов с применением  $C^{14}$  по определению величины первичной продукции органического вещества фитопланктона в оз. Севан; 2) определить биологическим путем глубину проникновения света в воду и 3) получить некоторые сравнительные данные о величине фотосинтеза в различных пунктах оз. Севан в середине августа 1957 г.

**Методика.** Определение первичной продукции органического вещества в оз. Севан проводилось по методу, разработанному Ю. И. Сороки-

ным. Определялась интенсивность фотосинтеза путем инкубации на палубе в течение суток 500 мл поверхностной воды с добавкой  $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$  в склянках, помещенных в аквариум. После суточной инкубации вода фильтровалась через мембранный фильтр. Последний обрабатывался 2% соляной кислотой для удаления радиоактивных карбонатов, а радиоактивность, образовавшегося в процессе фотосинтеза органического вещества, определялась под торцовым счетчиком.

Вертикальное распределение водорослей также определялось изотопным методом. Пробы воды по 500 мл, взятые с разных горизонтов с добавкой  $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$ , выдерживались также в аквариуме с водой на палубе судна в течение 5–6 ч. После этого они фиксировались формалином и вода фильтровалась через предварительный фильтр. Отношение величин радиоактивности фильтров с соответствующих глубин к поверхностному представляло коэффициент «распределения фитопланктона». Наконец, для определения глубины проникновения света в воду, культура *Chlorella rugenoidosa* разбавлялась Севанской водой и в нее вносился  $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$ . Полученная взвесь клеток с содержанием около 2 млн. в 1 мл, разливалась равными объемами в склянки, которые в течение суток инкубировались в озере на разных глубинах. Путем деления величины радиоактивности фильтров с соответствующих глубин на радиоактивность поверхностного получали коэффициент «проникновения света».

Количество органического вещества, образовавшегося в процессе фотосинтеза фитопланктона, рассчитывалось по формуле.

$$x = \frac{r \cdot C_k \cdot 1000}{K \cdot a} \text{ мгС на л в сутки.}$$

где:  $r$  — радиоактивность мембранного фильтра, учитываемая под счетчиком,

$R$  — общая радиоактивность воды после добавления в нее  $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$  в имп/мин. на л.

$C_k$  — общее количество углерода углекислоты и карбонатов в 1 л воды, взятые для опыта.

$a$  — количество мл профильтрованной через мембранный фильтр воды, в которой определялась величина фотосинтеза фитопланктона.

Определение величины общей радиоактивности воды производилось по методу, предложенному Ю. И. Сорокиным [5]. В пробирку вносилось 3 мл 1/10 н. КОН, 1 мл испытуемой воды, 0,3 мл 1% раствора  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , 1 мл 5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и 1 мл 10%  $\text{BaCl}_2$ . При этом вся углекислота выпадала в осадок в виде углекислого бария. Последний отфильтровывался через мембранный фильтр, активность его учитывалась под торцовым счетчиком, а величина самопоглощения определялась по кривой, описанной в монографии Calvin, Heidelberg, Ried, Tolbert и Vankwich [6]. Вносить 0,3 мл  $\text{K}_2\text{CO}_3$  в случае определения радиоактивности в опытах с севанской водой необходимо, т. к. это способствует полноте осаждения карбонатов.

Чтобы избежать внесения поправки на неполноту учета радиоактивности под торцовым счетчиком, определение активности фитопланктона

в конце опыта и радиоактивности карбонатов в севанской воде производилось в стандартных условиях. Фильтрование производилось через одну и ту же воронку, а учет активности производился на одном и том же расстоянии мембранного фильтра от торцового счетчика. В этом случае поправка на торцовый счетчик входит в качестве множителя в числитель и знаменатель приведенной выше формулы и сокращается.

При постановке опытов по определению величины фотосинтеза мы вносили 500 мл озерной воды, 2 мл раствора  $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$  с удельной активностью около  $1,5 \mu\text{Ci}$ .

Как оказалось впоследствии, благодаря малой величине фотосинтеза, активность фильтров была слишком мала и колебалась около 30—40 имп/мин на л. Таким образом, в дальнейшем, при определении изотопным методом продукции органического вещества фитопланктона в оз. Севан на 500 мл воды следует добавлять около 10 мл раствора  $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$  с удельной активностью  $1,5\text{--}2 \mu\text{Ci}$ , если торцовый счетчик учитывает  $1(5\text{--}1)7$  действительного числа импульсов.

*Определение глубины проникновения света в воду оз. Севан.* Для решения целого ряда вопросов, связанных с продуктивностью оз. Севан, необходимо было знать глубину проникновения света. Величину эту можно определить физическими и биологическими методами. По данным Ю. И. Сорокина и М. В. Козлянинова [5], в Тихом океане зависимость фотосинтеза от освещенности водной толщи выражается одинаковыми величинами как при измерении ее фотометром, так и биологическим методом. Для определения этой величины в оз. Севан нами был использован биологический метод Schomer Juday [8]. Культура *Chlorella pyrenoidosa* с содержанием около 2 млн. клеток в 1 мл вносилась по 100 мл в склянки, помещенные в черные мешочки. В каждую склянку добавлялось по 0,5 мл раствора  $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$  с удельной активностью  $1,5 \mu\text{Ci}$ . Склянки привязывались к тросу и черные мешочки снимались с них только в момент погружения их на различные глубины в озеро. Трос был привязан к буйку и вся установка сутки оставалась в Малом Севане (глубина станции 69 м). В конце опыта каждая культура тотчас же фиксировалась формалином. По прибытии в лабораторию вода из склянок фильтровалась через мембранные фильтры. Последние высушивались, обрабатывались соляной кислотой и активность их учитывалась под счетчиком. Данные анализон представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Как видно из приводимой таблицы и кривой, на глубину 10 м проникает 64% от количества света, поступающего в поверхностный слой воды. Практически, 3% света, при котором еще может происходить фотосинтез, проникает до 30 м. На глубине 50 м даже у такой активной культуры, как *Chlorella pyrenoidosa*, фотосинтез прекращается полностью, так как до этой глубины проникает лишь 0,7% света.

*Определение суточной величины продукции органического вещества в процессе фотосинтеза в августе 1957 г.* Определение продукции органического вещества в процессе фотосинтеза фитопланктона было произведено нами в августе, в момент довольно значительного развития фито-

Таблица 1

Определение глубины проникновения света в оз. Севан

Глубина в м	Радиоактивность фильтра в имп/мин	Проникновение света в глубину в % от поверхности	Коэффициент проникновения света
0	3768	100	1,00
10	2353	64,0	0,64
20	541	14,3	0,14
30	64	2,8	0,03
50	28	0,7	0,007
68	27	0,7	0,007

планктона. Определения были проведены в 8 пунктах озера на стандартных станциях по вышеописанному методу.

Непосредственное определение величины фотосинтеза мы получили для поверхностного образца воды. Затем на каждой станции определялись коэффициенты вертикального распределения водорослей по величине фотосинтеза в образцах воды, взятых с 0, 5, 10, 20, 30, 50, и 68 м глубины, и помещенных на один срок в одинаковые условия освещения.

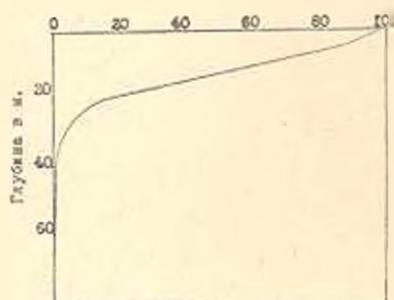


Рис. 1. Интенсивность проникновения света в толщу воды оз. Севан (в %)

Перемножая величину фотосинтеза в поверхностной пробе на соответствующие коэффициенты для каждой глубины на каждой станции, можно было рассчитать величину фотосинтеза по глубинам. Соответственные расчеты в мг С на 1 куб. м воды в сутки представлены для 9 станций на рис. 2.

Фотосинтез в оз. Севан идет очень слабо. Как видно из рис. 2, на станциях 1, 2, 3, 4 и 7 максимальная величина суточной продукции органического вещества в результате фотосинтеза фитопланктона наблюдалась на глубине 5—10 м и достигла 4—8 мг С на 1 куб. м в сутки. Это, в основном, связано с тем, что на этих глубинах было максимальное количество жизнедеятельного фитопланктона, свет проникал сюда в достаточном количестве, а потому фотосинтез шел активно.

На глубине 30 м величина фотосинтеза не превышала 0,1—0,2 мг С на куб. м воды в сутки.

Для того, чтобы можно было сравнить продукцию органического вещества в оз. Севан с таковой в других водоемах, мы пересчитали графическим методом полученные для каждой станции цифры на площадь в 1 кв. м.

Данные по величине поверхностного фотосинтеза и продукции органического вещества под 1 кв. м поверхности представлены в табл. 2 и рис. 3.

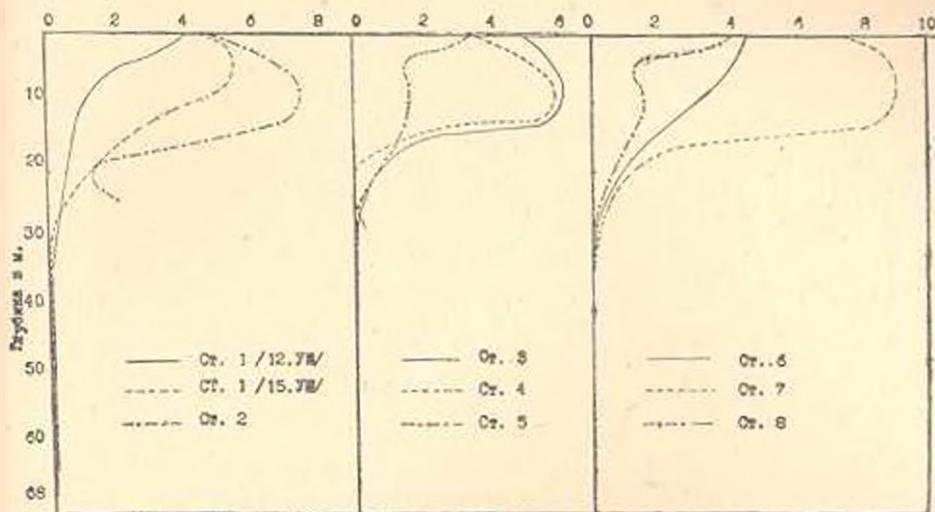


Рис. 2. Величина фотосинтеза в различных районах и глубинах оз. Севан (в мг С в куб. м воды в сутки).



Рис. 3. Продукция органического вещества под 1 кв. м поверхности воды оз. Севан (в мг С в сутки)

Из приведенных данных видно, что наибольшая величина продукции органического вещества была в открытой части Большого Севана, достигая 177 мг углерода на 1 кв. м поверхности в сутки и опускалась до 42—46 мг в бухте Глагол и против мыса Сарикая. Таким образом, продукция

Таблица 2

Величина фотосинтеза фитопланктона в оз. Севан в августе 1957 г.

№ станции	Дата анализа	Глубина станции в м	Суточная величина фотосинтеза	
			в поверхностной воде в мг С на 1 кв. м	под 1 кв. м по- верхности озера в мг С
1	12/VIII	67	4,05	47,0
1	15/VIII	69	4,50	106,5
2	12/VIII	25	4,0	109,0
3	12/VIII	65	4,95	113,5
4	12/VIII	33	3,15	97,1
5	12/VIII	28	3,37	46,2
6	13/VIII	34	4,50	76,3
7	13/VIII	35	7,20	177,5
8	30/VIII	30	4,05	42,1

органического вещества в оз. Севан приближается к соответствующим величинам, которые наблюдались в озере Байкал (С. И. Кузнецов [3]) и в Индийском океане (Steemann—Nielsen [9]), и далеко отстает от соответствующих величин в евтрофных озерах.

Полученные нами величины нужно рассматривать как первые попытки определить величину первичной продукции органического вещества в оз. Севан. Необходимо заметить, что в дальнейшем, при определении величины фотосинтеза органического вещества изотопным методом, в модификации Ю. И. Сорокина [4], необходимо в условиях оз. Севан добавлять большее количество радиоактивного изотопа в виде  $\text{Na}_2\text{C}^{14}\text{O}_3$ , чем это делали мы. Это особенно касается опытов по изучению вертикального распределения водорослей, т. к. они ставятся на более короткий срок по сравнению с определениями величины фотосинтеза в поверхностной воде.

### В ы в о д ы

1. Изотопный метод определения величины фотосинтеза вполне применим в условиях оз. Севан. Однако при постановке опытов необходимо вносить большие количества меченого изотопа углерода, порядка 10  $\mu\text{Ci}$  на л. ввиду малой интенсивности самого процесса.

2. Фотосинтез в оз. Севан идет достаточно интенсивно до глубины 20 м и практически прекращается на глубине около 30 м. На глубину 50 м проникает лишь около 0,07% света, падающего на поверхность озера.

3. В августе суточная величина фотосинтеза в различных пунктах озера колебалась от 42 до 177 мг С на 1 кв. м поверхности. Наиболее интенсивно фотосинтез шел в открытой части Большого Севана.

Ս. Ի. ԿՈՒՋՆԵՑՈՎ, Մ. Ե. ՂԱՄԲԱՐՅԱՆ

**ՖՈՏՈՍՄԹԵԶԻ ՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹՆԵՐԻ ԱՐՏԱԳՐԱՆՔԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ  
ՍԵՎՅԱՆ ԱՆՈՒՄ**

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Մեր հետազոտությունները ցույց են տվել, որ Սևանա լճի պայմաններում ֆոտոսինթեզի ինտենսիվությունը լրիվ հնարավոր է սրղել իզոտոպային մեթոդով Միայն, հաջի ատներով ֆոտոսինթեզի թույլ ընթացքը, փորձ դեկու ժամանակ հարկավոր է վերցնել ամխածնի նշված իզոտոպի մեծ քանակությու՝ ոչ պակաս, քան 10 լ Ս. 1 յ շրին:

Ֆոտոսինթեզը Սևանա լճում մինչև 20 մ խորությունը ընթանում է բավական ինտենսիվ և զորձնականորին ընդհատվում է մոտավորապես 30 մ խորության վրա:

Օդոտոս ամսում Սևանա լճի տարրեր կետերում ֆոտոսինթեզի մեծությունը մեկ օրվա ընթացքում տատանվում է 42—177 մլգ Ս 1 մ<sup>2</sup> մակերեսում: Նույն ժամանակ ամենաինտենսիվ ֆոտոսինթեզը դիտվել է Մեծ Սևանի բաց հատվածում:

**Л И Т Е Р А Т У Р А**

1. Винберг Г. Г. К вопросу о балансе органического вещества в водоемах. Сообщ. 1—IV. Гр. Лимнологической ст. в Косане, вып. 18, 1935; вып. 20, 1935, вып. 21, 1937, вып. 22, 1939.
2. Кузнецов С. И. Роль микроорганизмов и круговороте веществ в озерах. М., Изд-во АН СССР, 1952.
3. Кузнецов С. И. Использование радиоактивной углекислоты  $C^{14}$  для определения сравнительной величины фотосинтеза и хемосинтеза в ряде озер различных типов. Сбор. Изотопы и микробиология, 126, Изд. АН СССР, М., 1955.
4. Сорокин Ю. И. Применение меченого углерода  $C^{14}$  для изучения процесса фотосинтеза. Тр. Всес. гидробиол. г-ва, т. 7, 1955.
5. Сорокин Ю. И. и Козлянинов М. В. Определение зависимости фотосинтеза от освещенности подной толщи в Японском море и Тихом океане. ДАН СССР, т. 116(5), 863, 1957.
6. Calvin M., Heidelberger C., Reid J. C., Tolbert B. M., Yankwich. Isotopic Carbon, New-York, 1949.
7. Rodhe W. Primarproduktion und Sectypen verh internat. Verein Zimnologie Bd. XIII, 121—141, 1948.
8. Schomer H. A. a. Juday C. Photousynthesis of algae of different depths in some pakes of North-eastern Wisconsin Transact. Wise. Acad. Sci. 29, 173, 1935.
9. Siermann Nielsen. The use of radioactive carbon ( $C^{14}$ ) for measurement organic production in the Sea. J. du Conseil pour l'exploration de la mer, vol 18, (2)117, 1952.