

ГИДРОБИОЛОГИЯ

Л. А. ЛАНСКАЯ и С. И. СИВКОВ

**О ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ТЕМПАМИ РАЗВИТИЯ КУЛЬТУР  
МОРСКИХ ДИАТОМОВЫХ И СУММАМИ РАДИАЦИИ**

(Представлено академиком Н. А. Максимовым 27 V 1950)

Опыты, результаты которых излагаются в настоящем сообщении, проводились совместно Карадагской биологической станцией АН УССР и Карадагской актинометрической обсерваторией Гидрометслужбы СССР в 1940—1941 гг. Их задачей была разработка методики исследования количественных зависимостей между радиационными условиями и развитием морского фитопланктона. Предполагалось, что работы послужат началом для дальнейших исследований в этом направлении.

Работа проводилась в лабораторных условиях. Культуры диатомовых выращивались при естественном освещении. Радиационные условия определялись измерениями на месте установки чашек с культурами (более подробно о методике культивирования и измерениях радиации говорится в сообщении <sup>(1)</sup>). Число клеток в чашках с культурами подсчитывалось ежедневно.

Темп развития культур характеризовался средним числом последовательных делений клеток за время опыта  $n$  и за одни сутки  $n/t$ . Это число легко определяется, если учесть, что из одной клетки после  $n$  последовательных делений получается  $2^n$  клеток. Если из  $N_0$  клеток получилось  $N_t$  клеток, то  $N_t/N_0 = 2^n$ , откуда  $n = \frac{\lg N_t - \lg N_0}{\lg 2}$ .

Радиационные условия за время опыта характеризовались двумя величинами: 1) суммой радиации (в калориях на 1 см<sup>2</sup>), полученной поверхностью клетки в среднем за одни сутки,  $Q/t$ , где  $Q$  — сумма радиации, падавшей на поверхность клетки за все время опыта,  $t$  — продолжительность опыта в сутках; 2) суммой радиации, полученной клеткой за время между двумя последовательными делениями,  $Q/n$ .

Первая из этих характеристик в сопоставлении с числом делений  $n$  дает возможность проследить соотношение между темпом развития и количеством лучистой энергии, полученной клеткой. Вторая характеризует эффективность использования лучистой энергии клеткой в процессе фотосинтеза. Чем больший процент падающей на поверхность клетки энергии используется для ассимиляции, тем меньше величина  $Q/n$ , и наоборот.

Опыты обычно прекращались тогда, когда увеличение числа клеток в чашке с культурой делало невозможным точный подсчет их. В некоторых случаях число клеток стабилизировалось, а иногда наблюдалось даже отмирание клеток и уменьшение их числа. В этих случаях использовались данные только за то время, когда в культурах происходило развитие и наблюдалось увеличение числа клеток.

Для настоящей работы оказалось возможным использовать результаты 41 опыта. Число это нельзя считать достаточным для установления бесспорных количественных зависимостей между темпами развития водорослей в культурах и радиационными условиями. Однако некоторые выводы могут быть сделаны и на основании этих опытов. Основу для таких выводов может дать табл. 1, содержащая сводку результатов всех произведенных опытов.

Таблица 1  
Результаты опытов

Вид водоросли	Число опытов	Средние			Максимальн.			Минимальн.		
		$n/t$	$Q/t$	$Q/n$	$n/t$	$Q/t$	$Q/n$	$n/t$	$Q/t$	$Q/n$
<i>Coseinodiscus</i>										
<i>Granii</i> . . . .	5	0,58	6,6	11,5	0,9	9,0	14,4	0,3	2,3	8,1
<i>Coseinodiscus</i> sp.	3	0,60	8,4	14,4	0,8	8,7	18,5	0,4	8,2	10,4
<i>Coseinodiscus</i> <i>excentricus</i> . .	17	0,39	5,1	14,9	0,9	7,2	21,7	0,2	2,8	5,5
<i>Ditylium Bright-</i> <i>welli</i> . . . .	6	0,92	5,8	7,6	1,4	7,4	12,2	0,5	3,3	3,5
<i>Rhizosolenia cale-</i> <i>ar-avis</i> . . . .	8	0,61	5,8	10,7	1,0	8,4	18,7	0,4	3,3	5,2
<i>Biddulphia mobili-</i> <i>cus</i> . . . .	2	0,35	4,5	16,2	0,5	5,6	21,7	0,2	3,4	10,8

Из табл. 1 и отдельных опытов следует:

1. Средняя дневная сумма радиации на 1 см<sup>2</sup> горизонтальной поверхности клетки получилась приблизительно одинаковой для всех шести видов, так как опыты производились преимущественно при сходных радиационных условиях. В среднем эта сумма составила около 6 кал. на 1 см<sup>2</sup> за день, или приблизительно 1% от суммарной радиации, падающей от солнца и неба на поверхность моря в летние месяцы в условиях Карадага. Это соответствует радиационным условиям, которые в море создаются в летние месяцы на глубинах порядка 10 м.

Как интенсивности, так и дневные суммы радиации, доходившей до поверхности клеток в наших опытах, были значительно ниже оптимальных, при которых процесс фотосинтеза протекает наиболее интенсивно. Так, по данным Дженкин (2), оптимальной интенсивностью радиации оказалась величина 2 кал. на 1 см<sup>2</sup> в час (что должно составить около 20 кал. на 1 см<sup>2</sup> за день), а максимальной, выше которой уже начинала наблюдаться контракция хлоропластов и отмирание клеток,— интенсивность 10 кал. на 1 см<sup>2</sup> в час (или около 100 кал. за день). Однако радиационные условия в наших опытах можно считать типичными для тех глубин, в которых находится очень значительная часть общей биомассы фитопланктона.

2. Нижним пределом обеспечения лучистой энергии в наших опытах оказалась дневная сумма 2 кал. на 1 см<sup>2</sup>. Наиболее низкими дневными суммами, при которых еще наблюдалось размножение клеток, были суммы 2,3 и 2,8 кал. Однако при этих условиях развитие культур через некоторое время прекращалось и клетки начинали отмирать. При снижении дневных сумм радиации до 1 кал. на 1 см<sup>2</sup> клетки не делились.

В уже упоминавшихся опытах Дженкин (2) радиационная «точка компенсации» (т. е. интенсивность радиации, при которой количество кислорода, выделенное в процессе фотосинтеза, равно количеству кислорода, затраченному на дыхание в течение суток) была найдена равной 0,13 кал. на 1 см<sup>2</sup> в час (или, в световых единицах, 360 люксов), что

соответствует дневной сумме около 1,5 кал. на 1 см<sup>2</sup> за день. Эта цифра находится в удовлетворительном согласии с полученной нами минимальной суммой 2 кал. на 1 см<sup>2</sup> в день, если учесть, что «точка компенсации», при которой только поддерживается существование клетки, должна лежать ниже минимума, за которым становится возможным размножение.

Интересно отметить, что данные Дженкин получены совершенно иным методом, чем наши (интенсивность фотосинтеза клетками *Coscinodiscus excentricus* определялась по количеству кислорода, выделенного большим количеством клеток, содержавшихся в стеклянных бутылках, которые на время опытов погружались на различные глубины в море).

3. Среднее число делений в сутки, характеризующее продуктивность, оказывается различным у разных видов. У *Ditylium Brightwelli* оно явно выше, чем у остальных видов. Максимальная продуктивность у *Ditylium* составляла 1,4 деления в сутки, т. е. около 3 делений за 2 суток у *Coscinodiscus* и *Rhizosolenia* — около 1 деления в сутки. Минимальная продуктивность — 1 деление за 5 суток. Дальнейшее снижение продуктивности приводило к замианию культуры.

Максимальная возможная продуктивность клеток и соответствующие ей оптимальные радиационные условия не могли быть установлены нашими опытами. Для этого нужно было бы проводить наблюдения при значительно больших интенсивностях радиации, что должно было явиться задачей дальнейших исследований. Однако интересно отметить, что наблюдавшиеся в наших опытах максимальные числа 1,0—1,4 деления в сутки оказываются высокими по сравнению с полученными в лабораторных условиях другими авторами. Так, в опытах Стенбери (3), производившихся при естественном освещении в лаборатории над культурами *Nitzschia closterium*, наибольшее число делений в сутки составляло 0,5—0,6. В опытах Брааруда (4), в лаборатории при непрерывном искусственном освещении от 800 до 1500 люксов были отмечены максимальные величины  $n/t$  для *Skeletonema costatum* 1,2 дня *Thalassiosira Nordenstkioldi* 1,4, для *Chaetoceras curvisetus* 1,0. Эти величины близки к полученным нами, но можно думать, что они далеки от максимальных возможных, так как перечисленные виды дают очень высокие темпы развития во время весенних вспышек, тогда как у форм, наблюдавшихся нами, таких интенсивных вспышек не отмечается.

Вполне вероятно, что в опытах Брааруда и Стенбери замедление темпов развития клеток в культурах явилось следствием перенаселенности культур. В этих опытах число клеток в 1 см<sup>3</sup> культуры измерялось тысячами, а иногда доходило до десятков тысяч. В наших опытах на 1 см<sup>3</sup> питательного раствора приходилось не более 2—3 клеток, т. е. условия ближе подходили к естественным. В опытах Дженкин для *Coscinodiscus excentricus* в море было отмечено среднее число делений за сутки, равное 0,33, что очень близко подходит к полученному нами (0,39).

4. Сумма радиации, получаемой клеткой за время между двумя последовательными делениями,  $Q/n$ , для разных видов оказывается различной. Это значит, что эффективность использования лучистой энергии у разных видов различна. Так, *Ditylium* и *Rhizosolenia* значительно лучше используют лучистую энергию, чем *Coscinodiscus*. Однако и для одного и того же вида величина  $Q/n$  может колебаться в очень широких пределах (например, для *Coscinodiscus excentricus* крайние значения  $Q/n$  находятся в отношении 1:4). В 25 опытах, относящихся к одному и тому же роду *Coscinodiscus*, можно выделить три группы, отличающиеся друг от друга величиной отношения и, следовательно, различной эффективностью использования лучистой энергии. В первой из этих групп (9 случаев) для развития клетки от одного деления до

следующего требуется меньше 12 кал. на 1 см<sup>2</sup> (наиболее интенсивное использование радиации). Вторая группа (8 случаев) включает величины  $Q/n$  в пределах от 12 до 18 кал. (средняя интенсивность использования), а третья (также 8 случаев) — величины, большие 18 кал. и характеризующие пониженную интенсивность использования лучистой энергии. В пределах каждой группы можно установить прямую пропорциональность между дневной суммой радиации и числом делений клеток. Если же не принимать во внимание величину  $Q/n$ , то переменная интенсивность использования лучистой энергии настолько затушевывает зависимость между числом делений и суммой радиации, что эта зависимость представляется очень неопределенной.

Причины этих изменений энергии фотосинтеза заслуживают специального исследования. Можно думать, что они связаны с биологией клетки и ее предшествующей историей. Так, особенно интенсивное использование лучистой энергии было отмечено при развитии «новых» клеток, недавно образовавшихся из спор (<sup>1</sup>). Но особенно интересно отметить изменение энергии фотосинтеза под влиянием внешних факторов и, прежде всего, радиационных условий. В 2 опытах, когда средние дневные суммы радиации приближались к минимуму (2,3 и 2,8 кал.), была отмечена очень высокая интенсивность использования радиации (величины  $Q/n$  в этих случаях оказались равными 8,1 и 5,5 кал.). В первом из этих случаев малые суммы радиации были следствием естественного зимнего снижения прихода радиации (опыт проводился во второй половине ноября). Во втором случае уменьшение радиации было получено искусственно — путем закрывания чашки с культурой матовым стеклом, пропускающим только около 40% падающей на стекло радиации.

В этом последнем случае медленное развитие клеток наблюдалось в течение 4 дней, после чего прекратилось и культура замерла. Однако и это медленное развитие могло происходить только при очень повышенной энергии фотосинтеза.

Эти опыты дают основание предполагать, что изменения энергии фотосинтеза являются естественной реакцией клетки на отклонение радиационных (а возможно, и не только радиационных) условий среды от оптимума. Если это так, то способность клеток в широких пределах изменять интенсивность процесса фотосинтеза можно считать одним из очень существенных приспособлений к радиационным условиям среды,ющим изменяться в очень широких пределах на различных глубинах зоны распространения фитопланктона. Эти предположения все же нуждаются в проверке на более обширном материале.

Получение надежных количественных характеристик продуктивности фитопланктона, в особенности его массовых форм, могло бы способствовать значительному уточнению подсчетов биомассы фитопланктона, ее возобновления и кормового использования. Изложенная здесь методика исследования могла бы быть применена для этой цели как в лабораторных, так и в естественных условиях.

Карадагская биологическая станция

Академии наук УССР и  
Карадагская актинометрическая обсерватория  
Гидрометслужбы СССР

Поступило  
3 V 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Л. А. Ланская и С. И. Сивков, ДАН, 67, 1147 (1949). <sup>2</sup> Р. М. Jenkin,  
Journ. Mar. Biol. Assoc., 22, 301 (1937). <sup>3</sup> F. A. Stambury, ibid., 17, 633 (1931).  
<sup>4</sup> T. Graatud, Journ. du Cons. Perman. Intern., 12, 321 (1937).