

лись изменения активности дегидрогеназ при облучении гомогенатов сфокусированным и расфокусированным лучом гелий-неонового лазера (табл. 3). Оказалось, что в первом случае наблюдается повышение активности всех анализируемых ферментов в гомогенатах как сердца, так и мозга. Использование расфокусированного на всю площадь кюветы луча лазера приводило к повышению активности ферментов только в сердце и к снижению активности дегидрогеназ мозга.

В опытах *in vivo* применение сфокусированного луча дало более выраженный стимулирующий эффект на активность ферментов, чем при облучении расфокусированным лучом [6].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для объяснения стимулирующего действия лазерного излучения на живой организм недостаточно привлечь только нервно-рефлекторный механизм, а необходимо детально изучать физико-химические основы этого явления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамалея Н. Ф. Лазеры в эксперименте и клинике.— М., 1972.
2. Никитина М. М., Маслаков А. И.— Вести. МГУ. Сер. биол., 1977, № 4, с. 12.
3. Богданович У. Я., Гордеева А. И., Краснощекова Е. Е. и др.— Ортопед., травматол., протезирование, 1976, № 3, с. 35.
4. Nordmann J., Nordmann R., Jaurechery O.— Bull. Soc. Chim. Biol., 1951, v. 33, № 12, p. 1826.
5. Богуш Н. А., Мостовников В. А., Мохорева С. И., Пикулев А. Т. и др.— Докл. АН БССР, 1977, т. 21, № 8, с. 759.
6. Богуш Н. А., Мостовников В. А., Пикулев А. Т., Хохлов И. В.— Вестн АН БССР. Сер. биол. наук, 1980, № 3, с. 80.

Поступила в редакцию
06.01.81.

Кафедра биохимии

УДК 574.53 : 51

В. Ф. ИКОННИКОВ

ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИН ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА

Наряду с прямыми методами определения первичной продукции фитопланктона в водоемах (метод склянок в кислородной и радиоуглеродной модификациях) большое распространение получили косвенные методы ее оценки. Среди них можно выделить эмпирические модели, для построения которых пользуются, как правило, методами математической статистики, в частности, методами корреляционного и регрессионного анализа. Однако часто приходится сталкиваться с трудностями применения таких моделей на практике, связанными в основном с определением значений эмпирических коэффициентов, входящих в уравнения расчета величин первичной продукции.

В настоящей работе рассматривается ряд эмпирических моделей расчета первичной продукции фитопланктона под 1 м² поверхности водоема.

Полевые данные получены сотрудниками Отдела гидробиологии Проблемной НИЛ экспериментальной биологии во время проведения комплексных экспедиционных исследований на мезотрофном оз. Нарочь (май—август 1977), эвтрофном оз. Мястро (июнь—август 1975), высокоэвтрофном оз. Баторин (июль 1977) и водоеме-охладителе Березовской ГРЭС оз. Белом (март 1973).

Эмпирические модели расчета первичной продукции фитопланктона под 1 м² поверхности водоема (A_m , г О/м²·сут) можно подразделить на три типа, основанные на: 1) измерении скорости фотосинтеза на оптимальной глубине, т. е. на глубине с оптимальной освещенностью (A_{max} , г О/м³·сут), и закономерностях вертикального распределения скоростей фотосинтеза фитопланктона; 2) изменении содержания в воде биогенных веществ; 3) балансе растворенного в воде кислорода.

В пределах одной статьи, естественно, невозможно рассмотреть все модели; остановимся лишь на моделях первого типа.

Одной из простых моделей этого типа является следующая [1—3]:

$$A_m = A_{\max} \cdot K_{\phi} \cdot S, \quad (1)$$

где K_{ϕ} — коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние вертикального распределения водорослей и интенсивности света на скорость фотосинтеза; S — прозрачность воды по диску Секки, м. Трудность применения этой модели на практике связана с выбором значения коэффициента, который изменяется от водоема к водоему, а также в течение сезона в одном водоеме.

В модели [4] величина первичной продукции выражается через эффективную глубину ($Z_{\text{эф}}$),

$$A_m = A_{\max} \cdot Z_{\text{эф}}, \quad (2)$$

которая, однако, в этой модели зависит от содержания хлорофилла a в планктоне ($C_{\text{хл}}$): $Z_{\text{эф}} = a \cdot \exp(-b \cdot C_{\text{хл}})$, где a , b — эмпирические коэффициенты. Повышение содержания хлорофилла в планктоне вызывает, с одной стороны, рост интенсивности фотосинтеза, с другой — увеличение поглощения света в воде. Наличие двух противоположных тенденций приводит к установлению определенной геометрии вертикального профиля фотосинтеза.

Модель расчета первичной продукции фитопланктона [5] строится на предположении, что продукция под 1 м^2 пропорциональна содержанию хлорофилла a и энергии солнечной радиации. В модели учитывается также, что продукция фитопланктона закономерно снижается с повышением экстинкции света в воде. Расчет продукции ведется по следующей формуле:

$$A_m = \frac{\alpha \cdot C_{\text{хл}} \cdot I_0}{\varepsilon}, \quad (3)$$

где α — коэффициент пропорциональности; ε — коэффициент вертикального ослабления света в воде, м^{-1} ; I_0 — поверхностная радиация, $\text{кал/см}^2 \cdot \text{день}$.

Модель Райли [6] строится на предположении, что скорость фотосинтеза прямо пропорциональна интенсивности света: $A = \rho \cdot I$, где ρ — коэффициент пропорциональности.

Полагая, что интенсивность света уменьшается с глубиной по экспоненциальному закону, можно записать $A_z = \rho \cdot I_0 \cdot \exp(-\varepsilon \cdot Z)$. Величину первичной продукции под 1 м^2 поверхности водоема можно получить, интегрируя это уравнение по глубине от поверхности до глубины эвфотной зоны:

$$A_m = \frac{\rho \cdot I_0}{\varepsilon Z_{\text{эф}}} \cdot [1 - \exp(-\varepsilon \cdot Z_{\text{эф}})], \quad (4)$$

где $Z_{\text{эф}}$ — глубина эвфотной зоны, т. е. глубина, на которой еще имеются минимальные условия для фотосинтеза.

Большое распространение получил метод расчета первичной продукции под 1 м^2 по максимальной скорости фотосинтеза на оптимальной глубине и зависимости скорости фотосинтеза от интенсивности света. Чаще других применяется уравнение Толлинга [7, 8]:

$$A_m = \frac{A_{\max}}{\varepsilon} \cdot [\ln I_0 - \ln 0,5 \cdot I_K], \quad (5)$$

где I_K — величина начала светового насыщения фотосинтеза. Она определяется экстраполяцией начального линейного участка световой кривой.

вой фотосинтеза до пересечения с линией, соответствующей максимальной скорости фотосинтеза.

Таблица 1

Гидрооптическая характеристика и показатели
первичной продукции исследуемых водоемов

Водоем, время исследования	A_m , г О/м ² ·сут	A_{max} , г О/м ² ·сут	Хлорофилл а, мг/м ³	S, м	$Z_{эф}$, м
оз. Нарочь, 1977 май — август	1,93	0,31	3,8	5,00	12,0
оз. Мястро, 1975					
июнь	2,82	1,48	17,4	1,29	4,0
июль	4,04	1,96	17,5	1,26	
август	5,37	3,28	50,3	0,95	
оз. Баторин, 1977					
июль	3,49	6,89	66,8	0,39	1,2
оз. Белое, 1973					
март	2,35	2,79	28,8	0,53	1,5

Таблица 2

Значения параметров для расчета первичной продукции планктона
под 1 м² поверхности водоема

Водоем, время исследования	K_f	I_K	α	b	ρ	a
оз. Нарочь, 1977 май—август	1,13	40	5,2	0,0021	0,040	0,0009
оз. Мястро, 1975						
июнь	1,45	37	2,1	0,0065	0,040	0,0006
июль	1,59	32	2,1	0,0065	0,055	0,0008
август	1,67	26	2,1	0,0065	0,110	0,0005
оз. Баторин, 1977						
июль	1,25	56	1,6	0,0171	0,050	0,0004
оз. Белое, 1973						
март	1,63	13	—	—	0,066	0,0014

По предложенным моделям рассчитаны величины первичной продукции в исследованных водоемах; некоторые продукционные характеристики их приведены в табл. 1. Эмпирические коэффициенты для водоемов с разным уровнем трофности изменяются в довольно широких пределах: $K_f = 1,13-1,63$; $I_K = 13-56$; $\alpha = 0,0004-0,0014$; $\rho = 0,040-0,110$ (табл. 2). Низкие величины коэффициента K_f , полученные для оз. Нарочь, типичны для водоемов с высокой прозрачностью. Большие величины этого коэффициента для оз. Белое обусловлены высоким отношением A_m/A_{max} , что вполне объяснимо. Фотосинтез в этом озере в период исследований шел до глубин, где интенсивность света была гораздо ниже 1 % от поверхностной интенсивности света, которую обычно принимают за нижнюю границу фотосинтеза. Значительные колебания величин I_K в исследованных озерах связаны со световыми условиями в них, а следовательно, и с различной адаптацией к свету естественных популяций фи-

Средние относительные отклонения
расчетных величин первичной продукции под 1 м²
от наблюдаемых *in situ* (Δ , %)

Водоем, время исследования	Число наблюдений	Расчет по формуле				
		1	2	3	4	5
оз. Нарочь, 1977 май—август	7	15,7	13,3	40,9	31,2	13,6
оз. Мястро, 1975 июнь	23	14,7	12,8	24,6	22,2	10,9
июль	31	14,0	15,0	24,5	27,5	11,9
август	29	11,9	12,6	21,3	23,7	7,1
оз. Баторин, 1977 июль	7	20,5	14,4	28,9	20,8	11,1
оз. Белое, 1973 март	20	18,2	—	17,5	17,3	13,8

топланктона. Для величин I_K в оз. Мястро характерен четкий сезонный ход. В свою очередь, для эмпирических коэффициентов α и ρ не выявлены закономерные изменения в исследуемых водоемах.

Степень соответствия расчетных величин с наблюдаемыми *in situ* выражалась величиной относительного отклонения: $\Delta = |A_{m,набл} - A_{m,расч}|/A_{m,расч}$. В табл. 3 приведены значения средних относительных отклонений для различных моделей расчета первичной продукции. Хорошее соответствие расчетных величин продукции с наблюдаемыми *in situ* получено для уравнения (5). Среднее относительное отклонение находилось в пределах 7,1—13,8 %. Для моделей 1 и 2 разброс средних отклонений составил 11,9—20,5 и 12,6—15,0 % соответственно. Большой размах отклонений получен для моделей 3, 4. Такой результат не является неожиданным, поскольку эти модели строились на довольно упрощенных предположениях, которые не отражают в полной мере реальных процессов в водной системе.

Таким образом, из моделей, предложенных для оценки уровня первичной продукции, более подходящими оказались эмпирические модели 1, 2 и 5. Коэффициенты, входящие в эти модели, довольно существенно различаются в водоемах с неодинаковым уровнем развития продукционных процессов. Более того, некоторые из них имеют четко выраженный сезонный ход. В связи с этим при использовании моделей необходимо применять коэффициенты, полученные для соответствующего типа водоемов и сезона года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин Ю. И.—Труды Всесоюз. гидробиол. об-ва, 1956, т. 7, с. 271.
2. Романенко В. И.—Биол. внутр. вод: информ. бюл., 1973, № 19, с. 15.
3. Винберг Г. Г.—Известия АН СССР, Серия биол., 1975, № 1, с. 83.
4. Megard R. O., Smith P. D.—Limnol. and Oceanogr., 1974, v. 19, p. 279.
5. Steele J. H.—Limnol. and Oceanogr., 1962, v. 7, p. 137.
6. Riley G. A.—J. Mar. Res., 1946, v. 6, p. 54.
7. Talling J. F.—New Phytol. 1957a, v. 56, p. 29.
8. Talling J. F.—New Phytol., 1957b, v. 56, p. 133.

Поступила в редакцию
10.12.80.

Отдел гидробиологии Проблемной ННЛ экспериментальной биологии