

ЭКОЛОГИЯ МОРЯ



13

1983

Д. К. КРУПАТКИНА, Л. В. КУЗЬМЕНКО

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВИДОВОЙ СОСТАВ ФИТОПЛАНКТОНА В РАЗНЫХ ТИПАХ ВОД

Величина первичной продукции, измеренная радиоуглеродным методом, является балансом продукции и деструкции органического вещества. На ее основе трудно анализировать закономерности, определяющие величину собственно продукции, а также прогнозировать ее в разных условиях. Эффективным показателем могла бы стать удельная продукция, т. е. скорость деления клеток в единицу времени, однако ее измерение очень трудоемко. В последние годы Р. Эппли [4] предложил экспресс-метод расчета удельной продукции, разработанный для мезотрофных вод, применение которого для олиготрофных вод связано с методическими трудностями. Обогащение морской воды биогенными элементами приводило к изменению видового состава фитопланктона и удельной продукции в течение эксперимента, а также к несовпадению расчетных и измеренных ее величин.

Задача настоящей работы состояла в сравнении измеренных и расчетных величин удельной продукции фитопланктона олиго- и мезотрофных вод, объяснении различий между ними и определении применимости метода Р. Эппли для разных типов вод.

Работа выполнена в Атлантическом океане (Саргассово море и прилежащие к нему районы, шельф Канарских о-вов и Северной Америки) в сентябре — декабре 1976 (14-й рейс НИС «Академик Вернадский») и мае — июле 1978 г. (34-й рейс НИС «Михаил Ломоносов»).

Методика. Воду, взятую с поверхности, фильтровали через мельничное сито № 47 для удаления крупных зоопланктеров, после чего ее обогащали биогенными элементами так, что концентрация азота и фосфора для олиготрофного района повышалась примерно на порядок, достигая $50 \text{ мг PO}_4 \cdot \text{м}^{-3}$ и $300 \text{ мг NO}_3 \cdot \text{м}^{-3}$.

Чтобы измерить скорость фотосинтеза, 2,5—3 л воды разливали в склянки емкостью 250 мл и вносили 1 мл раствора $\text{NaHC}^{14}\text{O}_3$ активностью 20 мк Ки. Склянки экспонировали круглосуточно при интенсивности света $0,07 \text{ кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$ и температуре 22°C . Для экспозиции проб экспериментально была выбрана интенсивность света, при которой активность фитопланктона с течением времени возрастала по экспоненте, что позволило сократить длительность экспериментов до 2 сут [1].

Скорость фотосинтеза измеряли через 2, 4, 6, 12, 24, 48 и 96 ч.

Одновременно в темных склянках измеряли поглощение меченного углерода фитопланктоном и бактериями. Все определения проводили в двух- и трехкратной повторностях. Обогащенную и необогащенную воду из склянок затем фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 1,0 — 1,2 мкм. По величинам первичной продукции, согласно схеме Р. Эппли [4], были рассчитаны (метод А) биомасса исходного фитопланктона (P_0) и скорость его деления за сутки (μ_0).

Биомасса определена по формуле Эппли [4]:

$$P_0 = \frac{\Delta P_1^2}{\Delta P_2 - 2\Delta P_1},$$

где P_0 — исходная биомасса фитопланктона, мг/С; ΔP_1 и ΔP_2 — количество углерода, ассимилированное соответственно за время t_1 и t_2 .

Скорость роста фитопланктона

$$\mu = \frac{3,32}{t} \lg \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right),$$

где t — время, сут; P_0 — начальная биомасса, мг С; ΔP — увеличение биомассы, мг С, за время t .

Таблица 1. Изменение скорости деления (μ) и видового состава фитопланктона из олиготрофных вод при обогащении биогенными элементами

Опыт	Экспозиция	μ	Видовой состав фитопланктона (экспозиция — 4 сут)	
	сут		Обогащенная проба	Необогащенная проба
Рассчитанная по методу Р. Эппли (μ_0)				
1	0,5	0,77	Мелкие жгутиковые, <i>Chaetoceros</i> sp., <i>Nitzschia closterium</i>	Мелкие жгутиковые
2	1 4	7,37 0,53	Мелкие жгутиковые, <i>Gymnodinium simplex</i> , <i>Chaetoceros</i> sp.	» »
3	1	0,92	<i>Chaetoceros</i> sp., <i>Gymnodinium</i> sp., <i>Nitzschia tenuirostris</i>	Мелкие жгутиковые (мало)
4	1 4	1,92 2,47	Мелкие жгутиковые, <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Nitzschia tenuirostris</i>	Мелкие жгутиковые, <i>Gymnodinium</i> sp.
5	1 3	12,94 0,26	Колониальная зеленая водоросль из <i>Chlorophyta</i>	Мелкие жгутиковые, <i>Coccolithus huxleyi</i>
Измеренная по приросту хлорофилла (μ_1)				
6	4	—	Зеленые клетки (много) из <i>Chlorophyta</i> , <i>Coccolithus huxleyi</i> , <i>Syracosphaera</i> sp., <i>Chaetoceros</i> sp., <i>Gymnodinium</i> sp.	Мелкие жгутиковые (мало) <i>Coccolithus huxleyi</i> , <i>Syracosphaera</i> sp., <i>Dictyocha</i> sp., <i>Hemiaulus hauckii</i>
7	1	0,58	Овальные клетки из <i>Chlorophyta</i> , <i>Gymnodinium</i> sp., <i>Dictyocha fibula</i> , <i>Chaetoceros</i> sp., <i>Oxytoxum</i> sp.	Овальные клетки из <i>Chlorophyta</i> (единично)
8	2 3 5	0,70 — 2,75	Мелкие жгутиковые, <i>Nitzschia</i> sp.	Мелкие жгутиковые
9	1 2	0,21 2,16	<i>Gymnodinium</i> sp., <i>Gymnodinium pajadeum</i>	» »
10	4	5,64	<i>Chaetoceros</i> sp., <i>Nitzschia</i> sp.	» »

Скорость роста фитопланктона, измеренная по приросту хлорофилла, определена по уравнению

$$\lg Ca = \lg Ca_0 + \mu_2 t$$

(Ca_0 — начальная концентрация хлорофилла, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$; Ca — концентрация после времени t ; μ_2 — константа скорости роста и t — время, сут).

Для измерения скорости фотосинтеза и концентрации хлорофилла использовали воду из одного и того же батометра. Для определения хлорофилла обогащенную и необогащенную биогенными элементами воду разливали в стеклянные бутылки емкостью 20 л. Через 1—4 сут отбирали пробы (по 5—10 л) обогащенной и необогащенной воды для измерения содержания фосфора и хлорофилла. Содержание хлорофилла «а» устанавливали стандартным спектрофотометрическим методом [2]. Содержание фосфатов определяли по методике [7]. В пробах обогащенной и необогащенной воды в конце опыта (на 2—4-е сут) исследовали видовой состав фитопланктона.

Результаты. В олиготрофном районе обогащение морской воды биогенными элементами приводило к изменению видового состава фитопланктона. Так, в 10 экспериментах в обогащенной и необогащенной пробах развивались, как правило, разные виды: для первой более характерны диатомеи, а для второй — пиропитовые, кокколитофориды и мелкие жгутиковые (табл. 1).

Таблица 2. Сравнение скорости деления (μ) фитопланктона, рассчитанной по схеме Р. Эппли (μ_0) измеренной по приросту хлорофилла (μ_1) и численности фитопланктона (μ_2 , осадочный метод) в обогащенных и необогащенных пробах разных типов вод

Проба морской воды	Экспозиция, сут	Исходное содержание хлорофилла «а», мг·м ⁻³	μ, сут			Массовые виды (1—25 млн. кл·м ⁻³)
			μ ₀	μ ₁	μ ₂	
Мезотрофный район						
Обогащенная (50 мг PO ₄ ·м ⁻³ и 300 мг NO ₃ ·м ⁻³)	0	3,20	—	—	—	Dinophysis acuta, Exuviaella compressa, Ceratium longipes, Exuviaella cordata, Cyclotella sp.
	2	—	0,22	—	0,20	
Необогащенная	2	—	0,07	—	0,18	Dinophysis acuta, Exuviaella compressa, Ceratium longipes, Thalessiosira sp., Cyclotella sp.
Олиготрофный район						
Обогащенная (50 мг PO ₄ ·м ⁻³ и 300 мг NO ₃ ·м ⁻³)	0	0,06	—	—	—	Мелкие перидиниевые, жгутиковые, кокколитофориды
	1	—	0,08	1,7	2,04	
	0	0,05	—	—	—	—
	1	—	—	—	—	
	2	—	1,28	—	0,96	—
	0	0,11	—	—	—	
	1	—	—	—	—	—
	2	—	0,31	2,0	2,64	

Наряду с изменением видового состава обнаружено изменение скорости деления фитопланктона как по измеренным, так и по расчетным величинам. Скорость деления клеток, измеренная по приросту хлорофилла, увеличивалась от начала до конца эксперимента (1—5-е сут) и с возрастанием концентрации хлорофилла «а». Так, в пяти экспериментах в 1-е сут μ_1 составляла 0,21—0,58, на 2-е возрастала до 0,7 и 2,16. На 4—5-е сут μ_1 повысилась до 2,75—5,64 деления. Если рассчитать скорость деления фитопланктона по

Таблица 3. Влияние концентрации биогенных элементов, добавляемых в воду,

Район	Тип эксперимента	Биогенные элементы, мг·м ⁻³			
		исходная концентрация		при обогащении	
		PO ₄ -P	NO ₃ -N	PO ₄ -P	NO ₃ -N
Саргассово море	Накопительный	3	1,4	150	720
Шельф Северной Америки	Проток	22	120	5—8	2,3—33,9
Озеро Кейг	Проток	9—21 (весна)	~420	15	~420
		>1,5 (лето)	~420	75	~420
Шельф Северной Америки	Накопительный	~30	~300	~50	~300
Саргассово море	То же	~1,5	0,0	~50	~300

методу Эппли, то величина μ_0 изменялась на порядок (см. табл. 1), причем это не связано с длительностью эксперимента.

Сравнение измеренных разными методами и расчетных величин скорости деления, полученных в одном и том же эксперименте, для разных типов вод показано в табл. 2. Как видно из приведенных результатов, через 2 сут измеренные и рассчитанные μ в олиготрофном районе различались на 1—2 порядка. Напротив, в мезотрофном районе (шельф Северной Америки) обогащение морской воды биогенными элементами практически не приводило к изменению видового состава фитопланктона. Так, в обогащенной и необогащенной пробах через 2 сут развивались пять практически одинаковых массовых видов (см. табл. 2). Наряду с одинаковым видовым составом обнаружены близкие значения скорости деления клеток в обеих пробах. В результате измеренные и рассчитанные μ оказались также практически одинаковыми.

Обсуждение. Из довольно многочисленных публикаций о влиянии биогенных элементов на видовой состав фитопланктона мы, естественно, ограничили лишь теми, в которых: 1) фитопланктон до опыта не рос при обогащении проб биогенными элементами, 2) продолжительность экспозиции не превышала 2 сут, 3) видовой состав обогащенной пробы после 2 сут сравнивался с исходным. Влияние концентрации биогенных элементов на видовой состав фитопланктона, по нашим и литературным данным, показано в табл. 3. Видовой состав фитопланктона зависит от концентрации биогенных элементов, добавляемых в воду, и района исследований. После добавления биогенных элементов в пробы из мезотрофных вод видовой состав фитопланктона в них не меняется, тогда как в олиготрофных происходит обратный процесс. Особый интерес представляет работа Б. Петтерсона с соавторами [6], в которой исследовалось влияние добавок фосфора на индекс видового разнообразия фитопланктона одновременно в хемостате и турбидистате.

Обнаружено, что индекс практически не изменялся, если добавляемая концентрация не превышала концентрации фосфата в озере (хемостат). В то же время индекс уменьшался, если добавляемая концентрация значительно превышала концентрацию фосфора (турбидистат). Эти результаты подтверждаются работой Д. Мензела [5] по олиготрофным водам Саргассова моря, когда из 19 исходных видов в обогащенной пробе растет лишь 4.

на видовой состав фитопланктона (массовые виды) после 2 сут экспозиции

Видовой состав фитопланктона		Автор
исходный	через 2 сут	
<i>Coccolithus huxleyi</i> , <i>Leptocylindrus danicus</i> , <i>Nitzschia delicatissima</i> , <i>Gymnodinium punctatum</i>	<i>Chaetoceros</i> sp., <i>Skeletonema costatum</i>	[5]
<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Thalassiosira nitzschiodes</i> , <i>Thalassiosira nordenskioldii</i> , <i>Guinardia flaccida</i>	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Thalassiosira nitzschiodes</i> , <i>Thalassiosira nordenskioldii</i> , <i>Guinardia flaccida</i>	[3]
Индекс видового разнообразия не изменялся		[6]
Индекс видового разнообразия уменьшался		
<i>Dinophysis acuta</i> , <i>Exuviaella compressa</i> , <i>Ceratium longipes</i> , <i>Exuviaella cordata</i> , <i>Cyclotella</i> sp.	<i>Dinophysis acuta</i> , <i>Exuviaella compressa</i> , <i>Ceratium longipes</i> , <i>Thalassiosira</i> sp., <i>Cyclotella</i> sp.	Наши данные
<i>Exuviaella cordata</i> , <i>Gymnodinium</i> sp., <i>Oxytoxum variabile</i> , <i>Phalacroma</i> sp., <i>Rhizosolenia stouterfothii</i>	Клетки из <i>Chlorophyta</i>	То же

Из приведенных данных следует, что метод Р. Эппли [4] дает достоверные результаты только в мезотрофных водах и оказывается непригодным в олиготрофных, поскольку концентрация добавляемых биогенных элементов в последних значительно превышает их концентрацию в воде. Так как повышенная концентрация биогенных элементов изменяет видовой состав, то полученные данные нельзя отнести к исходному фитопланктону. Отсюда измеренные и рассчитанные μ в олиготрофных водах различаются значительно.

1. Финенко З. З., Ланская Л. А. Скорость роста фитопланктона в экваториальном районе Тихого океана. — Тр. Ин-та океанологии, 1975, 102, с. 123—130.
2. *Determination of photosynthesis pigments in sea water.* — Paris : UNESCO, 1966. — 69 p.
3. Dunstan W. M., Menzel D. W. Continuous cultures of natural populations of phytoplankton in dilute, treated sewage effluent. — *Limnol and Oceanogr.*, 1971, 16, N 14, p. 623—632.
4. Eppley R. An incubation method for estimating the carbon content of phytoplankton in natural samples. — *Ibid.*, 1968, 13, N 4, p. 574—582.
5. Menzel D. W., Hulbert E. M., Ryther J. H. The effect of enriching Sargasso Sea water on the production and species composition the phytoplankton. — *Deep-Sea Res.*, 1963, 10, N 3, p. 209—220.
6. Peterson B., Barlow J., Savage A. The physiological state with respect to phosphorus of Cayuga Lake phytoplankton. — *Limnol. and Oceanogr.*, 1974, 19, N 3, p. 396—408.
7. Strickland J. D. H., Parsons T. R. A practical handbook of sea water analysis. — *J. Fish. Res. Board Can.*, 1968, N 1, p. 49—62.

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

Поступила в редколлегия
13.11.81

D. K. KRUPATKINA, L. V. KUZMENKO

EFFECT OF BIOGENIC ELEMENT ADDITIVES AND PHYTOPLANKTON SPECIES COMPOSITION IN VARIOUS TYPES OF WATERS

Summary

The method gives reliable results in mesotrophic waters. Enrichment in biogenic elements brings about no essential changes in the species composition because the concentration of the biogenic elements added does not exceed their concentration in water. Specific phytoplankton production calculated by the Eppli method and measured proved to be practically the same. Results of the method in oligotrophic waters are unreliable. Enrichment in biogenic elements induces changes in the species composition, as concentration of the added biogenic elements increases considerably their concentration in sea water. The calculated and measured specific productions in calculated and measured specific productions in this case have an order difference.

УДК 539.163:546.1:577.475(262.5)

А. В. ПАРХОМЕНКО, З. З. ФИНЕНКО,
В. Н. ЕГОРОВ

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКОГО ФОСФОРА МИКРОПЛАНКТОНОМ В ОЛИГОТРОФНЫХ ВОДАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИОИЗОТОПНОГО ИНДИКАТОРА

Обычно в открытых и прибрежных водах морей и океанов, где часто наблюдаются низкие концентрации фосфатов, скорость их включения в продукционные процессы определяют с помощью радиофосфора [2, 5, 7, 8]. Недостатком этого метода является то, что с его помощью учитывается не все количество поглощенного организмами радиоактивного фосфора, так как часть поглощенных атомов, принимая участие в обменных процессах, выводится из клеток в среду. Какая доля поглощенного микроорганизмами радиофосфора попадает в среду, зависит от многих условий, в частности от продолжительности опыта и физиологического состояния организмов.