

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ISSN 0203-4646

ЭКОЛОГИЯ МОРЕЯ

1871



29
—
1988

ЭКОСИСТЕМЫ ШЕЛЬФОВЫХ ЗОН

УДК 579:574.582:551.464.618(262.5)

М. В. КИРИКОВА, Л. В. СТЕЛЬМАХ

ПОГЛОЩЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ФОРМ УГЛЕРОДА И ФОСФОРА МИКРОПЛАНКТОННЫМ СООБЩЕСТВОМ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

В последние годы большое значение придается измерению скоростей потоков неорганических форм углерода, азота и фосфора в микропланктонном сообществе, однако лишь в немногочисленных исследованиях дана оценка физиологического состояния фито- и бактериопланктона на основе сопоставления отношения скоростей поглощения биогенных элементов. В прибрежной полосе Черного моря до настоящего времени соответствующие исследования не проводились. Целью нашей работы явилось изучение скорости поглощения неорганических форм углерода и фосфора и их отношения, позволяющее дать характеристику физиологического состояния фито- и бактериопланктона прибрежной части Черного моря.

Материал и методы. Наблюдения проведены в Севастопольской бухте с апреля 1985 по февраль 1986 г. Пробы морской воды отбирали с поверхности и фильтровали через капроновое сито с диаметром пор 150 мкм для удаления крупного зоопланктона. Фильтрат разливали в 2-литровые колбы и для определения скорости поглощения неорганического углерода вносили меченный по ^{14}C бикарбонат натрия, а для определения скорости поглощения реактивного фосфора — ортофосфорную кислоту (без носителя), меченную по ^{32}P . Колбы с водой экспонировали при температуре 20—22 °C и постоянной освещенности, создаваемой лампами ДС-40. Интенсивность света в опытах составляла 0,07 кал·см⁻²·мин⁻¹. Из колб последовательно через 0,5 ч, 1 ч и затем каждые 2 ч отбирали пробы. Определение скорости поглощения реактивного фосфора и углерода осуществляли на ядерных фильтрах с размером пор 0,45 мкм в двух-трех повторностях. Объем проб составил соответственно 50 и 100—200 мл. Сорбцию ^{14}C на фильтрах устраняли путем промывки фильтров 2 мл 0,1%-ной HCl. Контролем на сорбцию ^{32}P , не связанную с биологическим поглощением, служили пробы с добавкой сулемы. Исходную активность меченого бикарбоната и активность фильтров с меченым по ^{14}C микропланктоном определяли на сцинтилляционной установке БЕТА-1 с применением жидкого сцинтиллятора ЖС-8И. Скорость фотосинтеза рассчитывали по общепринятой формуле [1]. Измерение исходной активности ^{32}P и активности фильтров с меченым по ^{32}P микропланктоном осуществляли на торцовом счетчике СБТ-13 в свинцовой защите и пересчетном приборе ПСО2-08. Скорость поглощения реактивного фосфора рассчитывалась по увеличению активности микропланктона на фильтрах. Лимитирующая процесс потребления реактивного фосфора концентрация фосфатов установлена экспериментально. В пробы воды объемом 1 л последовательно добавляли различное количество $\text{K}_2\text{H}_2\text{PO}_4$ так, что был получен ряд возрастающих концентраций от 0,05—0,18 до 1,0 мкг-атР·л⁻¹. Содержание фосфатов в каждом случае устанавливали колориметрически; затем определяли зависимость скорости поглощения фосфатов от их концентрации, позволяющую графически установить константу полуна-

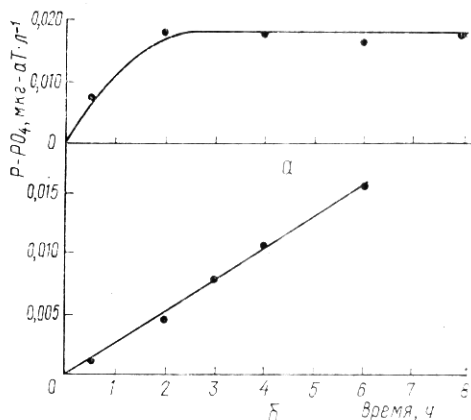
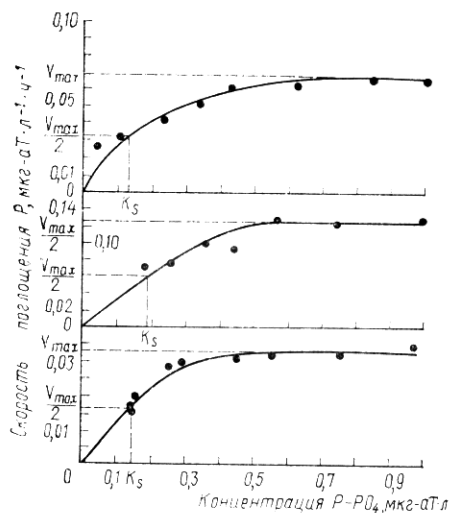


Рис. 1. Примеры графического определения концентрации фосфатов, лимитирующей поглощение реактивного фосфора микропланктонным сообществом Севастопольской бухты:

V_{max} — максимальная скорость поглощения, K_s — константа полунасыщения

Рис. 2. Кинетика поглощения реактивного фосфора микропланктоном:
а — при содержании фосфатов менее $0,1 \text{ мкг-атР} \cdot \text{л}^{-1}$; б — более $0,1 \text{ мкг-атР} \cdot \text{л}^{-1}$

сыщения (рис. 1). Определения неорганического фосфора проведены Д. Л. Гвоздевой стандартным методом [2].

Результаты. В период исследований содержание растворенного неорганического фосфора в воде Севастопольской бухты изменялось от $0,04$ до $0,68 \text{ мкг-атР} \cdot \text{л}^{-1}$ с максимальными значениями в осенне-зимний период и уменьшаясь весной и летом почти на порядок (см. таблицу). Поглощение реактивного фосфора фито- и бактериопланктоном, напротив, с максимальной скоростью происходило в весенне-летний период, а осенью и зимой скорость процесса снижалась. Средние значения скорости поглощения составили для соответствующих сезонов $0,026$ и $0,003 \text{ мкг-атР} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Определение концентрации фосфатов, лимитирующей процесс потребления неорганического фосфора, показало, что ее значения находились в пределах $0,06$ — $0,20 \text{ мкг-атР} \cdot \text{л}^{-1}$. Как правило, константа полунасыщения оказалась ниже или была равна концентрации фосфатов в среде и лишь при крайнем истощении среды неорганическим фосфором, превышала его содержание и, следовательно, только в отдельных случаях недостаток фосфатов в среде лимитировал процесс их потребления.

От содержания фосфатов в среде существенно зависит характер кинетики поглощения реактивного фосфора микропланктоном в течение нескольких часов. При низкой концентрации фосфатов (менее $0,1 \text{ мкг-атР} \cdot \text{л}^{-1}$), характерной для весенне-летнего периода, потребление происходило нелинейно (рис. 2, а). Изотопное равновесие наступало довольно быстро — после 1 — 2 ч экспонирования. При более высоком содержании неорганического фосфора наблюдалась прямо пропорциональная зависимость количества поглощенного фосфора от времени в течение 6 — 8 ч (рис. 2, б). Эти различия, в связи с необходимостью анализа изменений скорости поглощения фосфора по сезонам и сопоставления ее с фотоавтотрофной активностью микропланктона, обусловили выбор $0,5$ -часовой экспозиции для расчета скорости поглощения реактивного фосфора, углерода и отношения $C : P$.

Скорость поглощения неорганического углерода в весенне-летний период отличалась повышенными значениями (в среднем для периода $3,55 \text{ мкг-атС} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$). Осенью и зимой величины уменьшались почти

Скорости поглощения микропланктонным сообществом Севастопольской бухты неорганических форм углерода и фосфора

Дата	Концентрация Р—Р _{О₄} , мкг-ат Р·л ⁻¹	Скорость поглощения		С : Р
		мкг-ат С·л ⁻¹ ·ч ⁻¹	мкг-ат Р·л ⁻¹ ·ч ⁻¹	
1985 г.				
11.04	0,07	1,00	0,030	33
22.04	0,04	11,16	0,024	465
10.06	0,15	1,38	0,034	41
30.07	0,05	0,66	0,016	41
11.09	0,54	0,12	0,004	30
22.10	0,23	0,30	0,005	60
29.11	0,28	0,68	0,002	340
11.12	0,68	0,07	0,002	35
1986 г.				
05.02	0,27	0,92	0,003	307

на порядок и составили в среднем 0,42 мкг-атС·л⁻¹·ч⁻¹. Поглощение неорганического углерода в течение 6—8 ч, как правило, происходило линейно (рис. 3, а). В отдельных случаях была отмечена нелинейная зависимость: в первые 2 ч углерод поглощался крайне медленно, а затем наблюдалось резкое увеличение количества поглощенного углерода (рис. 3, б). Отношение скоростей поглощения неорганических форм углерода и фосфора фито- и бактериопланктоном колебалось в широких пределах — от 30 : 1 до 465 : 1 (см. таблицу). Закономерные сезонные изменения отношения не установлены. Чаще всего встречались значения между 30 : 1 и 60 : 1.

Обсуждение. Отношение углерода и фосфора в фитопланктоне при оптимальных условиях составляет в атомной форме (100—108) : 1 [3, 9] и существенно увеличивается при лимитировании фосфором [4, 6, 7]. Сопоставление величин отношения углерода и фосфора во взвеси в водах с различным содержанием биогенных элементов позволяет оценить физиологическое состояние микропланктона. Однако в естественных условиях результаты измерений могут быть искажены за счет присутствия детрита. Свободной от этого недостатка является оценка отношения поглощения неорганических форм углерода и фосфора фито- и бактериопланктоном. Результаты измерений показывают, что отношение ассимиляции С : Р может существенно отличаться от стехиометрического, а пределы колебаний отношения могут быть достаточно широки. Так, в открытых океанических водах отношение изменяется от 7 : 1 до 81 : 1 [7]. В прибрежных районах атомное отношение скоростей поглощения подвержено наибольшим колебаниям и может изменяться в пределах (6—410) : 1 [4, 5, 8]. На основании анализа атомного отношения скоростей поглощения неорганических форм углерода и фосфора высказывается суждение, согласно которому микропланктон, лимитированный по фосфору, имеет высокие значения отношения, тогда как при избытке фосфатов характерны низкие значения [7].

Исследования, проведенные в Севастопольской бухте, показали, что отношение потоков неорганических форм углерода и фосфора может изменяться от 30 : 1 до 465 : 1. Наиболее часто весной и летом встречались значения между 30 : 1 и 60 : 1. Их, видимо, следует считать характерными для микропланктонного сообщества Севастопольской бухты в весенне-летний период. Эти величины отношения, более низкие, чем стехиометрическое, отражают высокую относительно углерода скорость ассимиляции фосфора, что указывает на хорошую обеспеченность вод фосфатами. Строгое лимитирование отсутствует даже при содержании фосфатов, не достигающем значений константы полунасыщения (см. таблицу, 30.07.85 г.).

Величина отношения поглощения неорганических форм углерода и фосфора достигает наибольшего значения в апреле (22.04.85 г.).

В данном случае процесс потребления реактивного фосфора лимитирован его недостатком в среде: концентрация фосфатов в среде существенно ниже константы полунасыщения. Высокие величины отношения, полученные осенью и зимой, не могут служить основанием для вывода о лимитировании микропланктонного сообщества по фосфору, так как холодный период характеризуется максимальным содержанием фосфатов в среде.

Выводы. Отношение скоростей поглощения неорганических форм углерода и фосфора микропланктонным сообществом Севастопольской бухты может изменяться в широких пределах (от 30 : 1 до 465 : 1 в атомной форме). Значения между 30 : 1 и 60 : 1, как наиболее часто встречающиеся, являются, видимо, характерными для микропланктонного сообщества Севастопольской бухты в весенне-летний период. Высокие значения отношения могут встречаться не только при лимитировании процесса потребления реактивного фосфора его недостатком в среде, но и в период высокого содержания фосфатов.

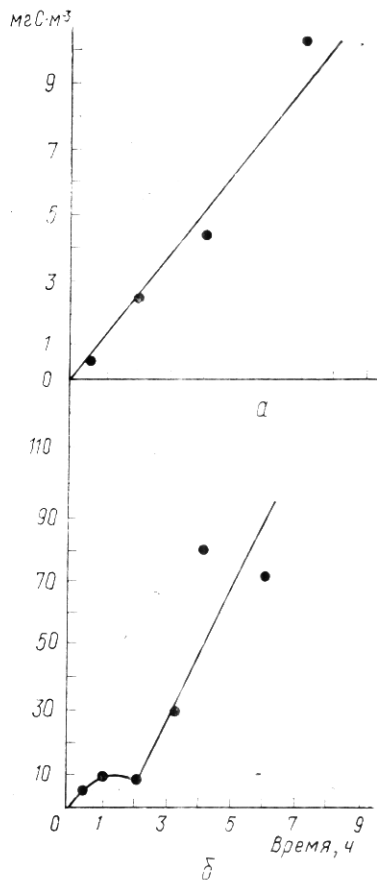


Рис. 3. Кинетика поглощения неорганического углерода микропланктоном:

а — линейная, б — нелинейная

1. Методическое пособие по определению первичной продукции органического вещества в водоемах радиоуглеродным методом. — Минск: Белорус. ун-т, 1960. — 25 с.
2. Сапожников В. В. Определение неорганического растворенного фосфора // Методы гидрохимических исследований океана. — М.: Наука, 1978. — С. 165—171.
3. Fuhs G. S., Demmerle S. D., Canell E., Chen M. Characterization of phosphorus-limited algae (with reflection on the limiting-nutrient concept) // ASZO Spe. Symp. — 1972. — 1. — P. 113—133.
4. Harrison W. G., Azam F., Renger E. H., Eppley R. W. Some experiments on phosphate assimilation by coastal marine plankton // Mar. Biol. — 1977. — 40, N 1. — P. 9—18.
5. Harrison W. G., Trevor P., Brian J. Primary production and nutrient assimilation by natural phytoplankton populations of the Eastern Canadian Arctic // Can. J. Fish. and Aquat. Sci. — 1982. — 39. — P. 335—345.
6. Lemasson L., Pages J., Cremoux J. L. Inorganic phosphate uptake in a brackish tropical lagoon // Estuar. and Coast. Mar. Sci. — 1980. — 2, N 5. — P. 547—561.
7. Perry M. J., Eppley R. W. Phosphate uptake by phytoplankton in the central North Pacific ocean // Deep-Sea Res. — 1981. — 28A. — P. 39—41.
8. Taft J. L., Taylor W. R., McCarthy J. J. Uptake and release of phosphorus by phytoplankton in the Chesapeake Bay Estuary, USA // Mar. Biol. — 1975. — 33, N 1. — P. 21—32.
9. Redfield A. C., Ketchum B. A., Richards F. A. The influences of organisms on the composition of sea water // The sea in science. — New York, 1963. — P. 26—77.

Ин-т биологии юж. морей
им. А. О. Ковалевского АН УССР,
Севастополь

Получено 17.02.87

ABSORPTION OF INORGANIC CARBON AND PHOSPHORUS FORMS BY THE MICROPLANKTONIC COMMUNITY OF THE SEVASTOPOL BAY

Summary

Observation data of the absorption rate of inorganic carbon and phosphorus forms and their ratio are presented which characterize the phyto- and bacterioplankton of the Sevastopol bay. Investigations were carried out since April, 1985 till February, 1986 by radioisotopic ^{14}C and ^{32}P tracers in the 0.45-150 μm microplankton fraction.

Values of the atomic ratio for the absorption rates of inorganic carbon and phosphorus forms vary from 30:1 to 465:1 in the period of studies. Values between 30:1 and 60:1 as most commonly met are, evidently, typical of the phyto- and bacterioplankton of the Sevastopol bay in spring-autumn period and testify to good provision of waters with phosphates. Limitation of the absorption process of reactive phosphorus by its deficiency in the medium observed in some cases induces high value of the C:P ratio. High values of ration may be observed in the cold period of the year as well in spite of the absence of phosphorus absorption limitation by the phosphorus content in the medium.

УДК 581.526.325(262.54)

Д. А. НЕСТЕРОВА, Г. П. ГАРКАВАЯ, Ю. И. БОГАТОВА

ФИТОПЛАНКТОН И ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЗОВСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Наиболее высокой биологической продуктивностью среди южных морей СССР характеризуются мелководные моря — Азовское (максимальная глубина 13,5 м) и северо-западная часть Черного [11]. Азовское море в восточной части принимает воды Дона и Кубани, в южной части через Керченский пролив — Черного моря. Гидрохимический режим [5], а также структура и динамика развития фитопланктона Азовского моря зависят от величины пресноводного стока и вод более соленого Черного моря [2, 8, 9, 11]. В Азовском море различают собственно море и Таганрогский залив.

Комплекс гидротехнических сооружений на Дону, все возрастающее изъятие пресной воды на нужды народного хозяйства нарушили режим поступления в море биогенных веществ [3], что отразилось на развитии фитопланктона [2, 4, 6]. В результате анализа многолетних данных выделено три периода его развития в зависимости от величины материкового стока [6]. Первый период (1952—1955 гг.) был маловодным с незначительным развитием фитопланктона. Второй (1956—1968 гг.) — характеризовался увеличением материкового стока и количества фитопланктона. В третьем периоде (1969—1976 гг.) вновь произошло сокращение поступления пресной воды в море, что негативно отразилось на фитопланктоне. Особенно низкой его биомасса была в 1972—1976 гг. Так, если в 1969—1971 гг. в собственно море биомасса составляла $2,0 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$, а в Таганрогском заливе — $3,5$, то в 1972—1976 гг. она снизилась соответственно до $0,7$ и $2,7 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$. Увеличение в 1980 г. биомассы фитопланктона в море ($1,6 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$) и в 1979—1980 гг. в заливе ($3,5$ — $5,9 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$) было вызвано высоким пресноводным стоком [4].

Материал и методика. Количественные пробы фитопланктона и пробы на гидрохимические анализы собирали на 18 станциях в Азовском море с 25. VII по 1. VIII 1983 г. Учитывая мелководность моря, пробы батометром Нансена получали с поверхности и у дна. С помощью гидрохимических анализов обработано 97 проб, при этом методами гидрохимических исследований океана [7] выполнено 772 определения. Пробы фитопланктона объемом 1 л сгущали, применяя обратную фильтрацию [10] (лавсановые фильтры, диаметр пор $1,5 \text{ мкм}$). Затем пробы фиксировали 40%-ным нейтрализованным формалином. Всего собрано и обработано 34 пробы фитопланктона.