

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

ISSN 0203-4646

ЭКОЛОГИЯ МОРЕЯ

1871



29
—
1988

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 мкм). Затем пробы фиксировали 40%-ным нейтрализованным формалином. Всего собрано и обработано 34 пробы фитопланктона.

Биомассу фитопланктона вычисляли по рассчитанным индивидуальным массам клеток. Индекс видового разнообразия фитопланктона вычисляли по формуле Маргалефа [12]

$$D_t = \frac{t - 1}{\ln N},$$

где t — количество видов в пробе; N — общая численность клеток.

К доминирующим видам или комплексам видов относили виды, суммарная численность или биомасса которых составляла не менее 80% общей численности или биомассы.

Результаты и обсуждение. В период исследований температура поверхностного слоя Азовского моря была почти равномерная (22—23 °C). Соленость, снижаясь у устья Дона до 4‰, возрастала у Керченского пролива до 13‰. Вертикальное распределение температуры и солености было квазиоднородно, что определило почти равномерное распределение по вертикали гидрохимических показателей (рис. 1).

Содержание кислорода (5,53—9,75 мл·л) в водной толще было одинаково, за исключением отдельных участков в прибрежной зоне у восточных берегов моря и в Таганрогском заливе, где происходило снижение концентрации кислорода до 2,42 мл·л (41,2% насыщения). В среднем количество кислорода (5,17 мл·л; 90,5%) в поверхностном слое моря оказалось ниже средних многолетних данных этого показателя за период 1952—1974 гг. [3], а в придонном слое — 4,71 мл·л (82,1%). Уменьшение содержания кислорода, вероятно, вызвано высокой температурой воды во время наблюдений и интенсивными процессами окисления. Так, величина E_h в поверхностном слое центральной части моря снижалась до 65, а в придонном слое Таганрогского залива — до 48.

Количество фосфатов изменялось от 0,77 до 2,35 мкг·ат·л⁻¹, максимальные значения которых отмечены в прибрежной части у северных берегов и в зоне влияния Дона, минимальные — у Керченского пролива. В среднем их количество составило 1,4 мкг·ат·л⁻¹, что близко средним величинам фосфатов до зарегулирования речного стока [5]. Максимальные значения нитратов, содержание которых (0,32—5,83 мкг·ат·л⁻¹) варьировало в больших пределах, чем фосфатов, найдено у Керченского пролива, минимальное — в зоне влияния речного стока. Их среднее количество равно 2,25 мкг·ат·л⁻¹. Пространственное распределение нитритов (0,20—1,40 мкг·ат·л⁻¹) почти совпадало с таковым фосфатов. Для летнего периода средняя концентрация нитритов (0,65 мкг·ат·л⁻¹) оказалась высокой. Максимальное содержание кремния (275—1300 мкг·ат·л⁻¹) найдено у северных берегов и в зоне влияния вод Кубани, минимальное — у Керченского пролива. В этих районах кремний накапливался в придонном слое.

Поверхностный слой Таганрогского залива и западная часть моря отличались от других районов моря более высоким содержанием органического азота, который накапливался в заливе и в прибрежной зоне в придонных слоях. Высокие значения органического фосфора (0,06—1,29 мкг·ат·л⁻¹) наблюдались в центральной части моря, низкие — в прибрежной. Величина растворенного органического вещества изменялась. Так, у Керченского пролива она составила 1,54, в северо-западной части моря — 3,4.

Фитопланктон Азовского моря был представлен 96 видами водорослей, среди которых наиболее многочисленны Bacillariophyta (34,4%) и Pyrrophyta (34%). Cyanophyta (15,8%) и Protococcoinea (15,8%) найдено меньше. В фитопланктоне встречаются виды морские и солоноватоводные (60 видов разновидностей), куда вошли все перидиниевые и почти все диатомовые, и пресноводно-солоноватоводные (36) водоросли.

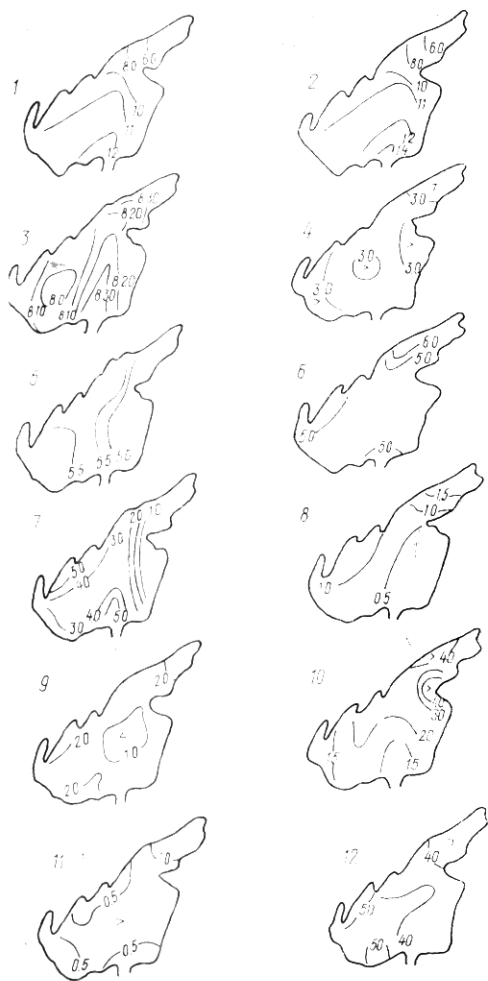


Рис. 1. Распределение гидрохимических показателей в Азовском море в летний период 1983 г.:

1 — соленость поверхностного слоя, ‰; 2 — соленость придонного слоя, ‰; 3 — величина pH; 4 — растворенное органическое вещество поверхностного слоя, мг·л⁻¹; 5 — кислород поверхностного слоя, мл·л⁻¹; 6 — кислород придонного слоя, мл·л⁻¹; 7 — нитраты поверхностного слоя, мкг·ат·л⁻¹; 8 — нитриты, мкг·ат·л⁻¹; 9 — фосфаты, мкг·ат·л⁻¹; 10 — кремний, мкг·ат·л⁻¹; 11 — органический фосфор, мкг·ат·л⁻¹; 12 — органический азот, мкг·ат·л⁻¹.

меньше (30,7%), а синезеленые встречались в незначительном количестве (7,8%). У восточных берегов развивался комплекс перидиниевых (*Exuviaella cordata* Ostf. и *Prorocentrum micans* Ehr.), в центральной части — перидиниевых и диатомовых (*Ex. cordata*+*L. danicus*; *Pr. micans*+*L. danicus*; *Ex. cordata*+*C. caspia*) водорослей. Только на одной из станций у южных берегов найден комплекс *C. caspia* синезеленая *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. Минимальная численность фитопланктона отмечена у Керченского пролива. Однако в самом проливе, где преобладали диатомовые (40%) и перидиниевые (30%) водоросли, она повышалась. В этом районе формировались комплексы: диатомовая *Chaetoceros subtilis* var. *subtilis* Cl.+*Ex. cordata*; *Ex. cordata*+синезеленая *Synechocystis salina* Wisl.

Биомасса фитопланктона (0,3—9,0 г·м⁻³) распределялась в Азовском море иначе, чем численность (рис. 2). Ее максимальное значение отмечено в зоне «цветения» воды у устья Дона и в центральной части

Индекс видового разнообразия фитопланктона (D_t) был равен 0,9—4,3. Его наиболее высокое значение установлено в зоне влияния вод Кубани, где встречались виды морские и пресноводные, наименьшее — у южных берегов моря. На большей части моря возрастание этого показателя наблюдалось в придонном слое. Только у Керченского пролива и в самом проливе D_t увеличивалось в поверхностном слое.

Численность фитопланктона в Азовском море (вместе с Таганрогским заливом) варьировала от 52 млн до 26 млрд кл·м⁻³. Максимально интенсивно фитопланктон развивался в Таганрогском заливе (рис. 2), в котором происходило «цветение» воды, сформированное *Spirulina laxissima* G. S. West и *Lyngbya limnetica* Lemm., а также зеленой *Ankistrodesmus arcuatus* Korschik. Ареал «цветения» был ограничен изохалиной в 8‰, что согласуется с литературными данными [2]. В собственно море повышенная численность фитопланктона (в среднем 680 млн кл·с⁻³) отмечена у северных берегов, что было вызвано интенсивным (98%) развитием комплекса диатомовых водорослей: *Thalassiosira aculeata* Pr.—Lav., *Cyclotella caspia* Grun., *Skeletonema costatum* (Grev.) Cl., *Leptocylindrus danicus* Cl. На большей части моря, где численность фитопланктона по сравнению с районом у северных берегов сократилась в 2,8 раза, преобладали перидиниевые водоросли (44,3%), диатомовых найдено

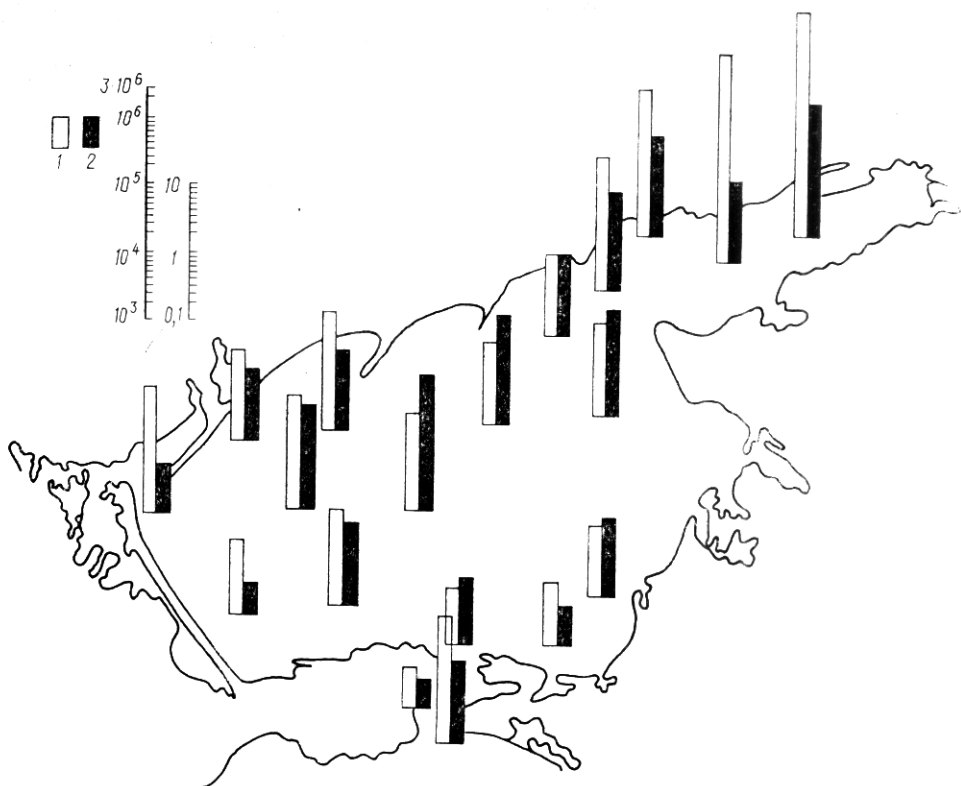


Рис. 2. Распределение численности (1, кл.·м⁻³) и биомассы (2, мг·м⁻³) фитопланктона в Азовском море в летний период 1983 г.

моря, в которой развивался комплекс диатомовая *Biddulphia mobilensis* Bail.+Pr. micans. Представитель черноморского фитопланктона *B. mobilensis* в последние годы стал доминировать в фитопланктоне Азовского моря [2]. На большей части моря биомасса, уменьшившись почти в 4 раза, распределялась равномерно. Ее основу образовывали перидиниевые (57,7%) и диатомовые (26,9%). Численность синезеленых и зеленых водорослей (15,4%) возрастала в Таганрогском заливе. В море найдены комплексы Pr. micans+B. mobilensis; Pr. micans+перидиниевая *Glenodinium lenticula* Bergh. Schiller, *L. danicus*+Pr. micans; Aph. flos-aquae+диатомовая *Dytilum brightwellii* (West.) Grun. У западных берегов и у Керченского пролива биомасса фитопланктона снизилась в 8 раз. Ее основу продолжали составлять диатомовые (34,5%) и перидиниевые (62,0%) водоросли, образуя следующие комплексы: Pr. micans+*Rhizosolenia calcar avis* M. Schultze; Pr. micans+B. mobilensis; Pr. micans+Ch. subtilis var. abnormis.

По вертикали фитопланктон либо концентрировался у поверхности, либо распределялся равномерно. Скопления водорослей у поверхности (в среднем 4 млн кл.·л), отмеченные на 50% выполненных станций, были в 2 раза больше, чем в придонном слое (2 млн кл.·л).

Методом корреляционного анализа показана тесная связь ($r = +0,67$; $P = 99\%$) между численностью и биомассой фитопланктона Азовского моря. Учитывая, что фитопланктонные комплексы образовывали виды с разными объемами клеток, представляло интерес установить размерную структуру фитопланктона. Для этого на основании объемов клеток выделено пять размерных групп фитопланктона (мкм³): 1 — менее 50, 2 — 50—500, 3 — 500—4000, 4 — 4000—6000, 5 — более 6000. По численности доминировали водоросли второй размерной груп-

Размерный состав фитопланктона
Азовского моря летом 1983 г.

Размерная группа, мкм ³	Собственно море	Таганрогский залив
< 50	9,0 3,1	91,0 58,0
50—500	74,5 18,8	8,0 9,0
500—4000	15,7 43,6	0,9 14,0
4000—6000	0,4 18,0	—
> —6000	0,4 16,2	0,1 19,0

Примечание. Над чертой — численность, суммарная численность, %; под чертой — биомасса, суммарная биомасса, %.

диниевые водоросли, а концентрация кислорода была ниже средних многолетних данных [3]. Вероятно, этим можно объяснить отсутствие корреляционной связи между численностью ($r = -0,08$; $P < 95\%$) и биомассой ($r = -0,02$; $P < 95\%$) фитопланктона поверхностного слоя моря и кислородом.

Пространственное распределение фитопланктона, фосфатов и нитритов совпадало (рис. 1, 7, 9; 2). Однако коэффициенты корреляции, рассчитанные между численностью ($r = +0,03$; $P < 95\%$), биомассой ($r = -0,32$; $P < 95\%$) фитопланктона и количеством фосфатов, оказались незначительными.

Отсутствие такой связи можно объяснить высокой оборачиваемостью фосфатов, а также их значительным содержанием в морской воде, которое не лимитировало развитие водорослей. Вместе с тем методом корреляционного анализа установлена связь между численностью фитопланктона и концентрациями нитритов ($r = +0,50$; $P = 95\%$) и органического азота ($r = +0,48$; $P = 95\%$).

Пространственное распределение кремния и численности диатомовых водорослей было почти одинаково (рис. 1, 10; 2), что подтвердилось коэффициентом корреляции ($r = +0,62$; $P = 99\%$). Такая же связь установлена между диатомовыми и органическим азотом ($r = +0,41$; $P = 95\%$) и органическим фосфором ($r = +0,88$; $P = 99\%$); а также между диатомовыми и фосфатами ($r = +0,46$; $P = 95\%$). Вместе с тем такая связь отсутствовала между перидиниевыми и фосфатами ($r = +0,03$; $P < 95\%$), перидиниевыми и органическим азотом ($r = +0,01$; $P < 95\%$), перидиниевыми и органическим фосфором ($r = +0,19$; $P < 95\%$). Следовательно, основными продуцентами растворенного органического вещества Азовского моря в летний период 1983 г. были диатомовые водоросли.

Выводы. 1. Гидрохимические показатели поверхностного слоя Азовского моря в летний период 1983 г. изменялись в таких пределах: PO_4 — 0,77—2,35 мкг-ат-л⁻¹, $\text{P}_{\text{орг}}$ — 0,06—1,29, NO_2 — 0,02—1,40, NO_3 — 0,32—5,83, $\text{N}_{\text{орг}}$ — 26,60—55,14, Si — 275—1300 мкг-ат-л⁻¹, O_2 — 4,75—5,53 мл-л⁻¹. В придонных слоях эти величины существенно не изменялись. В распределении биогенных веществ по акватории отмечена пятнистость.

2. В фитопланктоне Азовского моря найдено 96 видов и разновидностей водорослей, среди которых наиболее многочисленны диатомовые (34%) и перидиниевые (34,4%).

пы — *L. danicus*, *Ex. cordata*, *Th. aculeata*, по биомассе — третьей — *Pr. micans* (таблица). В Таганрогском заливе основу численности и биомассы образовывали водоросли первой размерной группы — синезеленые и зеленые водоросли.

В процессе сопоставления количественного развития и пространственного распределения фитопланктона и гидрохимических показателей выявлены некоторые зависимости между ними. Как установлено [8, 1], высокое содержание кислорода в море совпадало с интенсивным развитием синезеленых водорослей, а относительно низкое — с диатомовыми. В период наших исследований в фитопланктоне преобладали диатомовые и пери-

3. Численность фитопланктона в Керченском проливе составила 52 млн кл. $\cdot$ м⁻³, в Таганрогском заливе 26 млрд кл. $\cdot$ м⁻³, в среднем в море — 325 млн кл. $\cdot$ м⁻³, в заливе — 12,4 млрд кл. $\cdot$ м⁻³. Основу численности в море образовывали диатомовые (68%) и перидиниевые (28%), в заливе — синезеленые (90%) водоросли.

4. Биомасса фитопланктона у западных и южных берегов моря достигла 0,3, у устья Дона и в центре моря — 9 г $\cdot$ м⁻³. Средняя биомасса была равна 2,4, в Таганрогском заливе — 3,5 г $\cdot$ м⁻³. Ее основу в море составили перидиниевые (58%) и диатомовые (41%), в заливе — диатомовые (50%) и синезеленые (46%) водоросли.

5. Установленные величины биомассы фитопланктона Азовского моря оказались выше средних многолетних 1972—1976 гг. и приближались к значениям, установленным в 1969—1971 гг.

6. По вертикали фитопланктон либо концентрировался у поверхности, либо распределялся равномерно от поверхности до дна.

7. В результате анализа размерной структуры фитопланктона показано, что в море по численности преобладали водоросли второй размерной группы (50—500 мкм³), по биомассе — третьей (500—4000 мкм³). В Таганрогском заливе основу численности и биомассы образовывали водоросли первой размерной группы (<50 мкм³).

8. Методом корреляционного анализа установлена связь между численностью фитопланктона и содержанием нитритов ($r=+0,50$; $P=95\%$) и органическим азотом ($r=+0,48$; $P=95\%$), а также между диатомовыми и кремнием ($r=+0,62$; $P=99\%$), диатомовыми и фосфатами ($r=+0,46$; $P=95\%$), диатомовыми и органическим фосфором ($r=+0,88$; $P=99\%$), диатомовыми и органическим азотом ($r=+0,41$; $P=95\%$).

1. Алдакимова А. Я. «Цветение» воды, вызываемое синезелеными водорослями и их роль в биологии Азовского моря // Экология и физиология синезеленых водорослей. — М.; Л., 1965. — С. 122—128.
2. Алдакимова А. Я. О некоторых закономерностях внутригодовой динамики фитопланктона Азовского моря // Биологические ресурсы Азовского бассейна. — Ростов, 1976. — С. 3—14.
3. Бронфман А. М., Дубинина В. Г., Макарова Г. Д. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. — М.: Пищ. пром-сть, 1979. — 288 с.
4. Губина Г. С., Копец В. А., Некрасова М. Я., Толоконникова Л. И. Формирование кормовой базы Азовского моря в современный период // Биологическая продуктивность Каспийского и Азовского морей. — М., 1982. — С. 124—139.
5. Дацко В. Г., Семенов А. Д. Наблюдения над кислородным режимом Азовского моря в 1959 г. и содержание биогенных элементов в 1955—1956 гг. // Гидрохим. материалы. — 1959. — 29. — С. 102—117.
6. Закутский В. П., Алдакимова А. Я., Толоконникова Л. И. и др. Изменения планктона и бентоса Азовского моря в условиях антропогенного воздействия // Гидробиол. журн. — 1978. — 14, № 1. — С. 28—34.
7. Методы гидрохимических исследований океана. — М.: Наука, 1978. — 269 с.
8. Пицый Г. К. О фитопланктоне Азовского моря // Тр. Азово-Черномор. НИИ мор. рыб. хоз-ва и океанографии. — 1951. — Вып. 15. — С. 313—330.
9. Пицый Г. К. Фитопланктон Азовского моря в условиях зарегулирования стока р. Дон // Там же. — 1955. — Вып. 16. — С. 279—310.
10. Суханова И. Н. Концентрирование фитопланктона в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. — М., 1983. — С. 97—105.
11. Усачев П. И. Общая характеристика фитопланктона морей СССР // Успехи соврем. биологии. — 1947. — 23, № 2. — С. 265—286.
12. Margalef R. Diversidad de especies en las comunidades naturales // Publ. Inst. Biol. apl., Barcelona. — 1951. — 6. — P. 59—72.

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

Получено 18.12.86

PHYTOPLANKTON AND HYDROCHEMICAL CHARACTERISTIC OF THE SEA OF AZOV IN SUMMER

Summary

The hydrochemical characteristic and phytoplankton on the Sea of Azov were studied in the summer of 1983. Limits of variations of hydrochemical indices are shown. Species diversity and quantitative development of phytoplankton as well as its size structure are described. The correlation analysis method has revealed interrelation between phytoplankton and certain hydrochemical indices.

УДК 591.05:574 586(262.5)

В. А. ТАМОЖНЯЯ, С. А. ГОРОМОСОВА

ВНЕШНИЙ АЗОТИСТЫЙ И УГЛЕВОДНЫЙ МЕТАБОЛИЗМ МИКРОСООБЩЕСТВ ПЕРИФИТОНА И ВЗВЕСИ

Функционирование сообщества морских обрастаний в значительной степени определяется жизнедеятельностью микроорганизмов — первых поселенцев любых твердых субстратов, погруженных в море. Главными составляющими поверхностной слизистой пленки в море являются бактерии и диатомовые водоросли, играющие важную роль в последующем формировании фито- и зооценозов. Между бактериями и водорослями в сообществе устанавливаются метаболические взаимоотношения, о чем свидетельствует корреляция численности гетеротрофных бактерий и диатомовых уже после суточного погружения стеклянных пластин в море [2], причем последующее массовое развитие диатомовых водорослей только ограничивает увеличение численности бактерий, но не угнетает развития уже осевших гетеротрофов.

В настоящее время проблема обмена метаболитами в бактерио- и микропланктоне пристально изучается. По литературным данным, в сообществах гетеротрофная утилизация растворенных в морской воде веществ, таких, как свободные аминокислоты, аммоний [6, 7, 11], дополняется выделительной способностью микроводорослей — основных продуцентов низкомолекулярных соединений в водоемах [8, 9, 12]. Исследования такого рода в сообществах микрообрастаний не проводились. В связи с этим представляет интерес проследить за динамикой важнейших компонентов растворенной органики — углеводов и азотсодержащих веществ — в среде обитания микроорганизмов ценоза обрастания на протяжении годового цикла и за изменениями их содержания, вызванными жизнедеятельностью сообщества.

Материал и методика. Исследования проводили в Севастопольской бухте Черного моря ежедекадно на протяжении 1983—1985 гг. Объектами служили микроорганизмы (бактерии и микроводоросли) сообщества обрастаний — перифитона, выращенного в море на стеклянных пластинах размером 9×9 см, а также микроорганизмы взвеси, собранной в сосуды с такой же глубины (1,5—2 м). Экспозиция стеклянных пластин и сосудов для сбора взвеси составляет 10, 20 и 30 сут, что соответствует возрасту сообщества, сформировавшемуся за этот период.

В качестве показателей определяли: общую массу сырого и сухого вещества, численность гетеротрофных бактерий и живых диатомовых водорослей (фонды отдела биологии обрастаний ИнБЮМ, Ю. А. Горбенко), «видимую» метаболическую активность сообщества, измеренную по количеству углеводов, аммония и нингидринположительных веществ (НПВ), поглощенных или выделенных в морскую воду (250 мл) после 2-часовой экспозиции живой биомассы перифитона и взвеси. Уровень утилизации и выделения органических веществ определяли по разности между содержанием их в морской воде до и после экспозиции.

НПВ регистрировали на ФЭК-56м в области поглощения 580 нм с нингидриновым реактивом фирмы «Реанал» [5]. Аммоний определяли