

Ю. А. ГОРБЕНКО и З. С. КУЧЕРОВА

**ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ
И ПАЛОЧКОВИДНЫХ БАКТЕРИЙ В ПЕРВИЧНОЙ ПЛЕНКЕ
ОБРАСТАНИЙ В МОРЕ**

Известно, что погруженные в море предметы покрываются организмами-обрастателями. Обрастание обычно начинается с образования слизистой пленки, в состав которой в первую очередь входят бактерии, диатомовые и детрит. Бактерии привлекаются к любым инертным поверхностям, в том числе и стеклянным, тем органическим веществом, которое адсорбируется из морской воды в количестве от 2% до 27%, а также чисто физическими силами адсорбции на границах раздела двух фаз: вода — твердая поверхность (ZoBell a. Allen, 1933; Neukelekian, Heller, 1940; ZoBell, 1943; Звягинцев, 1959).

Однако не все морские бактерии оседают на пластинках. Как показали исследования ЗоБелла, из 96 различных видов морских бактерий только 29 видов найдены прикрепленными к погруженным поверхностям, 47 показали тенденцию к прикреплению, 20 — вообще не прикреплялись.

Бактерии оседают на пластинках сразу после погружения в море, прочно прикрепляются уже через один-два часа и начинают размножаться.

Диатомовые, хотя и оседают одновременно с бактериями, но первоначальная численность их на опытных пластинках во много раз меньше, чем бактерий. Это, вероятно, связано с тем, что абсолютное число диатомовых в планктоне относительно меньше.

По литературным данным, между бактериями и диатомовыми, населяющими толщу воды, существует несколько видов взаимоотношений. Установлено, что диатомовые выделяют в воду разнообразные продукты жизнедеятельности, а само тело водорослей представляет субстрат для прикрепления бактерий. Отмершие клетки диатомовых разрушаются бактериями, при этом численность последних сильно возрастает. Как живые диатомеи, так и их трупы служат одним из основных источников питательных веществ для популяций бактерий в водоеме (Waksman и др., 1933; Waksman, 1934; Ворошилова и Дианова, 1937; ZoBell, 1946; Горюнова, 1950, 1951; Гусева, 1951). Разлагая мертвые клетки диатомовых, бактерии в свою очередь выделяют в воду углекислоту, аммиак, нитриты, нитраты, фосфаты и другие вещества, необходимые для жизнедеятельности диатомовых (ZoBell, 1946).

Очевидно поэтому в морских и пресных водоемах часто наблюдается параллелизм в развитии бактерий и диатомовых (Waksman и др., 1933, 1935; Waksman, 1934; ZoBell, 1946; Гусева, 1951; Devez,

1955; Крисс, 1959). Вместе с тем в некоторых случаях при массовом развитии фитопланктона численность бактерий сильно снижается. Объясняют это наличием антибиотических веществ, выделяемых водорослями, и конкуренцией между этими двумя группами организмов за растворенные питательные вещества (Waksman и др., 1937; Разумов, 1948; Гусева, 1951; Новожилова, 1957; Родина, 1958). Явление угнетения бактерий при массовом развитии черноморских диатомовых в лабораторных условиях было отмечено Ланской и Маркианович (1960).

Настоящая работа имела целью выяснить взаимоотношения между бактериями и диатомовыми первичной пленки обрастания в море в зависимости от глубины, длительности экспозиции и сезона. Постановка опытов была приурочена к периодам: март, май, октябрь 1960 г., когда в море развивался в основном фитопланктон и почти отсутствовали личинки обрастателей. Наблюдения над формированием первичной пленки обрастаний проводились в Севастопольской бухте, в 500 м от берега на глубине 16 м. Одновременно вывешивались 3 серии пластин,* вставленных в прорези трубок, смонтированных в проволочную рамку. Рамки крепились на капроновом шнуре на расстоянии 1, 3 и 5 м от поверхности. Верхний конец шнура укреплялся на стационарной штанге, к нижнему концу для оттяжки привешивался грузик. Стекла предварительно тщательно промывались в хромпике и споласкивались сильной струей водопроводной воды, но не обжигались, так как продукты горения, остающиеся на стекле, мешают при микроскопировании. Транспортировка стекол к месту постановки опытов и обратно в лабораторию производилась в специальном ящике с крышкой. Каждая серия пластинок последовательно снималась через 1, 3 и 5 суток. Одна пара стеклянных пластинок с каждой глубины тотчас же окрашивалась 1% карболовым эритрозином в течение двух часов и просушивалась в этом же ящике. Учет бактерий производился под микроскопом с фазово-контрастным устройством при увеличении в 600 раз.

В зависимости от плотности оседания бактерии просчитывались в 50—100 полях зрения. Учитывались исключительно палочковидные бактерии, которые хорошо отличаются от частичек детрита и мелких палочковидных диатомей. Как правило, распределение их на пластинке более или менее равномерно. Перед постановкой стекол в море подсчитывалось количество имеющихся на них бактерий. Это исходное количество затем вычиталось из числа бактериальных клеток, осевших через определенные промежутки времени после погружения в море.

Клетки диатомовых водорослей подсчитывались на двух площадках под покровным стеклом 20×20 мм. Из полученных величин бралось среднее. Как для диатомовых, так и для бактерий числовые результаты пересчитывались на 10 см^2 (площадь пластинки, исключая края и места крепления). Данные опытов сведены в таблице 1.

Как следует из этой таблицы, в течение первых пяти суток происходит нарастание численности диатомей на всех исследуемых горизонтах, при этом количество их в поверхностных слоях обычно выше, чем на глубине. Одновременно возрастает, как правило, и коли-

* По две пары сдвоенных предметных стекол, установленных перпендикулярно к поверхности воды.

Таблица 1

Изменение количества бактерий и диатомовых на стеклах обростания через
1, 3 и 5 суток (Севастопольская бухта, 1960 г., численность клеток на площади 10 см²)

Глубина, в м	Организмы	Опыт 1			Опыт 2			Опыт 3			Опыт 4		
		25—30 марта			6—11 мая			23—28 мая			7—12 октября		
		1 сут.	3 сут.	5 сут.	1 сут.	3 сут.	5 сут.	1 сут.	3 сут.	5 сут.	1 сут.	3 сут.	5 сут.
1	Диатомовые	132	462	2214	63	426	1773	43	104	315	13	153	2796
	Бактерии	123200	105700	376800	288320	580600	764000	305000	727000	1002000	84210	709820	237000
3	Диатомовые	57	102	894	22	126	1032	21	75	141	16	54	1719
	Бактерии	95040	329800	365500	143810	563100	752000	253500	496300	781500	81520	702100	252500
5	Диатомовые	13	57	258	10	168	933	15	27	48	16	36	648
	Бактерии	101200	246500	393000	59680	331300	1052000	224099	356800	728500	35500	652500	220500

чество бактерий (исключением является опыт четвертый, о котором речь будет идти ниже). Так, например, если во втором опыте в первые сутки на глубине 1 м на пластинках осело 63 клетки диатомей и 288.300 бактерий, то на пятые сутки диатомей было уже 1773, а бактерий — 764.000.

Выявление соотношений между количеством осевших бактерий и диатомовых водорослей производилось в дальнейшем путем сопоставления темпов его нарастания (табл. 2).

Первый опыт с 25 по 30 марта совпал со значительным оседанием диатомовых обрастаний. Численность их на пластинках возрастала как за счет нового оседания, так и в результате размножения уже осевших водорослей. Особенно интенсивно размножались *Navicula pennata* (?) var. *pontica* Mer. и *Nitzschia* sp. (последняя — в слизистых мешках). С увеличением длительности экспозиции с трех до пяти суток увеличивается и темп нарастания численности водорослей и бактерий. Так, в однометровом слое на пятые сутки темп нарастания численности диатомовых был равен 16,8 и бактерий 3,6, т. е. темп нарастания последних был уже в 4-5 раз больше темпа нарастания численности бактерий.

Второй опыт был проведен с 6 по 12 мая. Оседание диатомовых в это время было менее интенсивным, чем в первом опыте. Нарастание их численности происходило за счет мелких форм *Nitzschia* (в слизистых мешках) и *Licmophora Ehrenbergii* (Kütz.) Grun. На пятые сутки численность диатомовых возрастала также за счет *Nitzschia closterium* (Ehr.) W. Sm. и *Dimerogramma minor* (Greg.) Ralfs. Темп нарастания количества диатомовых был в 5—10 раз выше, чем у бактерий и, например, на горизонте 1 м составлял у диатомовых 28, у бактерий — 2,6.

Третий опыт был проведен с 23 по 28 мая. В этот период темп нарастания количества диатомовых был очень низкий по сравнению с предыдущим опытом и лишь немного превышал таковой у бактерий.

Четвертый опыт был поставлен с 7 по 11 октября. Через сутки на всех исследуемых горизонтах на пластинки обрастания оседали только единичные формы диатомовых. После трехсуточной экспозиции в море началось массовое развитие как планктонных, так и бентосных форм диатомовых водорослей. На пятые сутки число диатомовых на пластинках резко возросло в результате интенсивного размножения *Navicula pennata* (?) var. *pontica* Mer., *Melosira moniliformis* (O. Mull.) Ag., *Melosira moniliformis* var. *subglobosa* Grun., *Cocconeis Scutellum* Ehr. var. *adjuncta* A. S., *Licmophora Ehrenbergii* (Kütz.) Grun., *Coscinodiscus* sp. На глубине 5 м, интенсивно развивалась также *Pleurosigma elongatum* W. Sm.

В этом опыте темп увеличения количества диатомовых превышал темп увеличения числа бактерий в 20—150 раз. Так, на пятые сутки на глубине 1 м темп нарастания диатомовых составлял 215, бактерий — 1,4.

Проводимые опыты показали, что вначале бактерий оседает значительно больше, чем диатомовых, однако во всех четырех опытах темп увеличения количества диатомовых заметно превосходил таковой у бактерий.

Это положение подтверждается данными таблицы 3, в которой показаны количества бактерий, соответствующие одной клетке диатомовых. Например, если в первом опыте за одни сутки осело 132

Таблица 2

Темпы нарастания количества бактерий и диатомовых на стеклах обрастания*

Глубина, в м	Организмы	Опыт 1		Опыт 2		Опыт 3		Опыт 4	
		25—30 марта		6—12 мая		23—28 мая		7—12 октября	
		3 сут.	5 сут.	3 сут.	5 сут.	3 сут.	5 сут.	3 сут.	5 сут.
1	Диатомовые	3,5	16,8	6,7	28,1	2,3	7	11,7	215
	Бактерии	уменьш. на 0,8%	3,6	2,1	2,6	2,3	3,3	54,0	1,4
3	Диатомовые	1,7	16,0	5,1	47,0	3,5	6,7	3,3	170
	Бактерии	3,4	3,9	3,9	5,2	1,9	3,1	9,0	2,3
5	Диатомовые	4,2	19,1	16,0	88,0	1,8	3,2	2,3	40
	Бактерии	2,4	3,8	5,5	17,6	1,6	3,2	7,0	2,0

* Под темпом нарастания подразумевается увеличение количества клеток диатомовых и бактерий на третьи и пятые сутки по сравнению с первыми сутками.

клетки диатомей и 132 200 бактерий, то это значит, что одной клетке диатомовых соответствует 933 клетки бактерий и т. д.

Как правило, количество бактерий, приходящееся на одну клетку водорослей, на экспериментальных пластинках постепенно снижается с первых до пятых суток. Это, вероятно, является результатом сдерживающего влияния больших количеств диатомовых на развитие бактерий. Так, например, в четвертом опыте количество бактерий при слабом оседании диатомовых на третьи сутки сильно возросло, но на пятые сутки, при вспышке массового развития диатомовых оно резко снизилось. Во всех остальных опытах, где не наблюдалось сильного развития диатомовых, количество осевших бактерий на пластинках возрастало с первых на пятые сутки. В большинстве случаев (27 из 36) на одну клетку прикрепленных водорослей приходится от 1 тысячи до 10—17 тысяч бактерий. В периоды осеннего и весеннего максимумов развития диатомовых число бактерий на одну клетку диатомей нередко (в 9 случаях из 36) снижается до 1000—100 штук. Причиной, оказывающей сдерживающее влияние водорослей на оседание и развитие бактерий, некоторые исследователи считают конкуренцию за растворенные вещества (Waksman и др., 1937; Гусева, 1951; Родина, 1958). Другие это связывают с бактерицидным влиянием некоторых веществ, выделяемых диатомовыми (Разумов, 1948; Новожилова, 1957). Причиной указанного явления считают также изменение физических адсорбционных свойств поверхности, что ослабляет ее влияние на развитие бактерий (ZoBell, 1943). Последние оседают на твердых поверхностях первоначально в силу адсорбционных свойств субстрата, а затем прикрепляются к нему при помощи капсулярного вещества.

Таблица 3

Количества бактерий, приходящиеся на одну клетку диатомовых на стеклах обрастания

Дата проведения опытов	Экспозиция в море (в сутках)	Г л у б и н а, в м		
		1	3	5
Опыт 1 25—30 марта	1	933	1667	7784
	3	226	3233	4323
	5	170	408	1523
Опыт 2 6—12 мая	1	4576	6535	5968
	3	1355	4467	1918
	5	431	728	1127
Опыт 3 23—28 мая	1	7095	12071	14939
	3	6990	6617	13214
	5	3276	5542	16010
Опыт 4 7—12 октября	1	6480	5095	2218
	3	4630	13001	17777
	5	85	146	340

Проведенные нами наблюдения показывают, что диатомовые, препятствуя новому оседанию бактерий на пластинки, вместе с тем, как следует из данных по учету микроколоний* на стекле, вероятно, не угнетают развития уже осевших бактериальных клеток.

При одновременном оседании диатомовых и бактерий, наряду со слабым оседанием новых бактериальных клеток, идет интенсивное развитие бактерий, ранее осевших на пластинки. Следовательно, диатомовые водоросли, сдерживая новое обильное оседание бактерий, вместе с тем не препятствуют развитию уже осевших бактериальных клеток.

ВЫВОДЫ:

1. Оседание и нарастание числа бактерий и диатомовых водорослей в первичной пленке обрастания в течение первых суток идет параллельно.

2. По абсолютному числу клеток бактерии в первичной пленке обрастания занимают первое место по сравнению с диатомовыми; нарастание числа клеток диатомовых в течение первых пяти дней идет значительно интенсивнее, чем бактерий.

3. Диатомовые водоросли при массовом развитии сдерживают увеличение числа бактерий в первичной пленке, но не угнетают развития уже осевших бактериальных клеток.

ЛИТЕРАТУРА:

- Ворошилова А. А., Дианова Е. В., 1937. Роль планктона в размножении бактерий в изолированных пробах морской воды. Микробиология, т. VI, вып. 6.
- Горюнова С. В., 1950. Химический состав и прижизненные выделения сине-зеленой водоросли *Oscillatoria splendida* Grev.
- Горюнова С. В., 1951. Роль водорослей в обогащении водоемов растворенным органическим веществом. Автореферат докторской диссертации. Москва.
- Гусева К. А., 1951. Взаимоотношение фитопланктона и сапрофитных бактерий в водоеме. Тр. проблемных и тематических совещаний Зоол. ин-та, вып. I. Проблемы гидробиологии внутренних вод.
- Звягинцев Д. Г., 1959. Адсорбция микроорганизмов поверхностью стекла. Микробиология, т. XXVIII, № 1.
- Крисс А. Е., 1959. Морская микробиология (глубоководная). Москва.
- Ланская Л. А. и Маркианович Е. М., 1960. Влияние некоторых морских планктонных и бентосных водорослей на сапрофитные бактерии в условиях культур. Тр. СБС, т. XIII.
- Новожилова М. И., 1957. Время генерации бактерий и продукция бактериальной биомассы в воде Рыбинского водохранилища. Микробиология, XXVI, вып. 2.
- Разумов А. С., 1948. Взаимоотношения между сапрофитными бактериями и планктоном в водоемах. Вопросы санит. бактер. М.
- Родина А. Г., 1958. Микроорганизмы и повышение рыбопродуктивности прудов. М.
- Deveze L., 1955. Parallelisme d'évolution des populations planctoniques et bactériennes marines durant la période estivale. C. R. Acad. Sci., 241, № 22.
- Neukelekian H., Heller H., 1940. Relation between food concentration and surface for bacterial growth. J. Bact., 40, (547—558).
- ZoBell C. E., 1943. The effect of solid surfaces upon bacterial activity. Jour. Bact., 46, (39—56), 50 ref.
- ZoBell C. E., 1946. Marine microbiology. Waltham, Mass., U. S. A.
- ZoBell C. E. and Allen E. C., 1933. Attachment of marine bacteria to submerged slides. Proceed. Soc. Exper. Biol. Med., vol. XXX p. (1409—1411), 6 ref.

* Микроколонией мы считали группу сходных клеток, сидящих в непосредственной близости друг от друга, среди которых имеются клетки на разных стадиях деления.

- Waksman S., Reuszer H., Carey C., Hotchkiss M. and Renn C., 1933. III. Bacteriological Investigations of the Sea Water and Marine Bottoms. *Biolog. Bull.*, 64, N 2, (p. 187).
- Waksman S., 1934. The role of bacteria in the cycle of life in the sea. *The Scient. Monthly*, 38 (35—49), 33 ref.
- Waksman S. and Carey C., 1935. Decomposition of organic matter in sea water by bacteria. I. Bacterial multiplication in stored sea water. *Journ. of. Bact.*, 29, N 5, (p. 531).
- Waksman S., Stokes J. and Butler M., 1937. The relation of bacteria to diatoms in sea water. *Journ. Marine Biol. Ass.*, 22, (359—373).
-