

МИКРОБИОЛОГИЯ

Н. С. НИКИТИНА и И. Б. УЛАНОВСКИЙ

**РАЗВИТИЕ БАКТЕРИЙ НА СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
В МОРСКОЙ ВОДЕ**

(Представлено академиком В. Н. Шапошниковым 7 VII 1954)

В литературе отмечается значительное влияние бактерий на процессы коррозии стальных конструкций⁽¹⁻⁵⁾. Подавляющее большинство работ посвящено исследованиям этого явления в различных грунтах, взаимосвязь же коррозии с бактериальными процессами в морской воде остается мало изученной. Исследования в этой области авторы настоящего сообщения начали с изучения развития бактерий различных физиологических групп на стальных поверхностях, полагая, что влияние бактерий на коррозию определяется в первую очередь количеством и физиологическими особенностями микроорганизмов. Опыты проводились в прибрежной полосе Баренцова моря.

Испытания производились над образцами прямоугольной формы размером $200 \times 150 \times 3$ мм, изготовленными из стали марки ст.-3. При сравнительных опытах были использованы стеклянные и стальные образцы размером $80 \times 25 \times 3$ мм. При постановке опытов с поверхности образцов удалялась окалина и производилась обработка наждачным полотном, после чего образцы промывались спиртом для удаления жировой пленки. Крупные образцы укреплялись при помощи фарфоровых роликов на погружаемые в море изолированные стальные рамы. Пластинки малого формата помещались в прорези резиновых пробок, прикрепленных к тросу. Опыты проводились в период малой интенсивности обрастания растительными и животными организмами — с сентября по январь. Образцы во всех опытах погружались в воду в сентябре и извлекались в зависимости от срока испытания. По каждому опыту устанавливались три параллельных образца (в табл. 1—3 приведены средние результаты).

Для бактериальных исследований с поверхности образцов производился соскоб при помощи острого закаленного скребка. Площадь соскоба равнялась 40 см^2 , причем у образцов малого формата соскоб производился со всей поверхности, а на крупных образцах снималась полоса вдоль пластинки шириной 20 мм. В соскобе определялось прямым счетом общее число бактерий: высевом на МПА — число гнилостных аэробных бактерий, и методом предельных разведений — число сульфатовосстанавливающих, денитрифицирующих и нитрифицирующих бактерий. При опытах продолжительностью до 1 мес. препараты для прямого счета готовились из соскоба, разведенного в 10 мл стерильной морской воды, а при более длительных опытах — в 100 мл. На площадь в 4 см^2 предметного стекла наносилось 0,01 мл исходного разведения. Препарат фиксировался абсолютным спиртом и перед окраской эритрозином обрабатывался 5% раствором желтой кровяной соли и 5% раствором соляной кислоты. Такая обработка позволяла легко дифференцировать бактерии на фоне продуктов коррозии стали, окрашенных в синий цвет. Подсчет бактерий производился в двух параллельных препаратах по 100 полей зрения в каждом; при большом числе бактерий использовался сетчатый окулярный микрометр.

Опыты показали, что развитие бактерий на поверхности стали начинается с первых дней погружения образцов в море и достигает значительной величины (см. табл. 1). Так, после 20 дней пребывания в море на 1 см² поверхности образцов находилось свыше 1 млн. бактерий, а к концу 5-го месяца число бактерий достигло 310 млн. В препаратах соскоба преобладали короткие палочки, встречались вибрионы с полярными

Таблица 1

Число бактерий различных физиологических групп на поверхности стали в море (на 1 см²)

Срок пребывания в море в сутк.	Общее число бактерий	Гнилостные аэробные бактерии	Денитрифицир. бактерии	Сульфатвосстанавлив. бактерии	Нитрифицир. бактерии
5	150·10 ³	28	0	0	0
10	387·10 ³	160	2	250	0
20	117·10 ⁴	2196	25	250·10 ³	0
150	310·10 ⁶	6250	250	250·10 ⁶	0

тельцами, единичные кокковые формы и очень редко, помимо разрозненных клеток, наблюдались скопления бактерий из плотно прилегающих друг к другу палочек и вибрионов.

Несмотря на то, что в морской воде имелось достаточное количество кислорода и питательных веществ (6) для развития гнилостных аэробных бактерий, эта группа бактерий развивалась сравнительно слабо. Число гнилостных аэробов, достиг-

нув к 20-му дню 2196 бактерий на 1 см², осталось по существу без изменений и при более длительных сроках испытания. На поверхности стали преобладает развитие сульфатвосстанавливающих бактерий. Их число быстро увеличивалось и составляло к 20-му дню пятую часть, а через 5 мес. — больше двух третей общего числа бактерий.

В морской воде содержалось в среднем 17 гнилостных аэробов в 1 мл воды и 1 сульфатвосстанавливающая бактерия в 5 мл. На поверхности стали, по сравнению с водной массой, соотношение бактериальных форм меняется, происходит смена микрофлоры во времени. Так, если на пятые сутки общее число бактерий, равное 150 тыс., представлено в основном бактериями, не принадлежащими к определяемым физиологическим группам, то по истечении 150 суток ~81% от общего числа бактерий приходится на долю сульфатвосстанавливающих бактерий. Следовательно, специфические условия на поверхности стали благоприятствуют развитию лишь определенных физиологических групп бактерий. Группа нитрифицирующих бактерий не встречалась ни в одном посеве.

Таблица 2

Развитие бактерий на стальных и стеклянных поверхностях в море (число бактерий на 1 см²)

Срок пребывания в море в сутк.	Общее число бактерий		Гнилостные аэробные бактерии		Сульфатвосстанавлив. бактерии	
	сталь	стекло	сталь	стекло	сталь	стекло
5	84·10 ³	108·10 ³	42	380	0	0
10	286·10 ³	516·10 ³	123	1330	250	25
20	94·10 ⁴	245·10 ⁴	1850	19420	125·10 ³	2500

Выявленное соотношение физиологических групп бактерий в значительной степени связано с происходящими на поверхности стали процессами коррозии. В морской воде процессы коррозии используют почти весь кислород, поступающий к поверхности стали. Больше того, коррозия протекает с недостатком кислорода у поверхности металла (7). Кроме того, к поверхности стали примыкает относительно неподвижный слой жидкости, удерживаемый адсорбционными силами, в котором прохождение кисло-

рода происходит только при помощи диффузии ⁽⁸⁾. Все это создает благоприятные условия для развития на поверхности стали, погруженной в морскую воду, анаэробных бактерий и в то же время препятствует развитию аэробных бактерий.

Развитию бактерий на поверхности стали способствует также наличие на катодных участках водорода, окисление которого служит источником энергии для некоторых групп бактерий ⁽⁴⁾.

При одновременном погружении в море стеклянных и стальных образцов наглядно выступает влияние интенсивного поглощения кислорода процессами коррозии на развитие бактерий (см. табл. 2). На стекле бактерии подсчитывались непосредственно после фиксации спиртом и окраски эритрозином. Снятие бактерий со стекла производилось скребком и стерильной кисточкой при помещении образца в 10 мл воды.

Из табл. 2 видно, что на стеклянной поверхности развитие гнилостных аэробов происходит значительно интенсивнее, чем на стальных образцах. Это особенно заметно в первые 5—10 дней, когда на стальной поверхности накопление бактерий идет главным образом за счет оседания из окружающей воды. Развитие же сульфатовосстанавливающих бактерий, наоборот, происходит интенсивнее на стальных образцах.

Проведенные параллельно опыты в пышных зарослях макрофитов дали аналогичные результаты. Однако развитие бактерий здесь проходит интенсивнее: общее число бактерий и число гнилостных аэробов достигло к 10-му дню примерно тех же величин, какие были отмечены на соответствующих поверхностях в воде с редкими зарослями макрофитов за 20 суток. Интенсивность развития бактерий в данном случае выше вследствие обогащения среды органическим веществом и кислородом в результате жизнедеятельности макрофитов.

Как известно, начальным продуктом коррозии, непосредственно прилегающим к стальной поверхности, является гидроокись железа, которая в дальнейшем поглощает кислород, образуя более высокие окислы. Конечным продуктом коррозии является гидрат окиси железа, не поглощающий кислорода и расположенный с наружной стороны слоя продуктов коррозии.

Таким образом, в толще продуктов коррозии, по мере удаления от основной поверхности металла, расход кислорода на процессы коррозии падает и в поверхностном слое практически равен нулю. В соответствии с этим должен изменяться и состав бактерий. Для проверки этого был проведен послойный анализ продуктов коррозии. Обследованию подвергались образцы, находящиеся в море 5 мес. и имеющие толщину слоя продуктов коррозии до 3 мм. Верхний слой продуктов коррозии в основном состоял из бурого гидрата окиси железа, в нижний сосокб попадали преимущественно черные продукты коррозии, содержащие следы серы.

Таблица 3

Распределение бактерий в продуктах коррозии стальных конструкций (срок пребывания в море 150 дней)

Слой продуктов коррозии	Число бактерий на 1 см						Число бактерий в 1 г соскоба					
	общее число	гнилостные		сульфатовосстанавл.	денитрифицир.	нитрифицир.	общее число	гнилостные		сульфатовосстанавл.	денитрифицир.	
		аэробы	анаэробы					аэробы	анаэробы			
Верхний	112·10 ⁶	4600	0	12,5·10 ⁶	250	следы	330·10 ⁶	135·10 ³	0	368·10 ⁶	7,3·10 ³	
Нижний	385·10 ⁶	620	160	250·10 ⁶	250	0	22·10 ⁶	35·10 ³	8987	14·10 ⁶	14·10 ³	

10*

843

Данные табл. 3 показывают, что в верхнем слое значительно больше аэробных бактерий, чем в нижнем. На 1 см² поверхности образца в верхнем слое 4600 гнилостных аэробов, а в нижнем слое только 620. При пересчете на 1 г продуктов коррозии оказалось, что в 1 г продуктов коррозии верхнего слоя находилось 135 000 бактерий, а в нижнем слое 35 000.

Гнилостные анаэробы, наоборот, не обнаружены в поверхностном слое, но в нижнем слое их оказалось около 9000 бактерий на 1 г продуктов коррозии. В нижнем слое преобладает также развитие другой группы анаэробов — сульфатвосстанавливающих бактерий (см. табл. 3). Интенсивное развитие сульфатвосстанавливающих бактерий непосредственно вблизи поверхности металла, под слоем продуктов коррозии отмечено Старки и Шенон ⁽⁹⁾.

Относительно высокие числа сульфатвосстанавливающих бактерий в верхнем слое — хотя и в десятки раз меньше, чем в нижнем, — объясняются наличием, наряду с гидратом окиси железа, закисной и закисноокисной массы. Этому же способствует развитие аэробных бактерий, число которых в верхнем слое больше, чем в нижнем.

Мурманская биологическая станция и
Институт физической химии
Академии наук СССР

Поступило
20 IV 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. И. Рубенчик, Микроорганизмы как фактор коррозии бетонов и металлов, 1950. ² Э. А. Рейнфельд, Микробиология, 7, в. 1, 33 (1939). ³ Э. А. Рейнфельд, там же, 11, в. 5—6, 195 (1942). ⁴ R. Z. Starkey, K. M. Wigh, Anaerobic Corrosion of Iron in Soil, 1945. ⁵ R. F. Hadley, Petroleum Engin., 7, Nos. 6, 7 (1940). ⁶ С. И. Кузнецов, Роль микроорганизмов в круговороте веществ в озерах, 1952. ⁷ Г. В. Акимов, Основа учения о коррозии и защите металлов, 1946. ⁸ Н. Д. Томашов, Коррозия металлов с кислородной деполяризацией, 1947. ⁹ R. L. Starkey, J. D. Schenone, J. Bact., 54, No. 1 (1947).