

УДК 620.193.8

КОРРОЗИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ МИКРОБНЫХ АССОЦИАЦИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

© 2011 г. В. Б. Родин, С. К. Жиглецова, Н. А. Жиркова, Н. В. Александрова,
В. А. Чугунов, В. П. Холоденко

Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Оболensk, Московская обл., 142279
e-mail: info@obolensk.org

Поступила в редакцию 31.01.2011 г.

Воздействие микробных ассоциаций, выделенных из различных экологических ниш, на коррозию мягкой стали изменялось в зависимости от состава питательной среды и режима аэрации. При этом наблюдалось как уменьшение, так и увеличение коррозионных потерь, что свидетельствует об условности существующего разделения микроорганизмов на деструкторов и пассиваторов коррозии.

До сих пор с микробиологически индуцируемой коррозией (МИК) борются в основном с помощью биоцидов, представляющих определенную экологическую опасность. Кроме того, их воздействие иногда кратковременно или недостаточно эффективно, поэтому необходим поиск альтернативных методов борьбы с МИК.

Одним из перспективных способов борьбы с МИК является использование защитных биопленок некоторых микроорганизмов. Так, в частности, было показано, что *Pseudomonas S9* и *Serratia marcescens* в 8 раз уменьшали весовые потери металла [1], а биопленки *Escherichia coli* и *Pseudomonas fragi* уменьшали коррозионные потери от 4 до 40 раз [2]. Исследование 42 штаммов хемоорганотрофных бактерий, выделенных из биопленок и воды промышленных охлаждающих систем, показало, что коррозия металлов уменьшалась в присутствии большинства этих микроорганизмов [3]. Таким образом, в литературе сложилось деление микроорганизмов на индуцирующих коррозию и на защищающих от нее, то есть на деструкторов и пассиваторов коррозии. Обратимость воздействия микроорганизмов на коррозию металлов связывалась с секрецией экзополисахаридов [4], поглощением клетками кислорода [5] и образованием специфических антимикробных веществ [6], которые предотвращают развитие коррозионно агрессивных бактерий.

Однако при изучении биокоррозии, как правило, эксперименты проводят или в средах, специально подобранных для изучаемых микробов (например, среды Постгейта для сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ)) [7], или в средах, близких к производственным [3] или природным [4, 8] условиям. Неоднократно делались попытки определить условия окружающей среды, ограничивающие возможность протекания МИК [9–11]. Однако до сих пор влиянию состава среды на процессы биокоррозии,

протекающих с участием микроорганизмов, уделялось недостаточно внимания.

Ранее нами была проверена коррозионная активность 10 аэробных бактерий, принадлежащих к различным таксономическим группам, на глюкозо-минеральной среде с пептоном (ГМП) и питательном бульоне (ПБ) [12]. Оказалось, что величина биокоррозионного повреждения полностью определялась составом питательной среды. Так, на среде ГМП в присутствии чистых культур этих микроорганизмов скорость коррозии относительно контроля возрастала с 2 до 13 раз. В то же время в среде ПБ те же бактерии уменьшали коррозионные потери относительно контроля с 2 до 8 раз.

На примере *Klebsiella rhinoscleromatis* также было показано, что интенсивность и величина как повреждающего действия, так и защищающего эффекта определялись концентрацией соответствующего источника углерода [13].

При анализе полученных результатов возникло предположение, что величина и направление микробиологического воздействия на коррозию зависит от того, насколько источник углерода способствует образованию кислых или щелочных продуктов метаболизма. Для проверки этого предположения было исследовано влияние на биокоррозию замены глюкозы в среде ГМП на различные углеводы, утилизация которых в микроаэрофильных условиях сопровождается разной степенью закисления среды. Исследовали те же десять микроорганизмов, а в качестве источника углерода вместо глюкозы — рамнозу, дульцит и сорбит. В результате была получена статистически достоверная корреляционная зависимость между величиной коррозионных потерь и значением pH культуральной жидкости в конце инкубации. Очевидно, что в среде ГМП, состав которой не вызывал коррозии, микроорганизмы потребляли способствующие пассивации ионы фосфатов и

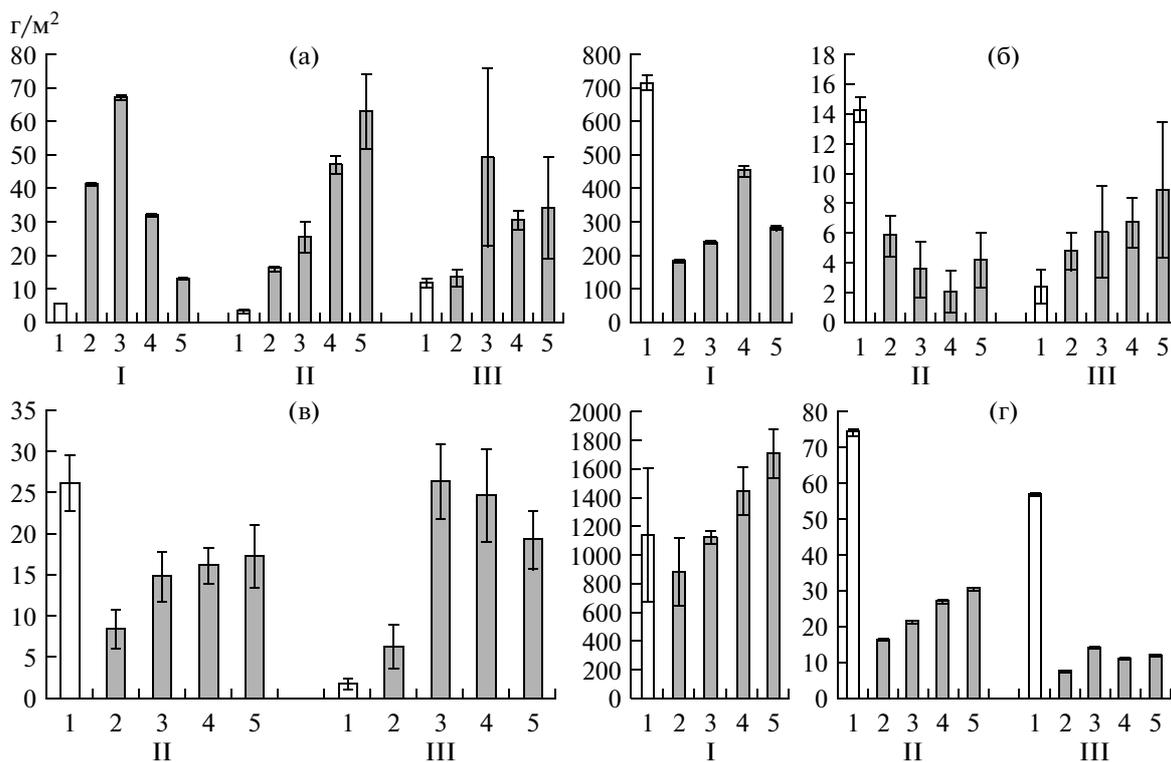


Рис. 1. Коррозионные потери мягкой стали в присутствии естественных ассоциаций при аэробных (I), микроаэрофильных (II) и анаэробных (III) условиях культивирования в разных средах: (а) – среда ГМП; (б) – среда LB; (в) – среда DSM; (г) – среда МСК: 1 – стерильная среда (контроль), 2 – “Стоки”, 3 – “Почва”, 4 – “Ил”, 5 – “Река”.

использовали глюкозу с образованием ионов H^+ , что приводило к увеличению коррозионных потерь. В среде ПБ те же клетки, используя пептон в качестве источника углерода и энергии, защелачивали прилегающую к поверхности металла среду, защищая ее тем самым от коррозии [12].

Таким образом, изложенные выше результаты наших исследований позволили сделать вывод о том, что воздействие чистых аэробных культур на коррозионные процессы определяется прежде всего видом и концентрацией питательного субстрата. Однако, как известно, в реальных процессах биоповреждений участвуют не чистые культуры микроорганизмов, а их природные ассоциации, поведение которых является значительно более сложным [14, 15], поэтому остается не ясно, применимы ли к естественным микробным ассоциациям закономерности проявления коррозионной активности, обнаруженные для чистых культур.

Цель работы – изучение влияния состава питательной среды и режима аэрации на коррозионную активность природных микробных ассоциаций.

МЕТОДИКА

Выделение ассоциаций и их культивирование. В работе использовали следующие природные ассоци-

ции микроорганизмов: ассоциация “Стоки”, выделенная из нефтепромысловых вод Альметьевского месторождения (Татарстан); ассоциация “Почва”, выделенная из суглинистой почвы (г. Серпухов, Московская обл.); ассоциация “Ил”, выделенная из прудового ила; ассоциация “Река”, выделенная из воды реки Нара. В отдельном эксперименте (рис. 2) были использованы микробные ассоциации, выделенные их различных географических регионов и экологических ниш.

В работе использовали следующие питательные среды (г/л): LB – среда Лурия–Бертани: NaCl – 10.0; дрожжевой экстракт, “Sigma” (США) – 5.0; пептон (“Sigma”) – 10.0. ГМП – глюкозо-минеральная среда с пептоном: $(NH_4)_2SO_4$ – 1.0; K_2HPO_4 – 6.0; KH_2PO_4 – 3.0; пептон (“Sigma”) – 0.5; глюкоза – 10.0. DSM – среда для выращивания СВБ [16]: KH_2PO_4 – 0.5; NH_4Cl – 1.0; Na_2SO_4 – 1.0; $CaCl_2$ – 0.1; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 2.0; дрожжевой экстракт (“Sigma”) – 1.0; 60%-ный раствор лактата натрия – 3.0 мл; $NaHCO_3$ – 1.0; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0.04; $Na_2S \cdot 9H_2O$ – 0.08. Среда МСК содержала минеральные соли и керосин, как единственный источник углерода и энергии: K_2HPO_4 – 0.1; KH_2PO_4 – 0.05; NH_4Cl – 1.0; Na_2SO_4 – 1.0; керосин – 5.0 мл. ГРМ агар – сухой питательный агар для культивирования микроор-

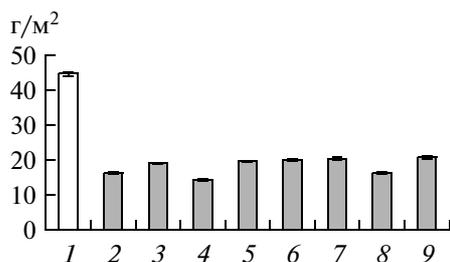


Рис. 2. Коррозионные потери стали на среде МСК в присутствии естественных микробных ассоциаций, выделенных из различных географических регионов и экологических ниш: 1 – стерильная среда (контроль); 2 – река Белка, Башкирия, Россия; 3 – река Днепр (Смоленск, Россия); 4 – река Дунай (Будапешт, Венгрия); 5 – пресноводный аквариум; 6 – песчаный карьер (г. Орел, Россия); 7 – пруд (г. Орел, Россия); 8 – городской канал (Манчестер, Великобритания); 9 – грунт из околотрубного пространства магистрального газопровода (Ухта, республика Коми, Россия).

ганизмов (ГНЦ ПМБ, Оболенск): панкреатический гидролизат рыбной муки – 24.0; NaCl – 5.0; агар – 12.0.

Для обеспечения разных режимов аэрации на средах ГМП, LB и DSM использовали следующие варианты культивирования микробных ассоциаций:

- анаэробный, в пробирках, до верха заполненных средой и плотно закрытых резиновыми пробками, в стационарном режиме;
- микроаэрофильный, в пробирках с 10 мл среды, закрытых ватными пробками, в стационарном режиме;
- аэробный, в конических колбах объемом 700 мл, с 200 мл среды на качалке (200 об/мин).

На среде МСК культивирование проводили в конических колбах объемом 700 мл, закрытых ватными пробками. В этом случае различные режимы аэрации создавались за счет различной степени поглощения кислорода воздуха биопленкой нефтеокисляющих микроорганизмов, образующейся на поверхности среды. Анаэробное культивирование ассоциаций осуществляли в колбах с 700 мл среды в стационарном режиме. При этом среда на несколько сантиметров не достигала края горлышка колбы, из-за чего площадь ее контакта с кислородом воздуха была минимальной. Можно предположить, что весь или почти весь кислород поглощался биопленкой аэробных нефтеокисляющих микроорганизмов, вырастающей под слоем керосина. Микроаэрофильный режим культивирования ассоциаций создавали в 200 мл среды в стационарном режиме. В данном случае отношение площади контакта среды с воздухом к объему среды гораздо больше по сравнению с предыду-

щим вариантом, поэтому биопленка аэробных нефтеокисляющих микроорганизмов не полностью поглощала кислород, поступающий в питательную среду. Обозначения этих режимов в данном случае в значительной степени условно и отражало лишь различную степень аэрации.

Ассоциации выделяли, внося 10% образца почвы или воды в указанные выше среды. Накопительные культуры на средах ГМП и LB получали в микроаэрофильных условиях, а на средах DSM и МСК – в анаэробных. Все варианты культивирования проводили при 28°C. Инкубацию на средах ГМП, LB и МСК проводили в течение 3 нед, а на среде DSM – в течение 5 нед.

Инокуляция и определение коррозионных потерь. Стальные диски из мягкой стали диаметром 1 см и толщиной 0.4 мм зачищали наждачной бумагой и обезжиривали этиловым спиртом, высушивали в эксикаторе, взвешивали и помещали в предварительно простерилизованные пробирки или колбы.

В стерильные среды вносили 1% инокулята из накопительных культур, разливали в пробирки и колбы с дисками, закрывали пробками и ставили на инкубацию при 28°C. После завершения опытов в культуральной жидкости определяли pH, концентрацию сероводорода [17], а также делали высеив для определения количества аэробных гетеротрофных бактерий и СВБ. Титр аэробных гетеротрофных бактерий определяли путем посева на чашки с ГПМ агаром из серии десятикратных разведений культуральной жидкости. Количество СВБ определяли путем титрования культуральной жидкости методом десятикратных серийных разведений в среде DSM [10].

Стальные диски промывали водой, 5%-ной соляной кислотой в течение 10–30 с, затем снова водой. Такая обработка позволяла быстро удалять продукты коррозии без изменения массы металла. После промывания диски предварительно обезжировали фильтровальной бумагой и окончательно высушивали в эксикаторе до постоянной массы. О коррозионной активности ассоциаций судили по уменьшению массы диска на единицу площади поверхности за время инкубации. Каждый опыт проводили в 5 повторностях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Во всех вариантах культивирования зафиксирован высокий (10^8 – 10^9 кл./мл) итоговый титр клеток как гетеротрофных, так и СВБ. Это означает, что во всех проведенных экспериментах существовали достаточно благоприятные условия для развития как аэробных, так и анаэробных микроорганизмов. Повидимому, при культивировании в аэробных условиях СВБ развивались внутри клеточных конгломератов, взвесь из которых появлялась в среде через несколько суток инкубации.

Результаты химического анализа культуральной жидкости после окончания опыта

| Режим аэрации | Ассоциация | Среда ГМП | | Среда LB | | Среда DSM | | Среда МСК | |
|------------------|------------|-----------|------------------------|----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|
| | | pH | H ₂ S, мг/л | pH | H ₂ S, мг/л | pH | H ₂ S, мг/л | pH | H ₂ S, мг/л |
| Аэробный | Контроль | 7.3 | —* | 6.8 | — | — | — | 7.9 | — |
| | “Стоки” | 7.1 | — | 8.7 | — | — | — | 6.0 | — |
| | “Почва” | 7.1 | — | 9.7 | — | — | — | 5.9 | — |
| | “Ил” | 7.2 | — | 9.7 | — | — | — | 6.4 | — |
| | “Река” | 7.2 | — | 9.7 | — | — | — | 6.7 | — |
| Микроаэрофильный | Контроль | 7.2 | — | 7.5 | — | 7.2 | — | 7.7 | — |
| | “Стоки” | 4.3 | 4.8 | 7.9 | 10.1 | 8.2 | 2.3 | 5.9 | 1.0 |
| | “Почва” | 6.6 | 9.0 | 9.1 | 0.8 | 9.3 | 0.7 | 6.5 | 0.4 |
| | “Ил” | 6.5 | 5.2 | 9.1 | 1.5 | 9.3 | 0.2 | 6.1 | 0.8 |
| | “Река” | 6.1 | 2.7 | 9.1 | 0.5 | 9.1 | 0.3 | 7.7 | 1.8 |
| Анаэробный | Контроль | 7.1 | — | 7.1 | — | 7.3 | — | 8.2 | — |
| | “Стоки” | 4.2 | 2.3 | 6.6 | 10.2 | 8.4 | 58.3 | 6.5 | 4.9 |
| | “Почва” | 6.6 | 1.5 | 6.6 | 4.2 | 8.8 | 7.7 | 7.2 | 1.1 |
| | “Ил” | 5.5 | 1.3 | 6.2 | 2.7 | 8.8 | 8.8 | 7.2 | 2.4 |
| | “Река” | 5.2 | 0.7 | 6.8 | 1.1 | 8.8 | 39.9 | 7.5 | 2.2 |

* — не определяли.

На среде ГМП при всех режимах аэрации все испытанные ассоциации (“Стоки”, “Почва”, “Ил”, “Река”) вызывали значительное (в несколько раз) усиление коррозии по сравнению с контролем (рис. 1а). Исключение составила только ассоциация “Стоки”, которая в анаэробных условиях показала незначительное (около 20%) усиление коррозии на этой среде.

Культивирование ассоциаций на среде ГМП в анаэробных и микроаэрофильных условиях сопровождалось закислением среды и накоплением сероводорода (таблица): почернение среды, очевидно, было результатом накопления сульфида железа. В аэробных условиях культивирования изменения pH и цвета среды в процессе инкубации не наблюдали.

В отличие от среды ГМП на остальных средах воздействие ассоциаций на коррозию изменялось в зависимости от режима аэрации. Так, на среде LB все ассоциации в аэробных и микроаэрофильных условиях ингибировали коррозию, а в анаэробных — усиливали ее (рис. 1б). При инкубации на качалке в аэробных условиях были зафиксированы очень большие коррозионные потери как в контрольных, так и в опытных образцах, что, очевидно, связано с воздействием кислорода. Однако в опытных вариантах в результате жизнедеятельности микроорганизмов зафиксировано также и резкое увеличение pH (таблица), что, по-видимому, значительно затор-

мозило коррозию. В микроаэрофильных стационарных условиях доступ кислорода к поверхности металла был ограничен, что уменьшало коррозионные потери примерно в 50 раз в контроле по сравнению с аэробным вариантом культивирования. Здесь также отмечено сильное защелачивание, ингибирующее действие которого привело к уменьшению коррозии по сравнению с контролем в несколько раз. В анаэробных условиях из-за отсутствия кислорода коррозионные потери в контроле уменьшились в несколько раз по сравнению с микроаэрофильными условиями. Однако в опытных вариантах они возросли, по-видимому, из-за повышения концентрации сероводорода и закисления среды.

В результате роста всех ассоциаций на среде DSM в микроаэрофильных условиях наблюдалось ингибирование коррозии, а в анаэробных все ассоциации коррозию ускоряли (рис. 1в). При этом во всех вариантах культивирования происходило защелачивание среды (таблица). В микроаэрофильных условиях цвет среды не изменялся, сероводород накапливался в незначительных количествах. В анаэробных условиях рост ассоциаций сопровождался почернением среды и значительным увеличением концентрации сероводорода.

На среде МСК в аэробных условиях как в контроле, так и в присутствии ассоциаций зафиксированы приблизительно одинаковые высокие коррозион-

ные потери с большим разбросом экспериментальных данных (рис. 1г). В анаэробных и микроаэрофильных условиях коррозионные потери в присутствии ассоциаций относительно контроля уменьшились в несколько раз.

На среде МСК во всех вариантах культивирования визуально наблюдалась интенсивная утилизация керосина. В анаэробных условиях, начиная со второй недели инкубации, наблюдалось почернение среды. В остальных вариантах опыта цвет среды не изменялся. Концентрации сероводорода в микроаэрофильном и анаэробном вариантах различались незначительно. В конце опыта в контрольных вариантах наблюдалось защелачивание среды, в то время как в опытных колбах в аэробных условиях зафиксировано закисление, а в микроаэрофильных и анаэробных условиях как закисление, так и защелачивание среды (таблица).

Таким образом, полученные результаты показывают, что все ассоциации в целом одинаково влияли на коррозию мягкой стали, протекающую в различных средах и при разных условиях аэрации. При определенном наборе питательных веществ в среде и режиме аэрации все ассоциации или усиливали коррозию, или ингибировали ее, или их воздействие достаточно слабо проявлялось на фоне химических коррозионных процессов.

Полученные результаты в целом подтвердили высказанное нами ранее предположение об определяющем влиянии состава среды на характер воздействия микроорганизмов на коррозионные процессы [12]. Подавляющее большинство природных ассоциаций должно различаться не по видовому составу, а по соотношению входящих в них видов микроорганизмов, поэтому при росте инокулятов из разных ассоциаций в одних и тех же условиях в них происходит отбор микроорганизмов, метаболизм которых в наибольшей степени подходит для утилизации данного питательного субстрата при данном режиме аэрации. Даже если в ассоциации присутствуют единичные клетки нескольких видов, которые в наибольшей степени способны адаптироваться к данным условиям окружающей среды или для которых эти условия являются благоприятными для роста, то через определенное время при поддержании данных условий эти виды могут стать доминирующими. Таким образом, независимо от природного источника инокулята в одних и тех же условиях роста происходит отбор наиболее адекватных данным условиям процессов метаболизма. Исходное различие в количественном составе образующих ассоциацию таксономических групп должно влиять только на время, приводящее к конечному результату, но не на сам результат. Одинаковый метаболизм предполагает и одинаковые продукты метаболизма, а значит и одинаковое воздействие на коррозионные процессы.

Очевидно, что во всех 4 испытанных ассоциациях содержались гетеротрофные микроорганизмы, способные утилизировать пептоны, входящие в большом количестве в состав среды LB. В присутствии кислорода воздуха происходило их полное окисление до углекислого газа, воды и аммиака. Последний способствовал защелачиванию среды, что приводило к ингибированию коррозии мягкой стали на среде LB в аэробном и микроаэрофильном режимах. В анаэробных условиях сахара и пептоны окислялись не полностью. Сахара сбраживались в органические кислоты, а пептоны разлагались до органических кислот и низкомолекулярных азотсодержащих соединений. Судя по слабнокислой реакции культуральной жидкости (таблица), кислых продуктов образовывалось больше, чем щелочных, что и вызывало ускорение коррозии. Не исключено, что в этом случае свой вклад в ускорение коррозии вносили и СВБ, входящие в состав ассоциаций. Они начинали развиваться, используя продукты метаболизма других микроорганизмов во второй период инкубации, что приводило к почернению питательной среды.

В отсутствие микроорганизмов коррозионные потери на среде LB, очевидно, определяются содержанием кислорода в среде непосредственно у поверхности металла. Максимальные потери наблюдались на этой среде в аэробных условиях, а минимальные — в анаэробных.

В отличие от этого на среде ГМП в контрольных вариантах даже в условиях интенсивной аэрации коррозионные потери были сравнительно небольшими. По всей видимости, это объясняется пассивирующим действием содержащихся в этой среде высоких концентраций фосфатов. В этой среде единственным источником углерода и энергии была глюкоза. В аэробных условиях она полностью окислялась до углекислого газа и воды без образования кислых продуктов метаболизма, поэтому зафиксированное в аэробных условиях ускорение коррозии можно связать с разрушением микроорганизмами защитной фосфатной пленки. Помимо этого ускорению коррозии в микроаэрофильных и анаэробных условиях, очевидно, способствовало закисление среды, вызванное неполным окислением глюкозы.

Защелачивание среды DSM в результате процесса сульфатредукции оказывало ингибирующий эффект только в микроаэрофильных условиях. Образующийся сероводород, очевидно, окислялся ограниченным количеством кислорода воздуха, что приводило к снижению концентрации этих двух коррозионно активных веществ. Несмотря на низкое содержание кислорода в анаэробных условиях, коррозионные потери возросли, по-видимому, из-за накопления сероводорода, концентрация которого

по сравнению с микроаэрофильным вариантом увеличилась более чем на порядок.

Особый интерес представляют результаты, полученные на среде МСК, содержащей минеральные соли и керосин в качестве единственного источника углерода и энергии, поскольку этот случай наиболее близок к реальным условиям в нефтедобывающей промышленности. Здесь в процессе культивирования можно выделить два взаимосвязанных и противоположных по воздействию на значение рН процесса — биодegradацию керосина и сульфатредукцию. Как известно, биодegradация углеводов сопровождается закислением [18], а сульфатредукция — защелачиванием [7] среды.

В начале инкубации доминировали процессы деструкции углеводов, а процессы сульфатредукции ускорялись по мере снижения в культуральной жидкости концентрации кислорода и накопления в ней продуктов биодegradации керосина, служащих для СВБ питательным субстратом. За время инкубации по мере потребления запасов керосина кислотообразующий процесс его биодegradации постепенно замедлялся и доминирующим становилось защелачивание среды в результате сульфатредукции. Момент смены и характер протекания этих противоположно направленных процессов должен быть индивидуален для каждой ассоциации и, видимо, этим объяснялось наличие у разных ассоциаций как кислой, так и щелочной реакции при микроаэрофильном и анаэробном вариантах инкубации (таблица).

Таким образом, в процессе культивирования на среде МСК величина рН должна колебаться вблизи нейтрального значения, что означало незначительное влияние этого показателя на коррозионные процессы. Поскольку фосфатов на этой среде на два порядка меньше, чем на среде ГМС, то их пассивирующий эффект тоже должен быть незначительным. Из этого следует, что коррозионные потери на среде МСК должны определяться, главным образом, концентрацией кислорода и сероводорода. Полученные результаты полностью подтвердили это (рис. 1г).

Так, в аэробных условиях коррозионные потери из-за агрессивного воздействия кислорода в опытных и контрольных вариантах были одинаково высоки, поскольку определялись только воздействием кислорода. В микроаэрофильных условиях из-за меньшего доступа кислорода коррозионные потери в опытных вариантах были в 2–3 раза меньше, чем в контроле. В анаэробных условиях в результате большего поглощения доступного кислорода нефтеокисляющими микроорганизмами защитный биологический эффект оказался еще сильнее.

Учитывая практическую значимость полученного результата, нами был поставлен аналогичный дополнительный опыт с использованием других есте-

ственных ассоциаций, полученных из восьми удаленных друг от друга географически регионов. Как видно из результатов, представленных на рис. 2, все восемь различных природных микробных ассоциаций также тормозили коррозию в анаэробных условиях на среде МСК. Это позволило утверждать, что независимо от места расположения нефтепромысла характер микробиологического воздействия на коррозию нефтепромыслового оборудования будет определяться не составом аборигенной микрофлоры, а концентрацией кислорода в нефтепромысловой воде и ее химическим составом.

Наблюдавшееся в конце инкубации почернение среды и накопление сероводорода в анаэробных условиях на среде МСК указывало на определенную активность СВБ, что, однако, не оказало какого-либо существенного влияния на коррозию. По-видимому, как и в случае со средой LB, это было связано с относительно коротким сроком инкубации.

Таким образом, полученные результаты полностью подтвердили правильность сделанного нами ранее вывода об условности разделения микроорганизмов на деструкторов и пассиваторов. Так же, как и чистые культуры, различающиеся по видовому составу ассоциации, при изменении условий культивирования одинаковым образом изменяют свое воздействие на коррозионные процессы.

Обсуждение полученных результатов не может претендовать на исчерпывающее объяснение всех происходивших в эксперименте процессов. Тем не менее, они позволяют предположить, что закономерности микробиологического воздействия на коррозию можно прогнозировать, исходя из известных законов протекания электрохимической коррозии, учитывающих воздействие кислорода, сероводорода, а также кислых или щелочных продуктов метаболизма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pedersen A., Hermansson M.* // Biofouling. 1981. V. 1. P. 313–322.
2. *Jayaraman A., Eartman J.C., Wood T.K.* // Appl. Microbiol. Biotechnol. 1997(a). V. 47. P. 62–68.
3. *Potekhina J.S., Sherisheva N.G., Potekhina L.P., Pospelov A.P., Rakitina T.A., Warnecke F., Gottschalk G.* // Appl. Microbiol. Biotechnol. 1999. V. 52. P. 639–646.
4. *Nivens D.E., Nichols P.D., Henson J.M., Geesey G.G., White D.C.* // Corrosion NACE. 1986. V. 42. № 4. P. 204–210.
5. *Jayaraman A., Cheng E.T., Eartman J.C., Wood T.K.* // Appl. Microbiol. Biotechnol. 1997. V. 48. P. 11–17.
6. *Ornek D., Jayaraman A., Syrett B., Hsu C-H., Wood, T.K.* // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2002. V. 58. P. 651–657.
7. *Postgate J.R.* The Sulphate-Reducing Bacteria. 2nd ed., Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1984. 165 p.
8. *Lee J.S., Ray R.I., Lemieux E., Falster A., Little B.J.* // Biofouling. 2004. V. 20. P. 237–247.

9. *Ford T.E., Mitchell R.* // *Advances in Microbial. Ecology*. N. Y.: Plenum Press., 1990. V. 11. P. 230–262.
10. *Videla H.A.* *Manual of Biocorrosion*. N. Y.: CRC Press Inc., 1996. 273 p.
11. *Borenshtein S.W.* *Microbiologically Influenced Corrosion Handbook*. N. Y.: Industrial Press Inc., 1994. 208 p.
12. *Родин В.Б., Жиглецова С.К., Кобелев В.С., Акимова Н.А., Александрова Н.В., Расулова Г.Е., Холоденко В.П.* // *Прикл. биохимия и микробиология*. 2000. Т. 36. № 6. С. 679–684.
13. *Жиглецова С.К., Родин В.Б., Кобелев В.С., Александрова Н.В., Расулова Г.Е., Холоденко В.П.* // *Прикл. биохимия и микробиология*. 2000. Т. 36. № 6. С. 637–641.
14. *Николаев Ю.А., Плакунов В.К.* // *Микробиология*. 2007. Т. 76. № 2. С. 149–163.
15. *Costerton J.W., Lewandovski Z., Caldwell D.E., Corber D.R., Lappin-Scott H.M.* // *Annu. Rev. Microbiol.* 1995. V. 49. P. 711–745.
16. *German Collection of Microorganisms and Cell Cultures. Catalogue of strains. 4th Ed.* Braunschweig: Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH., 1989.
17. *Лайтинен Г.А., Харрис В.Е.* *Химический анализ*. М.: Химия, 1979. 624 с.
18. *Ленгелер П., Древе Г., Шлегель Г.* *Современная микробиология прокариотов*. М.: Мир, 2005. 656 с.

Corrosive Activity of Natural Microbial Associations at Various Conditions of Cultivation

**V. B. Rodin, S. K. Zhigletsova, N. A. Zhirkova, N. V. Aleksandrova,
V. A. Chugunov, and V. P. Kholodenko**

*State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Obolensk, Moscow oblast, 142279 Russia
e-mail: info@obolensk.org*

Received January 31, 2011

Abstract—Influence of microbial associations isolated from different ecological niches on corrosion of mild steel was changed depending on composition of medium and aeration regime. Both decrease and increase in corrosion losses were observed, which indicated that the subdivision of microorganisms into destructors and passivators of corrosion is merely conventional.