



Роль микроорганизмов в биологической коррозии строительных конструкций

Н.М. Хансиварова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Статья обобщает изучение и анализ многочисленных литературных источников, результаты экспериментальных работ по выявлению видового состава микроорганизмов дисперсных пород, характера и степени их участия в коррозионных процессах конструкций инженерных сооружений. Экспериментально установлен видовой состав микрофлоры дисперсных пород территории г. Ростова-на-Дону, перечислены наиболее активные виды, способной повреждать защитные покрытия и металл. Кратко охарактеризованы некоторые механизмы взаимодействия продуктов жизнедеятельности микроорганизмов со строительными материалами, приводящие к коррозии. Выявлены виды обладающие возможностью разрушать материалы, содержащие органические производные. Обозначены литологические разновидности дисперсных пород, в пределах которых биокоррозия может протекать наиболее интенсивно.

Ключевые слова: коррозия, микроорганизмы, дисперсные породы, инженерные сооружения, металлические конструкции, бактерии, актиномицеты, микромицеты.

Коррозия, вызванная микроорганизмами, является частью почвенной и электрохимической коррозии. По данным английских исследователей [1] более 50 % всех потерь от коррозии линейных сооружений и металлических строительных конструкций приходится на долю микроорганизмов. Участие микроорганизмов в процессе коррозии двояко [2]:

1. путем создания агрессивных сред накоплением таких продуктов жизнедеятельности, как кислоты, щелочи, сульфиды и другие агрессивные ионы, которые создают коррозионно-опасную обстановку;
2. путем непосредственного участия в электрохимических реакциях на поверхности корродируемого субстрата.

Все возрастающее внимание различных ученых в области биологии [1], [2], инженерной геологии и строительства [3] к данной проблеме подтверждает ее актуальность и научно-практическую значимость. Большинство отечественных и зарубежных исследователей ограничиваются изучением распространения и видового состава микроорганизмов почвами. Количественный и качественный учет обитающих видов по разрезу дисперсных пород



выполнено впервые. Были исследованы следующие литологические разновидности дисперсных пород:

- dQ_{IIIos} верхнечетвертичные суглинки осташковского горизонта - желто-бурые, серовато-желтые, палево-желтые, лессовидные, макропористые, с включением карбонатов, легкие, просадочные;
- eQ_{IIIml} молодого-шекснинский погребенный почвенный горизонт - суглинки темно-бурые, тяжелые, просадочные, почва ярко выраженного черноземного типа;
- dQ_{IIIkl} верхнечетвертичные суглинки осташковского горизонта - желто-бурые, светло-желто-бурые, лессовидные, макропористые, с включением карбонатов («белоглазка»), дутиков, рыхлых известковистых скоплений, легкие, просадочные;
- eQ_{IIImk} - микулинский погребенный почвенный горизонт имеет сложное строение, представлен глинами легкими, просадочными - вверху коричневыми, ниже – черными (черноземный тип), а в подошве снова коричневыми;
- dQ_{IIIms} среднечетвертичные суглинки московского горизонта - красновато-бурые, лессовидные, слабомакропористые, с включениями мелкокристаллического гипса и отдельных крупных друз, известковых и карбонатных конкреций, которые местами имеют следы вторичной переработки, тяжелые, непросадочные;
- N_{2s} Скифские глины красно-бурые, местами серые, неслоистые, монолитного сложения, осколочной текстуры, плотные, легкие, непросадочные.

Экспериментально установлено, что грунтовые толщи Европейской части юга России, отличаясь многообразием микробного сообщества, а также особенностями состава, состояния и свойств, относятся к потенциально опасным коррозионным объектам. Оптимальные диапазоны влажности, незначительная плотности, высокая пористость, наличие в составе пород силикатов и алюмосиликатов, присутствие солей, приводит к формированию в системе



«породы – инженерное сооружение» различных электрохимических анодных или катодных реакций. Металлические конструкции содержат в своем составе элементы с переменной валентностью, которые под воздействием различных ферментов окисляются или восстанавливаются, что в конечном итоге является причиной их разрушения. Подземные строительные сооружения в дисперсных массивах неизбежно проходят через участки, для которых характерна неоднородность строения, существенны различия в величинах влажности, плотности, глинистости, концентрации солей, электропроводности, что приводит к формированию в системе «дисперсный грунт – сооружение» различных электрохимических анодных или катодных реакций.

По видовому составу микроорганизмов в лессовых грунтах накоплен значительный материал [4, 5]. Болотиной И.М. и др. в дисперсных лессовых грунтах обнаружены разнообразные физиологические группы: аммонификаторы, нитрификаторы, сульфатредукторы, метаноокисляющие и тионовые бактерии, актиномицеты, микроскопические грибы [4].

Проведенные микробиологические исследования образцов дисперсных пород, отобранных по разрезу на территории г. Ростова-на-Дону, выявили представителей следующих групп микроорганизмов: бактерии родов *Bacillus megatherium*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus idosus*, мелкие неспороносные палочки бактерий р. *Bacterium*; актиномицеты, принадлежащие к родам коринеморфных (вид *Corynebacterium*), проактиномицетам (виды *Actinomyces* и *Mycobacterium*), эуактиномицетам (вид *Streptomyces*); микрогрибы родов *Mucor*, *Penicillium*, *Alternaria* [3].

Биогенная деятельность в дисперсных породах может проявляться в окислении - восстановлении железа, марганца, алюминия; разложении гумуса; образовании карбонатов и глинистых минералов; деструкции породообразующих минералов [3, 4, 5, 6]. перечисленные микробиологические процессы могут весьма ощутимо изменять физико-химическую обстановку грунтовых толщ, способствуя повышению коррозионной активности грунтов и подзем-



ных вод. Например, разложение гумуса сопровождается накоплением полисахаридов и органических кислот. Полисахариды относятся к поверхностно-активным веществам, которые воздействуют на твердые поверхности, вызывают их деструкцию; снижают механическую прочность материалов.

Р.Блачник и В.Занова к наиболее активным представителям почвенной (грунтовой) микрофлоры, способной повреждать защитные покрытия и металл относят микроскопические грибы, главным образом родов *Peniculium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Torulopsis*, *Candida*, *Sporotrichum*, а также актиномицеты. [4].

К группе микроорганизмов, осуществляющих биогенное преобразование железа, относятся практически все культуры р.*Bacillus*, грибы р.*Alternaria* и р.*Penicillium*, а так же актиномицеты [6].

В процессах коррозии металлов (сталь, чугун и др.) наибольшую активность проявляют гетеротрофные бактерии, которые населяют в основном верхние горизонты дисперсных пород и представлены бактериями рода *Bacillus*. Таким образом, процессы биокоррозии наиболее интенсивно протекают в современной почве, суглинка (dQ_{IIIos}), слагающего верхнюю часть разреза и первой от поверхности погребенной почвой (eQ_{IIIml}).

Практически представители всех видов микроорганизмов, населяющих грунтовые толщи, являются активными кислотообразователями. Кроме того, в составе населяющей микрофлоры содержатся разнообразные вещества, способные вступать во взаимодействие с химическими элементами металлических конструкций. Например, клеточные стенки актиномицетов содержат мезо-диаминопомелиновую кислоту и D-аланин, полисахариды, состоящие из арабинозы и галактозы, β -оксикислоты. Диапазон используемых источников питания у *Streptomyces* достаточно широк и кроме простых неорганических соединений включает ряд биополимеров [7, 8]. Следовательно, представители этого вида обладают потенциальной возможностью разрушать материалы, содержащие органические производные.



Металлоразрушающее действие бактерий *r. Bacillus* может быть обусловлено выделением ими *o*-дифенолов и 2-кетоглюконовой кислоты, образующих комплексные соединения с некоторыми двухвалентными металлами, в том числе, железом, входящим в состав металлических конструкций [9, 10]. Конечными продуктами метаболизма основных представителей *r. Bacillus* являются 2,3-бутандиол, глицерин и CO_2 , кроме того, образуются небольшие количества молочной кислоты и этанола. Некоторые подгруппы *r. Bacillus* содержат, в качестве запасного вещества, поли- β -оксималяную кислоту [8]. Среди микроскопических грибов в процессах разложения трубопроводов можно выделить активные кислотообразователи *r. Penicillium* и *Mucor* [11].

Различные представители микроорганизмов могут развиваться как в аэробных (в присутствии кислорода), так и в анаэробных условиях (без доступа кислорода). Соответственно выделяют аэробную и анаэробную коррозии [12, 13].

В грунтовых толщах анаэробная коррозия наблюдается в водонасыщенных, нередко заболоченных территориях, что характерно для зон сильного подтопления с залеганием уровня грунтовых вод близко к поверхности, явлениями заболачивания и засоления. Анаэробную коррозию способны осуществлять актиномицеты рода *Actinomyces*, которые растут только в отсутствие воздуха или при очень низком парциальном давлении кислорода. Аэробами с чисто дыхательным типом метаболизма являются все остальные роды актиномицетов, выделенных в дисперсных породах (*Corynebacterium*, *Mycobacterium*, *Streptomyces*), а так же грамположительные гетеротрофы рода *Bacillus* [8]. Следовательно, данные микроорганизмы относятся к возбудителям аэробной коррозии, которая развивается в породах при достаточном содержании в них свободного или растворенного кислорода.

Для сохранения от повреждений подземных инженерных сооружений, расположенных на дисперсных грунтовых основаниях, важное значение имеет исследование микробных сообществ и прогнозирования их коррозионной



активности. С этой целью следует предусматривать проведение микробиологического обследования отдельных корродированных участков трубопроводов с целью сопоставления условий жизнедеятельности микробов с геоэкологической обстановкой среды обитания. Для прогноза неблагоприятных последствий деятельности микроорганизмов в лессовой среде необходимо составление карты-схемы зон возможных микробных процессов.

Литература

1. Both G.H. Sulphur bacteria in relation to corrosion. J. Appl. Bact. 27 (1), 1964, 201 p.
2. Both G.H. Microbiological corrosion. Millsand Book Limited. London, 1971, 234 p.
3. Хансиварова Н.М. Гайдамакина Л.Ф. Исследование микрофлоры лессовых пород г. Ростова-на-Дону. Сергеевские чтения. Выпуск 2 / Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (23-24 марта 2000) – М.: ГЕОС, 2000. С. 56-61.
4. Блачник Р., Занова В. Микробиологическая коррозия. М-Л. Химия, 1965, 222 с.
5. Болотина И.Н., Сергеев Е.М. Микробиологические исследования в инженерной геологии - Инженерная геология, N 5. М.: Изд-во Наука, 1978. С 3-17.
6. Шахобова Б.Б. Восстановление трехвалентного железа культурами грибов и актиномицета. // Почвоведение, 1976. N 8. С. 27-38.
7. Стейнер Р., Эдельберг Э., Ингрэм Д. Мир микробов. Т.3. М., Мир, 1979, 486 с.
8. Заграничный К.А. вопросу об источниках и объемах поступления нефтяных компонентов в акваторию Черного моря // Инженерный Вестник Дона. №1, 2014. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2300
9. Duff. H., Webley D. M., Scott R. O. Solubilization of minerals and related



materials by 2-ketogluconic acid-producing bacteria. — Soil Sci., 1963, 95: pp 105 – 114.

10. Krumbein W, E. Role des microorganismes dans la genese la diagenese et l J -gradation des roches en place. — Rev. ecol. biol. sol., 1972, V. 145, № 4. pp. 441 – 461.

11. Стрижевский И.В. Биокоррозия городских подземных металлических трубопроводов. Обзорная информация. Вып. 1(3). М., ЦБНТИ, Минжилколхоза РСФСР, 1979. – 4 с.

12. Gar'kusha D. N., Fedorov Yu. A. Experimental Studies on the Formation of Methane in the Surface Water Bodies Heavily Polluted by Cadmium, Hydrobiological Journal, Volume 50, 2014 Issue 5 , pp. 99-109.

13. Михайленко А.В. Оценка содержания ртути в почвах и донных отложениях дельты реки Дон – Инженерный Вестник Дона. 2015. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3198

References

1. Both G.H. Sulphur bacteria in relation to corrosion. J. Appl. Bact. 27 (1), 1964, 201 p.

2. Both G.H. Microbiological corrosion. Millsand Book Limited. London, 1971, 234 p.

3. Hansivarova N.M. Gajdamakina L.F. Issledovanie mikroflory les-sovyh porod g. Rostova-na-Donu. Sergeevskie chtenija. Vypusk 2. Materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geojekologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii (23-24 marta 2000). М.: GEOS, 2000. pp. 56-61.

4. Blachnik R., Zanova V. Mikrobiologicheskaja korrozija. [Microbiological corrosion]. М-Л. Himija, 1965, 222 p.

5. Bolotina I.N., Sergeev E.M. Inzhenernaja geologija N 5. М.: Izd-vo Nauka, 1978. Pp. 3-17.

6. Shahobova B.B. Pochvovedenie, 1976. N 8. pp. 27-38.



7. Stejner R., Jedel'berg Je., Ingrjem D. Mir mikrobov [Ingram The world of microbes]. T.3. M., Mir, 1979, 486 p.
8. Zagranichnyj K.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), №1, 2014. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2300
9. Duff. H., Webley D. M., Scott R. O. Solubilization of minerals and related materials by 2-ketogluconic acid-producing bacteria. Soil Sci., 1963, 95: pp. 105 – 114.
10. Krumbein W, E. Role des microorganismes dans la genese la diaggene et I J -gradation des roches en place. Rev.ecol.biol.sol., 1972, V. 145, № 4. pp. 441 – 461.
11. Strizhevskij I.V. Biokorroziya gorodskih podzemnyh metallicheskih truboprovodov. Obzornaja informacija. Vyp. 1(3), M., CBNTI, Minzhilkolhoza RSFSR, 1979. 4 p.
12. Gar'kusha D. N., Fedorov Yu. A. Experimental Studies on the Formation of Methane in the Surface Water Bodies Heavily Polluted by Cadmium, Hydrobiological Journal, Volume 50, 2014 Issue 5, pp. 99-109.
13. Mihajlenko A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3198