

Татьяна Владимировна ШАРКОВА —
аспирант кафедры ботаники и биотехнологии растений
Sharkovatyana@yandex.ru;

Наталья Николаевна КОЛОКОЛОВА —
доцент кафедры ботаники и биотехнологии растений,
кандидат биологических наук
catrapella2004@mail.ru;

Нина Анатольевна БОМЕ —
зав. кафедрой ботаники и биотехнологии растений,
доктор сельскохозяйственных наук
botena@mail.ru —

Тюменский государственный университет

УДК 579.6

КОРРОЗИОННО-ОПАСНАЯ МИКРОФЛОРА ГРУНТОВ ОКОЛОТРУБНОГО ПРОСТРАНСТВА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

THE CORROSION-DANGEROUS MICROFLORA OF EXTERNAL PIPELINE ENVIRONMENT SOILS OF WESTERN SIBERIA OILFIELDS

АННОТАЦИЯ. В настоящее время установлено, что более 77% коррозионных потерь оборудования в нефтяной отрасли происходит в результате биокоррозии. Поэтому при разработке месторождений, наряду с оценкой коррозионной активности грунтов, необходимо проводить их микробиологический анализ.

SUMMARY. Today it is established that more than 77% of corrosion failure of metal pipelines and equipment in oil and gas industry are of microbiological character. So for oilfield exploitation it is necessary to carry out the microbiological analysis of soils as well as the estimation of their corrosion activity.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Коррозионно-опасная микрофлора, сульфатвосстанавливающие бактерии, скорость коррозии, антикоррозионная защита.

KEY WORDS. Corrosion-dangerous microflora, sulfate-reducing bacteria, rate of corrosion, anticorrosion protection.

Долговечность и надежность эксплуатации трубопроводов во многом зависит от способа прокладки. В настоящее время на месторождениях Западной Сибири основным является подземный способ прокладки трубопроводов.

При разработке месторождений рекомендуется проводить микробиологический анализ грунтов в целях определения количества коррозионно-опасных микроорганизмов, их активности и подбора оптимальных изоляционных покрытий для защиты трубопроводов от биокоррозии.

В статье представлены результаты исследования грунтов трех нефтяных месторождений (Кальчинское, Мало-Балыкское, Восточно-Уренгойское) Западной Сибири на наличие коррозионно-опасной микрофлоры, а также зависимости скорости коррозии стали в грунтах от температуры и количества микроорганизмов.

Большинство авторов, исследовавших микробную коррозию нефтепромышленного оборудования в грунтах, выделяют следующие группы коррозионно-опасных микроорганизмов: аммонифицирующие бактерии (АБ), сульфатвосстанавливающие и тионовые бактерии (СВБ и ТБ), плесневые грибы [1], [2], [3].

Механизм микробиологической коррозии в связан со стимулирующим воздействием продуктов метаболизма на электрохимические реакции коррозион-

ного процесса, а также с прямым воздействием микроорганизмов на скорость катодной или анодной реакции коррозионного процесса, с разрушением защитных пленок, покрытий и ингибиторов коррозии [6].

Аммонифицирующие бактерии осуществляют минерализацию белков, разлагая их на пептоны и аминокислоты, а в конечном итоге — до углекислого газа, аммиака, сероводорода, которые являются активными компонентами коррозионно-агрессивных сред. Органические кислоты, образующиеся в процессе жизнедеятельности АБ, могут использоваться другими бактериями в качестве источников питания. Таким образом, АБ принимают участие в подготовке оптимальных условий для развития коррозионных процессов на поверхности стали. Эта группа представлена в основном грамположительными споровыми палочками, входящими в состав рода *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. megaterium*). Из бесспорных форм в эту группу входят представители родов *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Mycobacterium* [1], [2], [3], [5].

Как первичный механизм повреждения плесневыми грибами следует рассматривать внедрение их в определенные участки поверхности металла, а как вторичный — действие на поверхности продуктов их метаболизма, в частности, органических кислот. К плесневым грибам, повреждающим металл и защитные покрытия трубопроводов, относятся роды *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Candida*, *Paecilomyces* и др. [1], [2], [3], [4], [6].

Все СВБ — анаэробы, в качестве доноров электронов или водорода используют органические кислоты, первичные спирты. Восстанавливают сульфаты до сероводорода, который при взаимодействии с железом в составе стали образует черный осадок сульфида железа. К этой группе относятся виды, принадлежащие к родам *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfobacterium*, *Desulfobacter*, *Desulfosarcina*, *Desulfonema* [1], [2], [3], [4], [5].

Тионовые бактерии окисляют молекулярную серу и восстановленные ее соединения, что приводит к образованию сульфата, и, как следствие, снижению реакции среды. Основные представители бактерий относятся к роду *Thiobacillus* (*Th. thiooxidans*, *Th. thioparus*, *Th. ferrooxidans*) [1], [2], [4], [5].

Грунты с месторождений (торф, песок, суглинок) помещали в стеклянные ячейки и выдерживали каждый тип грунта при трех температурах: -15...-17°C, +2...+4°C и +40°C в течение 80 суток. В каждую ячейку перед закладкой опыта помещали по 3 образца из стали марки 08 кп. Контрольные образцы помещали в стерильные грунты.

По истечении срока экспозиции ячейки вскрывали в стерильных условиях и делали соскобы с поверхности стальных образцов. Из полученных соскобов готовили почвенную суспензию.

Для выявления различных физиологических групп микроорганизмов и их количественного учета был применен метод предельных разведений с использованием элективных сред (среда Постгейта для СВБ, среда Летена для ТБ, Среда Чапека для плесневых грибов, МПА для АБ). Использовали стандартную методику [6]. Посев производили с 1 по 7 разведение включительно, каждое разведение — в 3-х повторностях.

Скорость коррозии стальных образцов определяли гравиметрическим методом [7]. Статистическую обработку данных проводили по стандартной методике [8].

В результате микробиологического анализа в грунтах Кальчинского месторождения СВБ не обнаружены, остальные группы коррозионно-опасных микроорганизмов были выявлены во всех типах грунтов при различных температурах (табл. 1). Сероводород в грунтах обнаружен в следовых количествах, следова-

тельно, процессы биогенной сульфатредукции отсутствуют. Отсутствие СВБ в исследуемых грунтах Кальчинского месторождения может быть связано, на наш взгляд, с неблагоприятными для развития этих бактерий значениями рН грунтов исследуемого месторождения (табл. 2). В свою очередь, слабокислую реакцию среды грунтов можно объяснить развитием ТБ.

Таблица 1

**Количество коррозионно-опасных микроорганизмов
в грунтах Кальчинского месторождения**

Грунт, глубина, м	t, °С	Количество микроорганизмов, клеток в 1 г грунта				
		ОМЧ	Аммонифициру- ющие бактерии	Плесневые грибы	СВБ	ТБ
Торф, 0,2	-15...-17	2135,3±33,87	8700,0±58,89	1300,0±57,73	—	3,3±0,70
	+2...+4	2387,3±40,36	10300,0±82,10	1500,0±10,00	—	235,6±4,93
	+40	2986,7±56,11	12600,0±79,73	1400,0±20,20	—	200,0±10,00
Песок, 0,5	-15...-17	2320,7±41,96	9600,0±87,76 [▲]	1500,0±20,20 [*]	—	70,0±2,76 [*]
	+2...+4	2969,4±46,69 [*]	12000,0±133,05 [▲]	2400,0±43,89 [*]	—	268,9±5,66 [*]
	+40	5248,3±36,25 [*]	13200,0±65,60 [*]	2100,0±45,80 [*]	—	1700,0±104,60 [*]
Сугли- нок, 1-2	-15...-17	2214,7±39,59	9860,0±81,20 [▲]	1300,0±10,00	—	57,8±1,73
	+2...+4	2489,7±47,73	12000,0±120,16 [▲]	1600,0±10,00 [▲]	—	90,0±10,00
	+40	4714,0±67,66 [▲]	12933,0±104,55 [▲]	1500,0±17,20 [▲]	—	900,0±10,00

Примечание: ОМЧ — общее микробное число; СВБ — сульфатвосстанавливающие бактерии; ТБ — тионовые бактерии;

* — различия с торфом и суглинком при данной температуре статистически достоверны при $P < 0,05$;

▲ — различия с торфом при данной температуре статистически достоверны при $P < 0,05$.

Таблица 2

Результаты химического анализа проб грунтов исследуемых месторождений

Месторождение	рН грунтов	SO ₄ ²⁻ , мг — экв	H ₂ S, мг/кг почвы
Кальчинское	5,06-6,08	0,1-0,16	следы
Мало-Балыкское	6,68-7,34	0,27-0,36	1,02-2,04
Восточно-Уренгойское	6,59-7,40	0,29-0,42	1,36-2,72

Кроме того, анализ микрофлоры грунтов Кальчинского месторождения показал, что общее микробное число (ОМЧ) в песке при +40°С было достоверно большим, чем в других вариантах и составило 5248,3±36,25 клеток на 1 г грунта.

В грунтах Мало-Балыкского месторождения микробиологический анализ показал наличие всех групп коррозионно-опасных микроорганизмов, за исключением тионовых бактерий. В суглинке Мало-Балыкского месторождения при +40°С ОМЧ было достоверно большим, чем в других вариантах опыта и составило 4813,3±17,58 клеток на 1 г грунта (табл. 3).

В грунтах Восточно-Уренгойского месторождения тионовые бактерии не обнаружены, остальные группы микроорганизмов были выявлены. Наибольшее ОМЧ было выявлено в суглинке при +40°С. Оно составило 4876,7±19,04 клеток на 1 г грунта (табл. 4).

Результаты химического анализа грунтов Мало-Балыкского и Восточно-Уренгойского месторождений показали наличие сульфат-ионов и оптимальную для развития сульфатвосстанавливающих бактерий реакцию среды. В пробах

отмечено присутствие сероводорода, который является продуктом метаболизма этих бактерий (табл. 2).

Таким образом, в ходе микробиологического анализа было установлено, что наибольшее количество коррозионно-опасных микроорганизмов содержится в грунтах Кальчинского месторождения, что, вероятно, связано с наиболее южным его географическим положением и благоприятными для развития микрофлоры климатическими условиями.

Для выявления влияния микрофлоры на коррозию стали были определены скорость и характер коррозии стальных образцов в контрольных и опытных типах грунтов.

При испытании стальных образцов в опытных грунтах скорость коррозии превышала контрольную в большинстве случаев в 10-30 раз. Это связано с присутствием в опытных грунтах коррозионно-опасной микрофлоры, которая, по литературным данным [2], [9], приводит к усилению коррозионного процесса. Наличие в среде микроорганизмов и продуктов их метаболизма оказывает существенное влияние на характер коррозионных процессов. Для микробиологической коррозии характерны местные питтинговые и язвенные повреждения металлической поверхности, поскольку очаги коррозионного разрушения стали локализуются в местах скопления микроорганизмов.

Таблица 3

**Количество коррозионно-опасных микроорганизмов
в грунтах Мало-Балыкского месторождения**

Грунт, глубина, м	t, °С	Количество микроорганизмов, клеток в 1 г грунта				
		ОМЧ	Аммонифициру- ющие бактерии	Плесневые грибы	СВБ	ТБ
Торф, 0,2	-15_-17	1392,7±39,08	5700,0±62,50 [▲]	600,0±15,75	10,0±0,00	—
	+2...+4	2130,7±40,26	8733,3±42,57	1866,6±18,60	40,0±3,00	—
	+40	3245,7±10,61	9866,7±67,66	1400,0±10,00	1000,0±0,00	—
Песок, 0,5	-15_-17	1403,3±49,60	3266,7±37,18	933,3±6,67	70,0±3,00*	—
	+2...+4	2766,7±53,51*	6666,7±90,50	1466,6±12,20	40,0±3,00	—
	+40	4568,3±10,61*	9033,3±52,90	1500,0±17,21*	1000,0±0,00	—
Суглинок, 1-2	-15_-17	1843,7±13,69* [▲]	5200,0±26,58 [▲]	1233,3±12,19*	10,0±0,00	—
	+2...+4	2892,3±32,66* [▲]	6066,7±14,30	1300,0±20,20	100,0±0,00* [▲]	—
	+40	4813,3±17,58* [▲]	10366,7±78,90 [▲]	1500,0±25,66*	7000,0±300,00* [▲]	—

Примечание: ОМЧ — общее микробное число; СВБ — сульфатвосстанавливающие бактерии; ТБ — тионовые бактерии;

* — различия с торфом при данной температуре статистически достоверны при $P < 0,05$;

▲ — различия с песком при данной температуре статистически достоверны при $P < 0,05$.

Контрольные образцы грунтов характеризовались отсутствием микрофлоры. Коррозия в данном случае носила электрохимический, а не биологический характер.

Наиболее высокая скорость коррозии опытных образцов стали отмечена при температуре +40°С в песке и суглинке Кальчинского месторождения. В данном случае коррозионные повреждения носили язвенный характер. Грунты Восточно-Уренгойского месторождения отличались слабой коррозионной активностью относительно других месторождений, что может быть обусловлено наиболее северным географическим положением этого месторождения и менее благоприятными условиями для развития микроорганизмов. Наибольшая скорость коррозии наблюдалась при температуре +40°С в песке и суглинке исследуемых месторождений (табл. 5).

Таблица 4

**Количество коррозионно-опасных микроорганизмов
в грунтах Восточно-Уренгойского месторождения**

Грунт, глубина, м	t, °C	Количество микроорганизмов, клеток в 1 г почвы				
		ОМЧ	Аммонифици- рующие бактерии	Плесневые грибы	СВБ	ТБ
Торф, 0,2	-15...-17	1239,5±29,50	6600,0±89,28	833,3±8,19	10,0±0,00	—
	+2...+4	2237,7±18,97	7233,3±16,70	1233,3±33,3	70,0±3,00 [▲]	—
	+40	3902,3±11,49 [▲]	9466,7±47,20	1433,3±12,20 [▲]	400,0±3,00 [▲]	—
Песок, 0,5	-15...-17	1268,3±40,37	6666,3±74,61 [▲]	953,3±14,37 [*]	10,0±0,00	—
	+2...+4	3734,0±65,43 [*]	11200,0±193,30 [*]	1800,0±20,00 [*]	10,0±0,00	—
	+40	4482,0±12,88 [▲]	9033,3±52,90	1866,7±18,20 [*]	1000,0±0,00 [*]	—
Суглинок, 1-2	-15...-17	1617,0±20,69	3600,0±32,46 [*]	1000,0±15,75 [▲]	10,0±0,00	—
	+2...+4	3873,7±11,86 [*]	9866,7±67,66 [▲]	1800,0±26,6 [*]	40,0±30,00	—
	+40	4876,7±19,04 [▲]	11433,3±192,8 [*]	2200,0±5,7 [▲]	1000,0±0,00 [*]	—

Примечание: ОМЧ — общее микробное число; СВБ — сульфатвосстанавливающие бактерии; ТБ — тионовые бактерии;

* — различия с торфом при данной температуре статистически достоверны при P<0,05;

▲ — различия с другими грунтами при данной температуре статистически достоверны при P<0,05.

Таблица 5

Скорость коррозии стали в грунтах исследуемых месторождений

Месторож- дение	Грунт	Скорость (мм/год) и характер коррозии					
		-15...-17 °C		+2...+4 °C		+40 °C	
		контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Кальчин- ское	торф	0,0010 без изменений	0,0015 потемнение поверхности	0,0010 потемнение поверхности	0,0070 пятнами	0,0030 потемнение поверхности	0,0350 пятнами
	песок	0,0010 потемнение поверхности	0,0020 потемнение поверхности	0,0040 потемнение поверхности	0,0700 язвенная	0,0080 пятнами	0,3190 язвенная
	сугли- нок	0 без изменений	0 без изменений	0,0050 пятнами	0,0160 пятнами	0,0056 потемнение поверхности	0,1200 язвенная
Мало- Балькское	торф	0,0007 без изменений	0,0014 потемнение поверхности	0,0020 потемнение поверхности	0,0070 пятнами	0,0009 без изменений	0,0220 пятнами, язвы
	песок	0 без изменений	0,0005 без изменений	0,0030 пятнами	0,0080 пятнами	0,0054 пятнами	0,0319 язвенная
	сугли- нок	0,0006 без изменений	0,0013 потемнение поверхности	0,0013 потемнение поверхности	0,0030 пятнами	0,0079 пятнами	0,0650 питтинги
Восточно- Уренгой- ское	торф	0 без изменений	0,0013 потемнение поверхности	0,0013 потемнение поверхности	0,0049 пятнами	0,0012 без изменений	0,0145 язвенная
	песок	0,0003 без изменений	0,0011 потемнение поверхности	0,0011 потемнение поверхности	0,0062 пятнами	0,0013 пятнами	0,0171 пятнами
	сугли- нок	0,0009 без изменений	0,0018 пятнами	0,0014 пятнами	0,0059 пятнами	0,0052 потемнение поверхности	0,0334 язвенная

По результатам микробиологического анализа грунтов установлено, что наиболее высоким скоростям коррозии соответствовали достоверно высокие значения ОМЧ.

Таким образом, в ходе проведенных исследований было установлено, что скорость коррозии возрастает с увеличением температуры и общего количества микроорганизмов. Также было установлено, что по мере продвижения с севера на юг коррозионная активность и биогенность почв возрастают.

В результате обработки данных с помощью дисперсионного анализа было установлено, что температурный фактор достоверно влияет на ОМЧ ($P < 0,05$). Доля влияния его составила 64,7-87,3%. Также установлено достоверное влияние типа грунта (0,2-6,9%) и взаимное влияние температуры и типа грунта (6,4-26,7%) на общее количество микроорганизмов в грунтах исследуемых месторождений (рис. 1).



Рис. 1. Доля влияния температуры и типа грунта на ОМЧ, %:

А — в грунтах Кальчинского месторождения, Б — в грунтах Мало-Балыкского месторождения, В — в грунтах Восточно-Уренгойского месторождения

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Установлено, что наибольшее количество коррозионно-опасных микроорганизмов содержится в грунтах Кальчинского месторождения, что, вероятно, связано с наиболее южным его географическим положением и благоприятными для развития микрофлоры климатическими условиями.

Установлено, что скорость коррозии стали возрастает как с увеличением количества микроорганизмов в грунтах, так и с повышением температуры (от $+2-4^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$).

В результате двухфакторного дисперсионного анализа показано большее влияние температуры, чем типа грунта на общее содержание микроорганизмов. Совместное действие этих факторов в меньшей степени, чем температурного определяет количественный состав микрофлоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреюк Е.И. Микробная коррозия и ее возбудители. Киев: Наукова думка, 1980. 280 с.
2. Ильичев В.Д., Бочаров Б.В., Анисимов А.А. Биоповреждения. М.: Высшая школа, 1987. 352 с.

3. Могильницкий Г.М., Жукова С.В., Сапожникова Г.А. Микрофлора грунтов и методы изучения биостойкости подземных трубопроводов. М.: ВНИИОЭНГ, 1980. 253 с.
4. Чугунов В.А., Жиглецова С.К., Холоденко В.П. Химико-микробиологические аспекты стресс-коррозионных разрушений магистральных трубопроводов и способы их профилактики. М.: ИРЦ Газпром, 2002. 32 с.
5. Гусев М.В., Минеева Л.А. Микробиология. М.: Академия, 2003. 464 с.
6. ГОСТ 9.085-78. Единая система защиты от коррозии и старения. Жидкости смазочно-охлаждающие. Методы испытаний на биостойкость. М.: Издательство стандартов, 1978. 10 с.
7. Аристовская Т.В., Владимирская М.Е. и др. Большой практикум по микробиологии / Под ред. Г.Л. Селибера. М.: Высшая школа, 1962. 490 с.
8. ГОСТ 9.506-87. Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности. М.: Издательство стандартов, 1987. 13 с.
9. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.

Александр Александрович КОНОВАЛОВ —
главный научный сотрудник лаборатории
устойчивости биогеоценозов учреждения
Института проблем освоения Севера РАН
konov7@rambler.ru

Мария Николаевна КАЗАНЦЕВА —
доцент кафедры экологии и генетики
Тюменского государственного университета
mnkazantseva@yandex.ru

УДК 630*52

К ОБОБЩЕНИЮ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

GENERALISING THE PARAMETERS OBSERVATIONS OF WOOD PLANTS

АННОТАЦИЯ. Предложен способ анализа связей между параметрами древесных растений по их обобщенным (безразмерным) показателям, изменяющимся в интервале 0...1. Установлены, исследованы и количественно оценены связи между фитомассой и продуктивностью с одной стороны и размерами ствола, возрастом и густотой насаждений с другой. Показан преимущественно квадратичный или степенной характер этих связей, причем численные коэффициенты расчетных формул близки к пропорциям золотого сечения.

SUMMARY. The article offers the way to analyse the relationships between the parameters of wood plants upon their generalised (non-dimensional) factors, changing in the interval 0...1. The relations between the phytomass and efficiency on the one hand, and sizes of stem, age and forest density on the other hand are determined, researched and given a quantitative evaluation. Mainly square-law or power-mode nature of these relationships is shown, moreover numeric coefficient of calculating formulas is close to proportions of gild section.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Древесные растения, размеры ствола, продуктивность, золотое сечение.

KEY WORDS. wood plants, sizes of stem, efficiency, gild section.