

УДК 620.197.5+ 57.087.1+ 57.033
EDN: BRHCIM

PACS: 68.90.+g, 43.80.-n

Длительные полевые испытания коррозии и биообрастания образцов из нержавеющей стали в условиях тропического климата© В. Я. Печеркин^{1,*}, Е. А. Дешева², Л. М. Василяк¹, С. В. Фиалкина²¹ Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, 125412 Россия

*E-mail: vpcherkin@yandex.ru

² Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, 123007 Россия

Статья поступила в редакцию 18.04.2025; после доработки 13.05.2025; принята к публикации 11.08.2025

Шифр научной специальности: 1.3.21

В условиях тропического климата проведены испытания образцов из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т на различных испытательных площадках на предмет их биообрастания. Изготовленные образцы не подвергались какой-либо дополнительной обработке. После экспонирования в течение 18 месяцев на открытых площадках вблизи городов Хошимин, Ханой, Няганга во Вьетнаме значительные очаги коррозии и биообрастания были обнаружены на образцах, размещенных на открытых травяных площадках, и незначительные воздействия на образцах, размещенных на закрытых микологических площадках.

Ключевые слова: нержавеющая сталь; микроорганизмы; бактерии; плесневые грибы; коррозия; биокоррозия; биообрастание.

DOI: 10.51368/1996-0948-2025-4-68-73

Введение

Надежность в эксплуатации технических изделий определяется стойкостью их материалов к воздействию внешней среды, естественной составляющей которой являются химический и биологический состав. Нержавеющие стали, как правило, очень устойчивы к химической и биологической коррозии и удовлетворительно работают в большинстве сред. Предел коррозионной стойкости конкретной марки нержавеющей стали зависит от составляющих ее элементов. По этой причине каждая марка имеет различную реакцию на воздействие агрессивной среды. Причинами появления коррозии на нержавеющей стали могут быть нарушение химического состава поверхностного слоя, воздействие агрессивных сред, механические повреждения. Основными видами коррозии являются точечная коррозия, общая коррозия, межкристаллитная коррозия, эрозионная коррозия, гальваничес-

кая коррозия [1]. Совместное воздействие агрессивных факторов является потенциальным фактором ускорения коррозии и разрушения материала [2–4]. При контакте с другими металлами нержавеющая сталь может подвергаться гальванической коррозии в присутствии электролитов [5].

Биообрастание, также способно вызывать биоповреждения нержавеющей сталей и изделий, что может приводить к потере их эксплуатационных свойств. В природных условиях часто появляются новые активные штаммы грибов биодеструкторов в различных климатических зонах, как в лесной, так и в открытой местности. Их активность, скорость роста, численность и состав зависят от климатических условий региона. К повреждающим биологическим факторам относятся бактерии и грибы, среди которых в условиях тропического климата доминирующее положение в качестве агентов процесса биообрастания и биодеструкции материалов занимают грибы –

микробицеты [6–11]. Микроорганизмы, развиваясь на поверхности материалов, способны вызывать его прямое повреждение за счет действия продуктов своей жизнедеятельности [12, 13].

В настоящее время отсутствуют систематизированные количественные данные о процессах биоповреждения элементов техники в реальных условиях эксплуатации, не разработаны достоверные методы диагностики и прогнозирования долговечности металлов и их конструкций в условиях взаимодействия их с объектами живой природы. Всесторонне изучено влияние на объекты техники небиологических факторов, таких как химически агрессивные вещества, температура, механические напряжения, световое излучение и др. Вместе с тем особенности и закономерности воздействия биологических факторов изучены в недостаточной степени. Основное внимание исследователей сосредоточено на эколого-биологической составляющей проблемы [14].

Целью настоящей работы является длительное исследование стойкости незащищенных образцов нержавеющей стали к биообращанию микроорганизмами в полевых условиях на открытых и закрытых площадках в тропическом климате.

Экспериментальная часть

Для исследований были изготовлены тридцать образцов из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т с размерами 50×50×1 мм. Образцы размещали на открытых травяных и закрытых от прямых солнечных лучей и осадков микологических площадках климатических испытательных станций в условиях тропического климата вблизи городов Хошимин, Ханой и Нягань во Вьетнаме. Каждый образец закрепляли на испытательном стенде металлическими скрепками зажимами, окрашенными в черный цвет. На фотографии показан внешний вид экспозиционных стендов для испытаний образцов (рис. 1) вблизи г. Хошимин.

На открытых травяных площадках образцы экспонировались в естественных температурно-влажностных условиях и индексом светового УФ-излучения для данного региона Вьетнама, а на микологических площадках образцы устанавливались в негерметичный бокс для защиты от осадков и ветра. От прямого солнечного света боксы были закрыты лесной растительностью. Каждый образец закрепляли специальными металлическими креплениями. Время непрерывной экспозиции каждого образца составляло 18 месяцев.



а)



б)

Рис. 1. Экспозиционные стенды около г. Хошимин. а) – открытая травяная площадка, б) – закрытый от осадков и ветра бокс на микологической площадке

После окончания экспонирования каждый образец помещали в индивидуальные

стерильные пакеты и доставляли в микробиологическую лабораторию для проведения ис-

следований. В лаборатории каждый образец в антисептических условиях ламинарного бокса помещали в квадратную стерильную чашку Петри. Затем образцы, не открывая чашку Петри, осматривали при увеличении с помо-

щью стереомикроскопа Stemi 2000 (фирмы Zeiss). Оценку обрастания образцов проводили по 6-ти балльной шкале ГОСТа 9.048-75 [15, 16]. В таблице 1 представлены результаты осмотра поверхности образцов.

Таблица 1

Оценка роста грибов на поверхности образцов после экспонирования (в баллах)

Материал/место испытаний		Степень развития плесневых грибов (балл): на образце/ на креплении	Результат осмотра поверхности
Нержавеющая сталь, 12X18H10T	Нягань, открытая площадка	0	Роста грибов не выявлено
	Нягань, микологическая площадка	0	Роста грибов не выявлено
	Ханой, открытая площадка	0/2	Виден рост грибов на креплении образцов
	Ханой, микологическая площадка	0	Роста грибов не выявлено
	Хошимин, открытая площадка	0/2	Виден рост грибов на креплении образцов
	Хошимин, микологическая площадка	0	Роста грибов не выявлено
Были зафиксированы пятна ржавчины в местах крепления образцов на открытых площадках. Рост грибов отмечался на ржавчине и около неё на следах коррозии.			

По окончании осмотра проводили отбор микробиологических проб с поверхности образцов в микробиологическом боксе 5 класса чистоты для определения наличия бактерий и грибов путем протирания поверхности каждого образца специальным стерильным тампоном. Затем каждый тампон помещали в индивидуальную пробирку с 5 мл стерильного физиологического раствора и отбалтывали на приборе Воротокс в течение, не менее двух минут. Далее осуществляли посев на поверхность твердой питательной среды с аликвотой 1,0 мл раствора. Для посева грибов использо-

вали картофельно декстрозный агар (КДА) фирмы HiMedia, а для посева бактерий трипказо соевый агар (ТСА) фирмы HiMedia. Чашки Петри с посевами термостатировали при температуре 28± 1 °С, посев бактерий в течение 2 суток, а грибов - в течение 5–7 суток. По окончании срока инкубирования проводили подсчет выросших колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов. Затем, при необходимости, проводили идентификацию выросших бактерий и грибов. В таблице 2 представлены результаты микробиологических исследований.

Таблица 2

Содержание микроорганизмов на поверхности исследуемых образцов из нержавеющей стали марки 12X18H10T после окончания экспозиции (КОЕ/см²)

№ п/п	Место испытаний образцов	Средняя численность микроорганизмов, КОЕ/см ²	Средняя численность бактерий, КОЕ/см ²	Средняя численность грибов, КОЕ/см ²
1	Нягань, открытая площадка	$2,5 \times 10^0$	$2,5 \times 10^0$	0
2	Нягань, микологическая площадка	$1,54 \times 10^2$	$4,0 \times 10^0$	$1,5 \times 10^2$
3	Ханой, открытая площадка	$9,45 \times 10^4$	$2,5 \times 10^3$	$9,2 \times 10^4$
4	Ханой, микологическая площадка	$3,4 \times 10^4$	$3,3 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$
5	Хошимин, открытая площадка	$2,5 \times 10^4$	$3,9 \times 10^1$	$2,5 \times 10^4$
6	Хошимин, микологическая площадка	$1,47 \times 10^3$	$1,7 \times 10^2$	$1,3 \times 10^3$

На образцах без ржавчины роста грибов не выявлено (рис. 2, 3), то есть на этих образцах отмечается только контаминация поверхностей металлических образцов спорами грибов.

Видовое разнообразие грибов на площадках характерно для них. Так на микологических площадках доминируют пенициллы, а на открытых площадках – темноокрашенные грибы.

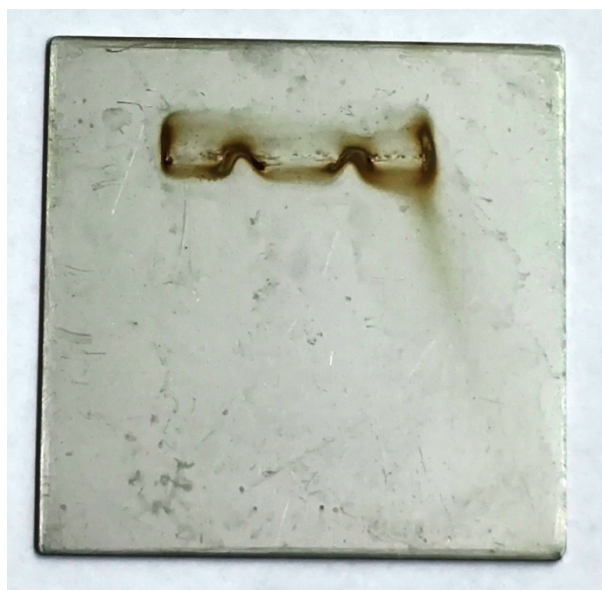
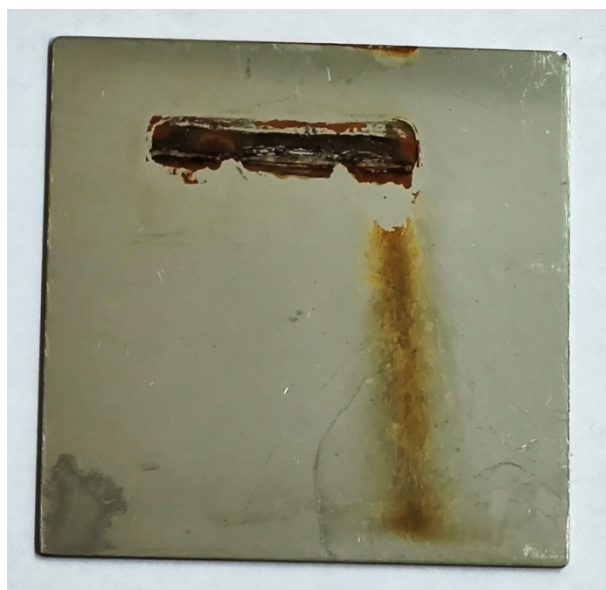


Рис. 2. Фото поверхности образцов после экспонирования на открытой площадке в Ханое

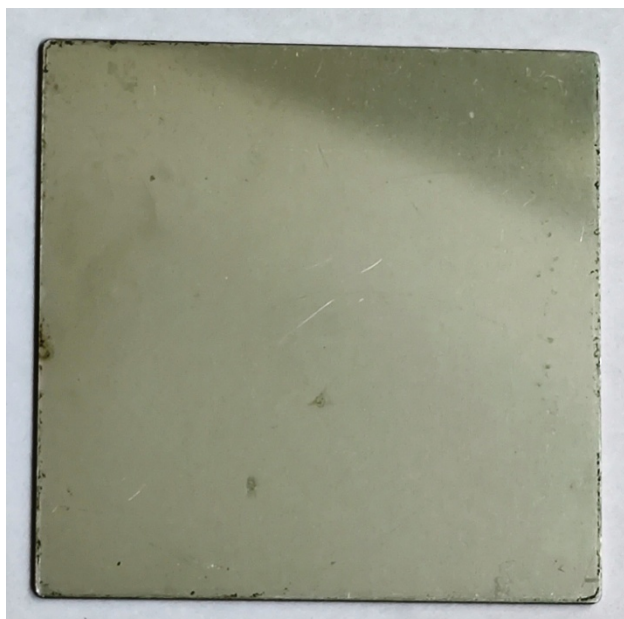


Рис. 3. Фото поверхности образцов после экспонирования на микологической площадке в Ханое

На вышеприведенных рисунках видно, что на исследуемых образцах, установленных на открытых травяных площадках, наблюдаются следы ржавчины в местах их крепления. Крепление образцов осуществлялось металлическими держателями, покрашенными в черный цвет. Известно, что на поверхности нержавеющей стали коррозия возникает вследствие контакта сплава с другим метал-

лом из-за окислительных процессов, вызываемых контактной разностью потенциалов. Причем отмечалось, что ржавчина образовывалась только на образцах, экспонировавшихся на открытых площадках, а на микологических площадках в разных зонах Вьетнама пятен ржавчины не выявлено. На открытой площадке, наиболее вероятно, происходит повреждение красочного покрытия держателя

образцов под воздействием метеорологических факторов и далее наблюдается начальная фаза коррозии металлов образца и держателя образцов за счет создания контактной разности потенциалов, скорость которой может увеличиваться за счет воздействия агрессивной окружающей среды.

Таким образом, для предотвращения протекания коррозионных процессов в этих условиях желательно, чтобы металлы определенных марок не соприкасались друг с другом.

Заключение

В результате проведенных полевых испытаний было показано, что поверхность образцов нержавеющей стали 12X18H10T может подвергаться химической коррозии за счет контактной разности потенциалов при соприкосновении с другими металлами и обильно обрастать грибами в местах коррозии на открытых площадках.

Работа выполнена в части изготовления образцов при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственное задание № 075-00269-25-00), в части подготовки штаммов плесневых грибов, проведения испытаний и анализа результатов по теме НИР FRFM-2024-0035, в части подготовки методики за счет средств совместной темы Эколан Т-1.18.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Balangao J. K. / Journal of Chemical Health Risks. 2024. Vol. 14. № 1. P. 79–87.
2. Ikeda A., Morita Y., Matsuki N. / The Sumitomo Search. 1988. Vol. 37. P. 43–64.
3. Prakash T. L., Malik A. U. / Desalination. 1999. Vol. 23. P. 215–221.
4. Hoffmeister H. / Corrosion. NACE International Corrosion Conference & Expo. 2005. P. 05476.
5. Chen L., Hu J., Zhong X., Yu S., Zhang Z., Zeng D., Shi T. / International Journal of Electrochemical Science. 2017. Vol. 12. № 10. P. 9445–9455.
6. Александрова А. В., Сидорова И. И., Туунов А. В. / Микология и фитопатология. 2011. Т. 45. № 1. С. 12–25.
7. Александрова А. В., Калашикова К. А. Современная микология в России. – М.: Национальная академия микологии, 2012.
8. Калашикова К. А., Александрова А. В. / Микология и фитопатология. 2015. Т. 49. № 2. С. 91–101.
9. Telegdi J., Shaban A., Trif L. / International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2020. Vol. 9. № 1. P. 1.
10. Лугаускас А. Ю., Микульскене А. И., Шляужене Д. Ю. Каталог микромицетов – биодеструкторов полимерных материалов. – М.: Наука, 1987.
11. Жиглецова С. К., Родин В. Б., Кобелев В. С. и др. / Прикладная биохимия и микробиология. 2000. Т. 36. № 6. С. 637.
12. Chugunov V. A., Martovetskaya I. I., Mironova R. I. et al. / Applied biochemistry and microbiology. 2000. Vol. 36. № 6. P. 544–549.
13. Allsopp D., Seal K. J., Gaylarde C. C. Introduction to Biodeterioration. – UK. Cambridge. Cambridge University Press, 2004.
14. Белов Д. В., Беляев С. Н. / Гальванотехника и обработка поверхности. 2022. Т. 30. № 3. С. 4–21.
15. ГОСТ 9.048-75. Материалы и изделия. Методы испытаний на микробиологическую устойчивость. – М.: Издательство стандартов, 1978.
16. Печеркин В. Я., Дешевая Е. А., Василяк Л. М. и др. / Прикладная физика. 2023. № 6. С. 60–65.

PACS: 68.90.+g, 43.80.-n

Long-term field tests of corrosion and biofouling of stainless steel samples in a tropical climate

V. Ya. Pecherkin^{1,*}, E. A. Deshevaya², L. M. Vasilyak¹ and C. V. Fialkina²

¹ Joint Institute for High Temperatures of Russian Academy of Sciences, Moscow, 125412 Russia
*E-mail: vpecherkin@yandex.ru

² Institute of Biomedical Problems of Russian Academy of Sciences, Moscow, 123007 Russia

Received 18.04.2025; revised 13.05.2025; accepted 11.08.2025

In a tropical climate, stainless steel samples were tested at various test sites for their biofouling. After being exposed for 18 months in outdoor areas near the cities of Ho Chi Minh City,

Hanoi, Nyagang in Vietnam, significant significant corrosion and biofouling spots were found on samples placed in outdoor grass sites, and minor impacts on samples placed in indoor mycological sites.

Keywords: stainless steel; microorganisms; bacteria; mold fungi; corrosion; biocorrosion; biofouling.

REFERENCES

1. Balangao J. K., Journal of Chemical Health Risks **14** (1), 79 (2024).
2. Ikeda A., Morita Y. and Matsuki N., The Sumitomo Search **37**, 43 (1988).
3. Prakash T. L. and Malik A. U., Desalination **23**, 215–221 (1999).
4. Hoffmeister H., Corrosion, NACE International Corrosion Conference & Expo, 05476 (2005).
5. Chen L., Hu J., Zhong X., Yu S., Zhang Z., Zeng D. and Shi T., International Journal of Electrochemical Science, **12** (10), 9445–9455 (2017).
6. Alexandrova A. V., Sidorova I. I. and Tiunov A. V., Micologya and Phitopatologiya **1**, 12–25 (2011) [in Russian].
7. Alexandrova A. V. and Kalashnikova K. A. Modern Mycology in Russia, Moscow, National Academy of Mycology, 2012.
8. Kalashnikova K. A. and Alexandrova A. V., Mycology and Phytopathology **2**, 91 (2015) [in Russian].
9. Telegdi J., Shaban A. and Trif L., International Journal of Corrosion and Scale Inhibition **9** (1), 1 (2020).
10. Lugauskas A. Yu., Mikulskene A. I. and Shlyauzhene D. Yu., Catalog of micromycetes – biodestructors of polymer materials. Moscow, Nauka, 1987 [in Russian].
11. Zhigletsova S. K., Rodin V. B., Kobelev V. S. et al., Applied biochemistry and microbiology **36** (6), 637–641 (2000).
12. Chugunov V. A., Martovetskaya I. I., Mironova R. I. et al., Applied biochemistry and microbiology **36**, 544–549 (2000).
13. Allsopp D., Seal K. J. and Gaylarde C. C., Introduction to Biodeterioration. UK, Cambridge, Cambridge University Press, 2004.
14. Belov D. V. and Belyaev C. N., Galvanotekhnika and obrabotka poverhnosti **30** (3), 4–21 (2022) [in Russian].
15. GOST 9.048-75. Materials and products. Methods of testing for microbiological resistance, Moscow, Publishing House of Standards, 1978.
16. Pecherkin V. Ya., Deshevaya E. A., Vasilyak L. M., Vasilyak S. L. et al., Applied Physics, № 6, 60–65 (2023) [in Russian].

Об авторах

Печеркин Владимир Яковлевич, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, Объединенный институт высоких температур РАН (125412, Россия, Москва, ул. Ижорская, 13, стр. 2). E-mail: vpcherkin@yandex.ru SPIN-код РИНЦ 4910-0417, Author ID 1089774

Дешевая Елена Андреевна, к.б.н., ведущий научный сотрудник, Институт медико-биологических проблем РАН (123007, Россия, Москва, Хорошевское шоссе, 76 а). E-mail: deshevaya@imbp.ru SPIN-код РИНЦ 3206-9869, Author ID 126892

Василяк Леонид Михайлович, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник, Объединенный институт высоких температур РАН (125412, Россия, Москва, ул. Ижорская, 13, стр. 2). E-mail: vasilyak@ihed.ras.ru SPIN-код РИНЦ 5623-5167, Author ID 19599

Фиалкина Светлана Владимировна, к.б.н., старший научный сотрудник, Институт медико-биологических проблем РАН (123007, Россия, Москва, Хорошевское шоссе, 76 а). SPIN-код РИНЦ 3967-0655, Author ID 168529