

РАЗВИТИЕ СООБЩЕСТВА МАКРООБРАСТАНИЯ и динамика коррозии НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12X18H10T В ТРОПИЧЕСКИХ ВОДАХ

В натуральных условиях на морском испытательном стенде в Южно-Китайском море (Вьетнам, залив Нячанг) в течение 12 месяцев изучалось коррозионное поведение стали 12X18H10T под действием морского обрастания. Показано, что в этих условиях коррозия происходит крайне неравномерно. Это вызывает быстрое нарушение целостности образцов, несмотря на сравнительно невысокую скорость коррозии. Как и в умеренных водах, одной из наиболее коррозионноопасных групп макрообрастания являются усонogie раки, которые в условиях эксперимента являлись эдификаторами сообщества обрастания на протяжении всего периода исследования.

Введение

Коррозионноустойчивые сплавы, в том числе нержавеющие стали, представляют собой удобный объект для исследования взаимодействия биологического и электрохимического факторов, составляющего явление морской биокоррозии. Вследствие отсутствия мощного слоя продуктов коррозии, характерного для многих быстро разрушающихся металлов, колонизация поверхности таких сталей живыми организмами протекает беспрепятственно. Вместе с тем, в хлоридсодержащих средах, таких как морская вода, нержавеющие стали склонны к питтингу и другим видам локальной коррозии, на интенсивность развития которых в значительной степени влияют биологические факторы окружающей среды [1]. Коррозионное поведение стали 12X18H10T под действием морского обрастания было детально изучено в умеренных водах (бухта Золотой Рог Японского моря) [2-7], а также в лабораторных условиях [8]; это позволяло сравнить полученные ранее данные с результатами настоящего исследования. С учётом вышесказанного высоколегированная сталь 12X18H10T была выбрана

Ю.Л. Ковальчук,
кандидат
биологических наук,
старший научный
сотрудник,
Учреждение
Российской академии
наук Институт
проблем экологии
и эволюции
им. А.Н. Северцова
РАН (ИПЭЭ РАН)

О.П. Полтаруха*,
кандидат
биологических наук,
старший научный
сотрудник,
Учреждение
Российской
академии наук
Институт проблем
экологии и эволюции
им. А.Н. Северцова
РАН (ИПЭЭ РАН)

нами в качестве оптимального модельного объекта для впервые проведенного всестороннего изучения явления биологической коррозии в тропических водах.

Целью настоящего исследования было изучение развития сообщества макрообрастания нержавеющей стали 12X18H10T в тропических водах на фоне процессов ее коррозионного разрушения. Сразу отметим, что связь коррозионных процессов с развитием сообщества микрообрастания, представляющего собой совокупность микроорганизмов, преимущественно бактерий и одноклеточных диатомовых водорослей, развивающихся на колонизируемой поверхности, составляла тему отдельного исследования, результаты которого приведены в других публикациях [9-11].

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на морском испытательном стенде Приморского отделения Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра (Вьетнам, г. Нячанг, залив Нячанг Южно-Китайского моря) (рис. 1). Стенд стационарно установлен под пирсом на расстоянии 150 м от берега.

Место расположения морского испытательного стенда Приморского отделения Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра.

Глубина в месте установки стенда составляет 11 м. Конструкция стенда позволяет проводить длительную экспозицию образцов в условиях полного погружения в море на глубину 1,0-2,0 м. Основные гидрохимические показатели верхнего слоя воды в заливе

* Адрес для корреспонденции: poltarukha@rambler.ru

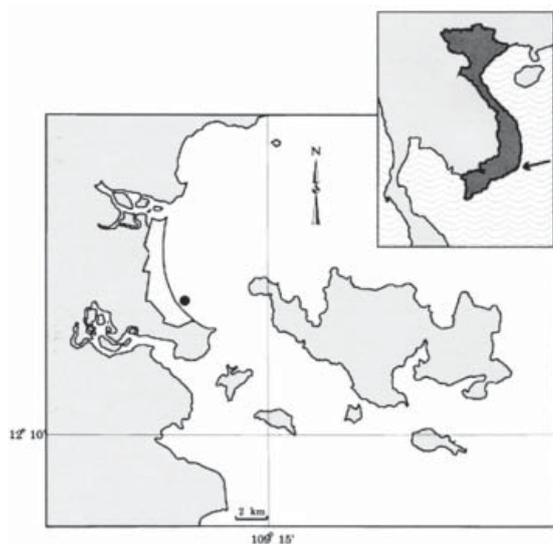


Рис 1. Схема района проведения исследований.



Рис 2. Внешний вид кассеты для экспозиции образцов на морском испытательном стенде.

Таблица 1

Среднегодовое значения основных гидрохимических показателей верхнего слоя воды в заливе Нячанг в районе морского испытательного стенда

Показатель	Соленость, ‰	Температура, °С	Растворенный кислород, мл/л	рН
Пределы колебаний	11-35	24-29	2,5-16,8	7,0-8,2
Среднее значение по сезонам				
Влажный сезон (ноябрь-февраль)	15,5	26,5	4,25	7,25
Сухой сезон (март-октябрь)	33,5	27,5	6,65	7,15

В.А. Карпов,
кандидат технических наук, заведующий лабораторией тропических технологий, Учреждение Российской академии наук Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН)

Ньячанг в районе установки стенда приведены в *табл. 1*.

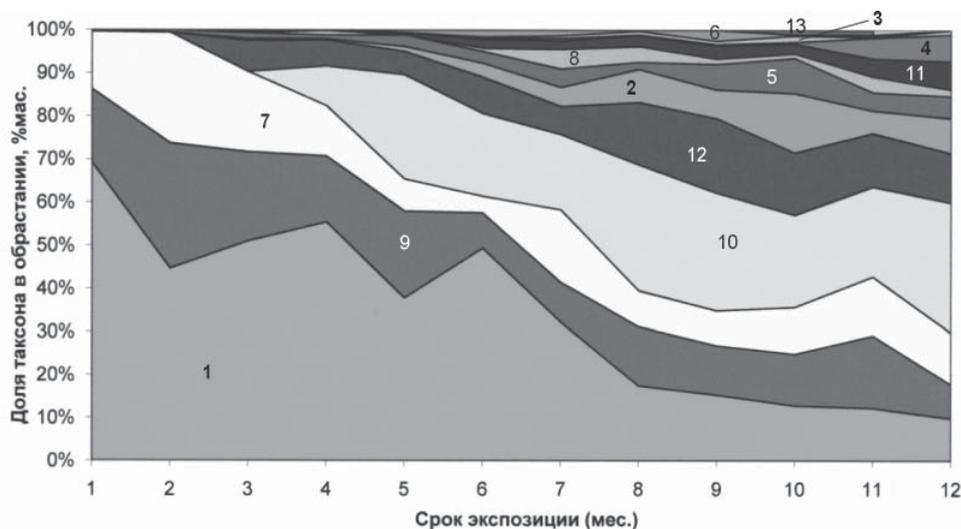
Образцы стали 12Х18Н10Т размером 150×100×1 мм готовились к установке по стандартной методике [12], помещались по 12 шт. в специальные кассеты (*рис. 2*). и экспонировались на стенде.

Было выставлено 36 образцов на срок от 1 до 12 месяцев. Материалом для анализа сообщества макрообрастания послужили количественные пробы, собранные с экспериментальных образцов.

Ежемесячно с экспозиции снималось по 3 образца, которые фотографировались с обеих сторон. Далее с них при помощи скальпеля отделялось все обрастание и фиксировалось в 70 %-ном этиловом спирте. Затем с образцов по стандартной методике [13] удалялись продукты коррозии, после чего образцы вновь фотографировались и взвешивались. На основании полученных данных вычислялась потеря массы и скорость коррозии образцов. Пробы обрастания взвешивались и разбирались по отдельным группам гидробионтов. Затем определялась биомасса и, в необходимых случаях, численность гидробионтов каждой группы.

Результаты и их обсуждение

В исследованных пробах были обнаружены следующие группы гидробионтов: свободноживущие плоские черви (Turbellaria); гидроиды (Cnidaria); нематоды (Nematoda); бродячие полихеты (Errantia); сидячие полихеты (Sedentaria); моллюски (Mollusca); усногие раки (Cirripedia); высшие ракообразные (Malacostraca); сипункулиды (Sipunkula); мшанки (Bryozoa); офиуры (Ophiuroidea); асцидии (Ascidia); рыбы (в виде икры и личинок) (Pisces). В целом структура исследованного сообщества соответствует литературным данным по прибрежным водам Вьетнама [14-18]. Общий ход сукцессии сообщества обрастания показан на *рис. 3*.



- 1 – Живые усонogie раки
- 2 – Высшие ракообразные
- 3 – Турбеллярии
- 4 – Мшанки
- 5 – Асцидии
- 6 – Нематоды
- 7 – Полихеты сидячие
- 8 – Актинии
- 9 – Рыбы
- 10 – Политехи бродячие
- 11 – Сипункулиды
- 12 – Моллюски
- 13 – Офиуры

Рис. 3. Изменение доли биомассы различных групп гидробионтов в живом обрастании опытных образцов.

При этом наблюдается заметное увеличение биологического разнообразия сообщества. В сообществе возрастом 1-2 месяца сидячие формы представлены только усонogими раками, сидячими полихетами и мшанками, а подвижные формы отсутствуют. В сообществе возрастом 12 месяцев среди сидячих форм обнаруживаются также асцидии и актинии, кроме того появляется большое разнообразие подвижных форм, относящихся к турбелляриям, нематодам, моллюскам, бродячим полихетам, высшим ракообразным, сипункулидам, офиурам. Внешний вид одного из образцов после шести месяцев экспозиции показан на *рис. 4*.

Суммарная биомасса обрастания быстро растёт в первые 5-6 месяцев, затем непродолжительное время (6-7-й месяц) держится на максимуме, после чего начинает снижаться и к 10-11 месяцам уменьшается примерно втрое, что происходит из-за периодического отделения части обрастателей вместе с рыхлыми продуктами коррозии (*рис. 5*).

Несмотря на то, что в исследованных пробах найдены практически все крупные таксономические группы, известные в морском обрастании, наибольшее значение имеют представители небольшого числа таксонов - полихеты, моллюски, усонogie раки и мшанки. Из-за того, что в результате коррозии образцов часть обрастателей периодически отваливается, сукцессия сообщества обрастания стальных пластин в сравнении с аналогичными сообществами на не подверженных быстрому разрушению субстратах (бетон, камень и т.д.) носит несколько сглаженный характер, поскольку на участках, где обрастатели отваливаются, сукцессия возобновляется с одной из начальных стадий. При этом на протяжении всего периода

исследования эдификаторами сообщества и наиболее коррозионноопасной группой макрообрастателей являлись усонogie раки. Такое значение данной группы связано с особенностями ее биологии. Усонogie раки способны быстро оседать на подходящий субстрат, где они интенсивно растут, образуя большую биомассу, а их пустые известковые

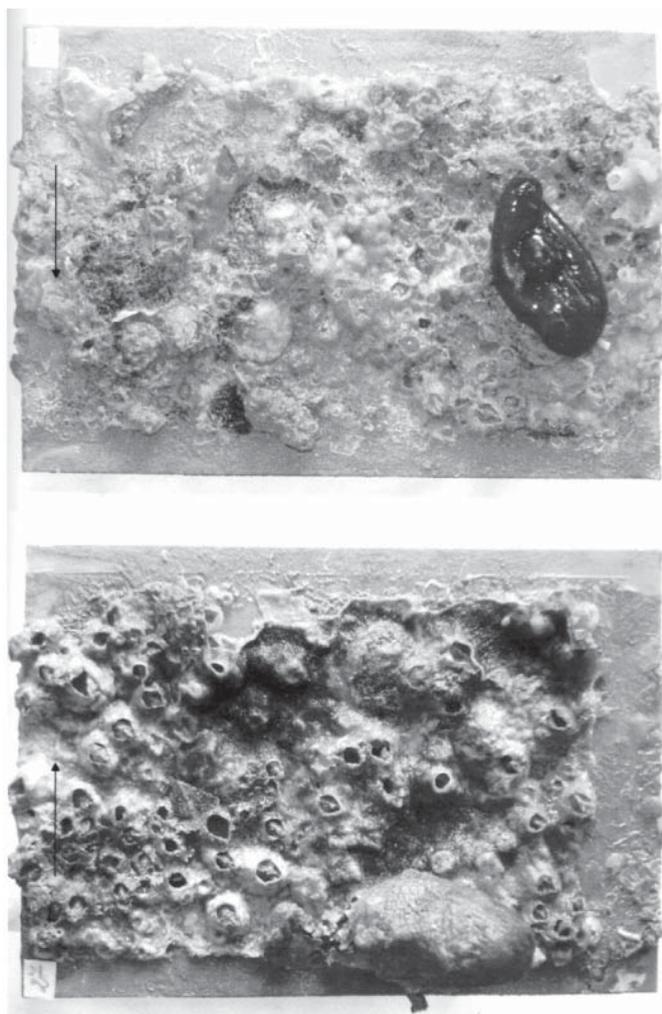


Рис. 4. Опытный образец с макрообрастанием после шести месяцев экспозиции. Фото сверху и внизу - две стороны образца.

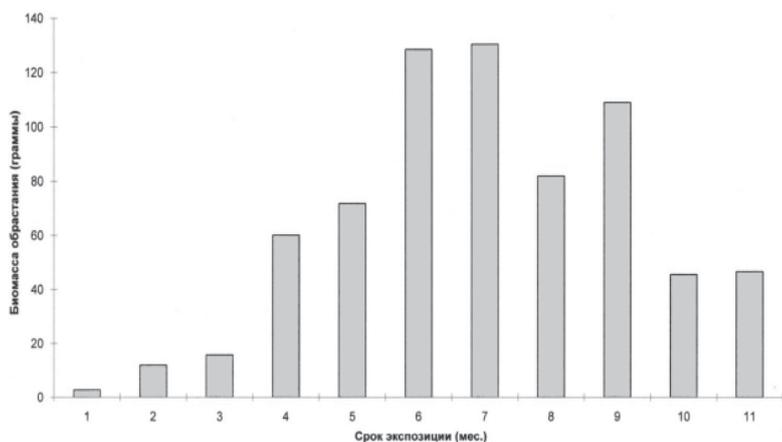


Рис. 5. Изменение суммарной биомассы обрастания опытных образцов.

домики могут длительное время после гибели животных оставаться прочно прикрепленными к субстрату, до тех пор, пока они не отвалятся вместе с рыхлыми продуктами коррозии. При этом пустые домики усоногих раков создают среду обитания для многих других видов-обрастателей. Значение данной группы в биокоррозии связано с тем, что под их домиками, преимущественно пустыми, создаются хорошие условия для развития коррозионноопасных микроорганизмов. Это приводит к быстрому образованию на металле под домиками усоногих раков коррозионных следов в виде пятен, раковин, питтингов и сквозных отверстий. Данное явление неоднократно отмечалось в литературе [2-4] и наблюдалось в наших экспериментах (рис. 6).

Всего на опытных образцах было найдено 5 видов усоногих раков - *Amphibalanus amphitrite* (Darwin, 1854), *A. reticulatus* (Utinomi, 1967), *Megabalanus tintinnabulum* (Linnaeus, 1758), *M. volcano* (Pilsbry, 1916) и *Striatobalanus amaryllis* (Darwin, 1854). Наиболее распространены первые два вида, 3-й и 5-й – встречаются спорадически, а *M. volcano* обнаружен в единичном экземпляре. Временная динамика заселения усоногими раками образцов стали и динамика их отмирания изображена на рис. 7 (за последний месяц экспозиции данные отсутствуют).

Оседание личинок усоногих раков на поверхность опытных образцов начиналось через 2 недели после их погружения в морскую воду, а через месяц численность молодых особей достигала в среднем 117 особей на пластину, причём 20 % из них к этому времени погибало. Дальнейший рост популяции усоногих раков также сопровождался их интенсивным отмиранием. В результате только в течение трёх первых месяцев экспозиции численность живых особей превыша-

ла количество пустых домиков. Наибольшее число живых усоногих раков (112 экз.) было зарегистрировано через 5 месяцев наблюдений, затем их численность достаточно резко пошла на спад. На образцах 8-11 месяцев экспозиции её среднее значение не превышало 18,5 особей на пластину. Между тем, число пустых домиков на пластине могло быть очень велико. Так, через 6 месяцев экспозиции оно приближалось к 300 (284 экз.), затем также пошло на спад. Доля пустых домиков усоногих раков неуклонно повышалась до восьмого месяца экспозиции, когда она достигла своего максимального значения 90,23 % и в дальнейшем оставалась на высоком уровне.

Гравиметрические показатели - данные по потерям металла и скорости коррозии за 1-11 месяцы, отражены на рис. 8.

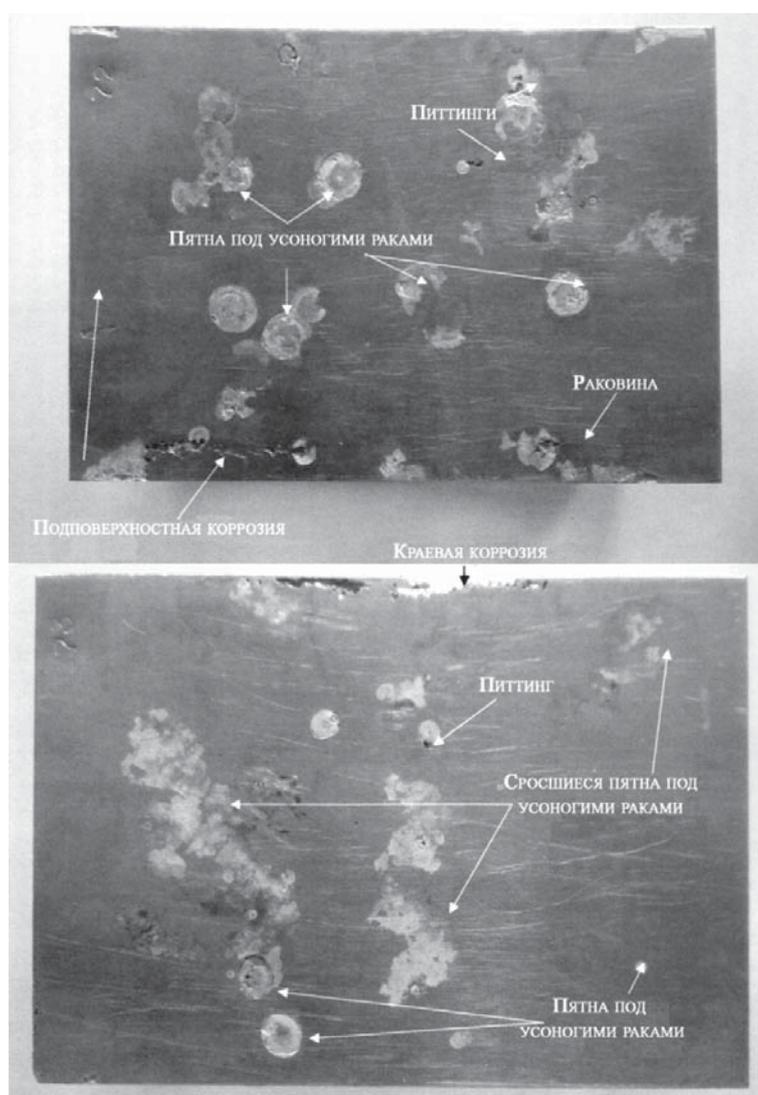


Рис. 6. Типичные коррозионные повреждения опытных образцов после механического удаления обрастания и химического удаления продуктов коррозии. Образец сверху – после восьми месяцев экспозиции; образец внизу – после десяти месяцев экспозиции.

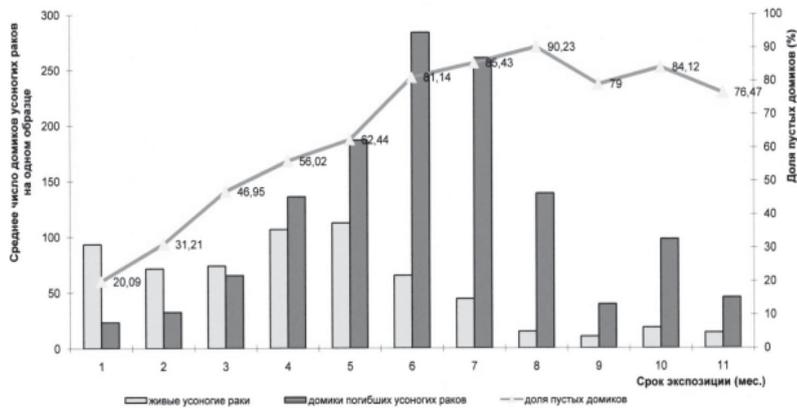


Рис. 7. Изменение числа живых усногих раков и их пустых домиков на поверхности опытных образцов.

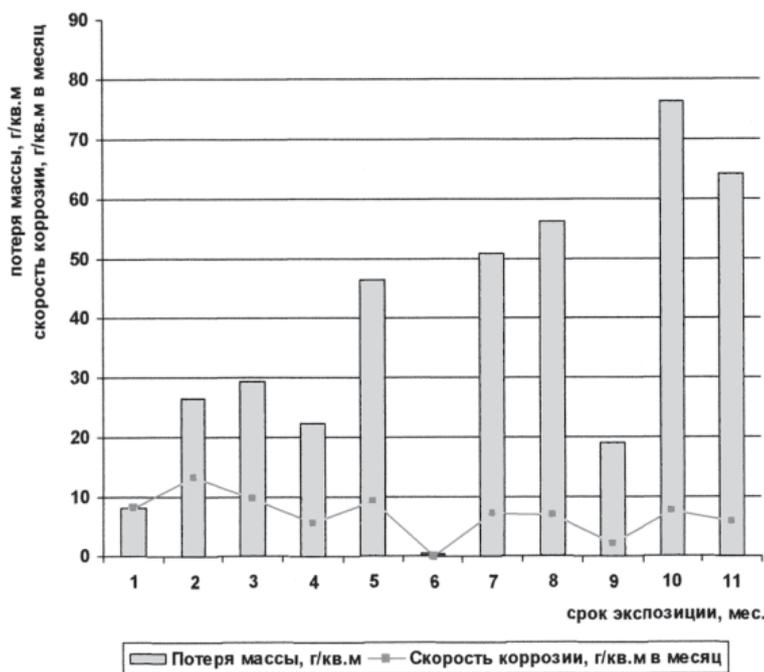


Рис. 8. Данные по потерям металла и скорости коррозии за 1-11 месяцы.

К сожалению, мы пока не можем объяснить два выпадающих значения, полученные после 6 и 9 месяцев экспозиции. В целом, можно отметить, что скорость коррозии достигает максимума на второй месяц экспозиции – 13,325 г/м² в месяц, после чего несколько снижается и в дальнейшем не превышает 10 г/м² в месяц. Несмотря на то, что скорость коррозии исследованных образцов была сравнительно невелика, разрушение образцов происходило крайне неравномерно. В результате этого нарушение целостности стальных пластин с образованием сквозных отверстий и щелей различного размера происходило очень быстро, как правило, в течение 1-3 мес. Типичные коррозионные повреждения опытных образцов показаны на рис. 6.

Заключение

Результаты наших исследований свидетельствуют, что в прибрежных тропических водах коррозия нержавеющей стали происходит крайне неравномерно, что вызывает быстрое нарушение целостности образцов, несмотря на сравнительно невысокую скорость коррозии. Как и в умеренных водах, одной из наиболее коррозионноопасных групп макрообрастания являются усногие раки, которые в условиях эксперимента являлись эдификаторами сообщества обрастания на протяжении всего периода исследования – 11 месяцев. Выявленные особенности развития коррозионного процесса и обрастания необходимо учитывать при прогнозировании эксплуатации изделий и конструкций, выполненных из нержавеющей стали, в тропических морских водах.

Литература

1. Морская коррозия: справочное издание. Пер. с англ. / под ред. М.М. Шумахера. М.: Металлургия, 1983. 512 с.
2. Каплин Ю.М. Механизм коррозии стали под основанием баянуса / Ю.М. Каплин, М.Д. Корякова, В.М. Никитин, А.П. Супонина // Защита металлов. 1998. Т. 34, № 1. С. 89-93.
3. Корякова М.Д. Исследование коррозии высоколегированных сталей в морской воде под баянусами / М.Д. Корякова, Н.Ю. Филоненко, Ю.М. Каплин // Защита металлов. 1995. Т. 31, № 2. С. 219-221.
4. Корякова М.Д. Роль бактериальной пленки под баянусами в коррозии высоколегированной стали в морской воде / М.Д. Корякова, В.М. Никитин, Н.В. Спешнева // Защита металлов. 1998. Т. 34, № 2. С. 208-211.
5. Корякова М.Д. Локальная коррозия высоколегированных сталей под биоотложениями / М.Д. Корякова, В.М. Никитин, Н.В. Спешнева // Защита металлов. 1999. Т. 35, № 1. С. 72-75.
6. Корякова М.Д. Влияние загрязненных портовых вод на обрастание и биокоррозию стали / М.Д. Корякова, В.М. Никитин, А.Ю. Звягинцев, Л.С. Белогурова // Биология моря. 2002. Т.28, № 2. С. 138-142.
7. Корякова М.Д. Обрастание и биокоррозия высоколегированной стали в бухте Золотой Рог / М.Д. Корякова, В.М. Никитин, А.П. Супонина, А.Ю. Звягинцев, У.В. Харченко // Защита металлов. 2002. Т. 38, № 5. С. 544-548.
8. Харченко У.В. Влияние аэробных морских бактерий на катодное поведение некоторых

сплавов в морской воде // Коррозия: материалы, защита. 2005. № 5. С. 46-48.

9. Беленёва И.А. Коррозионные свойства и таксономический состав гетеротрофной микрофлоры биопленок со стальных пластин в тропических водах Нячанга (Вьетнам) / И.А. Беленёва, У.В. Харченко, Н.В. Жукова, В.А. Карпов // Коррозия: материалы, защита. 2010. № 6. С. 40-47.

10. Беленева И.А. Применение метода мульти-субстратного тестирования для характеристики морских микробных сообществ обрастания металлов и сплавов / И.А. Беленева, У.В. Харченко, Ю.Л. Ковальчук // Биология моря. 2010. Т. 36, № 2. С. 145-150.

11. Харченко У.В. Микробиологическая активность сообществ обрастания как индикатор биокоррозионной агрессивности морской воды / У.В. Харченко, И.А. Беленева, В.А. Карпов, Е.П. Резник // Коррозия: материалы, защита. 2009. № 9. С. 42-46.

12. ГОСТ 9.905-82. Методы коррозионных испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1983. 5 с.

13. ГОСТ 9.907-08. Методы удаления продуктов коррозии после коррозионных испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2008. 29 с.

14. Зевина Г.Б. Усоногие раки побережья Вьетнама и их роль в обрастании / Г.Б. Зевина, А.Ю. Звягинцев, С.А. Негашев. Владивосток: ДВО АН СССР, 1992. 143 с.

Ключевые слова:

макрообрастание,
морская коррозия,
нержавеющая сталь,
Южно-Китайское
море

15. Карпов В.А. Сравнение сукцессии обрастания судовых красок и нейтральных субстратов в южном Вьетнаме / В.А. Карпов, Ю.Л. Ковальчук, О.П. Полтаруха // Сборник материалов III Всерос. науч.-практ. конф. «Экологические проблемы биодеградации промышленных материалов и отходов производств». Пенза, 2000. С. 29-31.

16. Карпов В.А. Изучение развития морского обрастания на медьсодержащих красках и нетоксичных субстратах в тропиках / В.А. Карпов, О.П. Полтаруха, Ю.Л. Ковальчук // Поволжский экологический журнал. 2002. № 1. С. 28-34.

17. Ковальчук Ю.Л. Динамика обрастания в бухте Нячанг Южно-Китайского моря / Ю.Л. Ковальчук, С.Э. Негашев // Материалы науч.-практ. конф. «Экологические проблемы стойкости техники и материалов. Теория и практика натуральных испытаний», Адлер, 1996. М.: ИПЭЭ РАН, 1997. С. 101-105.

18. Полтаруха О.П. Усоногие раки (*Cirripedia Thoracica*) Вьетнама и их значение в сообществах обрастания / О.П. Полтаруха, А.Ю. Звягинцев. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 335 с.



Yu.L. Kovalchuk, O.P. Poltarukha, V.A. Karpov

THE MACROFOULING COMMUNITY DEVELOPMENT AND CORROSION DYNAMICS ON 12X18H10T STAINLESS STEEL IN TROPICAL WATERS

The corrosion behaviour of a steel 12X18H10T under the influence of marine fouling was studied within 12 months under natural conditions on the sea test bed in the South-China Sea (Vietnam, Nha Trang Bay). It has been shown that in these conditions

corrosion occurs extremely non-uniformly. It causes fast infringement of integrity of samples, despite rather low speed of corrosion. As well as in the moderate waters, one of the most causing corrosion groups of macrofouling are barnacles which

were edificators of fouling communities in experimental conditions throughout all period of research.

Key words: macrofouling, marine corrosion, stainless steel, South-China Sea

