

УДК 620.1

*Е.А. Варченко¹, М.Г. Курс¹***НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В МОРСКОЙ ВОДЕ:
КЛЮЧЕВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СТОЙКОСТИ
К КОРРОЗИИ И БИОПОВРЕЖДЕНИЮ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-11-12-12

В работе освещены проблемы методического обеспечения в части оценки стойкости к коррозии и биообрастанию металлических материалов при проведении натуральных морских испытаний, а также проведен обзор научно-исследовательских работ ГЦКИ ВИАМ им. Г.В. Акимова, направленных на разработку, совершенствование, уточнение и дополнение методов морских испытаний. Акцентируется внимание на воздействии эколого-биологических аспектов на сложные технические системы и необходимости проведения испытаний материалов на биологическую стойкость – как неотъемлемой части климатических испытаний.

Ключевые слова: *коррозия, биологическая стойкость материалов, обрастание, морские испытания.*

The paper covers the problems of methodological support in the part of assessing the resistance to corrosion and biofouling of metallic materials during full-scale marine tests, as well as a review of the research work of the GCTC VIAM, aimed at developing, improving, clarifying and supplementing the methods of marine testing. Attention is focused on the impact of ecological and biological aspects on complex technical systems and the need for testing materials for biological resistance as an integral part of climate testing.

Keywords: *corrosion, biological stability of materials, fouling, marine tests.*

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Наиболее важным этапом при создании техники является назначение ее климатического исполнения. Климатическое исполнение показывает, в каком климате и при каком уровне воздействия внешних факторов может работать тот или иной материал, изделие в течение назначенного срока эксплуатации. Предварительное определение климатического исполнения изделий позволяет не только обеспечить безопасную эксплуатацию, но и значительно снизить затраты на ремонт и восстановление после поломок и разрушений изделий и сложных технических систем при воздействии климатических факторов [1–4].

Экономические расчеты показывают, что предупреждение разрушений, аварий и катастроф обходится значительно дешевле, чем ликвидация их последствий. Во всем мире особое внимание уделяется процессам квалификации материалов и мониторингу состояния конструкций и оборудования технологических процессов.

Металлоконструкции, суда, портовые и гидротехнические сооружения, оборудование, эксплуатирующиеся в морской воде, подвергаются биологическому обрастанию, что, в свою очередь, становится причиной усиления коррозионных процессов металла в водной агрессивной среде, технологических аварий и экологических катастроф.

На современном этапе развития техники и промышленного производства необходимо принимать к сведению воздействие эколого-биологических аспектов на сложные технические системы и, как минимум, учитывать, что:

– для устойчивого развития экономики страны необходим мониторинг изменения форм и разнообразия микрофлоры в зависимости от изменения структуры промышленного комплекса регионов и особенностей изменения климата с точки зрения биоповреждений материалов;

– испытания на микробиологическую стойкость материалов, изделий и сложных технических систем должны стать неотъемлемой частью проведения климатических испытаний, назначения ресурса и определения сроков технического обслуживания [5].

Особую актуальность проблема биообрастания приобрела в последнее столетие, когда сильно изменилась экологическая обстановка в морях и океанах и адаптация организмов к новым жизненным условиям, живучесть и агрессивность обрастателей значительно увеличились. Так, обрастание снижает (до 50%) скорость судов, увеличивает (до 40%) потребление ими топлива, повышает (до 20% и более) массу гидротехнических сооружений, нарушает работу водоводов (вплоть до полного прекращения), искажает показания или выводит из строя аппаратуру [6]. Общий мировой ущерб от морского обрастания в настоящее время составляет свыше 50 млрд долл. в год [7, 8].

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 18. «Климатические испытания для обеспечения безопасности и защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов, конструкций и сложных технических систем в природных средах» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [2].

Материалы и методы

Постановка задачи

В настоящее время изучение биологической стойкости материалов является одной из важнейших материаловедческих задач, поскольку обрастание способствует возрастанию скорости коррозии в 10–20 раз [9, 10]. Обрастание негативно влияет на скорость и механизм протекания коррозии нержавеющей стали, алюминиевых и медных сплавов. Объясняется это тем, что эти материалы пассивируются в присутствии кислорода и склонны к локальным видам коррозии при снижении доступа кислорода и нарушении пассивной пленки продуктами жизнедеятельности обрастателей.

Связь коррозии с обрастанием наглядно проявляется в соответствии распределения зон коррозии и обрастаний на сваях (рис. 1) – не остается никаких сомнений в причинах коррозии [11].

Коррозионная стойкость – один из важнейших аспектов проблемы надежности и долговечности металлоконструкций, эксплуатирующихся в морской воде. Можно выделить три основные зоны с различными скоростями коррозии гидротехнических объектов в морской среде. Так, исследования, приведенные в работах [12, 13], показали, что наибольший коррозионный износ конструктивных элементов морских стационарных платформ (МСП), расположенных на шельфе Черного моря, равен приблизительно 12% от начальной толщины стенки, достигается в зоне переменного смачивания. В подводной зоне коррозионный износ более низкий и колеблется в диапазоне 5–8,8% (в зависимости от подводных течений). В атмосферной зоне коррозионный износ в среднем составляет 7% [13]. Оценивая степень поражения металлоконструкций опорных блоков МСП, необходимо отметить, что все элементы платформ затронуты коррозией, однако для всех МСП можно отметить очень важную тенденцию: фактическое

состояние металлоконструкций надводных частей производственных блоков в зоне переменного смачивания характеризуется наибольшим коррозионным износом. Средний износ элементов в этой зоне составляет 25–40%. Максимальный износ отдельных элементов достигает 75–85% [13]. Эти данные также подтверждаются и в других источниках [14, 15], в которых средняя скорость коррозии в зоне переменного смачивания составила 0,16 мм/год, а в подводной и надводной зонах 0,12 и 0,10 мм/год соответственно.

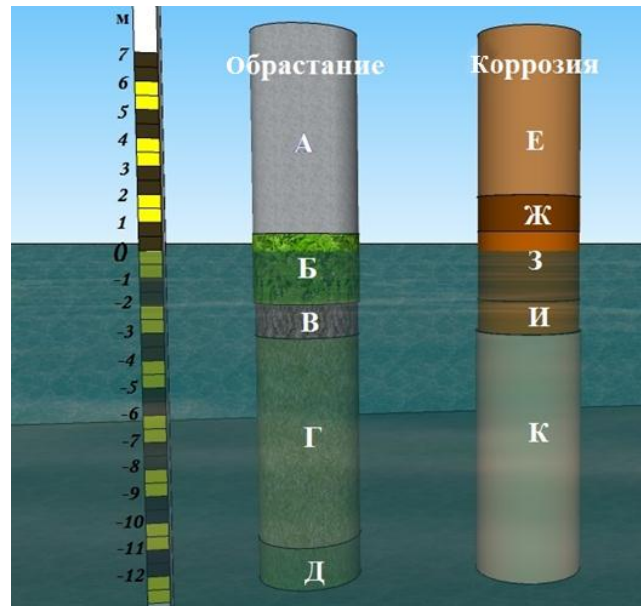


Рис. 1. Схема распределения обрастания и коррозии на металлических сваях:

А – обрастание отсутствует; Б – зона водорослей; В – зона моллюсков митилястеров; Г – зона гидроидов с небольшими сростками митилястеров; Д – крупные сростки митилястеров; Е – сильная «слоистая коррозия»; Ж – очень сильная «бугристая коррозия»; З – заметная «бугристая коррозия»; И – крупные пятна коррозии; К – небольшие пятна коррозии под сростками митилястеров

Подобная зависимость скорости коррозии от отметки погружения сохраняется не только для южных, но и для северных морских водоемов. Так, на рис. 2 представлена зависимость скорости коррозии стенки сваи от отметки погружения для сквозного пирса, расположенного в Кольском заливе. Основанием эстакады пирса являются стальные трубы диаметром 720, 820 и 1020 мм. Номинальное значение толщины стенки трубы $\varnothing 1020$ мм составляет 11 мм [15].

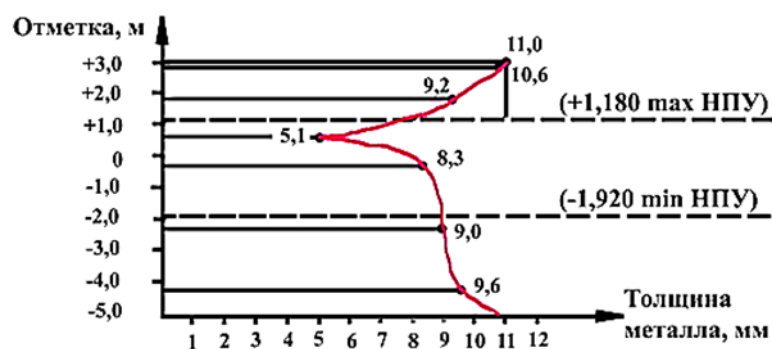


Рис. 2. Измеренная остаточная толщина стенки труб: расчетная скорость коррозии; данные замеров остаточных толщин (где НПУ – нормальный подпорный уровень)

Основное внимание при проектировании и строительстве гидротехнических и портовых объектов, а также судов уделяется вопросам предотвращения возникновения и развития гальванической коррозии. Именно поэтому при проведении морских испытаний необходимо оценивать биологическую и коррозионную стойкость материалов при их контакте (крепёж, сварные соединения, соединения разнородных металлов и углепластиков с металлами) и во всех наиболее опасных зонах воздействия морской среды (например, пассивирующихся металлов в зоне ватерлинии; металлов, подверженных наводороживанию в придонных слоях с высокой концентрацией сероводорода), размещая образцы на надводных и подводных стендах, а также на стендах, моделирующих ватерлинию морских судов и сооружений.

Многолетние исследования процессов микро- и макрообрастания сталей и медных сплавов в морской воде показали [16–22], что значительно более активно коррозионные процессы протекают в натурной морской воде по сравнению с искусственной морской водой, что связано с активностью микроорганизмов в биопленке, образующейся в первые часы экспозиции в естественной морской воде.

В работе [23] показано, что биопленка, образование которой в морской воде является первым этапом колонизации любых металлических поверхностей, является основной причиной коррозионных повреждений металлов в морской среде. Для углеродистых сталей марок 08, 10, 20 и Ст. 3, нержавеющей стали 12Х18Н10Т и алюминиевого сплава АМг61 обнаружена связь между значениями активности микроорганизмов и скоростью коррозии.

Основные методы исследований

Испытания материалов и средств защиты от обрастания разделяют на лабораторные, стендовые и натурные. Однако только последние, выполненные не менее чем в течение 2,5 лет во всех диапазонах естественных и эксплуатационных условий, позволяют правильно оценить выбор мер защиты для данного района и объекта [24].

Лабораторные испытания дают крайне приблизительные сведения о видовом разнообразии обрастателей и эффективности способа и доз средств защиты (химических, физических, биологических). Они искусственно ограничивают число и диапазон колебаний абиотических факторов (освещенность и спектральный состав света, температура, соленость, насыщенность кислородом и другими газами и многое другое), время опытов, объем сосудов, число видов организмов.

Стендовые испытания – основной способ первичной оценки обрастателей и эффективности средств защиты. Наиболее важны при этом: правильный выбор места установки стенда и правильность установки опытных и особенно контрольных образцов. Место установки стенда должно иметь интенсивное обрастание, длительный сезон оседания и большое разнообразие видового состава обрастателей с обязательным наличием главных массовых вредоносных обрастателей: «сидячих» животных (гидроидов, корковых мшанок, червей серпулид, двустворок метилид, усоногих раков, оболочников) и прикрепленных водорослей (одноклеточных диатомовых и многоклеточных зеленых (кларифор, энтероморф), красных и бурых). Важны и направления течений, сгонно-нагонных ветров, прибой и т. д. [24].

Натурные испытания – наиболее достоверный и наиболее длительный вид проведения испытаний материалов. Однако даже они не дают возможности прогнозирования стойкости материалов и покрытий к воздействию морской микрофлоры и не позволяют сделать гарантированные выводы об эффективности и особенностях применения средств защиты, потому что развитие сети каналов, объема и скоростей судоходства способствует переносу неэндемических обрастателей в новые районы, а органические, тепловые и другие загрязнения приводят к их интенсивному развитию.

Нормативная документация

Важными этапами мониторинга являются не только анализ видового состава, количественных характеристик и пространственного распределения обрастателей, выявление сезонной динамики численности видов, построение математических моделей функционирования сообщества и др., но также исследования влияния обрастателей на структуру и свойства материалов. Это хорошо понимают и учитывают за рубежом, где испытания на коррозионную стойкость и стойкость к биологическому обрастанию материалов, изделий и сложных технических систем в морской воде являются неотъемлемой частью проведения климатических испытаний.

Так, ASTM G52 охватывает режимы испытаний при полном погружении, в приливной зоне и связанное с ним периодическое смачивание и воздействие зоны распыления. Особое внимание в стандарте уделяется выбору материалов для стенда и крепежных элементов. Согласно требованиям стандарта, недопустимо нахождение вблизи исследуемых образцов алюминиевых сплавов, меди и медьсодержащих сплавов, так как это может способствовать возникновению гальванической коррозии и значительному ускорению коррозионных процессов. Рекомендуемые сроки испытаний составляют 0,5; 1; 2; 5; 10 и 20 лет.

Стандарт ISO 11306 устанавливает требования к проведению натуральных испытаний металлов в верхних слоях морской воды, а также рекомендует проводить испытания в течение не менее 1 года, чтобы оценить влияние переменных факторов, которые варьируются в течение года. Рекомендуемыми сроками испытаний являются 0,5; 1; 2; 5; 10 и 20 лет. Следует отметить, что требования к материалам, применяемым для изготовления стенда и крепления образцов, при испытаниях в морской воде выше, чем на открытом воздухе вследствие возможности влияния данных материалов на коррозионные процессы исследуемых образцов. Так, следует избегать применения медьсодержащих материалов для каркаса стенда и вспомогательных крепежных элементов, поскольку это может усилить коррозию алюминиевых сплавов.

Стандарт ISO 20340 регламентирует продолжительность испытаний систем ЛКП для морских конструкций в зонах переменного смачивания и полного погружения. Определены три различные по коррозионной активности зоны морской воды:

- *подводная зона* – область, которая постоянно находится под водой;
- *промежуточная, или переменная зона* – область, в которой уровень воды меняется из-за естественных и искусственных эффектов, увеличивая таким образом коррозию из-за комбинированного влияния воды и атмосферы;
- *зона брызг* – область, подверженная воздействию волн и брызг, что может привести к исключительно высокой коррозии, особенно в морской воде.

Стандарт ISO 2812-2 регламентирует испытания ЛКП при полном погружении и переменном смачивании.

В РФ требования к проведению испытаний в морской воде устанавливает лишь ГОСТ 9.909, который не регламентирует ни требования к стенду для натуральных морских испытаний, ни требования к установке образцов и контролю обрастателей. Нормативная документация, регламентирующая проведение испытаний в зонах ватерлинии и забрызгивания, отсутствует вовсе.

Исходя из того, что наибольшее влияние на развитие коррозионных процессов материалов оказывают следующие факторы: температура воды, ее соленость, плотность, водородный показатель (рН), количество растворенного кислорода, концентрация ионов (хлорид-, сульфат-, нитрит-, нитрат-, фторид-, фосфат-ионов; ионов аммония, калия, кальция, натрия и магния), биологический фактор, – во ФГУП «ВИАМ» для станций берегового и надводного типа (по ГОСТ 9.906) разработана процедура

регистрации факторов, определяющих коррозионную агрессивность морской/пресной воды, с обязательной оценкой стойкости материалов к биообрастанию.

Обязательной и важной частью оценки коррозионной агрессивности водной среды является контроль параметров морской/пресной воды (см. таблицу).

Обязательные параметры для контроля

Параметры воды	Устройства контроля	Методы мониторинга
Температура	Термометр	ГОСТ 9.906
pH	pH-метр	РД 52.10.735
Плотность	Ареометр	ГОСТ 9.906
Соленость	Анализатор жидкости кондуктометрический	ГОСТ 9.906
Растворенный кислород	Анализаторы растворенного кислорода/другие методики измерения	Для анализаторов – методика работы на конкретном анализаторе. Йодометрический метод – РД 52.10.736
Анионы		
Хлорид-ион	Хроматограф и/или система капиллярного электрофореза	Для пресной воды: ГОСТ Р 31867
Сульфат-ион		
Нитрит-ион		
Нитрат-ион		
Фторид-ион		
Фосфат-ион		
Катионы		
Аммоний	Система капиллярного электрофореза	Для пресной воды: ГОСТ 31869
Калий		
Кальций		
Натрий		
Магний		

В настоящее время, несмотря на важность и актуальность проблемы, необходимость разработки новой и актуализации имеющейся нормативной документации, в распоряжении разработчиков материалов в лучшем случае имеются устаревшие буйковые якорные станции с прикрепленными к тросу приборами и рамами для образцов.

Результаты и обсуждение исследований в ГЦКИ ВИАМ им. Г.В. Акимова

Над созданием усовершенствованного и современного аналога буйковой станции в настоящее время работают во ФГУП «ВИАМ», в структуру которого входит Центр коллективного пользования по испытаниям материалов, техники и сложных технических систем в природных средах. В рамках Центра коллективного пользования разрабатывается проект уникального морского стенда на базе ГЦКИ, оснащенного современной измерительной аппаратурой по контролю физико-химических параметров морской воды (температуры, pH, растворенного кислорода, волнения, электропроводности, давления и т. д.). Стенд позволит проводить натурные испытания материалов и защитных покрытий в морской воде на различных глубинах, в зонах переменного смачивания и забрызгивания с оценкой стойкости к коррозии и биообрастанию. Осуществляется также развитие и модернизация имеющейся технологической инфраструктуры для возможности проведения полномасштабных комплексных испытаний по оценке стойкости и надежности материалов и образцов конструкций в морской воде.

В настоящее время для оценки стойкости материалов к биообрастанию и коррозии в морской воде в ГЦКИ ВИАМ проводятся как натурные морские испытания материалов и конструкций, так и обрабатывается методика испытания образцов в емкостях с

морской водой при полном погружении. Так, проведены исследования влияния морской воды на материалы обшивки судов и собраны данные для составления методики. Имитируя условия стоянки судов в порту – как наиболее благоприятный для биообрастания этап эксплуатации судов – в лабораторных условиях в течение 2 лет испытывались пластины и профили.

По результатам экспозиции пластин из сплава 1424-ТГ2 отмечено интенсивное равномерное обрастание с двух сторон микро- и макроводорослями (преимущественно р. *Enteromorpha*) [25], а также бентосными организмами по всей площади на 80–85% поверхности (рис. 3).

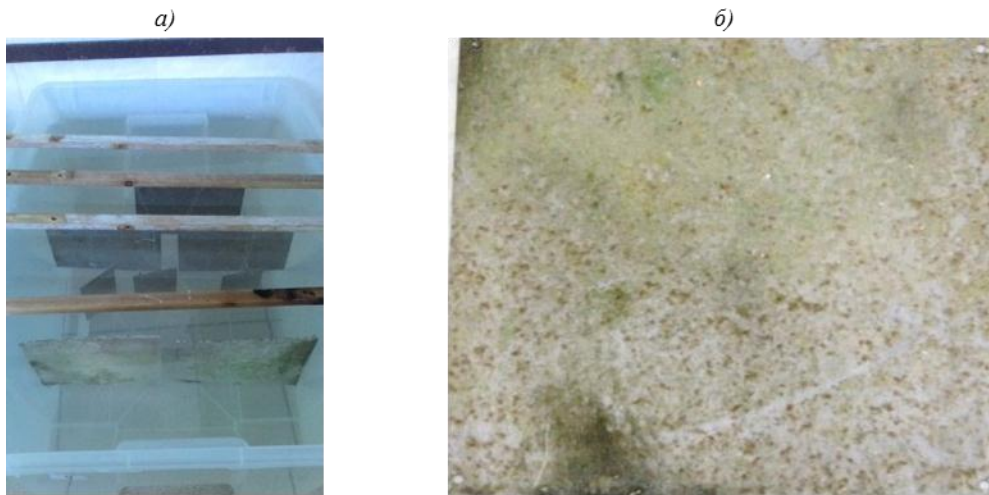


Рис. 3. Испытания в морской воде пластин из сплава 1424-ТГ2:

а – испытания в емкостях с морской водой; *б* – внешний вид пластины после 2 лет экспозиции в морской воде



Рис. 4. Образец профиля из сплава 1424-ТГ2:

а – внешний вид профиля после 2 лет экспозиции в морской воде; *б* – внешний вид профиля после снятия продуктов коррозии; *в*, *г* – разрушение поверхности металла после биообрастания

На Т-образных профилях после удаления с образцов продуктов коррозии по ГОСТ 9.907 на торцах основания и полки профиля, где ранее отмечался интенсивный рост бентосных организмов, имеется разрушение поверхности металла вплоть до образования сквозного отверстия $\varnothing 5$ мм (рис. 4), что является примером и доказательством того, что биообрастание вызывает усиление коррозии [9, 10].

Заключения

В настоящее время в РФ необходим регулярный мониторинг разнообразия микрофлоры в зависимости от изменений структуры промышленного комплекса регионов и особенностей изменения климата. Для изделий, эксплуатирующихся в водной среде, биологическая стойкость должна стать обязательной характеристикой материалов, а ее оценка должна проводиться при натуральных испытаниях на климатических станциях прибрежного типа.

Необходима актуализация имеющегося и разработка нового комплекса стандартов по проведению испытаний материалов в различных по коррозионной активности зонах воздействия морской воды: в зонах полного погружения, переменного смачивания, забрызгивания, а также в зоне ватерлинии.

В настоящее время отсутствие нормативной документации по проведению морских испытаний материалов пытается восполнить ФГУП «ВИАМ» – один из немногих в РФ институтов, который уделяет большое внимание развитию научно-исследовательских работ, направленных на разработку, совершенствование, уточнение и дополнение методов морских испытаний. Причем, понимая зависимость разнообразия микрофлоры и интенсивности биоповреждений материалов от климатических особенностей того или иного региона, работы по оценке влияния морского обрастания на свойства материалов реализуются в климатически различных регионах – Черное море (г. Геленджик), Баренцево море (Мурманская область) – с перспективой расширения географии проведения испытаний.

При разработке стандартов и проведении испытаний необходимо понимать и учитывать, что борьба с коррозией и обрастанием должна предусматривать не тотальное уничтожение сообществ обрастания, а комплекс операций [26], минимизирующих проявление негативного воздействия как обрастания и коррозии, так и отрицательных последствий применения средств и способов защиты от них [27–33], что также соответствует одному из основных положений Морской доктрины Российской Федерации на период до 2020 г., относящихся к обеспечению национальных интересов в Мировом океане.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Гращенков Д.В., Шавнев А.А., Няфкин А.Н. Металломатричные композиционные материалы на основе Al-SiC // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 373–380.
2. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
3. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №2. С. 76–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87.

4. Курс М.Г., Каримова С.А. Натурно-ускоренные испытания: особенности методики и способы оценки коррозионных характеристик алюминиевых сплавов // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №1. С. 51–57. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-1-51-57.
5. Лаптев А.Б. С учетом последствий изменений климата // *Индустрия. Инженерная газета*. 2017. №5. С. 5.
6. Карпов В.А. Биокоррозия в морской среде и основы применения защитных покрытий: автореф. дис. ... д-р техн. наук. М., 2012. 48 с.
7. Лебедев Е.М., Пермитин Ю.Е., Караева Н.И. К вопросу об обрастании пластин на Черном море // *Труды ИОАН*. 1963. Т. 10. С. 82–93.
8. Лебедев Е.М. Некоторые актуальные вопросы изучения обрастания и защиты от него // *Изучение процессов морского биообрастания и разработка методов борьбы с ним*. Л.: ЗИН, 1987. С. 62–64.
9. Михеев А.И. Влияние обрастания и низких температур на безопасную эксплуатацию судов // *Водный транспорт*. 2013. Вып. 3. С. 56–61.
10. Шкабара Н.А. Эколого-технологическое изучение покрытия барьерного типа для защиты от коррозии и морского обрастания нефтегазопроводов, плавучих средств и портовых сооружений (на примере Геленджикской бухты): автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2015. 113 с.
11. Панченко Ю.М., Стрекалов П.В., Никулина Т.В. Влияние удержанных продуктов коррозии на торможение коррозионного процесса. Ч. I. Первые два года // *Коррозия: материалы, защита*. 2013. №2. С. 9–18.
12. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: учебник для вузов. М.: Недра-Бизнесцентр, 2006. Ч. 1: Конструирование. 555 с.
13. Староконь И.В. О влиянии коррозионного воздействия на развитие усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях (МНГС) // *Фундаментальные исследования*. 2012. №11. Ч. 5. С. 1214–1219.
14. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. СПб.: Морской регистр судоходства, 2008. 483 с.
15. Маркович Р.А., Кан М.К., Михайлов С.В. Коррозия и методы защиты зоны переменного смачивания металлоконструкций гидротехнических сооружений эстакадного типа // *Гидротехника*. 2014. №4. С. 71.
16. *Microbially Influenced Corrosion of Materials: Scientific and Engineering Aspects* / eds. E. Heitz, H.-C. Flemming, W. Sand. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996. 475 p.
17. Dazhang Yang, Jianhua Liu, Xiaoxue E, Linlin Jiang. Experimental study of composition and influence factors on fouling of stainless steel and copper in seawater // *Annals of Nuclear Energy*. 2016. Vol. 94. P. 767–772.
18. Al-Muhanna K., Habib K. Marine bio-fouling of different alloys exposed to continuous flowing fresh seawater by electrochemical impedance spectroscopy // *Journal of Saudi Chemical Society*. 2016. Vol. 20. Issue 4. P. 391–396.
19. Mansfeld F., Little B. Microbiologically influenced corrosion of copper-based materials exposed to natural seawater // *Electrochimica Acta*. 1992. Vol. 37. Issue 12. P. 2291–2297.
20. Корякова М.Д., Филоненко Н.Ю., Каплин Ю.М. Исследование коррозии высоколегированных сталей в морской воде под блянусами // *Защита металлов*. 1995. Т. 31. №2. С. 219–221.
21. Каплин Ю.М., Корякова М.Д., Никитин В.М., Супонина А.П. Механизм коррозии стали под основанием блянуса // *Защита металлов*. 1998. Т. 34. №1. С. 89–93.
22. Корякова М.Д., Никитин В.М., Спешнева Н.В. Роль бактериальной пленки под блянусами в коррозии высоколегированной стали в морской воде // *Защита металлов*. 1998. Т. 34. №2. С. 208–211.
23. Карпов В.А., Ковальчук Ю.Л., Беленева И.А., Петросян В.Г. Исследование коррозии металлов в тропических морских водах // *Новости материаловедения. Наука и техника: электрон. науч.-технич. журн*. 2016. №6 (24). Ст. 03. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 08.11.2017).

24. Лебедев Е.М., Ильин И.Н. Методы исследований морского и океанического обрастания // Обрастание и биоповреждения. Экологические проблемы. М.: Наука, 1992. С. 65–76.
25. Зинова А.Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. М.–Л., 1967. 397 с.
26. Глухенький И.Ю., Лаврентьев А.В., Попова Г.Г. Моделирование аварийных разливов нефти в Керченском проливе // Безопасность в техносфере. 2014. №6. С. 3–6.
27. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 230 с.
28. Морская коррозия. М.: Metallurgia, 1983. 512 с.
29. Протасов В.Н. Теория и практика применения полимерных покрытий в оборудовании и сооружениях нефтегазовой отрасли. М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. 374 с.
30. Долгопольская М.А. Экспериментальное изучение процесса обрастания в море // Труды Севастопольской биологической станции. 1954. Т. 8. С. 157–173.
31. Долгопольская М.А., Дегтярев П.Ф. Биологическое обоснование для стендовых испытаний средств защиты от обрастания // Биологические исследования Черного моря и его промысловых ресурсов. М.: Наука, 1968. С. 132–136.
32. Изучение процессов морского биообрастания и разработка методов борьбы с ним. Л.: Зоологический институт АН СССР, 1987. 132 с.
33. Ильин И.Н. Методы изучения обрастания в океане // Экологические аспекты защиты техники и материалов. Теория и практика натуральных испытаний. Ч. 2. М.: ИПЭЭ РАН, 2000. С. 32–36.