

УДК 620.193.21

КОРРОЗИОННАЯ АГРЕССИВНОСТЬ АТМОСФЕРЫ НА ТЕРРИТОРИИ СТАРОМАЙНСКОГО РАЙОНА УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ОТНОШЕНИЮ К СТАЛЯМ И МЕДИ

¹В.В. Душик, ¹Т.Н. Игонин, ²Е.А. Лямасова, ²Д.Е. Карзанов,
²С.П. Баранов, ²А.Н. Сорвина, ²Е.А. Шингарев, ²Г.И. Алиев,
²А.А. Илюшкин и ²Х.И. Алиев

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН), 119071,
Москва, Ленинский проспект, 31 к. 4

²Муниципальная бюджетная общеобразовательная организация Старомайнская
средняя школа № 2 муниципального образования «Старомайнский район»
Ульяновской области (МБОУ Старомайнская СШ № 2), ул. Льва Толстого, д.79,
433460, Ульяновская область, Старомайнский район, р.п. Старая Майна

E-mail: v.dushik@gmail.com

Аннотация

В работе приведены данные по коррозионной устойчивости металлических конструкционных материалов—меди марки М1, нержавеющей стали 12Х18Н10Т, углеродистой стали Ст3—в атмосферных условиях на территории Старомайнского района Ульяновской области, полученные на новой коррозионной станции ИФХЭ РАН и МБОУ Старомайнская СШ №2 «Старая Майна». На основании полученных данных атмосферным условиям присвоена категория коррозионной агрессивности С2 по ГОСТ ISO 9223–2017.

Ключевые слова: атмосферная коррозия, медь, сталь, коррозионная станция.

Поступила в редакцию 18.02.2024 г. После доработки 19.02.2024 г.; Принята к публикации 22.02.2024 г.

doi: 10.61852/2949-3412-2024-2-1-137-150

Введение

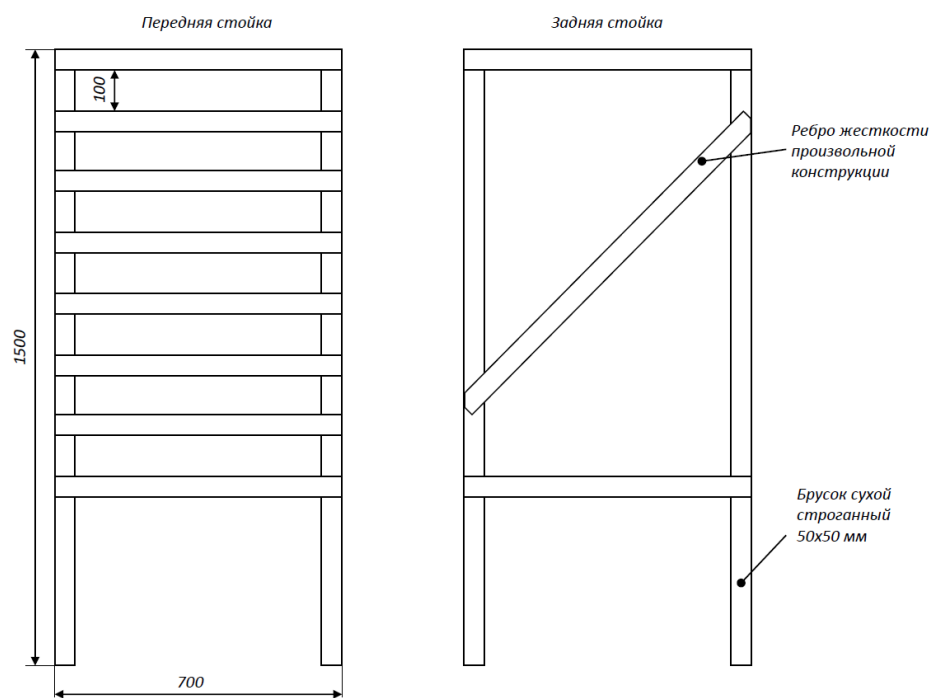
Коррозия—самопроизвольное разрушение металлов и сплавов вследствие их химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой—

является одним из доминирующих факторов потерь металлического фонда в мире [1], причем существенная их часть приходится на атмосферную коррозию [2]. Коррозионное поведение металлов в атмосферных условиях в некоторой степени поддается прогнозированию, например, посредством функции “доза-ответ” [3]. Тем не менее, наиболее надежные результаты могут быть получены путем длительной экспозиции металлов в атмосферных условиях на коррозионных станциях [4, 5].

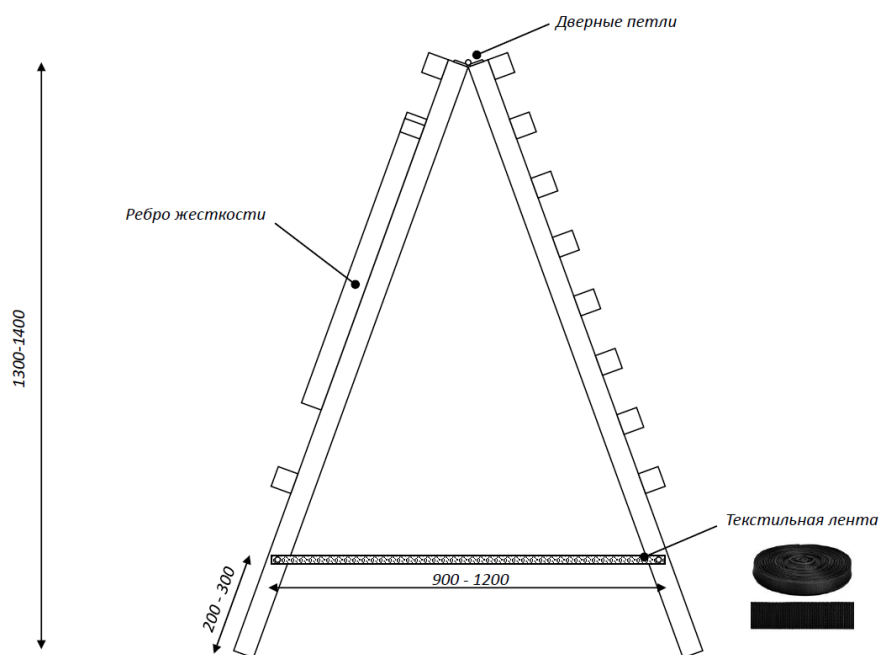
В мае 2021 года между ИФХЭ РАН и МБОУ Старомайнская СОШ № 2 было подписано соглашение о сотрудничестве, включающего в том числе проведение длительных экспериментов по исследованию атмосферной коррозии металлов силами учеников старших классов. Для проведения данного эксперимента была создана коррозионная станция “Старая Майна” (рисунок 1), для которой по эскизам ИФХЭ РАН были сконструированы и установлены стенды (рисунок 2).



Рисунок 1. Коррозионная станция «Старая Майна»



а



б

Рисунок 2. Эскиз станда для коррозионной станции “Старая Майна”: а) задняя и передняя стойки; б) вид сбоку станда в сборе

Методика и материалы

Объекты исследования

В качестве объектов исследования были выбраны образцы Ст3 (рисунок 3(а), 12Х18Н10Т (рисунок 3(б) и меди М1 (рисунок 3(в)), представляющие собой плоско-параллельные пластины размером 30х50х2 мм с четырьмя отверстиями Ø2 мм по углам пластины для размещения на коррозионной станции.

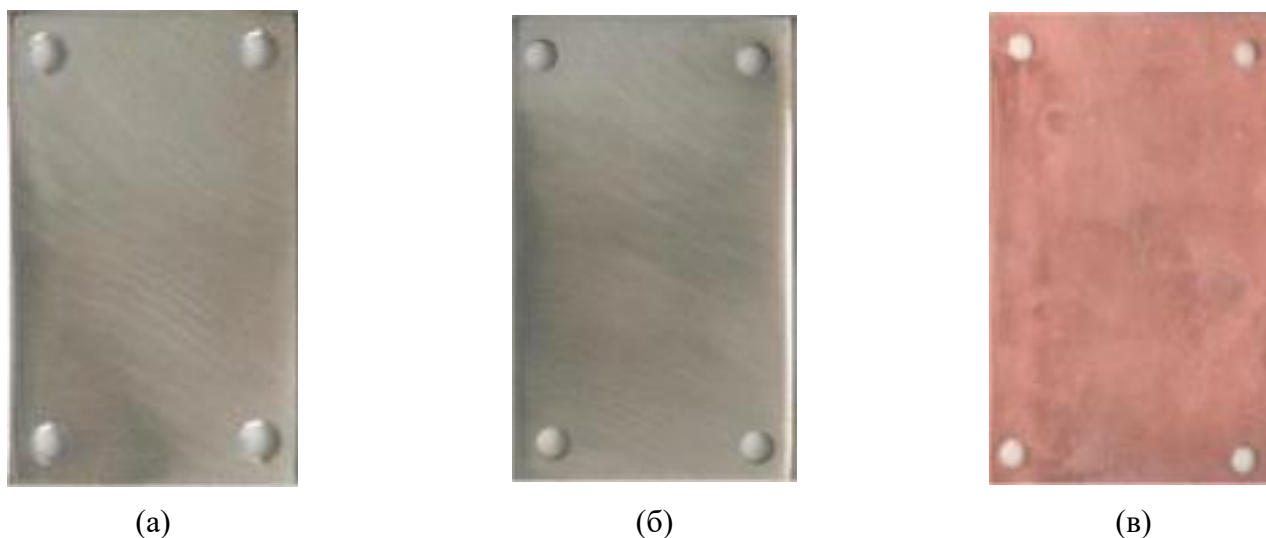


Рисунок 3. Образцы стали Ст3 (а), стали 12Х18Н10Т (б) и меди М1 (в) в исходном состоянии.

Поверхность стальных образцов перед размещением очищали от продуктов коррозии и окалины на наборе наждачных бумаг зернистостью от 20 до 600. Медные образцы подвергали травлению в растворе серной кислоты (54 см³ кислоты на 1000 см³ дистиллированной воды). После удаления окисной пленки с поверхности образцов их промывали в проточной воде, а затем обезжиривали в изопропиловом спирте с применением ультразвуковой обработки и сушили на воздухе.

Массу образцов до и после испытания определяли на аналитических весах AND GR–202 с точностью до 0,0001 г.

Способы размещения образцов на станции показаны на рисунке 4. С учетом геометрических размеров образцов был выбран вариант 2. Для недопущения контакта с другими металлами образцы были подвешены на электроизолированную проволоку.

Удаление продуктов коррозии после проведения испытаний производили в соответствии с ГОСТ 9.907–2007 [6]: для меди–54 см³ серной кислоты (H₂SO₄ плотностью 1,84 г/см³), до 1000 см³ дистиллированной воды; для Ст3–500 см³ соляной кислоты (HCl плотностью 1,19 г/см³), 3,5 г уротропина, до 1000 см³

дистиллированной воды; для 12X18H10T–100 см³ азотной кислоты (HNO₃, плотностью 1,42 г/см³), до 1000 см³ дистиллированной воды.

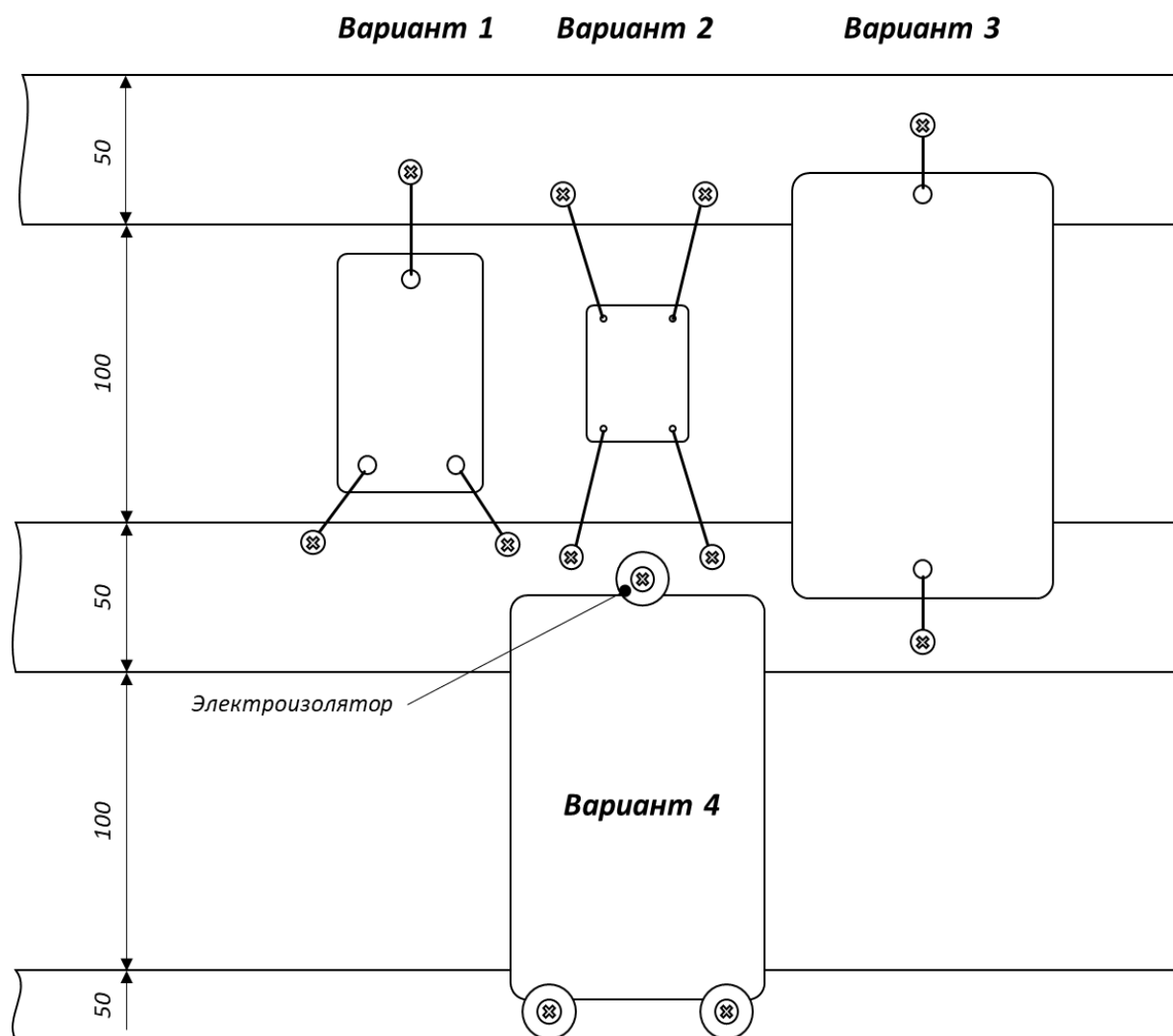


Рисунок 4. Варианты размещения образцов на коррозионной станции

Условия испытаний

На рисунке 5 показано географическое расположение коррозионной станции “Старая Майна”, а также трех ближайших метеостанций, данные которых представлены в таблице 1 [7].

Таблица 1. Географическое расположение объектов на рисунке 5

Обозначение	Название объекта	Географические координаты объекта	Расстояние от коррозионной станции «Старая Майна», км	Направление
А	Коррозионная станция «Старая Майна»	54,605726 с.ш., 48,933075 в.д.	-	-
Б	Метеостанция аэропорта «Ульяновск Восточный»	54,401100 с.ш., 48,802800 в.д.	24,3	ЮЮЗ
В	Метеостанция №27697 «Тетюши»	54,950000 с.ш., 48,816667 в.д.	39,1	ССЗ
Г	Метеостанция №27696 «Болгар»	54,966700 с.ш., 49,033300 в.д.	40,7	ССВ

Таблица 2. Периоды испытаний

Условное обозначение периода	Даты испытаний	Продолжительность испытаний, сут
«Лето»	21.05.2021–25.11.2021	188
«Зима»	25.11.2021–21.05.2022	177
«Год»	21.05.2021–21.05.2022	365

Для каждого материала и периода испытаний были подготовлены по 3 образца, скорость коррозии (глубинный показатель) рассчитывали по формуле (1):

$$(1) \quad K_{\Pi} = \frac{m_0 - m_1}{\frac{\tau}{365} \cdot \rho \cdot S} \cdot 10000,$$

где: K_{Π} —глубинный показатель коррозии, мкм/год; m_0 —исходная масса образцов, г; m_1 —масса образцов после испытания и удаления продуктов коррозии, г; τ —продолжительность испытаний, сут; 365—количество суток в году, сут/год; ρ —плотность материала, г/см³; S —площадь образца, см².

Значения плотности материалов, изученных в данной работе: Ст3–7,87 г/см³; 12Х18Н10Т–7,95 г/см³; медь М1–8,94 г/см³ [9].

Результаты экспериментов и их обсуждение

В таблицах 3–6 представлены метеоданные для всех локаций и периодов испытаний.

Таблица 3. Метеоданные коррозионной станции “Старая Майна”

Период “Лето”			
Параметр	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
Температура, °С	17,2	-7,0	36,0
Влажность, %	61	31	-
Период “Зима”			
Температура, °С	0,3	-23,0	20,0
Влажность, %	82	58	-
Период “Год”			
Температура, °С	9,1	-23,0	36,0
Влажность, %	71	31	-

Таблица 4. Данные метеостанции аэропорта “Ульяновск Восточный”

Период “Лето”			
Параметр	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
Температура, °С	14,8	-11,0	39,0
Давление, мм.рт.ст.	752,8	725,8	776,5
Влажность, %	68	12	-
Период “Зима”			
Температура, °С	-1,9	-28,0	24,0

Продолжение таблицы 4.

Период “Зима”			
Давление, мм.рт.ст	753,0	719,0	773,9
Влажность, %	80	15	-
Период “Год”			
Температура, °С	6,7	-28,0	39,0
Давление, мм.рт.ст	754	719,0	776,5
Влажность, %	74	12	

Таблица 5. Данные метеостанции №27696 “Болгар”

Период “Лето”			
Параметр	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
Температура, °С	15,1	-14,3	34,7
Давление, мм.рт.ст.	749,0	719,5	770,6
Влажность, %	56	14	-
Период “Зима”			
Температура, °С	-2,1	-26,1	19,9
Давление, мм.рт.ст	746,7	716,5	768,5
Влажность, %	69	12	-
Период “Год”			
Температура, °С	6,9	-26,1	34,7
Давление, мм.рт.ст	748,0	716,5	770,6
Влажность, %	62	12	-

Таблица 6. Данные метеостанции №27697 “Тетюши”

Период “Лето”			
Параметр	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
Температура, °С	14,8	-11,0	39,0
Давление, мм.рт.ст.	752,8	725,8	776,5
Влажность, %	68	12	-
Сумма осадков, мм	Максимальное значение за 12 часов, мм		Дней с осадками
200	17		64
Период “Зима”			
Температура, °С	-1,9	-28,0	24,0
Давление, мм.рт.ст	753,0	719,0	773,9
Влажность, %	80	15	-
Сумма осадков, мм	Максимальное значение за 12 часов, мм		Дней с осадками
328	22		107
Период “Год”			
Температура, °С	6,7	-28,0	39,0
Давление, мм.рт.ст	754	719,0	776,5
Влажность, %	74	12	
Сумма осадков, мм	Максимальное значение за 12 часов, мм		Дней с осадками
528	22		171

Из данных таблиц 3–6 видно, что температурные показания гигротермометра коррозионной станции “Старая Майна” в среднем на 2,3°С выше, чем показания

метеостанций Б–Г. Это обусловлено расположением датчика метеостанции в непосредственной близости от образцов и его возможным разогревом от солнечного излучения. Данные по относительной влажности в целом оказались сопоставимы для всех четырех метеостанций. В целом, среднегодовые показания метеостанций находятся в соответствии с умеренно-континентальным климатом, что в совокупности с удаленностью от морского побережья и промышленных предприятий, эмитирующих коррозионно-активные газы, составляет благоприятные условия для эксплуатации металлов в атмосферных условиях.

На рисунке 6 представлен внешний вид образцов после испытаний.

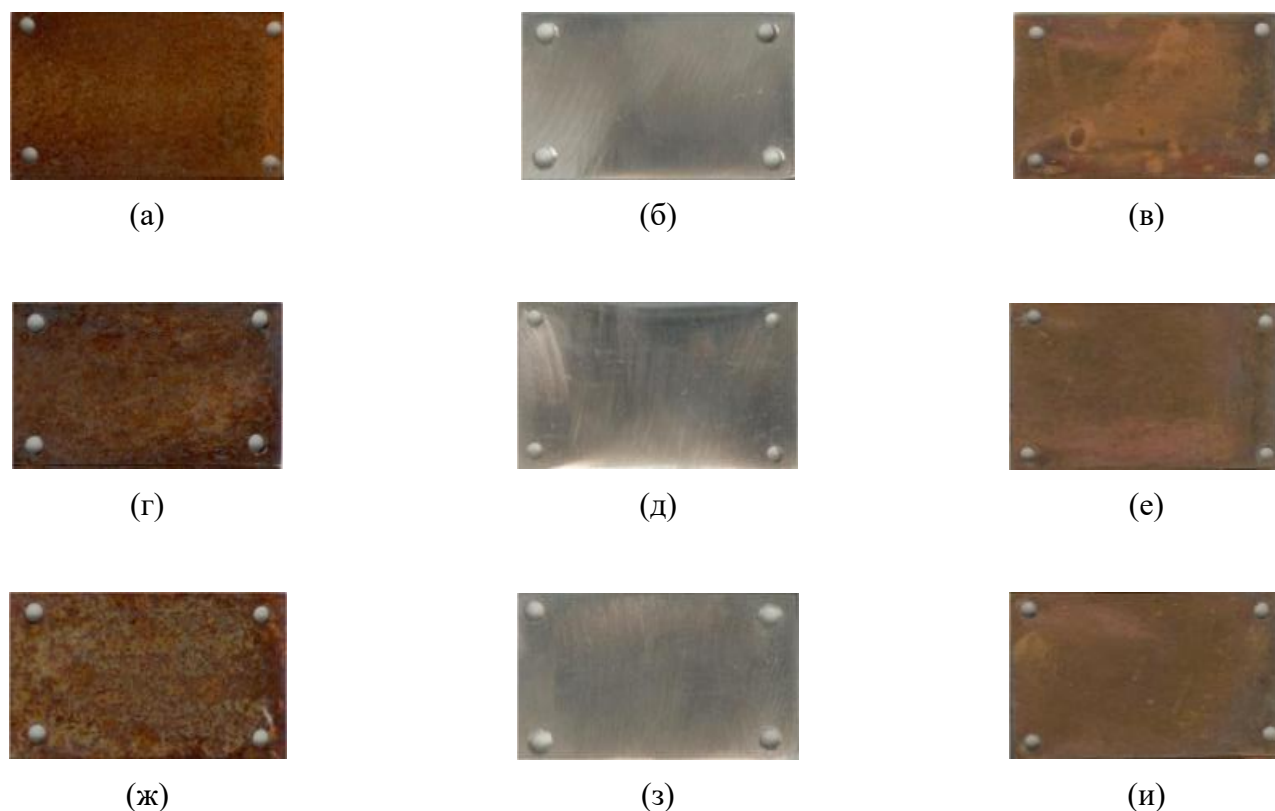


Рисунок 6. Внешний вид образцов после испытаний: стали Ст3 после периода испытаний: а) “Лето”, г) “Зима”, ж) “Год”; стали 12X18H10T после периода испытаний: б) “Лето”, д) “Зима”, з) “Год”; меди М1 после периода испытаний: в) “Лето”, е) “Зима”, и) “Год”

На образцах меди М1 и стали Ст3 в процессе экспозиции в атмосферных условиях, образовались сплошные равномерные пленки продуктов коррозии, а на образцах стали 08X18H10T отсутствовали какие-либо признаки коррозионных поражений, включая локальные, что свидетельствует об отсутствии в атмосфере региона депассивирующих агентов. На рисунке 7 показаны средние по данным трех

образцов величины глубинного показателя коррозии для каждого материала и периода испытаний.

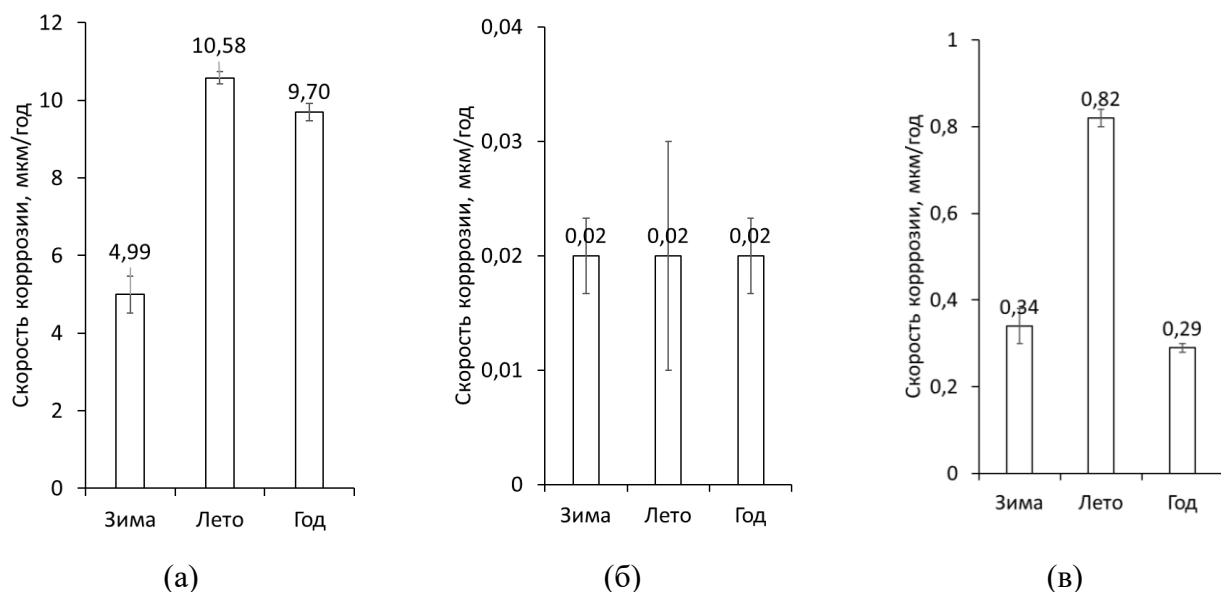


Рисунок 7. Скорость коррозии образцов: а) стали Ст3, б) стали 12X18H10T, в) меди М1

В соответствии с ГОСТ ISO 9223-2017 [10], учитывая данные по стали Ст3 и меди М1 условия коррозионной станции «Старая Майна» имеют категорию коррозионной агрессивности С2. При этом, ожидаемо, что в летний период (с 21 мая по 25 ноября) скорость коррозии всех материалов, кроме 12X18H10T, существенно выше, чем скорость их коррозии в зимний период.

Заключение

Определены климатические условия и коррозионная агрессивность атмосферы коррозионной станции «Старая Майна» на территории Старомайнского района Ульяновской области по отношению к сталям и меди. Показано, что среднегодовая скорость коррозии углеродистой стали не превышает 10 мкм/год, а меди—0,3 мкм/год, что соответствует категории коррозионной агрессивности С2 по ГОСТ ISO 9223-2017. При этом на нержавеющей стали 12X18H10T отсутствуют признаки локальных коррозионных поражений, что свидетельствует о низкой концентрации депассивирующих агентов в атмосфере региона.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (программа №122011300078–1).

Выражаем благодарность администрации МО “Старомайнский район” в лице главы администрации Половинкина В.Г. за поддержку проекта, а также Кожевину А.Е. за плодотворные дискуссии.

Список использованной литературы

1. M. Iannuzzi and G.S. Frankel, The carbon footprint of steel corrosion, *NPJ Mater. Degrad*, **6**, 101, 2022. doi: [10.1038/s41529-022-00318-1](https://doi.org/10.1038/s41529-022-00318-1)
2. А.А. Михайлов, Ю.М. Панченко и Ю.И. Кузнецов, Атмосферная коррозия и защита металлов, *Издательство Першина Р.В*, 2016, с. 555
3. Ю.М. Панченко, А.И. Маршаков, Л.А. Николаева и др., Прогнозирование коррозионных потерь конструкционных металлов за первый год экспозиции на континентальной территории России, *Коррозия: материалы, защита*, 2019, **2**, с. 38–46.
4. Y. Panchenko, A. Marshakov, L. Nikolaeva and T. Igonin, Corrosion resistance of structural metals depending on the sample orientation and initial exposure conditions in coastal and rural atmospheres. Part 1. Corrosivity toward structural metals at coastal and rural test sites under various exposure conditions, *Corros. Eng. Sci. Technol.*, 2023, **58**, p. 648–658. doi: [10.1080/1478422X.2023.2245642](https://doi.org/10.1080/1478422X.2023.2245642)
5. А.Ю. Лучкин, О.А. Гончарова, Т.Т. Чанг и др., Натурные испытания эффективности камерного ингибитора при защите металлов в тропиках, *Коррозия: защита материалов и методы исследований*, 2023, **1**, с. 16–29.
6. ГОСТ 9.907–2007. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические. Методы удаления продуктов коррозии после испытаний. М.: *Стандартинформ*, 2007.
7. “Яндекс Карты” [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://maps.yandex.ru>
8. “Расписание погоды” [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rp5.ru>
9. “Плотность металлов” [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://metromet.ru/dokumenty/plotnost-metallov/>
10. ГОСТ ISO 9223-2017. Коррозия металлов и сплавов. Коррозионная агрессивность атмосферы. Классификация, определение и оценка. М.: *Стандартинформ*, 2016

CORROSIVE AGGRESSIVENESS OF THE ATMOSPHERE IN THE STAROMAINSKY DISTRICT OF THE ULYANOVSK REGION IN RELATION TO STEEL AND COPPER

¹V.V. Dushik, ¹T.N. Igonin, ²E.A. Lyamasova, ²D.E. Karzanov,
²S.P. Baranov, ²A.N. Sorvina, ²E.A. Shingarev, ²G.I. Aliev, ²A.A. Ilyushkin
and ²Kh.I. Aliyev

¹Federal State Budgetary Scientific Institution, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS, 119071, Moscow, Leninsky Prospekt, 31 k. 4

²Municipal budgetary educational organization Staromainskaya secondary school No. 2 of the municipal formation "Staromainsky district" of the Ulyanovsk region (MBOO Staromainskaya secondary school No. 2), st. Lev Tolstogo, 79, 433460, Ulyanovsk region, Staromainsky district, r.p. Staraya Maina

E-mail: v.dushik@gmail.com

Abstract

The paper presents data on the corrosion resistance of metal structural materials—copper grade M1, stainless steel 12H18N10T, carbon steel St3—in atmospheric conditions on the territory of the Staromainsky district of the Ulyanovsk region, obtained at the new corrosion station of the Institute of Physics and Chemistry of the Russian Academy of Sciences and MBOO Staromainskaya Secondary School No. 2 "Staraya Maina". Based on the data obtained, the atmospheric conditions were assigned a category of corrosion aggressiveness C2 according to GOST ISO 9223-2017.

Keywords: atmospheric corrosion, copper, steel, corrosion station.