

УДК 620.193.2

Коррозионная агрессивность атмосферы на испытательных станциях Тропического центра Вьетнама. Ч. 1. Определение коррозионной агрессивности атмосферы по отношению к типовым металлам

**Ю.М. Панченко,¹ Т.Н. Игонин,^{1,*} Л.Н. Кудрявцева,¹ Т.Т. Чанг,²
Д.Д. Чунг,² Н.В. Тханг,² К.Н. Линь,² М.В. Минь,² Н.Х. Чанг,² Ф.Н. Ту²
и В.В. Хуи²**

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4, Москва, 119071 Россия

²Институт Тропического материаловедения, Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, Кау Жай, ул. Нгуен Ван Хуен, 63, Ханой, 100000 Вьетнам

*E-mail: igonintd@gmail.com

Аннотация

Получены результаты четырех одногодových испытаний типовых металлов на 3-х коррозионных станциях Вьетнама с сельской, городской и морской атмосферой. На каждой коррозионной станции образцы устанавливали в двух направлениях: в не морской атмосфере на юг и на север, в морской атмосфере к морю и от моря. Начало каждой экспозиции соответствовало началу сезона года. Показано отличие одногодových коррозионных потерь металлов в зависимости от ориентации образцов и начала экспозиции. Для каждой коррозионной станции определены категории коррозионной агрессивности атмосферы по отношению к каждому металлу. Показано, что коррозионная агрессивность атмосферы в каждом месте не является однозначной по отношению ко всем металлам.

Ключевые слова: атмосферная коррозия, типовые металлы, коррозионные потери, коррозионная агрессивность атмосферы, ориентация образцов.

Поступила в редакцию 16.04.2025 г.; После доработки 05.05.2025 г.; Принята к публикации 05.05.2025 г.

doi: [10.61852/2949-3412-2025-3-2-51-69](https://doi.org/10.61852/2949-3412-2025-3-2-51-69)

Введение

На коррозионную стойкость основных технически важных металлов оказывают существенное влияние натурные условия эксплуатации изделий, значительно отличающиеся в различных регионах мира. Зона тропиков и субтропиков занимает обширную территорию на планете и находится в интервале географических широт от -45° до $+45^\circ$. Для исследования коррозионной стойкости в странах с тропическим и субтропическим климатом в конце прошлого века проводились натурные испытания металлов, например, в Аргентине [1], Венесуэле [2], Бразилии [3–5], Колумбии [6], Новой Зеландии [7, 8], Папуа – Новой Гвинее [9], Китае с участием ИФХЭ РАН [10–12], Австралии [13], Кубе [14–21], в том числе с участием ИФХЭ РАН [22, 23], Тайване [24, 25], Таиланде [26] и других странах.

В Вьетнаме научные исследования проводились при участии ИФХЭ РАН (1984–1989) и Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра. Результаты исследований опубликованы, например, в работах [27–38]. Полученная обширная информация обобщена в работе Ву Динь Вуя [39].

Обстоятельный анализ имевшихся до 1987 г. экспериментальных результатов по коррозии металлов, сплавов и средств противокоррозионной защиты в тропиках дан в обзорной статье [40]. В ней обсуждены данные, полученные за 35 лет в тропических и субтропических районах Европы, Америки, Азии, Африки, Австралии, Новой Зеландии, Папуа – Новой Гвинее и на Филиппинах. Коррозионные и метеорологические факторы тропического климата детально рассматривались в [41].

В период 1995–2022 гг. в различных местах Вьетнама проведены коррозионные испытания различной продолжительности. Основные результаты исследований представлены в ряде работ [42–48].

Металлические конструкции, длительное время эксплуатирующиеся, транспортирующиеся или хранящиеся на открытом воздухе в природных условиях (первая категория размещения по ГОСТу 1510-69), имеют поверхности, направленные под различным углом к горизонту, что приводит к отличиям агрессивности среды для отдельных участков конструкций. По этой причине необходимы сведения о коррозионном поведении металлов в зависимости от ориентации металлической поверхности. Исследования, проведенные Ву Динь Вуем во влажном тропическом климате Вьетнама [39], показали, что во всех без исключения типах атмосферной коррозии стали Ст3 выше на нижней поверхности образцов, чем на верхней. В отличие от сталей цинк во Вьетнаме быстрее корродирует на верхней стороне образца, чем на нижней. При этом хлориды наблюдались в большем количестве на верхней стороне образца, чем на нижней. Такое противоречие данных для стали и цинка приводит к необходимости пересмотра данного вопроса. Формирование на металлах фазовых пленок влаги, обуславливающих коррозию, происходит при выпадении жидкофазных осадков. Режим выпадения дождей во влажных тропиках неравномерен и, например,

для восточных берегов континентов он часто связан с муссонами, приносящими воздушные массы, насыщенные влагой, и вызывающими сильные, в большинстве ливневые дожди. Согласно наблюдениям, влажный период (летний моонзун) характеризуется сильными ливнями, которые приносят 85–90% годового количества осадков. На севере есть 4 сезона, когда средняя температура зимой и летом значительно различается (около 17–30°C), на юге всего 2 сезона, сухой и влажный (дождливый) с температурой 25–30°C [39, 48]. Такое отличие климатических параметров в разные сезоны года может привести к отличию коррозионных потерь металлов.

Результаты коррозионных испытаний и исследований, ранее проведенных во Вьетнаме, несомненно, имеют огромное практическое и научное значение. Однако отдельные практически значимые результаты при исследованиях во Вьетнаме не были получены. Это относится, например, к исследованию коррозионной стойкости металлов при постановке образцов в морской атмосфере, обращенных верхней стороной к морю и от моря, а в не морской атмосфере верхней стороной на юг и на север. Кроме того, необходимы исследования влияния на коррозию начальных условий постановки образцов.

Необходимо также отметить, что за последние десятилетия произошло существенное изменение климата на планете. Так, за счет глобального потепления среднегодовая температура воздуха увеличилась приблизительно на 0.6°C на всем Земном шаре [49]. Количество осадков также увеличилось приблизительно на 2 мм в месяц. Это приводит к необходимости оценить изменение климата на территории Вьетнама и определить коррозионную стойкость металлов в условиях изменившегося климата.

Цель работы: дать оценку изменения климата на территории Вьетнама, определить коррозионную стойкость металлов в условиях изменившегося климата, оценить влияние начальных условий постановки образцов на первогодовые коррозионные потери металлов.

Методика эксперимента

Исследования коррозионной стойкости металлов были проведены на 3-х коррозионных станциях (КС) с сельской (Хоа Лак), городской (Кон Зо) и морской (Дам Бай) атмосферой. Испытательные площадки Хоа Лак и Кон Зо – в пригородных зонах г. Ханой и г. Хошимина, Дам Бай – на острове Че, вблизи г. Нячанг (Рисунок 1).



Рисунок 1. Расположение КС во Вьетнаме.

На всех КС осуществлены по 4 одногодových экспозиций металлов (углеродистая сталь Ст3, цинк Ц0, медь М1, алюминий А5М) по 3 образца. Образцы устанавливали в двух направлениях: верхней стороной на континентальных КС на юг и к морскому берегу на морской КС (1-е направление) и верхней стороной на север и от морского берега соответственно (2-е направление). Начало каждой постановки приблизительно соответствовало зимнему, весеннему, летнему и осеннему периодам. Сроки экспозиции и продолжительности каждой экспозиции представлены в Таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1. Сроки начала и окончания испытаний на каждой КС.

КС	1 постановка		2 постановка		3 постановка		4 постановка	
	начало	окон- чание	начало	окон- чание	начало	окон- чание	начало	окон- чание
Хоа Лак	12.11.21	07.12.22	22.02.22	05.02.23	16.05.22	25.05.23	29.08.22	28.08.23
Кон Зо	22.11.21	20.12.22	23.02.22	08.02.23	23.05.22	25.05.23	29.08.22	29.08.23
Дам Бай	18.11.21	14.12.22	28.02.22	18.02.23	30.05.22	25.05.23	29.08.22	30.08.23

Таблица 2. Сроки начала и окончания испытаний на каждой КС.

Название КС	Номер постановки образцов			
	1	2	3	4
Хоа Лак	391	348	374	364
Кон Зо	394	350	367	365
Дам Бай	392	361	360	366

Для первой постановки размещение образцов в 2-х направлениях на коррозионных стендах представлено на Рисунках 2–4.

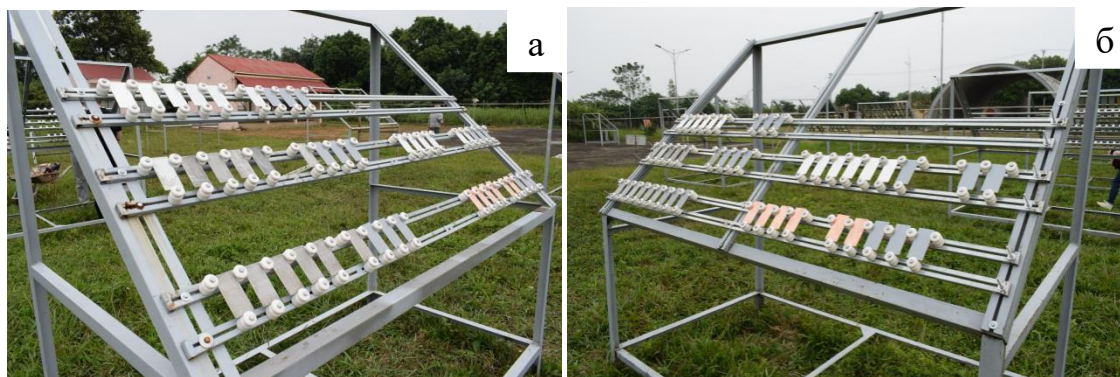


Рисунок 2. Хоа Лак. Расположение на стендах образцов верхней стороной на юг (а) и на север (б).

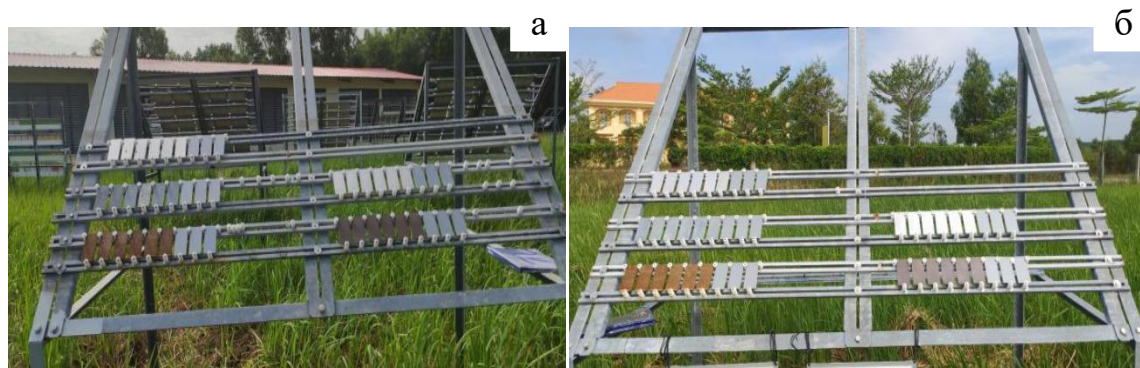


Рисунок 3. Кон Зо. Расположение на стендах образцов верхней стороной на юг (а) и на север (б).



Рисунок 4. Дам Бай. Расположение на стендах образцов верхней стороной от моря и к морю.

В период проведения испытаний регистрировали метеорологические параметры атмосферы: температуру (T , °C), относительную влажность (RH, %) воздуха, количество осадков (Rain, мм) и солнечную радиацию (SR, МДж/м²). Аэрохимические параметры атмосферы определяли в соответствии с стандартом [50]. Загрязненность атмосферы диоксидом серы ($[SO_2]$, мг/(м²·сут)) оценивали с использованием сульфатных пластин, время экспозиции которых составляло 3 месяца. На приморской станции Дам Бай скорость осаждения хлоридов ($[Cl]$, мг/(м²·сут)) определяли методом влажной свечи, продолжительность экспозиции – 1 месяц.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Особенности климата КС в период настоящих испытаний

Атмосфера характеризуется большим числом параметров, за которыми во всем мире ведутся регулярные наблюдения и регистрируются соответствующими службами. На основе обобщения множества наблюдений и исследований, проведенных во многих местах мира, основными параметрами, влияющими на коррозию металлов, приняты: в [51] среднегодовая температура (T , °C), относительная влажность (RH, %) воздуха, и в работе [52], кроме того, суммарное за год количество осадков (Rain, мм). Эти параметры для мест испытаний приведены в Таблице 3.

При настоящих испытаниях регистрировалась также солнечная радиация (SR, МДж/м²). Это связано с тем, что продолжительность существования пленок влаги на металлах существенно зависит от длительности и интенсивности солнечной радиации, влияющих на температуру поверхности металла в сравнении с воздухом и на процесс испарения пленки влаги. Следовательно, нужно ожидать уменьшения коррозии с увеличением интенсивности солнечной радиации, поскольку время существования влажной пленки на металле уменьшается.

Анализ метеопараметров свидетельствует, что для всех постановок на континентальных КС температура выше на Кон Зо при меньшей относительной влажности, чем на Хоа Лак. На Дам Бай температура и относительная влажность имеют промежуточные значения. Наибольшее количество осадков в Хоа Лак. В целом на всех КС все метеопараметры имели значения в широком диапазоне. Так, среднегодовая температура воздуха имела интервал 24.6–30.4°C, относительная влажность – 74.8–89.0%, годовое количество осадков – 1035.3–3237.4 мм и солнечная радиация – 4197.8–7437.0 МДж/м².

На КС Вьетнама ранее проводились пятилетние коррозионные испытания с 1984 по 1987 г. (Ханой, Кон Зо и Нячанг) [35] и восьмилетние испытания с 2012 г. (Хоа Лак, Кон Зо и Дам Бай) [53]. Среднегодовые параметры этих лет испытаний представлены на Рисунке 5. Для настоящих испытаний (2023 г.) использованы средние метеопараметры для 4-х однолетних экспозиций (Рисунок 3). Оценим изменение

климатических параметров за 40-летний период времени, учитывая близкое расположение Хоа Лак к Ханюю и Дам Бай к Нячангу.

Таблица 3. Среднегодовые и суммарные за год метеорологические параметры атмосферы за 4 годовые постановки для каждой КС.

КС	№ постановки	T , °C	RH, %	Rain, мм	SR, МДж/м ²
Хоа Лак	1	24.6	89.0	3237	4337
	2	25.0	88.0	3051	4204
	3	25.9	87.9	2721	4344
	4	25.7	87.4	1404	4198
	среднее	25.3	88.0	2603	4271
Кон Зо	1	29.7	75.1	1953	6573
	2	29.9	74.8	1949	5635
	3	30.1	75.2	1767	5765
	4	30.4	75.4	2259	5745
	среднее	30.0	75.0	1982	5930
Дам Бай	1	27.2	81.0	2083	7437
	2	26.7	79.6	1066	6769
	3	27.1	80.1	1035	6713
	4	27.1	80.0	1092	6988
	среднее	27.0	80.0	1319	6977

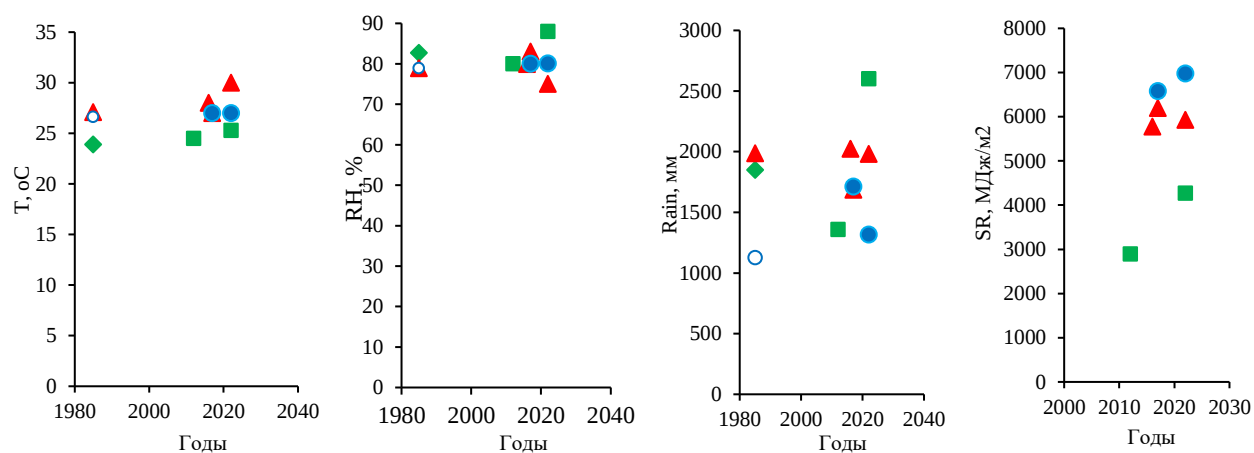


Рисунок 3. Метеорологических параметры на КС Вьетнама в разные годы: Ханюй (◆), Хоа Лак (■), Хошимин/Кон Зо (▲), Нячанг (○) и Дам Бай (●).

В соответствии с потеплением климата температура воздуха за этот период увеличилась на всех КС, особенно заметно в Хошимин/Кон Зо (городская атмосфера) и Хоа Лак (сельская атмосфера). Незначительное увеличение температуры наблюдается в Дам Бай (приморская атмосфера), по сравнению с Нячанг в 1984 году. Относительная влажность воздуха в Хоа Лак в 2023 г. имеет более высокое значение, напротив, в Кон Зо более низкое значение, чем в предыдущие годы, а в Дам Бай практически без изменений. При этом наблюдается: чем больше температура на КС, тем меньше относительная влажность. Количество осадков в Кон Зо практически не изменилось, но значительно увеличилось в Хоа Лак, а в Дам Бай – уменьшилось. Солнечная радиация за период с 2012 г. увеличилась в Хоа Лак и Дам Бай, но в Кон Зо практически без изменений. При этом на всех КС отмечено, что чем больше количество осадков, тем меньше солнечная радиация.

Коррозия металлов зависит от совместного влияния метеорологических факторов. Изменение значений параметров атмосферы, несомненно, должно сказаться на коррозии металлов. Однако трудно предсказать совместное влияние этих факторов при увеличении одних параметров, но уменьшении других.

Аэрохимические параметры атмосферы

Загрязненность атмосферы диоксидом серы в Кон Зо за месячные периоды с 02.01.2021–12.05.2022 приблизительно одинаковая, в среднем за год величина $[SO_2]$ составила 11.1 мг/(м²·сут), а в Хоа Лак – 2.7 мг/(м²·сут) и Дам Бай – 2.3 мг/(м²·сут) (Таблица 4).

Таблица 4. Средняя скорость осаждения SO_2 на КС Вьетнама.

КС	02.01.2021–07.01.2022	07.01.2022–12.05.2022	Средн. для постановок
Хоа Лак	не определяли	2.7	2.7
Кон Зо	10.2	12.0	11.1
Дам Бай	не определяли	2.6	2.6

Скорость осаждения хлоридов ($[Cl^-]$, мг/(м²·сут)) в Дам Бай для месячных периодов экспозиций для 4-х годовых постановок образцов представлена в Таблице 5. В среднем $[Cl^-]$ составила от 17.9 мг/(м²·сут) для 1-ой постановки до 28.4 мг/(м²·сут) для 4-ой постановки. В Кон Зо и Хоа Лак согласно методике выполнения работ скорость осаждения хлоридов не определялась, считая эти КС континентальными.

Таблица 5. Скорость осаждения хлоридов на влажную свечу ($[Cl^-]$, мг/(м²·сут)) на КС Дам Бай.

№ месяца испытаний	Постановка			
	1	2	3	4
1	21.4	19.2	11.7	11.9
2	21.4	23.5	11.7	11.9
3	19.2	21.2	14.4	11.9
4	23.5	11.7	11.9	34.0
5	21.2	11.7	11.9	34.0
6	11.7	14.4	11.9	33.7
7	11.7	11.9	34.0	35.7
8	14.4	11.9	34.0	36.0
9	11.9	11.9	33.7	37.5
10	11.9	34.0	35.7	31.0
11	11.9	34.0	36.0	33.3
12	34.0	33.7	37.5	30.3
Среднее	17.9	19.9	22.4	28.4

Коррозионные потери металлов за первый год экспозиции

Продолжительность экспозиции образцов на КС не всегда соответствовала годовому периоду. Расчет величин годовых коррозионных потерь металлов (K , г/м²) осуществлен с учетом годового периода. Величины K 4-х постановок образцов в 2-х направлениях представлены в Таблице 6. Полученные результаты свидетельствуют о большом интервале величин K на каждой КС.

Минимальные и максимальные значения величин K в зависимости от времени постановок образцов и их ориентации имеют существенные отличия (Таблица 7). Эти отличия можно выразить коэффициентом $k = K_{\text{макс}}/K_{\text{мин}}$. Наибольшие значения k для каждого металла имеют значения: 1.4 – для стали (Хоа Лак и Кон Зо), 2.3 – для цинка (Дам Бай), 1.4 – для меди (Кон Зо и Дам Бай) и 4.0 – для алюминия (Хоа Лак). Это свидетельствует о существенном влиянии на коррозию металлов начальных условий постановок и ориентации образцов.

Таблица 6. Первогодовые коррозионные потери металлов K , г/м².

КС	Металл	Постановка 1		Постановка 2		Постановка 3		Постановка 4	
		Направление		Направление		Направление		Направление	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Хоа Лак	Ст3	192.7	200.6	172.4	174.2	141.7	146.2	158.8	160.6
Кон Зо		152.3	185.9	175.7	179	145	189.4	190.4	204.0
Дам Бай		166.9	178.7	197.7	205.5	201.2	216	194.8	208.5
Хоа Лак	Zn	13.34	12.25	13.48	14.53	10.1	9.27	10.87	11.81
Кон Зо		11.77	12.6	12.98	13.29	9.86	9.39	11.48	11.73
Дам Бай		12.44	13.1	11.19	11.81	5.92	5.71	8.82	7.85
Хоа Лак	Cu	17.61	17.34	20.05	20.28	18.62	17.38	17.33	16.88
Кон Зо		24.83	24.3	27.15	25.94	35.03	32.22	33.61	33.09
Дам Бай		29.33	31.02	31.63	34.51	30.93	26.42	36.13	30.03
Хоа Лак	Al	0.12	0.1	0.15	0.16	0.04	0.09	0.11	0.1
Кон Зо		0.33	0.42	0.23	0.26	0.29	0.29	0.32	0.25
Дам Бай		0.29	0.32	0.35	0.34	0.31	0.35	0.26	0.29

Таблица 7. Наименьшие и наибольшие величины K и их отличие (k).

Место	Металл	K , г/м ²		k
		$K_{\text{мин}}$	$K_{\text{макс}}$	
Хоа Лак	Ст3	141.7	200.6	1.4
Кон Зо		145.0	204.0	1.4
Дам Бай		166.9	216.0	1.3
Хоа Лак	Zn	9.27	14.53	1.6
Кон Зо		9.39	13.29	1.4
Дам Бай		5.71	13.31	2.3
Хоа Лак	Cu	16.88	20.28	1.2
Кон Зо		24.30	35.03	1.4
Дам Бай		26.42	36.13	1.4
Хоа Лак	Al	0.04	0.16	4.0
Кон Зо		0.23	0.42	1.8
Дам Бай		0.26	0.35	1.3

Влияние условий начала экспозиции и ориентации образцов на коррозию металлов

Среднегодовые метеорологические параметры атмосферы для всех постановок на каждой КС приблизительно одинаковые (Таблица 4). Исключение – Хоа Лак, где для 4-х постановок годовое количество осадков составило от 1367 мм/год (4-я постановка) до 3219 мм/год (1-я постановка). Среднегодовые аэрологические параметры для каждого годового периода экспозиции также имели приблизительно равные значения. Поэтому следует ожидать примерно равные величины K . Полученные результаты свидетельствуют об отличиях величин K в зависимости от постановок и ориентации образцов (Рисунки 4–7). Однако отличия K в каждой категории коррозионной агрессивности атмосферы для каждого металла существенные. При этом однозначного влияния времени начала постановок и ориентации образцов нет.

Сталь. В Хоа Лак и Дам Бай ориентация образцов практически не оказала влияния на величину K , но в Кан Зо коррозия образцов, ориентированных верхней стороной на север, больше. Условия начала установки оказали большее влияние на коррозию, чем ориентация. Наибольшие коррозия в Хоа Лак при постановке зимой, а наименьшая – при постановке летом. В Кан Зо величины K наибольшие при постановке осенью; для 1-го направления наблюдается различие K для постановок, а для 2-го направления – отличия незначительные. В морской атмосфере Дам Бай наименьшая K при постановке зимой, для остальных постановок величины K приблизительно одинаковые.

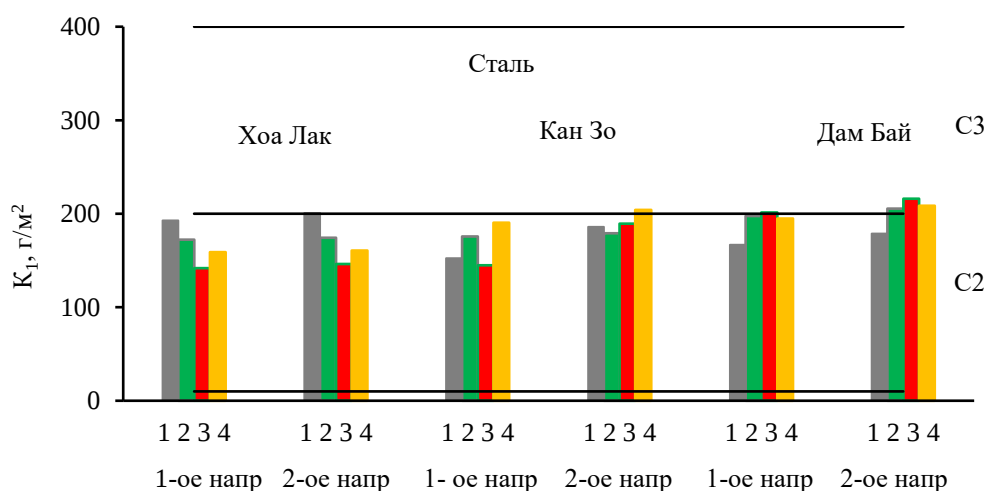


Рисунок 4. Сталь. Категории коррозионной агрессивности атмосферы КС для 4-х годовых периодов в зависимости от ориентации образцов (1-е и 2-е направление) и их постановки: зимой (1), весной (2), летом (3), осенью (4).

Цинк. Для всех КС направление образцов сказалось незначительно на величине K , кроме Хоа Лак. Наибольшие K получены при постановках зимой и весной, наименьшие K – при постановке летом.

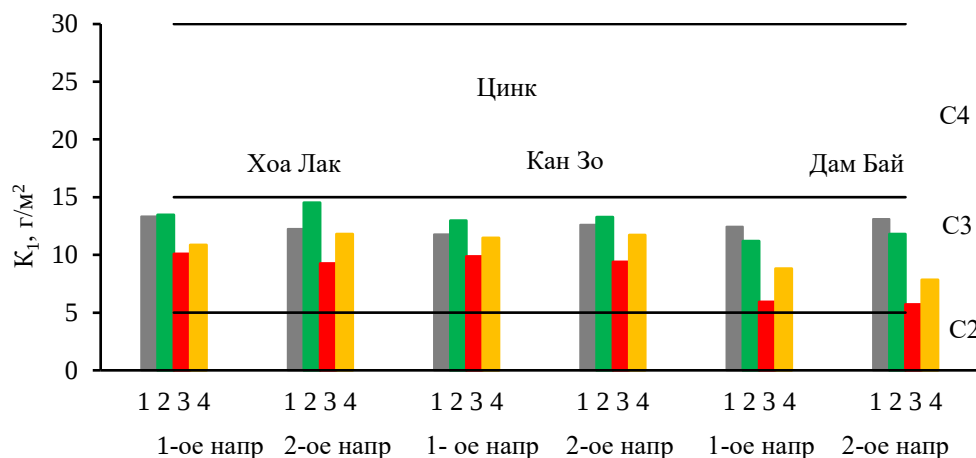


Рисунок 5. Цинк. Категории коррозионной агрессивности атмосферы КС для 4-х годовых периодов в зависимости от ориентации образцов (1-е и 2-е направление) и их постановки: зимой (1 ■), весной (2 ■), летом (3 ■), осенью (4 ■).

Медь. В Хоа Лак величины K существенно меньше, чем в Кан Зо и Дам Бай. Величины K не зависят от направления образцов, но наибольшая величина K при постановке весной. При постановках в другие сезоны K практически одинаковая. В Кан Зо и Дам Бай на K существенно повлияла ориентация образцов. Для 1-го направления наибольшая K при постановке осенью, при остальных постановках K приблизительно равные. Для второго направления наиболее агрессивным оказался весенний сезон начала экспозиции, наименее агрессивный – летний сезон.

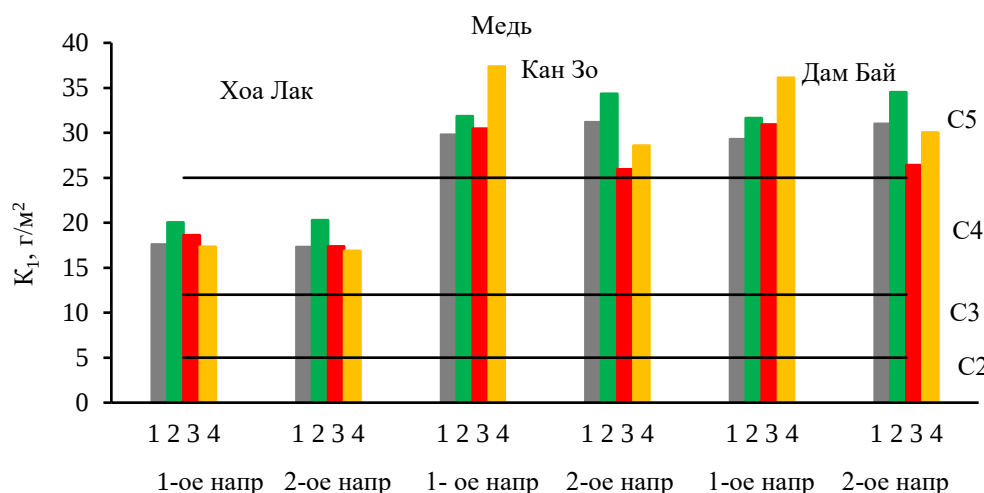


Рисунок 6. Медь. Категории коррозионной агрессивности атмосферы КС для 4-х годовых периодов в зависимости от ориентации образцов (1-е и 2-е направление) и их постановки: зимой (1 ■), весной (2 ■), летом (3 ■), осенью (4 ■).

Алюминий. Отличие K от направлений образцов и сезонно постановок для всех КС незначительное, исключение постановка зимой в Кан Зо для 2-го направления и летом в Хоа Лак для первого направления.

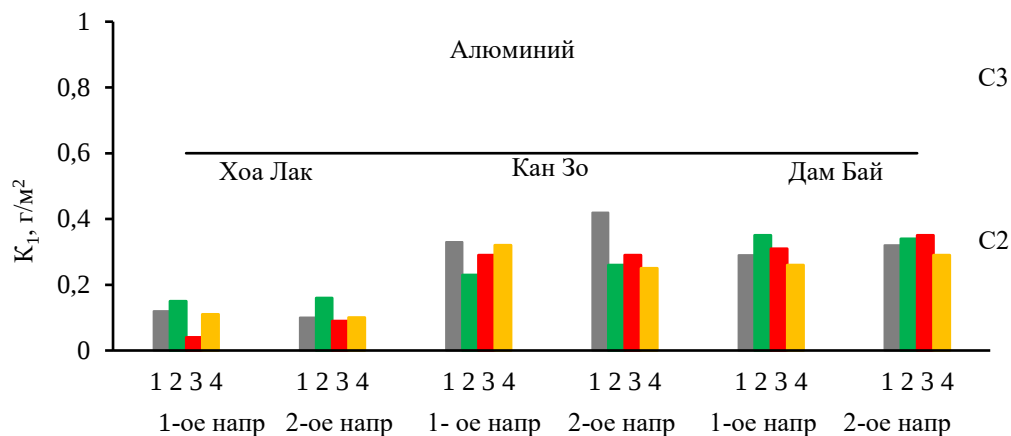


Рисунок 7. Алюминий. Категории коррозионной агрессивности атмосферы КС для 4-х годовых периодов в зависимости от ориентации образцов (1-е и 2-е направление) и их постановки: зимой (1), весной (2), летом (3), осенью (4).

Полученные результаты свидетельствуют, что на величины K оказывают влияние не только параметры агрессивности атмосферы, но и ориентация образцов и сезон года их постановки при практически равных среднегодовых параметрах агрессивности атмосферы.

Показано, что ориентация образцов и сезон постановки неоднозначно влияют на коррозию разных металлов в каждой КС и каждого металла в разных КС. Аналогичные выводы получены при испытаниях металлов в 3-х местах России с холодным и умеренным климатом [54], а возможные причины влияния сезонов постановки представлены в работе [55].

Категории коррозионной агрессивности атмосферы по отношению к металлам на каждой КС

Коррозия металлов, подвергаясь воздействию атмосферы, может варьироваться в больших интервалах в зависимости от агрессивности окружающей среды. Для практических целей большой интерес представляет корректная оценка категории коррозионной агрессивности атмосферы. Категории коррозионной агрессивности атмосферы являются технической характеристикой, которая обеспечивает правильный выбор металлических материалов и защитных мер в зависимости от конкретного применения. Для каждой категории проектировщики предусматривают толщину металла изделий, методы и средства защиты, консервации, оценивают их долговечность и т.д. Для различных климатических регионов мира представлена классификация коррозионной агрессивности атмосферы для каждого металла [51].

Категории коррозионной агрессивности атмосферы на КС представлены на Рисунках 4–7. Несмотря на отличия величин K для постановок и ориентации образцов на каждой КС, величины K находятся в пределах одной категории коррозионной агрессивности атмосферы. Это связано с большим интервалом величин K в каждой категории.

Для стали на всех КС категория С2. Исключение для образцов 2-го направления в Кон Зо при постановке осенью и в Дам Бай при постановке летом и осенью (категории С3). Для цинка на всех КС категория С3, при этом в Хоа Лак для второго направления при постановке весной величина K близка к категории С4. По отношению к меди агрессивность атмосферы составляет категорию С4 в Хоа Лак, но категорию С5 в Кон Зо и Дам Бай. Для алюминия на всех КС категория агрессивности С2.

Согласно стандарту [51] в каждом месте категория коррозионной агрессивности атмосферы по отношению ко всем металлам должна быть одинаковой. То есть по годовым испытаниям одного типа металла можно установить категории для других металлов. Однако многочисленные испытания авторов настоящей статьи и других исследователей, например, [54, 56, 57] свидетельствуют об отсутствии единой категории по отношению к конструкционным металлам в конкретном месте.

Выводы

1. Исследована коррозионная стойкость металлов на КС Вьетнама в современных условиях изменения климата.
2. Показано, что во всех КС на коррозионные потери металлов оказывают неоднозначные влияния ориентация образцов и начальные условия сезонов постановки образцов на испытания.
3. Категории коррозионной агрессивности атмосферы на всех КС по отношению к стали и алюминию – С2, к цинку – С3, к меди в сельской атмосфере (Хоа Лак) – С4, а городской и морской атмосферах (Кон Зо и Дам Бай) – С5.

Список литературы

1. A. Fernandez, Maria del Carmen Leiro, B.M. Rosales, E.S. Ayllon, F.E. Varele, C.A. Gervasi and J.R. Vilche, *Proc. of the 12th International Corrosion Congress*. Published by NACE International, Houston, Texas, USA, 1993, 2, 574.
2. M. del R. Arias, M. Fernandez and A. Rincon, *Int. Congr. Met. Corros.*, Toronto, 1984, 1, 402.
3. De Oliveira Vianna Ruth, Dutra A.C., *Bol. Tecn. PETROBRAS*, 1982, 25, no. 1, 52.
4. De Oliveira Vianna Ruth and M.F.P. Cunha, *Int. Congr. Met. Corros.*, Toronto, 1984, 3, 211.
5. De Oliveira Vianna Ruth, Maria Francinette Pereira de Cunha and Aldo Cordeiro Dutra, *Bol. Tecn. PETROBRAS*, 1985, 28, no. 2, 129.

6. C. Arroyave, F.A. Lopez and M. Morcillo, The early atmospheric corrosion stages of carbon steel in acidic fogs, *Corros. Sci.*, 1995, **37**, 1751–1761. doi: [10.1016/0010-938x\(95\)00071-q](https://doi.org/10.1016/0010-938x(95)00071-q)
7. J.R. Duncan, *Corrosion Australasia*, 1984, **9**, no. 5. 4.
8. R.J. Cordner, J.R. Duncan and D.P. Krouse, *Corrosion Australasia*, 1990, **15**, no. 1, 11.
9. F.W. Fahy, *Corrosion Australasia*, 1983, **8**, no. 2, 4.
10. *Коррозия металлов в различных климатических районах СССР и КНР*. Отчет ИФХ АН СССР, Москва, 1963.
11. J. Tidblad and V. Kucera, *Corrosion Costs in China due to Acid Deposition. An Initial Assessment*, Report of Swedish Corrosion Inst. Prepared for the World Bank, 1999.
12. J. Tidblad, V. Kucera and A.A. Mikhailov, Mapping of Acid Deposition Effects and Calculation of Corrosion Costs on Zinc in China, *Water, Air, and Soil Pollution*, 2001, **130**, 1469–1474.
13. K.G. Martin and G.A. King, Corrosivity measurements at some Australian cities, *Corrosion Australasia*, 1981, **6**, № 4, 10–15.
14. Perez F. Corvo, Atmospheric corrosion of steel in humid tropical climate. Influence of pollution, humidity, temperature, solar radiation and rainfall, *Corrosion*, 1984, **40**, № 4, 170–175.
15. C. Haces and F. Corvo, *Revista Iberoamericana de corrosión y protección*, 1982, **13**, no. 3, 11.
16. Silva Gil and Wilfredo Franciso, *Pint. y acabados ind. Recumbr. org. y metal*. 1982, **24**, no. 120, 85.
17. S.G. Fundora, W.F. Martin and J.C. Alarez, *Pint. y acabados ind. Recumbr. org. y metal*, 1986, **28**, no. 145, 31.
18. Перес Ф. Корво, Атмосферная коррозия углеродистой стали Ст3 во влажном тропическом климате Кубы, *Защита металлов*, 1982, **18**, № 4, 583–588.
19. Диас К. Асес, Перес Ф. Корво, Перес А. Рейес и Массора Х. Альварес, Вклад в изучение продуктов коррозии сталей в условиях влажного тропического климата, *Защита металлов*, 1982, **18**, № 4, 589–594.
20. Санс А. Абреу, Перес Ф. Корво и Диас К. Асес, Об оценке скорости атмосферной коррозии и защитных свойств продуктов коррозии с помощью анодных поляризационных кривых, *Защита металлов*, 1982, **18**, № 4, 595–599.
21. F. Corvo, *Rev.ibroam. corros. y prot*, 1984, **15**, no. 3, 21.
22. П.В. Стрекалов, Атмосферная коррозия цинковых и кадмиевых покрытий в тропическом и субтропическом климате, *Защита металлов*, 1968, **4**, № 5, 590–593.
23. П.В. Стрекалов, Атмосферная коррозия гальванических покрытий в различных климатах, *Защита металлов*, 1969, **5**, № 6, 671–673.
24. I.W. Feng, Atmospheric corrosion of carbon steels and weathering steels in Taiwan, *British corrosion journal*, 1991, **26**, no. 1, 209–214. doi: [10.1179/000705991798269215](https://doi.org/10.1179/000705991798269215)

-
25. Fu Tien Jeng and Yuen-Yuan Tu, *Proc. 8th World Clean Air Congr.*, 1989, Amsterdam, 329.
 26. L. Chotimongkol, C. Bharmornsut, R. Nakkuntod and P. Jeenkhajohn, *1st Asia Pacific Conference on Harmonisation of Durability Standards and Performance Tests*, 1999.
 27. П.В. Стрекалов, В.Д. Вуй, Роса в тропическом районе и ее влияние на атмосферную коррозию стали, *Защита металлов*, 1982, **18**, № 6, 881–888.
 28. П.В. Стрекалов, В.Д. Вуй и Ю.Н. Михайловский, Кинетика атмосферной коррозии стали и цинка в тропическом климате, *Защита металлов*, 1983, **19**, № 2, 220–230.
 29. П.В. Стрекалов и В.Д. Вуй, Математическая модель и расчет вероятной скорости атмосферной коррозии металлов в тропическом и умеренном климате, *Защита металлов*, 1985, **21**, № 4, 525–534.
 30. В.Д. Вуй, А.А. Михайлов, Г.М. Плавник и Г.Н. Трошкин, Идентификация продуктов атмосферной коррозии, образующихся на цинковых и кадмиевых покрытиях в тропических условиях Вьетнама, *Защита Металлов*, 1988, **24**, № 4, 643–647.
 31. В.Д. Вуй, А.А. Михайлов и Ф.Т. Шан, Атмосферная коррозия цинковых и кадмиевых покрытий в тропическом климате Вьетнама, *Защита металлов*, 1990, **26**, № 2, 306–310.
 32. В.Д. Вуй, А.А. Михайлов и Ю.Н. Михайловский, Прогнозирование годовой скорости атмосферной коррозии стали на основе результатов месячных коррозионных испытаний, *Защита металлов*, 1991, **27**, № 1, 83–91.
 33. D.T. Bing, V.D. Huy, P.V. Strekalov and C. Haces, *Progr. Understand. and Prev. Corros.*, in *Proceedings of 10th Eur. Corros. Congr.*, Barcelona, July, 1993, **1**, 126–130.
 34. V.D. Huy, A.A. Mikhailov and Yu.N. Mikhailovski, *Bull. Electrochem.*, 1994, **10**, nos. 2–3, 79–82.
 35. В.Д. Вуй, П.В. Стрекалов, Ю.Н. Михайловский, Д.Т. Бинь и А.А. Михайлов, Коррозионная стойкость сталей, цинка, меди, алюминия и сплавов во влажных тропиках Вьетнама. Результаты пятилетних испытаний, *Защита Металлов*, 1994, **30**, № 5, 502–509.
 36. В.Д. Вуй, А.А. Михайлов, Ю.Н. Михайловский, П.В. Стрекалов и Д.Т. Бинь, Состав и микроструктура продуктов коррозии меди и латуни Л62 во влажных тропиках Вьетнама, *Защита металлов*, 1994, **30**, № 5, 510–513.
 37. В.Д. Вуй, А.А. Михайлов, Ю.Н. Михайловский, П.В. Стрекалов и Д.Т. Бинь, *Защита металлов*, 1994, **30**, № 6, 578–581.
 38. П.В. Стрекалов и Д.Т. Бинь, Моделирование атмосферной коррозии углеродистой стали во влажных тропиках по результатам трехмесячных и годовых испытаний, *Защита металлов*, 2005, **41**, № 3, 302–315.
 39. В.Д. Вуй. *Атмосферная коррозия металлов в тропиках*, Москва, Наука, 1994, 240 с.

-
40. П.В. Стрекалов, Атмосферная коррозия металлов в тропиках и субтропиках. II. Коррозионная устойчивость различных металлов и сплавов, *Защита металлов*, 1993, **29**, № 6, 819–856.
 41. П.В. Стрекалов, Атмосферная коррозия металлов в тропиках и субтропиках. I. Коррозиологическая климатология, *Защита металлов*, 1993, **29**, № 5, 675–692.
 42. L.T.H. Lien, P.T. San and H.L. Hong, Results of studying atmospheric corrosion in Vietnam 1995–2005, *Sci. Technol. Adv. Mate.*, 2007, **8**, nos. 7–8, 552–558. doi: [10.1016/j.stam.2007.08.011](https://doi.org/10.1016/j.stam.2007.08.011)
 43. T.N.L. Tran, T.P.T. Nguyen, R. Nishimura, Y. Tsujino, M. Yokoi and Y. Maeda, Atmospheric corrosion of carbon steel under field exposure in the southern part of Vietnam, *Corrosion Science*, 2006, no. 48, **1**, 179–192. doi: [10.1016/j.corsci.2004.11.018](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2004.11.018)
 44. В.А. Карпов, В.Н. Ивонин, Т.М. Тиен, В.А. Тимонин, О.Л. Михайлова, Ю.Л. Ковальчук, Ф.З. Нам и Х.Х. Шон, Определение коррозивности атмосферы на испытательных станциях Тропического центра и в некоторых районах Вьетнама, *Коррозия: материалы, защита*, 2014, № 9, 1–7.
 45. Ю.И. Кузнецов, В.А. Карпов, Н.Н. Андреев, С.В. Олейник, О.А. Гончарова, А.А. Чиркунов, Ю.А. Кузенков, А.Ю. Лучкин, А.М. Семилетов, Н.Г. Ануфриев, В.Н. Середа, Д.С. Микуров, В.Т. Нгуен и Б.Т. Фан, Новые способы антикоррозионной защиты металлов в условиях тропического климата. Ч. 1. Лабораторный отбор средств и постановка образцов, *Коррозия: материалы, защита*, 2020, № 5, 1–12. doi: [10.31044/1813-7016-2020-0-5-1-12](https://doi.org/10.31044/1813-7016-2020-0-5-1-12)
 46. Ю.А. Кузенков, С.В. Олейник, Х.Ч. Данг, В.Н. Середа и В.А. Карпов, Натурные испытания бесхроматных конверсионных покрытий на алюминиевых сплавах в условиях тропического климата, *Коррозия: материалы, защита*, 2020, № 12, 38–45. doi: [10.31044/1813-7016-2020-0-11-38-45](https://doi.org/10.31044/1813-7016-2020-0-11-38-45)
 47. В.А. Карпов, А.Г. Лапига, Э.В. Калинина, О.Л. Михайлова и Ю.Л. Ковальчук, Моделирование атмосферной коррозии в тропическом климате Вьетнама, *Коррозия: материалы, защита*, 2016, № 8, 1–10.
 48. Н.Г. Ануфриев и Ю.А. Кузенков, Коррозивность тропической атмосферы Южного Вьетнама, *Практика противокоррозионной защиты*, 2022, **27**, № 4, 7–18. doi: [10.31615/j.corros.prot.2022.106.4-1](https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2022.106.4-1)
 49. *Изменения климата 2016 год (декабрь 2015 – ноябрь 2016). Обзор состояния и тенденций изменения климата России*, Москва, ФГБУ «Институт Глобального климата и экологии», 2017, 42 с.
 50. ISO 9225:2012(E). Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres.
 51. ISO 9223:2012(E). Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification, determination and estimation.

-
52. I. Cole, P. Corrigan and V.H. Nguyen, Steel Corrosion Map of Vietnam, *Corrosion Science and Technology*, 2012, **11**, no. 4, 103–107. doi: [10.14773/cst.2012.11.4.103](https://doi.org/10.14773/cst.2012.11.4.103)
53. В.А. Карпов, О.Л. Михайлова, Ю.Л. Ковальчук и Ю.П. Авдеев, Определение коррозионности атмосферы на испытательных станциях Тропического центра и в некоторых районах Вьетнама, *Коррозия: материалы, защита*, 2014, № 9, 2–8.
54. Yu.M. Panchenko, A.I. Marshakov, L.A. Nikolaeva and T.N. 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, *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 2023, **58**, no. 7, 645–658. doi: [10.1080/1478422X.2023.2245642](https://doi.org/10.1080/1478422X.2023.2245642)
55. Yu.M. Panchenko, A.I. Marshakov, L.A. Kudryavtseva, V.V. Kovtanyuk and T.A. Nenasheva, A chloride deposition model for predicting the categories of atmospheric corrosivity in coastal areas, *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 2024. doi: [10.1177/1478422X241298181](https://doi.org/10.1177/1478422X241298181)
56. A. Castaneda, F. Corvo, D. Fernandez, and C. Valdes, Outdoor-Indoor Atmospheric Corrosion in a Coastal Wind Farm Located in a Tropical Island, *Engineering Journal*, 2017, **21**, no. 2, 43–62. doi: [10.4186/ej.2017.21.2.43](https://doi.org/10.4186/ej.2017.21.2.43)
57. L.T.H. Lien, P.T. San and H.L. Hong, Results of studying atmospheric corrosion in Vietnam 1995–2005, *Sci. Technol. Adv. Mate.*, 2007, **8**, nos. 7–8, 552–558. doi: [10.1016/j.stam.2007.08.011](https://doi.org/10.1016/j.stam.2007.08.011)

Corrosivity of the atmosphere on corrosion test stations of Vietnam tropical center. Part 1. Atmospheric corrosivity determination towards typical metals

**Yu.M. Panchenko,¹ T.N. Igonin,^{1,*} L.N. Kudryavtseva,¹ T.T. Trang,²
D.D. Trung,² N.V. Thang,² C.N. Linh,² M.V. Minh,² N.H. Trang,² P.N. Tu²
and V.V. Huy²**

¹*A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry Russian Academy of Sciences, 31-4, Leninsky prospect, 119071 Moscow, Russia*

²*Institute of Tropical Durability, Joint Vietnam-Russian Tropical science and Technology research center, 63 Nguyen Van Huyen Street, Nghia Do Ward, Cau Giay District, 100000 Hanoi, Vietnam*

*E-mail: igonintd@gmail.com

Abstract

The results of four one-year exposures of typical metals at three Vietnam corrosion test stations in rural, urban and marine atmospheres are obtained. At each corrosion test station, the samples were installed in two directions: in a non-marine atmosphere to the south and to the north, in a marine atmosphere to the sea and from the sea. The beginning of each exposure corresponded to the beginning of the season of the year. The difference in one-year corrosion losses of metals depending on the orientation of the samples and the beginning of exposure is shown. For each corrosion test station, the atmospheric corrosivity categories are determined in relation to each metal. It is shown that atmospheric corrosivity in each place is not definitely in relation to all metals.

Keywords: *atmospheric corrosion, typical metals, corrosion losses, atmosphere corrosive aggressiveness, sample orientation.*