



## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИНГИБИРОВАНИЯ И СКОРОСТИ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ С ПРОИЗВОДНЫМИ АРИЛПРОПАРГИЛОВЫХ ЭФИРОВ С ДИАЛКИЛАМИНАМИ

**Ахтамов Д.Т.** – Навоийский государственный горно-технологический университет, доц. кафедры «Химическая технология», e-mail: [dilshod.axtamov.@89mail.ru](mailto:dilshod.axtamov.@89mail.ru), р.Узбекистан.

**Аннотация.** В статье приводятся результаты по исследованию влияния температуры, природы и концентрации катализатора, природы растворителей, а также продолжительности времени реакций на синтез фенокси-(бутин-2)-диметиламина и фенокси-(бутин-2)-диэтиламина. На основании результатов исследования определены оптимальные параметры синтеза: температура 100°C, катализатор однохлористый мед и растворитель диоксан и продолжительность времени реакций 6 часов. Также исследованы влияние природы и концентраций синтезированных арилоксиалкинаминами в качестве ингибиторов коррозии. Определены, что фенокси-(бутин-2)-диэтиламин эффективный ингибитор коррозии металлов, по сравнению фенокси-(бутин-2)-диметиламинами. Ингибирующее эффект производных арилоксиалкинаминами показаны также методами рентгенофазовым анализом, сканирующей и атомно-силовой микроскопии.

**Ключевые слова:** ДМСО, ДМФА, ТГФ, Диоксан, растворители, скорость коррозии, третичные амины, аминометилирования, валентное колебания, деформационные колебания, фенокси-(бутин-2)-диметиламина, фенокси-(бутин-2)-диэтиламина, ИК-спектроскопия.

## INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF INHIBITION AND CORROSION RATE OF METALS WITH DERIVATIVES OF ARYLPROPARGYL ETHERS WITH DIALKYLAMINES

**Akhtamov D.T.** – Navoi State Mining and Technological University, Associate Professor of the Department of Chemical Technology, e-mail: [dilshod.axtamov.@89mail.ru](mailto:dilshod.axtamov.@89mail.ru), Uzbekistan.

**Abstract.** The article presents the results of the study of the influence of temperature, the nature and concentration of the catalyst, the nature of solvents, as well as the duration of reactions to the synthesis of phenoxy-(butin-2)-dimethyl-amine and phenoxy-(butin-2)-diethylamine. Based on the results of the study, the optimal synthesis parameters were determined: the temperature of 100°C, the catalyst single-chloride honey and the solvent dioxane and the duration of the reaction time of 6 hours. The influence of the nature and concentrations of synthesized aryloxyalkinamines as corrosion inhibitors has also been investigated. It has been determined that phenoxy-(butin-2)-diethylamine is an effective metal corrosion inhibitor compared to phenoxy-(butin-2)-dimethylamine. The inhibitory effect of aryloxyalkinamine derivatives is also shown by X-ray phase analysis, scanning and atomic force microscopy.

**Keywords:** DMSO, DMFA, THF, Dioxane, solvents, corrosion rate, tertiary amines, aminomethylation, valence vibrations, deformation vibrations, phenoxy-(butin-2)-dimethylamine, phenoxy-(butin-2)-diethylamine, IR spectroscopy.

## ДИАЛКИЛАМИНЛАР ВА АРИЛПРОПАРГИЛ ЭФИРЛАР ҲОСИЛАЛАРИНИНГ МЕТАЛЛАР КОРРОЗИЯ ТЕЗЛИГИ ВА ИНГИБИРЛАШГА ТАЪСИРИНИ ЎРГАНИШ

**Axtamov D. T.** – Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, kimyo texnologiya kafedrasida dotsenti, E-mail: [dilshod.axtamov.@89mail.ru](mailto:dilshod.axtamov.@89mail.ru), O'zbekiston r.



**Annotatsiya.** Мақолада фенокси-(бутин-2)-диметиламин ва фенокси синтезига ҳарорат, катализаторнинг табиати ва концентрацияси, эритувчилар табиати, шунингдек реакция давомийлигининг таъсирини ўрганиш натижалари келтирилган. Тадқиқот натижаларига кўра оптимал синтез параметрлари аниқланди: ҳарорат 100°C, катализатор мис(I)-хлорид, эритувчи диоксан ва реакция давомийлиги 6 соат. Синтезланган арилоксиалкинаминларнинг табиати ва концентрациясининг коррозия ингибитори сифатида таъсири ҳам ўрганилди. Фенокси-(бутин-2) диэтиламин, фенокси-(бутин-2)-диметиламин билан солиштирганда самарали металл коррозия ингибитори эканлиги аниқланди. Арилоксиалкинамин ҳосилаларининг ингибирлаш хоссалари, металлларни рентген фазасини таҳлил қилиш, сканерлаш ва атом-куч микроскопи билан ҳам ўрганилди. **Калит сўзлар:** ДМСО, ДМФА, ТҲФ, диоксан, эритувчилар, коррозия даражаси, учламчи аминлар, аминометилация, валентлик тебранишлари, деформация тебранишлари, фенокси-(бутин-2)-диметиламин, фенокси-(бутин-2)-диэтиламин, ИҚ спектроскопияси.

**Введение.** Производные пропаргиловые спирты применяются в народном хозяйстве. Они играют важную роль при получении ингибиторов коррозии металлов, пестицидов и медикаментов [1-2]. Синтез ингибиторов коррозии на основе реакциях Манниха в присутствии селективных катализаторов привлекли к себе большое внимание благодаря своим ароматическим гетероатомным структурам и хорошей растворимости в разных средах [3].

В работе [4] при использовании 2 мол.% наночастиц Cu/C в качестве гетерогенного катализатора способствовало соответствующего пропаргиламина (4-(1-фенэтил-3-фенил-2-пропинил)-морфолин, 1-(3-фенил-2-пропи-нил) пиперидин и др.) с хорошими и высокими выходами. Кроме того, приведены несколько примеров для синтеза пропаргиламинов с помощью тройной связи и катализа переходных металлов, иридия [5], меди [6-7], серебра [8], золота и цинка [9-10].

Также в реакциях аминометилирования фенилпропаргиловых эфиров в качестве аминовых компонентов использовано морфолин и пиперидин, а в качестве конденсирующего агента выбран параформ [11-12]. Учитывая, что в фенилпропаргиловых эфирах в одном реакционном центре могут участвовать атомы водорода этинила, реакцию аминометилирования проводили в присутствии катализатора в виде полухлорида меди [13]. Роль солей меди заключается в образовании π-комплекса с тройной связью, что увеличивает подвижность ацетиленового водорода [14]. Монохлорид меди также образует комплекс с аминами, вызывая подвижность гидроксильной группы в N-гидрокси метиламине (образующемся при реакции формальдегида с аминами), что приводит к выделению воды [15-19]. В результате реакции получают фенокси-(N-бутин-2)-пиперидин и фенокси-(N-бутин-2)-морфолин.

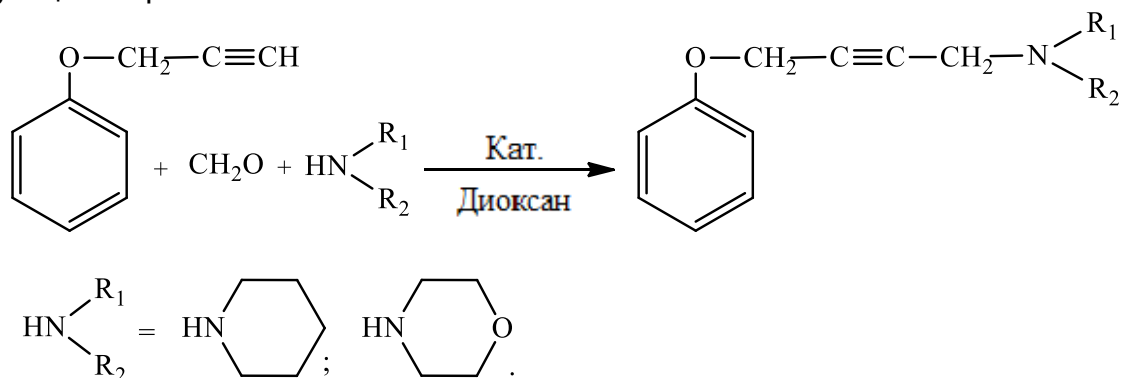
**Объекты и методы исследования.** В работе в качестве исходных реагентов использовали: проп-2-инокс-сибензол (97%,  $T_{\text{кип}} = 89-90^\circ\text{C}$ ,  $d = 1035 \text{ кг/м}^3$ ,  $n_{\text{D}}^{20} = 1,462$ ), морфолин ( $T_{\text{кип}} = 129^\circ\text{C}$ ,  $d = 996 \text{ кг/м}^3$ ,  $n_{\text{D}}^{20} = 1,453$ ), пиперидин ( $T_{\text{кип}} = 106^\circ\text{C}$ ,  $d = 861 \text{ кг/м}^3$ ,  $n_{\text{D}}^{20} = 1,4525$ ), 1,4-диоксан ( $T_{\text{кип}} = 101^\circ\text{C}$ ,  $d = 1033 \text{ кг/м}^3$ ,  $n_{\text{D}}^{20} = 1,422$ ), N,N-диметилформамид ( $T_{\text{кип}} = 153^\circ\text{C}$ ,  $d = 944 \text{ кг/м}^3$ ,  $n_{\text{D}}^{20} = 1,430$ ), диметил-сульфоксид ( $T_{\text{кип}} = 189^\circ\text{C}$ ,  $d = 1100 \text{ кг/м}^3$ ,  $n_{\text{D}}^{20} = 1,534$ ), а также формалин (37%-ный водный раствор формальдегида). В реакциях применяли осушенные и перегнанные растворители: диоксан, ДМФА, ДМСО, ТГФ. Проп-2-инокси-бензол были синтезированы по методике [7-8]. За ходом реакции следили с помощью методом тонкослойной хроматографии.

Структуры синтезированных соединений были подтверждены данными ИК-,  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектроскопии. ИК-спектры получали на спектрофотометре Shimadzu IR Tracer-100 с бромистым калием. Спектры ЯМР регистрировали на спектрометре JNM-ECZ400R (Jeol, Япония) при рабочей частоте 400 МГц для  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  в растворе  $\text{CDCl}_3$ .

**Полученные результаты и их обсуждение.** Нами синтезированы арилпропаргило-вые эфиры с N-гетероциклическими соединениями при различных условиях реакции таких как, температуры, природы и концентрации катализатора,



природы растворителей и продолжительности времени реакций. Процесс получения реакции N-гетероциклил-N-(бутинил-2)-фенокси производных описывается следующим образом:



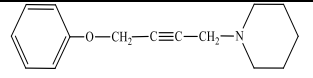
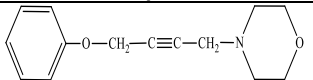
**Кат.** = CuI; CuBr; CuBr<sub>2</sub>; CuCl; CuCl<sub>2</sub>; CuSO<sub>4</sub>; Cu(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.

Исследованы температурная зависимость выхода арилоксиалкин-аминов, результаты которых представлена в табл. 1.

Анализ результатов исследования (табл.1) показывает, что с увеличением температуры до 100 °С выход основного продукта возрастает, а дальнейшее возрастание температуры приводит к снижению выхода основного продукта. Это может быть обусловлено образованием олигомеров продуктов реакции, которые в своем составе содержат тройные ацетиленовые связи. Доказательством этого служит повышение вязкости систем образованием смолообразного продукта.

Таблица 1

Влияние температуры на выход фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина и фенокси-(N-бутин-2)-морфолина

№	Структурная формула и название вещества	Температура, °С								
		40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	 фенокси-(N-бутин-2)-пиперидин	19,6	31,8	42,3	53,5	61,1	70,3	75,6	68,3	60,4
2	 фенокси-(N-бутин-2)-морфолин	15,1	26,5	34,8	42,9	51,4	58,7	69,4	62,6	56,4

Известно, что катализаторы по разному влияют на кинетику химических реакций. Изучение каталитической активности катализаторов имеет не только теоретические и практические интересы.

Поэтому нами исследованы влияние природы и концентрации катализаторов на выход основного продукта реакций, результаты которых представлены на табл.2.

Анализ результатов исследования (табл.2) показывают, что среди испытанных катализаторов наиболее эффективным оказалось однохлористый медь. Например, в присутствии однохлористой меди выход фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина и фенокси-(N-бутин-2)-морфолина составляют 75,6 и 69,4 масс.%, соответственно. Каталитическая активность хлористого меда обусловлена образованием π-комплексов с тройными связями, которые приводят к повышению подвижности атомов



водорода связанные углеродом с тройной связью. Это способствует повышению скорости реакции и выхода продукта.

Таблица 2

Зависимость выхода основного продукта от природы катализатора [конц. кат. = 8 масс. %].

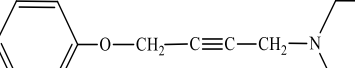
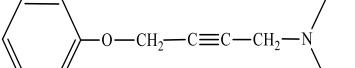
№	Структурная формула и название вещества	Катализаторы						
		Выход, %						
		CuI	CuBr <sub>2</sub>	CuBr	CuCl <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub>	Cu(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	CuCl
1	 фенокси-(N-бутин-2)-пиперидин	33,1	38,3	44,6	50,6	59,7	64,2	75,6
2	 фенокси-(N-бутин-2)-морфолин	32,2	37,4	43,5	48,6	54,9	58,7	69,4

Среди испытанных катализаторов наибольшую активность показала однохлористая медь. Поэтому исследованы зависимости выхода продуктов от концентрации однохлористого меда, результаты которых представлены в табл.3.

Анализ результатов исследования (табл.3) показывают, что с увеличением концентрации до 8,0 масс.% однохлористого меда выход фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина и фенокси-(N-бутин-2)-морфолина возрастает, а дальнейшее повышение концентрации катализатора выход снижается. Например, выход фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина составляет 75,6 масс. %, а фенокси-(N-бутин-2)-морфолина составляет 69,4 масс. %. При содержании концентрации 10 масс.% однохлористого меда выход фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина составляет 72,7 масс. %, а фенокси-(N-бутин-2)-морфолина составляет 66,5 масс. %.

Таблица 3

Влияние концентрации катализатора однохлористого меда на выход основного продукта

№	Структурная формула и название вещества	Катализатора CuCl. масс. %						
		Выход, масс. %						
		2	4	6	8	10	12	14
1	 фенокси-(N-бутин-2)-пиперидин	35,9	54,2	65,5	75,6	72,7	68,4	63,7
2	 фенокси-(N-бутин-2)-морфолин	32,6	50,7	68,1	69,4	66,5	61,2	55,6



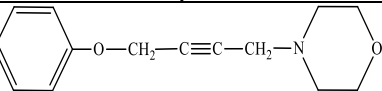
Известно, что в кинетике гомогенно-каталитически химических реакций существенно влияет природы растворителей. Нами исследованы влияние природы растворителей таких как, диоксан, ДМФА, ДМСО, ТГФ на выход N-гетероцикл-ил-N-(бутинил-2)-фенокси производных, результаты которых приведены в табл. 4.

Анализ результатов исследования (табл. 4) показывает, что с уменьшением значением диполь момента растворителя возрастает выход фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина и фенокси-(N-бутин-2)-морфолина. Например, у ДМСО значение диполь момента 3,96 Кл·м, а у диоксана значение диполь момента 0,14 Кл·м, выход фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина составляет 42,3 и 75,6 масс.%, а у фенокси-(N-бутин-2)-морфолина составляет 40,4 и 69,4 масс.%, соответственно. По результатам, исследования по эффективности растворителей они располагаются в следующей ряд:

Диоксан > ТГФ > ДМФА > ДМСО

Таблица 4

Влияние природы растворителей на выход фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина и фенокси-(N-бутин-2)-морфолина

№	Структурная формула и название вещества	Растворители			
		Выход, %			
		ДМСО	ДМФА	ТГФ	Диоксан
	Диполь момент, Кл·м	3,96	3,82	1,63	0,14
1	 фенокси-(N-бутин-2)-пиперидин	42,3	57,9	72,6	75,6
2	 фенокси-(N-бутин-2)-морфолин	40,4	54,5	67,3	69,4

Еще одним фактором, влияющих на выход N-гетероцикл-ил-N-(бутинил-2)-фенокси производных, является продолжительности реакций. Изучены влияние продолжительности реакций в интервале от двух до десяти часов на выход основного продукта, результаты которых приведены в табл. 5. Анализ результатов исследования (табл. 5) показывает, что максимальный выход образуется при 8 часов продолжительности реакций. Например, фенокси-(N-бутин-2)-пиперидин при 8 часов продолжительности выход составляет 75,6%, а фенокси-(N-бутин-2)-морфолина выход составляет 69,4 масс.%, а дальнейшее увеличение продолжительности реакций приводит к уменьшению выхода основных продуктов.

Таблица 5

Влияние продолжительности реакций на выход фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина и фенокси-(N-бутин-2)-морфолина

№	Структурная формула и название вещества	Продолжительность, час								
		Выход, %								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	 фенокси-(N-бутин-2)-пиперидин	21,9	31,6	39,5	47,4	54,9	69,7	75,6	66,7	54,6



2	 фенокси-(N-бутин-2)- морфолин	23, 5	33, 7	44, 8	54, 2	59, 4	66, 5	69, 4	61, 1	50, 3
---	--------------------------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Изучение физико-химических свойств синтезированных веществ, позволяет определить их областей применения. Поэтому определены их физико-химических свойств синтезированных веществ, результаты которых приведены в табл. 6.

Определены физико-химические показатели синтезированного фенокси-(N-бутин-2)-пиперидин и фенокси-(N-бутин-2)-морфолин, результаты которых приведены в табл.6.

Таблица 6

Некоторые физико-химические показатели фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина и фенокси-(N-бутин-2)-морфолина

Структурная формула и название вещества	Брутто формула	Мол. масса	T <sub>пл.</sub> , °C	d <sub>4</sub> <sup>20</sup> , g/sm <sup>3</sup>	n <sub>D</sub> <sup>20</sup>	R <sub>f</sub>
 Фенокси-(N-бутин-2)- пиперидин	C <sub>15</sub> H <sub>19</sub> NO	229	120- 121	0,972	1,513	1,76
 Фенокси-(N-бутин-2)- морфолин	C <sub>14</sub> H <sub>17</sub> NO <sub>2</sub>	231	129- 130	0,984	1,521	1.18

Структура синтезированных веществ доказаны ИК спектроскопическими методами. Нами получены спектры ИК синтезированных веществ фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина и фенокси-(N-бутин-2)-морфолина, которые приведены на рис. 1-2.

Также структуры синтезированного N-гетероцикл-ил-N-(бутинил-2)-фенокси производных доказаны ИК-спектроскопическим методом.

В ИК-спектре синтезированного образца фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина (рис.5) наблюдается слабая линия поглощения  $-C\equiv C-$  при  $3288\text{ см}^{-1}$  и деформационные колебания этой же группы в области  $2261\text{ см}^{-1}$ . Также в спектре наблюдается валентные асимметричные колебания группы  $-CH_2-$  в области  $2933-2816\text{ см}^{-1}$  и валентно-симметричные колебания в области  $2735\text{ см}^{-1}$ . Полоса поглощения  $1599\text{ см}^{-1}$  принадлежащая бензоль-ному ароматическому кольцу, деформационные колебания этой же группы соответствуют в области полосы поглощения  $754-690\text{ см}^{-1}$ . В спектре также наблюдаются интенсивные полосы поглощения группы  $-CH_2-C\equiv C-$  в области  $1494-1444\text{ см}^{-1}$ . В области  $1367-1303\text{ см}^{-1}$  наблюдаются полосы поглощения принадлежащие  $-CH_2-N<$ , а интенсивная полоса поглощения при  $1111-1080\text{ см}^{-1}$  также принадлежит группе третичных аминов. Интенсивные полосы поглощения в области  $1236-1215\text{ см}^{-1}$  принадлежат связи  $Ar-O-CH_2-$ , а деформационные колебания этой же группы наблюдаются в области  $1174-1151\text{ см}^{-1}$ .

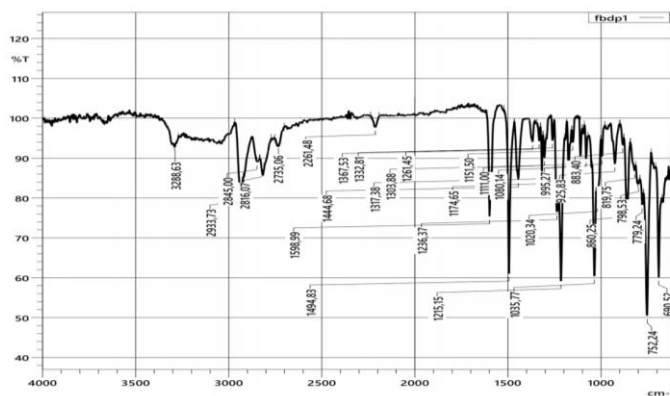


Рис. 1. ИК –спектр фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина

В ИК-спектре фенокси-(N-бутин-2)-морфолина (рис.6) наблюдается слабая полоса поглощения при  $3292\text{ см}^{-1}$  относящиеся группы  $-\text{C} \equiv \text{C}-$  и деформационные колебания этой же группы при  $2221\text{ см}^{-1}$ . Также в спектре наблюдаются валентные асимметричные колебания группы  $-\text{CH}_2-$  в области  $2947\text{--}2831\text{ см}^{-1}$  и валентно-симметричные колебания этой же группы в области  $2752\text{ см}^{-1}$ . Колебание группы  $-\text{CH}$  в принадлежащая бензольному ароматическому кольцу наблюдается при  $3085\text{ см}^{-1}$ .  $1626\text{ см}^{-1}$  а, также соответствующая полоса поглощения к этой группы, в области  $754\text{--}690\text{ см}^{-1}$ . Полосы поглощения в области  $1531\text{ см}^{-1}$ , относится характерной для колебаний групп  $-\text{CH}_2\text{--O--CH}_2-$ . Также в спектре полосы поглощения области  $1484\text{--}1454\text{ см}^{-1}$  проявляются интенсивне полосы поглощения группы  $-\text{CH}_2\text{--C}\equiv\text{C}-$ . Интенсивные полосы поглощения в области  $1236\text{--}1215\text{ см}^{-1}$  принадлежат связи  $\text{Ar--O--CH}_2-$ , а деформационные колебания этой же группы наблюдаются в области  $1174\text{--}1139\text{ см}^{-1}$ . В полосы поглощения области  $1373\text{--}1308\text{ см}^{-1}$  относится  $-\text{CH}_2\text{--N}<$  групп, а интенсивная полоса поглощения при  $1093\text{ см}^{-1}$  принадлежит этой же групп третичных аминов.

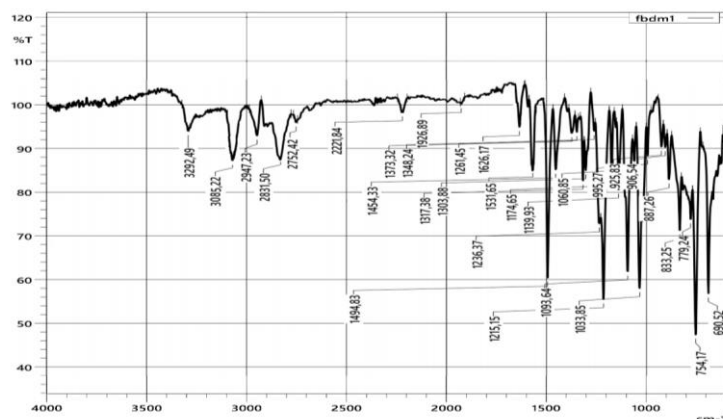


Рис. 2. ИК–спектр фенокси-(N-бутин-2)-морфолина

Таким образом, по результатам ИК-спектроскопического анализа наличие фенокси-(N-бутин-2)-, пиперидиновых и морфолиновых групп подтверждает структуры фенокси-(N-бутин-2)-пиперидина и фенокси-(N-бутин-2)-морфолина.

Нами исследованы влияния природы и концентраций синтезиру-ванных производных N-гетероциклл-N-(бутинил-2)-фенокси в качестве ингибиторов коррозии металлов, результаты которых представлены в табл. 7.

Анализ результатов исследования (табл.7) показывает, что с увеличением температуры скорость коррозии металлов возрастает. Например, скорость коррозии образца Ст.3 в 1,0 масс. % растворе NaCl при  $20^\circ\text{C}$  (время экспозиции 96 часов)



составляет  $3,05 \cdot 10^{-7}$  г/м<sup>2</sup>·ч, а при 40°С  $6,21 \cdot 10^{-7}$  г/м<sup>2</sup>·ч. Установлено, что скорость коррозии увеличивается в 2,04 раза.

Исследованы влияние природы и концентрации ингибиторов таких как ФБМ и ФБП на скорость коррозии металлов и степень защиты, результаты которых приведены в табл. 7. Анализ результатов исследования показывает, что с увеличением концентрации ингибитора снижается скорость коррозии металлов, а степень защиты возрастает. Среди испытанных ингибиторов коррозии металлов наиболее эффективно оказался ФБП.

Таблица 7

Влияние температуры, природы и концентрации ингибиторов на скорость коррозии (СК) и степень защиты (СЗ) Ст.3 в солевом растворе ( $t=96$  часов,  $[\text{NaCl}] = 1,0$  масс.%,  $\text{pH}=7$ )

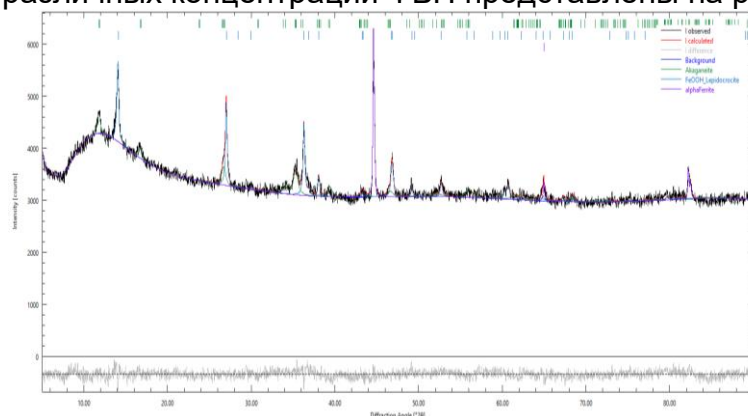
№	Название ингибитора	Температура, °С					
		20		30		40	
		СК, г/м <sup>2</sup> ·ч	СЗ, %	СК, г/м <sup>2</sup> ·ч	СЗ, %	СК, г/м <sup>2</sup> ·ч	СЗ, %
1.	Исх. металл (без ингибитора)	$3,05 \cdot 10^{-7}$	–	$4,35 \cdot 10^{-7}$	–	$6,21 \cdot 10^{-7}$	–
2.	ФБП 0,01%	$0,75 \cdot 10^{-7}$	75,3	$1,18 \cdot 10^{-7}$	72,9	$1,84 \cdot 10^{-7}$	70,3
3.	ФБП 0,05%	$0,72 \cdot 10^{-7}$	76,4	$1,14 \cdot 10^{-7}$	73,7	$1,76 \cdot 10^{-7}$	71,6
4.	ФБМ 0,01%	$0,84 \cdot 10^{-7}$	72,6	$1,29 \cdot 10^{-7}$	70,4	$2,01 \cdot 10^{-7}$	67,8
5.	ФБМ 0,05%	$0,81 \cdot 10^{-7}$	73,2	$1,22 \cdot 10^{-7}$	71,9	$1,95 \cdot 10^{-7}$	68,5

Например, в присутствии 0,01 масс. % ФБП (время экспозиции 96 часов при температуре 20°С) скорость коррозии составляет  $0,75 \cdot 10^{-7}$  г/м<sup>2</sup>·ч, степень защиты поверхности Ст.3 составляет 75,3%. В этих же условиях под воздействием 0,05 масс. % ФБП скорость коррозии составляет  $0,72 \cdot 10^{-7}$  г/м<sup>2</sup>·ч, а степень защиты поверхности Ст.3 составляет 76,4 %.

Ингибирующее действие ФБП и ФБМ исследованы рентгенофазовым анализом, результаты которых приведены в табл. 8.

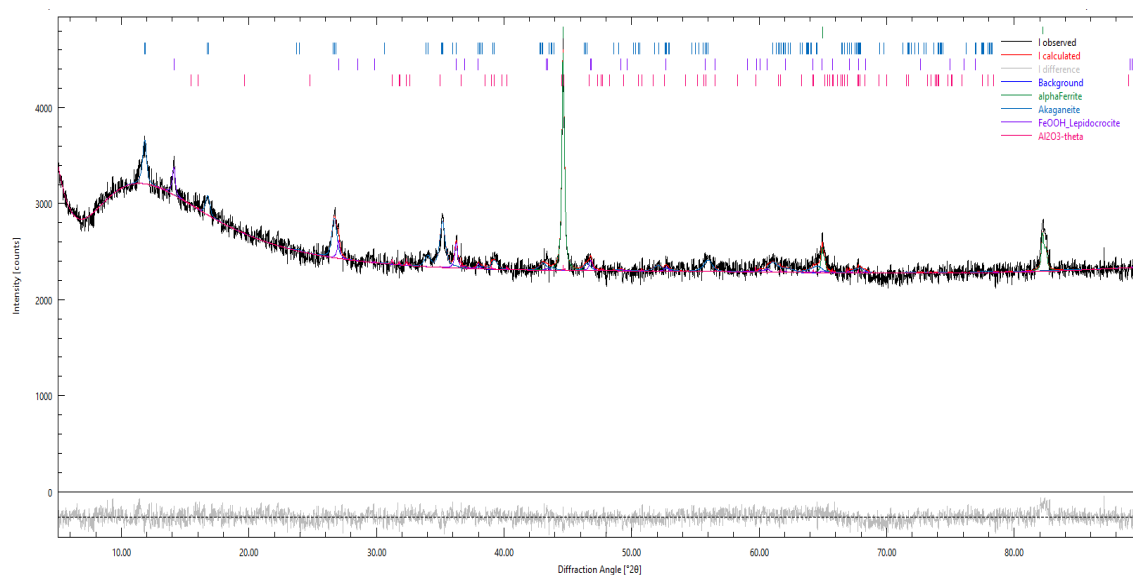
Снимки участков поверхностей образцов подпитанных на растворах хлоридов металлов и ингибирование полученных на порошковом дифрактометре, показано на рис. 3–5.

Например, рентгенофазовые анализы образца Ст.3 в солевой среде и с использованием различных концентраций ФБП представлены на рис. 7–9 и табл. 8.

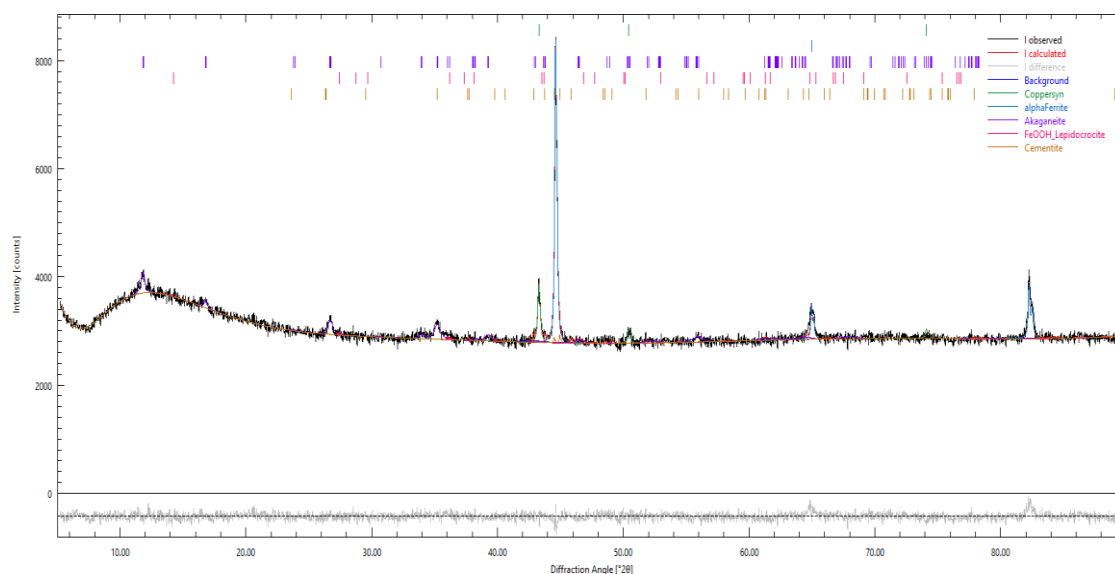


**Рис. 3. Рентгенофазовый анализ коррозии металлов поверхности Ст.3 в 1,0 масс. % водном растворе хлорида натрия (экспозиции 96 час,  $T=20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=7$ )**





**Рис. 4. Рентгенофазовый анализ ингибированные ингибиторами 0,01 масс. % ФБП поверхности Ст.3 в 1,0 масс. % водном растворе хлорида натрия (время экспозиции 96 час,  $T=20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=7$ )**



**Рис. 5. Рентгенофазовый анализ ингибированные ингибиторами 0,05 масс. % ФБП поверхности Ст.3 в 1,0 масс. % водном растворе хлорида натрия (время экспозиции 96 час,  $T=20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=7$ )**

Анализ рентгенограммы образцов в солевом растворе и рентгенограммы в присутствии ингибиторами коррозии металлов (рис. 7–9 и табл. 8) показывает, что исходный металл в присутствии 1,0 масс.% хлористого натрия поверхность стали состоит 56,8 масс.% из железа, 23,5 масс.% магнетита и 19,7 масс.% акагенита, а в присутствии 0,01 масс.% ингибитора ФБП поверхность стали состоит 68,9 масс.% из железа, 10,5 масс.% лепидокрокита и 20,3 масс.% акагенита. С увеличением концентрации ингибитора 0,05 масс. % ФБП скорость коррозии металлов снижается, доказательством этого служат результаты рентгенофазового анализа, по которому содержание чистого железа в возрастают. Например, поверхность стали состоит 74,8 масс. % из железа, 18,9 масс. % лепидокрокита и 6,6 масс. % акагенита.

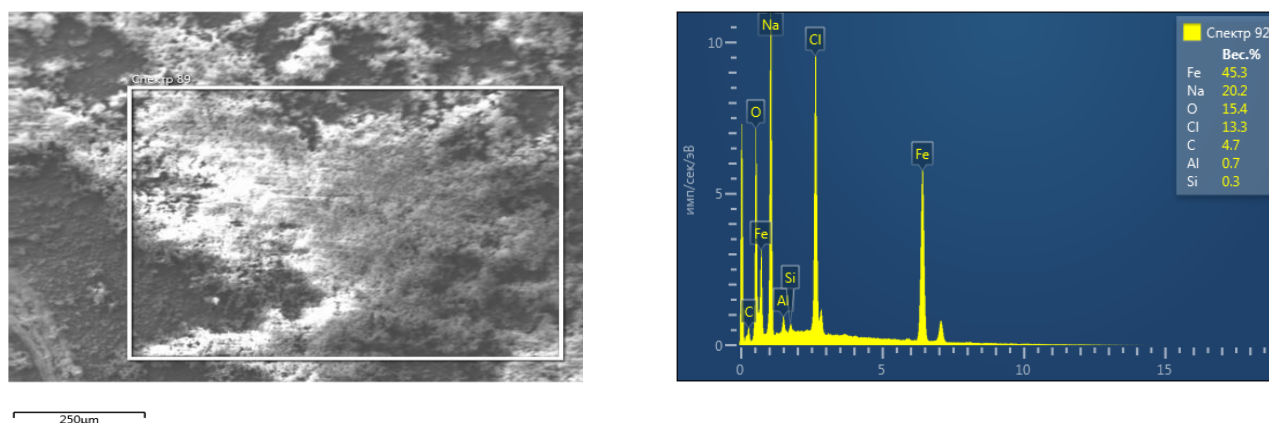
Таблица 8

Результаты рентгенофазового анализа образца Ст.3 под действием 1,0 масс. % раствора хлорида натрия и ингибиторов (время экспозиции 96 часов при 20°C)  
[ингибитор=0,01% и 0,05%]

№	Название ингибитора	Минерал	Содержание, (%)	Химическая формула
1	Исх. металл (без ингибитора) в 1,0 масс. % NaCl	Железо Магнетит Акагениит	56,8 23,5 19,7	Fe Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> FeO <sub>0.833</sub> (OH) <sub>1.167</sub> Cl <sub>0.167</sub>
2	ФБП 0,01%	Железо Лепидокрокит Акагениит	68,9 10,5 20,3	Fe γ-FeO(OH) FeO <sub>0.833</sub> (OH) <sub>1.167</sub> Cl <sub>0.167</sub>
3	ФБП 0,05%	Железо Лепидокрокит Акагениит	74,8 18,9 6,6	Fe γ-FeO(OH) FeO <sub>0.833</sub> (OH) <sub>1.167</sub> Cl <sub>0.167</sub>
4	ФБМ 0,01%	Железо Акагениит Магнетит	62,7 17,8 25,3	Fe FeO <sub>0.833</sub> (OH) <sub>1.167</sub> Cl <sub>0.167</sub> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
5	ФБМ 0,05%	Железо Акагениит Магнетит	70,3 11,9 17,8	Fe FeO <sub>0.833</sub> (OH) <sub>1.167</sub> Cl <sub>0.167</sub> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>

Результаты рентгенофазового анализа также доказывают ингибирующие действия ингибиторов коррозии металлов N-гетероциклил-N-(бутирил-2)-фенокси производных.

Также методом сканирующей электронной микроскопии исследована поверхность металла, результаты которых представлены на рис. 6–8 и табл. 9–11.



**Рис. 6. Снимки сканирующей электронной микроскопии участков поверхности образца Ст.3 в присутствии 1,0 масс. % раствора хлорида натрия**

Таблица 9

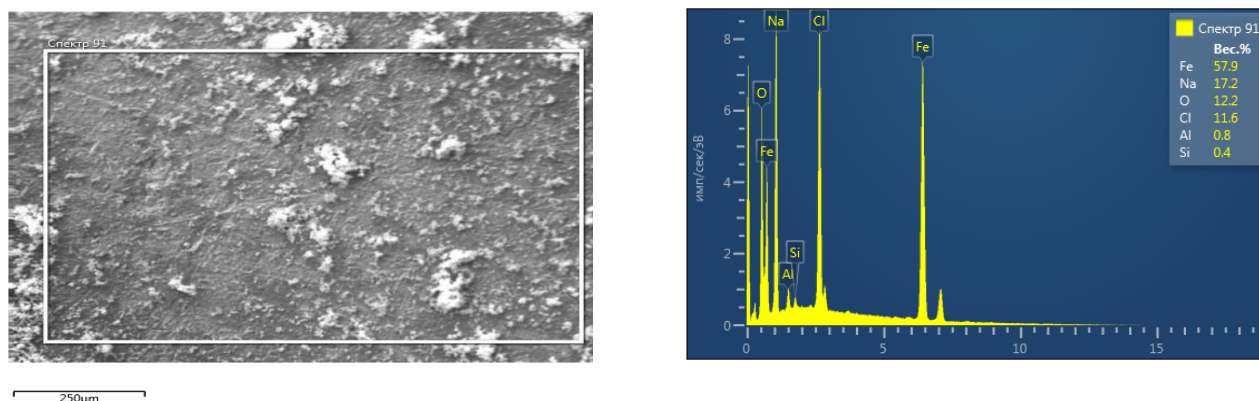
Результаты элементного анализа сканирующего электронного микроскопа

Элемент	Вес. %	Сигма Вес. %
C	4.71	0.31
O	15.43	0.17



Na	20.25	0.16
Cl	13.32	0.11
Fe	45.34	0.26
Сумма:	100.00	

Анализ результатов исследования показывает (рис. 6–8 и табл. 9–11) что с добавлением ингибиторов коррозии металлов и увеличением его содержания элементный состав поверхности металла изменяется, т.е. содержание свободного железа возрастает. Например, содержания поверхности образца Ст.3 железа в присутствии 1,0 масс. % раствора хлорида натрия составляет 45,34 масс. %, присутствии 1,0 масс. % раствора хлорида натрия и 0,01 масс. % ингибитора ФБП содержания железа составляет 57,86 масс. %, а в присутствии 1,0 масс. % раствора хлорида натрия и 0,05 масс. % ингибитора ФБП содержания железа составляет 64,38 масс. %.



**Рис. 7. Снимки участков поверхности образца, полученные на сканирующем электронном микроскопе ст.3 в присутствии 1,0 масс. % раствора хлорида натрия и 0,01 % ингибитора ФБП**

*Таблица 10*

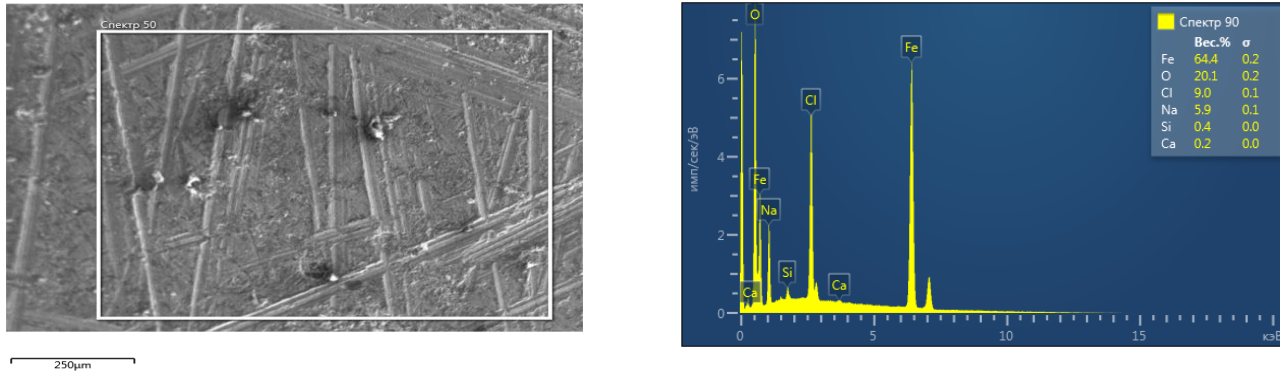
Результаты элементного анализа сканирующего электронного микроскопа

Элемент	Вес. %	Сигма Вес. %
O	12.19	0.15
Na	17.22	0.15
Al	0.80	0.05
Si	0.36	0.04
Cl	11.57	0.10
Fe	57.86	0.22
Сумма:	100.00	

*Таблица 11*

Результаты элементного анализа сканирующего электронного микроскопа

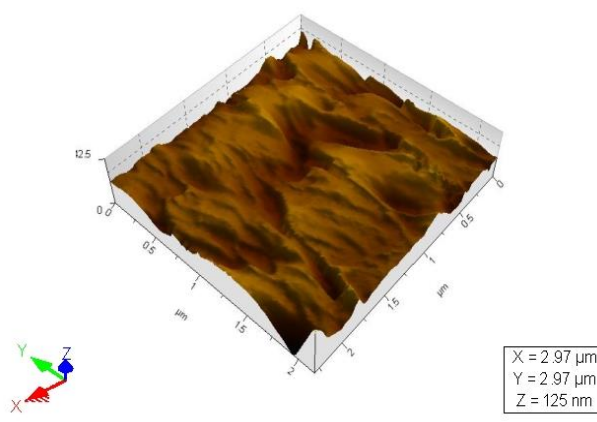
Элемент	Вес. %	Сигма Вес. %
O	20.07	0.16
Na	5.90	0.10
Si	0.45	0.04
Cl	9.05	0.09
Ca	0.15	0.04
Fe	64.38	0.20
Сумма:	100.00	



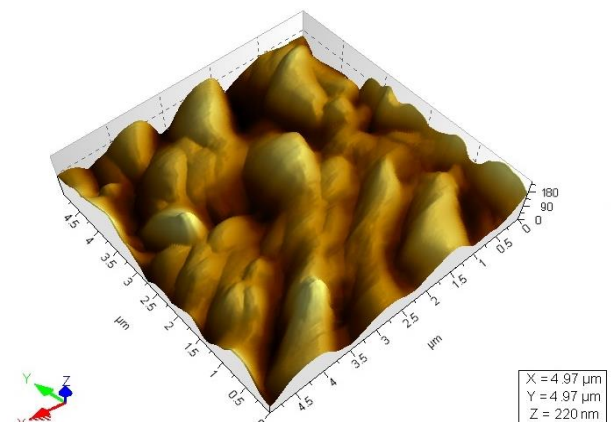
**Рис. 8. Снимки участков поверхности образца, полученные на сканирующем электронном микроскопе, стали марки Ст.3 в присутствии 1,0 масс. % раствора хлорида натрия и 0,05 % ингибитора ФБП**

Полученные результаты доказывают, ингибирование коррозии металлов в присутствии ФБП. Также морфология поверхности образца Ст. 3 исследована с помощью атомно–силового микроскопа на приборе Agilent 5500 (Agilent, США) стали марки Ст.3 до и после ингибирования. Поверхность стального образца в чистом состоянии практически плоская и не подвержена коррозионным процессам. Естественные впадины поверхности исходного состояния стали видны на рис. 9.

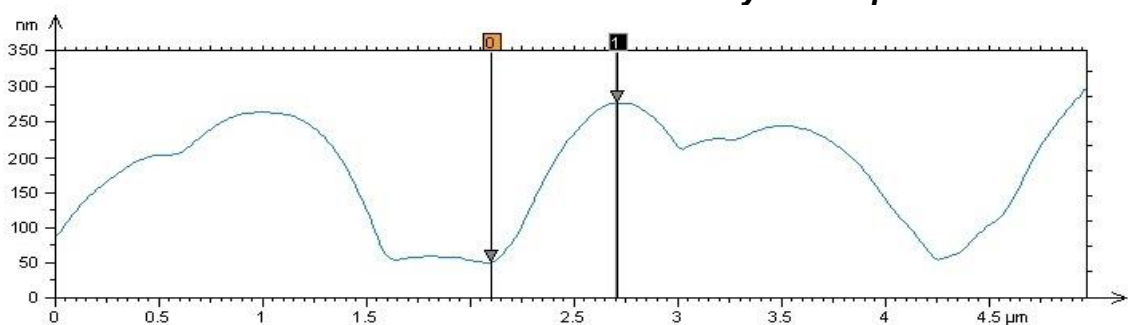
Топография поверхности металла также оценена методом атомно–силовой микроскопии, снимки поверхности представлены на рис. 9–13 и анализ результатов исследования приведены в табл. 12.



**Рис. 9. Снимок атомно–силового микроскопа исходной стальной поверхности**



**Рис. 10. Снимок атомно–силового микроскопа воздействием 1,0 масс. % раствора NaCl на стальную поверхность**



**Рис. 11. Размер вмятины на стальной поверхности, вызванной 1,0 масс. % раствором NaCl**

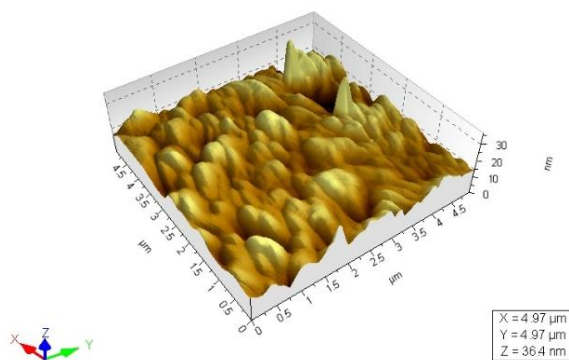


Таблица 12

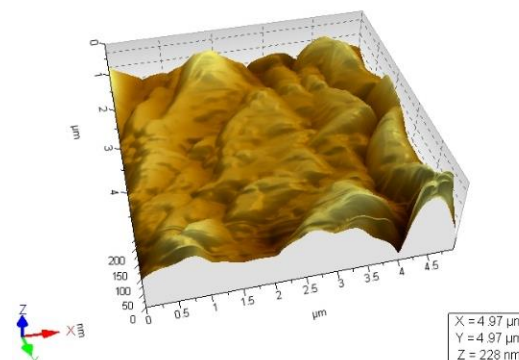
Влияние раствора хлористой меди на поверхность стального материала			
Образцы	Небольшая вогнутость, нм	Средняя вогнутость, нм	Высокая вогнутость, нм
Ст-3	95	110	125
Ст.3+ 1,0 масс. % NaCl	170	190	220

Анализ результатов исследования показывает, что под действием воды и в присутствии 1,0 масс. % раствора NaCl наблюдается изменение поверхности стального материала. Под действием раствора хлористого натрия повышаются углубления поверхности металла от 170 до 220 нм. Это объясняется протеканием коррозии в присутствии хлоридов металла.

На табл. 13 и рис. 12–13 также видны влияние солевой среды в присутствии различных концентраций ингибиторов на поверхность образца Ст.3.



**Рис. 12. Снимки вмятин, образовавшихся при воздействии 1,0 % раствора NaCl и 0,01% ФБП на стальную поверхность**



**Рис. 13. Снимки вмятин, образовавшихся при воздействии 1,0 масс. % раствора NaCl и 0,05 масс. % ФБП на стальную поверхность**

Топографию поверхности образцов Ст.3 исследовали в растворе путем применения различных концентраций ингибиторов в солевых средах. Размеры малой, средней и высокой вогнутости определяли по соответствующим изображениям. В табл. 13 показаны различные параметры АСМ, полученные для стальной поверхности, погруженной в соляную среду и ингибиторы.

Таблица 13

Влияние солевой среды и ингибитора на стальную поверхность			
Образцы	Небольшая вогнутость, нм	Средняя вогнутость, нм	Высокая вогнутость, нм
Ст.3	95	110	125
Ст.3+ 1,0 масс. % NaCl Без ингибитора	170	190	220
Ст.3+ 1,0 масс. % NaCl 0,01% ФБП	108	135	147
Ст.3+ 1,0 масс. % NaCl 0,05% ФБП	42	56	73



В солевой среде без ингибитора размер углублений на поверхности образца Ст.3 составлял от 95 до 220 нм. Это показывает существенное протекание коррозионных процессов на поверхности металла.

Анализ результатов исследования показывает, что в присутствии ингибитора коррозии металлов и увеличением его содержания, величина углубления снижается от 147 нм до 42 нм. Это свидетельствует о том, что процесс коррозии металлов на поверхности металла ингибируется образуя защитную пленку.

Таким образом, доказаны ингибирование процесса коррозии металлов методами рентгенофазового анализа, сканирующей и атомно-силовой микроскопии.

**Заключение** Исследованы синтеза N-гетероцикл-ил-N-(бутинил-2)-феноксид производных при различных условиях реакции, в том числе температуры, природы и концентрации катализатора, природы растворителей, продолжительности времени реакций и определены их оптимальные параметры. Изучением влияния температуры реакций на выход феноксид-(N-бутил-2)-пиперидина и феноксид-(N-бутил-2)-морфолина, установлено что оптимальная температура является 100°C. Среди испытанных катализаторов наибольшую активность показала однохлористая медь, оптимальная концентрация которого составила 8,0 масс. %.

Изучены влияние природы растворителей, таких как диоксан, ДМФА, ДМСО, ТГФ на выход основного продукта, среди этих растворителей самый эффективный оказался диоксан. Изучены влияние продолжительности реакций на выход основного продукта. Определено, что оптимальная продолжительность реакций составила 8 часов.

Определены физико-химических свойств синтезированных веществ и доказаны их структуры <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C -ЯМР и ИК-спектроскопическими методами.

Исследованы ингибирующую способность синтезированных веществ, показано, что среди испытанных соединений эффективно оказался феноксид-(N-бутил-2)-пиперидин.

#### Список использованной литературы:

- [1]. Финшгар М., Петовар Б., Джанари К., Мавер У. Наука о коррозии, 2016, 111, 370–381.
- [2]. Ядав М., Бехера Д., Шарма У. Араб. жур. хим., 2016, 9, S1487–S1495.
- [3]. Айени А.О., Акинъеле О.Ф., Хостен Э.К., Факола Э.Г., Олалере Дж.Т., Эгаревба Г.О., Уоткинс Г.М. Жур. мол. струк., 2020, 1219, 128539.
- [4]. Махсумов А. Г., Абдурахимов А., Ильхамджанов П., А.С. 276058 (1970). СССР.Б.И. 1971, № 23.
- [5]. Бибер Л.В., да Силва М.Ф., Буквы тетраэдра, 2004, 45, 45, 8281-8283.
- [6]. Джемилев У. М., Шайбакова М. Г., Титова И. Г., Ибрагимов А. Г. Пат. 2349579 (2007) RU 2009, № 8
- [7]. Лаваня Д.К., Прия Ф.В., Виджая Д.П., Дж Неудача. Анальный. и превен., 2020, 20, 494–502.
- [8]. Омырзаков М.Т., Кияшев Д.К., Естественные и математические науки в современном мире. 2014, 24, 152-160.
- [9]. Шарги Х., Хошнуд А., Халифе Р., Иранский журнал науки и Технологий., 2012, 36, А1: 25-35.
- [10]. Геворкян А.А., Аракелян А.С., Мовсисян А.А., Джанджулян Ж.Л., Петросян К.А., Журнал общей химии, 2006, т.76, вып.7, с.1223.
- [11]. Лаваня Д.К., Фрэнк В.П., Виджая Д.П., Журнал анализа и предотвращения отказов., 2020, 20, 494–502.



[12]. K. S. Sanakulov, B. F. Mukhiddinov, S. Sh. Sharipov, Kh. M. Vapoev Analyzing how ions tend to form in the aqueous phase of the slurry and how they affect the bacterial oxidation of sulphide minerals. *Tsvetnye Metally*. 2022. No. 5. pp. 15–23

[13]. Эстевам И.Х.С., да Силва М.Ф., Бибер Л.В., Буквы тетраэдра, 2004, 45, 8283.

[14]. Мамедбейли Э.Г., Гаджиева Г.Э., Исмайлова С.В., Баш. хим. ж., 2021, 28, № 1-33-44.

[15]. Алекберова И.А. “Синтез N-производных пиперидина и морфолина по реакции манниха” XXIV Российская молодежная научная конференция “Проблемы теоретической и экспериментальной химии” //Екатеринбург, 23-25 апреля 2014 г. с. 322-323.

[16]. Батул Т., Расул Н., Галл И., Норин М., Насим Ф-у-Х., PLoS ONE, 2014, 9(12), e115457.

[17]. Ахтамов Д.Т., Мухиддинов Б.Ф., Махсумов А.Г., Вапоев Х.М., Бекназаров Х.С., *Universum: химия и биология*, 2021, №11-2 (89), 24-29 с.

[18]. Ахтамов Д.Т., Мухиддинов Б.Ф., Махсумов А.Г., Шарипов С.Ш. Исследование структуры производных арилпропаргиловых эфиров с диалкиламинами ЯМР и ИК-спектроскопическими методами // «Universum: Химия и биология 2022, №3 - С. 24-29.

[19]. Ахтамов Д.Т., Мухиддинов Б.Ф., Вапоев Х.М., Шарипов С.Ш. Исследование свойств ингибирования и скорости коррозии металлов с производными арилпропаргиловых эфиров с диалкиламинами // «Universum: Химия и биология 2023, №1(106) - С. 52-62.