

НОВЫЕ АММОНИЙНЫЕ СОЛИ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ N,N-ДИМЕТИЛЭТАНОЛАМИНА

Ю.Г. Борисова¹, А.И. Мусин¹, В.А. Войнов¹, Р.М. Султанова¹, С.С. Злотский^{1,2}

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, Россия, 450064
E-mail: yulianna_borisova@mail.ru, musin_1995@list.ru, viktor-voinov777@mail.ru, rimmams@yandex.ru, nocturne@mail.ru

²Академия наук Республики Башкортостан, ул. Кирова, 15, Уфа, Россия, 450008
E-mail: nocturne@mail.ru

Кватернизацией азотсодержащих эфиров бензойной, фталевой и терефталевой кислот с β-бромэтил-1,3-диоксоланом, β-бромэтил-1,3-диоксаном, 2-метил-2-хлорметил-гемдихлорциклопропаном и йодистым метилом получены четвертичные аммонийные соли с выходом 60-92%. Установлено, что при образовании солей аммония наибольшую активность проявил β-бромэтил-1,3-диоксолан, тогда как наименьшую – 2-хлорметил-2-метил-гем-дихлорциклопропан. Структура полученных соединений была подтверждена спектроскопией ¹H, ¹³C ЯМР, а также элементным анализом. Для синтезированных солей аммония была исследована антикоррозионная активность в сероводородсодержащей среде. Защитную способность оценивали согласно ГОСТ 9.502 и 9.506 методом поляризационного сопротивления в модельной среде 3% водного раствора хлорида натрия, содержащего сероводородную воду. Скорость электрохимической коррозии образцов из стали марки Ст3 определяли с помощью коррозиметра «Монитор – 2М». Продолжительность анализа составляла 60 мин. Установлено, что наибольший антикоррозионный эффект проявляет 2,2-[1,4-фениленбис(карбонилокси)]бис(N,N,N-триметилэтанаммониум) диодид, степень защиты которого достигает 98% что не уступает показателям ингибиторов сравнения «Нефтехим НС» и «Нефтехим 1М» 94-96%. Соли аналогичного строения – 2-(бензоилокси)-N,N,N-триметилэтанаммониум йодид и 2,2-[1,2-фениленбис(карбонилокси)]-бис(N,N,N-триметилэтанаммониум) диодид уступают в степени защитного эффекта. При сравнении защитного эффекта в ряду производных 1,4-бис-(2-(диметиламино)этил)терефталата – солей, содержащих 1,3-диоксолановый, 1,3-диоксановый и гем-дихлорциклопропановый фрагменты, определено, что степень защиты находится в интервале 40-72%, причем наибольшее ее значение приходится на аммонийную соль, содержащую 1,3-диоксановый фрагмент. Эта закономерность прослеживается и для солей на основе бензойной кислоты, среди которых максимальным защитным эффектом обладает 2-(бензоилокси)-N-[2-(1,3-диоксан-2-ил)этил]-N,N-диметилэтанаммониум бромид (44%).

Ключевые слова: N,N-диметиламиноэтанол, сложные эфиры, соли аммония, антикоррозионная активность

NEW AMMONIUM SALTS BASED ON N,N-DIMETHYLETHANOLAMINE ESTERS

Y.G. Borisova¹, A.I. Musin¹, V.A. Voinov¹, R.M. Sultanova¹, S.S. Zlotsky^{1,2}

¹Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Kosmonavtov st., 1, Ufa, 450064, Russian Federation
E-mail: yulianna_borisova@mail.ru, musin_1995@list.ru, viktor-voinov777@mail.ru, rimmams@yandex.ru, nocturne@mail.ru

²Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Kirova st., 15, Ufa, 450008, Russian Federation
E-mail: nocturne@mail.ru

Quaternary ammonium salts were obtained in 60-92% yield by quaternization of nitrogen-containing esters of benzoic, phthalic, and terephthalic acids with β -bromoethyl-1,3-dioxolane, β -bromoethyl-1,3-dioxane, 2-methyl-2-chloromethyl-gem-dichlorocyclopropane, and methyl iodide. It was found that β -bromoethyl-1,3-dioxolane exhibited the highest activity in the formation of ammonium salts, while 2-chloromethyl-2-methyl-gem-dichlorocyclopropane exhibited the lowest. The structure of the obtained compounds was confirmed by ^1H , ^{13}C NMR spectroscopy, as well as elemental analysis. The anticorrosion activity of the synthesized ammonium salts in a hydrogen sulfide-containing environment was studied. The protective capacity was assessed according to GOST 9.502 and 9.506 using the polarization resistance method in a model environment of a 3% aqueous solution of sodium chloride containing hydrogen sulfide water. The electrochemical corrosion rate of St3 steel samples was determined using a Monicor-2M corrosion meter. The analysis duration was 60 min. It was found that 2,2-[1,4-phenylenebis(carbonyloxy)]bis(*N,N,N*-trimethylethanammonium) diiodide exhibits the greatest anticorrosive effect, with a protection rate of up to 98%, which is not inferior to the performance of the reference inhibitors Neftekhim NS and Neftekhim 1M (94-96%). Salts of similar structure – 2-(benzoyloxy)-*N,N,N*-trimethylethanammonium iodide and 2,2-[1,2-phenylenebis(carbonyloxy)]-bis(*N,N,N*-trimethylethanammonium) diiodide are inferior in the degree of protective effect. When comparing the protective effect in a series of 1,4-bis-(2-(dimethylamino)ethyl) terephthalate derivatives – salts containing 1,3-dioxolane, 1,3-dioxane and gem-dichlorocyclopropane fragments, it was determined that the degree of protection is in the range of 40-72%, with the highest value falling on the ammonium salt containing the 1,3-dioxane fragment. This pattern can also be observed for salts based on benzoic acid, among which 2-(benzoyloxy)-*N*-[2-(1,3-dioxan-2-yl)ethyl]-*N,N*-dimethylethanammonium bromide (44%) has the maximum protective effect.

Keywords: *N,N*-dimethylaminoethanol, esters, ammonium salts, anti-corrosion activity

Для цитирования:

Борисова Ю.Г., Мусин А.И., Войнов В.А., Султанова Р.М., Злотский С.С. Новые аммонийные соли на основе сложных эфиров *N,N*-диметилэтанолamina. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2026. Т. LXX. № 2. С. 5–12. DOI: 10.6060/rcj.2026702.1.

For citation:

Borisova Y.G., Musin A.I., Voinov V.A., Sultanova R.M., Zlotsky S.S. New ammonium salts based on *N,N*-dimethylethanamine esters. *Ros. Khim. Zh.* 2026. V. 70. N 2. P. 5–12. DOI: 10.6060/rcj.2026702.1.

ВВЕДЕНИЕ

Четвертичные соли аммония (ЧАС) широко используются в органической химии [1-3]. Одним из основных методов получения соединений этого класса является *N*-алкилирование алифатических и ароматических моно- и диаминов соответствующими галоидметил-1,3-диоксациклоалканами и *гем*-дихлорциклопропанами [4, 5]. В последние годы значительный интерес привлекают производные *N,N*-диметиламиноэтанола, среди которых обнаружены соединения, обладающие цитотоксической, антимикробной, бактерицидной и фунгицидной активностями [6, 7]. Кроме того, ряд производных *N,N*-диметиламиноэтанола обладает антикоррозионной активностью, а так же и используется в качестве добавок к топливам и маслам [8, 9], по-

скольку азотсодержащие фрагменты, присутствующие в структуре молекул, повышают их способность тормозить коррозионные процессы [10, 11].

Известно [12], что присутствие в молекулах циклоацетальных фрагментов повышает их антикоррозионные свойства. Ранее нами были получены различные эфиры и ацетали [13, 14], а так же показано [15-17], что замещенные 1,3-диоксациклоалканы и *гем*-дихлорциклопропаны проявляют антикоррозионные свойства в различных средах и могут быть эффективными ингибиторами коррозии низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Поэтому целью данной работы является синтез ЧАС на основе сложных диэфиров *N,N*-диметиламиноэтанола, содержащих циклоацетальный или *гем*-дихлорциклопропановый фрагменты, и исследование их ингибирующей активности.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе использованы: *N,N*-диметиламиноэтанол, хлорангидриды бензойной и терефталевой кислот, 2β-бром-этил-1,3-диоксолан, 2β-бром-этил-1,3-диоксан и метил йодистый производства «Sigma-Aldrich». Хлористый метилен и хлороформ производства «Вектон».

Анализ реакционных масс осуществляли на аппаратно-программном комплексе «Хроматэк-Кристалл 5000М» (ЗАО СКБ «Хроматэк», Россия) с базой NIST 2012 (National Institute of Standards and Technology, США). Условия анализа: капиллярная кварцевая колонка длиной 30 м, длительность анализа – 20 мин, температура источника ионов – 260 °С, температура переходной линии – 300 °С, диапазон сканирования – 30–300 Да, давление – 37–43 мТорр, газ-носитель – гелий, скорость нагрева – 20 °/мин). Для получения масс-спектров соединений использовали метод ионизации электронным ударом. Спектры ядерного магнитного резонанса ¹H и ¹³C (ЯМР) регистрировали на спектрометре «Bruker AM-500» (Bruker Corporation, США) с рабочими частотами 500 и 125 МГц, соответственно; растворитель – CDCl₃. Химические сдвиги приведены по шкале δ (м.д.) относительно тетраметилсилана как внутреннего стандарта. Константы спин-спинового взаимодействия (J) приведены в Гц.

Для исследования ингибиторной способности пробных веществ использовали метод поляризационного сопротивления с привлечением коррозиметра «Монитор-2М». Прибор включает в себя два электрода, выполненных из углеродистой стали марки Ст3. Перед проведением испытаний поверхность стальных электродов шлифовали абразивным полотном № 180, затем № 240 вдоль электродов. Подготовленные образцы обезжиривали ацетоном непосредственно перед проведением коррозионных испытаний. Далее активировали электроды трехэтапной промывкой. Исследуемое вещество в объеме 0,25 мл растворяли в 25 мл этилового спирта, получая 1% раствор пробы. Ячейки цилиндрические лабораторные объемом 500 мл заполняли 487 мл 3% водного раствора хлорида натрия (14,6 г хлорида натрия в 472,4 г воды) и продували в течение 30 мин азотом. После продувки в среду добавляли 13 мл сероводородной воды (концентрация 100 мг/г) и 1,25 мл 1% раствора пробы в спирте. Концентрация действующего вещества составила 0,025%. Далее электроды погружали в электрохимическую ячейку, предварительно заполненную испытываемой средой, и в течение 60 мин определяли скорость коррозии стали. Для обеспечения достоверности результатов проводили параллельные испытания в

трех ячейках с одинаковой средой и вычисляли среднее значение скорости коррозии.

Синтез сложных эфиров **3a,b** осуществлялся по ранее описанной методике [18]. По данной методике получены: 2-диметил-аминоэтил бензоат **3a** (Выход 95%) и 1,4-бис-(2-(диметиламино)этил)терефталат **3b** (Выход 90%). Физико-химические константы **3a** соответствуют литературным данным [19], **3b** – [20].

Синтез 1,2-бис-(2-(диметиламино)этил)терефталата **3c** осуществлялся по ранее описанной методике [21]. Выход 90%. Физико-химические константы соответствуют литературным данным [22].

Синтез солей **8a-11a**, **8b-11b** и **11c** (общая методика). Смесь 10 ммоль **3a-c** и 15 ммоль **4-7** перемешивали на магнитной мешалке при температуре 20–80 °С, в течение 8–15 ч. Затем смесь промывали эфиром и сушили в эксикаторе.

2-(Бензоилокси)-*N*-[2-(1,3-диоксолан-2-ил)этил]-*N,N*-диметилэтанаммоний бромид **8a**. Выход 92%. Спектр ¹H ЯМР, δ_H, м.д. (J, Гц): 2,00 (дд., 2H, CH₂, J = 4,74; 4,80), 2,96 (д., 6H, 2CH₃, J = 4,44), 3,10 (д., 2H, CH₂, J = 2,18), 3,14 (д., 2H, CH₂, J = 4,91), 3,59–3,66 (м., 6H, 3CH₂), 4,47 (т., 1H, CH, J = 4,90), 7,52 (д., 2H, 2CH, J = 7,78), 7,70 (д., 2H, 2CH, J = 7,45), 8,10 (д., H, CH, J = 4,91). ¹³C ЯМР, δ_C, м.д.: 27,29 (CH₂), 53,15 (2CH₃), 55,55 (CH₂), 59,61 (CH₂), 63,24 (2CH₂), 64,79 (CH₂), 101,44 (CH), 129,16 (2CH), 130,04 (2CH), 134,08 (CH), 165,81 (C=O).

2-(Бензоилокси)-*N*-[2-(1,3-диоксан-2-ил)этил]-*N,N*-диметилэтанаммоний бромид **9a**. Выход 85%. Спектр ¹H ЯМР, δ_H, м.д. (J, Гц): 1,59 (д., 2H, CH₂, J = 2,41), 2,01 (дд., 2H, CH₂, J = 5,10), 2,83 (д., 6H, 2CH₃, J = 5,13), 3,31 (т., 4H, 2CH₂, J = 6,94), 3,48 (т., 2H, CH₂, J = 6,94), 3,66 (т., 1H, CH_a, J = 1,99), 3,97 (т., 1H, CH_b, J = 1,00), 4,68 (т., 1H, CH, J = 4,94), 7,55 (д., 2H, 2CH, J = 7,70), 7,76 (д., 2H, 2CH, J = 6,89), 8,03 (д., 1H, CH, J = 4,67). ¹³C ЯМР, δ_C, м.д.: 25,59 (CH₂), 27,77 (CH₂), 53,34 (2CH₃), 55,88 (CH₂), 58,78 (CH₂), 64,15 (CH₂), 66,69 (2CH₂), 99,87 (CH), 128,31 (2CH), 129,71 (2CH), 135,55 (CH), 165,62 (C=O).

2-(Бензоилокси)-*N*-[(2,2-дихлор-1-метилциклопропил)метил]-*N,N*-диметилэтанаммоний хлорид **10a**. Выход 65%. Спектр ¹H ЯМР, δ_H, м.д. (J, Гц): 1,00 (д., 1H, CH_a, J = 6,97), 1,33 (т., 3H, CH₃, J = 7,79), 1,51 (д., 1H, CH_b, J = 6,91), 2,96 (д., 6H, 2CH₃, J = 4,32), 3,20 (д., 2H, CH₂, J = 4,93), 3,82 (т., 2H, CH₂, J = 4,95), 7,57 (д., 2H, 2CH, J = 7,22), 7,85 (д., 2H, 2CH, J = 7,65), 8,05 (д., 1H, CH, J = 7,44). ¹³C ЯМР, δ_C, м.д.: 26,01 (CH₃), 31,45 (CH₂), 53,00 (2CH₃), 55,26 (CH₂), 58,79 (CH₂), 62,59 (CH₂),

128,35 (2CH), 129,67 (2CH), 133,96 (CH), 166,02 (C=O).

2-(Бензоилокси)-*N,N,N*-триметилэтанаммоний йодид **11a**. Выход 80%. Спектр ^1H ЯМР, δ_{H} , м.д. (*J*, Гц): 2,99 (с., 9H, 3CH₃), 3,17 (д., 2H, CH₂, *J* = 4,36), 3,62 (т., 2H, CH₂, *J* = 4,98), 7,58 (д., 2H, 2CH, *J* = 4,39), 7,72 (д., 2H, 2CH, *J* = 4,01), 8,11 (д., 1H, CH, *J* = 4,28). ^{13}C ЯМР, δ_{C} , м.д.: 51,13 (3CH₃), 58,87 (CH₂), 60,68 (CH₂), 129,18 (2CH), 130,04 (2CH), 134,09 (CH), 165,80 (C=O).

2,2-[1,4-Фениленбис(карбонилокси)]бис{*N*-[2-(1,3-диоксолан-2-ил)этил]-*N,N*-диметилэтанаммоний} дибромид **8b**. Выход 90%. Спектр ^1H ЯМР, δ_{H} , м.д. (*J*, Гц): 2,52 (дд., 4H, 2CH₂, *J* = 7,20), 2,96 (д., 6H, 2CH₃, *J* = 5,91), 3,30-3,51 (м., 4H, 2CH₂), 3,71-3,94 (м., 6H, 3CH₂), 4,84 (т., 1H, CH, *J* = 4,40), 7,92 (д., 2H, 2CH, *J* = 5,00), 8,01 (д., 2H, 2CH, *J* = 5,10), 8,52 (д., H, CH, *J* = 5,52). ^{13}C ЯМР, δ_{C} , м.д.: 27,00 (2CH₂), 51,42 (4CH₃), 56,72 (2CH₂), 60,02 (2CH₂), 64,94 (4CH₂), 65,11 (2CH₂), 101,45 (2CH), 128,02 (4CH), 130,15 (2CH), 166,11 (C=O).

2,2-[1,4-Фениленбис(карбонилокси)]бис{*N*-[2-(1,3-диоксан-2-ил)этил]-*N,N*-диметилэтанаммоний} дибромид **9b**. Выход 80%. Спектр ^1H ЯМР, δ_{H} , м.д. (*J*, Гц): 1,38 (д., 4H, 2CH₂, *J* = 2,99), 1,80-1,89 (м., 4H, 2CH₂), 3,15 (с., 12H, 4CH₃), 3,49-3,64 (м., 8H, 4CH₂), 3,69-3,76 (м., 4H, 2CH₂), 3,83 (т., 4H, CH_a, *J* = 4,08), 4,04 (т., 4H, CH_b, *J* = 4,01), 4,67 (т., 2H, 2CH, *J* = 3,89), 8,00 (д., 4H, 4CH, *J* = 2,83). ^{13}C ЯМР, δ_{C} , м.д.: 25,66 (2CH₂), 28,11 (2CH₂), 51,11 (4CH₃), 59,45 (2CH₂), 60,03 (2CH₂), 62,18 (2CH₂),

66,59 (4CH₂), 99,11 (2CH), 130,11 (4CH), 164,88 (2C=O).

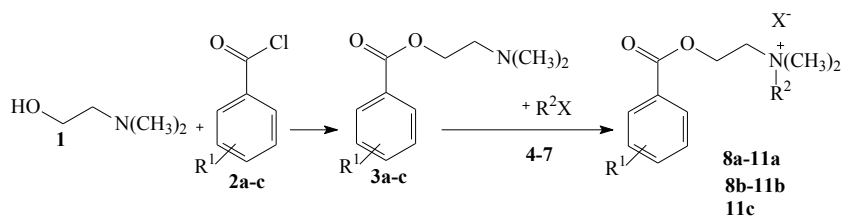
2,2-[1,4-Фениленбис(карбонилокси)]бис{*N*-[(2,2-дихлор-1-метилцикло-пропил)метил]-*N,N*-диметилэтанаммоний} дихлорид **10b**. Выход 60%. Спектр ^1H ЯМР, δ_{H} , м.д. (*J*, Гц): 0,98 (д., 2H, 2CH_a, *J* = 6,92), 1,29 (т., 6H, 2CH₃, *J* = 6,89), 1,35 (д., 2H, 2CH_b, *J* = 6,36), 3,01 (д., 12H, 4CH₃, *J* = 5,02), 3,25 (д., 4H, 2CH₂, *J* = 5,02), 3,78 (т., 4H, 2CH₂, *J* = 5,85), 8,02 (д., 4H, 4CH, *J* = 5,62). ^{13}C ЯМР, δ_{C} , м.д.: 25,08 (2CH₃), 31,46 (2CH₂), 52,08 (4CH₃), 55,78 (2CH₂), 60,91 (2CH₂), 62,45 (2CH₂), 129,96 (4CH), 165,41 (2C=O).

2,2-[1,4-Фениленбис(карбонилокси)]бис(*N,N,N*-триметилэтанаммоний) дийодид **11b**. Выход 75%. Спектр ^1H ЯМР, δ_{H} , м.д. (*J*, Гц): 3,13 (с., 12H, 6CH₃), 3,48 (д., 4H, 2CH₂, *J* = 2,97), 4,78 (т., 4H, 2CH₂, *J* = 4,96), 8,02 (д., 4H, 4CH, *J* = 3,67). ^{13}C ЯМР, δ_{C} , м.д.: 53,46 (4CH₃), 59,64 (2CH₂), 64,32 (2CH₂), 130,21 (4CH), 164,87 (C=O).

2,2-[1,2-Фениленбис(карбонилокси)]бис(*N,N,N*-триметилэтанаммоний) дийодид **11c**. Выход 80%. Физико-химические константы соответствуют литературным данным [23].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ацилированием *N,N*-диметиламиноэтанола **1** хлорангидридами бензойной **2a**, терефталевой **2b**, и фталевой **2c** кислот в присутствии триэтиламина при температуре 30 °С нами синтезированы моно-**3a** и диэфиры **3b,c** с выходом $\geq 90\%$ (схема).

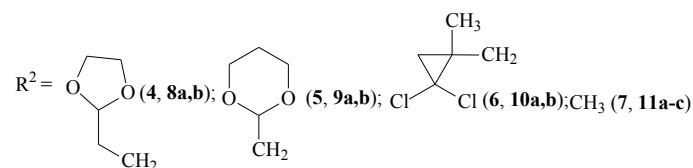


$\text{R}^1 = \text{H}$ (**2a, 3a, 8a-11a**);

$\text{R}^1 = n\text{-COCl}$ (**2b**); $\text{R}^1 = n\text{-COO(CH}_2)_2\text{N(CH}_3)_2$ (**3b**);

$\text{R}^1 = o\text{-COCl}$ (**2c**); $\text{R}^1 = o\text{-COO(CH}_2)_2\text{N(CH}_3)_2$ (**3c**);

$\text{R}^1 = n\text{-COO(CH}_2)_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_2\text{R}^2\text{X}^-$ (**8b-11b**); $\text{R}^1 = o\text{-COO(CH}_2)_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_2\text{R}^2\text{X}^-$ (**11c**);



$\text{X} = \text{Br}$ (**4, 5, 8a,b, 9a,b**); Cl (**6, 10a,b**); I (**7, 11a-c**)

Схема.
Scheme.

Таблица 1

Синтез моно- **8a-11a** и бис- **8b-11b** и **11c** аммонийных солей*
Table 1. Synthesis of mono-**8a-11a** and bis-**8b-11b** and **11c** ammonium salts*

Исходные реагенты	Время реакции	Температура	Растворитель	Продукт реакции	Выход, %
3a	4	8	C ₆ H ₆	8a	92
	5	11		9a	85
	6	14		10a	65
	7	11	20	11a	80
3b	4	10	C ₆ H ₆	8b	90
	5	12		9b	80
	6	15		10b	60
	7	11	20	11b	75
3c			-	11c	80

*соотношение **3a-c** : **4-7** = 1 : 1,5*ratio **3a-c** : **4-7** = 1 : 1,5

Мы осуществили алкилирование полученных эфиров **3a,b** бромидами **4**, **5**, хлоридом **6** и йодистым метилом **7**. Соль **11c** была синтезирована из эфира **3c** и йодистого метила **7** с целью сравнения влияния положения аммонийных групп на антикоррозионные свойства. В результате кватернизации диметиламиногруппы были получены моно- **8a-11a** и бис- **8b-11b**, **11c** ЧАС с выходом 65-92% (табл. 1).

При образовании солей аммония **8a-11a** и **8b-11b**, **11c** наибольшую активность проявил гетероциклический бромид **4**, тогда как наименьшую – карбоциклический хлорид **6**.

Строение полученных солей **8a-11a** и **8b-11b**, **11c** подтверждено данными ¹³C и ¹H ЯМР, а так же 2D гетероядерных ¹H ¹³C ЯМР экспериментов HSQC и HMBC методами. Анализ спектров ¹³C ЯМР с привлечением методики dept-135 солей **8a-11a** и **8b-11b**, **11c** показал присутствие общих характеристических сигналов углеродов метильных групп при атоме азота δ_c 51,11-53,46 м.д. Сохранение 1,3-диоксациклоалканового цикла в солях **8a**, **9a**, **8b**, **9b** подтверждается наличием сигнала углерода в области 99,11-101,45 м.д.

В спектре ¹³C ЯМР 2,2-[1,4-фениленбис(карбонилокси)]бис(*N,N,N*-тримилэтанаммоний) диодида **11a**, записанном в растворе ДМСО-*d*₆ и режиме dept-135, присутствуют сигналы, характерные для углеродов метильных групп, которые регистрируются в сильной области при δ_c 53,46 м.д. Сигналы углеродов метиленовых групп, связанных с атомом азота и ароматическим фрагментом, проявляются при δ_c 59,64 и 64,32 м.д. Дополнительно отметим, что углероды бензойного кольца проявляются при δ_c 130,21 м.д. (рисунок).

Была исследована антикоррозионная активность полученных веществ **3a,b**, **8a-11a** и **8b-11b**, **11c** в сероводородсодержащей среде. Защитную способность оценивали согласно ГОСТ 9.502 и 9.506 методом поляризационного сопротивления в модельной среде 3% водного раствора хлорида натрия, содержащего сероводородную воду. Скорость электрохимической коррозии образцов из стали марки Ст3 определяли с помощью коррозиметра «Монитор – 2М». Продолжительность анализа составляла 60 мин (табл. 2).

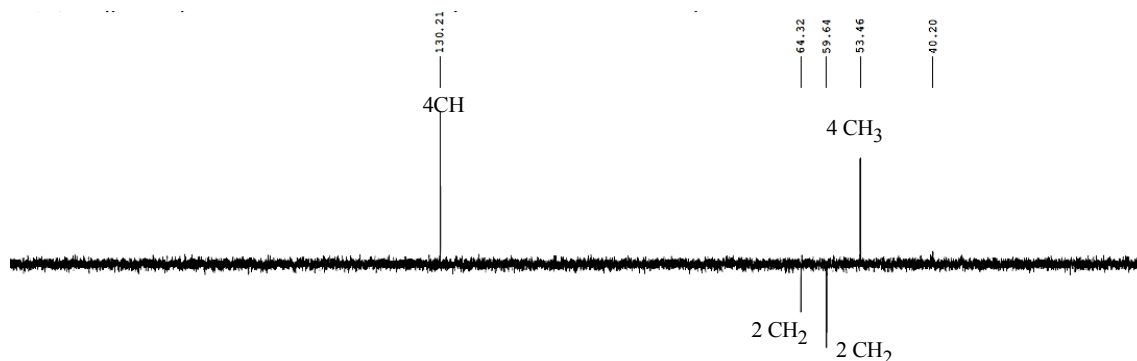


Рисунок. Спектр ¹³C ЯМР 2,2-[1,4-фениленбис(карбонилокси)]бис(*N,N,N*-тримилэтанаммоний) диодида **11a**
Figure. Spectrum ¹³C NMR of 2,2-[1,4-phenylenebis(carbonyloxy)]bis(*N,N,N*-trimethylethaneammonium) diiodide **11a**

Таблица 2

Значение скорости коррозии, степени защиты и коэффициента торможения коррозии для соединений 3a,b, 8a-11a и 8b-11b, 11c в сероводородсодержащей среде

Table 2. The value of the corrosion rate, degree of protection and corrosion inhibition coefficient for compounds 3a, b, 8a-11a and 8b-11b, 11c in a hydrogen sulfide-containing environment

Номер соединения	Скорость коррозии, мм/год	Степень защиты, %	Коэффициент торможения коррозии
3a	0,519	11	1,12
3b	0,277	52	2,10
3c	0,495	15	1,17
8a	0,431	26	1,35
8b	0,318	45	1,83
9a	0,328	44	1,77
9b	0,162	72	3,59
10a	0,588	+0,8*	0,99
10b	0,398	40	1,46
11a	0,548	6	1,06
11b	0,008	98	72,87
11c	0,353	39	1,66

*Усиление коррозионной активности

*Increased corrosion activity

Установлено, что наибольший антикоррозионный эффект проявляет 2,2-[1,4-фениленбис(карбонилокси)]бис(*N,N,N*-триметилэтанаммоний) диодид **11b**, степень защиты которого достигает 98% и по этому параметру превосходит используемые в промышленности ингибиторы сравнения «Нефтехим НС» и «Нефтехим 1М» - 94-96%. При этом аналоги вещества **11b** – соли 2-(бензоилокси)-*N,N,N*-триметилэтанаммоний йодид **11a** (6%) и 2,2-[1,2-фениленбис(карбонилокси)]-бис(*N,N,N*-триметилэтанаммоний) диодид **11c** (39%) обладают в 16 и 2,2 раза меньшей степенью защиты. По-видимому, высокому антикоррозионному эффекту **11b** способствует строение молекулы – *n*-положение заместителей, которые обеспечивают повышенную способность к адсорбции на поверхности стали, вызывая тем самым рост степени защиты [24]. При сравнении защитного эффекта в ряду производных 1,4-бис-(2-(диметиламино)этил)терефталата **3b** – солей,

содержащих 1,3-диоксолановый **8b**, 1,3-диоксановый **9b** и *гем*-дихлорциклопропановый **10b** фрагменты, определено, что степень защиты находится в интервале 40-72%, причем наибольшее ее значение приходится на аммонийную соль **9b**. Эта закономерность прослеживается и для солей **8a**, **9a** и **10a**, среди которых максимальным защитным эффектом обладает соль **9a** (44%).

ВЫВОДЫ

Установлено, что наибольший антикоррозионный эффект проявляет 2,2-[1,4-фениленбис(карбонилокси)]бис(*N,N,N*-триметилэтанаммоний) диодид, степень защиты которого достигает 98%, что не уступает показателям ингибиторов сравнения «Нефтехим НС» и «Нефтехим 1М» 94-96%. Соли аналогичного строения – 2-(бензоилокси)-*N,N,N*-триметилэтанаммоний йодид и 2,2-[1,2-фениленбис(карбонилокси)]-бис(*N,N,N*-триметилэтанаммоний) диодид уступают в степени защитного эффекта $\approx$ 2-3 раза.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России в сфере научной деятельности FEUR-2023-0006 «Разработка и создание малотоннажных продуктов и реагентов (ингибиторы коррозии и солеотложения, антиоксиданты, биоциды, присадки и др.) для процессов нефтегазохимии и очистки водных сред от загрязнений, замещающих импортные вещества и материалы. Теоретические и экспериментальные подходы».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of Russia in the field of scientific activity FEUR-2023-0006 «Development and creation of small-scale products and reagents (corrosion and scale inhibitors, antioxidants, biocides, additives, etc.) for petrochemical processes and purification of aquatic environments from contaminants that replace imported substances and materials. Theoretical and experimental approaches».

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Madaan P., Tyagi V.K. // *Journal of Oleo Science*. 2008. V. 57. N 4. P. 197–215. DOI: 10.5650/jos.57.197.
2. Stoikov I.I., Antipin I.S., Burilov V.A., Kurbangalieva A.R., Rostovskii N.V., Pankova A.S., Balova I.A., Remizov Yu.O., Pevzner L.M., Petrov M.L., Vasilyev A.V., Averin A.D., Beletskaya I.P., Nenajdenko V.G.,

REFERENCES

1. Madaan P., Tyagi V.K. // *Journal of Oleo Science*. 2008. V. 57. N 4. P. 197–215. DOI: 10.5650/jos.57.197.
2. Stoikov I.I., Antipin I.S., Burilov V.A., Kurbangalieva A.R., Rostovskii N.V., Pankova A.S., Balova I.A., Remizov Yu.O., Pevzner L.M., Petrov M.L., Vasilyev A.V., Averin A.D., Beletskaya I.P., Nenajdenko V.G.,

- Beloglazkina E.K., Gromov S.P., Karlov S.S., Magdesieva T.V., Prishchenko A.A., Popkov S.V., Terent'ev A.O., Tsaplin G.V., Kustova T.P., Kochetova L.B., Magdalinova N.A., Krasnokutskaya E.A., Nyuchev A.V., Kuznetsova Yu.L., Fedorov A.Yu., Egorova A.Yu., Grinev V.S., Sorokin V.V., Ovchinnikov K.L., Kofanov E.R., Kolobov A.V., Rusinov V.L., Zyryanov G.V., Nosov E.V., Bakulev V.A., Belskaya N.P., Berezkina T.V., Obydenov D.L., Sosnovskikh V.Ya., Bakhtin S.G., Baranova O.V., Doroshkevich V.S., Raskildina G.Z., Sultanova R.M., Zlotskii S.S., Dyachenko V.D., Dyachenko I.V., Fisyuk A.S., Konshin V.V., Dotsenko V.V., Ivleva E.A., Reznikov A.N., Klimochkin Yu.N., Aksenov D.A., Aksenov N.A., Aksenov A.V., Burmistrov V.V., Butov G.M., Novakov I.A., Shikhaliev Kh.S., Stolpovskaya N.V., Medvedev S.M., Kandalintseva N.V., Prosenko O.I., Menshchikova E.B., Golovanov A.A., Khashirova S.Yu. // *Russ. J. Org. Chem.* 2024. V. 60. N 8. P. 1361–1584. DOI: 10.1134/S1070428024080013.
3. Tsuji Y., Yamamoto M., Vereshchagin A.N., Dorofeev A.S., Geyvandova T.A., Agafonova I.F., Geyvandov R.K. Dimeric quaternary pyridinium salts possessing biocidal activity. *Pat.* WO158045. 2014.
 4. Raskil'dina G.Z., Borisova Yu.G., Vereshchagin A.N., Detusheva E.V., Sultanova R.M., Zlotskii S.S. // *Rev. Adv. Chem.* 2024. V. 14(1). P. 16–21. DOI: 10.1134/S2634827624600105.
 5. Борисова Ю.Г., Султанова Р.М., Злотский С.С. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2025. Т. 68. Вып. 2. С. 46–51. DOI: 10.6060/ivkkt.20256802.7127.
 6. Jordan A., Haib A., Spulak M., Karpichev Y., Kümmerer K., Gathergood N. // *Green Chemistry.* 2016. V. 18. N 16. P. 4374–4392. DOI: 10.1039/C6GC00415F.
 7. Gilbert E.A., Guastavino J.F., Nicollier R.A., Lancelle M.V., Russell-White K., Murguia M.C. // *J. Oleo Sci.* 2021. V. 70(1). P. 59–65. DOI: 10.5650/jos.ess20216.
 8. Wombacher F., Maeder U., Marazzani B. // *Cem. Conc. Compos.* 2004. N 26. P. 209–216. DOI: 10.1016/S0958-9465(03)00040-4.
 9. Rakanta E., Zafeiropoulou Th., Batis G. // *Construction and Building Materials.* V. 44. P. 507. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.030.
 10. Борисова Ю.Г., Войнов В.А., Султанова Р.М., Раскильдина Г.З., Злотский С.С. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2025. Т. 68. Вып. 12. С. 34–40. DOI: 10.6060/ivkkt.20256812.7247.
 11. Хайдарова Г.Р., Тюсенков А.С., Бугай Д.Е., Раскильдина Г.З., Исламутдинова А.А., Сидоров Г.М. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2018. Т. 61. Вып. 7. С. 130–136. DOI: 10.6060/ivkkt.20186107.5710.
 12. Борисова Ю.Г., Султанова Д.С., Гусаков В.Н., Раскильдина Г.З., Султанова Р.М., Злотский С.С. // *Рос. хим. жс. (Ж. Рос. хим. об-ва).* 2024. Т. LXVIII. № 3. С. 68–74. DOI: 10.6060/rcj.2024683.11.
 13. Борисова Ю.Г., Мусин А.И., Войнов В.А., Раскильдина Г.З., Султанова Р.М., Даминев Р.Р., Злотский С.С. // *Рос. хим. жс. (Ж. Рос. хим. об-ва).* 2025. Т. LXIX. № 2. С. 16–21. DOI: 10.6060/rcj.2025692.3.
 14. Борисова Ю.Г., Мусин А.И., Раскильдина Г.З., Спирихин Л.В., Злотский С.С., Кузнецов В.В. // *Рос. хим. жс. (Ж. Рос. хим. об-ва).* 2024. Т. LXVIII. № 2. С. 67–75. DOI: 10.6060/RCJ.2024682.9.
 15. Raskil'dina G.Z., Sultanova R.M., Zlotskii S.S. // *Rev. Adv. Chem.* 2023. N 13. P. 15–27. DOI: 10.1134/S2634827623700150.
 - Beloglazkina E.K., Gromov S.P., Karlov S.S., Magdesieva T.V., Prishchenko A.A., Popkov S.V., Terent'ev A.O., Tsaplin G.V., Kustova T.P., Kochetova L.B., Magdalinova N.A., Krasnokutskaya E.A., Nyuchev A.V., Kuznetsova Yu.L., Fedorov A.Yu., Egorova A.Yu., Grinev V.S., Sorokin V.V., Ovchinnikov K.L., Kofanov E.R., Kolobov A.V., Rusinov V.L., Zyryanov G.V., Nosov E.V., Bakulev V.A., Belskaya N.P., Berezkina T.V., Obydenov D.L., Sosnovskikh V.Ya., Bakhtin S.G., Baranova O.V., Doroshkevich V.S., Raskildina G.Z., Sultanova R.M., Zlotskii S.S., Dyachenko V.D., Dyachenko I.V., Fisyuk A.S., Konshin V.V., Dotsenko V.V., Ivleva E.A., Reznikov A.N., Klimochkin Yu.N., Aksenov D.A., Aksenov N.A., Aksenov A.V., Burmistrov V.V., Butov G.M., Novakov I.A., Shikhaliev Kh.S., Stolpovskaya N.V., Medvedev S.M., Kandalintseva N.V., Prosenko O.I., Menshchikova E.B., Golovanov A.A., Khashirova S.Yu. // *Russ. J. Org. Chem.* 2024. V. 60. N 8. P. 1361–1584. DOI: 10.1134/S1070428024080013.
 3. Tsuji Y., Yamamoto M., Vereshchagin A.N., Dorofeev A.S., Geyvandova T.A., Agafonova I.F., Geyvandov R.K. Dimeric quaternary pyridinium salts possessing biocidal activity. *Pat.* WO158045. 2014.
 4. Raskil'dina G.Z., Borisova Yu.G., Vereshchagin A.N., Detusheva E.V., Sultanova R.M., Zlotskii S.S. // *Rev. Adv. Chem.* 2024. V. 14(1). P. 16–21. DOI: 10.1134/S2634827624600105.
 5. Borisova Yu.G., Sultanova R.M., Zlotsky S.S. // *Chem-ChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2025. V. 68. N 2. P. 46–51. DOI: 10.6060/ivkkt.20256802.7002.
 6. Jordan A., Haib A., Spulak M., Karpichev Y., Kümmerer K., Gathergood N. // *Green Chemistry.* 2016. V. 18. N 16. P. 4374–4392. DOI: 10.1039/C6GC00415F.
 7. Gilbert E.A., Guastavino J.F., Nicollier R.A., Lancelle M.V., Russell-White K., Murguia M.C. // *J. Oleo Sci.* 2021. V. 70(1). P. 59–65. DOI: 10.5650/jos.ess20216.
 8. Wombacher F., Maeder U., Marazzani B. // *Cem. Conc. Compos.* 2004. N 26. P. 209–216. DOI: 10.1016/S0958-9465(03)00040-4.
 9. Rakanta E., Zafeiropoulou Th., Batis G. // *Construction and Building Materials.* V. 44. P. 507. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.030.
 10. Borisova Yu.G., Voinov V.A., Sultanova R.M., Raskil'dina G.Z., Zlotskii S.S. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2025. V. 68. N 12. P. 34–40. DOI: 10.6060/ivkkt.20256812.7247.
 11. Khaydarova G.R., Tyusenkov F.S., Bugai D.E., Raskildina G.Z., Islamutdinova A.A., Sidorov G.M. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N7. P. 130–136. DOI: 10.6060/ivkkt.20186107.5710.
 12. Borisova Yu.G., Sultanova D.S., Gusakov V.N., Raskildina G.Z., Sultanova R.M., Zlotsky S.S. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N3. P. 68–74. DOI: 10.6060/rcj.2024683.11.
 13. Borisova Y.G., Musin A.I., Voinov V.A., Raskil'dina G.Z., Sultanova R.M., Daminev R.R., Zlotsky S.S. // *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 2. P. 16–21. DOI: 10.6060/rcj.2025692.3.
 14. Borisova Yu.G., Musin A.I., Raskildina G.Z., Spirikhin L.V., Zlotsky S.S., Kuznetsov V.V. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N2. P. 67–75. DOI: 10.6060/RCJ.2024682.9.
 15. Raskil'dina G.Z., Sultanova R.M., Zlotskii S.S. // *Rev. Adv. Chem.* 2023. N 13. P. 15–27. DOI: 10.1134/S2634827623700150.
 16. Latypova F.N., Vildanov F.Sh., Chanyshev R.R., Zlotsky S.S. // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2015. V. 58. N 8. P. 3–21.

16. Латыпова Ф.Н., Вильданов Ф.Ш., Чанышев Р.Р., Злотский С.С. // *Изв. вузов. Хим. и хим. технология*. 2015. Т. 58. № 8. С. 3–21.
17. Mamlieva A.V., Mikhailova N.N., Shavshukova S.Yu. // *Oil & Gas Chemistry*. 2020. N 1. P. 30–33.
18. Яковенко Е.А., Байбуртли А.В., Борисова Ю.Г., Раскильдина Г.З. // *Башкирский химический журнал*. 2017. Т. 24. № 2. С. 52–56.
19. Grachev M. K., Charaev A.A., Kurochkina G.I., Vasyanina L.K., Shmelev V.N., Nifant'ev E.E. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2010. V. 80. N 9. P. 1812–1818. DOI: 10.1134/S1070363210090161.
20. Hazen S., Anderson J. Compounds, compositions, and methods for reducing production of trimethylamine *Pat.* WO2024011238 A2 2024-01-11.
21. Pan Zhongwen, Li Yangyang, Zhang Tinglan A Synthetic Process for a Di(Dimethylaminoethyl) Phthalate. *Pat.* CN108658793 A 2018-10-16.
22. Xu Dongqing, Huaxue Yanjiu, Yu Yingyong // *Huaxue Yanjiu Yu Yingyong*. 2010. V. 22(9). P. 1117–1121.
23. Liu Yuying, Jingxi Huagong // *Jingxi Huagong*. 2011. V. 28(6). P. 535–538
24. Verma C., Ebenso E.E., Quraishi M.A., Hussain C.M. // *Mat. Adv.* 2021. V. 2. N 12. P. 3806–3850. DOI: 10.1039/d0ma00681e.
17. Mamlieva A.V., Mikhailova N.N., Shavshukova S.Yu. // *Oil & Gas Chemistry*. 2020. N 1. P. 30–33.
18. Yakovenko E.A., Bayburtli A.V., Borisova Yu.G., Raskildina G.Z. // *Bashkir chemical journal*. 2017. V. 24. N 2. P. 52–56.
19. Grachev M. K., Charaev A.A., Kurochkina G.I., Vasyanina L.K., Shmelev V.N., Nifant'ev E.E. // *Russ. J. Gen. Chem.* 2010. V. 80. N 9. P. 1812–1818. DOI: 10.1134/S1070363210090161.
20. Hazen S., Anderson J. Compounds, compositions, and methods for reducing production of trimethylamine *Pat.* WO2024011238 A2 2024-01-11.
21. Pan Zhongwen, Li Yangyang, Zhang Tinglan A Synthetic Process for a Di(Dimethylaminoethyl) Phthalate. *Pat.* CN108658793 A 2018-10-16.
22. Xu Dongqing, Huaxue Yanjiu, Yu Yingyong // *Huaxue Yanjiu Yu Yingyong*. 2010. V. 22(9). P. 1117–1121.
23. Liu Yuying, Jingxi Huagong // *Jingxi Huagong*. 2011. V. 28(6). P. 535–538
24. Verma C., Ebenso E.E., Quraishi M.A., Hussain C.M. // *Mat. Adv.* 2021. V. 2. N 12. P. 3806–3850. DOI: 10.1039/d0ma00681e.

Поступила в редакцию 29.12.2025

Принята к опубликованию 13.04.2026

Received 29.12.2025

Accepted 13.04.2026