

УДК 547.831+620.197.3

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2025.3.3

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ ТЕТРАГИДРОХИНОЛИНА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ АНТИКОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ

Р. А. Хуснудинов¹, К. Р. Хуснудинов¹, В. М. Шарафутдинов¹,
Г. А. Шайдуллина², И. Б. Абдрахманов¹, А. Г. Мустафин^{1,2*}

¹Уфимский институт химии УФИЦ РАН
Россия, Республика Башкортостан, 450054 г. Уфа, пр. Октября, 71.

²Уфимский университет науки и технологий
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.

*Email: agmustafin@mail.ru

Алкенилированием ароматических аминов пренилхлоридом синтезирован ряд N-замещенных ариламинов, которые циклизованы под катализитическим действием ZnCl₂ в кислоле. Полученные производные 1,2,3,4-тетрагидрохинолина испытаны в качестве ингибиторов кислотной коррозии стали, защитный эффект достигает 88%.

Ключевые слова: изопрен, пренилхлорид, N-алкениланилин, тетрагидрохинолин, ингибиторы коррозии.

Введение

В наши дни коррозионные процессы создают огромные проблемы мировой экономике. По самым скромным подсчетам, около 10% ежегодно выплавляемого металла идет на восстановление потерь от коррозии. К потерям, которые вынуждено терпеть народное хозяйство, относятся также неисчислимые затраты на защитно-антикоррозионные мероприятия, ущерб от ухудшения качества выпускаемой продукции, выхода из строя оборудования. Лишь потери от аварий на нефтехимических предприятиях и нефтегазопроводах исчисляются многими миллиардами долларов. Одним из важнейших направлений для борьбы с коррозией материалов является применение ингибиторов коррозии [1–9]. Эффективными ингибиторами коррозии являются некоторые азотсодержащие органические соединения, в том числе ароматические амины, производные пиридина и хинолина [4–5]. Хинолин и его производные – важнейший класс азотсодержащих гетероциклов. Многие соединения, содержащие в своем составе хинолиновое ядро, проявляют биологическую активность и являются наиболее перспективным для разработки новых фармацевтических препаратов [6–8]. Известно также, что производные хинолинов, в том числе тетрагидрохинолины, обладают высокой ингибирующей активностью в кислых средах [9–10].

Экспериментальная часть

ИК-спектры записаны на приборе UR-20. Спектры ЯМР ¹Н и ¹³С сняты на приборе Bruker AM-300 с рабочей частотой 300 и 75 МГц, растворитель – CDCl₃, внутренний стандарт – ТМС. Элементный анализ выполнен на приборе С-H-N-Analyzer M-185B. ГЖХ-анализ выполняли на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000» с пламенно-ионизационным детектором, колонка 1 200×5 мм, SE-30 на хроматоне N-AW.

Гидрохлорирование изопрена осуществляли пропусканием в него газообразного HCl при перемешивании и комнатной температуре. Промывали 5%-ным раствором соды, три раза водой, сушили над CaCl₂ и перегоняли, отбирая фракцию с Т_{кип} 74–80 °С с содержанием 2 более 95%.

Алкенилирование аминов 3–8 проводили в среде триэтиламина при кипячении. Ход реакции контролировали методом ГЖХ. В зависимости от природы исходного амина реакция завершается за 2–4 ч с образованием 9–14.

Общая методика получения тетрагидрохинолинов 15–20. К 5 ммоль амина 9–14 в 10 мл кислола добавляли 0,68 г (5 ммоль) безводного ZnCl₂, нагревали до слабого кипения и выдерживали при этих условиях несколько часов до полного расходования исходного амина, контролируя ход реакции хроматографическим методом. Реакционную массу обрабатывали 20%-ным раствором KOH, промывали водой и сушили CaCl₂. Продукты выделяли хроматографированием на оксиде алюминия (элюент гексан:этилацетат = 10:1).

2,2-Диметил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин (15). Выход 72%. Коричневое масло. ИК-Спектр (ν, см⁻¹): 3356 (NH). Спектр ЯМР ¹Н (δ, м.д.): 1,26 (с, 6Н, 2CH₃); 1,75 (м, 2Н, CH₂); 2,84 (м, 2Н, CH₂); 4,48 (с, 1Н, NH); 6,68–7,57 (м, 4Н, Ar-H). Спектр ЯМР ¹³С (δ, м.д.): 24,91(C⁴), 29,37 (CH₃), 29,38 (CH₃), 34,46 (C³), 48,86 (C²), 114,35 (C⁶), 116,67 (C⁷), 120,09 (C^{5a}), 126,78 (C⁵), 129,36 (C⁸), 144,01 (C^{8a}). Найдено (%): С 81,90; Н 9,36; N 8,64. C₁₁H₁₅N. Вычислено (%): С 81,99; Н 9,32; N 8,70.

2,2-Диметил-6-бром-1,2,3,4-тетрагидрохинолин (16). Выход 69%. Коричневое масло. ИК-Спектр (ν, см⁻¹): 3355 (NH). Спектр ЯМР ¹Н (δ, м.д.): 1,12 (с, 6Н, 2CH₃); 1,65 (м, 2Н, CH₂); 2,72 (м, 2Н, CH₂); 4,49 (с, 1Н, NH); 6,69–7,04 (м, 3Н, Ar-H). Спектр ЯМР ¹³С (δ, м.д.): 27,12 (C⁴), 27,97 (CH₃), 28,15 (CH₃), 37,03 (C³), 54,64 (C²), 117,15 (C⁸), 117,16 (C⁶), 124,00 (C^{5a}), 129,69 (C⁵), 130,18 (C⁷), 141,74 (C^{8a}). Найдено (%): С 55,00; Н 5,85; N 5,80. C₁₁H₁₄BrN. Вычислено (%): С 55,00; Н 5,83; N 5,83.

2,2-Диметил-6-метил-1,2,3,4-тетрагидрохинолин (17). Выход 67%. Коричневое масло. ИК-Спектр (ν , см^{-1}): 3360 (NH). Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 1,13 (с, 6Н, 2CH₃); 2,17 (с, 3Н, CH₃); 1,61 (м, 2Н, CH₂); 2,74 (м, 2Н, CH₂); 4,45 (с, 1Н, NH); 6,40–6,80 (м, 3Н, Ar-H). Спектр ЯМР ^{13}C (δ , м.д.): 20,72 (CH₃), 25,24 (C⁴), 27,92 (CH₃), 28,22 (CH₃), 37,15 (C³), 53,75 (C²), 113,92 (C⁶), 120,63 (C⁸), 127,16 (C⁵), 127,94 (C⁷), 129,12 (C^{5a}), 140,83 (C^{8a}). Найдено (%): С 82,21; Н 9,75; N 7,95. C₁₂H₁₇N. Вычислено (%): С 82,29; Н 9,71; N 8,00.

2,2-Диметил-6-метокси-1,2,3,4-тетрагидрохинолин (18). Выход 65%. Коричневое масло. ИК-Спектр (ν , см^{-1}): 3365 (NH). Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 1,20 (с, 6Н, 2CH₃); 1,61 (м, 2Н, CH₂); 2,74 (м, 2Н, CH₂); 3,69 (с, 3Н, OCH₃); 4,45 (с, 1Н, NH); 6,40–6,75 (м, 3Н, Ar-H). Спектр ЯМР ^{13}C (δ , м.д.): 26,23 (C⁴), 27,97 (CH₃), 28,15 (CH₃), 37,47 (C³), 53,85 (C²), 55,78 (OCH₃), 112,63, 113,13, 113,89, 122,15, 136,86, 152,27 (C-аром.) Найдено (%): С 75,34; Н 8,92; N 7,29. C₁₂H₁₇NO. Вычислено (%): С 75,39; Н 8,90; N 7,33.

2,2-Диметил-6-этокси-1,2,3,4-тетрагидрохинолин (19). Выход 63%. Коричневое масло. ИК-Спектр (ν , см^{-1}): 3368 (NH). Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 1,11 (с, 3Н, CH₃); 1,23 (с, 3Н, CH₃); 1,39 (т, 3Н, CH₃, $J = 5,6$ Гц); 1,90 (м, 2Н, CH₂); 2,88 (м, 2Н, CH₂); 3,80 (м, 2Н, CH₂); 4,41 (с, 1Н, NH); 6,25–6,60 (м, 3Н, Ar-H). Спектр ЯМР ^{13}C (δ , м.д.): 15,20 (CH₃), 24,05 (C⁴), 28,90 (CH₃), 30,92 (CH₃), 39,91 (C³), 54,10 (C²), 63,92 (CH₃CH₂), 111,85, 112,49, 113,58, 121,84, 134,36, 148,60 (C-аром.). Найдено (%): С 76,01; Н 9,69; N 7,88. C₁₃H₁₉NO. Вычислено (%): С 76,10; Н 9,33; N 6,83.

2,2-Диметил-6-пропокси-1,2,3,4-тетрагидрохинолин (20). Выход 59%. Коричневое масло. ИК-Спектр (ν , см^{-1}): 3368 (NH). Спектр ЯМР ^1H (δ , м.д.): 1,06 (т, 3Н, CH₃, $J = 5,6$ Гц); 1,10 (с, 3Н, CH₃); 1,20 (с, 3Н, CH₃); 1,63 (м, 2Н, CH₂); 1,87 (м, 2Н, CH₂); 2,85 (м, 2Н, CH₂); 3,72 (м, 2Н, CH₂); 4,38 (с, 1Н, NH); 6,21–6,67 (м, 3Н, Ar-H). Спектр ЯМР ^{13}C (δ , м.д.): 10,40 (CH₃), 22,20 (C⁶'), 25,65 (C⁴), 28,33 (CH₃), 30,81 (CH₃), 53,75 (C²), 69,10 (C⁶'), 110,34, 112,11, 113,46, 127,88, 132,44, 158,16 (C-аром.). Найдено (%): С 76,60; Н 9,63; N 6,35. C₁₄H₂₁NO. Вычислено (%): С 76,71; Н 9,59; N 6,39.

Методика коррозионных испытаний. Испытания соединений **15–20** в качестве ингибитора кислотной коррозии стали проводили в лабораторных условиях гравиметрическим методом в соответствии с [11].

Обезжиренные и высушенные до постоянной массы образцы стали Ст3 ГОСТ 380-2005 помещали в рабочую среду на 6 ч при 20°C с добавлением ингибитора и без него. По истечении времени выдерживания образцы тщательно промывали в струе воды, погружали на 10 минут в раствор щелочи, снова промывали проточной водой и сушили до постоянной массы. Ставили по 3 параллельных опыта и брали среднее значение, сходимость результатов хорошая.

Скорость коррозии (ρ) вычисляли по формуле:

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{s \times t}, \quad (1)$$

где m_1 – масса исходного образца (г); m_2 – масса образца после опыта (г); s – площадь образца (м^2); t – продолжительность опыта (ч).

Степень защиты от коррозии (z) определяли по формуле:

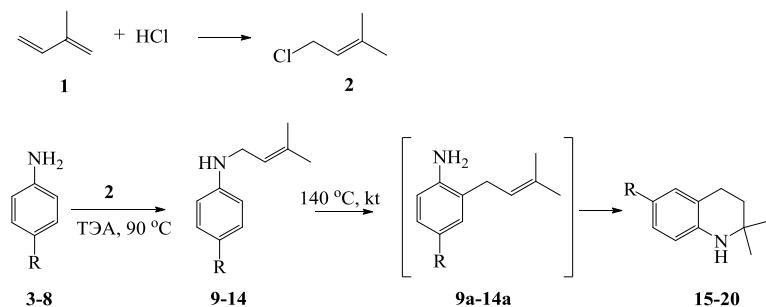
$$z = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \times 100\%, \quad (2)$$

где ρ_1 – скорость коррозии в среде без ингибитора ($\frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$); где ρ_2 – скорость коррозии в ингибионной среде ($\frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$).

Результаты и обсуждение

Отличительной чертой органических ингибиторов коррозии является наличие в их структуре атомов кислорода, азота или серы [12]. Принято считать, что органические соединения оказывают ингибионущее действие за счет адсорбции на поверхности через атомы O, N и S, а также атомы с кратной связью или ароматическим кольцом в их молекулярной структуре [13].

В настоящей работе нами предлагается новый удобный и перспективный метод синтеза замещенных тетрагидрохинолинов (рис. 1). На первой стадии гидрохлорированием изопрена **1** получали 2-метил-4-хлорбутен-2 (пренилхлорид) **2**, который использовали для N-алкенилирования анилина **3** и ряда его производных **4–8**. Реакция протекает в растворе триэтиламина при 90 °C с практическим количественным выходом. Перегруппировка N-пренилариламинов **9–14** в кипящем ксилоле в присутствии ZnCl₂ приводит к производным тетрагидрохинолина **15–20**.



R = H (3, 9, 15); R = Br (4, 10, 16); R = CH₃ (5, 11, 17); R = OCH₃ (6, 12, 18);
R = OC₂H₅ (7, 13, 19); R = OC₃H₇ (8, 14, 20)

Рис. 1. Синтез замещенных тетрагидрохинолинов.

Стадии циклизации предшествует амино-перегруппировка Кляйзена аминов **9–14** с образованием промежуточных **9a–14a**, протекающая по межмолекулярному механизму без инверсии алкенильного фрагмента [14], что нехарактерно для сигматропных перегруппировок, где переходное состояние в виде 6-членного цикла подразумевает согласованный внутримолекулярный процесс [15].

Строение полученных тетрагидрохинолинов установлено спектральными методами и элементным анализом. В ИК-спектре соединения **15** полоса поглощения в области 3356 cm^{-1} соответствует вторичной аминогруппе $-\text{NH}_2$. В спектре ЯМР ^1H две метильные группы резонируют в виде синглета при 1.26 м.д. Еще один синглет в области 4.48 м.д. принадлежит протонам аминогруппы. Два мультиплетных сигнала в области 1.75 и 2.84 м.д. принадлежат метиленовым протонам. Протонам ароматического ядра соответствует мультиплет при 6.68–7.58 м.д. Спектр ЯМР ^{13}C подтверждает приведенную структуру. Четвертичный атом углерода (C^2) в спектре ЯМР ^{13}C резонирует в области 53.75–54.64 м.д.

Соединения **15–20** испытаны в качестве ингибиторов кислотной коррозии стали по методике [12] в среде 15%-ной соляной кислоты (табл.).

Таблица

Результаты испытаний антикоррозионной активности соединений **15–20**

Соединение	Дозировка, мг/л	Скорость коррозии, mg/m^2	Степень защиты, %	Соединение	Дозировка, мг/л	Скорость коррозии, mg/m^2	Степень защиты, %
-	-	0.82	-	18	200	0.12	85
15	200	0.11	87	18	150	0.16	80
15	150	0.15	82	18	100	0.21	74
15	100	0.22	73	18	50	0.39	52
15	50	0.39	52	19	200	0.14	83
16	200	0.1	88	19	150	0.19	77
16	150	0.16	80	19	100	0.28	66
16	100	0.24	71	19	50	0.4	51
16	50	0.36	56	20	200	0.14	83
17	200	0.13	83	20	150	0.18	78
17	150	0.18	78	20	100	0.26	68
17	100	0.26	68	20	50	0.42	49
17	50	0.38	54				

Как следует из табл., все испытанные соединения показали достаточно высокую степень защиты при концентрациях ингибитора 150–200 мг/л (78–88%). Все 6 испытанных ингибиторов показали примерно одинаковый защитный эффект, влияние введенных в бензольное ядро заместителей незначительно. Ранее близкие значения защитного эффекта были получены для N,N-диаллилпроизводных аллоксианилинов [16], производных N- и орто-(2-циклогексенил)анилинов [17] и пентениларилиминопиридинийхлоридов [18].

Заключение

Предложен эффективный способ получения пространственно-затрудненных тетрагидрохинолинов с высокими выходами кипячением N-прениланилинов в ксилоле в присутствии ZnCl_2 . Метод отличается простотой и доступностью исходного сырья, что немаловажно при их получении в промышленных масштабах. Указанные соединения испытаны в качестве ингибиторов кислотной коррозии стали и проявили эффективность 78–88%. Они могут быть использованы для воздействия на призабойную зону пласта с целью решения проблемы повышенного коррозионного износа скважинного оборудования.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования 125020601600-9. Спектральные исследования выполнены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Химия» Уфимского института химии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

ЛИТЕРАТУРА

- Рахманкулов Д. Л., Зенцов В. Н., Гафаров Н. А., Бугай Д. Е., Габитов А. И., Латыпова Ф. Н. Ингибиторы коррозии. Т. 3. Основы технологии производства отечественных ингибиторов коррозии. М.: Интер, 2005. 346 с. [Rahmankulov D. L., Zencov V. N., Gafarov N. A., Bugaj D. E., Gabitov A. I., Latypova F. N. Corrosion inhibitors. Vol. 3. Fundamentals of production technology of domestic corrosion inhibitors. Moscow: Inter, 2005. 346 p.].
- Рахманкулов Д. Л., Бугай Д. Е., Габитов А. И., Голубев М. В., Лаптев А. Б., Калимуллин А. А. Ингибиторы коррозии. Т. 1. Основы теории и практики применения. Уфа: Реактив, 1997. 295 с. [Rahmankulov D. L., Bugaj D. E., Gabitov A. I., Golubev M. V., Laptev A. B., Kalimullin A. A. Corrosion Inhibitors. Vol. 1. Fundamentals of theory and practice of application. Ufa: Reaktiv, 1997. 295 p.].
- Рахманкулов Д. Л., Зенцов В. Н., Кузнецов М. В. Современная техника и технология защиты от коррозии. М.: Интер, 2005. 406 с. [Rahmankulov D. L., Zencov V. N., Kuzneцов М. В. Modern technique and technology of corrosion protection. Moscow: Inter, 2005. 406 p.].
- Абдрахманов И. Б., Гимадиева А. Р., Мустафин А. Г., Шарафутдинов В. М. Амино-перегруппировка Кляйзена и превращения орто-алкениларилиминов. М.: Наука, 2020. 258 с. [Abdrakhmanov I. B., Gimadieva A. R., Mustafin A. G., Sharafutdinov V. M. Claisen amino rearrangement and transformations of ortho-alkenylarylaminos. M.: Nauka, 2020. 256 p.].

5. Гатауллин Р. Р. Получение гетероциклических соединений из N- и C-алкениланилинов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Физика и химия. 2014. Т. 1(59). №1. С. 51–70. [Gataullin R. R. Preparation a heterocyclic compounds from the N-and C-alkenylanilines // Vestnik of St. Petersburg State University. Physics and chemistry. Vol. 1(59). No. 1. P. 51–70].
6. Вдовиченко В. П. Фармакология и фармакотерапия. Минск: БОФФ, 2016. 896 с. [Vdovichenko V. P. Pharmacology and pharmacotherapy. Minsk: BOFF, 2016. 896 p.].
7. Ишигеев Р. С., Шкурченко И. В., Потапов В. А., Амосова С. В. Новые производные хинолина с потенциальной биологической активностью // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. №10-1. С. 202–206. [Ishigeev R. S., Shkurchenko I. V., Potapov V. A., Amosova S. V. New quinoline derivatives with potential biological activity // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2019. No. 10-1. P. 202–206].
8. Gataullin R. R., Kazhanova T. V., Il'yasova J. T., Fatykhov A. A., Spirikhin L. V., Abdurakhmanov I. B. Synthesis of indolines and tetrahydroquinolines from ortho-(alk-2-enyl)anilines // Russ. Chem. Bull. 1999. Vol. 48. No. 5. P. 967–970.
9. Решетников С. М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. Л.: Химия, 1986. 144 с. [Reshetnikov S. M. Inhibitors of acid corrosion of metals. Leningrad: Khimia, 1986. 144 p.].
10. Рахманкулов Д. Л., Зенцов В. Н., Кузнецов М. В. Современная техника и технология защиты от коррозии. М.: Интер, 2005. 406 с. [Rakhmankulov D. L., Zentsov V. N., Kuznetsov M. V. Modern technique and technology of corrosion protection. Moscow: Inter, 2005. 406 p.].
11. ГОСТ 9.506-86. Ингибиторы кислотной коррозии стали. [GOST 9.506-86. Inhibitors of acid corrosion].
12. Глушченко В. Н., Силин М. А. Нефтепромысловая химия. Кислотная обработка скважин. М.: Интерконтакт Наука, 2010. Т. 4. 703 с. [Glushchenko V. N., Silin M. A. Oilfield chemistry. Acid treatment of wells. Moscow: Intercontact Nauka, 2010. Vol. 4. 703 p.].
13. Велиев М. Г., Шатирова М. И., Гейдирова Г. Д., Алиева Ф. М. Аминосодержащие ацетилены – ингибиторы кислотной коррозии стали // Коррозия: материалы, защита. 2016. №5. С. 22–26. [Veliyev M. G., Shatirova M. I., Geydirova G. D., Alieva F. M. Amine-containing acetylenes – inhibitors of acid corrosion of steel // Corrosion: materials, protection. 2016. No 5. P. 22–26].
14. Jolidon S., Hansen H.-J. Untersuchungen über aromatische Amino-Claisen-Umlagerungen // Helv. Chim. Acta. 1977. Vol. 60. P. 978–1032.
15. Абдрахманов И. Б., Гимадиева А. Р., Мустафин А. Г., Шарафутдинов В. М. Амино-перегруппировка Кляйзена и превращения орто-алкенилариламинов. М.: Наука, 2020. 256 с. [Abdrakhmanov I. B., Gimadieva A. R., Mustafin A. G., Sharafutdinov V. M. Claisen amino rearrangement and transformations of ortho-alkenylarylamines. Moscow: Nauka, 2020. 256 p.].
16. Хуснитдинов Р. Н., Хурсан С. Л., Гатауллин Р. Р., Хуснитдинов Р. А., Мустафин А. Г., Абдрахманов И. Б., Фаттахов А. Х. Синтез N,N-диалильных производных алкоксианилинов и исследование их антикоррозионной активности с использованием квантово-химического прогноза // Вестник Башкирского университета. 2021. Т. 26. №2. С. 419–424. [Khusnitdinov R. N., Khursan S. L., Gataullin R. R., Khusnudinov R. A., Mustafin A. G., Abdurakhmanov I. B., Fattakhov A. Kh. Synthesis of N,N-diallyl derivatives of alkoxyanilines and study of their anticorrosive activity using quantum-chemical prognosis // Bulletin of Bashkir University. 2021. Vol. 26. No. 2. P. 419–424].
17. Хуснитдинов К. Р., Мустафин И. А., Хурсан С. Л., Хуснитдинов Р. Н., Абдрахманов И. Б., Бадикова А. Д., Куляшова И. Н. Синтез и антикоррозионные свойства производных N- и орто-(2-цикlopентенил)анилинов // Башкирский химический журнал. 2022. Т. 29. №4. С. 53–56. [Khusnitdinov K. R., Mustafin I. A., Khursan S. L., Khusnudinov R. N., Abdurakhmanov I. B., Badikova A. D., Kulyashova I. N. Synthesis and anticorrosion properties of N- and ortho-(2-cyclopentenyl)aniline derivatives // Bashkir Chemical Journal. 2022. Vol. 29. No. 4. P. 53–56].
18. Хуснитдинов Р. А., Хурсан С. Л., Хуснитдинов Р. Н., Шарафутдинов В. М., Краско С. А., Мустафин А. Г., Абдрахманов И. Б. Синтез пентенилариламинопиридинийхлоридов и исследование их антикоррозионных свойств // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26. №2. С. 92–95. [Khusnudinov R. A., Khursan S. L., Khusnudinov R. N., Sharafutdinov V. M., Krasko S. A., Mustafin A. G., Abdurakhmanov I. B. Synthesis of pentenylaryl amino-pyridinium chlorides and study of their anticorrosion properties // Bashkir Chemical Journal. 2019. Vol. 26. No. 2. P. 92–95].

Поступила в редакцию 05.03.2025 г.

SYNTHESIS AND ANTICORROSION EVALUATION OF TETRAHYDROQUINOLINE DERIVATIVES

© R. A. Khusnutdinov¹, K. R. Khusnitdinov¹, V. M. Sharafutdinov¹,
G. A. Shaydullina², I. B. Abdrahmanov¹, A. G. Mustafin^{1,2}

¹*Ufa Institute of Chemistry, Ufa Federal Research Center of RAS
71 Oktyabrya pr., 450054 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

²*Ufa University of Science and Technology
32 Zaki Validi st., 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

*Email: agmustafin@mail.ru

A series of N-substituted arylamines were synthesized by alkenylation of aromatic amines with prenyl chloride and cyclized under the catalytic action of $ZnCl_2$ in xylene. The obtained derivatives of 1,2,3,4-tetrahydroquinoline were then tested as inhibitors of acid corrosion of steel, with a protective effect reaching 88%.

Keywords: isoprene, prenyl chloride, N-alkenylaniline, tetrahydroquinoline, corrosion inhibitors.

Received 05.03.2025.

Об авторах / About the authors

ХУСНУТДИНОВ Раиль Альтафович

УфИХ УФИЦ РАН, Россия
к.х.н., с.н.с. лаборатории фармакофорных циклических систем,
и.о. директора
chemdir@anrb.ru

ХУСНИТДИНОВ Камиль Рамилевич

УфИХ УФИЦ РАН, Россия
инженер лаборатории органических функциональных материалов
khusnitdinoff@yandex.ru

ШАРАФУТДИНОВ Вакиль Мулькаманович

УфИХ УФИЦ РАН, Россия
к.х.н., инженер лаборатории
органических функциональных материалов
v.mulkaman@yandex.ru

ШАЙДУЛЛИНА Гульназ Айратовна

ИХЗЧС УУНиТ, Россия
магистрант кафедры физической химии и химической экологии
shajdullina01@inbox.ru

АБДРАХМАНОВ Ильдус Бариевич

УфИХ УФИЦ РАН, Россия
д.х.н., проф., г.н.с.
лаборатории фармакофорных циклических систем
020142@mail.ru
Researcher ID F-3925-2016

МУСТАФИН Ахат Газизьянович

УфИХ УФИЦ РАН, Россия
д.х.н., проф., г.н.с.
лаборатории органических функциональных материалов,
ИХЗЧС УУНиТ, Россия
зав. кафедрой физической химии и химической экологии
agmustafin@mail.ru
Researcher ID L-8739-2016

KHUSNUTDINOV Rail' Al'tafovich

Ufa Institute of chemistry, Ufa Federal Research Center of RAS, Russia
PhD, Senior Researcher of Laboratory
of Pharmacophoric Cyclic Systems, Acting Director
chemdir@anrb.ru

KHUSNITDINOV Kamil' Ramilevich

Ufa Federal Research Center of RAS, Russia
Engineer of the Laboratory of Organic Functional Materials
khusnitdinoff@yandex.ru
Scopus Author ID 55382178600

SHARAFUTDINOV Vakil' Mul'kamanovich

Ufa Federal Research Center of RAS, Russia
Cand. of Chemical Sciences, Engineer of the Laboratory
of Organic Functional Materials
v.mulkaman@yandex.ru
Scopus Author ID 6701918987

SHAYDULLINA Gulnaz Airatovna

Ufa University of Science and Technology, Russia
Master's student of the Department of Physical Chemistry
and Chemical Ecology
shajdullina01@inbox.ru

ABDRAKHMANOV Ildus Barievich

Ufa Institute of chemistry, Ufa Federal Research Center of RAS, Russia
Doctor of Chemical Sciences, Professor, Chief Researcher
of the Laboratory of Pharmacophoric Cyclic Systems
020142@mail.ru
ORCID ID 0000-0002-7609-5443
Researcher ID F-3925-2016
Scopus ID 7004593524

MUSTAFIN Akhat Gaziz'yanovich

Ufa Institute of chemistry, Ufa Federal Research Center of RAS, Russia
Doctor of Chemical Sciences, Professor, Chief Researcher
of the Laboratory of Organic Functional Materials,
Ufa University of Science and Technology, Russia
Head of the Department of Physical Chemistry
and Chemical Ecology
agmustafin@mail.ru
ORCID ID 0000-0002-8342-8787
Researcher ID L-8739-2016
Scopus ID 57191676129